

ISSN 1881-8757

BULLETIN

OF

THE AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION,

AKITA PREFECTURAL AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES RESEARCH CENTER

No. 49

March 2009

秋田県農林水産技術センター

農業試験場研究報告

第49号

平成21年3月

AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION,

AKITA PREFECTURAL AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES RESEARCH CENTER

AKITA, JAPAN

秋田農試
研究報告

Bull. AKITA
Agric. Exp. Stn.

秋田県農林水産技術センター農業試験場

秋田県農林水産技術センター
農業試験場研究報告第49号

目 次

特別報告

- 秋田県におけるネギの高品質生産システムに関する研究 1～ 41
加賀屋 博行
- 汎用水田におけるダイズ多収を目指した地下水位制御の研究42～ 90
村上 章
- DNAマーカー選抜を利用した効率的な水稻育種選抜システムの確立91～146
川本 朋彦
- アカヒゲホソミドリカスミカメの発生生態の解明と減農薬防除技術の確立に関する研究
.....147～180
新山 徳光

研究報告

- 大玉スイカ新品種‘あきた夏丸’の育成とその特性181～195
椿 信一・檜森 靖則・佐藤 孝夫

BULLETIN

OF

THE AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION,

AKITA PREFECTURAL AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES RESEARCH CENTER

No. 49 (March 2009)

CONTENTS

Special Reports

Hiroyuki KAGAYA

The Study of High Quality Production System of Japanese Bunching Onion (*Allium fistulosum* L.) in Akita Prefecture

..... 1~ 41

Shou MURAKAMI

Groundwater Level Control Scheme for a Higher Soybean Yield in Multi-purpose Paddy Fields

..... 42~ 90

Tomohiko KAWAMOTO

Establishment of Efficient Selection System Using DNA marker Assisted Selection for Rice Breeding

..... 91~146

Tokumitsu NIIYAMA

Studies on Ecology and Reduced Pesticide Control to Rice Leaf Bug, *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy)

..... 147~180

Original Reports

Nobuichi TSUBAKI, Yasunori HIMORI¹⁾ and Takao SATO

(¹⁾ Akita Agriculture Public Corporation)

Breeding of a New Watermelon Cultivar "Akita Natsumaru" and its Characteristics

..... 181~195

秋田県におけるネギの高品質生産システムに関する研究

加賀屋博行

抄 録

本研究は秋田県での新鮮なネギの周年生産・販売を目的とし、春どり栽培における抽だい抑制と夏どり栽培の安定生産による作型開発、秋冬栽培の長期出荷、さらには、秋冬型ネギ栽培での省力栽培として直播栽培技術の確立、生産されるネギの品質の安定性、施肥労力の省力などを課題として取り上げた。

得られた成果の主要なものは以下のようにまとめられる。

春どり栽培では、ハウス利用作型の播種期と適品種、抽だい抑制について検討した。供試品種のうち“長悦”の晩抽性を確認し、本畑定植後の暗期中断3時間及びトンネル被覆保温により、実用的には10日程度の抽だい抑制効果が得られた。抽だいの避けられないこの時期、10日間の抑制は大いに有益なものである。また、3月どりでは生育の早い品種“明彦”で、前年6月上旬露地播種、9月中旬ハウス定植により、 $200 \sim 300\text{kg}^2$ の収量が得られた。4月どりでは露地播種期が7月上旬、ハウス定植期9月下旬で、抽だいの極めて遅い“長悦”が抽だい前に 300kg^2 の収量が得られた。夏どり栽培に関しては、育苗法と適品種について検討した。その結果、7月どりは、前年の9月上旬の露地播種または10月中旬ハウス播種の越冬苗を4月下旬に露地定植することにより、良品の収穫が可能となること、8月どりは、2月中旬ハウス播種した苗の5月上旬露地定植により8月中旬に良品の収穫が可能となること、品種では、“吉蔵”、“長宝”、“明彦”が適し、さらにハウス越冬苗では“一文字黒昇り”、“永吉一本太”、“亀の助”が、ハウス1年苗では“金彦”が適正品種として挙げられた。露地越冬栽培では、抽だいが遅い“長悦”の小苗を10月上旬に定植し、小トンネル被覆によって越冬率を向上させ、抽だい発生を10%以下に抑制する技術を確認した。慣行秋冬栽培ネギの収穫後のハウス貯蔵に関して、貯蔵開始時のハウス土壌水分を30%程度にすることによって根部への簡単な土寄せだけで貯蔵中の減耗が抑制される実用的な簡易貯蔵法が開発された。

ネギの品質、特に食品として問題となる糖とアミノ酸含量の変動については、主要産地の能代市において生産されるネギの糖およびアミノ酸含量に対する土壌種（黒ボク土、砂土）や作型（夏どり、秋冬どり）の影響調査から、季節による変動および土壌による違いは大きくなく、比較的安定な組成・品質のネギが生産・出荷されていること、ネギの軟白部は緑葉部よりアミノ酸及び糖含量が高く、軟白部位がそれらの貯蔵組織として機能していること、アミノ酸含量が高いと糖含量が低下することを明らかにした。また、窒素の最終追肥後収穫までの日数が短いとアミノ酸含量が高くなり、逆に糖含量は低下し、最終追肥日から収穫時までの日数がアミノ酸含量に大きく影響することも判明した。

施肥法については、秋冬ネギの地床苗移植栽培において、肥効調節型肥料（被覆磷硝安加里 140 日タイプ N15kg + CDU - N 5 kg/a）の全量基肥全層施用で、慣行の化成肥料施用とほぼ同様な養分吸収経過と収量・品質が得られ、施肥窒素利用率の向上と減肥及び追肥の省略が可能であることを明らかにした。

キーワード：作型、周年生産、施肥法、土壌、ネギ、品質

目 次

抄録	1	栽培土壌の影響	9
緒論	2	第4章 施肥法の確立	12
第1章 ネギの春どり作型技術の確立	3	第5章 総合論議	18
第2章 ネギの夏どり作型技術の確立	5	謝辞	19
第3章 ネギの糖及びアミノ酸含量に対する作型及び		Abstract	20

本報告は、秋田県立大学大学院博士論文の一部を改編したものである。

緒 論

秋田県の農業は稲作依存度が高いため、米の価格下落による農業粗生産額や農業所得の減少が著しく、複合経営化への取り組みも進まず、資源としての水田の有効利用も十分には図られていない。そこで、本県では機械化・作型分化の進んだネギ、土地利用型のアスパラガス、集約的なハウレンソウを野菜のメジャー品目と位置づけ、事業等により一層の振興を図っている¹⁾。

中でもネギは古くから河川流域の沖積土壌や砂丘地の特産的作物として県内で栽培されてきたが、適地の減少や収穫・調製労力を多く要する等から作付け面積はほぼ横這いで約 500 ha で推移している。主な産地は能代市、大館市、鹿角市を中心とした県北地域と、にかほ市（金浦）を中心とした由利沿岸砂丘地帯となっている。ネギは栽培の土質をあまり選ばず、土壌適応性の幅も広く、栽培技術は一般化されており、全県的に技術基盤がある。また、定植や収穫・調製等の機械化が進み、省力生産と面積拡大が可能な作物となっている。

作型は本研究に着手した平成3年当時では秋冬どりが85%と大部分を占め、夏どり10%、春どりはわずか5%にすぎず、出荷は9月下旬から12月上旬に集中していた。しかしネギの需要は周年化の傾向にあり、品薄期の出荷を含めた周年生産による生産拡大と、市場の有利性、収益性の向上が要望されてきていた。

本研究はこのようなことを背景として、秋田県での新鮮なネギの周年生産・販売を目的として開始された。そのためには、春どり栽培における抽だい抑制と夏どり栽培の安定生産による作型開発、秋冬栽培の長期出荷、さらには生産されるネギの品質の安定性、施肥の省力化、秋冬ネギ栽培での省力栽培としての直播栽培技術の確立などを課題として取り上げた。

作型の開発については多くの県が試験研究を進めており、地域に応じた作型が設定されている²⁾。しかし、ネギは緑植物低温感応型の植物に属し、越冬後の抽だい発生のため、春から夏にかけての良品生産が困難であることから、生産量が少ない現状にある³⁾。

種々の試行錯誤を数年繰り返した後、夏どり栽培については7月どり、8月どりのための育苗法と生育、収量、品質の安定している適品種の選択、抽だいの遅い品種“長悦”を用いて、前年秋の定植による露地越冬作型の検討が重要な課題であることが判明した。また、春どり栽培については、ハウス利用作型での3月どり、4月どりの播種期と適品種、抽だい抑制が検討すべき課題であることが判明した。抽だいについては品種間差や温度、日長に関する多くの報告がなされているが⁴⁾、⁵⁾、⁶⁾、本報でも供試6品種の抽だいを明らかにし、同時に品種“長悦”でトンネル被覆保温による抽だい

抑制効果を検討した。さらに、慣行秋冬栽培ネギについては収穫後のハウス貯蔵技術の確立が課題であるとして、1、2月出荷のための貯蔵開始時のハウス土壌水分について検討した。

10年余にわたる試行錯誤の結果、北東北日本海地域に位置する本県において、これらの新作型の開発により、ハウス利用の冬春どりから、ハウス育苗の夏どり、露地越冬夏どり、秋冬どり・貯蔵出荷と周年生産が可能となった。

秋田県のネギ生産現場では既に本論文で確立された技術の一部が実用化され、この技術を生かすための機械化も進み、価格の高い夏どり及び春どりの系統販売向け栽培面積が、平成3年に15%であったものが平成11年に30%、平成14年には42%、86haに増加した。

本論文は5章からなる。第1章と第2章においては、周年栽培・生産のための、春どり作型技術（第1章）と夏どり作型技術（第2章）の開発について何年かの試行錯誤あとの結論的な試験結果について述べ、第3章においてはネギの品質に関わる成分の変動についての試験結果、そして、第4章においては主要な作型である秋冬ネギ栽培及び夏どり栽培及び省力型栽培である直播型栽培における施肥法、特に、新肥料を用いた省力的な施肥技術の開発に関する試験結果を記した。なお、春どり栽培については施肥という観点から特に大きな問題はないので改めて検討はしなかった。以上の各章の成果をまとめて、第5章総論においては、本論文によって確立された秋田県における施肥技術を含めたネギの周年栽培・生産技術とそれによる秋田県でのネギ生産状況の変化と今後の課題について議論している。なお、数値の単位については、本文中はSI単位を用いたが、図表中は生産現場で用いられている一般の単位で表示した。

引用文献

- 1) 秋田県農政部農産園芸課：農産園芸の概要（2001）
- 2) 農水省野菜・茶業試験場：課題別研究会 ネギ生産の現状と今後の方向（1998）
- 3) 八鍬利夫：農業技術大系野菜編，ネギ基礎編，農文協（1973）
- 4) 高橋春實・高橋東・高井隆次：ネギ品種の越冬性および抽台に関する一試験，園学東北支部平成8年度研究発表要旨，55-56。（1996）
- 5) 山崎篤・田中和夫・中島規子：高昼温によるネギの脱春化誘導に及ぼす日長の影響，園学東北支部平成14年度研究発表要旨，29-30。（2002）
- 6) Yamasaki,A.,K.Tanaka and H.Miura：Effects of Day and Night Temperatures on Flower-bud Formation and Bolting of Japanese Bunching Onion(*Allium fistulosum*

L.). J.Japan.Soc.Hort.Sci.69:40-46. (1977)

第1章 ネギの春どり作型技術の確立

1. はじめに

緒論で述べたように、10年余にわたる試行錯誤の結果、北東北日本海地域に位置する本県において、ハウス利用の冬春どりから、ハウス育苗の夏どり、露地越冬夏どり、秋冬どり・貯蔵出荷と周年生産が可能となった。本章においては新作型開発のうちの春どり栽培について述べる。秋田県におけるネギの春どり作型については、これまでなんらのデータもなかったので他県での研究を参考にして、本県での問題点を明らかにし、その問題点を克服するための適品種の選択から研究を開始した。即ちこれまでの春どり作型の研究においては抽だい抑制が大きな課題として提示されていた¹⁾。低温誘導型の短日植物の現地栽培における抽だいの抑制には、地域の気象特性が問題であるので、秋田で春どり作型を確立するには、品種、温度管理、夜間の暗期中断時間を明瞭にする必要があるが、このような研究は、秋田を含む北東北には本試験の開始時にはなかった。そこで、ハウス栽培による品種の選択と生育・環境条件の選択が、薬剤等を使用しない消費動向に合う抽だい抑制対策と考えられた。

2. 材料及び方法

(1) ハウス利用による春どり栽培

1992～1994年に秋田農試内細粒灰色低地土圃場で育苗を、栽培は792 m²ファイロンハウスで行った。1992年は品種“元蔵”、“東京夏黒2号”、“明彦”を用い、6月4日播種の露地地床育苗で9月17日にハウスに定植した。1993年は品種“元蔵”、“東京夏黒2号”、“明彦”、“長悦”、“長宝”、“吉蔵”を用い、7月5日播種の露地地床育苗で9月22日にハウス定植した。育苗は畝幅90 cm、条間10 cmの条播とし、施肥量はm²当たり基肥N(尿素使用)、P₂O₅(リン酸カリ使用)、K₂O(塩化カリ+リン酸カリ使用)各10 g、苦土石灰100 g、ようりん50 g、稲わら堆肥1,000 gとした。本畑は畝幅90 cm、株間3 cmで定植し、施肥は前作残存養分を利用した。92年作付け前ECは上層1.13、下層0.95 mS cm⁻¹、pH(H₂O)は上層7.4、下層7.0、2作後の1994年収穫後は上層EC 0.65 mS cm⁻¹、pH(H₂O) 6.4であった。

調査は抽だい発生状況と収穫期の生育・収量について行った。

(2) 抽だい抑制

1996年に秋田農試330 m²ファイロンハウス(細粒

灰色低地土)で品種“長悦”を供試して、暗期中断(電照)と保温による抽だい抑制試験を行った。育苗は128穴プラスチックセルに培土(ニッピー良菜培土)を充填し8月26日に播種した。この際、培土に超微粒肥効調節型肥料のマイクロロングトータル201を2g L⁻¹の割合で混合した。定植は10月15日に行い、電照方法と保温方法について試験区を設定した。電照方法については暗期中断3時間(22時～1時、100 W/区、地上高1 m、白熱灯)とし、中断期間を①11月5日～2月25日(113日)、②11月5日～1月16日(73日)、③11月5日～12月6日(32日)、④無電照の4区に設定し、畝幅45 cm、株間9 cmで定植した。ネギ基部の軟白化は銀黒フィルムを巻いて日光を遮断する銀黒フィルム軟白を行った。1区面積11.25 m²、単区制。保温効果については①ポリフィルム被覆(保温区)(11月8日～5月7日、トンネル状、日中高温時には被覆上部で換気)、②無被覆(対照区)の2区を設定し、床幅1 m、条間20 cm、株間10 cmで定植した。ネギ基部の軟白化は条間にセットした直径20 cmの黒色ポリチューブに通風するチューブ軟白を行った。調査は気温、抽だい発生状況、軟白開始時の生育について行った。1区面積10 m²、単区制。

3. 結果

(1) ハウス利用による春どり栽培

定植苗(9月17日)の大きさが茎径(苗の太さ)8.0～10.5 mm、全長63～76 cm、1本重22～30 gで、育苗日数105日の大苗を用いたことから(表1-1)、定植123日後の1993年1月18日には全長80～90 cm、葉鞘長35 cm前後、1本重90～100 gまで生育し、調製1本重80～90 gで、調製歩留まりも80～90%と高く、収穫可能な大きさとなった(表1-2)。

その後52日の3月11日には、“明彦”、“元蔵”の1本重は増加したが、1月と比べやや低くなっており、調製1本重が増加したのは“明彦”だけで、収量は“明彦”が最も多く2.85 kg m⁻²であった。4月に入ると供試3品種とも抽だいが始まり、4月8日の1本重は“元蔵”、“東京夏黒2号”の増加が著しく、“明彦”は停滞ぎみとなった。未抽だい株の収量は“元蔵”、“東京夏黒2号”が約3.0 kg m⁻²と増加したが、“明彦”の3月の収量とほぼ同じであった(表1-3)。

前年より播種期が1ヶ月遅い1993年度は1994年4月に入り抽だいが始まったので4月14日に収穫調査した。1本重は“長悦”、“長宝”、“明彦”が100 g以上で、未抽だい株の収量は“長悦”が最も多く2.72 kg m⁻²となり、太さは“長悦”、“長宝”が比較的優れた(表1-4)。

図1-1にこの時の抽だい発生状況を示した。4月14日には“長悦”以外の5品種は抽だいが始まったが、“長悦”は約1ヶ月遅い5月9日でも抽だい発生率が2.8

%と低く、抽だいの発生が極めて遅い品種特性がみられた。次に抽だいの遅い品種は“元蔵”で、“明彦”と“長宝”は同じタイプ、“東京夏黒2号”と“吉蔵”が同タイプに分類され、いずれも抽だいの発生が早い品種とみられた。

また、10月上旬から3月上旬までの温度経過を図1-2に示した。期間中の平均気温は0℃以下に遭遇することがなく、最低気温は12月下旬から3月上旬まで0℃～-3℃に低下したが凍害はみられなかった。平均気温が生育適温下限の15℃を下回ったのは11月中旬からで、軟白適温下限の5℃を下回ったのは12月中旬から2月中旬までであり、この温度条件下では特にハウス内の被覆がなくても約3 kg m²の収量が得られた。

(2) 抽だい抑制

電照期間による抽だいの発生状況を表1-5に示した。抽だいは5月に入ってからみられたが、電照した区はいずれも発生が遅かった。5月20日には大量に発生し、④無電照区で50%を越えたが、11月～2月の113日電照の①区では22%と抽だいが抑制された。11月～1月の73日電照の②区と11月～12月の32日電照の③では34%前後で両区に差がなかった。その後抽だいが進んだが区間の傾向は同様で、6月18日には④無電照区の80%に対し、電照各区は60%前後であった。5月8日の軟白開始時の生育は電照区、無電照区とも1本重が100g前後で差がなかった(表1-6)。

保温による抽だいの発生状況は表1-5に示した。被覆により抽だいの発生が抑制され、無被覆区の1/2以下の発生率で経過した(表1-5)。5月8日の軟白開始時の生育は、全長、葉数、葉鞘長に区間の差はほとんどないが、被覆区の1本重及び太さが無被覆区よりやや劣っていた(表1-6)。被覆区の温度経過は、無被覆区と比べ平均気温で0.8～1.3℃、最高気温で0.7～1.4℃、最低気温で1.2～1.7℃高く推移した。1月中旬から2月中旬までの厳寒期には最低気温で1.2℃、最高気温で0.7℃、平均気温で0.8℃高かった(表1-7)。

4. 考察

(1) ハウス利用による春どり栽培

実施2カ年ともハウスへの定植は9月中・下旬としたが、1992年が露地育苗日数105日の大苗、次年度が露地育苗日数72日の普通苗を使用したところ、大苗は生育が進み1月下旬から収穫となったが、普通苗は4月に入ってから収穫となった。抽だいはいずれも4月に入ってから発生が見られた。このことから、生育の早い品種を用いて大苗を定植し、抽だい発生前

に生育を進めると、1月収穫が可能であることが明らかになった。普通苗の場合は収穫可能な大きさになるのが4月以降のため、抽だいの遅い品種を使用する必要があった。供試品種間では“長悦”の抽だい発生が5月に入からと最も遅く、その後の発生率も低く、この作型での利用に適していた。したがって、ハウス春どり栽培の2～3月どりでは、露地播種期が6月上旬、ハウス定植期が9月中旬、品種は生育の早い“明彦”が適し、4月どりでは露地播種期が7月上旬、ハウス定植が9月下旬、品種は抽だいの遅い“長悦”が適することが明らかになった。この作型は水稻育苗ハウスの前利用や野菜雨よけハウスの後利用としての導入が可能で、冬期間のハウスの有効利用が図られる。

(2) 抽だい抑制

ネギの抽だい抑制について、高橋ら²⁾は播種期が遅いほど花芽の発育が遅く、抽だいても遅延する傾向にあること、また晩抽群のほかにも千住群品種の中にも“長悦”のように越冬性は劣るが晩抽性を示す品種が存在することを確認している。山崎ら^{1), 3)}はネギの場合、昼間の高温は花芽分化を抑制する効果があり、また抽だいに対する長日の抑制効果は低温制御によって高まるとしている。本実験では、“長悦”の抽だい抑制について長日と保温効果を個別に検討したものである。日長についてはハウス定植・活着後の11月5日からの暗期中断3時間で、5月8日には無電照の抽だい率16%に対し1.1～2.8%と明らかに抽だい抑制効果が認められた。無電照の抽だい率が50%を越える5月20日でも22.2～34.9%で電照期間では113日、73日、32日の順に抽だい抑制効果が高かった。山崎ら³⁾は久留米にて12月20日の定植日から16時間日長処理とトンネル密閉処理を開始し、日長処理は4月14日に、トンネル処理は4月7日に終了し、6月21日の栽培終了時の抽だい発生率は、中生品種の“金長”で無処理96%に対し、トンネル+長日処理が24%、トンネル被覆処理62%で、長日処理は無処理に近いとしている。晩生品種の“長悦”では、無処理で抽だい発生率が15%、トンネル+長日処理では発生がみられず、それぞれの単独処理でも抽だい抑制効果が高く、長日処理効果は品種によって異なるとしている。“長悦”を供試した本実験は平均気温1.9～9.0℃で、山崎らの栽培条件と比べ低温での栽培であることから、山崎らの結果ほど顕著ではないが、同様な電照効果がみられた。被覆についても蒸れ防止のため日中換気を図ったことから最高気温が8.0～19.3℃と山崎らの栽培条件より低い、抽だい抑制効果がみられた。この作型は暖地では温度を確保できることから、脱春化に日長の関与が強く現れているが、積雪寒冷地でも日長処理あるいはトンネル被覆により抽だいが抑制されることが明らかになった。しかし、5月中旬以降高率で抽だい

してくることから、本作型では実用的な抽だい発生を 20 % とすると 2 週間、50 % とすると 1 ヶ月程度の抽だい抑制効果とみられた。

以上のことから、ネギの端境期である春どりを目標とする場合、露地播種期が 6 月上旬の地床育苗の大苗で、ハウス定植期が 9 月中旬、品種は生育の早い“明彦”を用いると 1～3 月収穫が可能となる。4～5 月どりでは露地播種期が 7 月上旬、ハウス定植が 9 月下旬、品種は抽だいの遅い“長悦”を用い、さらに定植後からの 3 ヶ月間の電照（暗期中断 3 時間）あるいは約 4 ヶ月間のトンネル被覆を行うことにより抽だいの発生が 2 週間程度抑制されることが明らかとなり、端境期である 5 月の生産期間が 2 週間程度延長可能となる意義は極めて大きいと考えられる。

5. 要約

春どり栽培では、ハウス利用作型の播種期と適品種、抽だい抑制について検討した。供試 6 品種の抽だい性を明らかにし、“長悦”の晩抽性を認め、本畑定植後の暗期中断 3 時間及びトンネル被覆保温により、実用的には 10 日程度の抽だい抑制効果が得られた。3 月どりでは前年 6 月上旬露地播種、9 月中旬ハウス定植により、生育が旺盛な品種“明彦”で抽だい前に 2～3 kg m² の収量が得られた。4 月どりでは露地播種期が 7 月上旬、ハウス定植期 9 月下旬で、抽だいの極めて遅い“長悦”が抽だい前に 3 kg m² の収量が得られた。この作型は、水稻育苗ハウスの前利用や野菜専用ハウスの後利用として導入が可能で、冬期間のハウス利用促進が期待される。

6. 引用文献

- 1) Yamasaki, A., K. Tanaka and H. Miura : Effects of Day and Night Temperatures on Flower-bud Formation and Bolting of Japanese Bunching Onion (*Allium fistulosum* L.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 69:40-46. (1977)
- 2) 高橋春實・高橋東・高井隆次：ネギ品種の越冬性および抽台に関する一試験，園学東北支部平成 8 年度研究発表要旨，55-56. (1996)
- 3) 山崎篤・田中和夫・中島規子：高昼温によるネギの脱春化誘導に及ぼす日長の影響，園学東北支部平成 14 年度研究発表要旨，29-30. (2002)

第 2 章 ネギの夏どり作型技術の確立

1. はじめに

前章で述べたように、秋田県では農業振興策の一環としてネギ栽培の拡大と生産性の向上を図っている

1)。

本章では夏どり栽培を中心とし、さらに、秋冬栽培ネギの長期出荷を目的としたハウス貯蔵技術についての研究成果を述べる。種々の試行錯誤を数年繰り返した後、夏どり栽培については 7 月どり、8 月どりのための育苗法と生育、収量、品質の安定している適品種の選択と抽だいの遅い品種“長悦”を用いて、前年秋の定植による露地越冬作型の検討が重要な課題であることが判明し、本研究で検討した。さらに、1 月、2 月の新鮮ネギの出荷に向けては、慣行秋冬栽培ネギの収穫後のハウス長期簡易貯蔵技術の確立が課題と考え、貯蔵開始時のハウス土壌水分について検討した。

2. 材料及び方法

夏どり作型については、良品生産のための作型が不安定であることから播種期、定植期などの育苗方法と適品種の選択、前年定植の場合の越冬率の向上と抽だい抑制が可能な露地越冬方法が問題点であった。冬どり作型では、積雪下での収穫が困難なことから、秋冬どり作型で年内に生産されたネギの減耗及び内容成分の変化を抑制して品質を損なうことのない冬期のハウス簡易貯蔵方法が求められていた。これらの解決方法を明らかにするために以下の実験を行った。

(1) 育苗法と適品種

試験は 1990～1992 年に秋田農試内細粒灰色低地土圃場で行った。試験区は育苗方法として①露地越冬育苗（播種期'91.9.4、定植期'92.4.27、収穫期 7.29）、②ハウス越冬育苗（播種期'90.10.16、定植期'91.4.24、収穫期 7.22）、③ハウス育苗（播種期'92.2.9、定植期 5.7、収穫期 8.18）の 3 区を設定し、品種については県内で一般に栽培されている“吉蔵”他 18 品種（表 2-1～表 2-3）を供試した。

育苗は畝幅 90 cm の地床に条間 10 cm の条播とし、施肥量は m² 当たり基肥 N、P₂O₅、K₂O 各 10 g（硫加燐安 11 号）、苦土石灰 100 g、ようりん 50 g、稲わら堆肥 1,000 g とした。本畑は畝幅 100 cm、株間 3 cm に植え付け、施肥量は m² 当たり基肥 N、P₂O₅、K₂O 各 10 g（硫加燐安 11 号）、苦土石灰 100 g、ようりん 50 g、稲わら堆肥 1,000 g、追肥は N、K₂O 各 10 g を定植後 20～25 日間隔で 3 回に分施した。本畑試験規模は 1 区 20 m² 単区制で行った。

調査は各区の定植期苗の生育、抽だい状況、収穫期の生育、収量、品質について行った。

(2) 小トンネル被覆による露地越冬栽培

試験は 2000～2001 年に秋田農試内黒ボク圃場で行った。試験区は播種期を 8 月 15 日、9 月 6 日の 2 水準とし、それぞれについて育苗方法をチェーンポット

育苗 (CP303)、セルトレイ育苗 (128 穴) の 2 水準、越冬方法を無被覆、小トンネル被覆の 2 水準とし、対照として 9 月 6 日播種の育苗 2 水準 (チェーンポット育苗、セルトレイ育苗) について、それぞれをハウス越冬育苗した区をもうけた。定植は露地越冬区では 10 月 13 日に、ハウス越冬区は 4 月 9 日に露地に行った。品種は“長悦”を供試し、畝幅 1.2 m、株間 2.5 cm (チェーンポット苗)、3 cm (セル苗) で植え付け、施肥量は m^2 当たり基肥 N、 P_2O_5 、 K_2O 各 10 g、苦土石灰 200 g、ようりん 100 g、牛糞堆肥 1,000 g、追肥は N 15、 P_2O_5 4、 K_2O 15 g をトンネル除去後 25 日間隔で 4 回に分施した。本畑試験規模は 1 区 10.8 m^2 、3 連で行った。小トンネル資材はビニールフィルムを用い 12 月 4 日に被覆を開始し、4 月に入り徐々に穴あけ換気を行い 4 月 18 日に除去した。

調査は越冬前の生育、越冬率、抽だい発生率、収穫期生育・収量について行った。

(3) 慣行秋冬ネギのハウス貯蔵による 1、2 月出荷試験は 1994 年に秋田農試細粒灰色低地土圃場で品種“吉蔵”を供試して行った。育苗は 4 月 22 日に畝幅 100 cm の地床に条間 10 cm の条播とし、施肥量は m^2 当たり基肥 N、 P_2O_5 、 K_2O 各 10 g、苦土石灰 100 g、ようりん 50 g、稲わら堆肥 1,000 g とした。本畑は 7 月 15 日に畝幅 90 cm、株間 3 cm で定植し、施肥量は m^2 当たり基肥 N、 P_2O_5 各 10 g、 K_2O 7 g、苦土石灰 100 g、ようりん 50 g、稲わら堆肥 1,000 g、追肥は N 10 g、 P_2O_5 2.5 g、 K_2O 10 g を 20～30 日間隔で 3 回に分施した。

貯蔵は 100 m^2 のパイプハウスで実施し、試験区は①基部土寄せ・土壌水分少区 (13.5 %)、②溝伏せ込み・土壌水分少区、③基部土寄せ・土壌水分多区 (27.1 %) の 3 区を設定した。貯蔵開始時の水分設定は土壌水分多区では灌水 1 日後の土壌水分を測定した。土壌水分少区は無灌水で測定した。貯蔵は 1 束 5 kg とし、条間 60 cm に立てて並べ、不織布 (パスライト) 一重被覆を行った。基部土寄せ区は根元が覆われる程度に土寄せし、溝貯蔵区は分岐部までの深さの溝に入れ土を戻した。貯蔵開始日は 11 月 25 日と 12 月 12 日の 2 段階を設定した。1 区 5 束、単区制。

調査は貯蔵期間中の気温、貯蔵開始時及び出荷時 (1 月 31 日、2 月 27 日) のネギの水分、硬度、糖度、無機成分を測定した。

3. 結果

(1) 育苗法と適品種

①露地越冬苗による 7 月どり

9 月 4 日播種露地苗の定植時 (4 月 27 日、育苗日数 236 日) の生育は、草丈 20～30 cm といずれも定植に適する苗で、“十国”、“東京冬黒”で良苗が多かつ

た。抽だい始めは定植後 23 日の 5 月 20 日で、抽だい発生率は“吉蔵”、“長宝”、“明彦”、“東京夏黒 2 号”、“東京冬黒”が低く、その後も“吉蔵”、“明彦”は発生が遅かった (表 2-1)。表 2-2 に収量、品質を示した。

収穫期は本畑生育日数 93 日後の 7 月 29 日となり、株間 3.4～5 cm と植え付け本数に若干のばらつきがあったが、“吉蔵”、“長宝”、“明彦”は収量、1 本重が勝り、太さが揃い、病虫害の発生も少なかった。“東京夏黒 2 号”は収量及び 1 本重が勝り、“一文字黒昇り”は一本重が勝り、“東京冬黒”は太さが揃っていた。いずれの品種も病虫害の発生はほとんどなく、品質も良く、総合では“吉蔵”、“明彦”は収量性が優れ、抽だい発生率も低いことから本作型に適した。

②ハウス越冬苗による 7 月どり

10 月 16 日播種のハウス越冬苗は露地苗より越冬率が良く、定植時 (4 月 24 日、育苗日数 191 日) の苗の生育が、草丈 50～80 cm、茎径 8～10 mm、葉数 3～4 枚、1 本重 20～39 g と大苗であった。定植時の抽だいは在来種の“亀の助”を除いては見られず、“KA-204”、“東京夏黒 2 号”、“長宝”、“一文字黒昇り”は草丈、茎径、葉数、生体重が勝り、低温伸長性に優れていた (表 2-3)。収穫期は本畑生育日数 89 日後の 7 月 22 日で、1 本重 100 g 前後 (株間 2.4～3.7 cm) となり、“長宝”、“永吉 1 本太”、“一文字黒昇り”、“えびす”は収量が勝り、太さも揃っていた。“明彦”、“吉蔵 2 号”、“東京夏黒 2 号”、“余目一本太”、“KA-204”、“亀の助”は収量が勝り、“聖冬一本太”は生育揃いが良かった。病虫害の発生は、“長宝”、“明彦”、“東京夏黒 2 号”、“東京冬黒”、“亀の助”が少なかった。品質は光沢で“十国”が、しまりでは“明彦”、“聖冬一本太”、“東京冬黒”が優れた。“長宝”、“永吉一本太”、“一文字黒昇り”、“えびす”、“亀の助”は柔らかさ食味が優れていた (表 2-4)。総合では“吉蔵”、“明彦”が本作型に適し、“一文字黒昇り”、“永吉一本太”、“亀の助”が有望であった。

③ハウス 1 年苗による 8 月どり

2 月 9 日播種ハウス 1 年苗の定植時 (5 月 7 日、育苗日数 88 日) の生育は、草丈 34～43 cm、葉数 4 枚を確保したが、茎径が 3.7～4.7 mm と細く、1 本重は 2.2～2.8 g と小さかった。定植後の生育は“明彦”、“吉蔵”、“金彦”が勝り、抽だいはいずれの品種も収穫までみられなかった (表 2-5)。収穫期は本畑生育日数 103 日後の 8 月 18 日となった。株間は 3.5～4.6 cm であったが、“吉蔵”、“長宝”、“明彦”、“金彦”は収量、1 本重が勝り太さの揃いも良好であった。病虫害は発生が少なく、品質は“吉蔵”が最も優れたが他の品種も特に劣るものはなく (表 2-6)、4 品種とも本作型に適した。

(2) 小トンネル被覆による露地越冬栽培

8月15日に播種したチェーンポット苗及びセル苗を、10月13日に露地に定植して、越冬後の4月23日の越冬株率を調査した。両育苗ともトンネル被覆により越冬率が向上し、セル苗では無被覆区の60%に対し被覆で93%に、チェーンポット苗では無被覆区30%が被覆によって78%と高まった。9月6日播種苗においても同様に、セル苗の越冬率が高く、被覆により越冬率が向上したが、8月15日播種よりやや低かった(図2-1)。

越冬前の生育(12月4日)は播種期が早いほど、育苗方法の違いでは育苗培土の量が多いほど大きい傾向が見られ、セル苗区の生育が最も大きかった(表2-7)。

抽だいの発生は両播種期とも被覆の有無にかかわらず5月23日頃から始まり、苗質では育苗培土量が多く生育の大きいセル苗区が良好であったが、最大でも10%未満と低く、いずれも6月26日以降は新たな抽だいは発生しなかった。また、4月9日に定植したハウス越冬苗は抽だいは全く見られなかった(表2-8)。

越冬後の小トンネル区の生育は、6月までは播種期により差がみられ、8月15日播種が9月6日播種よりも早かったが、7月下旬には播種期による差はほとんどなくなった。育苗方法では両播種期ともセル苗区の生育がチェーンポット苗区より明らかに大きく、特に8月15日播種セル苗区は6月末には一本重100gを越えていた。7月下旬にはいずれも一本重100g以上、軟白長25cm前後となり収穫期を迎えた(表2-9)。

収量は小トンネル区、無被覆区はハウス越冬苗区より収穫期が約20日早まり、セル苗区、チェーンポット苗区とも8月上旬に収穫調査をした。小トンネル区は無被覆区と比べ越冬率が高いことから安定した収量が得られ、両播種期ともセル苗区で3kg/m²、チェーンポット苗区で2.5kg/m²で無被覆区の各1kg/m²未満を大きく上回った。ハウス越冬苗区は収穫期が8月下旬となり、セル苗区、チェーンポット苗区とも3kg/m²の収量となった(図2-2)。

(3) 慣行秋冬ネギのハウス貯蔵による1, 2月出荷

ビニールハウスに貯蔵中の被覆(パスライト)内温度は、最低気温が1月末から低下し0℃以下となり、2月上旬に一時-8℃付近の最低温度を記録したが、この温度条件でも凍害は見られなかった。最高気温が高いことから、平均気温は2月6日を除き0℃以下になることはなく、12月以降はほぼ5℃前後で経過した(図2-3)。

貯蔵中のネギの減耗率は土寄せ方法と貯蔵開始時の土壌水分の違いによって差が見られ、11月貯蔵では貯蔵66日後の1月30日で、溝伏せ込み・土壌水分少

区(以下、溝伏せ込み区)が最も減耗が少なく、次いで基部土寄せ・土壌水分多区(以下、土壌水分多区)であった。貯蔵94日後の2月27日でも区間の傾向はほぼ同様であった。12月貯蔵についても11月貯蔵とほぼ同様な傾向であったが、11月貯蔵ほど区間差が大きくなかった(データ省略)。

貯蔵によるネギ調製重(葉を3枚に調製)の推移は、貯蔵開始時を100とすると、1月、2月とも溝伏せ込み区と土壌水分多区は減少が小さく、11月貯蔵は1月30日で開始時調製重の80%、2月27日で60%、12月貯蔵ではそれぞれ90%、70%の調製重が得られた(データ省略)。

調製物の品質について、水分の低下は11月貯蔵では溝伏せ込み区と土壌水分多区が極めて少なかった。12月貯蔵も同様の傾向にあったが11月貯蔵と比べ区間の差が小さかった(図2-4)。硬さ(円錐貫入抵抗、軟白部の中央に外側から貫入)は貯蔵により全体に上昇したが、11月貯蔵では2月に入ってから基部土寄せ・土壌水分少区(以下、土壌水分少区)の上昇が著しかった。12月貯蔵では傾向が明らかでなかった(図2-5)。

糖度(Brix値)は全体に上昇し、特に土壌水分少区の上昇が著しかった(図2-6)。図2-7～11に貯蔵中のネギの調製物の養分濃度を示した。窒素(N)は11月貯蔵、12月貯蔵とも上昇の傾向にあったが、11月貯蔵では貯蔵期間が長くなると土壌水分少区は低下した。12月貯蔵は11月貯蔵に比べ貯蔵開始時から低濃度であった。カリ(K)はNとほぼ同様な傾向で推移し、溝伏せ込み区と土壌水分多区はともに上昇した。リン(P)は11月貯蔵で0.5～0.6%と変化は少ないが、貯蔵開始時の濃度の低い12月貯蔵では上昇の傾向が見られた。両貯蔵時とも土壌水分少区は貯蔵期間が長くなると低下した。カルシウム(Ca)は各処理とも低下し区間の差は明らかでなかったが、11月収穫と比べ12月収穫は低濃度であった。マグネシウム(Mg)は0.3%前後の濃度でCaと同様な傾向で推移した。貯蔵中の病害の発生は特になく、区間差も見られなかった。

4. 考察

(1) 育苗法と適品種

① 露地越冬苗による7月どり

ここでは前年秋に露地に播種した越冬育苗において適品種の検討を行ったが、この作型では抽だいの発生が大きな問題となる。抽だいの発生については多くの報告^{2), 3), 4), 5)}があり、ネギは緑植物春化型の花芽分化特性もつ植物に分類されている⁷⁾。これまで自然条件下での低温感応時の植物体の大きさや品種間差が調査され⁸⁾、第1章でも示されたように品種によって異なるが、一般には低温感応し花芽分化しうる大きさは、

葉鞘径5mm以上とされている。感応温度、日長、時間に関しては山崎ら⁶⁾が“金長”、“浅黄九条”、“長悦”について明らかにしている。本実験では越冬前の生育が大きいと越冬するが抽だいし、小さいと抽だいたないが越冬が難しく、生育も遅くなることから、露地の播種期を9月上旬に設定し、適品種を選定した。供試7品種中、“一文字黒昇り”“除きいずれも定植時には適苗が得られ、中でも“十国”、“東京冬黒”は千住群・黒柄系の中でも良苗が多いことから比較的越冬性が良いことが判った。抽だいの発生については、本実験後に本間ら⁹⁾が新潟県において本実験と同様な作型で詳細にしており、“東京夏黒2号”、“元蔵”、“長悦”で、越冬期間中に花芽が分化する1次抽だいは5月下旬までに発生し、越冬後花芽が分化する2次抽だいは6月に発生することを明らかにしている。本実験では“吉蔵”、“長宝”、“明彦”、“東京夏黒2号”は1次抽だい株率が10%台と低いが、“長宝”、“東京夏黒2号”は2次抽だい株率が30%と高まるのに対し、“吉蔵”、“明彦”は20%未満であり、この作型では2次抽だいても少ないことを明らかにした。“吉蔵”、“明彦”は30%程度の抽だい発生率ではあるが7月に良品収量が確保できることから、本作型では実用的な品種と考えられる。第1章のハウス春どり栽培は、7月上旬露地播種の地床育苗の苗を9月下旬にハウスに定植する作型のため、定植後も生育が進み、緑植物の状態で低温期に入り、低温感応して抽だいの発生が早くなり4月に入ると抽だいが始まる。一方、本章の露地越冬苗の利用は、9月上旬播種、4月下旬定植の作型で、小苗で低温期に入るため、抽だい発生が5月下旬と遅くなったと考えられる。

②ハウス越冬苗による7月どり

前項の露地越冬苗の利用では収穫期が7月末となったが、収穫期をより早めるために、ハウス越冬苗を利用して適品種の検討を行った。露地越冬苗の播種期より約40日遅い10月中旬播種であったが、越冬後生育が旺盛となり、定植期の4月下旬では供試15品種とも草丈50~70cm、茎径8~10mmとかなりの大苗となったことから、より早い時期の定植が可能とみられた。抽だいの見られた在来品種の“亀の助”は、供試品種中唯一加賀群に分類される、抽だいしやすい系統の特徴が現れたと考えられた。収穫期は露地越冬苗と比べ約1週間早い7月中旬となることから、ハウス越冬苗は露地越冬苗と比べ抽だいが回避されると同時に翌春定植期までの生育が促進されることから、収穫期の前進化が図られることが明らかになった。また、品種については抽だいが回避されることと、良品収穫が可能であることから、“吉蔵”、“明彦”、“長宝”が適すると考えられた。

?ハウス1年苗による8月どり

本県の慣行露地ネギ栽培は、4月下旬に露地で育苗した苗を初夏に定植し、11月に収穫する作型である。夏どりをねらう場合は、露地に定植できる4月下旬頃までに定植苗を仕上げる必要があり、抽だいの懸念のある越冬苗を用いず、ハウス内で2月上旬播種の加温育苗により、定植苗が得られることが判った。この作型では苗がやや小さいことから、定植後から収穫まで生育日数を100日位は必要とし、8月中旬となることが判った。品種ではハウス越冬苗と同様で“吉蔵”、“明彦”、“長宝”が適するが、さらに、これに生育の早い“金彦”も加えられる。定植期が越冬苗利用とほぼ同じことから、定植後の生育、収量から見ると同様な品種となるのであろう。

(2) 小トンネル被覆による露地越冬栽培

小トンネル被覆による露地越冬栽培は前年の秋に育苗、定植されることから、農繁期の春の育苗、定植が避けられ、安定的な生産が得られれば労力的に有利で導入されやすい作型である。西南暖地や関東など降雪のほとんどない地域では試験が先行しており¹¹⁾、農家での作付けも見られるが、積雪寒冷地ではまだ実用化されていなかった。本試験では、積雪寒冷地でも関東¹²⁾同様、小トンネル被覆によりネギの越冬率が大幅に向上することが確認された。苗質では育苗時の培土量が多く生育が大きい苗で越冬率が高まり、生育も旺盛となることが判った。また、苗が大きい場合は抽だい発生が懸念されるが、品種“長悦”の59日育苗したセル苗では10%未満と低く実用上は問題がないものであった。従って、品種“長悦”の8月中旬播種、2ヶ月育苗のセル苗を用い、降雪前の12月上旬から小トンネル(ビニール)被覆し、4月に入ってから徐々に穴あけ換気を行い、4月中旬にトンネルを撤去し、その後は一般管理を実施すると8月上旬に3kg m²の良品収量が得られることが明らかとなった。今後は小トンネルに代わる簡易で効果的な被覆方法の開発が待たれる。

(3) 慣行秋冬ネギのハウス貯蔵による1, 2月出荷

試験年は最低気温が1月末から大きく低下し0℃以下となり、2月上旬に一時-8℃まで下がったが、ネギには凍害が見られず、貯蔵開始の11月25日以降徐々に温度が低下したことによって低温順化していたと考えられる。田村¹⁰⁾により、当該地域ではハウレンソウ、コマツナにおいて低温順化が確認されていることから、ネギについても同様に低温順化したものと思われた。調製したネギの内容成分では、糖度(Brix値)は貯蔵中に高まり、特に土壌水分が少ない場合に高いのは、ネギ水分の低下が著しいため、一種の水ストレス効果により汁液の糖濃度が高まると考えられた。窒

素濃度は11月、12月貯蔵とも上昇の傾向にあるが、11月貯蔵では貯蔵期間が長くなると、土壌水分が少ない場合に低下した。これは窒素成分が貯蔵中に外葉から中心葉へ移行し、外葉を除いた調製物の濃度は上昇するが、土壌水分が少ない場合は貯蔵期間が長くなるために消費が多くなり低下したものと考えられた。カリは窒素とほぼ同様の傾向であった。カルシウムは植物体内で比較的動きにくい成分であるが、貯蔵期間が長くなると低下が著しくなった。マグネシウムはカルシウムとほぼ同様な動きが認められたが低下の幅は小さかった。

前章及び本章での新作型の開発にあわせてセル育苗、チェーンポット育苗・ひっぱりくん、移植、収穫・調製の機械化が進んだことや、県の積極的な介入によって作型分化が進み、施設利用の冬春どり（第1章）から、ハウス育苗の夏どり、露地越冬夏どり、秋冬どりと周年生産がほぼ可能となった（図 2-12）。

その結果、特に夏ネギの系統販売向け作付け面積が平成3年度の10%から、平成11年度は30%、平成14年度は42%まで増加している。平成14年の系統出荷は夏ネギ販売向け面積86 ha、1,396 t、347百万円、秋冬ネギ販売向け面積124 ha、2,638 t、570百万円で、合計4,034 t、917百万円となっている。この値は平成11年度の夏ネギの50 ha、920 t、143百万円、合計の3,758 t、650百万円と比べても大幅に増加している。

5. 要約

秋田県の農業振興の一環としてネギの周年生産の技術確立に向けて本研究を実施した。新鮮なネギの周年生産のために、本章では、夏どり栽培と秋冬栽培の長期出荷について検討した結果、以下の成果が得られた。

育苗法と適品種について検討した結果、7月どりは、前年の9月上旬の露地播種または10月中旬ハウス播種の越冬苗を4月下旬に露地定植することにより、7月中～下旬に3～4 kg m²の良品収量が得られることを明らかにした。8月どりは、2月中旬ハウス播種した苗の5月上旬露地定植により8月中旬に3～4 kg m²の良品収穫が可能となることを明らかにした。品種では、生育、収量、品質が安定している“吉蔵”、“長宝”、“明彦”が適し、さらにハウス越冬苗では“一文黒昇り”、“永吉一本太”、“亀の助”が、ハウス1年苗では“金彦”が有望であった。一方、露地越冬栽培では抽だいの遅い“長悦”を用い、40～50日育苗した小苗の10月上旬定植、12月上旬～4月中旬小トンネル被覆により越冬率の向上と抽だい発生を10%以下に抑制できる作型を開発した。

また、慣行秋冬栽培ネギを収穫後ハウスに貯蔵して出荷する場合、貯蔵開始時のハウス土壌水分を30%位にしておくと、根部への簡単な土寄せだけで貯蔵中

の減耗が抑制され、溝貯蔵とほぼ同程度の調製重、内容成分が維持できたことから、溝を掘って埋めておかなくてもよい実用的な簡易貯蔵法が開発された。

6. 引用文献

- 1) 秋田県農政部農産園芸課：農産園芸の概要（2001）
- 2) 農水省野菜・茶業試験場：課題別研究会ネギ生産の現状と今後の方向（1998）
- 3) 八鍬利夫：農業技術大系野菜編，ネギ基礎編，農文協，東京（1973）
- 4) 高橋春實・高橋東・高井隆次：ネギ品種の越冬性および抽台に関する一試験，園学東北支部平成8年度研究発表要旨，55-56（1996）
- 5) 山崎篤・田中和夫・中島規子：高温によるネギの脱春化誘導に及ぼす日長の影響，園学東北支部平成14年度研究発表要旨，29-30（2002）
- 6) Yamasaki, A., K. Tanaka and H. Miura. : Effects of Day and Night Temperatures on Flower-bud Formation and Bolting of Japanese Bunching Onion (*Allium fistulosum* L.), J. Japan. Soc. Hort. Sci., 69, 40-46 (1977)
- 7) 斎藤隆：蔬菜園芸学マメ類・根菜・葉菜編，328-407，農文協，東京（1983）。
- 8) 渡辺斉：葱品種の花芽分化並びに抽台性に関する研究，京都大学園芸学研究集録，7，101-108（1955）
- 9) 本間利光・江村学・船越昭夫：新潟県における秋まきねぎの花芽分化と抽苔について，新潟農総研研究報告，1，39-48（1999）
- 10) 田村晃：積雪寒冷地における冬期葉菜類栽培に関する研究，特にハウレンソウとコマツナの耐凍性、糖及びアスコルビン酸に注目して，博士論文，岩手大学（2003）
- 11) 白岩裕隆・鹿島美彦：夏ネギの早期栽培におけるトンネル内の植え溝施肥による安定生産技術，鳥取県園試報，5，53-61（2001）
- 12) 安藤利夫・田中暢男・大越一雄：初夏どりネギ栽培における晩抽性品種の花芽分化、抽苔特性，千葉農総研研報，1，13-23（2003）

第3章 ネギの糖およびアミノ酸含量に対する作型及び栽培土壌の影響

1. はじめに

ネギ (*Allium fistulosum* L.) は露地栽培の代表的野菜として鍋物や薬味などに広く利用されている。また近年は、Gao ら¹⁾により胃や食道ガンへの保護効果が認められたことから消費者の関心が高まっている

ネギは加賀系、千住系、九条系、やぐらネギの4タ

イブに分類され²⁾ 本実験で供試した品種‘夏扇4号’は千住系に属している。この系統は比較的低温でも良く生育し国内での主要な栽培系統となっている³⁾。

秋田県でのネギの周年生産技術・栽培出荷のために第1, 2章において春どりおよび夏どり技術および簡易貯蔵技術の確立について述べた。しかし、これまで、作型の違いによる体内成分の変動については検討がなされないままであった。市場性という観点から見ると、異なった作型で栽培されても、また、異なった土壌型で栽培されても、一定地域から生産されるネギに関しては甘さや香りなどの品質が維持されていなければならない。糖やアミノ酸などの有機成分はこれらの品質には不可欠な成分であり、同時に植物の代謝に重要な役割を果たしている。ネギの有機成分についてはすでに調査されている⁴⁾が、有機成分の含有量について異なった作型、栽培土壌と比較した例はない。この実験では2003年に秋田県で栽培されたネギの糖、アミノ酸含量について、夏どり作型(8月収穫)と秋冬どり作型(11月収穫)での比較と栽培土壌(黒ボク土、砂土)の違いについての比較を行った。

2. 材料および方法

1) 栽培概要及び施肥法

調査は2003年に秋田県のネギの主要産地である能代市の農家の黒ボク土圃場(栽培後土壌 pH6.31、CEC 404 mol kg⁻¹、可給態リン酸 1,989 mg kg⁻¹)と砂土圃場(栽培後土壌 pH6.47、CEC 55 mol kg⁻¹、可給態リン酸 513.6 mg kg⁻¹)で生産された夏どり作型ネギ及び秋冬どり作型ネギの収穫物について行った。

夏どり作型は、黒ボク土、砂土とも2月10日播種(チェーンポット育苗)、4月10日定植、8月25日収穫とした。秋冬どり作型では黒ボク土は3月20日播種(露地地床育苗)、6月19日定植、11月12日収穫、砂土は3月10日播種(露地地床育苗)、7月8日定植、11月12日収穫とした。

施肥は黒ボク土では両作型とも、基肥として石灰窒素と硫加磷安11号で窒素成分 23 g m²を施用した。追肥は硫加磷安11号を用い、夏どり作型は6月29日に窒素成分で 3.5 g m²、7月20日に 4.2 g m²を、秋冬どり作型は6月29日に窒素成分で 3.5 g m²、7月20日、8月20日、9月4日に各 4.2 g m²を施用した。砂土では基肥として石灰窒素で窒素成分 12 g m²を施用した。追肥は硫加磷安11号を用い、夏どり作型では7月22日と8月6日に各窒素成分で 5.6 g m²、秋冬どり作型では7月22日、8月6日、22日、9月3日、16日、10月3日に各 5.6 g m²を施用した。

なお、土壌型ごとに異なった土壌改良材、有機資材および窒素以外の化学肥料を施用したが、これは地域農家の慣習に従ったものである。即ち、両作型とも黒

ボク土には、土壌改良材として、1平方メートル当たりてんろ石灰 150 g、苦土重硝酸 40 g、大豆粕 100 g、鶏糞モミガラ堆肥 3 kg を、また、砂土ではカキガラ石灰 16 g、過リン酸石灰 60 g、自家堆肥(N 60 g kg⁻¹) 160 g を施用した。

2) 分析方法

採取した試料は分析まで -20 °C で保存した。緑葉部と軟白部に分別して、液体窒素で凍結後、乳鉢にて粉碎し、80 % (v/v) エタノールで糖、アミノ酸の抽出を行った。懸濁液を 4 °C、22,500 g で 15 分遠心分離後、上澄液を採取した。緑葉部サンプルは、エチルエーテル処理によりクロロフィル除去後、分析試料溶液とした。

糖及びアミノ酸分析は Nakamura ら⁵⁾の方法に従った。糖の分析は試料溶液 5 μ L に蒸留水 95 μ L を加え、ディスパーザルシリンジフィルター (DISMIC-3、東洋濾紙) で濾過し、HPLC (LC20、日本ダイオネクス) で測定した。遊離アミノ酸は試料溶液 15 μ L に 0.02 M 塩酸 135 μ L を加え、4 °C、11,000 g、15 分遠心分離後上澄液を上記フィルターで濾過しアミノ酸アナライザー (L-8000、日立) を用い分析した。

3. 結果

2003年の黒ボク土と砂土で栽培された夏どり(8月収穫)作型、秋冬どり(11月収穫)作型の収量を表3-1に示した。本実験の夏どり作型の収量は秋冬どり作型に比べ低かった。ネギは同一圃場で栽培された場合、夏の収量は高温のため減少することが報告されており⁶⁾、本調査でも同様な結果が得られた。次に土壌間差については、夏どり作型では黒ボク土と砂土の収量差はほとんどなかった。秋田県沿岸北部のネギ目標収量は秋冬どり作型で平均 4 kg m²程度とされているが、秋冬どり作型の収量は黒ボク土で 5 kg m²を越え高収量となった。砂土では黒ボク土より低かったが、目標収量以上が得られた。本調査のネギでは秋冬どり作型で土壌間差が見られたものの、いずれにおいても目標収量を確保しうることが示された。

秋冬どり作型の規格別の収量を表3-2に示した。前述したように特に黒ボク土では目標収量より高く、ネギの太さは最も市場性の高いL、Mサイズより2Lサイズが多かった。このことから、黒ボク土では収穫期が遅く、ネギが太りすぎていたことも判明した。従って、L、Mサイズの割合の高いネギ生産のためには、適切な収穫期の判断が必要であることが明らかとなった。

ネギの糖含量は軟白部で 122 ~ 153 μ mol g⁻¹、緑葉部で 48 ~ 104 μ mol g⁻¹であり軟白部で緑葉部より高かった(図3-1)。この値は、篠田ら⁷⁾の秋冬どりネギ

の測定値とほぼ類似していた。糖含量は作型や土壌間で明らかな違いはなかったが、砂土の緑葉部で夏どり作型が秋冬どり作型より低く、土壌間では黒ボク土がやや高めの傾向にあった。緑葉部と軟白部の糖組成を表 3-3 に示した。糖の主成分はフルクトースとグルコースであり、ショ糖はごくわずかであった。これは岩波ら⁸⁾が報告している結果と同様であった。糖組成は黒ボク土の秋冬どり作型で、フルクトースとグルコースがほぼ等量であった他は、部位、土壌の違いを含めてフルクトース含量がグルコース含量より高かった。ネギと同様に比較的低温で良く生育するホウレンソウでは、低温で葉のスクロースが増加する⁹⁾が、ネギではその傾向は認められなかった。このことから、当該地域では夏どり作型、秋冬どり作型のいずれにおいても、収穫されたネギはほぼ同様な糖組成の収穫物が得られると思われる。

全遊離アミノ酸含量は、秋冬どり作型より夏どり作型で高く、土壌間では砂土が黒ボク土より高く、また、糖含量と同様に緑葉部より軟白部で高かった(図 3-2)。この測定値は鈴木ら¹⁰⁾の値と類似していた。

アミノ酸組成は、グルタミン、アラニン、セリン、アスパラギンが軟白部および緑葉部の主成分であった(表 3-4)。これらの成分は、鈴木ら¹⁰⁾により報告されている一般に流通しているネギの結果と一致した。

またアミノ酸総量も、鈴木ら¹⁰⁾の報告とほぼ同レベルであった。Yoshida ら¹¹⁾により植物はストレス下で生育するとプロリンが増加すると報告されており、田村ら¹²⁾はホウレンソウにおいて低温下で生育すると葉身のプロリンが数十倍に増加するとしている。また、Rivero ら¹³⁾はトマトにおいて高温下で生育するとプロリンが集積すると報告している。しかし本調査では秋冬どり作型と比べ夏どり作型でややプロリン含量が増加しているものの大きな変化が無く、当該地域における平年的な気象条件では夏どり、秋冬どりと、ネギの生長に環境ストレスを惹起することがなく、良好な生育をしたことを意味している。一方、先に示したように、秋冬どり作型では、砂土より黒ボク土でアミノ酸含量が明らかに低かった(図 3-2)。これは、最終追肥から収穫までの日数が砂土と比べ黒ボク土で長く、追肥からの窒素供給不足が、葉のアミノ酸含量を低下させたことによると考えられる。柳井ら¹⁴⁾はキュウリにおいて追肥が品質にとって極めて重要な要因で、特に砂土においてその影響が顕著であることを明らかにしている。そのため砂土では慣行的に追肥回数が多く行われており、本実験では砂土が6回の追肥で、最終追肥から40日後に収穫されたのに対し、黒ボク土では4回の追肥で最終追肥から69日後の収穫であった。最終追肥の時期は土壌の違いを問わずネギの品質を左右する重要な役割を果たしていると推定される。

窒素の最終追肥時期から収穫までの日数が少ないと、アミノ酸含量が高くなり、逆に糖濃度は低下した。糖濃度とアミノ酸含量は互いに補い合う傾向にあり、いずれかが高いと他方は低くなった。そこで、糖とアミノ酸の総和を図 3-3 に示した。

同一土壌では夏どり作型と秋冬どり作型に明らかな差が見られず、かつ土壌間でも黒ボク土と砂土で大きな差は見られなかった。低温や高温の生育ストレス下では光合成が抑制され、多くの代謝が変わることが報告されている¹⁵⁾。しかし、本実験で収穫されたネギでは糖+アミノ酸含量に大きな差がみられていない(図 3-3)。このことは本県の春から秋の栽培期間において生産されるネギは、単位重量当たりの糖+アミノ酸にほとんど差のないものであることを示している。

4. 考察

秋田県で栽培されているネギの品質、特に糖含量とアミノ酸の変動について、慣行栽培法による夏どり作型、秋冬どり作型で、栽培土壌(黒ボク土、砂土)の違いの影響や収穫時期の影響を、産地で生産・出荷されている収穫物で比較検討した。その結果、8月収穫の夏どり作型と11月収穫の秋冬どり作型の比較では、主要な可食部である軟白部の糖含量は、作型および土壌間差は認められなかった。このように、秋田の主要産地ではネギが正常に生育する気象条件では作型が異なっても、また、栽培土壌種が異なっても、糖およびアミノ酸含量に大きな違いをもたらすことなく、品質が一定のネギが生産出荷されていることが判明した。しかし、本実験では最終追肥から収穫までの期間の長短がアミノ酸含量に大きな影響をもたらすことが示された。すなわち、秋冬どり作型の黒ボク土では収穫したネギの緑葉部および軟白部におけるアミノ酸含量が、同時期に砂土で栽培されたものに比べて少なくなったが、この差は黒ボク土の最終追肥から収穫までの期間が砂土のそれよりも長期であったことによるものであった。追肥時期から収穫期までの日数を選ぶことによってアミノ酸含量や糖含量を制御しうる可能性を示したもので、均一なネギ生産のための栽培管理に大きな示唆を与えることができた。

5. 要約

秋田県のネギの主要生産地である能代において生産されるネギの糖およびアミノ酸含量に対する土壌種や作型の影響を調査し、作型、土壌を問わず比較的安定な組成・品質のネギが生産され出荷されていることが判明した。しかし、一方最終追肥時期と収穫時期との間の日数がアミノ酸含量に大きく影響することも判明した。

6. 引用文献

- 1) Gao, C.-M., T. Takezaki, J.-H., Ding, M.-S. Li and K. Tajima. : Protective effect of Allium vegetables against both esophageal and stomach cancer: a simultaneous case-referent study of a high-epidemic area in Jiangsu Province. China. Jpn. J. Cancer Res. 60: 614-621 (1999)
- 2) Inden, H. and T. Asahira. : Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.) p.159-178 In: (Rabinowitch H.D. and J.L. Brewster eds) Onions and Allied Crops Vol. 3. CRC press, Boca Raton, Florida. (1990)
- 3) 位田晴久・山崎篤・浅平端：ネギ品種の低温伸長性について，園学要旨昭和60秋，152-153 (1985)
- 4) 八鍬利夫：ネギ基礎編，3-72，農業技術大系野菜編，農文協 (1973)
- 5) Nakamura, S., A. Watanabe, P. Chongpraditnun, N. Suzui, H. Hayashi, H. Hattori and M. Chino : Analysis of phloem exudates collected from fruit-bearing stems of coconut palm: palm tree as a source of molecules circulating in sieve tubes. Soil Sci. Plant Nutr. 50: 739-745 (2004)
- 6) 前田幸二・宗田明久・金沢伝：小ネギの周年栽培に関する研究 (第1報) 播種時期が黒昇り系‘わかさま黒’の品質及び収量に及ぼす影響，高知園試研報4，12-17 (1988)
- 7) 篠田光江・武田悟・本庄求・田村晃・加賀屋博行：ネギの貯蔵(囲い)に伴う品質の変化，園学要旨平16東北支部，31-32 (2004)
- 8) 岩波濤・野口正樹・井上昭司：ブロッコリー、アスパラガス及びネギ類の糖含量・組成の変化，園学雑62，93，292-293 (1993)
- 9) 渡邊容子・内山総子・吉田企世子：夏期および秋期栽培ハウレンソウの成育過程における部位別成分について，園学雑62(4)，889-895 (1994)
- 10) 鈴木忠直・栗原由美子・田村真八郎：果実野菜とその加工品の遊離アミノ酸含量とアミノ酸パターンの類似性について，総食研報告31，42-53 (1976)
- 11) Yoshiba, Y., T. Kiyosue, K. Nakashima, K. Yamaguchi-Shinozaki and K. Shinozaki : Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. Plant Cell Physiol. 38: 1095-1102 (1997)
- 12) 田村晃：積雪寒冷地域における冬期葉菜類栽培に関する研究，特に、ハウレンソウとコマツナの耐凍性、糖及びアスコルビン酸に注目して，博士論文，岩手大学 (2003)
- 13) Rivero, RM., Ruiz, JM. and Romero, LM. : Importance of N source on heat stress tolerance due to the accumulation of proline and quaternary ammonium compounds in tomato plants. Plant Biol. 6: 702-707 (2004)
- 14) 柳井利夫：同一ハウスにおける土壌別窒素の施用法とキュウリの生育相の関係について，高知農林研報7，29-41 (1975)
- 15) Stitt, M. and V. Hurry : A plant for all seasons: alterations in photosynthetic carbon metabolism during cold acclimation in *Arabidopsis*. Curr. Opin. in Plant Biol. 5: 199-206 (2002)

第4章 施肥法の確立

春どり作型(第1章)、夏どり作型(第2章)の技術確立などによって、秋田県でのネギの周年栽培・生産販売が可能になったが、施肥法についての検討は行われていなかった。また、秋冬どりで省力のための直播栽培の普及も必要とされる。本章では、栽培面積を拡充する必要のある夏どり栽培(4-1節)および通常の栽培で最も栽培面積の大きい秋冬どり栽培(4-2節)、そして、最も省力的な栽培法である直播栽培(4-3節)において、特に、省力的な施肥である緩効性肥料による全量基肥栽培法について検討した。春どり作型については普及面積が小さいこと、この栽培法の主点が秋冬ネギの貯蔵法と抽だい抑制手法の確立で、施肥法としては特に大きな問題がないので検討は行っていない。

4-1 夏どり栽培での緩効性肥料を用いた全量基肥施用

1. はじめに

周年生産を目的に、夏どり作型のさらなる普及のために、窒素養分の吸収経過を明らかにするとともに、省力型の緩効性肥料の利用の可否について検討した。

2. 材料及び方法

- (1) 試験年：1996年
- (2) 試験場所：秋田農試圃場(細粒灰色低地土)
- (3) 試験区(N施用量)：
 - ?化成肥料区：基肥として窒素15 g m²を肥料銘柄やさい大粒S007で施用、追肥として各回3 g m²を4回(6月6日、6月22日、7月9日、7月29日)、燐硝安カリで施用。計27 g m²を施用。
 - ?緩効性肥料区：基肥として20 g m²をCDU-N 5 g m²、ロング-N 15 g m²の割合で施用。
 - ?無施用区：無施用。
- ロング肥料とは被覆燐硝安カリ(商品名：ロング424 M140、すなわち140日で成分の80%程度が通常地温(約25?)で溶出するとされる肥料)である。
- (4) 品種：“吉蔵”

(5) 耕種概要：播種期 2月 23日 (200 穴セル育苗、育苗はネギ専用培土)、定植期 4月 25日、畝幅 100 cm、株間 3 cm、基肥は 4月 25日に全面全層施肥、堆肥 1,000 g m²を施用した。収穫時期は 8月 27日とした。1区 18 m²、3区制。

3. 結果

(1) 乾物重の経過

葉鞘、葉身を合わせた全地上部乾物重の推移を図 4-1 に示した。夏どり栽培は生育前半は低温期、後半に盛夏期を経過する作型であることから、5～6月の生育は極めて緩慢であった。定植後 86日の7月9日の乾物重は化成肥料区と緩効性肥料区の差が小さく、この時まで両区とも収穫時乾物重の約3割の生産量であった。一方、無肥料区は初期から明らかに生育が劣り、この時の乾物生産量は収穫時乾物重の約3割であった。

定植後 135日の8月27日に収穫期としたが、化成肥料区の乾物重が m² 当たり約 500 g で緩効性肥料区よりやや上回った。無肥料区はその後も生育が進まず約 250 g と小さかった。

(2) 窒素濃度の推移

窒素濃度の推移を図 4-2 に示した。地上部窒素濃度は化成肥料区が最も高く推移し、6月の濃度が 3.7 % と高く、生育が進むに従い低下し、8月の収穫時には 2.5 % となった。

緩効性肥料区は化成肥料区より低く経過したが、6月、7月と低下が見られず、その後8月の収穫期にわずかに低下したが、全期間約 2.5 % とほぼ一定濃度で経過した。無肥料区は 2.0 % から収穫期には 1.5 % に低下した。

(3) 窒素の吸収経過

窒素の吸収経過を図 4-3 に示した。化成肥料区と緩効性肥料区はほぼ同様の吸収経過を示したが、初期から化成肥料区がやや高めに推移し、その後徐々に差が見られ、収穫期では化成肥料区 13 g m² に対し緩効性肥料区は 10 g m² の窒素吸収量であった。無肥料区は初期から極めて少なく、収穫期でも 4 g m² の吸収量であった。

(4) 施肥窒素の利用率と収量、品質

施肥窒素の利用率と収量、品質を表 4-1 に示した。m² 当たりの窒素吸収量は化成肥料区 13.5 g に対し緩効性肥料区は 10.4 g と小さかった。無肥料区の窒素吸収量を差し引いた値はそれぞれ 9 g、5.9 g で、差し引き法による施肥窒素の利用率は、化成肥料区の 33.3 % に対し緩効性肥料区は 29.6 % と低かった。m² 当たり収量

は、化成肥料区の 3.04kg に対し緩効性肥料区は 2.78kg と及ばず、品質でも細めの生育であった。なお、参考に化成肥料区と同量の N 2.7 g m² を緩効性肥料で施用した区を設けたが、Nの吸収、利用率が化成肥料区をやや上回る傾向にあった。

4. 考察

夏どり作型は生育前半は低温期、生育後半は高温期に当たる作型であること、使用した苗が地床苗と比べ小さいセル苗であることから、4月25日定植の当作型は6月まではほとんど生育が進まず、全生育期間 135日中、後半の約50日で全体の6～7割の乾物生産や窒素の吸収が行われていた。化成肥料区と比べ、施肥窒素量で 26 % 節減した緩効性肥料区を設定したが、生育、収量、品質面で化成肥料区に及ばなかった。今野ら^{1), 2)} は、秋冬どり作型のセル成型苗利用では CDU-N 5 g m² と被覆肥料 (ロング-N 15 g m²) の植え溝全量基肥施用で、慣行 20 % 減肥が可能であったとしている。また、後の項で述べるが、著者も秋冬どり作型の地床苗利用において同様に緩効性肥料の全量基肥全面施用でも、収量、品質を落とさずに 26 % の減肥が可能であることを明らかにした。しかしセル苗を使用した夏どり作型においては、初期の低温や生育が旺盛になるまでの期間が長いことなどから、緩効性肥料の利用のメリットが認められず、普通化成肥料を利用した追肥体系 (基肥 N 15 g m²、追肥 N 12 g m²) が実用的と考えられた。低温期に溶出効率のよい被覆肥料の開発が望まれる。

5. 要約

(1) 4月下旬定植のセル苗 (200 穴セル) 利用の夏どり作型は、生育前半は低温期、生育後半は高温期に当たる作型であること、使用した苗が地床苗と比べ小さいセル苗であることから、当作型は6月までは殆ど生育が進まず、全生育期間 135日中、後半の約50日で全体の6～7割の乾物生産や窒素の吸収が行われていた。

(2) 化成肥料区 (基肥 N 15 g m²、追肥 N 12 g m²) と比べ、施肥窒素量で 26 % 節減した緩効性肥料区 (CDU-N 5 g m² とロング-N 15 g m²) を設定したが、生育、収量、品質面で化成肥料区に及ばなかった。

(3) セル苗を使用した夏どり作型においては、初期の低温や生育が旺盛になるまでの期間が長いことなどから、緩効性肥料の利用のメリットが認められず、普通化成肥料を利用した追肥体系 (基肥 N 15 g m²、追肥 N 12 g m²) が実用的と考えられた。

6. 引用文献

- 1) 農水省東北農試：平成5年度東北土壌肥料研究会資料(1994)
- 2) 今野陽一・黒田 潤・熊谷勝巳・富樫政博・上野正夫：ネギの全量基肥局所施肥における施肥効率，東北農業研究 51, 231-232 (1998)

4-2 緩効性肥料を用いた秋冬ネギ栽培施肥法

1. はじめに

秋田県のネギの栽培面積は約 500 ha で推移している。平成9年度の系統扱いの販売向け面積は 153 ha で、主要品目の一つとなっている。作型は秋冬どりが70%近くを占めている。ここでは、主要作型である秋冬どりにおいて、窒素養分の吸収経過を明らかにするとともに、緩効性肥料の施用について施肥窒素の利用効率向上、減肥及び追肥の省略、収穫期の前進について検討した。

2. 材料及び方法

- (1) 試験年：1996年
- (2) 試験場所：秋田農試圃場（細粒灰色低地土）
- (3) 試験区（N施用量）：

?化成肥料区：基肥としてN 15 g m²をやさい大粒 S007で施肥し、さらに追肥として各回3 g m²宛4回を燐硝安加里 646で施用。追肥は8月30日、9月12日、10月1日、10月28日に畝肩部分に土寄せと同時にを行った。

?緩効性肥料区：基肥として20 g m²をCDU-N 5 g m²（CDUそさい複合1号）とロング-N 15 g m²で施用し、追肥は行わない。

?無施用区：肥料無施用

ロング肥料とは被覆燐硝安カリ（商品名：ロング424-M 140で、140日で通常温度25度で80%溶出）

- (4) 品種：“吉蔵”

(5) 耕種概要：播種期4月25日（地床育苗、畝幅100 cm、条間10 cm、施肥量はN、P₂O₅、K₂Oを各10 g m²宛施用）、定植期7月17日、畝幅100 cm、株間3 cm、基肥施用時期7月11日、全面全層に施肥。また、堆肥を1,000 g m²施用。収穫期は10月28日以降。

3. 結果

- (1) 乾物重の経過

葉鞘、葉身を合わせた全地上部乾物重の推移を図4-4に示した。秋冬どりに栽培は生育前半に盛夏期を経過する作型であることから、7～8月の生育はやや緩慢で

あった。定植後57日の9月12日の乾物重は化成肥料区と緩効性肥料区の差が小さく、この時まで両区とも収穫時乾物重の約3割の生産量であった。一方、無肥料区は初期から明らかに生育が劣り、この時の乾物生産量は収穫時乾物重の約2割でしかなかった。

定植後76日の10月1日の乾物重は緩効性肥料区が高く、収穫時乾物重の約5割の生産量を占めていた。化成肥料区はこれよりやや少なく、無肥料区はさらに劣り、両区は収穫時乾物重の約4割の生産量であった。

定植後103日の10月28日の乾物重は定植後76日と同様な区間差であった。緩効性肥料区はこの時ですでに最終乾物重（定植後132日）と等しく、収穫期に達していると考えられた。化成肥料区と無肥料区は収穫時乾物重の約9割の生産量であった。

定植後132日の11月26日に収穫期としたが、化成肥料区と緩効性肥料区の乾物重がほぼ同じで、m²当たり580 gであったことから、緩効性肥料区は化成肥料区より29日早く収穫期に達していた。

- (2) 窒素濃度の推移

窒素濃度の推移を図4-5に示した。地上部窒素濃度は化成肥料区が最も高く推移し、9月12日には約4%でピークとなり、その後徐々に低下した。

緩効性肥料区は化成肥料区より低く経過し、ピークは10月1日となったがその後の低下が少なく10月28日以降の収穫期では化成肥料区とほとんど差がみられなかった。さらに時期的な変動が少なく、全期間を通じ窒素濃度は2～3%で推移した。無肥料区は定植後から漸減し1%台で経過した。

- (3) 窒素の吸収経過

窒素の吸収経過を図4-6に示した。化成肥料区と緩効性肥料区はほぼ同様の吸収経過を示し、9月12日で収穫時吸収量の3～4割、10月1日で5～6割が吸収され、10月28日では約9割の吸収量であった。無肥料区は極めて少なく、10月1日で収穫時吸収量の約7割であったが、10月28日以降は減少した。

- (4) 1日当たりの乾物増加量及び窒素吸収量

1日当たりの乾物増加量及び窒素吸収量を表4-2に示した。乾物増加量は定植から収穫まで（7/17～11/26）の生育期間の平均では、収穫時乾物重がほぼ同じである化成肥料区と緩効性肥料区は約4 g m²で差がなかった。時期別には各区とも10月の増加が著しく、緩効性肥料区、化成肥料区とも約10 g m²で、特に緩効性肥料区は9月には7 g m²と高い増加傾向にあった。

1日当たりの窒素吸収量は、定植から収穫まで（7/17～11/26）の生育期間の平均では、化成肥料区が113 g m²、緩効性肥料区117 g m²で差がなかつ

た。時期別には、化成肥料区は10月に多く、緩効性肥料区では9月から多くなっていた。

ネギの生育適温は平均気温で15～20℃とされており、本年は9月7日から10月14日までがこの期間であった。概ねこの適温期間を含む9/13～10/28で1日当たりの乾物増加量及び窒素吸収量とも、緩効性肥料区が化成肥料区を上回ったことから、緩効性肥料区はネギの生育が最も進む時期に、生育に対応した窒素の供給が行われていたと考えられた。

(5) 施肥窒素の利用率と収量、品質

m²当たりの窒素吸収量は表4-3に示されるように、化成肥料区15.3gに対し緩効性肥料区は16.0gで同程度であった。無肥料区の窒素吸収量を差し引いた値はそれぞれ10.2g、10.9gで、差し引き法による施肥窒素の利用率は、化成肥料区の38.9%に対し緩効性肥料区は54.5%に向上した。収量及び品質には両区に大差がなかった。緩効性肥料区は化成肥料区と比べ、施肥窒素量で26%の節減となった。今野ら^{1), 2)}はセル成型苗利用ではCDU-N 5 g m⁻²と被覆肥料(ロング-N 15 g m⁻²)の植え溝全量基肥施用で、慣行20%減肥が可能であったとしている。本報告では、地床苗の利用において同様の肥料の全量全層基肥施用でも、収量、品質を落とさずに減肥が可能であることを明らかにした。ネギ栽培において植え溝への施肥同時移植機械の実用化が待たれているが、生産現場では、当分、省力的である基肥全層施肥が続けられるとみられる。

4. 考察

従来の最も通常に広くなされている秋冬型栽培においては緩効性肥料、ここではCDUと被覆肥料(ロング)、の施用によって追肥の労力が省け、また、施肥量も減少できることを認めた。林³⁾らは5月下旬定植、11月上旬収穫の施設軟白ネギで、個体群生長率(CGR)が定植後50～70日に最多となるとしている。本試験は7月中旬定植11月下旬収穫の露地作型で、化成区では定植後75～100日に乾物増加率が最多となるが、緩効性肥料(CDU-N 5 g m⁻²+被覆磷硝安加里-N 15 g m⁻²)の施用によって、定植後60～100日にわたり高い乾物増加率が維持されたことから、26%減肥でも化成区並の収量が得られたと考えられた。また、実用上は以下の点に留意する必要があることも判明した。

(1) CDU肥料とロング肥料は良く混合してから施用する。

(2) セル苗を使用する場合は、地床育苗より苗の生育量が小さいことから、定植後の初期生育を促進させるため、育苗培土1リットル当たり超微粒被覆肥料(マイクロロングトータル201,100日タイプ)2～4gを

混合してから播種、育苗を行い、溝施肥とする。

5. 要約

(1) 慣行の化成肥料を施用(基肥N 15 g m⁻²、追肥N 12 g m⁻²)した秋冬ネギの乾物重は、9月中旬までは緩慢に推移し、その後は急激に増加し、10月下旬以降に再び緩慢となった。緩効性肥料(CDU-N 5 g m⁻²+被覆磷硝安加里-N 15 g m⁻²)を用いた全量基肥全層施用における乾物重は、化成肥料施用よりやや高めに推移し、収穫期の前進が図られた。

(2) 化成肥料施用の窒素濃度経過は、9月中旬にピークとなりその後急激に低下した。緩効性肥料施用では10月初旬がピークとなり、化成肥料施用より、やや低く経過するが、その後は低下が少なく、10月下旬以降の収穫期では化成肥料施用と差がなかった。

(3) 窒素の吸収量は、化成肥料施用と緩効性肥料施用はほぼ同様に経過し、施肥窒素の利用率は、化成肥料施用の38.9%に対し、緩効性肥料施用では54.5%に向上した。

(4) 秋冬ネギの地床苗移植栽培において、緩効性肥料のCDU(N 5 g m⁻²)と被覆磷硝安加里(N 15 g m⁻²)の全量基肥全層施用で、慣行の化成肥料施用(N 27 g m⁻²)とほぼ同様な養分吸収経過と収量・品質が得られ、施肥窒素利用率の向上と減肥及び追肥の省略が可能となった。

6. 引用文献

- 1) 農水省東北農試：平成5年度東北土壌肥料研究会試料(1994)
- 2) 今野陽一・黒田 潤・熊谷勝巳・富樫政博・上野正夫：ネギの全量基肥局所施肥における施肥効率，東北農業研究 51, 231-232 (1998)
- 3) 林 哲央・日笠裕治・坂本宣崇：施設軟白ネギの乾物生産特性に基づく窒素施肥法，土肥誌 74, 4, 407-414 (2003)

4-3、秋冬どり作型直播栽培における施肥法開発

1. はじめに

ネギ栽培の普及拡大には省力化が重要な課題となる。移植栽培では、播種、間引き、定植作業が1,000 m²当たり49時間を要するが、ロール式人力一条点播機による直播栽培はこれらの作業が約8時間に短縮される^{1), 2)}ことから、省力栽培技術として今後導入が期待できると考える。そこで、より省力的な施肥法を開発するため、当地域における直播ネギの緩効性肥料の

利用法について、養分吸収の実態ともあわせて検討を行った。

2. 材料及び方法

1995年に秋田農試細粒灰色低地土圃場を供試し、本県ネギの約80%を占める秋冬どり作型で検討した。品種は本作型の主要品種である“吉蔵”を用いた。

直播栽培の耕種概要は以下のようにした。4月21日に全面施肥し、約15cm深で耕起を行った。4月24日に畝幅1m間隔で植溝を掘り、この際、溝底に耕起された膨軟な土が数cm残るようにするため、溝の深さを15cm未満とした。播種はロール式人力1条播種機を用い、播種穴間隔3cmで行った。播種量是小野寺ら¹⁾の方法に準じ、畝長1m当たり30本程度を確保できるように0.5mL/m²とした。土壌改良資材はm²当たり苦土石灰100g、ようりん50g、堆肥1,000gを施用した。土寄せは数回の削り込みを経て6月27日、7月24日、8月10日、9月19日に行った。

施肥設計区としては3区を設けて以下のようにした。

試験区 (N 施用量)

?化成区：(対照区) 基肥 15 g m²、追肥 3 g m² を 4 回

?緩効性肥料区：基肥のみ 20 g m² を CDU-N 5 g m² と ロング-N 15 g m² で 施用。施用量は対照区の 26% 減となる

?無施用区：無施用

各設計区について3連制とし、一区画18m²の圃場で栽培した。供試肥料銘柄は①区の化成区基肥にやさしい大粒 S007、追肥に燐硝安加里 646 を、緩効性区の CDU は CDU そさい複合 1 号、ロングはロング 424 - M140 を使用した。化成区の追肥は6月27日、7月24日、8月10日、9月19日の4回畝肩部分に土寄せと同時にいった。

3. 結果

発芽まで約2週間を要した。

初期の生育は、肥料成分の溶出の比較的早いとみられる化成区がやや勝ったが、その後、緩効性区の生育も旺盛になり、8月に入ると両区の差がなくなった(図4-7)。無施用区は発芽、生育、葉色が劣り、苗立ち数も畝長1m当たり17.7本と少なく、播種時の施肥養分が大きく影響していた(表4-4)。

茎葉乾物重は、各区とも初期の増加が極めて少なく、化成区と緩効性区は全生育期間(203日)の約半分の8月10日以降に、無施用区は9月11日以降急激に増加した(図4-7)。

化成区乾物重は、播種後108日目の8月10日で1

本当たり1.4g、全乾物重の11%であったが、その後32日目の9月11日では12.4g/本と最大となり、この32日間の乾物増加速度は343mg/本/日と区間で最も大きかった。9月中旬以降は外葉の更新、枯れ上がり等により、収穫時の11月13日には11.3g/本に低下していた。

緩効性区は化成区より乾物増加が緩やかで、8月10日で2.0g/本、全乾物重の17%、9月11日で10.3g/本、全乾物重の89%で、8月10日から9月11日の32日間の乾物増加速度は257mg/本/日と大きく、以降も20mg/本/日の割合で漸増し、収穫時には化成区と同じ11.4g/本となった。

無施用区は収穫期まで緩慢に増加を続けたが、8月10日でも0.4g/本で全乾物の5%、9月11日でも2.0g/本で全乾物重の25%と少なく、その後収穫まで増加したが、収穫時でも最大8g/本と小さかった。乾物増加速度も8月10日から9月11日で49mg/本/日、その後収穫までの63日間は95mg/本/日と小さかった。

なお、収穫期の根部の乾物重は、いずれも茎葉乾物重の5%未満と極少であることから、これを省略して検討を進めた。

100m²当たり乾物重の最大値は、化成区は9月11日の31kg、緩効性区は11月13日の32kgとほぼ同程度で、無施用区は11月13日の14kgであった。

次に図4-7の各種養分濃度変化についてみると、以下の様である。茎葉N濃度は各区とも8月上旬まで上昇し、その後は低下するパターンを示した。区間では化成区が初期から最も高く経過し、ピーク時で3.7%であった。緩効性区と無施用区は8月上旬までほぼ同様に経過し、ピーク時2.7%で、その後の低下は緩効性区がやや緩やかであった。

P濃度はN濃度とほぼ同様な時期的傾向であったが、ピーク時の8月上旬では無施用区0.5%、次いで化成区で緩効性区が0.4%前後で区間の差は大きくなかった。

K濃度、Mg濃度はN濃度とほぼ同じ傾向がみられ、ピーク時の8月上旬でK濃度は化成区が4.7%と最も高く、次いで緩効性区、無施用区が4.0%前後であった。Mg濃度は各区ともピーク時で0.4%、収穫時で0.3%と区間の差が小さく、また時期的変動も比較的小さかった。

Ca濃度は各区とも他の養分より遅い9月上旬まで上昇し、化成区が高めに経過し、ピーク時で1.3%、次いで無施用区、緩効性区であったが、いずれの区も収穫時では0.7%まで下がり、収穫期の濃度の低下が最も大きい養分であった。

以上のことから、緩効性区の養分濃度は、化成区と比べ時期的変動が比較的少ない経過をたどっていた。

次に地上部の養分含量の推移を第4-8図に、最大時の養分含量を第4-5表に示した。化成区は全生育日数

の約半分である8月10日で、各養分の総吸収量のうち、N 16%、P 14%、K 15%、Ca 10%、Mg 13%が吸収されていた。その後各養分とも9月11日までの32日間で急激に増加し最大となった。その後63日の収穫期では、濃度及び乾物重の低下によりK、N、Ca含量が低下した。P及びMg含量は収穫期でも大きな低下はみられなかった。最大時の1本当たりの養分含量はKが最も高く452 mg、次いでN 326 mg、Ca 160 mg、PとMgはいずれも43 mgであったが、収穫時ではK 305 mg、N 199 mg、Ca 81 mg、P 30 mg、Mg 37 mgに低下していた。

緩効性区の養分含量は、8月10日で各養分の総吸収量のうちN 24%、P 20%、K 21%、Ca 18%、Mg 20%が吸収され、化成区より高率であった。その後32日目の9月11日にはN、K、Caが最大となったが、P、Mgはそれぞれ95%、92%の吸収であった。吸収量は全体に化成区よりやや低く推移したが、収穫期での低下が少ないことから、収穫期の養分含量は化成区と差がなかった。

無施用区の養分含量は収穫期まで増加を続けたが、8月10日では各養分の総吸収量のうちN 9%、P 7%、K %、Ca 6%、Mg 5%の吸収しかみられず、9月11日でもそれぞれ34%、25%、30%、42%、24%と極めて少なく、その後収穫期にいたるまでの63日間の増加が最も大きかった。

m²当たりの最大時の養分含量は化成区がN 8.27 g、P 1.10 g、K 11.45 g、Ca 4.06g、Mg 1.10gで最も多く、緩効性区はそれぞれ6.62 g、1.02 g、10.34 g、3.37 g、1.05gであった。また無施用区は収穫期が最大養分含量となり、それぞれ2.10g、0.48g、4.18g、1.04g、0.48 gであった。

施肥Nの利用率については無施用区のN含量を差し引いて算出した。トレーサー法と比べ無施用区の生育が劣ることから利用率が高く出るといわれているが、化成区、緩効性区ともに約23%で一般的な利用率と比べ低いものであった(表4-6)。

収量、品質では化成区と緩効性区に大きな差はないが、緩効性区が全重及び調製1本重が勝り、規格も揃っていた(表4-4)。

4. 考察

地床育苗では、播種覆土後に藁や不織布で被覆し、土壌水分の維持と保温を図るので、この時期では1週間程度で発芽するが、直播栽培では播種機の覆土だけであることから発芽が遅いものとなった。初期の生育は、肥料成分の溶出の比較的早いとみられる化成区がやや勝った。無施用区は発芽、生育、葉色が劣り、苗立ち数も畝1 m当たり17.7本と少なく、播種時の施肥養分が大きく影響していた。

施肥Nの利用率については無施用区のN含量を差し引いて算出した。トレーサー法と比べ無施用区の生育が劣ることから利用率が高く出るといわれているが、化成区、緩効性区ともに約23%で、前項の移植栽培や一般的な利用率³⁾と比べ低いものであった(表4-6)。これは、初期生育が緩慢で播種後約100日間(8月上旬まで)は植物体の乾物増加が極めて少なく、この間の肥料からの溶出養分の利用が少なかったことによると推察される。本試験では、初期生育を確保するため溶出期間140日タイプのものを使用した。直播の場合は養分吸収にあった中期以降の肥効の高いシグモイドタイプや溶出期間のより長いタイプの利用が今後の課題と思われる。

ネギの直播栽培については東北では前述の小野寺ら¹⁾や、古くは佐藤ら⁴⁾、逸見ら⁵⁾の報告があるが実用化が進んでおらず、原因の多くは初期の除草の問題にある。ネギの除草剤については、トレファノサイド乳剤など数剤が登録されているが、いずれも定植時以降の使用が要件である。定植前のいわゆる育苗期の除草についての報告^{6)、7)}はあるが、効果的な除草剤がなく今後の問題として残された。

5. 要約

ネギの直播栽培における茎葉部の養分経過と施肥法について検討した。初期生育が緩慢な直播栽培であるが、緩効性肥料(CDU-N 5 g m²とロング-N 15 g m²、計20 g m²)の全面基肥施用で、追肥が省略でき、化成肥料(基肥N 15 g m²、追肥N 12 g m²、計20 g m²)施用とほぼ同様の養分吸収経過及び収量、品質、施肥Nの利用率が得られた。m²当たりの養分吸収量は収量3.4 kgでN 6.6 g、P 1.0 g、K 10.3g、Ca 3.4 g、Mg 0.5 gであった。施肥N量は慣行栽培の26%の節減が可能となった。ネギの直播栽培は、播種時の水分条件、生育初期の除草問題など解決すべき点はまだ多く、さらに、砂土では播種溝が崩れやすく、種子が土中に埋没するため、現在のところ適地は黒ボク土や粘質土に限定される。直播栽培の導入を図るには、特に除草についての剤の開発が問題点として残された。

6. 引用文献

- 1) 小野寺徹・柴田義彦・岡田晃治：ネギの直播機械化栽培技術，第1報 転換畑における直播栽培の作業性と問題点，東北農業研究，45，255～256(1992)
- 2) 小野寺徹・島貫和夫：ネギの直播機械化栽培技術，第2報 直播栽培の作業体系と評価，東北農業研究，49，185～186(1996)
- 3) 今野陽一・熊谷勝巳・富樫政博・黒田潤・上野正夫：肥効調節型肥料を利用したネギの全量基肥局所施

肥栽培, 山形農試研報, 35, 37～43 (2001)

4) 佐藤三郎・木村頼治・戸井田義孝・斎藤利男・景山正志: 春まきネギの直は栽培法に関する試験, 一品種及びは種・栽培管理法試験一, 福島県園試研究報告, 8, 47～62 (1978)

5) 逸見俊五・榎本優・須田十三男: 春まきネギの直は栽培法に関する試験, 一小型機械利用試験一, 福島県園試研究報告, 8, 63～86 (1978)

6) 水越洋三・富樫伝悦: 東北地方のタマネギ畑に対する除草剤の利用について, 東北農業研究, 2, 176～177 (1960)

7) 富樫伝悦・石井伊佐男: ネギ苗床における除草剤の使用法に関する試験, 東北農業研究, 2, 177～178 (1960)

第5章 総合論議

秋田県では米の価格下落による農業粗生産額や農業所得の減少を回復するために、複合経営化への取り組みを進め、ネギ、アスパラガス、ハウレンソウを中心とした野菜栽培の振興を図ってきている。

ネギは栽培の土質をあまり選ばず、土壌適応性の幅も広く、古くから、能代市、大館市、鹿角市を中心とした県北地域と、にかほ市(金浦)を中心とした由利沿岸砂丘地帯河川流域の沖積土壌や、砂丘地の特産的作物として栽培されてきた。このように、本県ではネギの栽培技術は一般化されており、技術基盤があり、また、機械化が進み、省力生産と面積拡大が可能な作物となってきた。収穫・調製労力を多く要する等から作付け面積はほぼ横這いで約 500 ha で推移しているが、米作その他の面積が大きく減少する中で作付け面積を維持しているという状況にある。

本研究が開始された平成3年当時は、本県では作型としては秋冬どりが 85 %と大部分を占め、出荷は9月下旬から12月上旬に集中していた。しかしネギの需要は秋田県でも周年化の傾向にあり、品薄期の出荷を含めた周年生産による生産拡大と収益性の向上が要望されてきていた。

本研究はこのようなことを背景として、秋田県での新鮮なネギの周年生産・販売を目的として開始された。そのためには、春どり栽培における抽だい抑制と夏どり栽培の安定生産による作型開発、秋冬栽培の長期出荷、さらには、秋冬型ネギ栽培での省力栽培として直播栽培技術の確立、生産されるネギの品質の安定性、施肥労力の省力などを課題として取り上げ研究した。即ち、第1章において春どり作型の技術開発、第2章で夏どり作型の技術開発と秋冬どりネギの長期簡易保存による早春ネギの出荷、第3章では生産されるネギの作型や生産土壌による品質変動、第4章で施肥法、特に緩効性被覆肥料を利用した省力型施肥法について

検討した。種々の試行錯誤を数年繰り返し問題点を検討した結果、春どり栽培については、ハウス利用作型での3月どり、4月どりの播種期と適品種、抽だい抑制が検討すべき課題であること、夏どり栽培については7月どり、8月どりのための育苗法と生育、収量、適品種の選択および抽だいの遅い品種‘長悦’を用いての前年秋の定植による露地越冬作型の検討が重要な課題であることなどが判明した。抽だいについては供試6品種の抽だい性を明らかにし、同時に品種‘長悦’でトンネル被覆保温による抽だい抑制効果を検討した。さらに、慣行秋冬栽培ネギの収穫後のハウス貯蔵技術により、1、2月出荷を可能にするために、簡易貯蔵法の確立を検討した。

得られた成果の主要なものは以下のようにまとめられる。

春どり栽培では、ハウス利用作型の播種期と適品種、抽だい抑制について検討し、‘長悦’の晩抽性を認め、本畑定植後の暗期中断3時間及びトンネル被覆保温により、実用的には10日程度の抽だい抑制効果が得られた。抽だいの避けられないこの時期、10日間の抑制は大いに有益なものである。また、3月どりでは生育の早い品種‘明彦’で、前年6月上旬露地播種、9月中旬ハウス定植により、2～3 kg m²の収量が得られた。4月どりでは露地播種期が7月上旬、ハウス定植期9月下旬で、抽だいの極めて遅い‘長悦’が抽だいに前に3 kg m²の収量が得られた。この作型は冬期間のハウス利用効率の向上とも結びつく技術として期待されるものである。

夏どり栽培に関しては、育苗法と適品種について検討した結果、7月どりは、前年の9月上旬の露地播種または10月中旬ハウス播種の越冬苗を4月下旬に露地定植することにより、良品の収穫が可能となること、8月どりは、2月中旬ハウス播種した苗の5月上旬露地定植により8月中旬に良品の収穫が可能となること、品種では、‘吉蔵’、‘長宝’、‘明彦’が適し、さらにハウス越冬苗では‘一文字黒昇り’、‘永吉一本太’、‘亀の助’が、ハウス1年苗では‘金彦’が適品種として挙げられた。露地越冬栽培では抽だいが遅い‘長悦’の小苗を10月上旬に定植し、小トンネル被覆によって越冬率を向上し、抽だい発生を10%以下に抑制する技術を確立した。慣行秋冬栽培ネギの収穫後のハウス貯蔵に関して、貯蔵開始時のハウス土壌水分を30%位することによって根部への簡単な土寄せだけで貯蔵中の減耗が抑制される実用的な簡易貯蔵法が開発された。

このような新作型の開発にあわせてセル育苗、チェーンポット育苗・ひっぱりくん、移植、収穫・調製の機械化が進み、県の積極的なてこ入れによって作型分化が進み、施設利用の冬春どり(第1章)から、ハウス育苗の夏どり、露地越冬夏どり、秋冬どりと周年生

産がほぼ可能となった。

これらの結果、特に夏ネギの系統販売向け作付け面積が平成3年度の10%から、平成11年度は30%、平成14年度には42%まで増加している。平成14年の系統出荷は夏ネギ販売向け面積86 ha、1,396 t、347百万円、秋冬ネギ販売向け面積124 ha、2,638 t、570百万円で、合計4,034 t、917百万円となっている。この値は平成11年度の夏ネギの50 ha、920 t、143百万円、合計の3,758 t、650百万円と比べても大幅に増加している。

ネギの品質、特に食品として問題となる糖とアミノ酸含量の変動について検討したところ、ネギの主要産地の能代市において生産されるネギの糖およびアミノ酸含量に対する土壌種（黒ボク土、砂土）や作型（夏どり、秋冬どり）の影響調査から、季節による変動および土壌による違いは大きくなく、比較的安定な組成・品質のネギが生産・出荷されていること、ネギの軟白部は緑葉部よりアミノ酸及び糖含量は高く、軟白部位がそれらの貯蔵組織として機能していること、アミノ酸含量が高いと糖濃度が低下することが判明した。また、窒素の最終追肥後収穫までの日数が短いとアミノ酸含量が高くなり、逆に糖濃度は低下し、最終追肥時期と収穫時期との間の日数がアミノ酸含量に大きく影響することも判明した。

施肥法については、肥効調節型肥料（被覆燐硝安加里40日タイプ-N 15 g m² + CDU-N 5 g m²）の全量基肥全面施肥について検討した。

1) 夏どり作型は、生育前半は低温期、生育後半は高温期に当たる作型であること、使用した苗が地床苗と比べ小さいセル苗であることから、当作型は6月までは殆ど生育が進まず、全生育期間135日中、後半の約50日で全体の6~7割の乾物生産や窒素の吸収が行われていることが判明した。2) 施肥窒素量で26%節減した緩効性肥料区は夏どりに関しては生育、収量、品質面で化成肥料区に及ばなかった。3) 慣行の化成肥料を施用した秋冬ネギの乾物重は、9月中旬までは緩慢に推移し、その後は急激に増加し、10月下旬以降に再び緩慢となった。緩効性肥料を用いた全量基肥全層施用における乾物重は、化成肥料施用よりやや高めに推移し、収穫期の前進が図られた。4) 化成肥料施用の窒素濃度経過は、9月中旬にピークとなりその後急激に低下したが、緩効性肥料施用では10月初旬がピークとなり、化成肥料施用より、やや低く経過するが、その後は低下が少なく、10月下旬以降の収穫期では化成肥料施用と差がなかった。5) 窒素の吸収量は、化成肥料施用と緩効性肥料施用はほぼ同様に経過し、施肥窒素の利用率は、化成肥料施用の38.9%に対し、緩効性肥料施用では54.5%に向上した。6) 秋冬ネギの地床苗移植栽培において、緩効性肥料の全量基肥全層施用で、慣行の化成肥料施用とほぼ同様な養

分吸収経過と収量・品質が得られ、施肥窒素利用率の向上と減肥及び追肥の省略が可能となった。7) 直播秋冬どりでは播種機の覆土だけであることから種子の発芽が遅れ、初期の生育は、肥料成分の溶出の比較的早いとみられる化成区がやや勝った。普通移植栽培と比較し、初期生育が劣ってはいたが、生育の後半では差が少なくなり、直播栽培による省力栽培の可能性は示された。しかし、幼苗時の除草剤の登録がないことから、播種後の雑草の防除が課題として残った。8) 直播での施肥Nの利用率については、化成区、緩効性区ともに約23%で一般的な利用率と比べ低いものであった。直播の場合は養分吸収にあった中期以降の肥効の高いシグモイドタイプや溶出期間のより長いタイプの利用が今後の課題と思われる。

以上のように、予備検討を含めて10年余にわたる試行錯誤の結果、北東北日本海地域に位置する本県において、これらの新作型の開発により、ハウス利用の冬春どりから、ハウス育苗の夏どり、露地越冬夏どり、秋冬どり・貯蔵出荷と周年生産が可能となった。そして、秋田県のネギ生産現場では既に本論文で確立された技術の一部が実用化され、この技術を生かすための機械化も進み、価格の高い夏どり栽培面積が増加している。秋田県の農業産出額が減少する中で、野菜の産出額は比較的一定に維持され、ネギに関しても作付け面積は500haと横這いで状態を維持し、生産額低下という事態を回避している。今後も秋田県農業を維持するためには、水田を高度に利用し、機械化、省力化が進んでいるネギを含めた野菜栽培の積極的な導入が必要なことと思われる。

謝 辞

秋田県立大学生物資源科学部教授・茅野充男博士からは、本研究の遂行、論文とりまとめに当たり、懇切丁寧なご指導を賜るとともに、審査して頂きました。秋田県立大学生物資源科学部教授・内藤秀樹博士、同教授・川島長治博士には、本論文の作成に対してご指導を頂くとともに、審査して頂きました。

秋田県立大学生物資源科学部准教授・服部浩之博士からは、本論文のとりまとめに対して貴重なご助言を頂きました。

糖及び遊離アミノ酸分析を実施するに当たり、秋田県立大学生物資源科学部助教・中村進一博士からは多大のご指導を頂きました。

本研究を遂行するにあたっての基本的考え方は、1991年に当時の秋田県農業試験場長・高井隆次博士からご指導頂きました。

元秋田県農業試験場の飯塚文男博士、藤田佳克博士、鳥越洋一博士、吉川朝美氏からは励ましの言葉を頂きました。秋田県農業試験場長児玉徹氏、同主席研究員佐藤福男氏をはじめ、同管理室、同野菜・花き部の

方々からは日頃諸々のご助言、ご協力を頂きました。り多大なご協力を頂きました。
特に秋田県農業試験場ネギプロジェクトチーム並びに 以上の皆様に対し、心より感謝申し上げます
野菜担当の方々には、試験の実施及び現地調査に関わ

Abstract

The study of high quality production system of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.) in Akita Prefecture.

Hiroyuki KAGAYA

(Agricultural Experiment Station, Akita Prefectural Agriculture, Forestry, and Fisheries Research Center)

For the purpose of all year round production and shipping of fresh bunching onion in Akita Prefecture, it was studied on suppression of bolting in the cultivation for harvesting in summer, long term storage and shipment for harvesting in autumn and winter, the cultivation methods for direct seeding as labor saving culture in autumn and winter, quality of the harvests, and labor saving for application of fertilizer.

In the cultivation for harvesting in spring, it was examined on seeding time in greenhouse, suitable varieties in this cultivation, and suppression of bolting. It was confirmed that “Tyoetu” is late bolting variety by cultivation greenhouse for spring harvest. It was delayed bolting for ten days by three-hour interruption of dark period or thermal insulation using vinyl tunnel after planting in the field. For harvest in March, sowing time in field is the beginning of June, planting time in greenhouse is the middle of September and suitable variety is “Akihiko” that is full growth. For harvest in April, sowing time in field is the beginning of July, planting time in greenhouse is the end of September and suitable variety is “Tyoetu” that is late bolting.

For harvest in July, sowing early in September in field or middle in October in greenhouse in the previous year respectively and planting late in April in field is suitable. For harvest in August, sowing time is the middle of February in greenhouse and planting time in field is the beginning of May. The suitable varieties are “Yosikura”, ‘Tyohou’, ‘Akihiko’ those growth, yield and quality are stable. For winter cultivation in field, planting small seedlings in the beginning of October and thermal insulation using vinyl tunnel suppressed bolting to 10% or less. In the custom cultivation in autumn and winter, storage in greenhouse after harvesting, regulation of water content in the soil of greenhouse to about 30% brought good results in the storage of the plants.

Effects off soil (andosol or sand soil) and culturing types (harvesting in summer or autumn-winter) on quality of the plants, especially on changing of the contents of sugars and amino acid were examined. Seasonal changing and difference in soils did not affect on the contents of sugars and amino acids so much. The quality of the plants produced in

Noshiro where is main production area in Akita Prefecture was stable in any seasons and soil. It was made cleared that contents of sugars and amino acids were higher in etiolated tissues than in green leaves, etiolated tissues were main storage tissues of sugars and amino acids, high content of amino acid caused low content of sugar. The length of the period between the last additional fertilizing of nitrogen affects on content of amino acid in the tissues.

In transplanting cultivation in autumn and winter, it was similar results were obtained on progress of absorption of nutrients yield and quality of the plants by total layer application of slow-acting fertilizer without additional fertilizer and the custom application of compound fertilizer. This method improves the using rate in nitrogen of fertilizer and reducing total or additional fertilizer application.

All year round production, Bunching onion, Cropping time, Fertilizer method, Quality, Soil,

表1-1 春どりネギの定植苗の生育(1992. 9. 17)

播種期 (露地)	品種	草丈 (cm)	茎径 (mm)	1本重 (g)
6月4日	元蔵	71	9	30
	東京夏黒2	76	11	36
	明彦	63	8	22

表1-2 春どりネギの生育(1993. 1. 18)

播種期 (露地)	定植期 ハウス	品種	全長 (cm)	葉数 (枚)	葉鞘長 (cm)	軟白長 (cm)	茎径 (mm)	1本重 (g)	調製歩留 まり(%)
6月4日	9月17日	元蔵	88	4.7	37	22	14	96	90.6
		東京夏黒2号	81	5.2	35	22	14	92	88.0
		明彦	85	5.0	36	22	14	99	80.8

表1-3 春どりネギの収穫調査(1992)

収穫期 月日	品種	本数 (本/m)	一本重 (g)	抽だい率 (%)	調製歩			全長 (cm)	葉鞘長 (cm)	軟白長 (cm)	太さ(cm)別割合(%)			
					留まり (%)	調製重 (kg/m)	調製重 (g/本)				≥2.0	2.0 ~1.5	1.5 ~1.0	<1.0
3月11日	元蔵	24.5	101	0.0	77.2	1.90	78	113	45	35	2.0	22.4	40.8	34.6
	東京夏黒2	24.0	94	0.0	75.5	1.70	71	95	46	35	2.1	18.8	56.3	22.9
	明彦	23.0	120	0.0	76.7	2.57	92	97	42	34	3.4	29.3	41.1	22.3
4月8日	元蔵	27.5	145	7.3	72.4	2.68	105	105	57	42	7.3	29.1	38.2	25.4
	東京夏黒2	30.0	140	11.7	76.4	2.83	107	99	49	40	3.3	33.3	43.3	20.1
	明彦	27.0	124	3.7	80.6	2.60	100	106	55	39	1.9	27.8	51.9	18.4

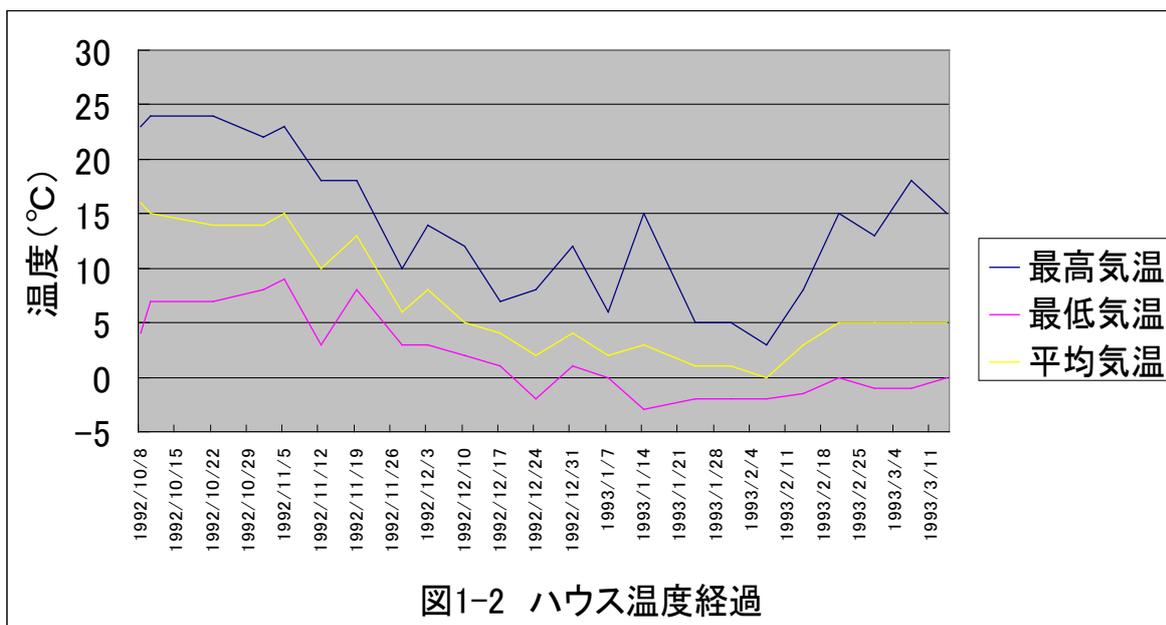
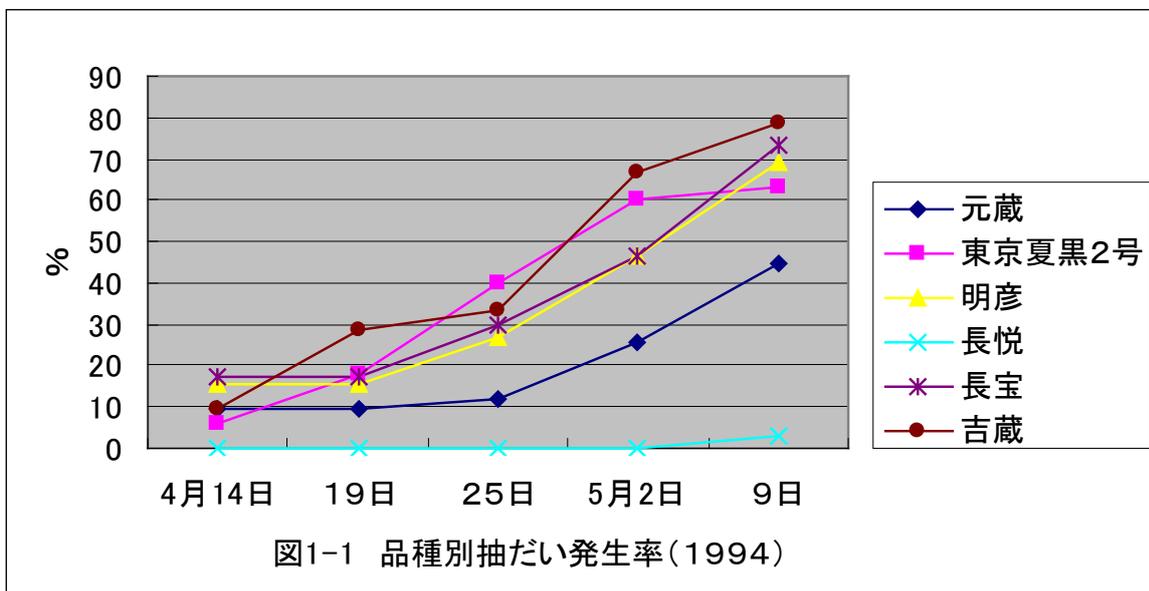
調製歩留まり以降の項目は未抽だい株について調査

表1-4 春どりネギの収穫調査(1993)

収穫期 月日	品種	本数 (本/m)	一本重 (g)	抽だい率 (%)	調製歩		
					留まり (%)	調製重 (kg/m)	調製重 (g/本)
4月14日	元蔵	21.5	74	9.3	82.7	1.13	58
	東京夏黒2号	26.5	66	5.7	83.5	1.27	51
	明彦	26.0	104	15.4	79.2	1.64	75
	長悦	26.5	121	0.0	76.6	2.45	93
	長宝	29.0	116	17.2	78.6	2.14	89
	吉蔵	26.0	77	9.6	77.3	1.24	53
5月9日	長悦	24.0	143	2.8	69.1	2.37	99

全長 (cm)	葉鞘長 (cm)	軟白長 (cm)	太さ(cm)別割合(%)				収量 (kg/a)
			≥2.0	2.0 ~1.5	1.5 ~1.0	<1.0	
85	41	28	0.0	0.0	62.5	37.5	126
82	39	22	0.0	2.0	46.0	52.0	141
84	44	27	0.0	22.7	45.5	31.8	182
111	51	31	0.0	20.8	64.2	15.0	272
96	46	27	2.1	14.6	66.7	16.6	238
86	41	26	0.0	4.1	49.0	46.9	138
109	48	31	0.0	10.9	54.3	34.8	263

調製歩留まり以降の項目は未抽だい株について調査



区	抽だい発生率(%)			
	5月8日	20日	23日	6月18日
①電照113日	1.1	22.2	30.3	58.8
②電照 73日	1.8	33.7	44.3	64.3
③電照 32日	2.8	34.9	48.1	64.5
④無電照	16.0	52.7	65.9	80.3
①被覆	5.2	27.9	28.7	36.5
②無被覆	11.5	58.4	70.8	84.4

区	全重	全長	葉数	葉鞘長	太さ
	(g/本)	(cm)	(枚)	(cm)	(mm)
①電照113日	104	94.3	4.6	27.5	13.7
②電照 73日	96	92.1	4.7	28.4	13.7
③電照 32日	99	93.3	5.0	27.0	13.4
④無電照	95	89.9	4.7	29.4	12.7
①被覆	127	104	5.0	32.3	14.4
②無被覆	154	102	5.2	31.0	16.0

区	平均気温				最高気温				最低気温			
	11/8	~1/6	~2/25	~5/7	11/8	~1/6	~2/25	~5/7	11/8	~1/6	~2/25	~5/7
	~12/6				~12/6				~12/6			
①被覆	8.1	4.4	2.7	10.0	13.3	10.5	8.0	19.3	5.2	1.6	0.0	3.8
②無被覆	6.8	3.2	1.9	9.0	12.1	9.1	7.3	18.5	3.5	0.1	-1.2	2.5

No.	品種	定植時(4月27日)			抽だい発生率(%)			
		草丈 (cm)	葉色	良苗程度	5月 20日	6月 27日	6月 9日	6月 22日
1	吉蔵	26.0	濃緑	△	4.5	17.9	33.0	35.7
2	長宝	30.0	緑	△	5.2	15.7	53.2	59.6
3	明彦	22.0	濃緑	△	4.4	11.1	26.7	28.9
7	十国	25.0	濃緑	◎	13.2	48.4	69.1	73.0
11	一文字黒昇り	26.0	濃緑	×	16.7	37.5	56.0	79.2
12	東京夏黒2号	23.0	濃緑	△	4.1	16.3	40.8	43.5
13	東京冬黒	30.0	緑	○	0.0	24.7	51.6	56.3

No.	品種	本数 (本)	全長 (cm)	調製重 (kg)	一本重 (g)	太さ(cm)別割合(%)			
						≥2.0	2.0 ~1.5	1.5 ~1.0	<1.0
1	吉蔵	20.0	80.0	3.4	167.5	13.6	59.2	22.7	4.5
2	長宝	29.5	87.5	4.2	141.5	5.2	63.8	27.6	3.4
3	明彦	22.5	89.0	3.5	156.7	20.0	60.0	20.0	0.0
7	十国	25.0	88.0	3.2	126.0	20.5	45.5	29.5	5.5
11	一文字黒昇り	21.0	85.2	3.0	141.9	28.6	38.1	33.3	0.0
12	東京夏黒2号	22.0	79.0	3.4	152.3	22.7	45.5	27.3	4.5
13	東京冬黒	25.5	85.0	3.2	126.4	6.0	60.0	24.0	10.0

病害虫発生程度					品質			
サビ病	ベト病	黒斑病	ハモグリハエ	アザミウマ	光沢	締まり	柔らかさ	食味
-	±	±	-	±	△	○	○	○
-	±	±	-	-	△	◎	△	△
±	+	-	-	±	○	○	○	△
-	±	-	-	±	○	△	○	○
-	±	-	-	±	△	○	△	○
+	±	±	±	±	△	○	○	○
-	±	±	-	±	△	○	○	△

^-無~+++甚、×劣~◎優

No.	品種	草丈 (cm)	茎径 (mm)	葉数 (枚)	生体重 (g/10本)	葉色	抽だい率 (%)
1	吉蔵	51.3	8.2	3.6	206	明緑	0
2	長宝	61.7	10.4	4.2	388	緑	0
3	明彦	64.7	10.1	4.1	392	緑	0
6	吉蔵2号	58.9	8.9	3.7	258	緑	0
7	十国	54.3	10.0	4.1	308	緑	0
8	聖冬一本太	53.9	9.1	3.1	236	緑	0
9	夏帝	59.5	8.5	3.3	250	濃緑	0
10	永吉冬一本太	57.7	8.7	3.4	242	明緑	0
11	一文字黒昇り	61.9	10.3	3.8	350	濃緑	0
12	東京夏黒2号	66.6	10.4	4.2	390	濃緑	0
13	東京冬黒	64.3	9.6	3.7	328	濃緑	0
15	余目一本太	81.2	9.2	3.7	350	濃緑	0
16	えびす	66.2	9.0	3.7	320	緑	0
18	KA-204	74.7	10.0	4.0	394	濃緑	0
19	亀の助	51.2	8.1	3.4	239	明緑	60

表2-4 ハウス越冬苗による7月どりネギの生育・収量(畝長1m当たり、7月29日調査)(1991)

No.	品種	本数 (本)	調製重 (kg)	一本重 (g)	太さ(cm)別割合(%)			
					≥2.0	2.0 ~1.5	1.5 ~1.0	<1.0
1	吉蔵	32.2	2.41	90.6	4.5	36.4	54.5	4.5
2	長宝	31.1	2.98	95.7	6.7	66.7	20.0	6.6
3	明彦	32.2	3.33	103.4	13.8	41.4	44.8	0.0
6	吉蔵2号	34.4	3.28	95.2	5.3	55.9	29.4	8.8
7	十国	30.0	2.61	87.0	10.0	50.0	30.0	10.0
8	聖冬一本太	42.2	2.78	65.8	0.0	65.7	34.3	0.0
9	夏帝	33.3	2.76	82.7	2.7	48.6	29.7	19.0
10	永吉冬一本太	31.1	2.89	92.9	3.6	71.4	25.0	0.0
11	一文字黒昇り	32.2	3.06	94.8	6.9	82.7	10.4	0.0
12	東京夏黒2号	35.6	3.33	93.8	5.4	43.3	37.8	13.5
13	東京冬黒	42.2	2.86	67.9	26.3	50.0	23.7	0.0
15	余目一本太	26.7	2.88	108.3	23.0	50.0	18.2	8.8
16	えびす	38.8	3.13	80.6	0.0	76.6	23.4	0.0
18	KA-204	30.0	3.12	104.1	11.1	55.6	29.6	3.7
19	亀の助	32.2	2.91	104.8	8.0	60.0	32.9	0.0

病害虫発生程度					品質			
サビ病	ベト病	黒斑病	ハモグリハエ	アザミウマ	光沢	締まり	柔らかさ	食味
++	+	++	-	-	△	○	中	辛
±	+	±	-	-	△	×	中	中
+	-	+	-	-	△	◎	硬	中
±	+	++	-	+	○	○	硬	辛
+	+	+	-	+	◎	○	硬	辛
±	+	±	+	±	○	◎	中硬	辛
++	+	+	-	-	△	△	硬	辛
+	+	+	-	-	△	△	中	中
+	+	++	-	-	○	△	中	中
+	-	+	-	-	△	△	極硬	辛
±	+	±	-	-	△	○	硬	辛
++	+	++	+	+	△	◎	硬	劣
++	++	+	-	-	△	○	中	中
++	+	++	-	±	△	△	中硬	中
+	±	±	±	±	○	×	柔	中甘

△無~+++甚、×劣~◎優

表2-5 ハウス1年苗(8月どりネギ)の定植時(5月7日)の生育 (1992)

No.	品種	草丈 (cm)	茎径 (mm)	葉数 (枚)	生体重 (g/10本)	葉色	抽だい率 (%)
1	吉蔵	43.0	3.7	4.0	24	緑	0
2	長宝	34.0	4.5	4.0	22	緑	0
3	明彦	38.5	4.4	4.0	28	濃緑	0
4	金彦	36.2	4.7	4.0	22	緑	0
5	元蔵	40.0	4.3	4.0	22	緑	0
12	東京夏黒2号	41.0	4.3	4.0	20	濃緑	0
14	霜耐	39.0	4.2	4.0	24	緑	0
17	冬1号	40.5	4.5	4.0	22	緑	0

抽だい率: 6月22日調査

No.	品種	本数 (本)	全長 (cm)	調製重 (kg)	一本重 (g)	太さ(cm)別割合(%)			
						≥2.0	2.0 ~1.5	1.5 ~1.0	<1.0
1	吉蔵	23.5	79.2	2.80	119.1	16.3	49.0	22.4	12.3
2	長宝	28.5	95.0	3.33	116.7	8.8	40.4	43.8	7.0
3	明彦	26.5	95.0	3.15	118.9	17.0	43.4	34.0	5.6
4	金彦	28.5	87.0	4.15	148.2	19.6	41.1	32.1	7.2
5	元蔵	21.5	93.0	2.33	108.1	11.6	41.8	32.6	14.0
12	東京夏黒2号	22.0	67.5	1.25	56.8	18.2	27.3	50.0	4.5
14	霜耐	24.0	96.0	1.85	77.1	8.3	27.1	50.0	14.6
17	冬1号	27.0	84.3	1.50	55.6	0.0	25.9	70.4	3.7

病害虫発生程度					品質			
サビ病	べと病	黒斑病	ハモグリハエ	アザミウマ	光沢	締まり	柔らかさ	食味
-	±	±	-	-	○	○	○	○
-	+	±	-	±	△	○	△	△
-	±	±	-	-	○	○	△	△
-	±	±	-	±	○	○	△	△
-	-	±	-	-	○	○	○	○
-	-	-	-	-	△	○	○	○
-	-	±	-	±	△	○	△	○
-	-	±	-	-	△	○	△	△

- 無 ~ +++ 甚、× 劣 ~ ○ 優

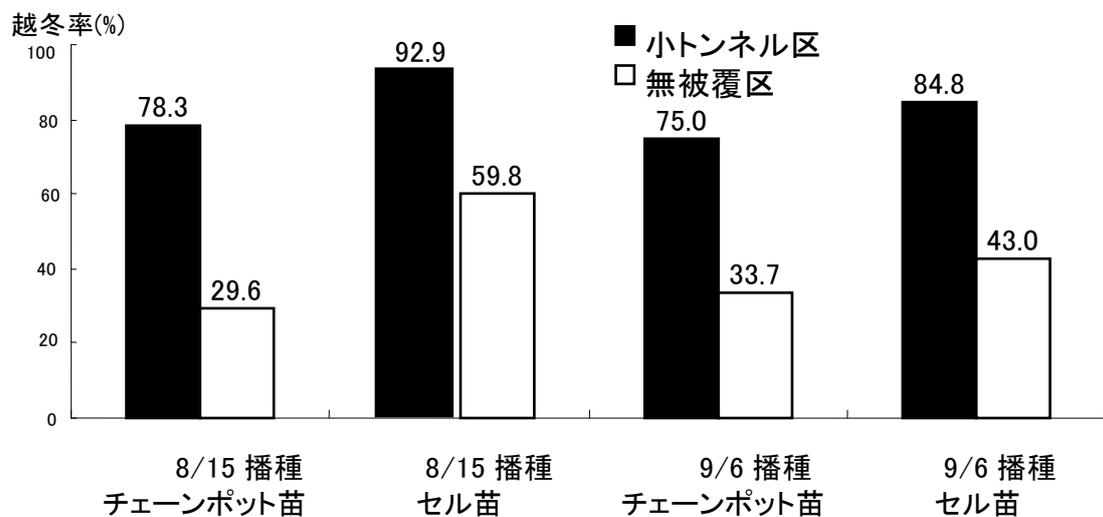


図 2-1 各種処理区苗の越冬率

表2-7 越冬前の生育調査(2000.12.4)

区名	地上部	草丈	茎径
	1本重 (g)	(cm)	(mm)
8/15播種 チェーンポット苗	1.6	28.0	4.1
8/15播種 セル苗	2.8	29.7	5.0
9/6播種 チェーンポット苗	1.2	27.4	4.0
9/6播種 セル苗	3.0	30.7	5.4

表2-8 抽だい発生率(2001)

区名		調査日(月/日)			
		5/23 (%)	6/6 (%)	6/20 (%)	6/26 (%)
小トンネル区	8/15播種 チェーンポット苗	1.1	1.6	2.1	2.7
	8/15播種 セル苗	3.3	4.3	5.8	5.8
	9/6播種 チェーンポット苗	0.0	0.0	0.0	0.0
	9/6播種 セル苗	3.2	6.0	8.7	9.9
無被覆区	8/15播種 チェーンポット苗	0.0	0.3	0.3	0.3
	8/15播種 セル苗	0.6	2.6	4.1	4.5
	9/6播種 チェーンポット苗	0.0	0.3	0.3	0.3
	9/6播種 セル苗	1.8	4.4	5.4	5.4
ハウス越冬苗区	9/6播種 チェーンポット苗	0.0	0.0	0.0	0.0
	9/6播種 セル苗	0.0	0.0	0.0	0.0

表 2-9 小トンネル区の生育調査 (2001)

区名	調査日 (月/日)	地上部重 (g)	草丈 (cm)	分岐長 (cm)	調整後	
					軟白長 (cm)	葉鞘径 (mm)
8/15播種 チェーンポット苗	6/6	41.9	54.3	6.5	-	11.5
	6/27	85.2	62.7	20.2	-	13.6
	7/25	138.9	86.2	34.1	24.4	16.3
8/15播種 セル苗	6/6	52.6	55.9	14.3	-	12.0
	6/27	106.1	67.5	23.7	-	13.9
	7/25	172.2	89.5	35.9	25.5	17.2
9/6播種 チェーンポット苗	6/6	22.2	43.3	12.5	-	8.7
	6/27	67.1	61.6	19.3	-	11.7
	7/25	141.8	83.6	32.3	23.8	15.3
9/6播種 セル苗	6/6	51.3	53.2	19.2	-	11.8
	6/27	92.7	64.5	20.9	-	13.5
	7/25	179.5	90.2	33.7	24.1	18.0

収量(kg/10a)

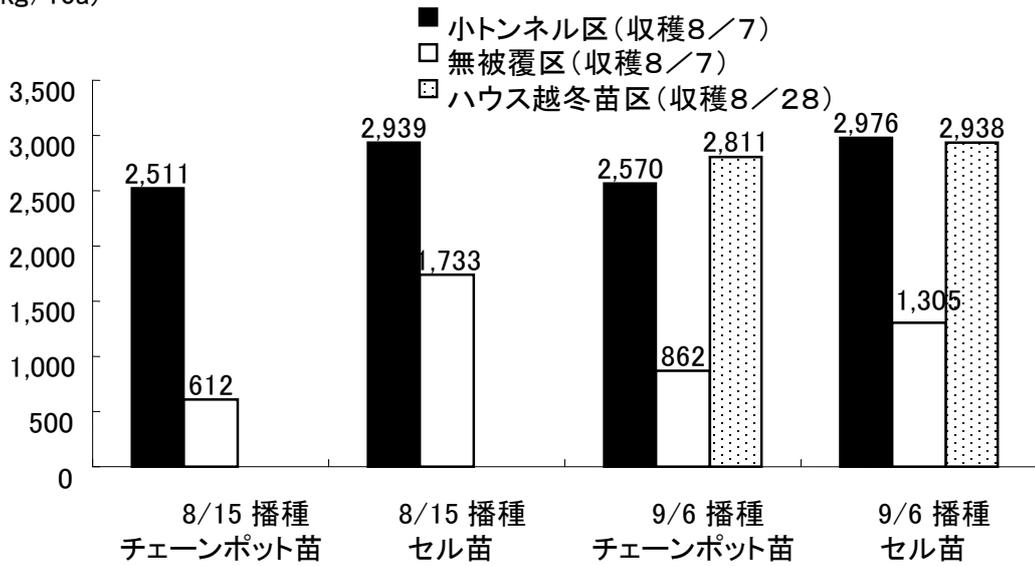


図 2-2 各区の収量 (2001)

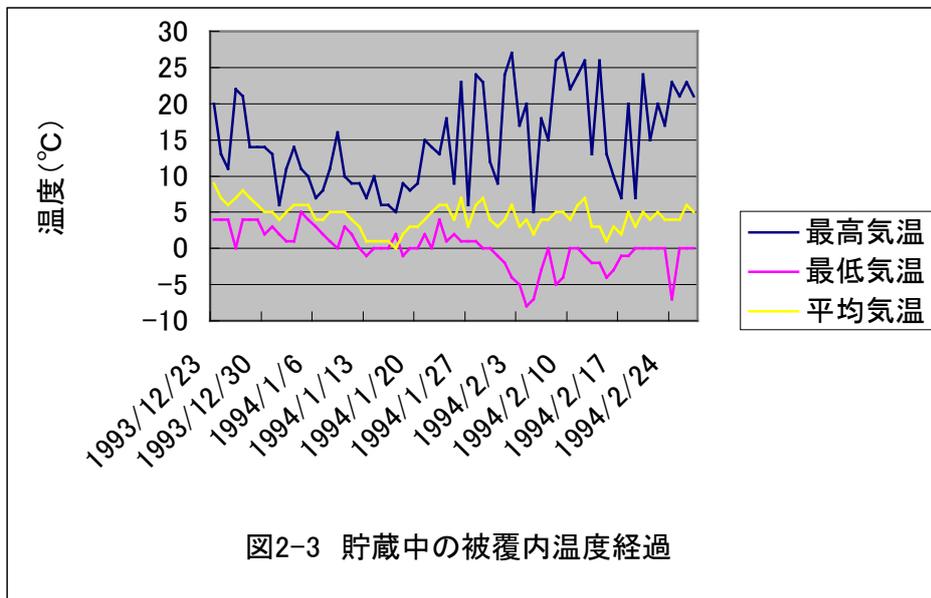
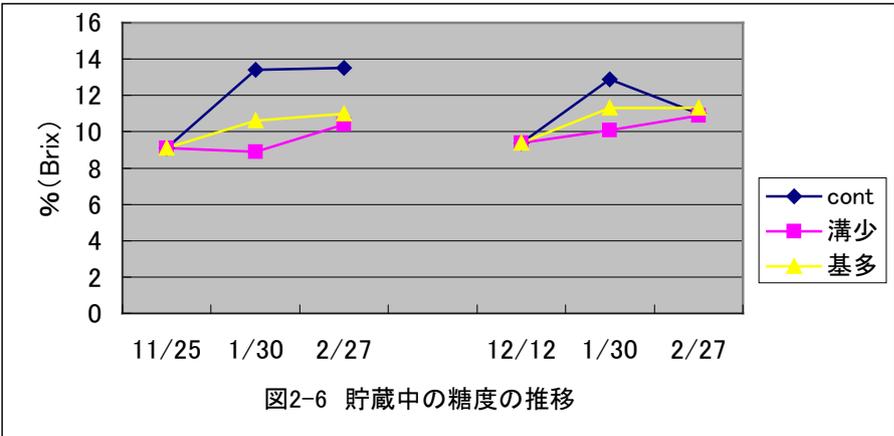
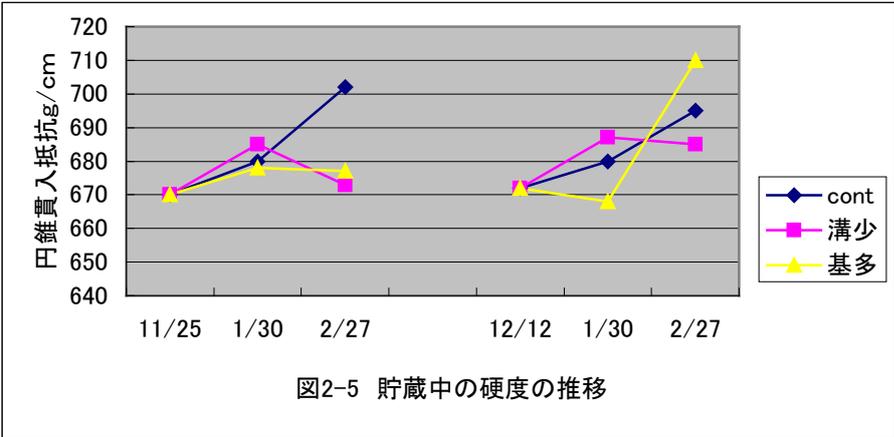
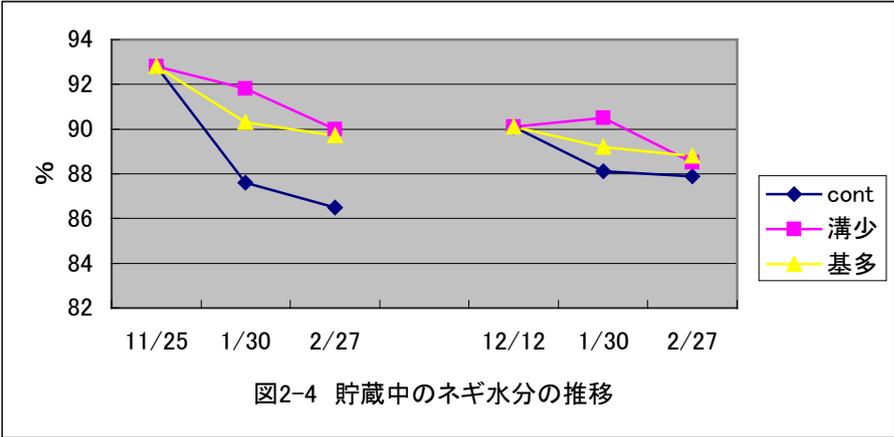


図2-3 貯蔵中の被覆内温度経過



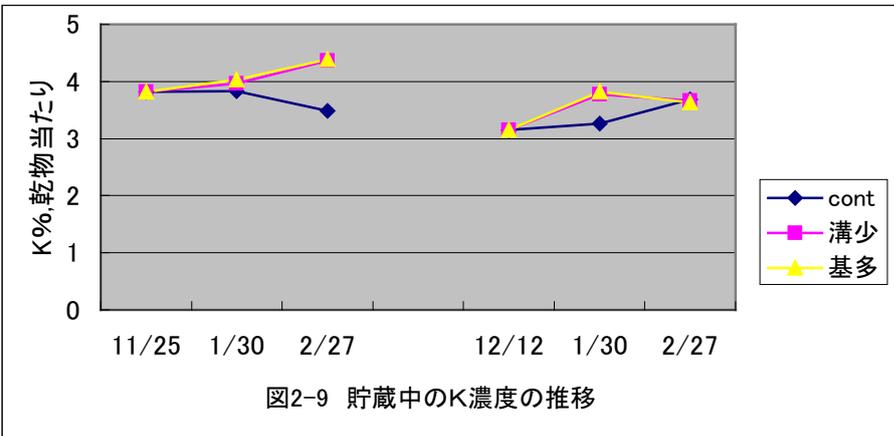
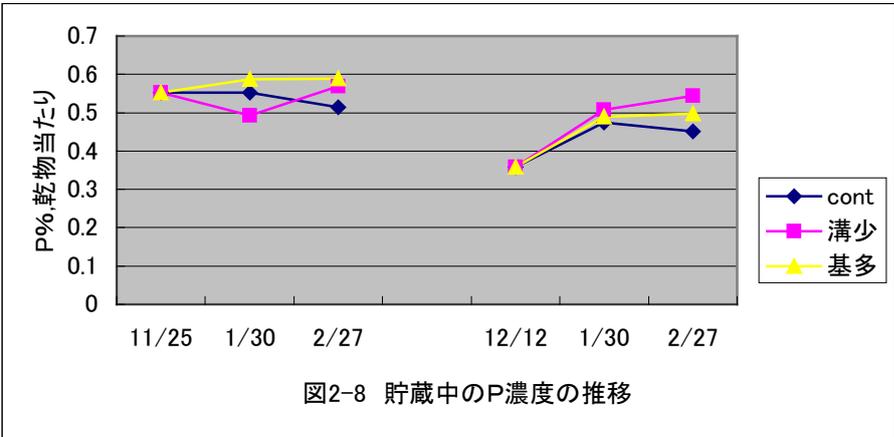
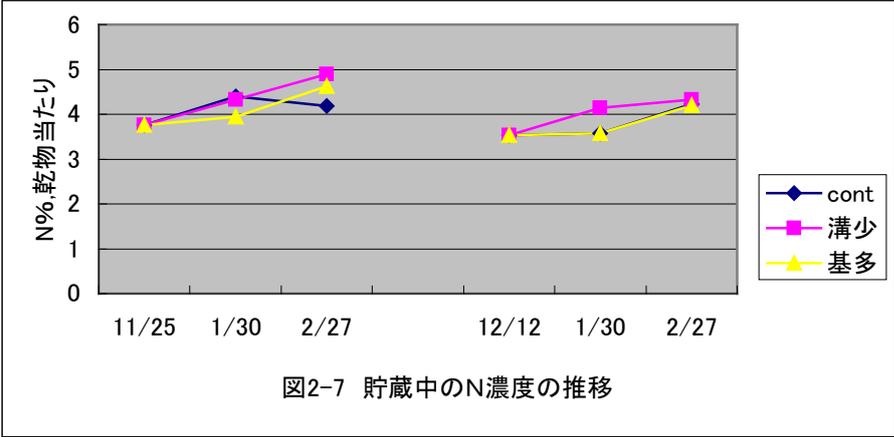


表 3-1. 2003 年の秋田県能代市でのネギ(夏扇 4 号)の栽培時における平均気温、収穫時の気温と収量

作型	栽培土壌	栽培時の 平均気温 (°C)	収穫時の 気温 (°C)	収量 (kg m ⁻²)
夏どり	黒ボク土	17.2	21.3	2.38
	砂土			2.70
秋冬どり	黒ボク土	17.0	13.4	5.85
	砂土			4.16

表 3-2. 2003 年 11 月に収穫されたネギ (夏扇 4 号) の収量及び軟白部の直径による分類

栽培土壌	収量		割合(%)			
	総収量	規格品収量	2L	L	M	B
	(kg m ⁻²)	(kg m ⁻²)				
黒ボク土	6.05	5.85	49.9	40.2	6.6	3.3
砂土	4.37	4.16	33.1	51.6	6.4	8.9

糖含量単位 μ mol/g 新鮮重

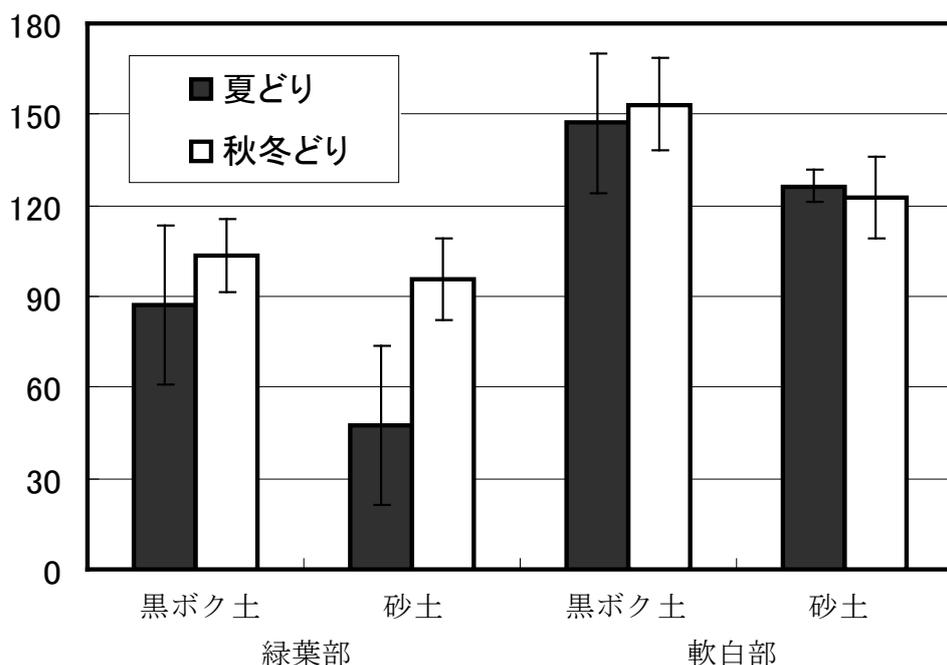


図 3-1. 黒ボク土及び砂土で栽培された夏どりおよび秋冬どりネギ (夏扇 4 号) の緑葉部、軟白部における糖含量。測定値は 4 つの異なるサンプルの分析の平均値

表 3-3. 黒ボク土及び砂土で栽培されたネギ（夏扇 4 号）の糖含量($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)

	夏どり				秋冬どり			
	緑葉部		軟白部		緑葉部		軟白部	
	黒ボク土	砂土	黒ボク土	砂土	黒ボク土	砂土	黒ボク土	砂土
フルクトース	42.8±12.9	27.8±11.5	75.9±10.7	71.8±4.2	48.3±4.1	47.7±6.3	67.3±5.0	66.9±4.8
グルコース	37.7±12.0	16.8±14.2	54.7±9.7	38.7±1.1	46.5±6.9	38.7±5.3	69.1±7.7	45.3±7.0
ショ糖	6.4±1.3	2.8±1.3	16.5±3.8	15.7±2.4	8.6±1.6	9.2±2.7	17.0±3.9	10.5±1.9
総量	87.0±26.1	47.5±26.0	147.2±22.9	126.2±5.3	103.5±12.1	95.7±13.6	153.3±15.0	122.7±13.4

測定値は4つの異なるサンプルの分析の平均値

アミノ酸含量単位 $\mu\text{mol/g}$ 新鮮重

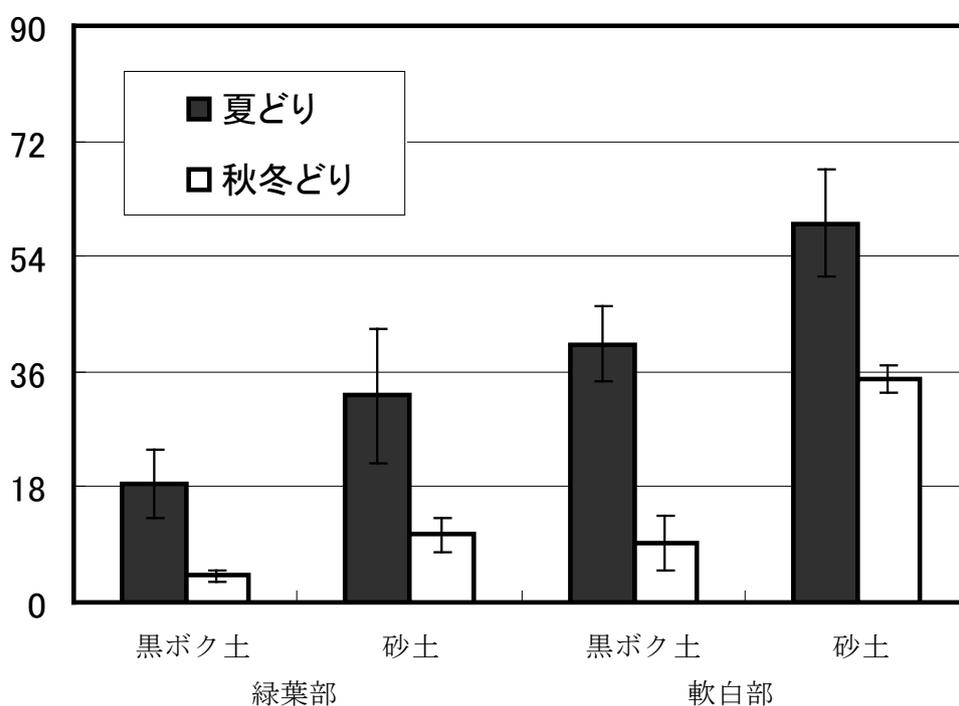


図 3-2. 黒ボク土及び砂土で栽培された夏どりおよび秋冬どりネギ（夏扇 4 号）の緑葉部、軟白部におけるアミノ酸含量。測定値は4つの異なるサンプルの分析の平均値

表 3-4. 黒ボク土及び砂土で栽培されたネギ（夏扇 4 号）のアミノ酸含量($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)

	夏どり				秋どり			
	緑葉部		軟白部		緑葉部		軟白部	
	黒ボク土	砂土	黒ボク土	砂土	黒ボク土	砂土	黒ボク土	砂土
アラニン	2.03±0.8	4.23±2.1	6.14±0.5	7.54±1.0	0.40±0.1	1.73±0.3	1.61±0.7	4.00±0.3
アルギニン	0.20±0.1	0.49±0.2	0.54±0.1	1.04±0.2	0.03±0.0	0.13±0.0	0.04±0.0	0.26±0.0
アスパラギン酸	0.40±0.1	1.15±0.6	0.41±0.1	0.64±0.1	0.18±0.0	0.64±0.1	0.11±0.0	0.31±0.1
アスパラギン	3.18±1.2	6.71±1.7	1.99±0.3	4.49±0.7	0.14±0.1	3.27±0.7	0.27±0.1	1.66±0.0
システイン	未検出	未検出	未検出	未検出	0.20±0.03	0.32±0.01	0.27±0.03	0.19±0.09
グルタミン酸	0.31±0.08	0.45±0.28	0.44±0.12	0.99±0.56	0.07±0.03	0.27±0.10	0.28±0.07	0.80±0.41
グルタミン	3.79±0.75	7.24±2.54	18.5±3.8	28.7±4.1	1.33±0.50	6.74±1.85	3.48±2.73	20.8±1.8
グリシン	1.45±2.42	0.47±0.07	0.42±0.06	0.57±0.06	0.03±0.02	0.13±0.02	0.23±0.10	0.39±0.03
ヒスチジン	0.10±0.01	0.14±0.04	0.38±0.04	0.51±0.12	0.04±0.03	0.07±0.02	0.16±0.03	0.25±0.01
イソロイシン	0.22±0.04	0.33±0.06	1.05±0.18	1.26±0.25	0.17±0.03	0.27±0.03	0.22±0.02	0.62±0.02
ロイシン	0.40±0.07	0.72±0.22	1.56±0.34	1.89±0.34	0.22±0.04	0.49±0.08	0.39±0.05	0.88±0.06
リジン	0.14±0.01	0.31±0.15	0.61±0.06	0.90±0.27	0.08±0.02	0.20±0.04	0.10±0.02	0.37±0.04
メチオニン	0.16±0.04	0.11±0.06	0.21±0.04	0.29±0.04	0.10±0.07	0.13±0.01	0.17±0.02	0.16±0.02
フェニルアラニン	0.08±0.03	0.26±0.10	0.80±0.14	0.96±0.25	0.01±0.01	0.13±0.04	0.19±0.10	0.48±0.06
プロリン	0.17±0.13	0.54±0.15	0.30±0.11	0.25±0.03	未検出	0.19±0.03	未検出	0.12±0.08
セリン	5.04±1.23	7.80±2.53	4.09±0.63	5.06±0.77	0.69±0.16	2.16±0.22	0.84±0.32	1.82±0.06
スレオニン	未検出							
トリプトファン	0.03±0.03	0.09±0.02	0.40±0.06	0.49±0.11	0.01±0.02	0.05±0.00	0.22±0.02	0.23±0.01
チロシン	0.16±0.02	0.27±0.07	0.91±0.10	1.41±0.34	0.09±0.01	0.17±0.03	0.35±0.06	0.49±0.02
バリン	0.61±0.02	0.99±0.35	1.62±0.29	2.15±0.34	0.37±0.03	0.52±0.06	0.44±0.07	1.00±0.11
総量	18.5±5.3	32.2±10.5	40.3±5.82	59.1±8.3	4.2±1.0	17.6±2.7	9.4±4.3	34.8±2.1

測定値は 4 つの異なるサンプルの分析の平均値

糖+アミノ酸含量 単位 $\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$

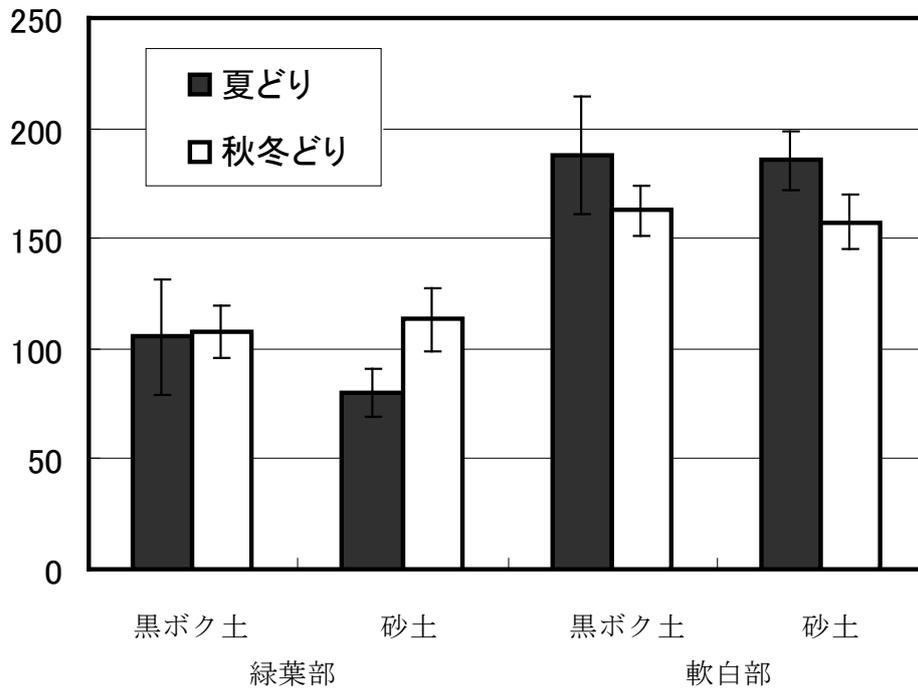


図 3-3. 黒ボク土及び砂土で栽培された夏どりおよび秋冬どりネギ（夏扇 4 号）の緑葉部、軟白部における糖とアミノ酸含量の合計値。測定値は 4 つの異なるサンプルの分析の平均値

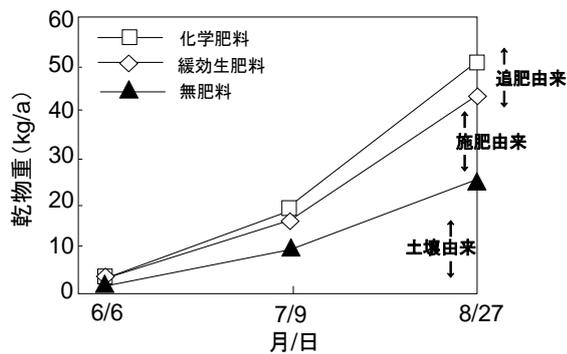


図4-1 肥料施用各区の乾物重推移

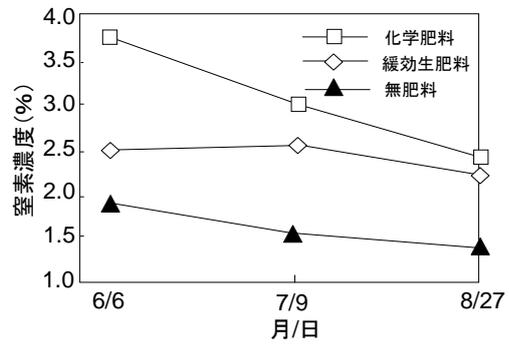


図4-2 各区の窒素濃度推移

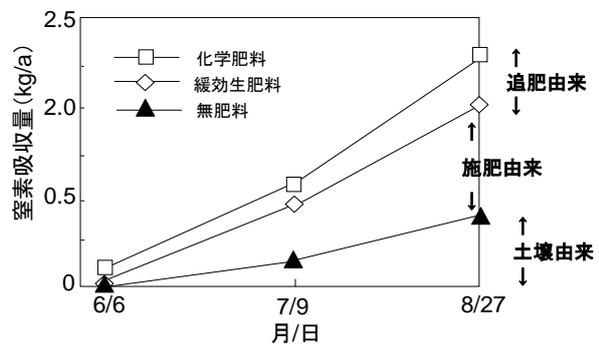


図4-3 夏どり作型ネギの窒素吸収量の推移

表 4-1 施肥窒素利用率と生育・収量

区 別	施肥N量 ¹⁾ (kg/a)	N 吸収量 ²⁾ (kg/a)	施肥由 来 N量 ³⁾ (kg/a)	施肥N 利用率 (%)	調製重	
					(kg/a)	(g/本)
化成肥料	2.7(基肥 1.5、追肥 1.2)	1.35	0.90	33.3	304	119
緩効性肥 料	2.0(CDU 0.5、ロング 1.5)	1.04	0.59	29.6	278	107
緩効性肥 料	2.7(CDU 1.2、ロング 1.5)	1.41	0.96	35.5	369	116
無肥料	0	0.45	-	-	175	62

注 夏どり作型、チェーンポット育苗 ¹⁾全層施肥 ²⁾茎葉部 ³⁾差引法

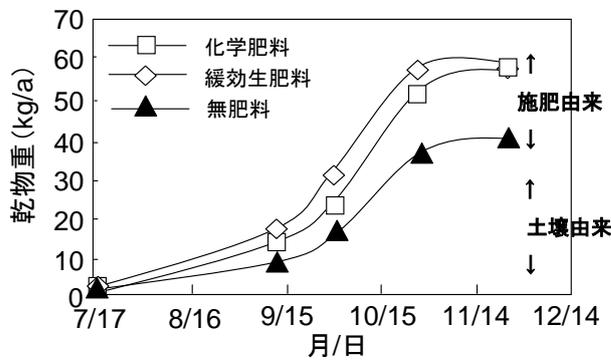


図4-4 秋冬どり作型ネギの乾物重推移

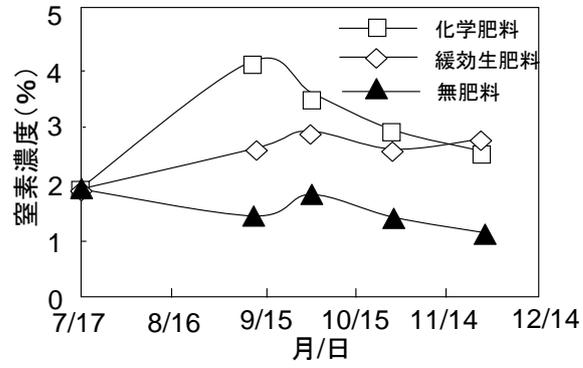


図4-5 秋冬どり作型ネギの窒素濃度推移

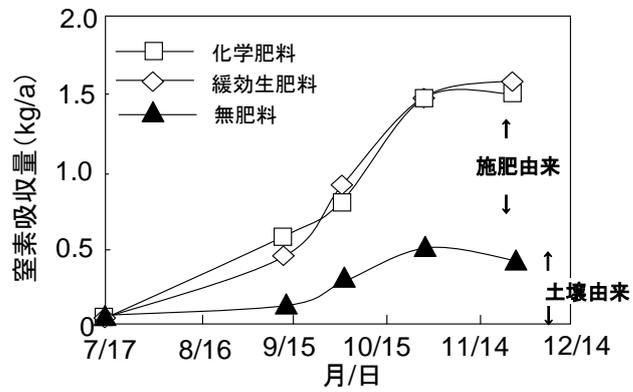


図4-6 秋冬どり作型ネギの窒素吸収量の推移

期間 (月/日)	日数 (日)	平均気温 (°C)	乾物増加量(kg/a/日)			窒素吸収量(g/a/日)		
			化成 肥料区	緩効性 肥料区	無肥料 区	化成 肥料区	緩効性 肥料区	無肥料 区
7/17- 9/12	57	23.0	0.18	0.23	0.09	8.0	6.1	1.1
9/13-10/ 1	19	18.1	0.48	0.74	0.41	12.3	24.3	9.3
10/ 2-10/28	27	13.6	1.03	0.95	0.73	24.7	21.2	7.8
10/29-11/26	29	3.4	0.25	0.01	0.10	1.6	3.6	-2.3
(7/17-11/26)	132	20.9	0.43	0.42	0.28	11.3	11.7	3.0
(9/13-10/28)	46	15.5	0.80	0.86	0.60	19.6	22.4	8.0

区 別	施肥N量		N 吸収量 ¹⁾ (kg/a)	施肥由来 N量 ²⁾ (kg/a)	施肥N 利用率 (%)	株間 (cm)	収量 ³⁾		調製歩 留まり (%)	太さ(mm)別割合(%)			
	(kg/a)	(対比)					(kg/a)	(g/本)		≥20	20 ~15	15 ~10	10 >
化成肥料	2.7	100	1.53	1.02	38.9	3.4	513	177	62.8	55	38	7	0
緩効性肥料	2.0	74	1.60	1.09	54.5	3.4	510	176	59.1	69	26	5	0
無肥料	0	0	0.51	0	-	3.2	240	77	62.6	11	27	52	10

注 ¹⁾ 収穫時(11/26)の茎葉部窒素含量(無肥料は10/28)、²⁾ 差引法による(肥料区-無肥料区)、³⁾ 調製重

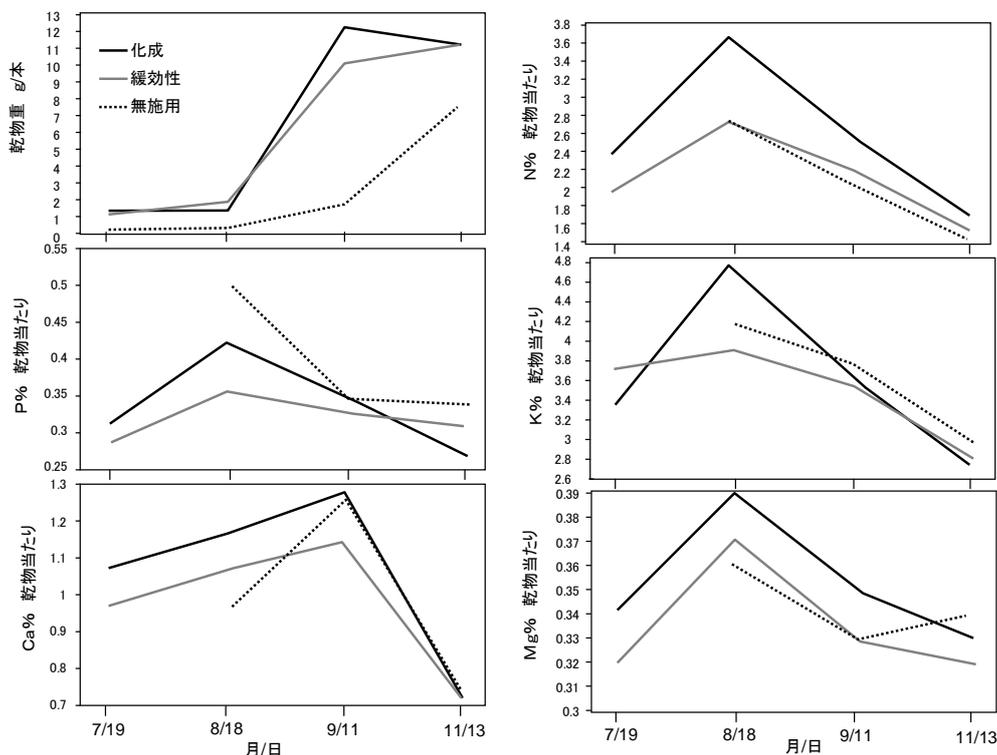


図4-7 直播型秋冬どり栽培における乾物重及び養分濃度の推移

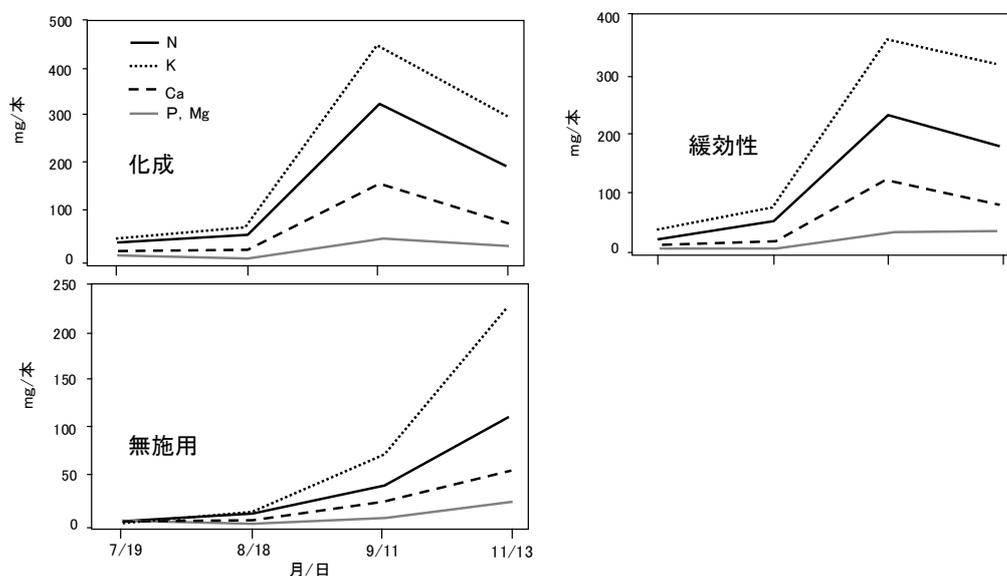


図4-8 直播秋冬どり栽培施肥法と養分含量の推移

区 別	本数 (本/m)	株間 (cm)	全重 (kg/a)	調製重		調製 歩留まり (%)	太さ(mm)別割合(%)			
				(kg/a)	(g/本)		≥20	20	15	
							~15	~10	10>	
化成肥料	25.3	4.0	364	285	113	78.3	37	27	24	12
緩効性肥料	28.7	3.5	435	341	119	78.4	35	35	23	7
無肥料	17.7	5.7	165	143	76	81.2	23	23	28	26

区 別	N	P	K	Ca	Mg
化成肥料	827	110	1,145	406	110
緩効性肥料	662	102	1,034	337	105
無肥料	210	48	418	104	48

区 別	施肥N量 (kg/a)	N吸収量 (g/a)	施肥由来 N量(g/a) ¹⁾	施肥N 利用率(%)
化成肥料	2.7	827	617	22.8
緩効性肥料	2.0	662	452	22.6
無肥料	0	210	-	-

注 ¹⁾ 差引法による(肥料区-無肥料区)

汎用水田におけるダイズ多収を目指した地下水位制御の研究

村上 章

キーワード：ダイズ，可変越流水閘，汎用水田，開花期，地下水位制御，周年管理

目 次

1 緒言	42	5 総括	85
2 汎用水田における地下水位制御の試み	45	謝 辞	86
3 異なる碎土率モデルでの地下水位制御試験	57	引用文献	86
4 同一碎土率モデルでの地下水位制御試験	73	Abstract	89

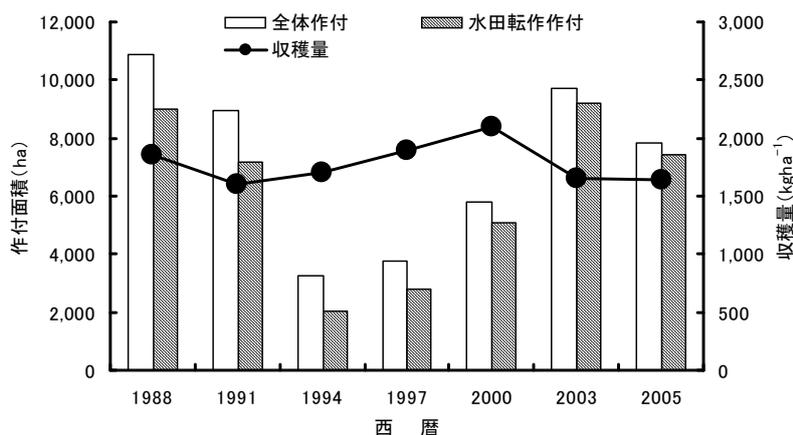
1 緒 言

食料自給率の向上を図るわが国では、2005年3月25日に策定された新たな食料・農業・農村基本計画で、2015年のダイズ生産努力目標を近年の最大生産量である270,000トとした。今後ともダイズの高収量、品質の向上および安定生産が求められ、国産ダイズを安定的に確保し、持続的拡大をめざすものと考えられる。

一方、ダイズをめぐる生産においては、不安定な収量、品質の低下および価格の低迷により、地域の農業生産者にとっては多大な困難を持っていると推察される。2005年のわが国のダイズ生産量は163,000トで、作付面積は134,000haである。そのうち水田転作が110,000haと82%を占めている（農林水産省、2006）。秋田県のダイズ生産は、水田転作の重点作物と位置づけて、生産振興を図ってきた。1988年には作付面積が10,900haに達し、全国で第2位となった。その後は減少の一途をたどり、1994年には前年の水稻大冷害に対応した復田により3,250haと激減した。その後、増減を繰り返し、2000年からの水田農業経営確立対

策による大幅な転作面積の拡大と国の自給率向上をめざした推進により作付面積は徐々に増加し、2003年には9,700haまで拡大したが、2004年には米政策改革の影響でやや減少ぎみとなり、2005年では7,800haと全国第3位で、このうち水田転作による面積は7,440haと全体の95%を占めている（第1-1図）。収量はここ20年間、1,500～2,000kg ha^{-1} 程度で推移しており、検査等級比率では1等や2等比率が低下している。収量は気象の影響により年次による変動が大きく、等級比率の低下はしわ粒や未熟粒で、連作障害、異常高温、湿害等が原因で発生している場合が多いと言われている（秋田県農林水産部、2004）。これらのことから本県のダイズ生産は、田畑輪換体系での高収量、品質の向上および安定生産が求められている。

さて、水田転作は、前作付け履歴が土壤の物理性や作物の生育に大きく影響する。秋田県を初め北東北の日本海側は排水不良のグライ土壤が多く、特に畑転換初年目は、排水性や碎土率などの土壤条件が悪いことから、収量・品質が不安定になりやすい。



第1-1図 秋田県のダイズ作付面積・収穫量の推移
(農林水産省大豆のホームページ2007年)

このため、水田転作で第1に対処しなければならないことは排水対策であり、土壌物理性の改良である。基盤整備による暗渠排水施設の整備について、汎用耕地化のための技術指針編集委員会（1979）、農林水産省構造改善局（1990、2000）により、暗渠排水整備の条件が提示されている。さらに耕うんによる砕土率の向上などについて（例えば、久津那ら、1974；新村ら、1974；久津那・新村、1975；日本土壌肥料学会編、1979；舛谷ら、1981；前波ら、1982；前田、1986）の報告があり、作物の播種や出芽にとって砕土率（篩目 2cm 未満の土塊の重量割合）は、70%以上が良いと示されている。

第2に対処すべきことは、ダイズの多収、品質の安定生産のための栽培技術の確立である。これらの近年の知見では、黒ボク土壌での多収を目指した生育診断（藤井、1985；藤井ら、1987）や湿害低減による出芽の維持およびその後の生育の確保をめざした耕起方法の改善では、不耕起栽培（長野間ら、1991）、散播浅耕栽培（佐藤ら、1998）、耕うん同時畝立て播種（細川、2004）、有芯部分耕栽培（吉永、2006）などの報告がされている。圃場管理では、培土処理による生育の確保（例えば、石井ら、1983；竹之内・芝田、1992；土田・有馬、1993）などの報告がある。肥培管理技術では、ダイズの全窒素吸収量の約半分が根粒固定窒素由来で、根粒活性を高める土壌環境作りの重要性（児玉・三浦、1981；児玉ら、1982）、開花期追肥効果（石井、1983）、緩効性肥料を用いた追肥効果（荒垣ら、1985；酒井、1987）、湿害時の追肥効果（渡辺ら、1989）、緩効性肥料の深層施肥技術（高橋、2001）、シグモイド型被覆尿素側条施肥技術（高橋ら、2003）などの多くの知見がある。

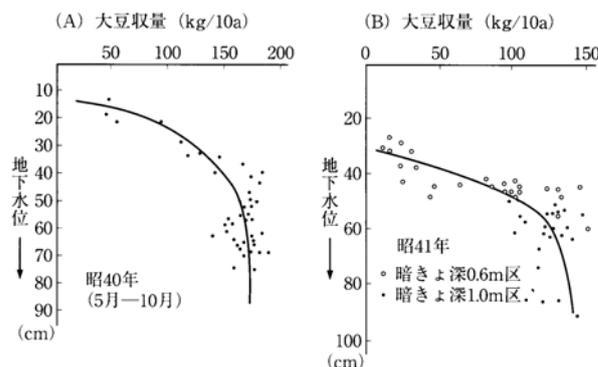
灌漑管理では、ダイズ栽培の水供給は天水依存であるため、梅雨後の寡雨時には、土壌の乾燥により生育不良となる恐れがある（有原、2000）ことから、水不足を回避するために、水田の用水を利用した畦間灌水法（例えば、渡辺、1983；伊藤、1987；松下、1988；奥村・竹内、1996）や暗渠施設を利用した地下灌水法（例えば、友広、1982；置塩ら、1987；伊藤・大西、1988；農林水産省構造改善局、1990；福本ら、1992）

などがある。

しかし、畝間灌水法は、用水路からの取水方法によっては取口近くの畝崩壊による作物被害や圃場の均平精度が低いと圃場全体への均一な灌水は難しく、部分的な冠水による湿害被害などが問題とされている。また、地下灌水法では、暗渠を利用し、土壌の団粒構造、亀裂等を壊さずに灌水できるものの、灌漑水の移動が遅く、地下水位を均一にする、あるいは短時間で上昇させることが困難であるなどの問題がある。このような煩雑な管理、また高額な設備費などの点で一長一短があり、十分に普及されていないのが現状である。

有原（2000）はダイズ栽培と土壌水分の関わりの特徴に次の3点を指摘している。第1に発芽時のダイズは過剰水分状態を嫌うということである。それは土壌の還元状態による急激な酸素濃度の低下による発芽不良、およびそれ以降の生育障害をきたすからである。第2にダイズは、他の作物に比べて要水量が高い作物で（農林省農林水産技術会議編、1972）、特に開花期～最大繁茂期にかけては多量の水分を必要とすることである。この期間は全体の70%以上の窒素を吸収する急激な生育時期にあたるためである。また、開花期までの窒素吸収は硝酸態窒素が多く吸収され、それ以降は硝酸還元酵素の活性が急速に低下するので吸収が抑制され、アンモニア態窒素の吸収が多くなる。第3に、根粒菌の活性は子実の肥大が始まるころから急激に低下してくるので、この活性を維持するための土壌の水分や通気性の管理が必要となることである。すなわち、ダイズ多収の栽培を実現するためには、根群域の土壌水分を生育時期に応じて好適に制御する必要があることが考えられる。

地下水位の違いによる栽培試験は、鎌田ら（1974）、柴田・遠藤（1976）、汎用耕地化のための技術指針編集委員会（1979）、阿部ら（1981）、山根ら（1984）、農林水産省構造改善局（2000）、井上ら（2004）、森口・星（2004）などの報告があり、常時地下水位は地表面下40cm前後が良いとされ、地下水位がそれより高くなると急激に収量が低下することが示されている（第1-2図）。



第1-2図 ダイズの収量と地下水位（農林水産省構造改善局 土地改良事業計画設計基準平成12年11月）

生育時期に応じた地下水位を設定したダイズ灌漑試験は、世古ら (1987) や Shimada et al. (1995, 1997) があるものの大区画圃場での試験や硝化抑制などの観点での報告は見あたらない。

最近、藤森 (2003, 2005) により地下水位調節システム「FOEAS」(フォアス) が開発された。これは用水供給と排水機能を備えた用排水ボックスと地下水位を調節する水位制御機を配置したものである。また H 社は、既存の暗渠に用水を取り入れる用水閘と越流水位を任意に調節できる越流水閘 (安富ら, 2001) を開発した (以後「伸縮性越流水閘」と記す)。従来の水閘は、落差水閘や水平水閘および水栓型が使われ、それらは水閘の開放か閉鎖の操作しかできないものである。一般農家の栽培は作付け期間をとおして水閘を開放し、暗渠排水口を開放した状態で行われている。このように各作物が生育時期別に必要とする地下水位を簡易に設定することはできなかつた。それに対して伸縮性越流水閘は地下水位を任意に設定かつ維持でき、地中に水を保持することができるので、水の供給が天水依存である汎用圃場にとっては、水資源を有効利用できるものである。現時点で、この越流水閘はほとんど普及しておらず、利用上の確立や利点・欠点は充分わかっていない。また、利用技術の確立が求められている。

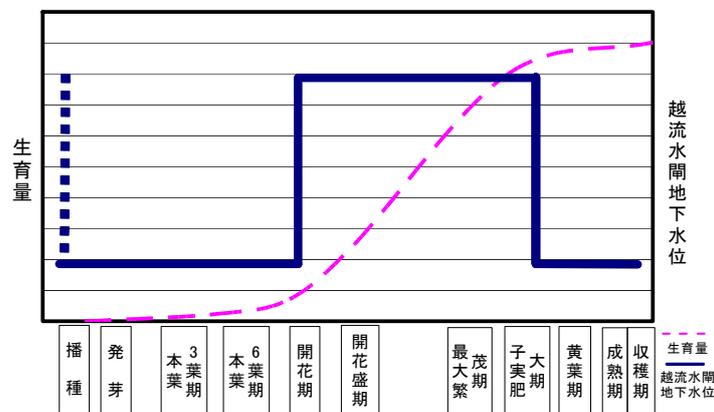
越流水閘は、地下水位制御を栽培管理に導入する可能性があり、従来の水閘と比較検討し、特性を明らかにすることは重要性が高いと考えられる。

多収ダイズ栽培を実現するためには、まず播種直後の圃場の水分過剰を抑えるために地下水位を下げること、次に開花期～最大繁茂期および子実肥大期にかけての急激な生長期間に水分供給をするために地下水位を上げることの2点が重要と考えられる。このことから、地下水位制御のイメージ概要を第1-3図に示した。播種直後に土壤の乾燥程度で発芽に水供給が必要な場合は、用水閘による給水を行い、伸縮性越流水閘を地表面近くに上げる。その後、水分過剰を抑えるために伸縮性越流水閘を下げて、栽培の良好条件である地

下水位とするため、地表面下 40cm を目標とする。この条件を開花期まで行う。開花期以降～最大繁茂期(おおむね 8 月の 1 か月) は、急激な生長により多量の水分を必要とし、気候も真夏の寡雨時期で土壤の乾燥の恐れがあるため、伸縮性越流水閘を上げて、用水閘からの給水により地下水位を根域のほとんどを占める地表面下を目標に水の供給を維持する。用水の供給最終日以降は、土壤の乾湿状態による伸縮性越流水閘を下げて排水を促し、収穫機の稼働に支障のない地耐力の維持に務めることとした。このように、設備投資や作業負担の少ない地下水位制御を基本と考えた。ただし、この地下水位設定は、作物により異なると推察される。

伸縮性越流水閘により、排水位をコントロールし、降雨を地中に保持することで天水を有効利用できることを推察される。また、後述する干ばつによる耕盤亀裂を抑え、さらには地下水位の周年管理が可能となる。

本研究は、汎用水田での地下水位制御によるダイズ多収を目指した栽培指針を検討するために、圃場の土壤管理条件、水管理条件の基本技術を明らかにするためのデータを得ることを目的とした。なお、経済性については今後の課題とした。2 では、汎用水田における地下水位制御の試みとして、圃場整備された大区画汎用水田に H 社製の用水閘と伸縮性越流水閘を設置し、農家栽培管理のもとで地下水位制御によるダイズ栽培を行った。3 では、前章の汎用水田圃場の畑地化が向上した結果から、畑地化による碎土率向上の知見を基に (例えば、秋田県農試, 1972; 日本土肥料学会編, 1979; 汎用耕地化のための技術指針編集委員会 1979; 中島ら, 1984; 前田, 1986; 中野, 1987), 異なる碎土率モデルでの地下水位制御試験で土壤環境、生育および収量について検討した。4 では、碎土率を 80% に一定にした同一碎土率モデルでの地下水位制御試験で土壤環境、生育および収量について検討した。このような地下水位制御による栽培指針の基本技術を明らかにすることは、汎用水田での多収や品質の安定化に資するものである。



第1-3図 多収ダイズのための地下水位制御の考え方

2 汎用水田における地下水位制御の試み

2-1 抄録

圃場整備された大区画汎用水田(細粒グライ土)にH社製の用水閘と伸縮性越流水閘を設置し、農家管理のもとで地下水位制御による栽培を行った。これに対し慣行栽培は、作付け期間を通して常時暗渠排水口を開放した状態で行った。本研究では、開花期以降～最大繁茂期に地表面に近い排水位を設定し、比較を試みた。

- 1) 大区画汎用圃場で伸縮性越流水閘により地下水位をコントロールできる可能性が推察された。
- 2) 慣行栽培圃場と比べ、開花期以降の過湿気味なコントロールにより10～20%の増収となった。
- 3) 地下水位制御するための圃場条件としては、透水性の良い作土層と、心土層を難透水性に維持する圃場条件が重要であった。そのため圃場は、過乾燥による心土層への亀裂を防ぐ、地下水位の周年管理が必要であることが示唆された。
- 4) 試験圃場、慣行圃場の違いで作付け前の土壌の化学性に大きな違いはなかった。物理性については、2年作付け後の両圃場ともに、作土層は気相率と粗孔隙が初年目の作付け前より高く、畑地化が進み、スキ床層および心土層では大きな違いはなかった。透水係数では、両圃場で作土層は良好となり、スキ床層は大きな違いはなく、心土層は透水性の高い層位となった。

2-2 はじめに

地下水位調節システムは、圃場の排水位を調節することで水位制御を行う、いわゆる越流水位を任意に調節できる越流水閘の改良したものである。これらのシ

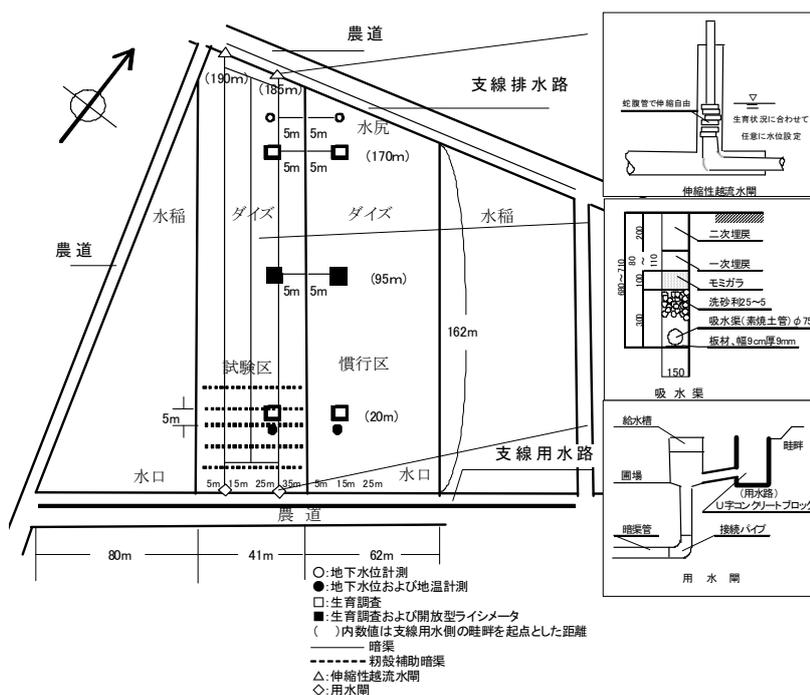
ステムは、地下水位制御を簡易に、しかも廉価で行えることから導入が期待されている。

そこで本研究は、汎用水田におけるダイズ多収を目指した地下水位制御の試みとして、圃場整備された大区画汎用水田に用水閘と伸縮性越流水閘を設置した。この比較には慣行として圃場整備された大区画汎用水田を設置した。これらの圃場で農家管理のもとにダイズ栽培を行った。

2-3 試験方法

2-3-1 圃場概要

ダイズ栽培は2003年および2004年に行った。供試圃場は、秋田県仙北平野南東部の美郷町(旧仙南村)に設置した。この地区は、2001年には圃場整備がされ、その際、緑肥としてエンバクが作付けされた。2002年には水稻が作付けされ、同年冬に暗渠が施工された。2003年のダイズ栽培は、暗渠に用水を供給する用水閘と排水側に伸縮性越流水閘(H社製)を設置した圃場(以後「試験区」と記す、面積0.8ha)と暗渠排水口を作付期間をとおして開放状態にした圃場(以後「慣行区」と記す、面積1.0ha)で行った。栽培前に試験区は、排水性を良くするために籾殻補助暗渠を施工(地表面下10～45cmの厚さ35cm、幅10cmに籾殻を充填、本暗渠と直交させ5m間隔に実施)した(第2-1図)。これらの圃場の土壌は細粒グライ土である。土壌の化学性(耕起直後に採取)は第2-1表に示したとおりである。なお分析は、土壤環境分析法(土壤環境分析法編集委員会編、1997)により行った。以下各章の土壌の化学性分析についても同様の分析方法で行った。



第2-1図 現地圃場の概要

第2-1表 供試圃場の土壌の化学性

年 区	層位置 (cm)	pH		EC (mScm ⁻¹)	可給態燐酸 (ルオーグ) (mg kg ⁻¹)	全炭素 (T-C) (%)	全窒素 (T-N) (%)	C/N比	陽イオン交 換容量 (cmol kg ⁻¹)	交換性陽イオン			塩基飽 和度 (%)
		H ₂ O	KCL							CaO	MgO	K ₂ O	
	0-14 (作土)	5.1	4.1	0.06	117	3.9	0.33	11.8	31.6	3631	883	320	56.9
	試験区 14-24 (スキ床)	5.3	4.5	0.13	10	6.6	0.42	15.8	35.0	5002	1181	113	68.3
2003年	24-35 (心土)	5.7	4.8	0.08	10	2.6	0.19	13.2	28.4	4657	1226	132	80.8
5/2採取	0-15 (作土)	5.1	4.2	0.06	130	4.2	0.34	12.4	31.4	3511	871	221	55.0
	慣行区 15-29 (スキ床)	4.8	4.1	0.13	71	4.8	0.34	13.9	33.0	3491	1038	108	53.9
	29-44 (心土)	4.7	4.0	0.20	24	5.4	0.36	15.2	33.1	3163	1010	160	50.1
*目標値(作土)		6.0-6.5 5.5-6.0			200以上			20以上					80.0

*大豆指導指針 (秋田県農林水産部, 2004)

2-3-2 栽培概要

初年目(2003年)の基肥施肥量は、試験区、慣行区ともにダイズ専用2号(N-P₂O₅-K₂O = 5-15-15%)を用いて窒素成分で10kg^{ha}⁻¹を側条施肥した。2年目(2004年)は、基肥を試験区、慣行区ともに硫加燐安12号(N-P₂O₅-K₂O = 13-17-12%)を用いて窒素成分26kg^{ha}⁻¹を初年目と同様に側条施肥した。追肥は、両年ともに開花期に試験区および慣行区へ硫安(N = 21%)を窒素成分で42kg^{ha}⁻¹を施用した。品種は初年目、2年目ともに秋田県奨励品種であるリュウホウ(秋田県農林水産部, 2004)を用いた。播種は、条間85cm、株間20cmの平畝1粒播きである。

耕起は、初年目では5月30日および6月3日に行い、2年目は6月3日に実施した。播種は、初年目では6月3日で、2年目は6月5日であった。中耕は、初年目が7月6日と7月23日で2年目は7月3日に実施した。培土は、初年目が7月29日で2年目は8月3日に実施した。また除草および病害虫の防除管理は本地区の農家慣行で行った。試験区および慣行区の両区の初年目について、開花期は7月22日～28日で、収穫日は慣行区が10月14日で、試験区が10月20日であった。両区の2年目の開花期は7月25日～8月1日で、収穫日は10月8日であった。

気温および積算降水量は、試験圃場に最も近い大仙市のアメダスデータによると以下のとおりであった。ダイズ栽培期間(5月～10月)の平均気温は、平年(18.5℃)に比べ初年目ではやや低く(18.2℃)、2年目は高い年(19.2℃)であった。積算降水量は5～6月では初年目で平年(月平均降水量127mm)の53%減で、2年目は43%増で、7～9月は、初年目で平年(月平均降水量181mm)とほぼ同じで、2年目は26%増となった。また2年目は、8月6日の台風11号から変わった熱帯低気圧、8月20日の台風15号、8月31日の台風16号、9月8日の台風18号および9月30日の台風21号が秋田県に接近し、これらの影響を受けた。

2-4 測定項目および方法

2-4-1 地下水位

地下水位は、圧力センサ式地下水位センサ(エム・シー・エス社製)を、水口側から20mの水口と170mの水尻の地点に塩ビパイプ(直径15cm×長さ150cm)を地上から90cmの深さまで埋めた(第2-1図)。この塩ビパイプの地中90cmから40cm間には5cm毎に直径10mmの穴を周当たり4穴の合計40穴を開けた。なお初年目は水口部の1地点のみで、2年目はさらに水尻部を加えた2地点で測定パイプを設置した。比較検討には午前9時のデータを用いた。

また同じ位置に、地温計測のため温度計測データロガー(TR71S(株)ティアンドディ社製)を設けた。測定深は、初年目には地表面下5cm、10cm、15cmおよび20cmに、2年目は地表面下5cm、10cm、20cmおよび50cmとした。

開放ライシメータ(佐々木ら, 1998b)による酸化還元電位(Eh)の調査を2年目に行った。装置は、6月14日に圃場の水口側から95m地点に畦畔を挟んで対称位置(5m)に設置した(第2-1図)。Ehメータ測定用電極(本体:UC-23型, ORP電極:702E型, セントラル科学社製)を、地表面下5cm、10cm、20cmおよび35cmに設置した。

2-4-2 土壌の水分分布

土壌の水分分布は、TDR土壌水分測定器(中村理工工業製)を用いて、初年目を実施した。センサのロッド長は10cmに加工し、測定深は0～10cmである。圃場を20m×5mの格子状に区分し、その中心部の地点毎に3回繰り返し計測し平均値を求めた。計測は5月2日と6月9日に行った。5月2日は耕起前の計測で、6月9日は、播種後(6月3日)に降雨がなかったために6月7日に行った用水閘の給水後の計測である。

2-4-3 土壌の物理性

供試圃場の土壌の物理性として、三相分布、粗孔隙、

乾燥密度および透水係数を測定した（土壤環境分析法編集委員会編，1997）。以下各章の土壤の物理性の測定についても同様の分析方法で行った。

2-4-4 生育状況，収量および収量構成要素

生育調査は，主茎長と節数について生育時期別に平均的な 20 株を測定した。収量および収量構成要素の調査は，初年目については 2 m × 3 畝を圃場中央部から採取し，2 年目は 2 m × 3 畝を水口部，中央部および水尻部の 3 ヶ所から採取し，子実重および収量構成要素を調査した。兩年とも篩で選別した粒厚 5.5mm 以上の種子を対象に子実重を測定した。

2-5 結果と考察

2-5-1 地下水位の変化

初年目および 2 年目の地下水位の変化を第 2-2 図に示した。初年目の圃場は，6 月 3 日の播種以降に降雨がなかったため，6 月 7 日に用水閘による給水をした。その際，伸縮性越流水閘を地表面下 10cm に設定した。給水時間は約 8 時間であった。その後，伸縮性越流水閘の設定を圃場の凹凸を考慮して 45cm とし，開花期の 7 月 22 日～7 月 31 日は 20cm とした。その期間の地下水位は，7 月 1 日～7 月 21 日では試験区が 18.0 ± 6.8cm で慣行区が 16.1 ± 8.2cm であった。7 月 22 日～7 月 31 日では，試験区が 18.2 ± 3.1cm（7 月 25 日～8 月 5 日はデータ欠損）で慣行区が 18.5 ± 5.9cm であった。8 月 1 日～8 月 31 日の試験区は，伸縮性越流水閘を地表面下 10cm または 25cm に設定し，8 月 1 日，8 日，10 日，16 日，19 日，23 日および 31 日に用水閘による給水を行った。給水時間は 8 時間程度であった。この期間の地下水位は試験区が 13.4 ± 5.0cm で慣行区の 22.1 ± 7.5cm に比べ高く推移した。このことから，必要な時期に地下水位を上げることや根圏の位置までは水位を維持できる可能性のあることがうかがえた。この一因として，難透水性の細粒グライ土の存在により損失水量が少ないことが考えられた。8 月 23 日～8 月 29 日にかけての総雨量 123.5mm により，慣行区の地下水位は 10cm 程度まで上昇し，9 月以降は試験区に比べ地下水位は高い状態となり，収穫までのこの期間の試験区は 14.9 ± 4.2cm で，慣行区は 6.4 ± 4.1cm となった。以上のことから両区ともに十分に排水性を得ることができず，暗渠および初穀補助暗渠の機能が十分に果たせていないことが分かった。

2 年目は，播種時に降雨があったので播種直後の用水閘による給水は行わなかった。初年目は，排水性不良により地下水位が高く経過したことから，伸縮性越流水閘を 60cm とし排水を促し，8 月 1 日まで維持した。7 月 1 日の水尻での地下水位は，試験区で 22cm，慣行区で 23cm であったが，7 月 10 日の降雨まで低下

し続け，その日の地下水位は試験区 39cm，慣行区 42cm となり，栽培の良好条件である地下水位 40cm の圃場となった。このような地下水位の低下は，7 月 27 日降雨によって地下水位の変動が生じることが確認され～8 月 5 日および 8 月 6 日～8 月 13 日でも見られた。8 月 3 日～8 月 31 日は，伸縮性越流水閘を 10cm に設定し，用水閘による給水を行ったが，台風や降雨により 8 月 3 日，13 日，21 日および 24 日と給水回数は少なくなった。この期間の地下水位は，試験区の水口が 29.2 ± 12.4cm で，水尻が 29.6 ± 10.5cm であった。慣行区は水口が 26.3 ± 9.2cm で，水尻が 32.0 ± 8.1cm となった。天候の不順にもかかわらず，地下水位を 10cm に維持することができなかった。8 月 24 日以降，各区ともに地下水位は下がり，試験区水尻，慣行区水口および水尻で徐々に低くなり，特に慣行区水口では，9 月 12 日～9 月 21 日には塩ビパイプ内の水が枯れた。9 月 1 日～9 月 21 日の最大繁茂期～子実肥大期にかけて，水口，水尻のいずれでも試験区が慣行区に比べ高い地下水位となった。特に試験区水口は 36～46cm を維持した。9 月 19 日～9 月 22 日の総降水量 92mm 以降は，収穫期まで両区の水口，水尻で地下水位に大きな違いはなくなった。このように 2 年目は，初年目の排水性の悪い圃場から排水性の改善された圃場となった。これは，ダイズ作付けによる深部まで侵入した腐朽根穴の増加（Nyle and Ray, 2002）および心土層にいたる亀裂が入ったためと考えられた。

以上のことから，初年目は排水性の悪い圃場条件であったので地下水位を上げること，および維持することが可能であり，2 年目は排水性の改善された圃場となったために地下水位を上げることや維持することが困難であったと考えられた。しかし，2 年ともダイズの開花期以降～最大繁茂期や子実肥大期に地下水位の差が生じる栽培となり，収量への影響の検討が可能と推察された。

2 年目の圃場のように地下水位制御が困難にならないようにするために，年間をとおした圃場の地下水位管理が重要で，心土層へ亀裂を生じさせない周年管理が必要と考えられた。

2-5-2 地温の変化

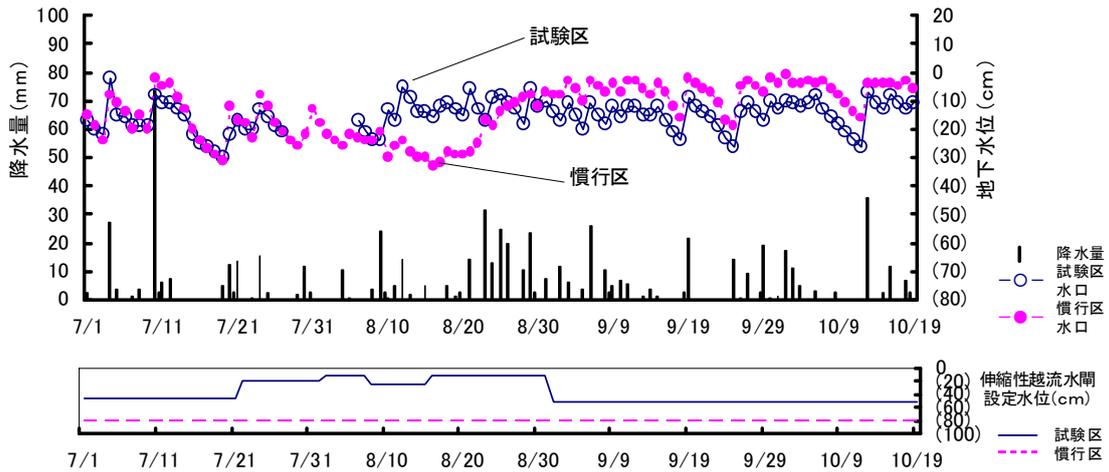
地温の変化は，第 2-3 図に初年目（2003 年）および第 2-4 図に 2 年目（2004 年）について示した。初年目の 8 月 1 日～8 月 31 日の地温は，地表面下 5cm で試験区 22.7 ± 1.4 °C，慣行区 22.9 ± 1.4 °C と差は認められなかった。10cm は試験区 22.3 ± 1.1 °C，慣行区 22.5 ± 1.1 °C であり，15cm は試験区 22.0 ± 1.1 °C，慣行区 22.4 ± 1.0 °C であり，20cm でも試験区と慣行区はともに 22.0 ± 0.8 °C と差異はなかった。しかし，測定深が深くなるほどやや地温は低くなる傾向

にあった。

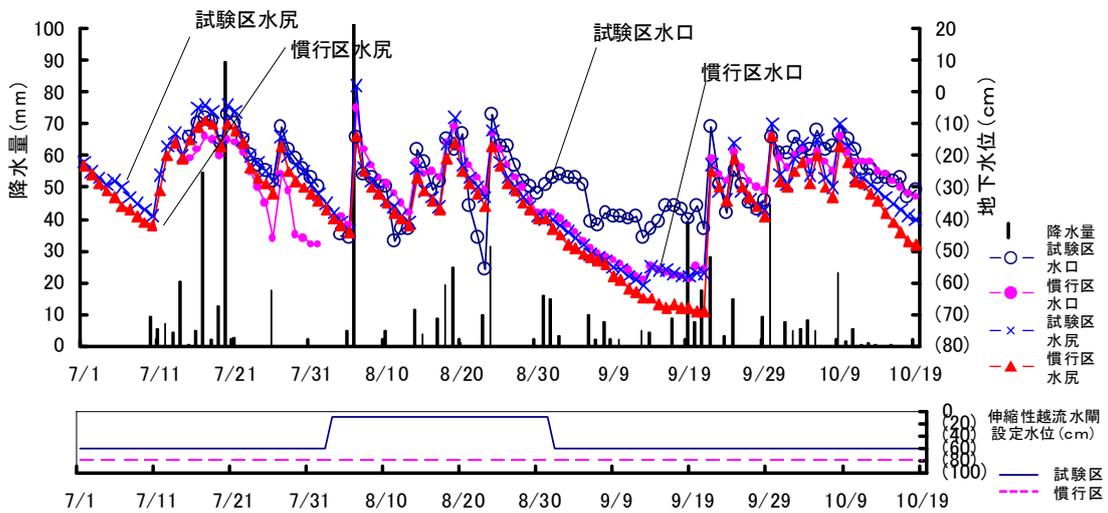
2年目の8月1日～8月31日の地温も初年目と同じ傾向で、地表面下5cmは試験区 24.9 ± 2.9 °C、慣行区 24.7 ± 2.7 °Cと差は認められなかった。10cmでは試験区 24.5 ± 2.6 °C、慣行区 24.3 ± 2.4 °Cとなり、20cmでは試験区 23.6 ± 1.8 °C、慣行区 23.5 ± 1.6 °Cとなり、50cmでも試験区 22.8 ± 1.2 °C、慣行区

22.6 ± 1.2 °Cと差異はなかった。測定深の違いによる地温差は、地表面下5cmと50cmでは、約2°Cほど低くなっている程度で、地下水の有無による地温への影響は小さいと考えられた。

これらのことから、この圃場では地下水位の違いで根域地温に大きな違いはないものと考えられた。

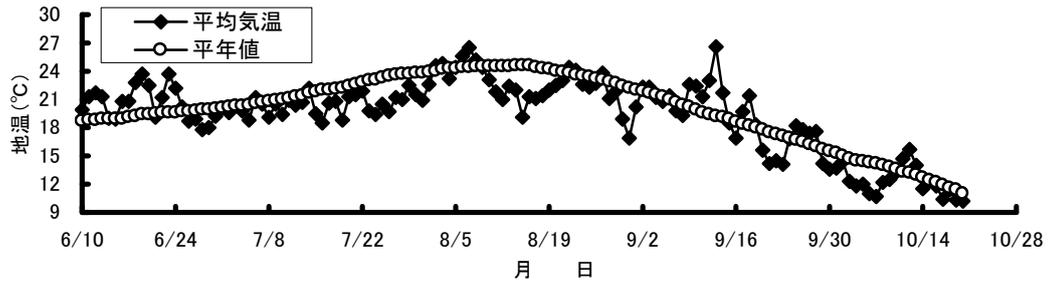


(a) 初年目 (2003年)

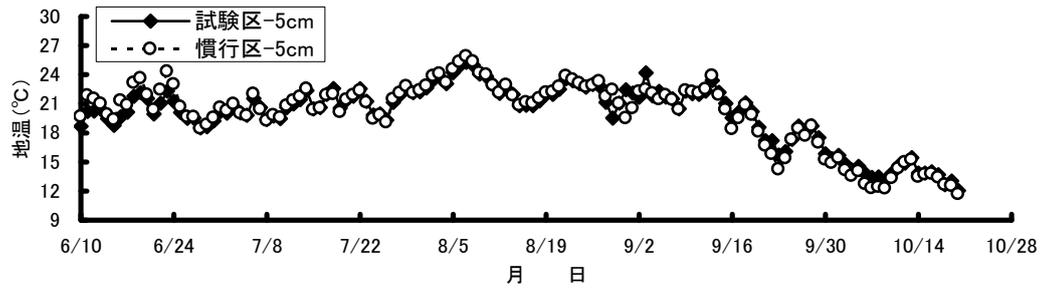


(b) 2年目 (2004年)

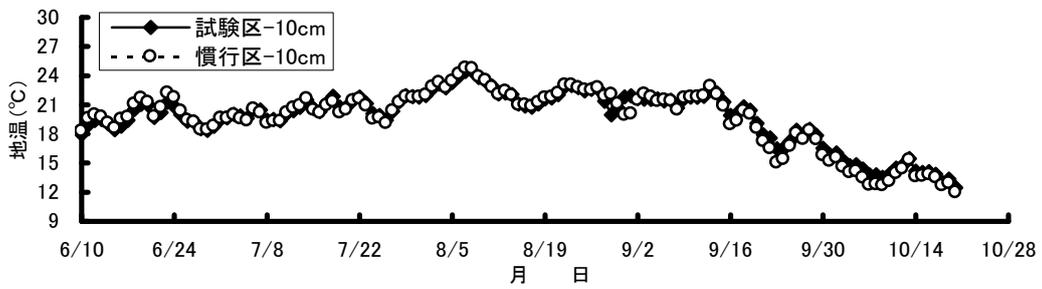
第2-2図 試験区と慣行区の地下水位の変化



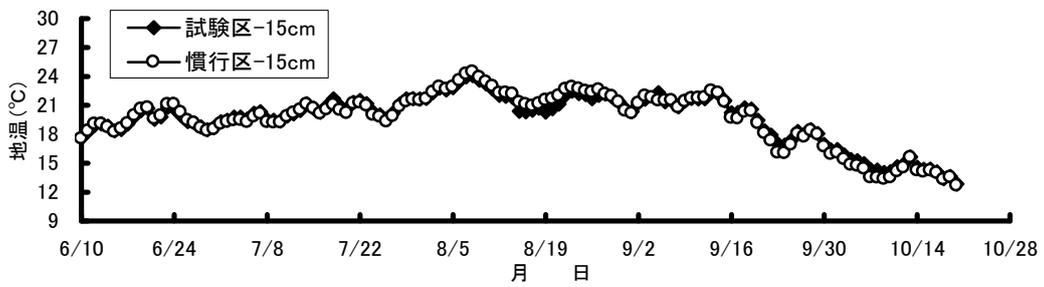
(a) アメダス気温(大曲)



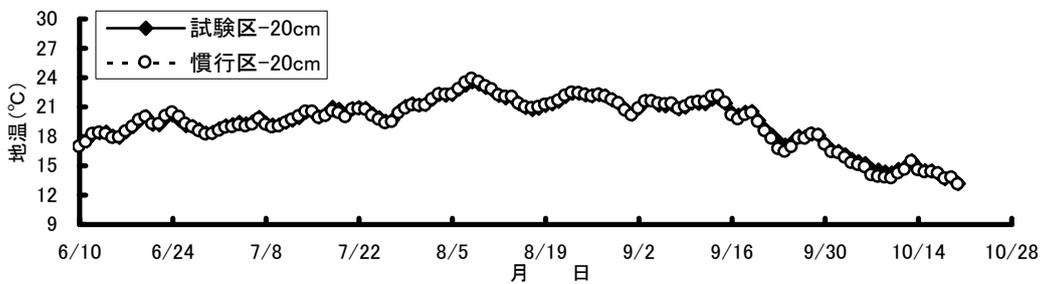
(b) 地温(地表面下5cm)



(c) 地温(地表面下10cm)

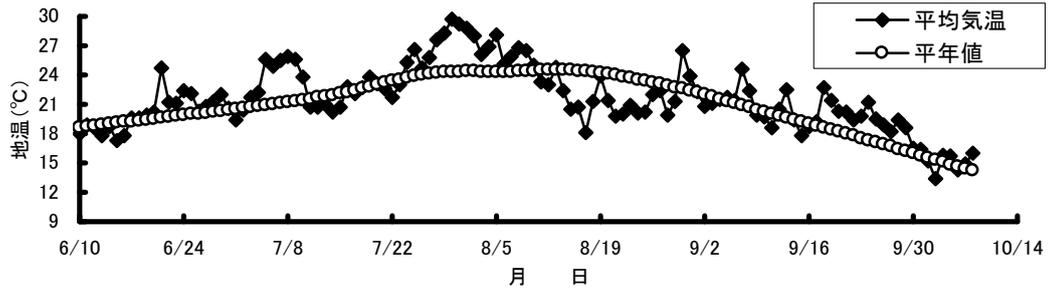


(d) 地温(地表面下15cm)

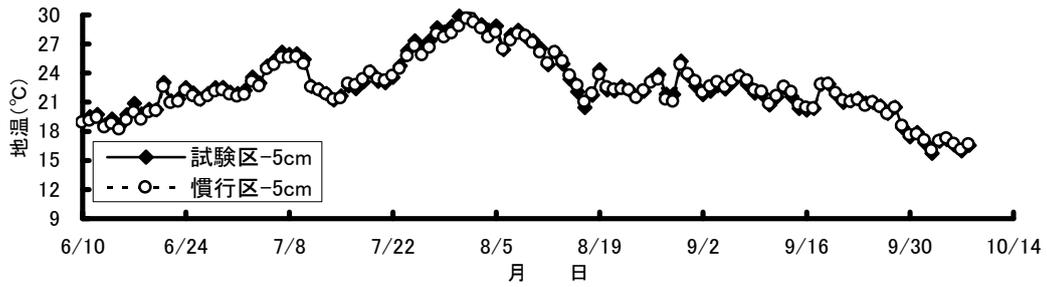


(e) 地温(地表面下20cm)

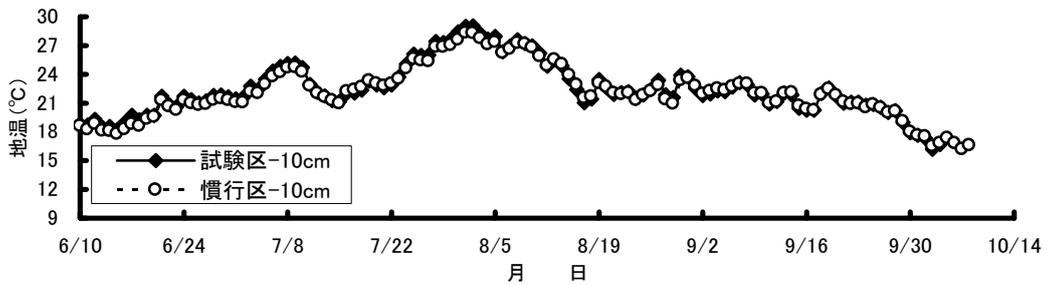
第 2-3 図 初年目の試験区と慣行区における地温の変化 (2003 年)



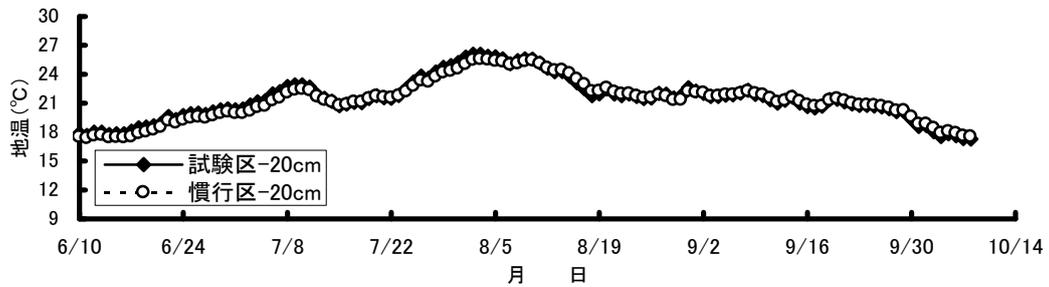
(a) アメダス気温(大曲)



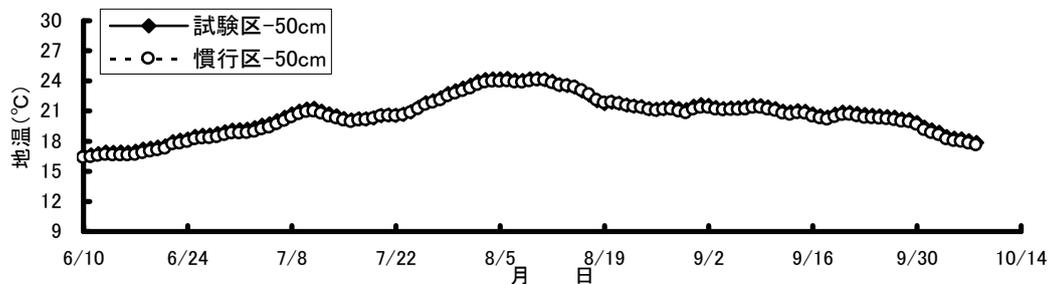
(b) 地温(地表面下5cm)



(c) 地温(地表面下10cm)



(d) 地温(地表面下20cm)



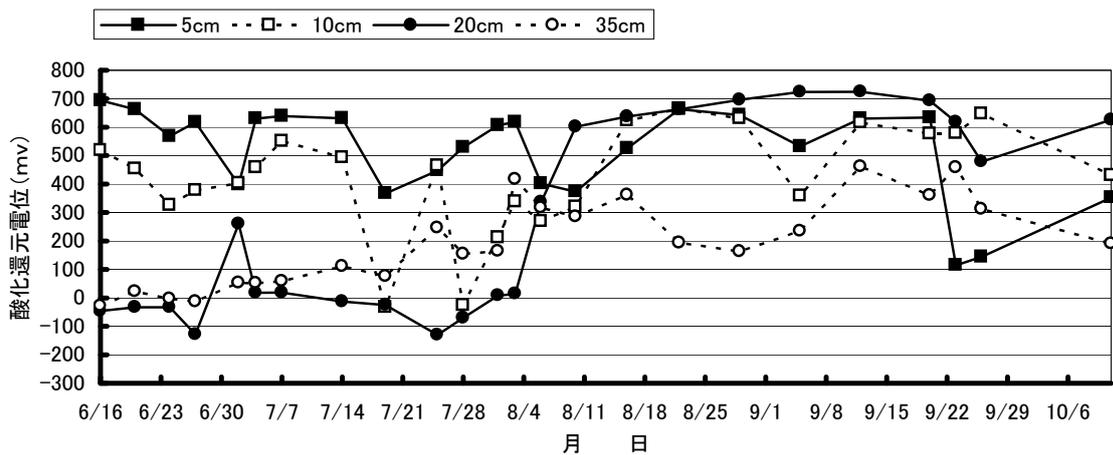
(e) 地温(地表面下50cm)

第2-4図 2年目の試験区と慣行区における地温の変化(2004年)

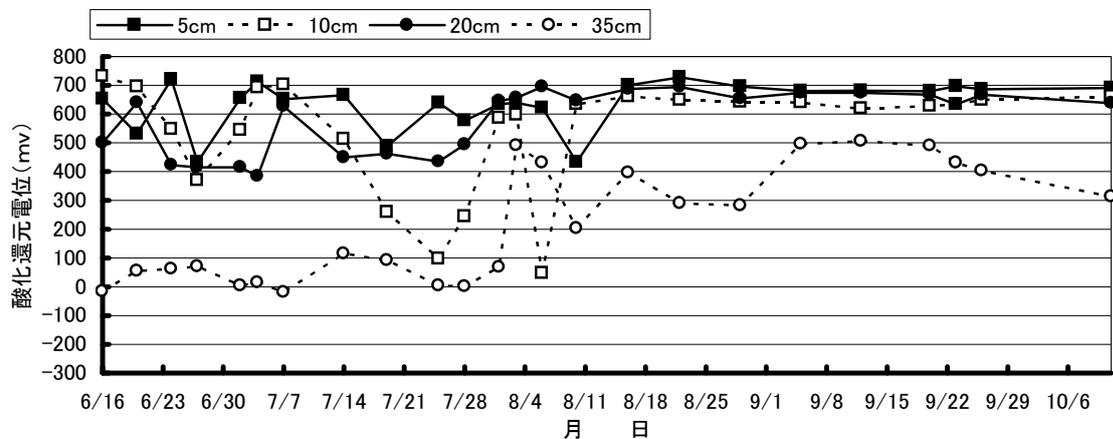
2-5-3 根域の Eh の変化

地下水位の変動は、土中の気相率の変動をもたらし、土中の酸素濃度および Eh への影響が考えられる。さらには、土壌窒素の硝酸化成や根および根粒菌の活性へも影響すると考え、2年目には開放ライシメーターを設置し、根域の Eh の変化を調査した。Eh の変化は第 2-5 図に示した。6月16日～10月10日（収穫日）の試験区の地表面下 5cm の測定値は $309 \pm 149\text{mV}$ で、慣行区の 5cm では $437 \pm 81\text{mV}$ となり、試験区の地表面下 10cm は $266 \pm 173\text{mV}$ で、慣行区の 10cm では $358 \pm 162\text{mV}$ と両区とも酸化的に変化した（山根, 1982）。地表面下 10cm では、Eh が大きく下がる事例が試験区で 7月19日と 7月28日に、慣行区では、7月19日、7月25日、7月28日および 8月6日に見られたが、これは測定日までの降雨による影響であった。試験区の地表面下 20cm は 6月16日～8月3日の期間は平均で $-12 \pm 96\text{mV}$ であったが、その後急激に上昇し、8月6日～10月10日の期間は平均で 618

$\pm 116\text{mV}$ と酸化状態となった。慣行区の地表面下 20cm の 6月16日～10月10日の値は、平均で $578 \pm 112\text{mV}$ と酸化状態となった。地表面下 35cm の 6月16日の測定値は、試験区 -28mV 、慣行区 -16mV とともに還元状態であったが、徐々に上昇し 8月末の最大繁茂期では試験区 163mV 、慣行区 282mV とともに還元状態の程度は小さくなった。これらの結果では、慣行区が試験区に比べやや Eh は高かった。両区とも酸化的原因は、地下水位が下がり土壌の間隙への酸素の進入のためと推察される（渡辺, 1971；佐々木・小関, 2000）。また、収穫期の根の観察では、両区とも根腐れは認められなかった。以上のことから、両区の地表面下 0～20cm の根圏は常時酸化的に保たれ、土壌還元による根への危険性が少ないことが判明した。なお土壌は常時酸化的で土壌窒素の硝酸化成が懸念された。地下水位のコントロールによる土壌窒素の硝酸化成抑制の可能性については、今後の課題であった。



(a) 試験区



(b) 慣行区

第 2-5 図 試験区と慣行区の根域の Eh の変化（2年目）

2-5-4 土壌の水分分布

耕起前の5月2日では、両区に差異のない土壌水分分布であった(第2-6図(a))。播種時期に少雨で圃場が乾燥気味の場合、灌漑により安定出芽が図られる(松原ら, 1985; 井上ら, 1986)。初年目は、播種(6月3日)以降に降雨がなかったため、用水閘による給水(6月7日)を行い、その後の体積含水率を計測した。その結果、試験区が慣行区に比べ高い水分分布を示した(1%水準で有意差あり, 第2-6図(b))。これまでも指摘されているように吸水渠埋設部分から土壌の亀裂を通して地表側へ水分が供給され、かつその保持が良好なためと思われた(友広, 1982; 長谷川, 1986; 福本ら1992)。特に試験区において、5mと15m列が高くなっていった。これらのことは、用水閘からの給水により暗渠を通じて十分に水が供給され土壌水分を維持できることを示していると考えられた。

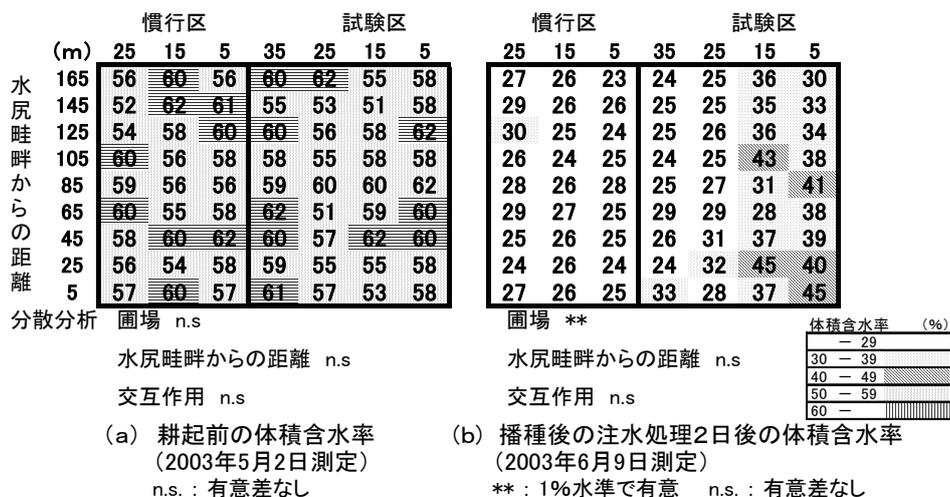
2-5-5 土壌の物理性

供試圃場の土壌の物理性を第2-2表に示した。初年目の作付け前の作土層は、試験区が慣行区に比べ気相率と粗孔隙で高く、固相率で低かった。第2層のスキ床層については、試験区が慣行区に比べ液相率と粗孔

隙で高く、固相率と乾燥密度で低かった。第3層の心土層では、気相率、粗孔隙および乾燥密度で試験区が高かった。

ダイズ2年作付け後の両区の作土層は、気相率と粗孔隙で初年目の作付け前よりも高くなり、畑地化が進んだと判断された。スキ床層は、気相率と粗孔隙で初年目に比べ両区とも低くなった。心土層は初年目に比べ、液相率、気相率および粗孔隙で試験区が高く、固相率で慣行区が高くなった。透水係数は、初年目に比べ2年目では両区ともに作土層で透水性は良好となり、スキ床層では大きな違いはなく、心土層は透水性のある層位となった。以上のことから、ダイズ連作により作土層の畑地化が進み、心土層の透水性も改善されたために、土壌水分や地下水位制御を難しくする結果となったと判断された。

土壌の水分をコントロールするには、透水性の良い作土層を作ることと、心土層を初年目のような難透水性の状態に維持することが必要と考えられた。一般に作付け以後の暗渠は開放状態で管理されることから、地下水位管理は作付け期間に限らず年間をとおして管理することの重要性が考えられた。



第2-6図 試験区と慣行区の地表面下0~10cmにおける体積含水率の分布

第2-2表 供試圃場の土壌の物理性

作付年度	区	層位置 (cm)	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)	粗孔隙* (%)	乾燥密度 (Mgm ⁻³)	透水係数 (cms ⁻¹)
初年目	試験区	0-14 (作土)	33.8±2.3	57.5±1.7	8.7±4.0	10.0±3.8	0.84±0.03	1.9×10 ⁻³ ~1.2×10 ⁻⁴
		14-24 (スキ床)	29.0±0.5	66.3±0.5	4.6±0.1	3.5±0.4	0.76±0.01	2.0~3.3×10 ⁻⁴
	慣行区	24-35 (心土)	27.2±1.5	69.9±4.0	2.9±2.9	10.9±2.3	0.94±0.10	2.8×10 ⁻⁴ ~8.4×10 ⁻⁸
		0-15 (作土)	36.6±3.6	56.6±3.9	6.7±0.7	7.8±1.7	0.84±0.02	1.5×10 ⁻⁴ ~4.2×10 ⁻⁶
2年目	試験区	15-29 (スキ床)	37.2±5.1	58.7±2.0	4.0±3.3	2.0±4.3	0.85±0.03	3.0×10 ⁻⁴ ~2.6×10 ⁻⁵
		29-44 (心土)	27.9±1.6	70.8±1.8	1.2±0.3	9.5±0.4	0.80±0.06	3.3×10 ⁻⁵ ~3.0×10 ⁻⁷
	慣行区	0-16 (作土)	23.8±2.2	52.1±3.0	23.9±3.4	30.4±2.7	0.75±0.04	3.2~6.4×10 ⁻²
		16-28 (スキ床)	34.8±0.8	62.1±1.0	3.1±0.7	0.4±0.8	0.82±0.03	1.8×10 ⁻⁴ ~3.7×10 ⁻⁷
	慣行区	28-39 (心土)	15.3±0.3	80.7±0.9	3.9±0.7	13.5±0.6	0.59±0.03	4.2×10 ⁻⁴ ~2.9×10 ⁻⁵
		0-16 (作土)	25.0±1.8	56.1±0.7	18.8±2.5	24.0±2.9	0.79±0.04	1.6~2.4×10 ⁻²
		16-26 (スキ床)	31.8±5.8	65.8±6.0	2.3±0.8	0.8±1.5	0.73±0.17	3.3×10 ⁻⁴ ~2.0×10 ⁻⁷
		26-38 (心土)	18.2±0.7	78.6±0.9	3.2±0.2	11.4±0.1	0.61±0.05	6.0×10 ⁻⁴ ~6.9×10 ⁻⁶

初年目: 作付け前, 試料採取日 2003年5月2日, 2年目: 作付け後, 試料採取日 2004年11月5日。

*粗孔隙=飽和~pF1.8 (6.2kPa)。±は標準誤差を示す (n=3)。

2-5-6 生育状況

主茎長および節数について第 2-7 図に示し、初年目の生育状況を第 2-8 図～第 2-13 図に示した。初年目の主茎長は、8 月 1 日および 9 月 9 日では両区で差はなかったが、収穫期には試験区が 54.1 ± 4.2cm で、慣行区が 56.8 ± 4.5cm と試験区がやや低かった。節数では、収穫期には試験区が 13.3 ± 0.9、慣行区が 13.6 ± 1.0 となった。成熟期の生育は、試験区が慣行区に比べ黄葉になるのが約 1 週間遅く、登熟期間の延長が観察された。根の調査については今回実施しなかったが、酸化的环境下での根の活力は高いといわれている (有原, 2000 ; 金田ら, 2004)。9 月以降の地下水位は、試験区が慣行区に比べ低い状態となった。このことより、籾殻補助暗渠による排水性改良の効果が根の活性の維持につながったと考えられた。

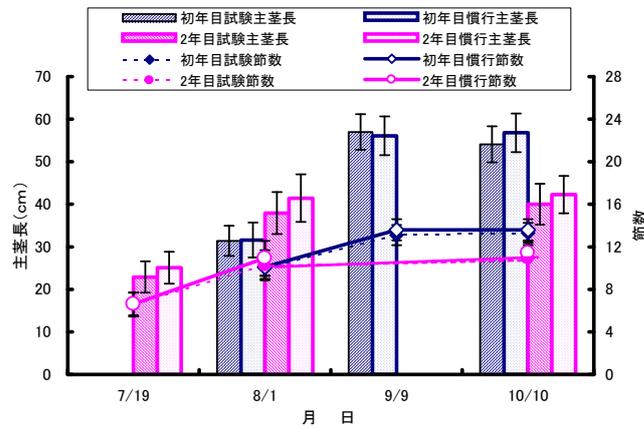
2 年目の主茎長は、生育初期から慣行区が、試験区に比べやや高く変化し、収穫期では、試験区が 40.0 ± 4.8cm で、慣行区が 42.3 ± 4.4cm となった。節数では両区に差異はなく、収穫期には試験区が 10.9 ± 1.2、慣行区が 11.4 ± 1.1 となった。主茎長、節数ともに初年目に比べ両区の生育は劣った。これは、開花期以降の水供給が十分でないために生育が劣ったと推

察された。これらのことから、生育状況では両区に大きな違いは認められないと判断された。

2-5-7 収量および収量構成要素

第 2-3 表には収穫期の子実重と主な収量構成要素を示した。初年目、2 年目ともに、茎太は試験区が太く、1 莢内粒数は試験区が慣行区に比べて多くなった。莢数について見ると初年目では、試験区は 515 莢 m² と慣行区の 439 莢 m² に比べ 17% 多かった。2 年目は試験区 502 莢 m² で、慣行区の 447 莢 m² に比べ 12% 多かった。その結果、子実重では初年目は試験区が 0.28kgm² と慣行区の 0.23kgm² に比べ 25% 増収した。2 年目は試験区が 0.26kgm² と慣行区の 0.22kgm² に比べ 16% の増収となった。収穫位置では、試験区は水尻部が最も多く、次いで中央部、水口部の順で、慣行区は中央部が最も多く、次いで水口部と水尻部が同量程度であった。

莢数は、開花期～最大繁茂期および子実肥大初期にかけて決定されると言われている。初年目は 8 月の開花期以降～最大繁茂期、2 年目は子実肥大期にかけての試験区が慣行区に比べ高い地下水位で、水の供給が優っていることが増収の要因の一つと考えられた。



第 2-7 試験区と慣行区の生育状況 (主茎長および節数)

エラーバーは標準偏差を示す (n=20)。

第 2-3 表 試験区と慣行区の子実重と主な収量構成要素

	収穫期の形態					収量及び収量構成要素					
	主茎長 (cm)	節数 (節)	分枝 (本)	茎太 (mm)	1 莢内粒数 (粒莢 ⁻¹)	莢数 (莢 m ⁻²)	全重 (kgm ⁻²)	百粒重 (g)	子実重 (kgm ⁻²)	同左比 (%)	
初年目	試験区	54.1	13.3	5.6	8.3	1.82	515	0.57	32.5	0.28	125
	慣行区	56.8	13.6	5.5	7.0	1.74	439	0.46	31.7	0.23	(100)
2年目	試験区	40.0±3.4	10.9±0.1	4.8±0.1	6.5±1.1	1.81±0.04	502±83	0.44±0.08	28.0±0.2	0.26±0.05	116
	慣行区	42.3±5.2	11.4±0.6	5.0±0.4	5.6±0.5	1.75±0.04	447±48	0.37±0.04	28.1±0.6	0.22±0.02	(100)

2 年目は、各調査項目について Tukey 法によりそれぞれ有意差はなかった。

子実重および百粒重は、15% 水分換算値である。± の数値は標準偏差を示す (n=3)。



第 2-8 図 本葉 3 葉期 (2003/7/2 撮影)



(a) 慣行区



左 : (b) 試験区 排水位 10cm に設定。
用水閘からの注水処理後。

図 2-9 図 開花盛期 (2003/8/6 水口側から撮影)



第 2-10 図 開花盛期 (2003/8/6 水尻側から撮影)



第 2-11 図 黄葉初期 (2003/9/24 撮影)



第 2-12 図 黄葉期 (2003/9/30 撮影)



第 2-13 図 収穫期 (2003/10/14 撮影)

収穫日：慣行区 2003/10/14，試験区 2003/10/20

2-6 摘要

本暗渠および籾殻補助暗渠を施工した農家の大区画汎用水田で、用水閘と自由に排水位を設定できる伸縮性越流水閘を設置し、ダイズ多収を目指す地下水位制御を試みた。試験圃場（試験区）は、多くの水分を必要とする開花期以降～最大繁茂期（おおむね 8 月の 1 か月）に地表面下 10cm の排水位に設定し、慣行の暗渠圃場（慣行区）は農家慣行で、各々ダイズ栽培を行い、圃場環境および生育収量について検討した。

初年目（2003 年）について、開花期以降～最大繁茂期の地下水位は、試験区が $13.4 \pm 5.0\text{cm}$ で、慣行区の $22.1 \pm 7.5\text{cm}$ に比べ高く維持できた。初年目圃場は水田からの転換初年目にあたり、排水性の悪い、容易に高い地下水位となった。2 年目（2004 年）は土壌の畑地化が進み排水性の改善された圃場となり、地下水位の変動が大きく、この期間の地下水位を上げることや維持することは困難であった。しかし、多くの水を必要とする最大繁茂期～子実肥大期にかけて試験区が慣行区に比べ高い地下水位となり、水の供給が優っていた。2 年とも、両区で地下水位の差が一定期間認められる条件下での栽培となった。初年目の播種後の用水閘からの給水による体積含水率は、試験区が慣行区に比べ高い水分分布で、用水閘からの給水により暗渠を通して十分に水が供給され、土壤水分を維持できることがうかがえた。

ダイズ 2 年作付け後の試験区と慣行区の作土層では、気相率と粗孔隙で初年目の作付け前よりも高く、スキ床層は、気相率と粗孔隙で初年目に比べ両区とも低くなった。心土層では、液相率、気相率および粗孔隙で試験区が高く、固相率で慣行区が高くなった。透水係数は、両区ともに作土層で透水性は良好となり、スキ床層では大きな違いはなく、心土層は透水性の高い層位となった。

根域の地温は、試験区、慣行区で両年ともに地下水位の違いで大きな差異はなかった。計測深が深くなるほど地温は低くなるが、地下水の地温への影響は少なかった。

2 年目の地表面下 5cm および 10cm の栽培期間中の Eh は、試験区、慣行区で大きな違いは認められず、根圏は常時酸化的に保たれ、土壤還元による根への危険性が少ないことが分かった。

収穫期の主茎長は、両年とも試験区が慣行区に比べてやや低く、節数は同程度であった。2 年目は主茎長、節数ともに初年目に比べ両区の生育は劣った。茎太および莢数は、両年ともに試験区が慣行区より優っていた。子実重は、試験区が慣行区より初年目で 25%、2 年目は 16%の増収となった。

以上の結果より、用水閘と自由に排水位を設定できる伸縮性越流水閘を用いた農家圃場でのダイズ多収を目指す地下水位制御の試みは、地下水位を生育時期で

コントロールできる可能性があり、地下水位制御の考え方に近づけることができた。地下水位以外に大きな違いのない条件での栽培により、土壤水分の保持や従来の土壤水分制御に比べ過湿気味なコントロールによる多収の可能性が指摘された。地下水位制御は、透水性の良い作土層と、心土層を難透水性に維持する圃場条件が重要であり、心土層への亀裂を防ぐような地下水位の周年管理の必要性が示唆された。

3 異なる砕土率モデルでの地下水位制御試験

3-1 抄録

現地大区画汎用水田での畑連作は、畑地化が向上する結果をふまえ、作付圃場の水分保持に大きく影響すると考えられる砕土率と地下水位制御について農業試験場水田圃場の細粒グライ土の作土を用いてコンテナ栽培試験を行った。

1) コンテナに充填した砕土率 80%区および砕土率 30%区で、40～10cm という地下水位制御が一作期(約 120 日)に渡って可能であった。

2) 本研究に用いた毛管上昇は、砕土率 80%土壌が 18～21cm で、砕土率 30%土壌では 15～18cm であり、その差は 3cm 程度であった。また砕土率の違いで土壌の理化学性、地温、および土壌溶液の pH、EC に大きな差異はなかった。しかし、E_hについては地表面下 30cm では砕土率 30%が高く推移した。

3) 生育初期は、砕土率 80%区が優位に推移するが、開花期以降は、砕土率 30%区が優り、収量がやや多くなることうかがえた。

4) 播種後の出芽が砕土率 30%区は、砕土率 80%区よりも 2 日程度遅れることから、実際に圃場での栽培管理を考えた場合は、砕土率 80%区がよいものと判断した。

3-2 はじめに

2 の「汎用水田における地下水位制御の試み」では、農家圃場でダイズ多収を目指すため、排水位を自由に設定できる伸縮性越流水閘を用いた地下水位制御を試みた。その結果、地下水位を生育時期でコントロールができる可能性のあること、増収の可能性がうかがえた。ダイズ 2 年間の作付けにより、作土層は畑地化が進んだ。地下水位制御は、透水性の良い作土層と、心土層を難透水性に維持する圃場条件が重要であり、心土層の亀裂を防ぐ地下水位の周年管理の必要性が示唆された。

そこで汎用水田圃場の畑地化が進んだ結果から畑地化による砕土率向上の知見を基に、作物の播種や出芽にとって理想条件である砕土率 70%を上回る砕土率 80%と劣悪な条件の砕土率 30%の異なる砕土率モデルでの地下水位制御試験をガラス室で行い、土壌環境、生育および収量について検討した。

3-3 試験方法

3-3-1 コンテナ装置の作製

本研究では、圃場栽培で行ったデータとの比較を考え、地下水位 40cm を得られるようにした。

栽培装置の概要を第 3-1 図～第 3-3 図に示した。コ

ンテナは、内寸で縦 40cm、横 60cm、深さ 30cm の市販の PP (ポリプロピレン製) コンテナを 3 段重ねにし、シリコン製のコーティング剤で接着して作製した。

地表面下 80cm (底面から 5cm 上) の側壁に、浸透水の排水孔 (直径 20mm) を設けた。この孔には、PE (ポリエチレン) 管を貫通させたゴム栓をつけ、この PE 管に塩ビチューブをつけて、地下水位計測板に固定した PE 管に接続した。別にもう一つの排水孔には、地下水位を地表面下 10～40cm に変動し、排水が越流するように排水越流部を設けた。この部位を、3-4-7 土壌溶液の変化の排水口である地表面下 80cm の採取口とした。

マリオットからの地下水の供給は、コンテナ側面の地表面下 50cm にシリコン栓に PP 管 (直径 7mm、長さ 20cm) と塩ビチューブを接続して作製した。この接続口を、3-4-7 土壌溶液の変化の供給口である試料の採取口とした。

水ポテンシャル (圧力水頭測定) 孔の列と E_h (酸化還元電位測定、OPR 電極) 孔の列をコンテナ正面の両側に地表面下 5cm、10cm、20cm、30cm、40cm および 50cm に設けた。

3-3-2 土壌の採取および砕土率調整

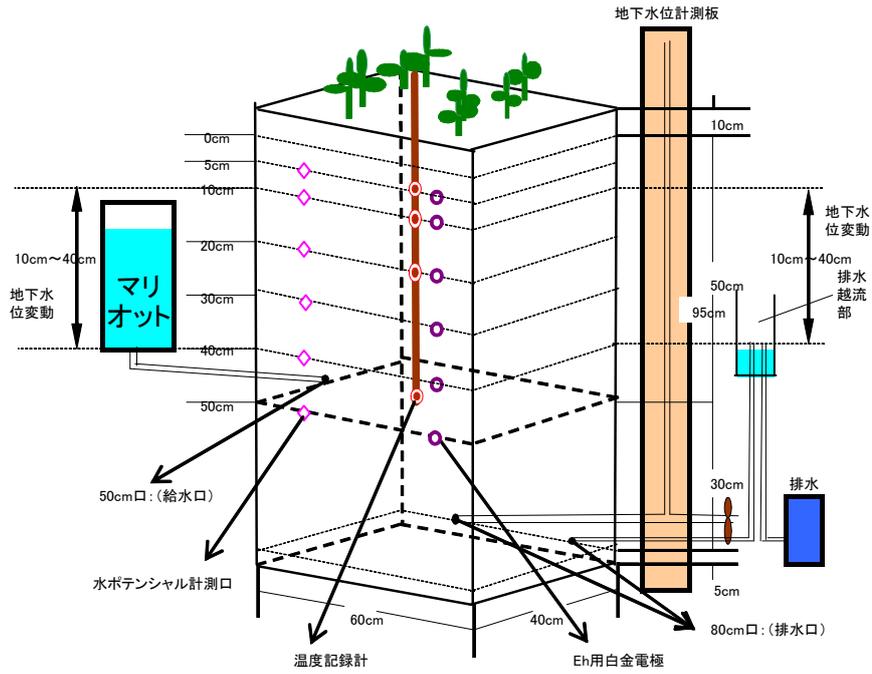
コンテナへの供試土壌は、秋田県農林水産技術センター農業試験場 (以後「農業試験場」と記す) の水田圃場の作土 (地表面下 0～15cm、細粒グライ土) を採取し、使用した。この供試土壌の理化学性は第 3-1 表に示したとおりである。

供試土壌は、ガラス室においてビニルシート上に放置し、含水比 35～45%程度に風乾処理した。この風乾処理土壌は、篩目 1cm、2cm、3cm および 4cm を用いてふるい処理し、各篩目毎に保管した。

砕土率の調整は第 3-2 表に示した。すなわち、十分に理想的な砕土率である 80% (以後「80%区」と記す) と劣悪な砕土率である 30% (以後「30%区」と記す) とした。これは第 3-2 表の参考の現地圃場で計測した耕起後の砕土率データを基に設定し、畑地連作による畑地化向上の経年変化も想定した。

3-3-3 コンテナへの土壌充填

コンテナ装置の底には、市販砂利 (直径 5mm 程度) を厚さ 5cm に敷き詰めた。調整した砕土率土壌は、供試圃場の乾燥密度と同じになるように秤量し、充填した (佐々木ら, 1998a)。地表面下 0～20cm にあたる最後の 20cm 分の土壌は、全層施肥処理として、所定量の肥料を混和してコンテナに充填した。供試圃場の乾燥密度は、2005 年が 0.80Mgm⁻³、2006 年が 0.82Mgm⁻³であった。



第3-1図 コンテナ栽培装置の概要



第3-2図 コンテナ栽培装置 (2006/6/1 撮影)



(a) 30%区



(b) 80%区

第3-3図 地下水位10cmまで注水処理した12時間経過時の土壌状況 (2005/6/4 撮影)

第 3-1 表 供試土壌の理化学性

作付年度	pH		EC (mScm ⁻¹)	可給態 燐酸 (トルオーグ) (mg kg ⁻¹)	全炭素 (T-C%) (%)	全窒素 (T-N%) (%)	C/N 比	陽イオン 交換容量 (cmol kg ⁻¹)	交換性陽イオン				塩基 飽和 度 (%)
	H ₂ O	KCL							CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
2005	4.8	4.3	0.31	146	3.3	0.28	11.6	21.6	2644	564	181	109	59.9
2006	5.5	4.6	0.07	184	4.2	0.34	12.3	24.0	2855	619	143	101	57.8

作付年度	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)	粗孔隙* (%)	乾燥密度 (Mgm ⁻³)	透水係数範囲 (cms ⁻¹)
2005	31.0±0.4	64.6±0.3	4.3±0.3	7.0±0.9	0.80±0.01	1.1×10 ⁻⁵ ~3.9×10 ⁻⁶
2006	30.8±2.1	62.9±2.4	6.2±2.9	9.2±0.1	0.82±0.04	2.4×10 ⁻⁴ ~8.0×10 ⁻⁵

*粗孔隙=飽和~pF1.8 (6.2kPa), ±は標準誤差を示す (n=3)。

第 3-2 表 設定砕土率を得るための各篩目毎の配合割合

砕土率%	割合(%)				
	~1	1~2	2~3	3~4	4~
30	15 (30)	15	28	27	15
80	59 (80)	21	11	6	3
参考:試験区 ¹⁾	30±4 (55±9)	25±5	18±3	14±7	14±3
参考:試験区 ²⁾	52±6 (74±6)	21±0.2	11±2	7±1	8±5
参考:慣行区 ²⁾	35±6 (57±6)	22±2	16±0.4	11±2	16±5

1): 試料採取日: 2003/6/9, 2): 試料採取日: 2004/6/4。()は土塊の~1cmと1cm~2cmの重量割合合計。

±の数値は標準偏差を示す (n=8)。

3-3-4 コンテナ栽培方法

栽培は農業試験場のガラス室内で行った。80%区と30%区ともに地下水位制御による栽培を繰り返しながら行った。播種直後に地下水位を地表面下 10cm に設定し、マリOTTから注水を行った。地下水位 10cm を約 12 時間維持した後、地下水位を 40cm に設定し、排水を行った。以降、開花期まで地下水位を 40cm に維持した。開花期から地下水位を 10cm にし、マリOTTから注水を行い、子実肥大期まで行った。その後地下水位を 40cm に設定し、排水を行い収穫期まで維持した。

散水は、4 日に 1 度の 10mm 降水に相当する量を施用した。これは、2「汎用水田における地下水位制御の試み」の 2003 年と 2004 年に実施した現地圃場の作付け期間について、大仙市のアメダスデータの降水頻度および降水量の平均値から求めた。

品種は 2005 年、2006 年ともに秋田県奨励品種であるリュウホウを用いた。2005 年および 2006 年には、基肥施肥量として 80%区、30%区ともに、大豆専用 2 号 (N-P₂O₅-K₂O = 5-15-15%) を用いて窒素成分で 100kg^{ha}⁻¹ を 0~20cm に全層施肥した。同じくよりんを 800kg^{ha}⁻¹ を施用した。

播種は、コンテナの条間 30cm、株間 20cm の 4 カ所に 3~4 粒播種し、発芽後に間引いて 2 株の合計 8 株とした。追肥および培土は両年ともに実施しなかった。播種は、2005 年および 2006 年ともに 6 月 1 日 (播

種後 1 日) であった。また病害虫の防除管理はダイズ指導指針 (秋田県農林水産部, 2004) に準じて実施した。80%区および 30%区の両区について、2005 年の開花期は 7 月 20 日 (播種後 50 日) で、収穫日は 10 月 10 日 (播種後 132 日) であった。両区の 2006 年について、開花期は 2005 年と同様に 7 月 20 日 (播種後 50 日) で、収穫日は 10 月 8 日 (播種後 130 日) であった。

3-4 測定項目及び方法

3-4-1 地下水位の変化

地下水位計測板からの地下水位の読み取りは、2005 年では午前中に行った。2006 年は午前 7 時~10 時に行った。

3-4-2 地温の変化

地温計測は 2005 年および 2006 年ともに、温度記録計 (TR71S (株) ティアンドディ社製) を設けた。測定深は地表面下 5cm, 10cm, 20cm および 50cm とした。

3-4-3 土壌の水ポテンシャルの変化

土壌の水ポテンシャルの計測は 2006 年に行った。直径 5mm のポーラスカップを調整し、ハンディマノメータ (PG-100-102VP および PG-100-102AP, 日本電産コパル電子 (株) 製) を塩ビチューブで接続し、計

測した(安中, 1998)。計測は散水の前日(散水後3日目)の午前7時~10時に行った。

3-4-4 根域の Eh の変化

根域の Eh については、2005 年は地表面下 5cm, 10cm, 20cm, 30cm および 50cm に設置し、2006 年は地表面下 5cm, 10cm, 20cm, 30cm, 40cm および 50cm に設置した。Eh メータ測定用電極(本体: UC - 23 型, ORP 電極: 702E 型, セントラル科学社製)を使用した。計測は、2005 年では午前中に行った。2006 年は午前7時~10時に行った。

3-4-5 土壌の理化学性

供試土壌およびコンテナ栽培後の土壌の理化学性の分析を行った。

3-4-6 毛管上昇

砕土率 30% および砕土率 80% の供試土壌について、直径 5cm の PP 管を用いて毛管上昇を確認した。PP 管の底にはろ紙 (No6) でフタをして、3-3-2 土壌の採取および砕土率調整で、調整した試料を乾燥密度が 0.82Mgm^{-3} となるようにゴム栓で突きかためながら、40cm 高さになるように充填した。上端は蒸発防止のためにラップで覆いをした。水深 5cm のバットに試料 PP 管をろ紙の部分で底に立てて、室温で 5 日間放置した。毛管上昇は、土層厚を 3cm 毎に含水比を測定することにより求めた。本実験は 3 回繰り返し、平均値を求めた。

3-4-7 土壌溶液の変化

コンテナの供給口である地表面下 50cm (以後「50cm 口」と記す) とコンテナの排水口である地表面下 80cm (以後「80cm 口」と記す) を定期的にポリシリンジで採取し、水素イオン濃度 (pH) と電気伝導度 (EC) を計測した (図 III-2-1)。pH は pH メーター (東亜電波工業 (株) HM-30G), EC は電気伝導率計 (東亜電波工業 (株) CM-30G) を使用した。

3-4-8 生育状況

生育調査は、主茎長と葉色 (葉緑素計値) について生育時期毎に 8 株を測定した。葉色は、ミノルタ社製の葉緑素計 SPAD-502 を用いて、完全展開葉の 1 葉前 (n-1 葉) を計測した。

3-4-9 収量および収量構成要素

収量および収量構成要素の調査について、両年ともに子実重および収量構成要素を調査した。子実重は、両年とも篩で選別した粒厚 5.5mm 以上の種子を対象に測定した。

3-5 結果と考察

3-5-1 地下水位の変化

2005 年と 2006 年の地下水位の変化を第 3-4 図に示した。2005 年については、地下水位 40cm に設定した播種後 7 日~50 日 (6 月 7 日~7 月 20 日) の期間の地下水位は、80% 区が $42.9 \pm 4.7\text{cm}$ で、30% 区が $42.9 \pm 4.0\text{cm}$ であった。地下水位を 10cm とした播種後 51 日~100 日 (7 月 21 日~9 月 8 日) の期間の地下水位は、80% 区が $19.5 \pm 8.0\text{cm}$ で、30% 区が $20.1 \pm 7.7\text{cm}$ であった。両区とも地下水位の変動が大きかった。これは、ダイズの蒸発散量とマリオットの補充水量が追いつかずにズレが生じたためと考えられた。地下水位を 40cm とした播種後 101 日~127 日 (9 月 9 日~10 月 5 日) では、80% 区が $44.5 \pm 3.3\text{cm}$ で、30% 区が $42.5 \pm 1.9\text{cm}$ であった。

2006 年については、地下水位 40cm に設定した播種後 5 日~50 日 (6 月 5 日~7 月 20 日) の期間の地下水位は、80% 区が $40.4 \pm 1.4\text{cm}$ で、30% 区が $40.4 \pm 1.3\text{cm}$ であった。両区とも同程度の地下水位の変動であった。地下水位を 10cm とした播種後 51 日~102 日 (7 月 21 日~9 月 10 日) の期間の地下水位は、80% 区が $11.7 \pm 3.2\text{cm}$ で、30% 区が $10.4 \pm 1.9\text{cm}$ であった。地下水位を 40cm とした播種後 103 日~129 日 (9 月 11 日~10 月 7 日) では、80% 区が $38.2 \pm 3.3\text{cm}$ で、30% 区が $38.5 \pm 3.2\text{cm}$ であった。

以上のことより、2005 年は変動が大きかったものの、両年ともにほぼ設定の地下水位を得ることができ、地下水位制御が一作期 (約 120 日) に渡って可能であった。設定地下水位の変動が 2005 年より 2006 年が安定したのは、コンテナ給水口の PE 管に直径 1mm の穴を 4 個開け水供給口を増やしたこと、マリオットの水供給を頻度多く行ったこと、計測時刻をできるだけ同じ時間帯で行ったことがあげられた。また 2005 年には、開花期~子実肥大期の水を最も必要とする期間に、マリオットへの水補給が滞ったことで、地下水位が急激に下がる管理となるなど、この期間の水管理の重要なことが分かった。

3-5-2 地温の変化

地温の変化については、2005 年は第 3-5 図に示し、2006 年は第 3-6 図に示した。2005 年について、地下水位 40cm に設定した播種後 1 日~50 日の期間の地表面下 5cm の地温は、80% 区が $23.0 \pm 1.4^\circ\text{C}$ で、30% 区が $23.0 \pm 1.4^\circ\text{C}$ と差異のない値であった。地下水位を 10cm とした播種後 51 日~100 日の期間では、80% 区が $25.5 \pm 2.0^\circ\text{C}$ で、30% 区が $25.8 \pm 2.1^\circ\text{C}$ であった。地下水位を 40cm とした播種後 101 日~127 日では、80% 区が $21.3 \pm 2.1^\circ\text{C}$ で、30% 区が $21.6 \pm 2.1^\circ\text{C}$ であった。これらのことから各栽培期間について、両区で差異のない値であった。またこれは地表面

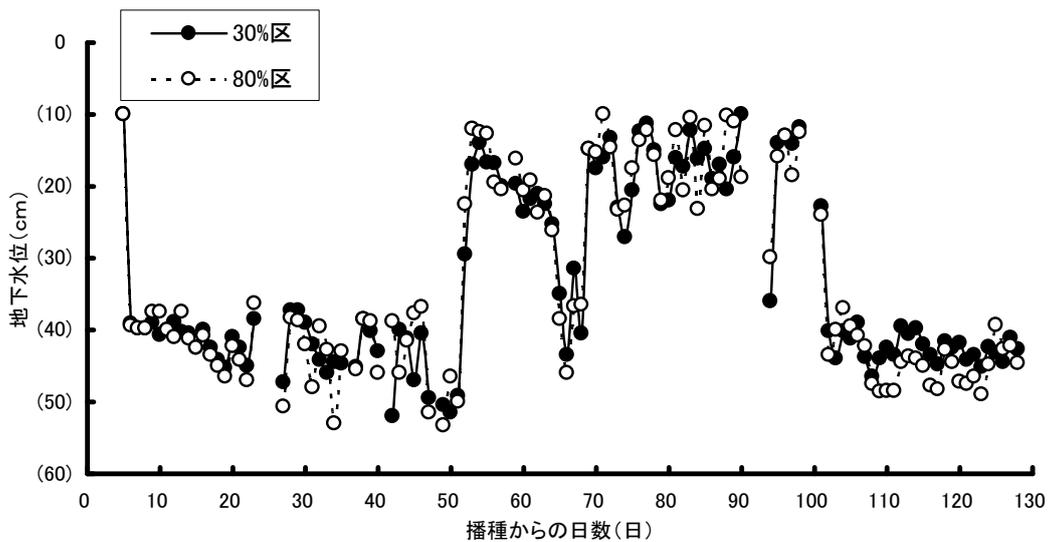
下 10cm, 20cm および 50cm でも同様に差異のない値であった。

計測深の違いについて、播種後 51 日～100 日の期間の各地温を見てみると、地表面下 10cm では 80%区が 25.9 ± 2.1 °C で、30%区が 26.4 ± 2.2 °C であり、地表面下 20cm では 80%区が 26.5 ± 2.1 °C で、30%区が 27.2 ± 2.2 °C であった。さらに、地表面下 50cm では 80%区が 27.0 ± 2.0 °C で、30%区が 27.2 ± 2.1 °C となり、測定深が深くなるほど、地温がやや上がった。

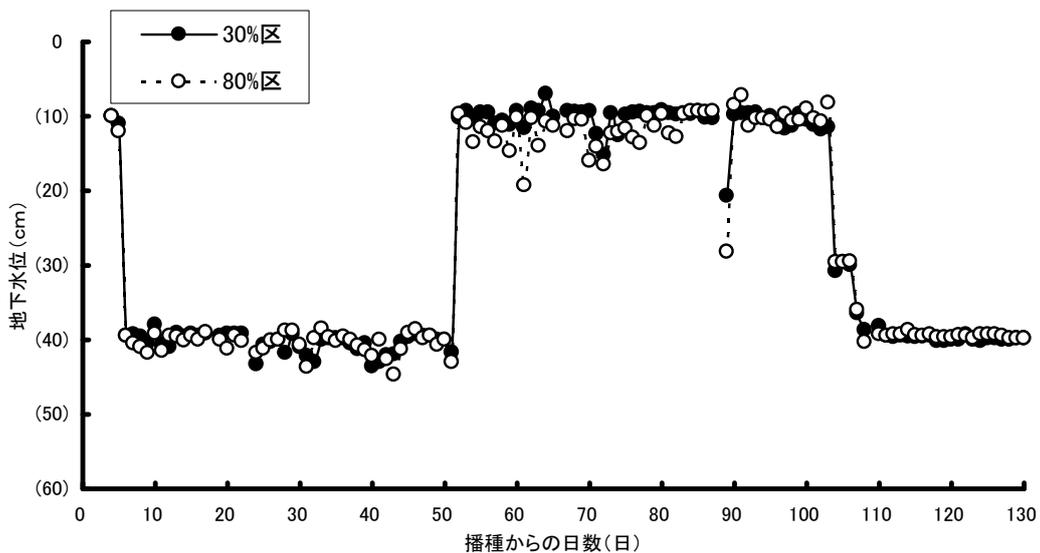
これは、2「汎用水田における地下水位制御の試み」の現地試験と異なり、ガラス室での特徴と考えられた。

2006 年についても、2005 年同様に各栽培期間および各地表面下で両区では差異のない値であった。

以上のことから、ガラス室での栽培は期間や測定深の違いによって、碎土率の違いによる地温の差異はなかった。測定深については、地表面下が深くなるほど地温はやや高くなる傾向にあった。

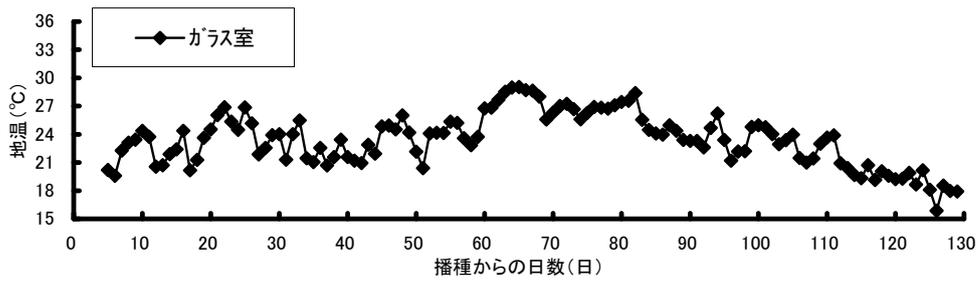


(a) 2005年

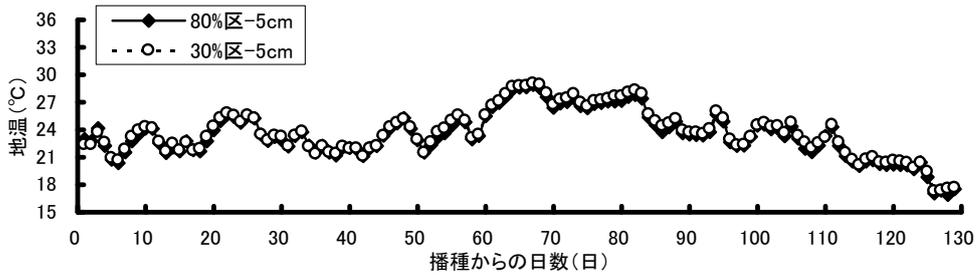


(b) 2006年

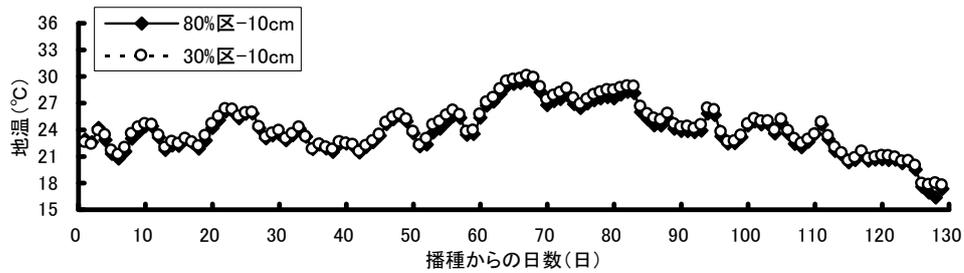
第 3-4 図 80%区と 30%区の地下水位の変化



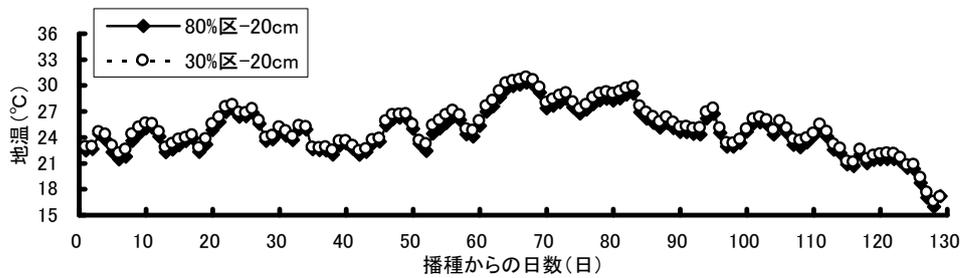
(a) ガラス室の気温



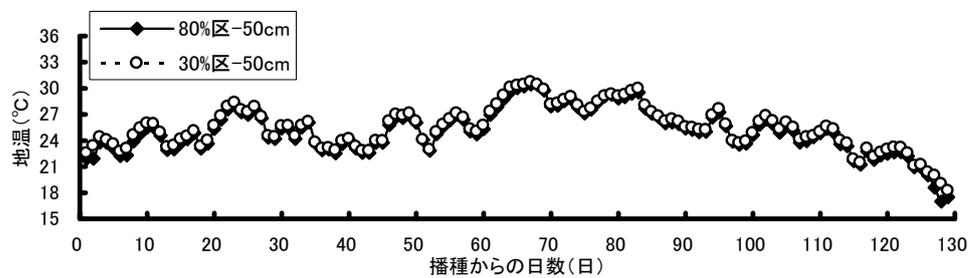
(b) 地表面下5cmの地温



(c) 地表面下10cmの地温

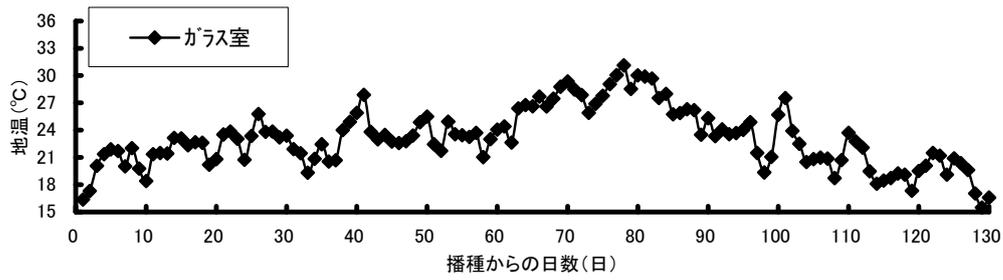


(d) 地表面下20cmの地温

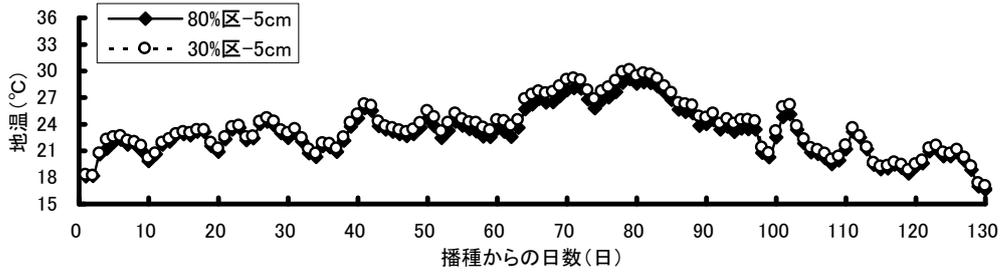


(e) 地表面下50cmの地温

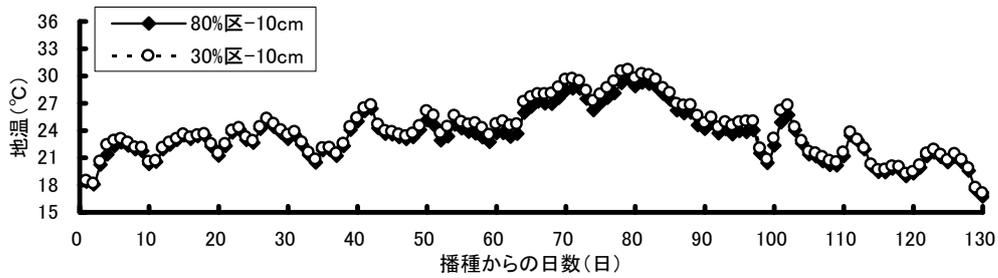
第3-5図 80%区と30%区における地温の変化 (2005年)



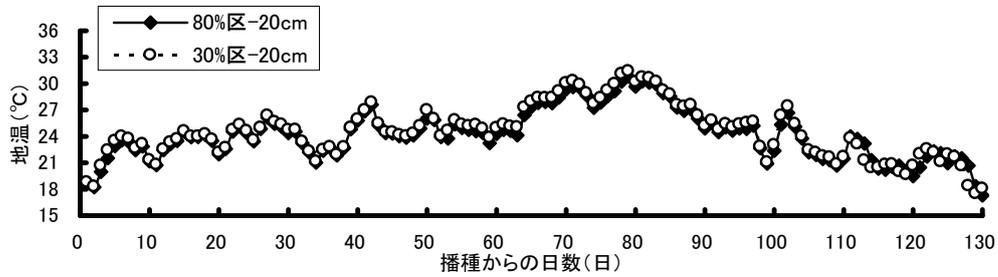
(a) ガラス室の気温



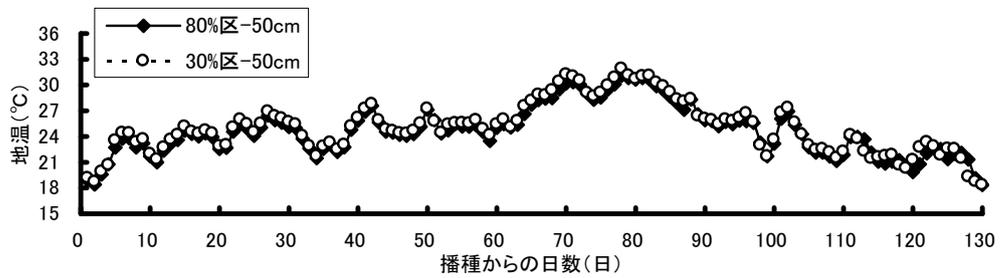
(b) 地表面下5cmの地温



(c) 地表面下10cmの地温



(d) 地表面下20cmの地温



(e) 地表面下50cmの地温

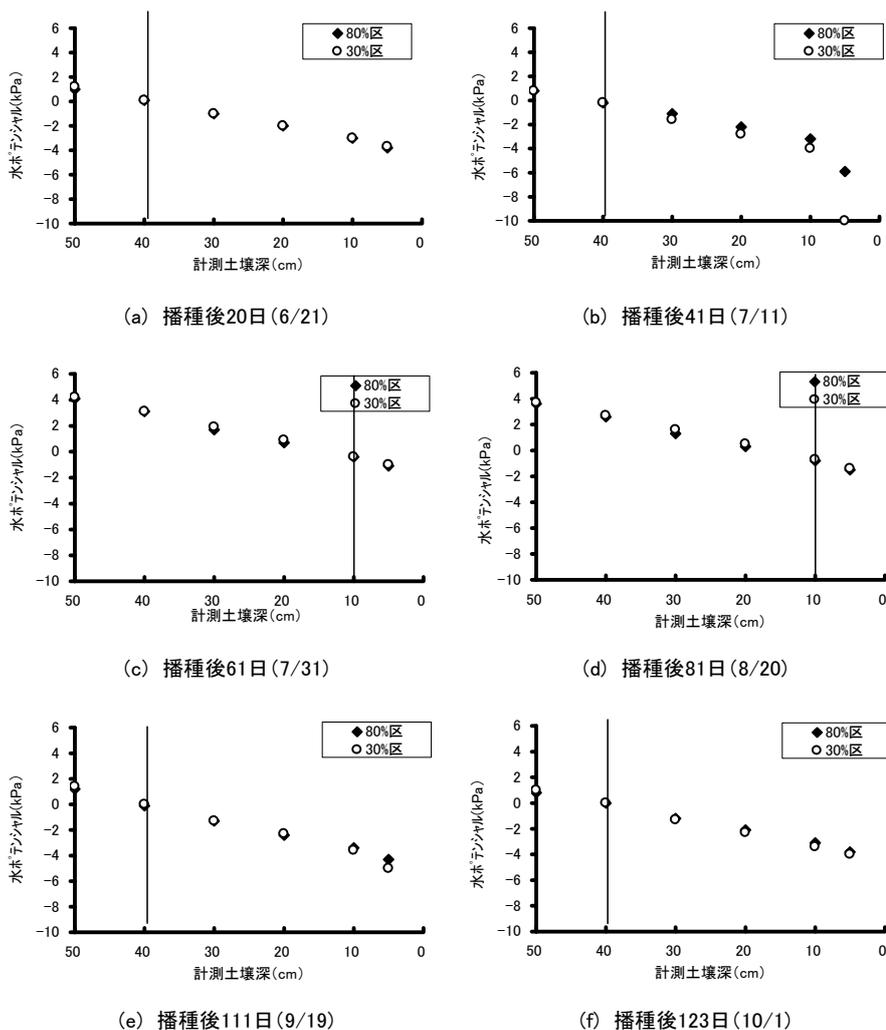
第 3-6 図 80%区と 30%区における地温の変化 (2006 年)

3-5-3 土壌の水ポテンシャルの変化

土壌の水ポテンシャルの変化は2006年に調査した。第3-7図の(a)および(b)には、地下水位40cmに設定した播種後1日～50日の期間から播種後21日(6月21日)と41日(7月11日)について示した。(a)の播種後21日については地表面下5cmの水ポテンシャルが、80%区では-3.8kPaで30%区では-3.7kPaとほとんど差異のない値であった。(b)の播種後41日の地表面下5cmは、80%区では-5.9kPaで30%区では-10.0kPaと30%区の乾燥が進んでいた。第3-7図の(c)および(d)には、地下水位を10cmとした播種後51日～100日の期間から播種後61日(7月31日)と播種後81日(8月20日)について示した。(c)の播種後61日は地表面下10cmの水ポテンシャルが、80%区、30%区ともに-0.4kPaであった。(d)の播種後81日の地表面下10cmは、80%区が-0.8kPaで30%区が-0.7kPaであった。両日ともに地表面下10cmより上層では、潤沢な水分を維持して、地表面下10cmより下層では飽和状態であった。第3-7図の(e)および(f)には、地下水位を40cmとした播種後103日～129日の期間

から播種後111日(9月19日)と播種後123日(10月1日)について示した。両日ともに地表面下40cmより下は飽和状態であった。地表面下5cmの(e)の播種後103日では、80%区が-4.3kPaで30%区が-5.0kPaとなり、(f)の播種後123日では、80%区が-3.8kPaで30%区が-4.0kPaと30%区がやや乾燥されやすいようであった。この傾向は地表面下10cmおよび20cmでも見られた。

これらのことから栽培期間について、地下水位40cmに設定した期間は、30%区が80%区よりやや乾燥されやすいものの、過乾燥になるほどではなかった。地下水位10cmに設定した期間では、10cmより上層は飽和状態に近く、10cmより下層は飽和状態であった。以上のことから、透水性が良ければ土壌の乾燥が進むことが期待され、地下水位を10cmとした播種後51日～100日の水を最も必要とする期間の水分は潤沢で、十分に水の供給がされていたことが確認された。このことは汎用化圃場において、地下水位を管理することで水供給が可能であることがうかがえた。



第3-7図 80%区と30%区における土壌の水ポテンシャルの変化(2006年)

棒線は設定地下水位を示す。

3-5-4 根域の Eh の変化

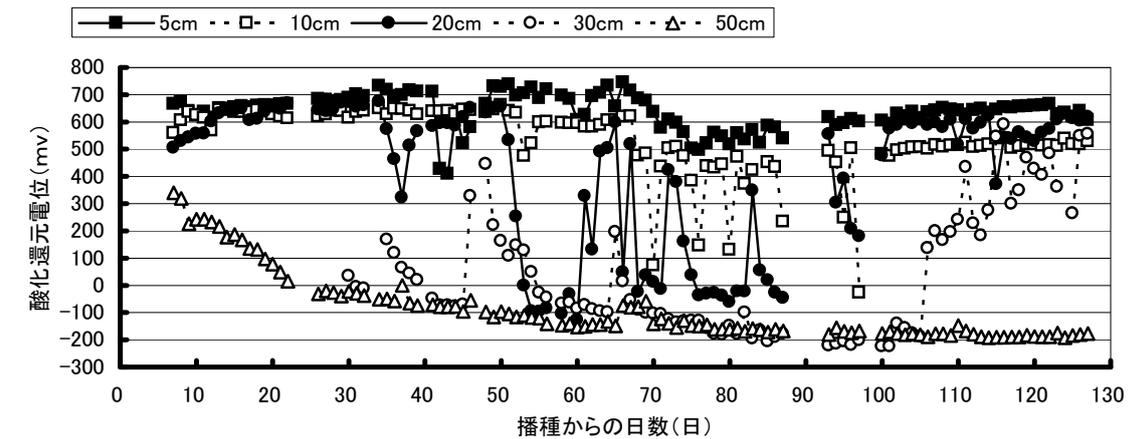
根域の Eh の変化については、2005 年は第 3-8 図に示し、2006 年は第 3-9 図に示した。2005 年の地表面下 5cm の Eh は、作付け期間をとおして 80%区が $638 \pm 64\text{mV}$ で、30%区が $611 \pm 59\text{mV}$ と一定して酸化状態で推移した。地表面下 10cm は、地下水位 40cm に設定した播種後 1 日～ 50 日の期間では 80%区が $631 \pm 20\text{mV}$ で、30%区が $597 \pm 23\text{mV}$ と酸化状態であった。地下水位を 10cm とした播種後 51 日～ 100 日の期間では、80%区は Eh の変動が大きく、酸化状態や還元状態を繰り返し、30%区は一定して酸化状態であった。地下水位を 40cm とした播種後 101 日～ 127 日の期間は、両区とも酸化状態で推移した。

また、地表面下 20cm では地表面下 10cm と同様に地下水位 40cm に設定した播種後 1 日～ 50 日および播種後 103 日～ 129 日の期間は、両区とも酸化状態で推移した。地下水位を 10cm とした播種後 51 日～ 100 日の期間では、両区で最も Eh の変動が大きく、酸化還元状態が交互に生じた。

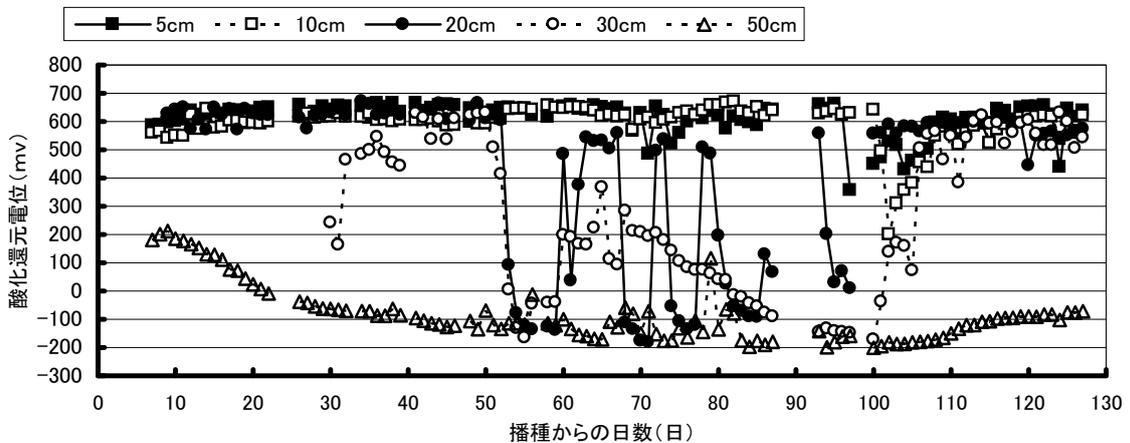
地表面下 30cm の 80%区については、播種後 34 日

(7 月 4 日) の地下水位 53cm と播種後 46 日～ 50 日の地下水位が 50cm の管理となった時、Eh は 456mV と 446mV の酸化状態となり、その後徐々に低下し還元状態となった。また播種後 64 日～ 67 日の地下水位が、37～ 46cm となった時期に一旦上昇し酸化になったが、以後徐々に低下が 101 日 (9 月 9 日) まで続いた。地下水位を 40cm に設定した 101 日以降は、徐々に上昇し酸化状態となった。30%区については、地下水位を 40cm に設定した播種後 50 日までは、やや還元状態であったが、その後は急激に酸化状態となった。地下水位を 10cm に設定した播種後 51 日～ 100 日は、急激に下がり還元状態となった。播種後 65 日の地下水位 44cm の管理でやや酸化状態になったが、その後徐々に低下し還元状態となり、それは播種後 100 日まで続いた。地下水位を 40cm に設定した播種後 101 日以降は、急激に上昇し酸化状態となり、収穫期まで続いた。地表面下 30cm については、作付け期間をとおして 30%区が、80%区に比べ高く推移した。

地表面下 50cm は両区とも播種直後から還元状態で、さらに低下し収穫期まで続いた。



(a) 80%区



(b) 30%区

第 3-8 図 80%区と 30%区における根域の Eh の変化 (2005 年)

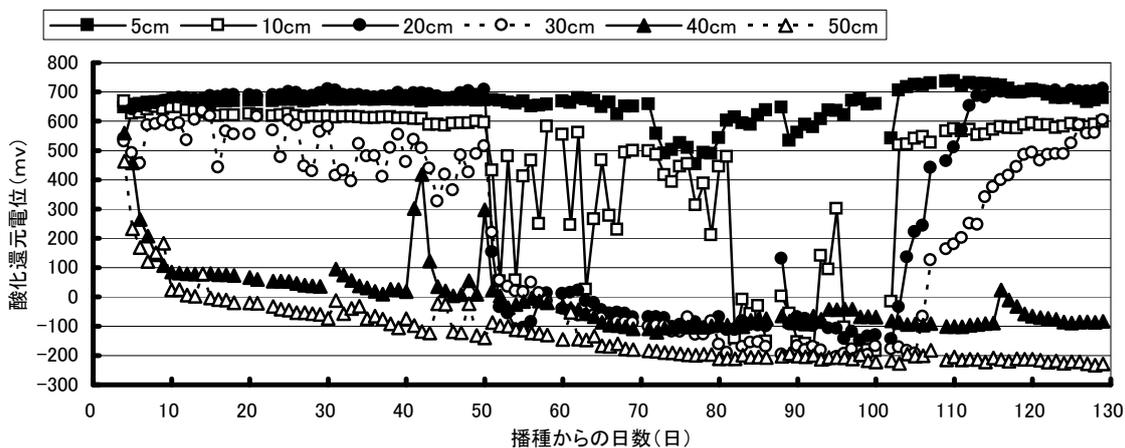
2006 年の地表面下 5cm の Eh は、作付け期間をと
おして 80%区が 649 ± 78mV で、30%区が 638 ±
36mV と一定して酸化的に推移した。地表面下 40cm
および 50cm は注水直後から低下し、播種後 2 日目
で還元状態となり収穫期まで還元状態であった。

地表面下 10cm, 20cm および 30cm の Eh は、地下
水位 40cm に設定した播種後 1 日～ 50 日の期間
の 80%区が 325 ～ 709mV で 30%区が 484 ～ 671mV と
酸化状態であった。

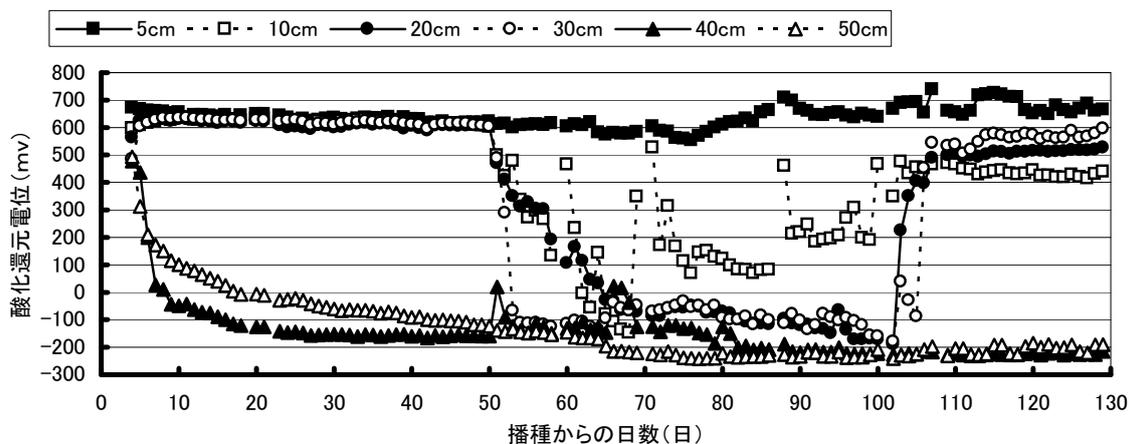
地下水位を 10cm とした播種後 51 日～ 102 日の期
間では、両区ともに地表面下 20cm と 30cm で急激に
低下し還元状態となった。地表面下 30cm では 30%区
が、80%区に比べやや高く推移した。地表面下 10cm
は地下水位の管理状態の変動が大きく、地下水位が低
いと Eh は酸化状態、地下水位が高いと Eh は還元状
態と変動が大きかった。土壤の還元化が始まる酸素濃

度の上限は 2%であると言われている (Kohnke, 1968)。
そのため、地表面下 10cm では地下水位の変動が大き
く空気が進入しやすく、土壤の酸化還元の反応が早い
ものと推察された。このことは、根の活性へも影響す
ることがうかがえた (佐々木・小関, 2000)。地下水
位を 40cm とした播種後 103 日 (9 月 11 日) 以降は、
両区とも地表面下 10cm は急激に上昇し酸化状態で収
穫期まで推移した。地表面下 20cm および 30cm でも
上昇したが 30%区は急激に上昇して酸化的になり、
80%区は、上昇の程度はやや遅れながら酸化状態とな
った。地表面下 30cm では 30%区が、80%区に比べ高
く推移した。

これらのことから土壤の透水性さらには碎土率の違
いが空気の進入のしやすさに影響し、このことが地下
水位の上昇下降の激しい層位では、酸化還元が繰り返
し発生すると考えられた。



(a) 80%区



(b) 30%区

第 3-9 図 80%区と 30%区における根域の Eh の変化 (2006 年)

3-5-5 土壌の理化学性

作付け後の土壌の化学性については第 3-3 表に示し、物理性については第 3-4 表に示した。

土壌の化学性では、pH(H₂O)と KCL は 2005 年、2006 年の両年ともに試験区や層位に関係なくほぼ一定の値であった。EC は層位が深くなるほど低くなった。可給態リン酸も層位が深くなるほど低くなり、80%区が 30%区に比べ、低下程度は大きかった。陽イオン交換容量および塩基飽和度は、両年ともに試験区や層位に関係なくほぼ一定の傾向であった。交換性陽イオンの CaO、MgO および Na₂O は、両年ともに層位が深くなると低くなる傾向で、Na₂O は特に顕著であった。交換性陽イオンの K₂O は、両年ともに層位が深くなるほど高くなる傾向であった。これらの傾向は両試験区について言え、両区には大きな違いはなかった。

2005 年の三層分布については、両区の固相率は各層位で 32 ~ 34%とほぼ一定していた。液相率は層位

が深くなるほど高くなり、逆に気相率は層位が深くなるほど低くなった。気相率では、80%区は 0 ~ 10cm 層位で 18.1%であったのに対し、砕土 30%区が 0 ~ 20cm 層位で 19 ~ 21%と深い位置まで理想とされる気相率の 20%となっていた。2006 年の三層分布についても両区の固相率は各層位で 31 ~ 33%とほぼ一定で、液相率は層位が深くなるほど高くなり、逆に気相率は層位が深くなるほど低くなった。これは 2005 年と同様の傾向であった。粗孔隙は、両年ともに両区で層位が深くなるほど低くなった。乾燥密度では、2005 年は 0.85 ~ 0.90Mgm⁻³ で 2006 年は 0.82 ~ 0.88Mgm⁻³ とほぼ一定していた。透水係数は両年ともに層位が深くなるほど小さくなったが、80%区が 30%区に比べて値は低かった。

これらのことから、土壌の化学性、物理性ともに、年度および砕土率によって大きな違いはなかった。

第 3-3 表 作付け後の土壌の理化学性 (化学性)

年	試験区	層位 (cm)	pH		EC	可給態リン酸 (トルオーグ) (mg kg ⁻¹)	陽イオン交換容量 (cmol kg ⁻¹)	交換性陽イオン				塩基飽和度 (%)
			H ₂ O	KCL				CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
2005	80%区	0-10	5.0	4.2	0.18	152	22.2	2375	439	113	239	52.5
		10-20	5.2	4.3	0.10	148	21.6	2386	502	165	127	54.4
		20-30	5.3	4.4	0.07	131	22.6	2459	540	174	118	54.0
		30-40	5.5	4.4	0.04	91	22.0	2400	528	179	87	53.8
		40-50	5.3	4.3	0.08	89	20.9	2069	391	184	84	47.8
	30%区	0-10	4.7	4.2	0.28	139	21.8	2193	389	52	310	49.8
		10-20	5.2	4.5	0.11	158	22.3	2512	550	118	170	56.0
		20-30	5.3	4.4	0.07	131	21.7	2310	518	155	112	53.0
		30-40	5.3	4.5	0.07	122	21.5	2294	500	212	93	53.1
		40-50	5.3	4.4	0.07	105	20.9	2145	442	160	87	50.0
2006	80%区	0-10	5.2	4.8	0.24	126	23.0	2922	698	108	322	65.9
		10-20	5.2	4.5	0.10	152	22.9	2552	562	184	130	55.5
		20-30	5.4	4.5	0.06	127	22.8	2448	550	132	87	52.7
		30-40	5.5	4.5	0.06	86	22.8	2330	478	132	87	49.3
		40-50	5.4	4.5	0.08	94	22.9	2386	486	137	99	50.3
	30%区	0-10	5.1	4.5	0.27	172	23.2	2790	611	57	372	61.6
		10-20	5.3	4.5	0.08	164	23.0	2529	566	221	102	54.9
		20-30	5.4	4.5	0.07	147	22.4	2487	546	320	87	56.0
		30-40	5.5	4.5	0.07	132	22.4	2454	538	198	87	54.1
		40-50	5.2	4.5	0.10	113	22.5	2397	500	203	108	52.5

第 3-4 表 作付け後の土壌の理化学性 (物理性)

年	試験区	層位 (cm)	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)	粗孔隙* (%)	乾燥密度 (Mgm ⁻³)	透水係数 (cms ⁻¹)
10-20	33.6±0.1	54.5±0.8	11.8±0.7	14.3±0.4	0.88±0.01	7.2~1.3×10 ⁻³		
20-30	33.4±0.6	55.8±0.6	10.7±0.5	14.8±0.6	0.87±0.01	9.4~4.7×10 ⁻³		
30-40	33.1±0.6	58.3±0.5	8.5±0.8	14.7±1.7	0.86±0.01	7.3~1.4×10 ⁻⁴		
40-50	34.4±0.2	59.5±0.9	6.0±1.1	10.9±0.8	0.89±0.01	6.7×10 ⁻⁴ ~5.1×10 ⁻⁵		
30%区	0-10	32.9±1.1	46.0±0.8	21.0±1.7	20.6±2.7	0.85±0.00	3.9×10 ⁻² ~3.1×10 ⁻³	
	10-20	32.3±2.0	49.0±1.5	18.5±3.6	20.7±4.1	0.85±0.01	5.1×10 ⁻² ~3.5×10 ⁻⁴	
	20-30	33.1±0.9	52.1±1.4	14.7±2.4	17.1±2.0	0.87±0.04	2.3×10 ⁻² ~1.2×10 ⁻³	
	30-40	33.6±0.4	52.4±1.0	13.9±1.2	16.1±1.3	0.87±0.03	1.6×10 ⁻² ~2.9×10 ⁻³	
	40-50	34.7±0.3	57.9±0.3	7.3±0.6	11.8±0.7	0.90±0.01	4.5×10 ⁻³ ~2.1×10 ⁻⁴	
2006	80%区	0-10	30.7±0.5	50.9±1.8	18.3±2.2	20.0±2.3	0.82±0.02	2.6×10 ⁻² ~1.4×10 ⁻³
		10-20	31.2±1.1	53.5±0.9	15.2±1.7	18.3±1.6	0.85±0.02	9.2~5.5×10 ⁻⁴
		20-30	31.4±0.4	58.9±2.0	9.6±2.3	16.3±0.8	0.82±0.01	8.6~2.2×10 ⁻⁴
		30-40	31.7±1.4	59.1±0.8	9.2±0.8	15.6±2.3	0.85±0.02	1.2×10 ⁻⁴ ~6.1×10 ⁻⁵
		40-50	31.8±0.8	60.3±2.3	7.9±2.0	15.8±1.2	0.85±0.02	3.2×10 ⁻⁴ ~7.9×10 ⁻⁵
	30%区	0-10	31.4±1.0	52.0±1.3	16.4±1.8	18.8±1.2	0.84±0.03	3.8×10 ⁻³ ~7.0×10 ⁻⁴
		10-20	31.0±0.6	51.5±1.6	17.4±2.0	19.8±2.4	0.84±0.02	1.7×10 ⁻² ~7.4×10 ⁻³
		20-30	31.1±1.0	55.2±1.9	13.7±2.8	17.3±3.4	0.84±0.03	1.7×10 ⁻² ~6.9×10 ⁻³
		30-40	32.4±2.2	59.7±1.9	7.7±2.8	13.5±3.2	0.88±0.04	6.1×10 ⁻³ ~5.3×10 ⁻⁴
		40-50	32.7±1.2	59.4±1.3	7.8±1.3	13.4±2.5	0.87±0.02	3.5×10 ⁻³ ~9.5×10 ⁻⁵

*粗孔隙=飽和~ pF1.8 (6.2kPa) ±は標準誤差を示す (n=3)。

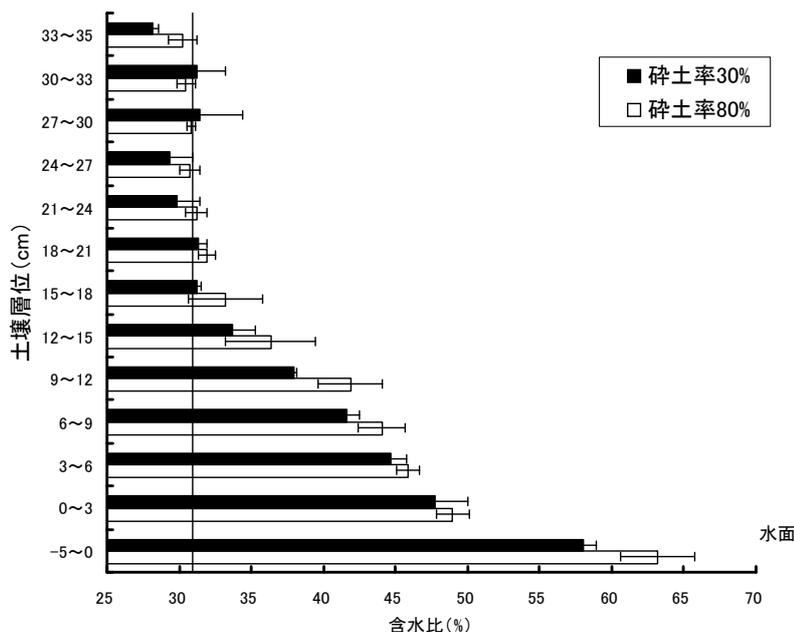
3-5-6 毛管上昇

砕土率 80%および砕土率 30%に調整した供試土壌の含水比による毛管上昇について第 3-10 図に示した。供試土壌の含水比が 31.1%より、砕土率 80%土壌は 18 ~ 21cm で、砕土率 30%土壌は 15 ~ 18cm の毛管上昇であった。砕土率 80%土壌は、砕土率 30%土壌に比べ毛管上昇は高く、その差は 3cm 程度であった。PP 管の上部 (土壌層位 33 ~ 35cm) では、土壌の乾燥が観察され、特に砕土率 30%土壌で顕著であった。

また、目視による土壌の湿潤状況から毛管上昇は、

砕土率 80%土壌が 17.7 ~ 18.8cm で、砕土率 30%土壌が 13.9 ~ 14.9cm と、その差は 3.1 ~ 3.9cm の違いが観察された。

以上のことから、地下水位 10cm の設定で、充分に水の供給が行われることが予想された。また地下水位 40cm であっても充分な根域の伸長により、水の供給は確保されるものと考えられた。よって、土壌の毛管上昇をとらえることで理想的な地下水位の設定値を示せることが考えられた。



第 3-10 図 砕土率 80%土壌と砕土率 30%土壌の毛管上昇

エラーバーは標準偏差を示す (n=3)。縦線は、供試土壌の含水比 (31.1%) を示す。横線は、水面を示す。

3-5-7 土壌溶液の変化

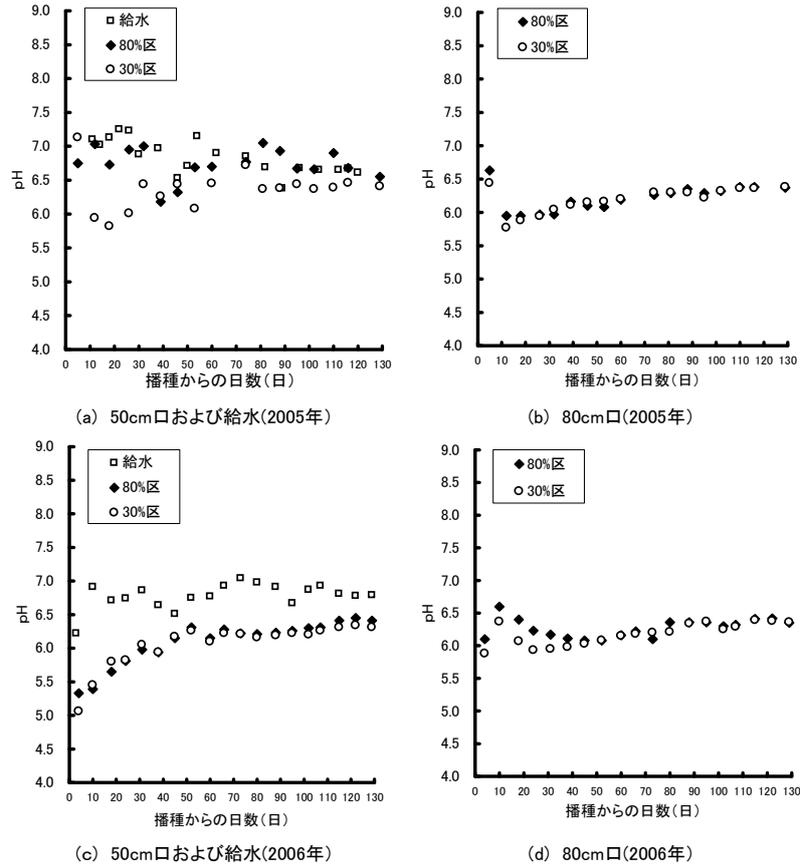
2005 年と 2006 年の土壌溶液の変化について、pH は第 3-11 図に示し、EC は第 3-12 図に示した。

2005 年の pH については、50cm 口では播種後 30 日頃までは 80%区が 30%区よりやや高い値であったが、その後は両区とも同じ程度の値であった。2006 年は両区ともほとんど同じ値で推移した。播種直後の pH は両区とも 5.4 程度で、徐々に上昇し、播種後 50 日以降は両区とも 6.2 ~ 6.4 であった。80cm 口では、2005 年は両区とも播種後 10 日の 5.8 程度から 129 日 (収穫期) の 6.4 程度と徐々に上昇した。2006 年も同様に播種後 31 日の 80%区 6.2 と 30%区 6.0 から 129 日の 6.4 程度とゆるやかに上昇した。給水の pH は、両年ともに平均で 6.8 であった。

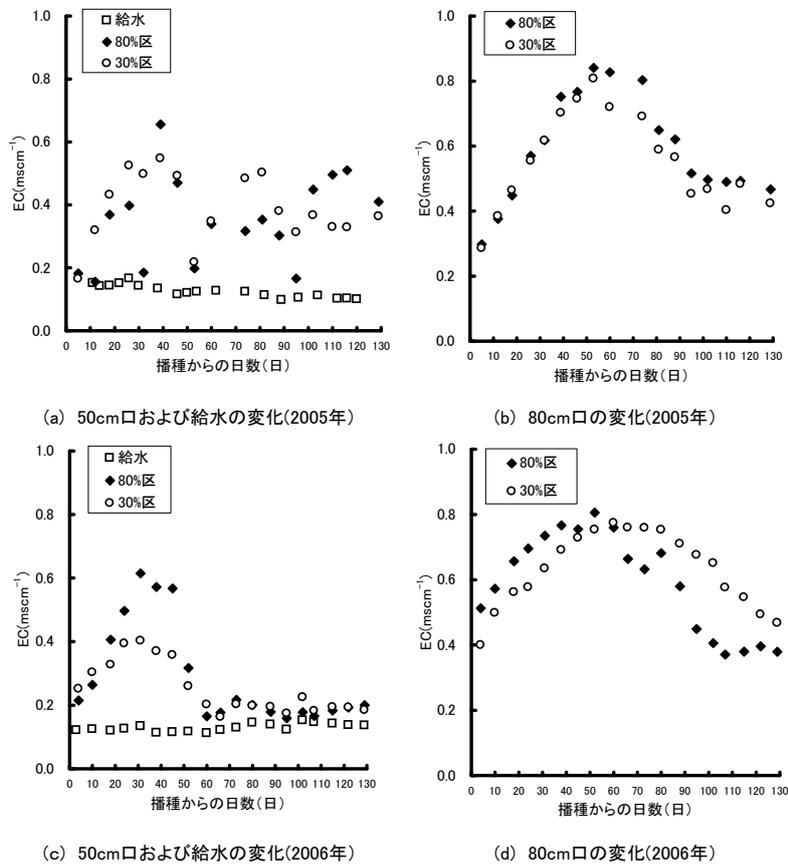
給水の EC は、両年ともに平均で 0.13mScm⁻¹ とほぼ一定した値であった。50cm 口では、両年ともに播種直後から EC は増加して播種後 30 日 ~ 40 日の本葉 6 葉期頃に最高値となり、2005 年では 80%区 0.66mScm⁻¹、30%区 0.55mScm⁻¹ で、2006 年では 80%区 0.62mScm⁻¹、30%区 0.40mScm⁻¹ であった。その後、

両年とも低下して播種後 50 日 ~ 60 日の開花期には 0.2mScm⁻¹ 程度になり、その後 2005 年はやや上昇し変動の激しい値となった。2006 年は、開花期以降も 0.2mScm⁻¹ 前後であった。80cm 口では、2005 年の播種直後の両区の約 0.3mScm⁻¹ から上昇し、播種後 50 日 ~ 60 日の開花期には最高値となり、80%区は 0.84mScm⁻¹、30%区は 0.81mScm⁻¹ となった。その後は減少し、播種後 95 日の最大繁茂期頃に 80%区 0.52mScm⁻¹、30%区 0.45mScm⁻¹ となり、播種後 129 日の収穫期まで同程度の値で推移した。2006 年も同様に播種直後から上昇し、開花期には最高値となった。それ以降は減少し、80%区は播種後 100 日の子実肥大期頃に 0.41mScm⁻¹ に減少し収穫期まで同程度の値で推移した。30%区は、最高値以降、80%区に比べ減少はゆるやかで、この減少は収穫期まで続いた。

これらのことから、pH、EC とともに砕土率の違いによる大きな差異はなく、作付け期間の pH は徐々に上昇し、EC は播種後 30 日から 50 日頃にかけて最高値になる特性が認められた。



第 3-11 図 80%区と 30%区の土壤溶液 (pH) の変化



第 3-12 図 80%区と 30%区の土壤溶液 (EC) の変化

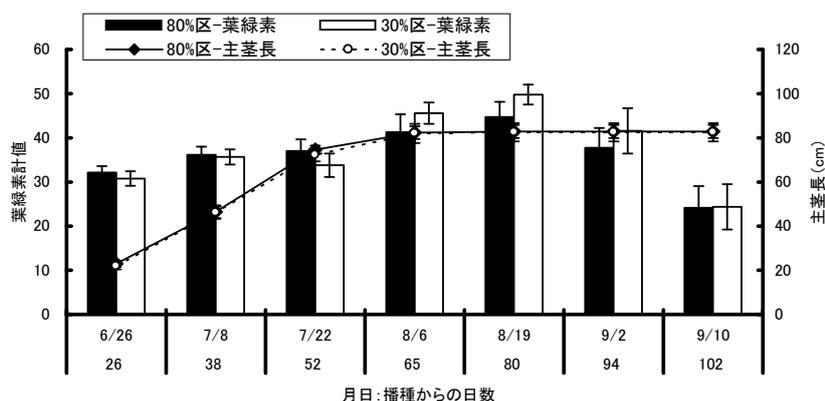
3-5-8 生育の状況

2005年と2006年の主茎長および葉色について第3-13図に示した。両年ともに出芽は、80%区が30%区より早く、30%区は2日程度遅れ、出芽のバラツキも大きかった。このことから、砕土率が悪いと播種時の種子の落下場所によっては、発芽不良の恐れのあることが確認できた。その後の生育は、両区ともに差異のない生育で推移した。

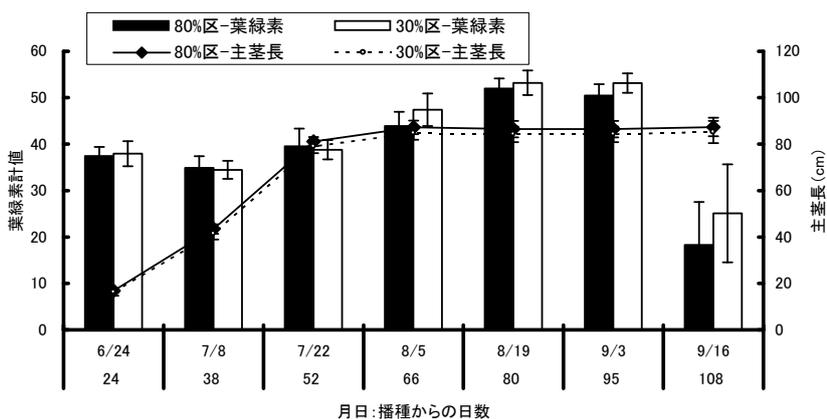
2005年の主茎長では、生育初期は両区とも差異なく生育し、播種後52日(7月22日)の開花期では、80%区 $74.6 \pm 1.8\text{cm}$ 、30%区 $72.3 \pm 2.9\text{cm}$ とやや80%区が高かったが、開花盛期には、80%区 $82.9 \pm 3.0\text{cm}$ 、30%区 $82.5 \pm 4.1\text{cm}$ と同じとなった。2006年の主茎長は、生育初期では両区とも差異なく生育し、本葉6葉期頃から80%区が30%区よりやや高く、開花盛期には80%区が $86.5 \pm 3.5\text{cm}$ 、30%区 $84.3 \pm 3.3\text{cm}$ となった。

葉色について、2005年は播種後52日(7月22日)の開花期まで、80%区が30%区よりも濃い状態で推移したが、開花期以降は逆転し、30%区が80%区よりも濃くなった。葉色の最も濃かったのは、2005年では80%区が播種後45日(8月12日)で30%区が播種後51日(8月26日)であった。これ以降の葉色の退色については、30%区が80%区よりも退色の程度は遅れて推移した。2006年についても2005年と同じく推移し、葉色の最も濃かったのは両区とも播種後88日(8月27日)で、その時の葉色は80%区が30%区よりも濃かった。

以上のことから、砕土率が悪い場合は出芽不良の恐れがあるものの、発芽以降の開花期までは、砕土率の違いによる生育差異はなかった。30%区は、開花期以降は葉色で優ること、葉色の最高値からの退色は80%区に比べゆるやかに退色することが確認され、登熟の延長が考えられた。



(a) 2005年



(b) 2006年

第3-13図 80%区と30%区の生育状況 (葉色, 主茎長)

3-5-9 収量および収量構成要素

第3-5表には、2005年および2006年の2年間の収穫期の子実重と主な収量構成要素を示した。2005年の主茎長および節数は、両区に大きな違いはなかった。

分枝数は30%区が80%区に比べ1本多かった。茎太では80%区がやや太かった。1莢内粒数では両区に差はなかった。2006年では、主茎長および節数はやや80%区が優った。分枝数は30%区が80%区に比べ1本

多くなった。茎太では80%区が太く、1 莢内粒数は80%区がやや多かった。

莢数は両年ともに30%区が80%区に比べ多く、2005年は30%区が92.4 ± 18.8 莢株⁻¹で、80%区の78.1 ± 17.7 莢株⁻¹であった。2006年は30%区が87.8 ± 16.2 莢株⁻¹で、80%区の80.8 ± 13.6 莢株⁻¹であった。また、百粒重では、2005年は28 ~ 29g、2006年は36gと両区で違いはなかったが、作付け年で大きく異なった。この違いは2005年の栽培管理で、8月末~9月上旬にかけてダニが発生したために生育が劣ったと考えられた。

これら結果から、8株の合計では、2005年の子実重

は30%区が394gで80%区の326gより21%増加した。同様に2006年は30%区が489gで、80%区では446gと10%増加した。

以上のことから碎土率の違いにより、80%区では、生育初期は生育が優位に推移するが、開花期以降は30%区が優り、収量がやや多くなることを2ヵ年に渡り確認した。しかし、播種後の出芽が80%区は30%区よりも2日程度遅れることから、実際に圃場での栽培管理を考えた場合は、芽揃いは重要であることから80%区がよいものと考えた。しかし、芽揃いを整えられるならば、子実重は10%も増加するので、碎土率については重要な技術であることが確認された。

第3-5表 80%区と30%区の子実重と主な収量構成要素

試験区	収穫期の形態					
	主茎長 (cm)	節数 (節)	分枝 (本)	茎太 (mm)	1 莢内粒数 (粒莢 ⁻¹)	
2005	80%区	82.6 ± 3.5	13.3 ± 0.5	7.6 ± 1.3	9.5 ± 1.0	a1.88 ± 0.05
	30%区	80.8 ± 3.7	12.8 ± 0.7	8.6 ± 0.9	8.6 ± 1.1	b1.80 ± 0.07
2006	80%区	87.9 ± 2.8	12.8 ± 0.9	7.6 ± 1.4	9.9 ± 0.7	1.95 ± 0.08
	30%区	86.5 ± 3.4	12.8 ± 0.9	8.6 ± 0.7	9.4 ± 0.8	1.96 ± 0.10

試験区	収量及び収量構成要素					
	莢数 (莢株 ⁻¹)	莢数* (莢)	百粒重 (g)	子実重 (g株 ⁻¹)	子実重** (g)	同左比 (%)
2005	80%区	78.1 ± 17.7	625	28.4 ± 1.6	40.8 ± 9.3	326 (100)
	30%区	92.4 ± 18.8	739	29.1 ± 1.4	49.2 ± 9.3	394 121
2006	80%区	80.8 ± 13.6	646	35.7 ± 1.5	55.8 ± 6.6	446 (100)
	30%区	87.8 ± 16.2	702	35.9 ± 1.2	61.1 ± 10.5	489 110

各年毎に危険率5%でTukey検定を行い、表中の異なる英小文字の符号は有意差があることを示す。

莢数*および子実重**は、8株の合計である。子実重および百粒重は、15%水分換算値である。

±の数値は標準偏差を示す (n=8)。

3-6 摘要

汎用化圃場では、畑連作で畑地化の向上が認められ、碎土状態がよくなることから、作付圃場の水分保持に大きく影響すると考えられる碎土率と地下水位制御についてコンテナによるガラス室栽培を行った。碎土率は、圃場で十分に理想的な碎土率条件の80%区と劣悪な碎土率条件の30%区について検討した。両区とも、開花期以降~子実肥大期(おおむね7月下旬~9月上旬)に地下水位を地表面下10cmに設定し、土壌および生育収量について検討した。

2005年と2006年の両年ともに両試験区で、地下水位制御が一作期(約120日)に渡って可能であった。

根域の地温は両年ともに、ガラス室での栽培では期間や測定深の違いによって、碎土率の違いによる地温の差異はなかった。測定深については、地表面下が深くなるほど地温はやや高くなる傾向にあった。

2006年の土壌の水ポテンシャルの変化については、栽培期間をとおして、地下水位40cmに設定した期間は、30%区が80%区よりやや乾燥しやすいようであったが、過乾燥になるほどではなかった。地下水位10cmに設定した期間では、10cmより上層は潤沢な水分を維持し、10cmより下層は飽和状態であった。汎用化圃場において、地下水位を管理することで水供給が可能であることが確認された。

Eh の変化では、地表面下 5cm は両年とも作付け期間をとおして 80%区、30%区ともに一定して酸化的に推移した。地表面下 40cm および 50cm は注水直後から低下し、収穫期まで還元状態であった。地表面下 10cm、20cm および 30cm の Eh は、地下水位 40cm に設定した期間では各区ともに酸化状態であった。地下水位を 10cm とした開花期～子実肥大期の期間では、両年ともに両区で地表面下 20cm と 30cm で急激に低下し還元状態となった。地表面下 10cm は地下水位の管理状態で変動が大きく、地下水位が低いと Eh は酸化状態、地下水位が高いと Eh は還元状態と変動が大きかった。地表面下 30cm は、30%区が 80%区に比べ高く推移した。

砕土率 80%土壌と砕土率 30%土壌の毛管上昇は、含水比から見ると砕土率 80%では 18～21cm で、砕土率 30%では 15～18cm となり、その差は 3cm 程度であった。毛管上昇の程度をとらえることは理想的な地下水位の設定値を示せることが示唆された。

作付け後のコンテナ土壌の理化学性は、pH (H₂O) と KCL では両年ともに試験区や層位に関係なくほぼ一定値で、EC および可給態リン酸は層位が深くなるほど低くなった。陽イオン交換容量および塩基飽和度は、両年ともに試験区や層位に関係なくほぼ一定で、交換性陽イオンの CaO、MgO および Na₂O は、両年ともに層位が深くなるほど低くなる傾向で、Na₂O は特に顕著であった。交換性陽イオンの K₂O は両年ともに層位が深くなるほど高くなる傾向であった。三層分布は、両区ともに固相率は各層位で一定し、液相率は層位が深くなるほど高くなり、逆に気相率は層位が深くなるほど低くなった。粗孔隙は両年ともに両区で層位が深くなるほど低くなった。乾燥密度は層位に関係なくほぼ一定していた。透水係数は両年ともに層位が深くなるほど小さくなり、80%区が 30%区に比べ値は低かった。

土壌溶液の pH は、2005 年の 50cm 口では、播種後 30 日頃までは 80%区が 30%区よりやや高い値であったが、その後は両区とも同じ程度の値であった。2006 年の 50cm 口では、播種直後の pH は両区とも 5.4 程度で、徐々に上昇し、播種後 50 日以降の pH は両区とも 6.2～6.4 で推移した。80cm 口では、2005 年は播種後 10 日頃から、2006 年は播種後 31 日頃からゆるやかに上昇し、収穫期には、2 年とも両区で 6.4 程度となった。給水の pH は、両年ともに 6.8 程度であった。給水の EC は、両年ともに 0.13mScm⁻¹ とほぼ一定していた。50cm 口では、両年ともに播種直後から増加して播種後 30 日～40 日の本葉 6 葉期頃に最高値となった。その後、低下して 2005 年は変動の激しい値となり、2006 年は開花期以降も 0.2mScm⁻¹ 前後であった。80cm 口は、2 年とも両区で播種直後から上昇し、播種後 50 日～60 日の開花期には最高値と

なった。その後は減少し、播種後 95 日～100 日の最大繁茂期頃から収穫期までほぼ一定の値となった。

出芽は両年ともに 80%区が 30%区より早く、30%区は 2 日程度遅れ、出芽のバラツキがあった。主茎長は、両区ともに大きな差異もなく生育した。葉色は両年ともに開花期まで、80%区が 30%区よりも濃い状態で推移したが、開花期以降は逆転し、30%区が 80%区よりも濃くなった。葉色の最も濃かった最大繁茂期以降の退色の程度は、30%区が 80%区よりも遅れて推移した。

収穫期の形態では両年とも両区による極端な差異はなく、莢数は両年ともに 30%区が 80%区に比べ多く、2005 年では 30%区が 18%増加し、2006 年では 9%増加した。百粒重では、2005 年は 28～29g、2006 年は 36g と両試験区で違いはなく、作付け年では大きく異なった。この違いは 2005 年の栽培管理で、8 月末～9 月上旬にかけてダニが発生したために生育が劣ったと考えられた。子実重は、2005 年は 30%区が 80%区より 21%増加し、2006 年は 30%区が 10%増加した。

以上のことから、作付圃場の水分保持に大きく影響すると考えられる砕土率と地下水位制御についてコンテナによる室内栽培を行った結果、両年ともに両試験区で、地下水位制御が一作期(約 120 日)に渡って可能であった。毛管上昇は、砕土率 80%土壌が 18～21cm で、砕土率 30%土壌では 15～18cm と、その差は 3cm 程度であった。また砕土率の違いで土壌の理化学性、地温、および土壌溶液の pH、EC に大きな差異はなかった。しかし、Eh については地表面下 30cm では 30%区が高く推移した。

生育初期は 80%区が優位に推移するが、開花期以降は 30%区が優り、収量がやや多くなることうかがえた。しかし、播種後の出芽が 30%区は、80%区よりも 2 日程度遅れることから、実際に圃場での栽培管理を考えた場合は、80%区がよいものと判断した。

同じ条件の地下水位制御をした場合でも、30%区が、80%区よりも増収することを 2 年に渡り確認した。このことより地下水位およびこれまで指摘されている砕土率も重要な生育、収量へ影響する要因であると判断した。

4 同一砕土率モデルでの地下水位制御試験

4-1 抄録

砕土率を 80% に一定にして、地下水位制御（制御区）と地下水位を 10cm（10cm 区）および 40cm（40cm 区）に固定したコンテナ栽培について、生育および収量について比較検討した。

1) 発芽は、3 試験区で差異は認められず、その後の生育では、10cm 区が制御区や 40cm 区に比べ生育が劣り、収量は最も低くなった。制御区と 40cm 区では、開花前までは同様な生育状態であった。しかし制御区は、開花期～子実肥大期の地下水位を 10cm に設定したことにより葉色の停滞がみられ、40cm 区より生育が劣り、減収した。しかし、開花前までの旺盛な生育状態から 10cm 区のような極端な減収にはならなかった。

2) 制御区は、直根は 40cm まで認められたが、0～10cm に側根が多数存在し、40cm

区とは根の生育でも相違が認められた。40cm 区では、40cm の深さまで直根が伸長し、制御区に比べ 10cm より深く伸長する根が多くなった。10cm 区は、0～10cm より深く根の伸長はほとんど認められなかった。

3) 開花期～子実肥大期間の 40cm 区では、地表面下 10cm より浅い部分の土壌では乾燥気味になることがあった。地下水位が 60cm のような場合は、根による水分吸収が旺盛で水不足が発生し、生育へも影響することが示唆された。

4-2 はじめに

3 の「異なる砕土率モデルでの地下水位制御試験」では、汎用水田圃場での畑連作により畑地化が進むことによる砕土率向上の知見を基に、作物の播種や出芽にとって理想である砕土率 70% を上回る砕土率 80% の条件と劣悪な条件の砕土率 30% の異なる砕土率モデルを調整した。これらを用いて地下水位制御試験で土壌環境、生育および収量について検討した。

その結果、砕土率に関係なく地下水位制御は、十分な水分条件を維持し、地下水位を一作期（約 120 日）に渡って制御可能であることが分かった。2 カ年に渡り 30% 区が、80% 区よりも増収することを確認した。しかし、播種後の出芽が 30% 区は、80% 区よりも 2 日程度遅れることから、実際に圃場での栽培管理を考えた場合は、80% 区がよいものと判断した。

そこで、圃場での十分に理想的な砕土率 80% の土壌を使用して、地下水位制御の栽培と地下水位を 10cm および 40cm に固定したコンテナ栽培について、生育および収量について検討した。地下水位 40cm 固定は、一般に多収となる目標の地下水位モデルで、地下水位 10cm 固定は、排水性の悪い圃場モデルである。地下水位制御については、2 および 3 と同様に開花期前は

地下水位 40cm で、開花期～子実肥大期にまでは 10cm とし、それ以降は 40cm で行う管理である。

4-3 試験方法

4-3-1 コンテナ装置

3-3-1 コンテナ装置の作製のコンテナを用いた。

4-3-2 コンテナへの土壌の充填

3-3-3 コンテナへの土壌の充填と同様に、コンテナへの土壌は、農業試験場の水田圃場の作土（細粒グライ土）を採取し使用した。調整、土壌充填も同様に行った。全ての試験区の土塊割合は、第 3-2 表の砕土率 80% で行った。

試験区は、地下水位 10cm の固定区（以後「10cm 区」と記す）、地下水位制御区（以後「制御区」と記す）および地下水位 40cm の固定区（以後「40cm 区」と記す）とした。供試土壌の化学性は第 4-1 表に示したとおりである。

4-3-3 コンテナ栽培方法

栽培は、農業試験場のガラス室内で 10cm 区、制御区および 40cm 区の 3 試験区で、繰り返しなしで行った。3 試験区は播種直後に地下水位を地表面下 10cm に設定し、マリオットから注水を行った。

10cm 区は、地下水位を地表面下 10cm に維持し、収穫期まで管理した。制御区と 40cm 区は、地下水位 10cm を 12 時間維持した後、地下水位を 40cm に設定し排水を行った。40cm 区は収穫期まで地下水位を 40cm 維持した。

制御区は開花期まで地下水位を 40cm に維持した。開花期から地下水位を 10cm にし、マリオットから注水を行い、子実肥大期まで行った。その後地下水位を 40cm に設定し排水を行い、収穫期まで維持した。

散水は、4 日に 1 度 10mm 降雨に相当する量を散水した。品種は秋田県奨励品種であるリュウホウを用いた。基肥施肥量として 3 試験区ともに、大豆専用 2 号（N-P₂O₅-K₂O = 5-15-15%）を用いて窒素成分で 100kg ha^{-1} を 0～20cm に全層施肥した。同じくようりんを 800kg ha^{-1} を施用した。播種はコンテナの条間 30cm、株間 20cm の 4 カ所に 3～4 粒播種し、発芽後に間引いて 2 株の合計 8 株とした。追肥および培土は実施しなかった。播種は 6 月 1 日であった。病害虫の防除管理はダイズ指導指針（秋田県農林水産部、2004）に準じて行った。

3 試験区の開花期は 7 月 20 日（播種後 50 日）で、収穫日は 10cm 区が 10 月 1 日（播種後 123 日）で、制御区および 40cm 区が 10 月 13 日（播種後 135 日）であった。

4-4 測定項目及び方法

4-4-1 地下水位の変化

3-4-1 と同様の計測を行った。計測は午前 7 時～ 10 時に行った。

4-4-2 ECHO 誘電性土壌水分センサーによる体積含水率の変化

ECHO 誘電性土壌水分センサー (以後「ECHO」と記す) による体積含水率の変化を計測した。コンテナ中央に ECHO プローブ (EC-20 型, Decagon 社製) を縦に, 地表面下 0 ～ 20cm の体積含水率を計測するように埋設し, データロガー (Em5 型, Decagon 社製) により 1 時間毎に計測した。

4-4-3 地温の変化

3-4-2 と同様に計測を行った。

4-4-4 土壌の水ポテンシャルの変化

3-4-3 と同様の計測を行った。計測は午前 7 時～ 10 時に行った。

4-4-5 根域の Eh の変化

3-4-4 と同様の計測を行った。計測は午前 7 時～ 10

時に行った。

4-4-6 土壌溶液の変化

3-4-7 と同様の計測を行った。

4-4-7 生育状況

3-4-8 と同様の生育調査を行った。

4-4-8 収穫後の層位別の根重割合

収穫後のコンテナのダイズ 8 株は, 2 株ずつに 4 等分し, 地表面下 10cm 毎の層位で根と土壌を採取し, 水洗浄により土壌を洗い落とし根を採取した。2 株の根は入り組んでいるため, そのまま風乾し 2 株について秤量した。

4-4-9 収量および収量構成要素

3-4-9 と同様に, 収量および収量構成要素の調査を行った。子実重は, 篩で選別した粒厚 5.5mm 以上の種子を対象に測定した。

第 4-1 表 供試土壌の化学性

作付 年度	pH		EC (mS _{cm} ⁻¹)	可給態磷 酸 (トルオーグ) (mg kg ⁻¹)	全炭素 (T-C%) (%)	全窒素 (T-N%) (%)	C/N比	陽イオン 交換容量 (cmol kg ⁻¹)	交換性陽イオン				塩基 飽和 度 (%)
	H ₂ O	KCL							CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
2007	5.2	4.7	0.22	169	4.0	0.33	12.1	21.3	2999	607	184	147	68.5

全炭素, 全窒素および C/N 比の試料は 2006 年 10 月 22 日採取し, それ以外は, 2007 年 4 月 20 日採取した。

4-5 結果と考察

4-5-1 地下水位の変化

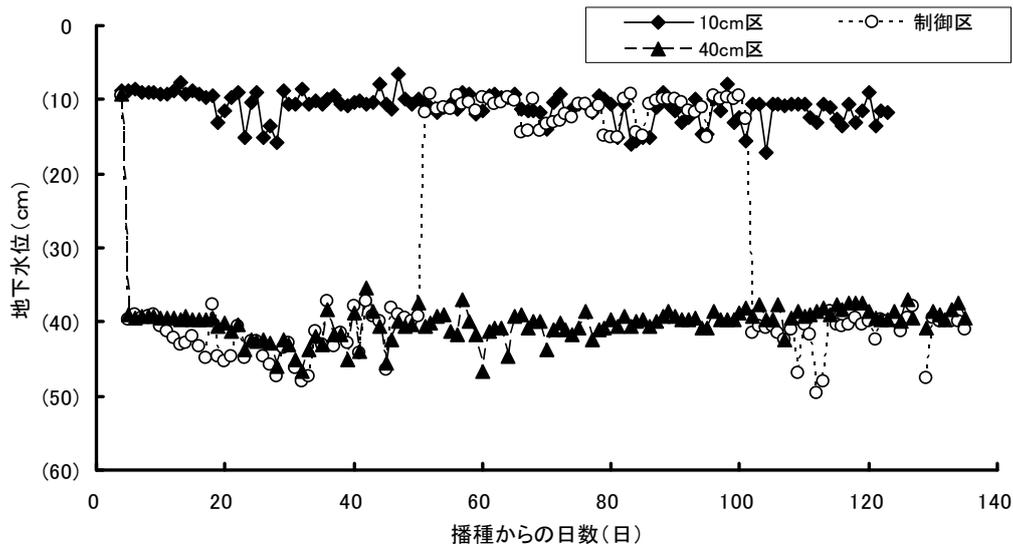
地下水位の変化を第 4-1 図に示した。10cm 区の地下水位は, 作付け期間の播種後 4 日～ 123 日 (6 月 4 日～ 10 月 1 日) をとおして 10.9 ± 2.0cm であった。

40cm 区の地下水位は, 播種後 4 日～ 136 日 (6 月 4 日～ 10 月 11 日) の作付け期間をとおして 40.2 ± 3.6cm であった。40cm 区の地下水位の変動が, 10cm 区に比べて大きかった。

制御区では, 播種後 4 日～ 50 日 (6 月 4 日～ 7 月 20 日) まで地表面下 40cm を目標とした。この期間の地下水位は, 41.4 ± 5.6cm であった。播種後 51 日～ 101 日 (7 月 21 日～ 9 月 9 日) は, 地下水位 10cm を目標とした。この期間の地下水位は 11.4 ± 1.8cm であっ

た。播種後 101 日～ 136 日 (9 月 10 日～ 10 月 14 日) は地下水位 40cm を維持した。その結果, この期間の地下水位は, 41.3 ± 2.7cm となった。

これらのことから目標の水位を維持でき, 地下水位のコントロールがほぼ管理できた栽培で, 2005 年と 2006 年と同様に地下水位制御が一作期 (約 120 日) に渡って可能であることが確認できた。が重要であると考えられた。



第 4-1 図 10cm 区，制御区および 40cm 区の地下水位の変化

4-5-2 ECHO による体積含水率の変化

ECHO による地表面下 0 ～ 20cm の体積含水率の変化を第 4-2 図に示した。計測値は、午前 7 時 (7:00)、午後 1 時 (13:00)、午後 7 時 (19:00) および午前 1 時 (1:00) について検討した。10cm 区では、7:00 と 1:00 の体積含水率が、13:00 と 19:00 に比べやや低くなる場合があった。これは、散水直前の計測日で見られた。播種後 4 日～ 123 日の作付け期間の体積含水率は、50.0 ～ 51.2% で生育の経過日や時刻で大きな違いはなかった。

制御区は時刻による大きな違いはなく、播種後 4 日～ 50 日の地下水位を地表面下 40cm に設定した期間の体積含水率は、40.9 ～ 41.2% であった。播種後 51 日～ 101 日の地下水位 10cm とした期間の体積含水率は、50.3 ～ 50.5% であった。播種後 101 日～ 136 日の期間は、地下水位 40cm を維持した。この期間の体積含水率は、38.5 ～ 38.8% となりほぼ一定していた。

40cm 区は時刻による大きな違いはなく、播種後 4 日目の注水直後の体積含水率は 42% で、この値からゆるやかに低下し、播種後 80 日～ 90 日の最大繁茂期頃に最も低い値で 23.3 ～ 24.0% と乾燥気味の状態となった。このことから、圃場のように暗渠排水口の地下水位が 60cm のような場合では、乾燥の程度はさらに大きいことが予想された。最大繁茂期以降は、ゆるやかに上昇して収穫期には、31.4 ～ 31.9% の体積含水率となった。

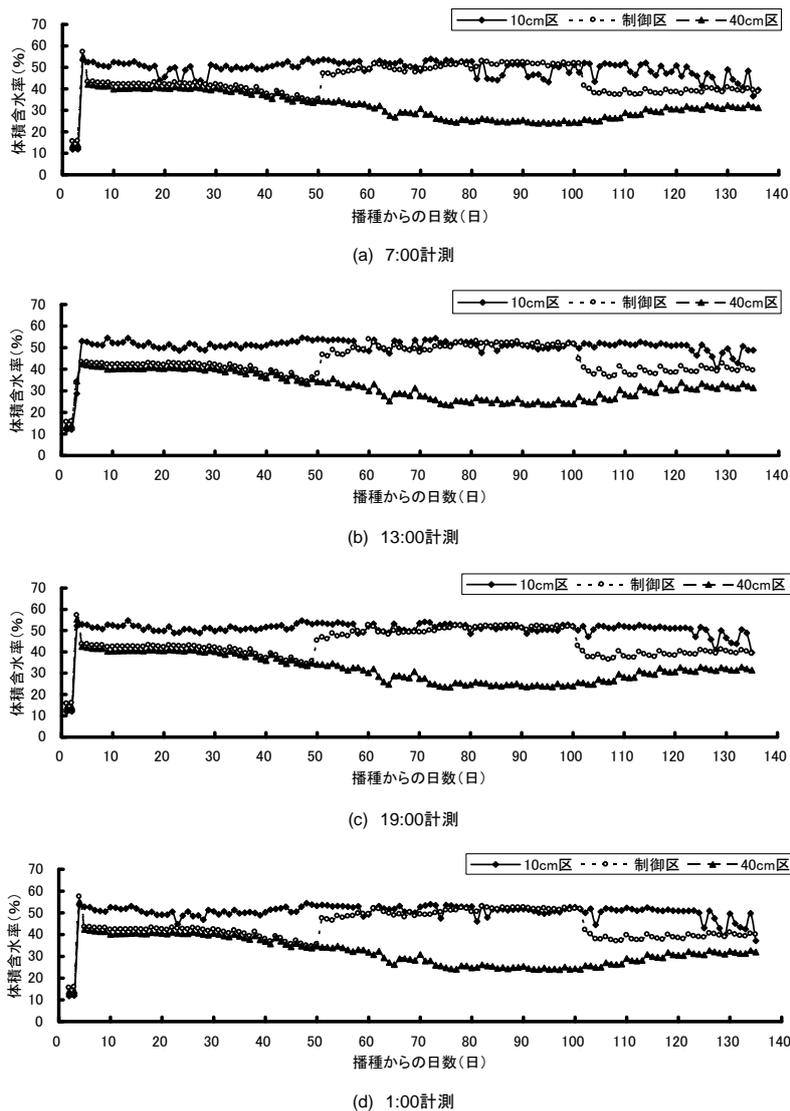
これらのことから地下水位 0 ～ 20cm の体積含水率は、各区でほぼ一定の土壤水分となっていた。10cm 区では、常に水分過多の状態であった。制御区では、地下水位が 10cm である播種後 51 日～ 101 日は水分過多の状態を維持していた。40cm 区は、開花以降～

子実肥大期頃にかけて乾燥気味の状態となっていた。水分コントロールの条件は、根域を酸化的に維持し、かつ根への給水が充分に行えるような環境にすることが重要であると考えられた。

4-5-3 地温の変化

播種後 1 日～ 50 日の期間の地表面下 5cm, 10cm, 20cm および 50cm の地温は、10cm 区で 23.2 ～ 24.7 °C, 40cm 区は 22.8 ～ 24.7 °C であった。この期間に地下水位を 40cm に設定した制御区では 23.3 ～ 24.6 °C であった。このことから 3 試験区で大きな変動はなかった。播種後 51 日～ 101 日の期間の地表面下 10cm の地温では、10cm 区が 25.2 ± 2.0 °C で、この期間に地下水位を 10cm に設定した制御区では 25.2 ± 2.1 °C で、40cm 区の 25.1 ± 2.0 °C と 3 試験区で差異はなかった。同様に、地表面下 5cm, 20cm および 50cm の地温についても 3 試験区で大きな差異はなかった。播種後 101 日～ 136 日の期間の地表面下 5cm, 10cm, 20cm および 50cm の地温について、10cm 区は 21.9 ～ 24.0 °C に対し、40cm 区は 21.0 ～ 22.4 °C で、この期間に地下水位を 40cm に設定した制御区は 21.0 ～ 22.2 °C と 10cm 区が各地表面下で 1 °C ほど高く、保温性があった。また各期間において、各区とも地表面下 5cm で低い地温を示し、高い値は 10cm 区では地表面下 20cm で、制御区と 40cm 区では地表面下 50cm であった。

以上のことからガラス室での栽培では、地表面下の違いによる大きな地温の違いは認められず、また地下水位の違いでは、登熟期間について水量の多いコンテナで保温性があることが分かった。



第4-2図 ECHOによる10cm区、制御区および40cm区における
地表面下0～20cmの体積含水率の変化

4-5-4 土壌の水ポテンシャルの変化

土壌の水ポテンシャルの変化を第4-3図に示した。播種後1日～50日の期間から播種後20日(6月20日)と播種後40日(7月10日)について第4-3図(a)および(b)に示した。(a)の播種後20日では、この期間は地下水位を40cmに設定した制御区と40cm区で同じような傾向を示したが、やや制御区が乾燥程度は進んでいた。10cm区の各土壌深の値に対して、制御区は3.4～3.7kPaほど低く、40cm区では2.8～3.2kPaほど低い値となった。(b)の播種後40日は、40cm区と制御区で同じ程度の水ポテンシャル値であった。この時の10cm区の各土壌深の値に対しては、2.8～3.4kPaほど低い値となった。

播種後51日～101日の期間から播種後64日(8月3日)と播種後80日(8月19日)について、第4-3図(c)および(d)に示した。両日ともに地下水位が10cm

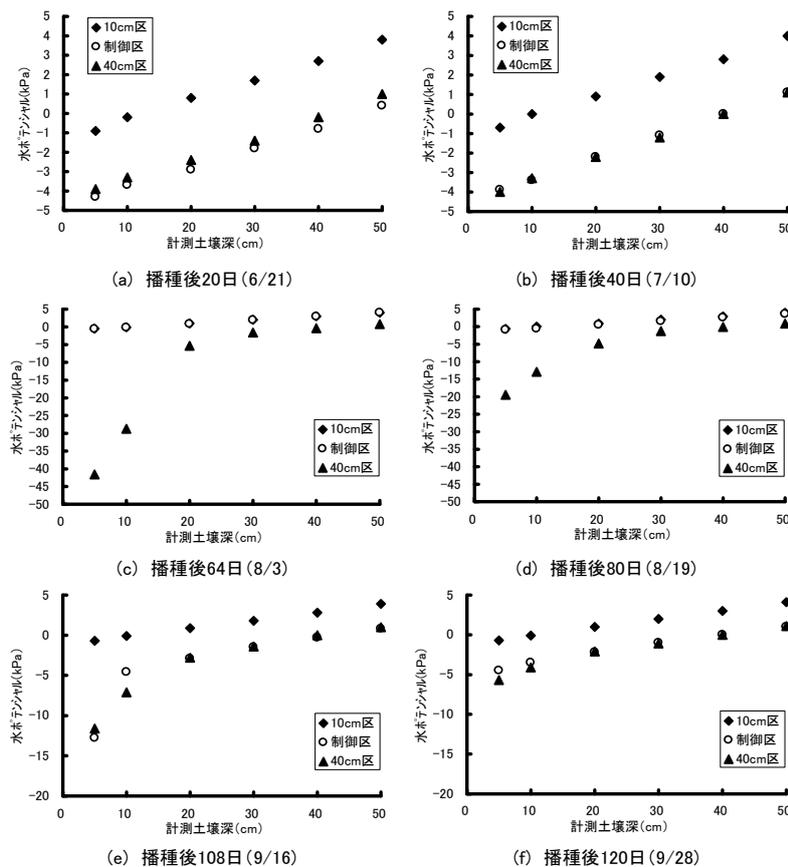
に設定されている制御区は、10cm区とほとんど差異のない値を示し、十分に水の供給がされていた。(c)の播種後64日では、10cm区と制御区は、40cm区と比べると地表面下30cm、40cmおよび50cmで3.0～3.6kPaの水ポテンシャルの差があった。また地表面下20cmでは6.3kPaの差があり、地表面下10cmでは28.6kPaで、5cmでは41.1kPaの差となった。この頃がガラス温室内の気温は最も高く、水を最も必要としていた時期であり、10cm区および制御区と40cm区では、水ポテンシャルに最大差が生じた。この時の40cm区の地表面下5cmは、水ポテンシャルが-41.6kPaで乾燥状態であった。(d)の播種後80日でも、10cm区と制御区は、40cm区とは地表面下30cm、40cmおよび50cmで3.0～3.3kPaの水ポテンシャルの差があり、地表面下20cm、10cmおよび5cmでそれぞれ5.7kPa、12.9kPaおよび18.9kPaとその差は大きくな

ったが、播種後 64 日ほどではなかった。開花期～子実肥大期は水を最も必要とする時期であり、この時期の地下水位 40cm では、地表面下 20cm 程度までは水不足となる可能性のあることが分かった。圃場のように暗渠排水口の地下水位が 60cm のような場合では、乾燥の程度はさらに大きいことが予想された。また一般に亀裂の発生は、 $pF_{2.0} \sim 2.5$ ($-9.8 \sim -31.0\text{kPa}$) と言われている（汎用耕地化のための技術指針編集委員会, 1979）ことから亀裂の発生が予想された。

播種後 102 日～136 日の期間から播種後 108 日（9 月 16 日）と播種後 120 日（9 月 28 日）について第 4-3 図(e)および(f)に示した。この期間の制御区は地下水位が 40cm に設定されている。(e)の播種後 108 日は、制御区は地下水位の設定条件変更から 7 日経過で、40cm 区と同様な水ポテンシャルの傾向を示した。制御区と 10cm 区の水ポテンシャルの差を見ると、各地表面下 5cm では 12.1kPa, 10cm では 4.5kPa, 20cm では 3.8kPa で、30cm, 40cm および 50cm では 3.1～3.3kPa であり、乾燥が進んだことがうかがえた。制御区と 40cm 区を見た場合、地表面下 10cm 付近の乾

燥の程度は制御区が劣っていた。(f)の播種後 120 日では、40cm 区および制御区と 10cm 区の地表面下 20～50cm について水ポテンシャル差は、3.0～3.2kPa であった。地表面下 10cm については、制御区と 10cm 区との差は 3.4kPa で、40cm 区と 10cm 区では 4.0kPa の差であった。地表面下 5cm については、制御区と 10cm 区との水ポテンシャルの差は 3.8kPa で、40cm 区と 10cm 区との差は 5.0kPa と 40cm 区との差が大きかった。

以上のことから、開花期～子実肥大期の水を必要とする時期の地下水位 10cm では、根域は過湿状態になっていて、水供給は充分であるが、必要な気相が確保されていなかった。地下水位 40cm では地表面下 0～20cm にかけては水不足の可能性のあることが分かった。地下水位制御は、透水性の良い作土層と、心土層を難透水性に維持する圃場条件が重要であり、心土層への亀裂を防ぐような地下水位の周年管理が必要なことから、適切な地下水位の設定の検討が必要であった。



第 4-3 10cm 区、制御区および 40cm 区における土壌の水ポテンシャルの変化

4-5-5 根域の Eh の変化

Eh の変化は第 4-4 図に示した。地表面下 5cm の Eh は、作付け期間をとおして 10cm 区が $525 \pm 51\text{mV}$ 、制御区が $563 \pm 29\text{mV}$ および 40cm 区が $497 \pm 28\text{mV}$ と一定して酸化状態で推移した。さらに 40cm 区では地表面下 10cm が $543 \pm 26\text{mV}$ 、20cm が $561 \pm 51\text{mV}$ および 30cm が $663 \pm 68\text{mV}$ と一定して酸化状態で推移した。

10cm 区は、地表面下 10cm、20cm、30cm、40cm および 50cm で播種後から徐々に低下して、20cm は播種後 10 日、30cm は播種後 14 日、10cm は播種後 15 日で 300mV より低い還元状態となり (山根, 1982)、播種後 123 日 (10 月 1 日) の収穫日には地表面下 10cm、20cm および 30cm は、 $-150 \sim -240\text{mV}$ となった。地表面下 40cm と 50cm は播種後 16 日～64 日までデータ欠損である。

40cm 区は、地表面下 40cm および 50cm で播種後から徐々に低下して、50cm は播種後 18 日に 40cm は播種後 21 日にそれぞれ還元状態となった。その後も減少し、播種後 70 日頃から収穫期までほぼ一定の $-116 \sim -240\text{mV}$ となった。

制御区では、地表面下 40cm および 50cm は作付け期間をとおして播種後から徐々に低下して、40cm は播種後 13 日に、50cm は播種後 18 日にそれぞれ還元状態となり、その後も減少し、播種後 75 日頃から収穫期までほぼ一定の $-115 \sim -230\text{mV}$ となった。地下水位 40cm に設定した播種後 1 日～50 日の期間の地表面下 10cm は $539 \pm 47\text{mV}$ 、20cm では $571 \pm 24\text{mV}$ と酸化状態で推移した。地下水位 30cm は、酸化状態で推移したが徐々に低くなり播種後 50 日では 303mV であった。

地下水位を 10cm とした播種後 51 日～101 日の期間では、地下水位 20cm および 30cm は、急激に低下し開花期盛期～子実肥大期には $-172 \sim -227\text{mV}$ となった。地下水位 10cm は、地下水位の変動に左右され $65 \sim 501\text{mV}$ と酸化還元状態が大きく変動した。これは、地下水位の下降による土壌の間隙への酸素の進入のためと推察され、地下水位の上昇や下降による Eh の変動は、佐々木ら (1998)、佐々木・小関 (2000) の言う酸素の影響度としても見るができるであろう。地下水位を 40cm に設定した播種後 102 日～136 日の期間では、地下水位 10cm、20cm および 30cm は急激に酸化状態となり、その状態が収穫期まで続いた。

これらのことから制御区では、コンテナ栽培の地表面下 10cm は、地下水位の上昇下降の日常管理状態で、土壌の酸化還元状態が大きく変わることが分かった。

制御区と同一栽培条件である 2005 年および 2006 年の 80%区では、3 年間ともに地表面下 5cm は酸化状態で、10cm は地下水位の下降上昇で酸化還元状態が大きく変わり、20cm と 30cm は地下水位の設定状態

で敏感に反応し、40cm と 50cm は還元状態であることが確認された。

栽培に良好な地下水位は、常時地表面下 40cm 前後が良いとされ、40cm より高くなると急激に収量が低下するが (第 1-2 図)、Eh から地下水面下の土壌は還元状態となり、土壌環境が変わっていることから、収量へ大きく影響していることが分かった。

2004 年の現地圃場では地表面下 0～20cm の根圏は酸化的であったが、これは地下水位の下降上昇の急激な変動のない状態であったことが予想される。

阿江・仁紫 (1983) は、ダイズの根系の酸素消費量は極めて高く、また根粒の酸素要求量も著しく高く、これらの酸素消費量は、開花期以降、急速に多くなることを報告し、有原 (2000)、金田ら (2004) は酸化的な環境での根や根粒菌の活力は高くなることを報告している。有効土層や根域間を酸化状態を保ちかつ土壌水分の供給を行うことの重要および、酸素供給の程度を Eh を指標とする可能性は今後の課題であった。

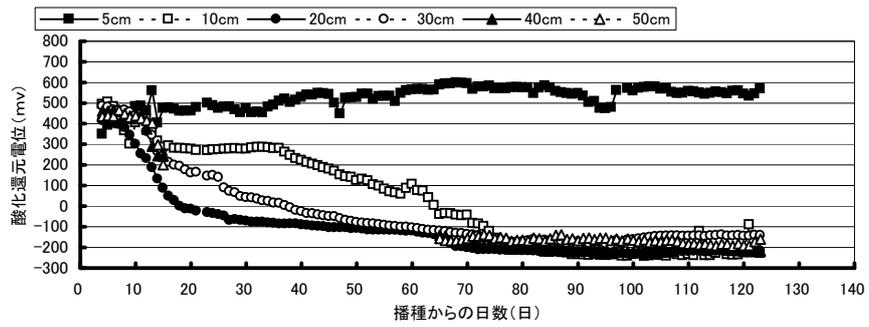
4-5-6 土壌溶液の変化

土壌溶液 (pH, EC) の変化は第 4-5 図に示した。50cm 口の pH は、3-5-7 土壌溶液の変化の 2006 年と同じ傾向で、3 試験区ともほとんど同じ値で変化した。すなわち、播種直後の 3 試験区の pH は $5.6 \sim 5.8$ で、徐々に上昇し、播種後 40 日以降は 3 試験区とも $6.2 \sim 6.4$ となった。80cm 口の pH は、3-5-7 土壌溶液の変化の 2005 年および 2006 年と同様に播種後 10 日の 3 試験区の pH は $5.8 \sim 5.9$ から収穫期の 6.4 と徐々に上昇した。

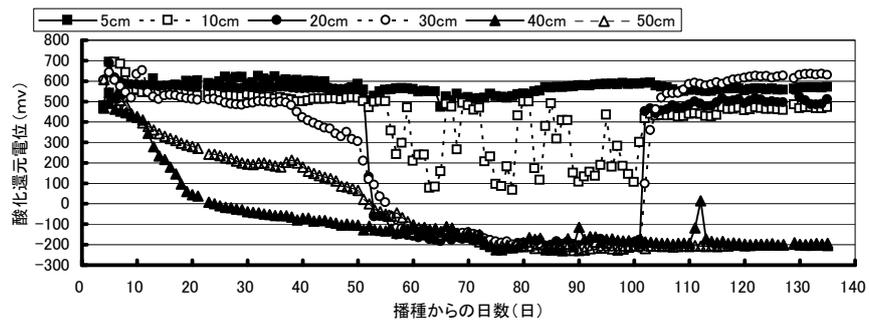
給水の EC は、作付け期間平均で 0.12mScm^{-1} とほぼ一定した値であった。50cm 口では、播種直後から EC は増加して播種後 30 日の本葉 6 葉期に最高値となり、10cm 区 0.41mScm^{-1} 、制御区 0.38mScm^{-1} および 40cm 区 0.44mScm^{-1} であった。2005 年や 2006 年に比べ最高値は 0.2mScm^{-1} ほど小さかった。その後、徐々に低下し、播種後 94 日の最大繁茂期には $0.10 \sim 0.12\text{mScm}^{-1}$ と最低値になり、再び徐々に上昇し収穫期には $0.24 \sim 0.32\text{mScm}^{-1}$ となった。80cm 口では、播種直後の 3 試験区の $0.42 \sim 0.51\text{mScm}^{-1}$ から上昇して、播種後 44 日の開花期前には、10cm 区と 40cm 区で最高値 0.56mScm^{-1} となった。制御区は遅れて、播種後 58 日の開花期に最高値 0.60mScm^{-1} となった。2005 年と 2006 年に比べ最高値は 0.20mScm^{-1} ほど小さかった。その後は減少し、播種後 94 日の最大繁茂期に最低値となり、収穫期には $0.29 \sim 0.35\text{mScm}^{-1}$ まで徐々に上昇した。

これらのことから、地下水位の違いに関係なく、pH はゆるやかに上昇し、EC は、50cm 口は播種後 30 日の本葉 6 葉期に、80cm 口は開花期に最高値になることが分かった。EC の変動の特徴から土壌養分につい

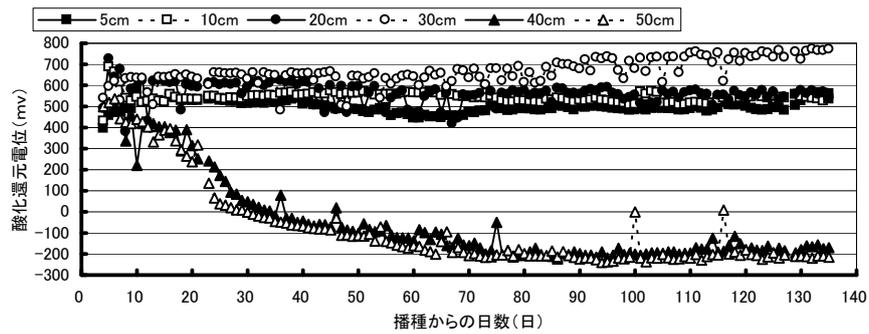
て、特に窒素の施用効果、追肥効果を考慮した肥培管理と地下水水位制御との検討は、興味のあるところである。



(a) 10cm区

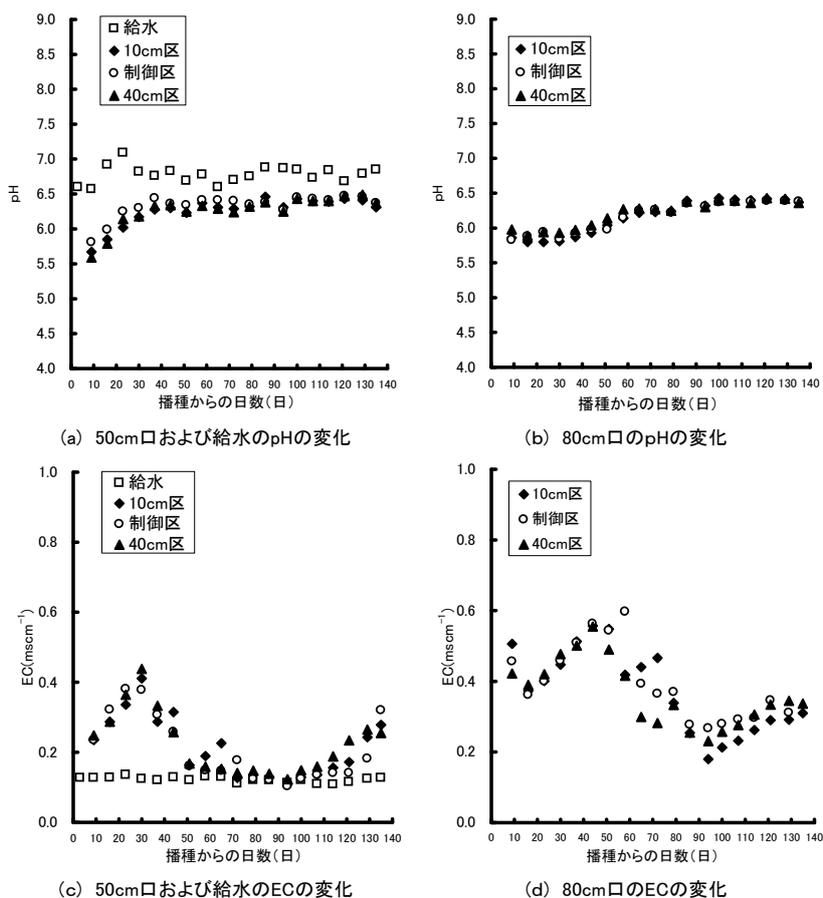


(b) 制御区



(c) 40cm区

第 4-4 図 10cm 区, 制御区および 40cm 区における根域の Eh の変化



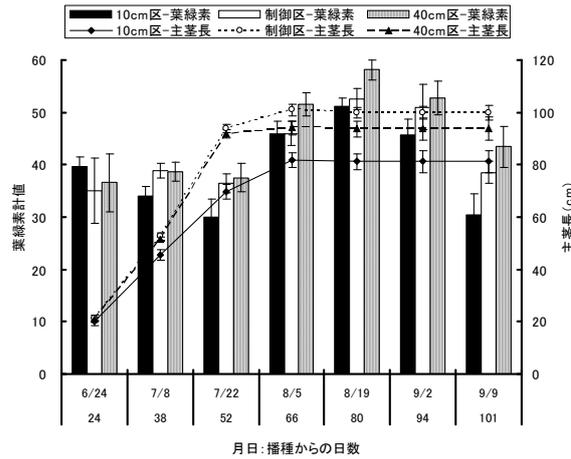
第4-5図 10cm区、制御区および40cm区の土壤溶液 (pH, EC) の変化

4-5-7 生育状況

主茎長および葉色については第4-6図に示した。播種直後の出芽は3試験区で差異がなかった。生育初期の全長では、出芽直後から10cm区の生育が制御区や40cm区に比べ見劣りした。主茎長では播種後24日の本葉3葉期に10cm区が 20.0 ± 1.6 cmで、制御区が 21.5 ± 0.9 cm, 40cm区 20.8 ± 0.7 cmと大きな違いはなかったが、その後、差は大きくなり、播種後52日の開花期には、10cm区が 69.6 ± 3.0 cmに対して、制御区が 93.9 ± 2.1 cm, 40cm区 92.0 ± 3.0 cmと大きな差となった。開花盛期には、10cm区が 81.3 ± 4.3 cm, 制御区が 99.9 ± 2.9 cmおよび40cm区が 93.8 ± 4.5 cmとなった。

播種後24日の葉色は10cm区が一番濃かったが、徐々に低下し播種後52日(7月22日)の開花期には、最も低い値になった。制御区の地下水位を10cmにした播種後51日(7月21日)以降、制御区の葉色の停滞が見られ、播種後66日(8月5日)の開花盛期には10cm区の葉色と同じ程度となった。その後、播種後80日頃まで制御区と10cm区は同じ程度の葉色であった。この時期、3試験区とも葉色が最高値で、10cm区が 51.1 ± 1.7 , 制御区が 52.6 ± 1.9 , 40cm区が

58.1 ± 1.9 となった。その後、10cm区の葉色は低下し、制御区より大きく劣った。制御区と40cm区の葉色では、開花期以降、40cm区が優っていた。制御区の地下水位を40cmとした播種後102日(9月10日)以降については、落葉は播種後106日頃から始まった。落葉は10cm区が最も早く、制御区は、40cm区に比べ落葉がやや遅れ気味に推移した。これは、地下水位が10cmから40cmに変化したことによる、根域の増加によるものかもしれない。収穫期は、10cm区が一番早く播種後123日(10月1日)で、地下水位40cm区と制御区が播種後136日(10月14日)となった。これは2「汎用水田における地下水位制御の試み」の初年目の試験区と慣行区の登熟期間の差異と同様のことが再現できた。また10cm区の収穫期が早かったのは、地下水位が高いことによる根や根粒の活力の低下によるものと推察された(阿江・仁紫, 1983; 桑原, 1988; 杉本・佐藤, 1990; Shimada et al., 1995)。



第4-6図 10cm区、制御区および40cm区の生育状況（葉色，主茎長）

エラーバーは標準偏差を示す (n=8)。

4-5-8 収穫後の層別別の根重割合

第4-2表には収穫後の根の分布について、各区の地表面下10cm毎の層別別の根重割合を示した。ダイズの根の分布は、地表面下0～10cmでほとんどを占め、地下水位の状況でその割合は異なることが柴田・遠藤(1976)、中島ら(1983)、桑原(1988)、小柳(1998)などにより報告されている。本試験結果でも同様に、0～10cmの範囲でほとんどの根が存在していた。

10cm区は、その割合が最も多く99.9%以上であった。地表面下10cm以下について、土壌調査では10～20cm付近まで根毛は認められるが、秤量する程度にはならなかった。

40cm区では、地表面下0～10cmは70.4%の根重割合であった。10～20cmでは16.7%で、20～30cmでは8.0%で、30～40cmは4.8%となった。

御子柴(1990)は、地下水位10cmと地下水位40cmの条件でダイズ栽培した場合の根の張り方について、地下水位10cmは直根が地表面下10cmで止まり、側根も地表面近くに細かい根が集中して貧弱な根となっていることを報告している。しかし、地下水位40cmでは直根もまっすぐ伸び、側根も地表近くから斜め下へ広く張り出していることを認めている。本試験でも同様の結果と判断された。

制御区では、地表面下0～10cmは99.2%の根重割合となり、これは根毛がコンテナを覆った状態であった。10～20cmでは0.6%で、20～30cmでは0.2%

となった。40cm付近まで毛根は認められるが、秤量できるほどではなかった。

このことから、制御区は40cm区と開花期前までは同条件で栽培管理されていたので、生育も旺盛であることから、根域も深かったことが予想される。開花期以降の地下水位10cmとなったことにより根域が限られ、表面に根の大部分が分布したと考えられた。地下水位が高かったり、地下水位を変動することで酸化的な土壌領域が限られるとその領域内で、根が分布することが分かった。汎用耕地化のための技術指針編集委員会(1979)は、地下灌漑水の上昇の高さは作物根群域を目標にし、間隙が水で飽和状態になる深さは有効土層下端として、根系が長い時間、飽和状態にしておくことは望ましくないとしている。開花期～子実肥大期の地下水位10cm設定では過剰な水分条件下となり、水分ストレスを与えた。そのため地表面下10cm以下に伸長した根を減退させ、この地下水位の変動による根域の大きな縮小は、ダイズの収量へ影響すると推察された。

以上のことから、ダイズは、土壌の地下水位付近(有効土層)まで根が伸びていることが観察され、土壌の酸化状態と大きく関係していた。本試験からEhの値と根の伸長は密接に関係していることが予想された。Ehを計測することにより、土壌の水分管理に役立つことが考えられた。

第4-2表 10cm区、制御区および40cm区における収穫後の層別別の根重割合

試験区	層位(cm)				
	0～10	10～20	20～30	30～40	40～50
10cm区	99.9	0.1	—	—	—
制御区	99.2±0.18	0.6±0.20	0.2±0.04	0.1±0.04	—
40cm区	70.4±3.28	16.7±3.80	8.0±1.77	4.8±1.97	0.1±0.05

±の数値は標準偏差を示す (n=4)。

4-5-9 収量および収量構成要素

第4-3表には、収穫期の子実重と主な収量構成要素を示した。主茎長は10cm区が最も短く、制御区と40cm区では制御区がやや長かった。節数は3試験区とも同程度であった。分枝数は制御区が最も少なく、10cm区と40cm区はほぼ同じ値であった。茎太では10cm区が最も細く、制御区と40cm区が同じ太さであった。1莢内粒数では3試験区とも同程度であった。

莢数では、10cm区は 61.9 ± 11.3 莢株⁻¹、制御区は 84.0 ± 16.3 莢株⁻¹ および40cm区は 105.4 ± 10.5 莢株⁻¹ であった。百粒重は、10cm区で 33.1 ± 2.0 gと最も少なく、制御区で 37.8 ± 1.7 g、40cm区で 37.4 ± 1.5 gと同じ程度であった。1株あたりの子実重は莢数と同様に、10cm区が最も少なく、続いて制御区で40cm区が最も多かった。その結果8株の合計では、子実重は10cm区で294g、制御区で472gおよび40cm区で569gであった。

これらの結果から、10cm区は3試験区で最も生育

が劣りかつ、減収となることが判明した。また、40cm区は制御区に比べ21%の増収となり、世古ら(1987)やShimada et al. (1995)の報告と同様の結果であった。

制御区と同一栽培条件である2006年の80%区との比較では、制御区が生育、収量構成要素および子実重でややよくなっているものの、両年ともほぼ同じような栽培結果となった。

本栽培試験のように地下水位を40cmから10cmに上げた場合は、ダイズに水ストレスを与えることになり、伸長した根を減退させ、酸化層に側根として広がるものの根域が制限されるために減収したと考えられた。

以上のことから地下水位制御は、必要な土壌水分を確保するための水供給管理と根域を酸化的に確保するための管理の両者を両立させる条件が、ダイズの安定多収に重要であることが示されたと考えられた。

第4-3表 10cm区、制御区および40cm区収穫期の子実重と主な収量構成要素

試験区	収穫期の形態				
	主茎長 (cm)	節数 (節)	分枝 (本)	茎太 (mm)	1莢内粒数 (粒莢 ⁻¹)
10cm区	a 80.3 ± 6.3	a 13.8 ± 0.5	a 7.1 ± 0.8	a 9.1 ± 0.5	a 1.90 ± 0.05
制御区	b 99.9 ± 2.9	a 14.3 ± 0.5	b 5.9 ± 0.8	b 10.9 ± 0.9	a 1.97 ± 0.06
40cm区	b 94.8 ± 3.5	a 14.1 ± 0.5	a 7.5 ± 1.2	b 10.9 ± 0.5	a 1.92 ± 0.09

試験区	収量及び収量構成要素					
	莢数 (莢株 ⁻¹)	莢数* (莢)	百粒重 (g)	子実重 (g株 ⁻¹)	子実重** (g)	同左比 (%)
10cm区	a 61.9 ± 11.3	495	a 33.1 ± 2.0	a 36.8 ± 6.6	294	62
制御区	b 84.0 ± 16.3	672	b 37.8 ± 1.7	b 59.0 ± 11.6	472	(100)
40cm区	c 105.4 ± 10.5	843	b 37.4 ± 1.5	c 71.1 ± 9.3	569	121

危険率5%でTukey検定を行い、表中の異なる英小文字の符号は有意差があることを示す。

莢数*および子実重**は、8株の合計である。

子実重および百粒重は、15%水分換算値である。±の数値は標準偏差を示す(n=8)。

4-6 摘要

砕土率 80%土壌を用いたモデルでの地下水位制御と地下水位 10cm 固定および地下水位 40cm 固定したコンテナ栽培について、生育および収量について比較検討した。

地下水位は、作付け期間をとおしてほぼ設定条件に制御した栽培で、2005 年と 2006 年と同様に地下水位制御が一作期（約 120 日）に渡って可能であることを確認した。

ECHO による地表面下 0 ~ 20cm の体積含水率は、各区でほぼ一定の土壌水分となった。10cm 区では常に水分過多の状態であった。同様に制御区の地下水位が 10cm である播種後 51 日 ~ 101 日は、水分過多の環境と推察された。40cm 区は、開花以降 ~ 子実肥大期頃にかけて乾燥気味の状態となった。水分コントロールの条件は、根域の土壌水分が適度の水分を維持する地下水位であることが重要であると考えられた。

ガラス室栽培では測定深の違いによる大きな地温の違いは認められず、また地下水位の違いでは、登熟期間について水量の多いコンテナで保温性があった。土壌の水ポテンシャルの変化では、播種後 1 日 ~ 50 日の期間は地下水位を 40cm に設定した制御区と 40cm 区で同じような傾向を示し、10cm 区と制御区を比較すると各地表面下で制御区が 2.8 ~ 3.7kPa ほど低くなった。播種後 51 日 ~ 101 日の期間については、地下水位を 10cm に設定している制御区と 10cm 区はほぼ同じ値で、十分に水の供給がされていた。この頃の 40cm 区は、地表面下 0 ~ 20cm にかけては水不足となっていた。播種後 101 日 ~ 136 日の期間では、40cm 区および地下水位 40cm 設定の制御区は、地表面下 10 ~ 50cm についてほぼ同じ値を示し、10cm 区に比べ制御区の乾燥が進んだことがうかがえた。以上のことから、開花期 ~ 子実肥大期の水を必要とする時期の地下水位 10cm では、水供給は充分であること、地下水位 40cm では地表面下 0 ~ 20cm にかけては水不足の可能性のあることが分かった。

地表面下 5cm の Eh は、作付け期間をとおして 3 試験区ともに一定して酸化的に推移した。10cm 区では、地表面下 10cm より下層は作付け期間をとおして還元状態となった。40cm 区は、作付け期間をとおして地表面下 10cm, 20cm および 30cm は酸化状態で 40cm および 50cm で還元状態となった。制御区では、10cm は地下水位の下降上昇で酸化還元状態が大きく変わり、20cm と 30cm は地下水位の設定状態で敏感に反応し、40cm と 50cm は還元状態となった。同一栽培条件である 2005 年および 2006 年の 80%区と 3 年間ともに同じ傾向の栽培と言えた。

50cm 口の pH は、3 試験区とも播種直後から徐々に上昇し、播種後 40 日以降はほぼ一定で推移した。80cm 口の pH についても 3 試験区とも播種後から収穫期ま

で徐々に上昇した。給水の EC は、平均で 0.12mScm⁻¹ とほぼ一定した値であった。50cm 口では播種後 30 日の本葉 6 葉期に最高値となり、その後、播種後 94 日の最大繁茂期まで低下した後、収穫期まで徐々に上昇した。80cm 口では、播種後 44 日の開花期前には、10cm 区と 40cm 区で最高値となり、制御区は遅れて、播種後 58 日の開花盛期に最高値となった。その後は 50cm 口と同様に、最大繁茂期に最低値となった後、収穫期まで徐々に上昇した。以上のことから、地下水位の違いに関係なく、pH は徐々に上昇し、EC の最高値は、50cm 口で播種後 30 日の本葉 6 葉期に、80cm 口では開花期に観測された。

出芽は 3 試験区に差異がなく、出芽直後から 10cm 区の生育が制御区や 40cm 区に比べ見劣りした。主茎長は播種後 24 日の本葉 3 葉期に 10cm 区が、制御区および 40cm 区に比べ劣り、この傾向は収穫まで続いた。収穫期の主茎長は、制御区と 40cm 区ではやや制御区が優った。

播種後 24 日の葉色は 10cm 区が一番濃かったが、徐々に低下し播種後 52 日（7 月 22 日）の開花期には、最も低い値になった。制御区の地下水位を 10cm にした播種後 51 日（7 月 21 日）以降、制御区は葉色の停滞が観察され、播種後 66 日（8 月 5 日）の開花盛期には 10cm 区の葉色と同じ程度となった。播種後 80 日頃が 3 試験区とも葉色は最も濃く、その後 10cm 区の葉色は制御区より大きく劣った。制御区と 40cm 区の葉色では、開花期以降、40cm 区が優っていた。制御区の地下水位を 40cm とした播種後 102 日（9 月 10 日）以降については、落葉は播種後 106 日頃から始まり、10cm 区が最も早く、制御区は、40cm 区に比べ落葉がやや遅れ気味に推移した。収穫期は、地下水位 10cm 区が一番早く播種後 123 日（10 月 1 日）で、地下水位 40cm 区と制御区が播種後 136 日（10 月 14 日）であった。

収穫後の根の分布は、地表面下 0 ~ 10cm にほとんどの根重割合を占めていた。10cm 区は、その割合が最も多く 99.9%以上であった。地表面下 10cm 以下については、10 ~ 20cm 付近まで根毛が認められる程度であった。制御区の地表面下 0 ~ 10cm では 99.2%の根重割合で、根毛がコンテナを覆った状態となった。10 ~ 20cm では 0.6%、20 ~ 30cm では 0.2%となり、30 ~ 40cm は 0.1%となった。40 ~ 50cm では根毛が認められる程度であった。40cm 区は、地表面下 0 ~ 10cm に 70.4%の根重割合であった。10 ~ 20cm では 16.7%で、20 ~ 30cm では 8.0%で、30 ~ 40cm は 4.8%となり、土壌の地下水位付近まで根が伸長が観察された。

収穫期の節数は、3 試験区とも同程度となり、分枝数は制御区が最も少なく、10cm 区と 40cm 区はほぼ同じ値であった。茎太では 10cm 区が最も細く、制御区と 40cm 区が同じ太さであった。1 莢内粒数は 3 試

験区とも同程度となった。莢数は、10cm 区が最も少なく、次いで制御区で 40cm 区が最も多かった。百粒重では、10cm 区が最も少なく、制御区と 40cm 区が同じ程度の重量であった。1 株あたりの子実重は莢数と同様に、10cm 区が最も少なく、続いて制御区で 40cm 区が最も多かった。これらの結果から生育が劣った 10cm 区は減収となった。また 40cm 区は、制御区に比べ 21%の増収となった。制御区と同一栽培条件である 2006 年の 80%区との比較では、制御区が生育、収量でややよいものの、2 年ともほぼ同じような栽培結果となった。

以上のことから、砕土率 80%土壌を用いたモデルでの地下水位制御と地下水位 10cm 固定および地下水位 40cm 固定したコンテナ栽培を行った結果、3 試験区とも発芽には差異はないものの、その後の生育は地下水位 10cm 区のように地表に近い地下水位固定では、過剰水分ストレスや酸素供給不足により生育が劣り、収量にまで影響した。

制御区は、40cm 区と開花前までは良好に生育した。開花以降の地下水位 10cm の設定により葉色、収量で 40cm 区より劣った。しかし、開花前までの旺盛な生育状態から 10cm 区のような極端な減収にはならなかった。

開花期～子実肥大期について、地下水位 10cm 設定時での制御区は、十分な水分条件下で、40cm 区に比べ過剰な水分ストレスを与えた。このことにより、伸長した根を減退させ、酸化層に側根として広がることが観察された。地下水位の変動により、根域が大きく変化することが、ダイズ収量へ影響を与えると推察された。40cm 区では、地表面下 10cm より浅い部分の土壌では乾燥気味になることが確認され、亀裂が生じる程度の乾燥であった。

地下水位制御は、必要な土壌水分を確保するための水供給管理と根域を酸化的に確保するための管理の両者を両立させる条件が、ダイズの安定多収に重要であることが示された。

5 総括

本研究は、汎用水田での地下水位制御によるダイズ多収を目指した栽培指針を検討するために、圃場の土壌管理条件、水管理条件の基本技術を明らかにするデータ取りを目的とした。2003年から2004年は秋田県の現地圃場で、汎用化圃場における地下水位制御による栽培技術の研究を行なった。2005年から2007年には、現地圃場の結果を基に、農業試験場ガラス室でコンテナ栽培による細密調査、研究を行った。

1. 汎用水田における地下水位制御の試み

圃場整備された大区画汎用水田(細粒グライ土)にH社製の用水閘と伸縮性越流水閘を設置し、農家管理のもとで地下水位制御による栽培を行った。これに対し慣行栽培は、作付け期間をとおして常時暗渠排水口を開放した状態で行った。本研究の栽培試験は、開花期以降～最大繁茂期に地表面に近い排水位を設定し、比較を試みた。

1) 大区画汎用水田で伸縮性越流水閘により地下水位をコントロールできる可能性が推察された。

2) 慣行栽培圃場と比べ、開花期以降の過湿気味なコントロールにより10～20%の増収となった。

3) 地下水位制御するための圃場条件は、透水性の良い作土層と、心土層を難透水性に維持する圃場条件が重要であった。そのため圃場は、過乾燥による心土層への亀裂を防ぐ、地下水位の周年管理が必要であることが示唆された。

4) 試験圃場、慣行圃場の違いで作付け前の土壌の化学性に大きな違いはなかった。物理性については、2年作付け後の両圃場ともに、作土層は気相率と粗孔隙が初年目の作付け前より高く、畑地化が進み、スキ床層および心土層では大きな違いはなかった。透水係数では、両圃場で作土層は良好となり、スキ床層は大きな違いはなく、心土層は透水性の高い層位となった。

これらのことから、本暗渠および籾殻補助暗渠を施工した農家の大区画汎用水田で、伸縮性越流水閘により地下水位をコントロールできる可能性、および水位制御によるダイズ栽培で多収の可能性のあることが分かった。

2. 異なる砕土率モデルでの地下水位制御試験

現地汎用水田での畑連作により畑地化が向上する結果をふまえ、作付圃場の水分保持に大きく影響すると考えられる砕土率と地下水位制御について、農業試験場水田圃場の作土(細粒グライ土)を用いてコンテナ栽培試験を行った。

1) コンテナに充填した理想的な砕土率である80%区および劣悪な砕土率である30%区で、40～10cmという地下水位制御が一作期(約120日)に渡って可

能であった。

2) 本栽培試験に用いた土壌の毛管上昇は、砕土率80%土壌が18～21cmで、砕土率30%土壌では15～18cmでありその差は3cm程度であった。また砕土率の違いで土壌の理化学性、地温、および土壌溶液のpH、ECに大きな差異はなかった。しかし、Ehについては地表面下30cmでは30%区が高く推移した。

3) 生育初期は、80%区が優位に推移するが、開花期以降は、30%区が優り、収量がやや多くなることがうかがえた。

4) 播種後の出芽が30%区は、80%区よりも2日程度遅れることから、実際に圃場での栽培管理を考えた場合は、80%区がよいものと判断した。

同じ条件の地下水位制御をした場合でも、30%区が80%区よりも増収することを2カ年に渡り確認した。このことより地下水位およびこれまで指摘されている砕土率も重要な生育、収量へ影響する要因であると判断した。

3. 同一砕土率モデルでの地下水位制御試験

砕土率80%土壌を用いたモデルでの地下水位制御(制御区)と地下水位を10cm(10cm区)および40cm(40cm区)に固定したコンテナ栽培について、生育および収量について比較検討した。

1) 発芽は、3試験区で差異は認められず、その後の生育では、10cm区が制御区や40cm区に比べ生育が劣り、収量は最も低くなった。制御区と40cm区では、開花前までは同様な生育状態であった。しかし制御区は、開花期～子実肥大期の地下水位を10cmに設定したことにより葉色の停滞が見られ、40cm区より生育が劣り、減収した。しかし、開花前までの旺盛な生育状態から10cm区のような極端な減収にはならなかった。

2) 制御区では、直根は地表面下40cmまで認められたが、0～10cmに側根が多数存在し、40cm区とは根の生育でも相違が認められた。40cm区では、地表面下40cmの深さまで直根が伸長し、制御区に比べ10cmより深く伸長する根が多かった。10cm区は、地表面下0～10cmより深い根の伸長はほとんど認められなかった。

3) 開花期～子実肥大期間の40cm区では、地表面下10cmより浅い部分の土壌では乾燥気味になることがあった。地下水位が60cmのような場合は、根による水分吸収が旺盛で水不足が発生し、生育へも影響することがうかがえた。

砕土率が一定でも地下水位の設定状態により生育、収量および根の分布は大きく影響を受けることが指摘された。さらに圃場の地下水位を制御するためには土壌の乾燥亀裂の発生を抑制する管理の必要性も確認で

きた。

これらのことから、伸縮性越流水閘方式による地下水位制御により、ダイズ多収の可能性のあることが示唆された。また、地下水位の制御は碎土率等の諸条件より、生育、収量が左右されることが明らかとなった。このような地下水位制御の基本技術をさらに明らかにすることは、生産者にとって汎用水田の多収や品質の安定技術の先駆けとなるものと考えられる。

本研究のような事例は少なく、地下水位制御の追求すべき課題は多い。例えば、生育時期の適切な地下水位の毛管上昇、Eh および土壌の水ポテンシャルなどからの検討、碎土率による発芽揃いや生育についての検討、有効土層の土壌水分の検討および土壌の酸化状態確保のための培土や畝立てによる栽培管理の検討などが考えられる。また、地下水位制御と土壌窒素の硝酸化成抑制の可能性も含めた肥培管理や栄養・有害成分吸収は重要な課題である。これらの課題が克服され、他の作物への応用も見いだされることを期待してやまない。

謝 辞

論文をまとめるにあたり懇切なるご指導、ご校閲の労をとられた弘前大学農学生命科学部教授佐々木長市博士、山形大学農学部准教授安中武幸博士、弘前大学農学生命科学部教授谷口健博士、弘前大学農学生命科学部教授泉完博士、帯広畜産大学畜産科学科准教授辻修博士、弘前大学農学生命科学部助教加藤幸氏、弘前大学農学生命科学部助教島山幸紀氏に衷心より感謝の意を表します。

元秋田県農業試験場長藤田佳克博士、前秋田県農林水産技術センター農業試験場長児玉徹氏、元秋田県農業試験場次長飯塚文男博士、元秋田県農業試験場次長山内三千雄氏、前秋田県農林水産技術センター所長樋渡公一氏、前秋田県農林水産技術センター農業試験場主席研究員佐藤福男氏、同農業試験場長賀屋博行博士、同農業試験場主席研究員山谷正治氏には研究の遂行にあたって特段のご配慮とご鞭撻を賜った。

本研究は、秋田県農林水産技術センター農業試験場の職員のご協力を得て行われた。特に、生産環境部の部長深谷富夫氏、主任研究員金和裕博士、主任研究員伊藤千春氏、研究員伊藤正志氏、研究員石田頼子博士、研究員中川進平博士、作物部の主任研究員佐藤雄幸氏、主任研究員井上一博氏、秋田県農林水産技術センター企画経営室の主任研究員(兼)班長片平光彦博士には絶大なご協力をいただいた。

現地圃場試験では、農家の方、ホーネン(株)、秋田県仙北地域振興局普及指導課から協力をいただいた。

以上の方々に心から謝意を表します。

引用文献

- 阿部盟夫・古野昭一郎・内田文雄(1981):火山灰水田における効果的水利用に関する研究 第3報 転換畑における地下水位の高低と導入作物の生育について, 栃木農業試研報, 27: 29-40.
- 阿江教治・仁紫宏保(1983):ダイズ根系の酸素要求特性および水田転換畑における意義, 土肥誌, 54: 453-459.
- 秋田県農試(1972):八郎潟干拓地土壌の特性と耕地化過程に関する土壌学的研究, 指定試験(土壌肥料), 19: 31-33.
- 秋田県農林水産部(2004):大豆指導指針, pp. 1-158.
- 安中武幸(1998):成層浸潤におけるフィンガー流の形成と水理特性に関する研究, 農工報, 37: 1-49.
- 荒垣憲一・藤井弘志・中西政則(1985):大豆に対する培土期におけるコーテング肥料の追肥効果, 山形農試研報, 20: 83-94.
- 有原文二(2000):ダイズ安定多収の革新技術, pp. 1-235, 農文協, 東京.
- 土壌環境分析法編集委員会編(1997):土壌環境分析法, pp. 21-24, pp. 48-69, pp. 195-197, pp. 202-204, pp. 208-211, pp. 215-216, pp. 222-231, pp. 267-269, 博友社, 東京.
- 藤井弘志(1985):東北地方におけるダイズ多収への挑戦, 土肥誌, 56: 53-55. 藤井弘志・安藤忠弘・桃谷英・鈴木武・大沼彪・阿部吉克・今野周・荒垣憲一(1987):水田転換畑における多収ダイズの栄養特性, 土肥誌, 58: 217-221.
- 藤森新作(2003):低コスト地下灌漑システム「FOEAS」, 農業技術体系, 作物編8, 追録25, pp. 1028の2-1028の7, 農文協, 東京.
- 藤森新作(2005):低コストで操作が容易な地表・地下水位制御システムの開発, 圃場と土壌, 37: 20-24.
- 福本昌人・深山一弥・小川茂男(1992):粘土質転換畑における地下灌漑の適用性, 土壌の物理性, 64: 11-20.
- 汎用耕地化のための技術指針編集委員会(1979):汎用耕地化のための技術指針, (社)農業土木学会, pp. 1-120.
- 長谷川周一(1986):転換畑土壌中の水分移動, 土壌の物理性, 53, 13-19.
- 細川寿(2004):大豆の耕うん同時畝立作業機械による重粘土転換畑の湿害回避技術, 農業機械学会誌, 66: 14-16.
- 井上昌洋・石川重雄・長坂貞郎・磯部勝孝(2004):地下水位管理の相違と作物の生育環境に関する研

- 究, 平成 16 年度農業土木学会講演要旨集.
- 井上浩一郎・曳野亥三夫・須藤健一・加護谷栄華・澤田富野・中尾政輝(1986): 汎用化圃場における大豆の生育, 収量, 第 2 報 播種期・播種密度ならびに灌水の効果, 兵庫県農業総合センター研究報告, 34 : 37-40.
- 石井和夫・斉藤雅典・赤尾勝一郎 (1983): 大豆の養分吸収に及ぼす培土の効果, 東北農業研究, 33 : 103-104.
- 石井和夫 (1983): 東北地域におけるダイズに対する肥培管理〔1〕—生育特性—, 農業および園芸, 58 : 1394-1398.
- 伊藤邦夫 (1987): ダイズ作におけるうね間かん水の効果, 農業および園芸, 62 : 299-304.
- 伊藤邦夫・大西将(1988): 大豆作における地下かん水法, 農業技術, 43 : 127-129.
- 鎌田金英治・田口喜久治・高橋栄次郎 (1974): パイプライン方式圃場における転換作生産技術の確立, 秋田農試研報, 20 : 23-59.
- 金田吉弘・佐藤孝・古田規敏・生野みどり・小林ひとみ・太田健・進藤勇人・佐藤敦 (2004): 重粘土転換畑における土壌水分環境がダイズの根圏活性に及ぼす影響, 土肥誌, 75 : 185-190.
- 児玉徹・三浦昌司 (1981): 八郎潟干拓地における大豆の安定多収栽培 第 3 報 施肥窒素の吸収と利用について, 東北農業研究, 29 : 133-134.
- 児玉徹・金田吉弘・三浦昌司 (1982): 八郎潟干拓地における大豆の安定多収栽培 第 4 報 大豆の窒素吸収由来について, 東北農業研究, 31 : 103-104.
- Kohnke, H. (1968): Soil Physics, McGraw-Hill Book Company, pp. 160-170, New York.
- 小柳敦史 (1998): 深さの定量化による作物根系の新しいとらえかた, 日作紀, 67 : 3-10.
- 久津那浩三・新村善男・上森晃 (1974): 耕耘碎土に関する研究 (第 1 報) 土壌物理性の碎土におよぼす影響, 土肥誌, 45 : 37-41.
- 久津那浩三・新村善男 (1975): 耕耘碎土に関する研究 (第 3 報) 碎土土塊の粒径分布について, 土肥誌, 46 : 447 ~ 452.
- 桑原真人 (1988): 大豆根の伸長・分布および根粒活性と土壌水分, 土壌の物理性, 57:15-21.
- 前田要 (1986): 転換畑の土壌構造と畑作物の生育反応, 土壌の物理性, 53 : 2-7.
- 前波健二郎・太田章・久保野実・小林俊一 (1982): 転換畑の麦跡大豆晩播栽培における碎土条件及び栽植様式に関する研究, 栃木農試報告, 28 : 33-40.
- 舛谷精治・下田英雄・上野正夫・小南力 (1981): 転換畑初年目における簡易暗渠の影響と耕うん碎土作業の効果, 山形農試研報, 15 : 13-25.
- 松原利文・相川賢一郎・山崎剛太郎・杉町信幸(1985): 調節水路式地下灌漑の適正な施設重粘土転換畑における地下灌漑試験 (第 2 報), 土壌の物理性, 52 : 25-29.
- 松下真一郎・浅生秀孝 (1988): 転換畑大豆における畦間かん水の効果, 農業技術, 43 : 125-127.
- 御子柴公人監修 (1990): 写真図解転作ダイズ 400 キロどり, pp. 38-39, 農文協, 東京.
- 森口康弘・星泰彦 (2004) 転作大豆の地下水位に対する生育反応, 平成 16 年度農業土木学会講演要旨集.
- 長野間宏・児玉徹・金田吉弘・山谷正治(1991): 耕起方法が低湿重粘土汎用水田の土壌物理性に及ぼす影響, 土壌の物理性, 62 : 43-52.
- 中島啓亜・飯島桂・阿部達雄・深山政治・木川義昭・長島正 (1984): 湿田地帯の転換畑における営農排水法と作物栽培 第 1 報 転換畑における機械作業のための条件, 千葉農試研報, 25 : 45-53.
- 中島征志郎・石橋祐二・松原徳行・陣野久好 (1983): 転換畑の地下水位が作物の生育および土壌の理化性におよぼす影響, 長崎県総合農林試験場研究報告, 11 : 35-73.
- 中野啓三 (1987): 低湿重粘土水田の畑転換に伴う土壌物理性の推移, 北陸農研報, 21 : 63 ~ 94.
- 新村善男・上森晃・久津那浩三 (1974): 耕耘碎土に関する研究 (第 2 報) 圧砕強度の影響, 土肥誌, 45 : 42 - 46.
- 日本土壌肥料学会編 (1979): 水田転作-田畑の高度利用, pp. 65-80, 東京都.
- 農林省農林水産技術会議編(1972): 畑地かんがい, pp. 19-22.
- 農林水産省 (2006): 農林水産統計データ, <http://www.maff.go.jp/www/info/index.html>.
- 農林水産省 (2007): 農林水産省大豆のホームページ, <http://www.maff.go.jp/soshiki/nousan/hatashin/daizu/#mokuji>.
- 農林水産省構造改善局 (1990): 地下かんがいの手引, pp. 1-126.
- 農林水産省構造改善局 (2000): 土地改良事業計画設計基準 計画暗きょ排水基準書 計画暗きょ排水技術書, pp. 89-184.
- Nyle C Brady and Ray R Well (2002): The Nature and Properties of Soil Thirteenth Edition : pp. 152-159, New Jersey.
- 置塩康之・岸本基男・加護谷栄章・小原敏男・大西隆夫・米谷正・土肥誠 (1987): 転換畑における地下かんがい技術の開発 第 2 報 地下かんがいによる土壌水分の分布と大豆の生育収量, 兵庫県農業総合センター研究報告, 35 : 25-32.
- 奥村俊勝・竹内史郎(1996): 畦間灌漑の時期がダイズの形態構造と収量に及ぼす影響, 日作紀, 65(別 2) : 25-26.

- 酒井孝雄 (1987) : 大豆に対する緩効性窒素肥料の追肥技術, 福島農試研報, 26 : 33-41.
- 佐々木長市・江成敬次郎・小関恭・中山正与 (1998a) : 開放浸透層を心土層にもつ水田モデル土層における物質動態, 土壌の物理性, 78 : 3-10.
- 佐々木長市・小関恭・富田道久・小黑仁司・谷口健 (1998b) : 開放ライシメータを用いた水田土壌の酸化還元電位および土壌溶液の調査, 土壌の物理性, 80 : 33-40.
- 佐々木長市・小関恭 (2000) : 大型ライシメータを用いた開放浸透層内の気相成分変動, 土壌の物理性, 85 : 11 ~ 17.
- 佐藤雄幸・明沢誠二・鈴木光喜・島田孝之介・五十嵐宏明・井上一博 (1998) : 田畑輪換圃場における麦後作大豆の散播浅耕栽培, 秋田農試研報, 39 : 49-63.
- 世古晴美・佐村董・加護谷栄章・二見敬三・吉倉惇一郎・沢田富雄・青山喜典 (1987) : 排水改良転換畑における大豆栽培の多収安定化 第3報 地下水位の高低と灌水の影響, 兵庫県農業総合センター研究報告, 35 : 21-23.
- 柴田悼次・遠藤武男 (1976) 転換畑における地下水位の相違によるダイズの生育反応, 東北農業研究, 18 : 104-107.
- Shimada, S., Kokubun, M. and Matsui, S. (1995) : Effects of Water Table on Physiological Traits and Yield of Soybean. I. Effects of water table and rainfall on leaf chlorophyll content, root growth and yield. Jpn. J. Crop Sci., 64:294-303.
- Shimada, S., Kokubun, M. and Matsui, S. (1997) : Effects of water Table on Physiological Traits and Yield of Soybean. II. Effects of water table and rainfall on leaf water potential and photosynthesis. Jpn. J. Crop Sci., 66:108-117.
- 杉本秀樹・佐藤亨 (1990) : 水田転換畑におけるダイズの過湿障害 第4報 湿害発生時における根粒の役割について, 日作紀, 59 : 727-732.
- 高橋能彦 (2001) : 水田転作ダイズに対する被覆尿素の深層施肥技術, 農業技術, 56 : 454-458.
- 高橋能彦・土田徹・大竹憲邦・大山卓爾 (2003) : シグモイド型被覆尿素側条施肥によるダイズの増収効果, 土肥誌, 74 : 55-60.
- 竹之内篤・芝田英明 (1992) : 水田転換畑における中耕培土と灌水が大豆の生育と子実収量に及ぼす影響, 愛媛農試研報, 31 : 73-79.
- 友広啓二郎 (1982) : 水田と転換畑における地下かんがい技術, 農業および園芸, 57 : 779-783.
- 土田宰・有馬泰紘 (1993) : 培土処理がダイズの生育と根粒による窒素固定に及ぼす影響, 土肥誌, 64 : 20-26.
- 渡辺敏弘・酒井孝雄・松下浩二 (1989) : 湿害を受けた大豆に対する窒素追肥と培土の効果, 東北農業研究, 42 : 115-116.
- 渡辺源六・遠山勝雄・高橋昌明 (1983) : 転換畑における大豆の機械化多収栽培法確立に関する研究, 宮城農業センター報告, 50 : 49-66.
- 渡辺巖 (1971) : 農業と土壌微生物, 農文協, pp. 156-215. 東京.
- 山根一郎・浜田竜之介・吉永長則・浅見輝男・松田敬一郎・佐久間敏雄・小林達治・湯村義男 (1984) : 土壌学, pp. 192-195, 文永堂出版, 東京.
- 山根一郎 (山根一郎編) (1982) : 水田土壌学, pp. 132 ~ 157, 農文協, 東京.
- 安富六郎・多田敦・山路永司編 (2001) : 農地工学, pp. 42-45, 文永堂出版, 東京.
- 吉永悟志 (2006) : 大豆の有芯部分耕栽培, 農業および園芸, 81 : 606-611.

Abstract

Groundwater Level Control Scheme for a Higher Soybean Yield in Multi-purpose Paddy Fields

Shou MURAKAMI

Agricultural Experiment Station, Akita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

This research was aimed at clarifying soil management conditions and water management conditions of multi-purpose paddy fields for a higher soybean yield. A groundwater level control was used in a multi-purpose paddy field. I studied the groundwater level control in the multi-purpose paddy field in Akita Prefecture between 2003 and 2004. Furthermore, I conducted a container culture research for three years between 2005 to 2007 with reference to the research result of multi-purpose paddy field. The outline of each chapter of this paper is described below.

1. Testing a groundwater level control scheme for a higher soybean yield in multi-purpose paddy fields

In a multi-purpose paddy field with a box connecting an irrigation canal to an underdrain system and a flexible overflow relief well (denoted “the experimental plot”), the groundwater level was aimed to keep at 10 cm below the soil surface of the field during the blossom and maximum luxuriance stages, i.e. in August when much water is required for soybean growth. On the other hand, in another multi-purpose paddy field with a horizontal relief well (denoted “the conventional plot”), the outlet of the relief well was kept at 80cm below the soil surface and was always open.

The actual groundwater level in the field, soil water content in the topsoil and the soybean yield were measured. In the first year, the groundwater level of the experimental plot in August was kept at a higher level (13.4±5.0cm below the soil surface) as compared to that in the conventional plot (22.9±7.5cm).

The soybean yield in the former was 25% higher than that in the latter, indicating good effects of the groundwater level control scheme.

In the second year, the groundwater level of the experimental plot was kept higher level (between 30 and 40cm below the soil surface) in September as compared to that in the conventional plot (between 60 and 70cm), and the soybean yield in the former was 16% higher than that in the latter.

Hydraulic conductivity in the plow layer and subsoil was found to become higher through the soybean cultivation.

These results showed the possibility of a higher yield in the soybean cultivation in multi-purpose paddy fields where the groundwater level control scheme was used

It was also suggested that the groundwater level should be managed properly throughout the year to maintain low permeability of the subsoil.

2. Testing a groundwater level control scheme in a different pulverizability model examination (pulverizability:the weight rate of a clod of 2mm or less)

The container culture examination was done about pulverizability and groundwater level control scheme which are considered to influence the moisture maintenance of a multi-purpose paddy field. The used soil is the granule gley soil of the paddy field of the Akita Agriculture Forestry and Fisheries Research Center, Agricultural Experiment Station.

I examined an 80% pulverizability plot, and a 30% pulverizability plot and found that the groundwater

levels of these two plots were maintained at 10cm and 40cm, respectively.

As for the soil used for this research, the 80% pulverizability plot of capillary action was 18-21cm below the soil surface, and the 30% pulverizability plot was 15-18cm.

Moreover, there was no difference in physical and chemical properties of field soil, soil temperature and soil pH, and EC between the two different pulverizability plots.

Between these two plots the 80% pulverizability plot surpassed the other in the early stages of growth, and the 30% pulverizability plot surpassed the other after the blossom stages.

The 30% pulverizability plot was in the bud about two days later than the 80% pulverizability plot. From these results, when cultivation management in multi-purpose paddy fields is actually considered, the 80% pulverizability plot is judged better.

It is judged from these things that the groundwater level and the pulverizability have an important influence on growth and yield.

3. Examining models with the same pulverizability in a groundwater level control scheme

I also cultivated soybeans in these plastic boxes with the same 80% pulverizability soil in them. In one of these three the technique of groundwater level control was used, and in one of the other two the groundwater level was fixed at 10cm, and in the last box it was fixed at 40cm.

The emergence of three examination plots was the same. Growth of the 10cm plot was inferior to those of the other two plots. The yield point was the lowest in the 40cm plot. I compared the control plot and the 40cm plot, and found that growth state was the same up to the beginning of the blossom stages.

When the groundwater level of the control plot was kept at 10 cm below the soil surface of the field during the blossom stages and the grain growth stages, stagnation was seen by chlorophyll, and the control plot was found to be inferior to a 40cm plot in growth and the yield was less.

Tap roots of the control plot were accepted to 40cm below the soil surface.

Many lateral roots were accepted to 0-10cm below the soil surface. The control plot was inferior to the 40cm plot in growth of roots.

In the 40cm plot, tap roots developed to 40cm below the soil surface, and compared with the control plot there were many roots which elongated more deeply than 10cm below the soil surface.

In the 10cm plot, the roots were hardly accepted more deeper than 0-10cm below the soil surface.

The 40cm plot during the blossom stages and the grain growth stages might become dry in the soil of the portion shallower than 10cm below the soil surface.

Even when the pulverizability was constant, it was found that the distribution of growth, yield, and roots are greatly influenced by the groundwater level control scheme.

From these results, it was suggested that the groundwater level should be managed properly throughout the year to maintain low permeability of the subsoil, and that the groundwater level control by a flexible overflow relief well has the possibility of a higher soybean yield.

Key Words: Soybean, flexible overflow relief well, multi-purpose paddy field, blossoming period, groundwater level control

DNA マーカー選抜を利用した 効率的な水稻育種選抜システムの確立

川本 朋彦¹⁾

キーワード：育種、QTL、水稻、選抜、直播栽培、DNAマーカー、低温苗立性

目 次	
1 緒 論	91
2 交配育種法による品種育成	
2-1 抄 録	93
2-2 緒 言	94
2-3 良質・良食味の銘柄米品種の開発	95
2-4 酒造好適米品種の開発	99
2-5 直播適応性品種の開発	104
2-6 まとめ	111
3 低温苗立性に関する QTL 解析	
3-1 抄 録	112
3-2 緒 言	112
3-3 Maratelli/あきたこまち後代 F ₃ 系統群 を用いた低温苗立性の QTL 解析	113
3-4 Maratelli/あきたこまち後代 F ₃ 系統群 を用いた低温発芽性, 低温伸長性の QTL 解析	116
3-5 Italica Livorno/あきたこまち後代 F ₃ 系統群 を用いた低温苗立性の QTL 解析	120
3-6 Italica Livorno/あきたこまち後代 F ₃ 系統群 を用いた低温発芽性, 低温伸長性の QTL 解析	122
3-7 まとめ	125
4 低温苗立性に関与する QTL の効果	
4-1 抄 録	126
4-2 緒 言	126
4-3 準同質遺伝子系統(NIL)の育成と解析	126
4-4 まとめ	130
5 DNA マーカーの育種選抜への利用	
5-1 抄 録	130
5-2 緒 言	131
5-3 DNA マーカー選抜による 準同質遺伝子系統(NIL)の育成	131
5-4 DNA マーカー選抜を利用した 効率的育種選抜システム	136
5-5 まとめ	139
6 総合考察	139
7 謝 辞	141
引用文献	142
Abstract	145

1 緒 論

秋田県は全国屈指の米所であり、稲作は秋田県農業の根幹と位置づけられている。良質米品種の導入や開発にも積極的で、1977 年から再開された育種事業ではあきたこまちをはじめとするいくつかの良質・良食味品種が育成され、秋田県産米の声価向上に大いに貢献してきた。こうした中、年々あきたこまちへの作付けが集中し、2006 年には水稻作付け全体の 87.7 % を占め、大きく偏った作付けとなっている(秋田農政事務所調べ)。一方、米価は下降傾向にあり 2005 年産あきたこまちの指標価格は 15,118 円と 1996 年産の 19,602 円と比較すると 4,484 円も下落しており(全国米穀取引・価格形成センター資料)、ブランド力の優位性を維持できない状況にある。そこで、JA 全農

あきたでは需要に対応した品種構成によるバランスの取れた作付け体系を図ることとし、2009 年にはあきたこまちの作付け割合を 70 % とする目標を立てた。その実現のためにはあきたこまちへの作付け偏重を是正し多様なニーズに対応するための水稻品種のラインナップが必要であり、その開発が急務となっている。現在、秋田県では、開発が必要とされる品種の育種目標として (1) 良質・良食味の銘柄米品種、(2) 新形質米品種、(3) 酒造好適米品種、(4) 超多収品種、(5) 直播適応性品種の 5 つを掲げ、水稻育種事業を推進している。

秋田県の農業の将来構想から、中でも省力化に適応できる品種の育成が強く望まれている。秋田県の農業就業人口は年々減少し、2005 年で 91,068 人と 10 年

※本論文は秋田県立大学大学院生物資源科学研究科審査学位論文(博士)を一部加筆修正したものである

¹⁾ 秋田県農林水産技術センター農業試験場

前の約 91 %、20 年前の約 68 %でしかない（農林業センサス）。また、農業就業人口に占める高齢者率が 2005 年は 59.3 %と年々増加しており（農林業センサス）、稲作の早急な省力化対策が必要である。そのため技術対策として、水稻経営への直播栽培の導入が有効であると考えられている。2006 年度に秋田県内地域振興局に設置した直播実証圃の成績から、直播栽培は移植栽培に比べ生産費が約 89 %、労働時間が約 62 %と大幅に削減されることが実証された（秋田県 2007）。このことから、直播栽培と移植栽培を組み合わせることにより、春作業で 6 日程度、秋の刈り取りでは 10 日程度作業期間が拡大できると試算され、水稻の規模拡大や経営の複合化も可能になる（秋田県 2007）。しかし、秋田県における直播栽培の普及率は極めて低く、2006 年度での直播栽培の面積は 507ha と水稻作付け面積全体の 0.54 %にすぎない（秋田県水田総合利用課調べ）。その原因の一つは春先の低温による出芽・苗立の不安定性にあり、既存の品種では克服できない問題である。従って、直播栽培を定着させるためには直播適応性品種の開発は不可欠であり（山本 1990）、このような品種の開発には低温での苗立性を改善することが重要である（堀末 1995）。

直播栽培における低温苗立性に関わる形質についての報告は多岐にわたり、低温発芽性（佐々木 1974）や生育初期の低温伸長性（Carnahan et al. 1972, Daivid and Peterson 1976, Li and Rutger 1980, Ogiwara and Terashima 2001）、苗腐病抵抗性（田中ら 1991）、中茎伸長性（勝田 1998）、土中出芽性（土壌還元抵抗性）（福田ら 1997、太田ら 2003a、山口ら 2007）、加齢による種子発芽能力の低下（Yamauchi and Winn 1996）などがある。

この中の低温苗立性について、堀末（1995）は日本品種内での変異が小さいため、この形質の改良には広範な遺伝資源の利用が不可欠であるとしている。低温苗立性の遺伝資源として Kasalath（Miura et al. 2001）、*Italica Livorno*（荻原 1993、Fujino et al. 2004）、*Arroz da terra*（Ogiwara and Terashima 2001）、*Ta Hung Ku*（太田ら 2003b）、阿波赤米（山口ら 2007）などの報告があるが、そのほとんどが、日本の栽培品種とは遠縁の外国稲や在来種である。このような遺伝資源を交配母本とし単交配により品種育成した場合、食味不良などの劣悪形質の随伴によって、後代は育成途中で棄却される場合が多く、現在、外国稲由来の直播適応性を導入した品種は普及に至っていない（堀末 1995）。随伴する劣悪形質を排除しつつ、有用形質のみを確実に導入するためには戻し交配が有効であるが（Harlan and Pope 1922）、低温苗立性のような正確な評価が困難な量的形質の改良について戻し交配を導入することは難しい。

近年、DNA の構造変異を検出する DNA マーカー

が開発されたことにより量的形質に関与する遺伝子座（QTLs : Quantitative Trait Locus）を同定することが可能となった（ Tanksley 1993, Yano and Sasaki 1997）。さらに、出穂期などの量的形質であっても、それを制御する複数の QTL の近傍にある DNA マーカーを指標とし、QTL を単独で有する準同質遺伝子系統（以降、NIL と呼ぶ。）の選抜が可能になってきている（Yano et al. 1997, Yamamoto et al. 2000, Lin et al. 2000）。このような DNA マーカーを活用すれば、低温苗立性のような量的形質であっても、これに関与する染色体を特定することが可能で、さらには、DNA マーカーを用いた系統選抜も可能になると期待される。

直播適応性に関連した QTL 解析の報告として低温発芽性（Miura et al. 2001, Suh et al. 2002, Fujino et al. 2004）、幼植物の低温枯死・萎縮抵抗性（Andaya and Mackill 2003）、土中出芽性（土壌還元抵抗性）（福田ら 1997、太田 2005）などがある。低温発芽性について、Fujino et al (2004) ははやまさり/*Italica Livorno* の後代において第 3、4 染色体上に計 3 カ所の QTL を検出しており、そのうち第 3 染色体上の QTL、qLTG-3-1 は遺伝子が単離され育種への利用が期待されている（藤野ら 2007）。また、土中出芽性（土壌還元抵抗性）について太田（2005）はどんとこい/*Ta Hung Ku* の後代を材料に第 2、5 染色体上に計 2 カ所の QTL を検出しており、平行して育成している系統の選抜に有効であるとした。一方、生育初期の低温伸長性は寒冷地の湛水直播栽培において最も苗立ち率に影響を及ぼす形質であり、ヨーロッパ品種などが有用な母本であるとする報告がある（Ogiwara and Terashima 2001）。佐藤ら（1999）は RFLP マーカーを用いて *Italica Livorno* と日本品種とを材料に QTL 解析を試みたが、多型頻度が低くヨーロッパ品種と日本品種間での QTL 解析は困難であることを報告している。

近年、遺伝子地図の作成には、RFLP（制限酵素断片長多型）に加え、SSR（単純反復配列）マーカー（赤木 2000、Akagi et al. 1997）や SNP（一塩基多型）マーカー（門奈 2004）など PCR 法で検出でき、かつ近縁品種間でも比較的多型を示す DNA マーカーが多数開発されている。特に SSR マーカーはその利用に関する情報環境の整備が進んでいる。イネでもこれまでコーネル大学を中心に多数の SSR マーカーが開発され（Akagi et al. 1996、Panaud et al. 1996、Chen et al. 1997、Temnykh et al. 2000、McCouch et al. 2002）、ゲノム解読の終了により現在では数千個ものマーカーが利用可能となっている。

ここまで述べてきたように DNA マーカー選抜は低温苗立性のような劣悪形質を多く持つ外国稲を遺伝資源とした場合、さらには複雑な遺伝様式となる量的形質を改良する場合に非常に有効であると考えられる。

さらに、これまでに多くの形質について DNA マーカーによるマッピングも進展してきている。しかしながら、このような DNA マーカーは実際の育種現場での選抜にはほとんど利用されていないのが現実である。その大きな理由として、限られた人員・予算の制約の中でコストと手間のかかるマーカー選抜は利用しにくいことがあげられる。マーカー選抜にかかるコストとして井辺ら (1999) は PCR マーカーの 1 つである CAPS マーカーを利用した場合、100 個体を 100 マーカーで選抜すると、最小で 701,000 円、最大で 1,352,000 円となり、さらに 5,000 個体を 2 マーカーで選抜すると、最小で 750,000 円、最大で 1,450,000 円と試算している。このような試算、あるいは人員、その労働時間と品種開発にかかる予算とを勘案すると、実際にマーカー選抜を利用するためには、遺伝子型解析の作業を最小限にした効率良い育種選抜システムの構築が不可欠である。

最初に、第 2 章では、秋田県農林水産技術センター農業試験場でこれまで交配育種により進めてきた水稻品種開発の取り組みと最近の育成品種について触れ、独自の育種戦略の構築と選抜法の改良が新品種の育成のためにいかに重要かを論ずる。さらに、直播適応性品種育成のための低温苗立性簡易検定を開発し、それを利用することによって直播適応性系統を育成したが外国品種の劣悪形質を随伴し実用性が必ずしも十分でなかったことから、新たな育種戦略の必要性を述べる。

そのため、第 3 章では外国品種が持つ低温苗立性のみを日本品種に導入し、その他の形質を排除する育種法を確立することを目指した。そこで、外国品種の Maratelli と Italica Livorno を材料に低温苗立性に関する QTL 解析をすることで低温苗立性に関与する染色体領域を明らかにするとともに、QTL を含む染色体領域を選抜する DNA マーカーの開発を行った。

第 4 章では、第 3 章で検出された QTL の効果を検証し近接する DNA マーカーの有効性を明らかにすることを目指した。そのため、QTL 領域を持つ NIL の遺伝子型と表現型との関係を解析し、第 3 章で見出された QTL 領域には低温での苗立性を高める作用があることを明らかにした。

第 5 章では、本研究で開発した DNA マーカーを実際に利用し、低温苗立性の QTL を持つ個体を選抜しながらあきたこまちを連続戻し交配することであきたこまちの低温苗立性に関する複数の NIL を育成する過程についてまとめ、この過程で得られた染色体構成の変化を基に、DNA マーカー選抜を利用した効率的育種選抜システムを提案する。さらに、このシステムを表現型選抜による従来法と比較することで、育種の効率化に効果があることを明らかにした。すなわち、寒冷地での直播栽培に不可欠な低温苗立性に優れるという形質のみを導入するための DNA マーカーを利用

した選抜システムを確立した。

、本論文は水稻育種に関して基礎から実際の品種育成までを含んだ総合的かつ包括的な研究であり、さらには、水稻育種法の新たな方向性を示すものである。

2 交配育種法による品種育成

2-1 抄録

交配育種法による品種育成のうち銘柄米品種の秋田 89 号と酒造好適米品種の秋田酒こまちの育成についてまとめ、初期世代から戦略的な特性評価を行うことの有効性を事例によって示した。さらに、直播適応性品種の育成では、低温苗立性簡易検定を開発して低温苗立性に優れる外国稲を選抜し、交配による日本品種への形質の導入と問題点についてまとめた。

良質・良食味の銘柄米について、秋田県農林水産技術センター農業試験場では育種事業を始めた当初から秋田県オリジナルのブランド品種の育成を目標とし、食味にこだわった選抜を続けてきた。その後、耐冷性、耐病性などの特性検定については検定法の改良と圃場規模の拡大、また、食味については物性および成分による多検体検定の導入により選抜の効率化を図り、2007 年には耐冷、耐病、安定多収で良質・良食味の秋田 89 号を新品種として登録出願するに至った。秋田 89 号は岩南 8 号/秋田 58 号後代から選抜・育成された中生の晩、やや長稈、中間型、良質、多収の粳種である。栽培上の欠点が少ないため作りやすく、既存の品種ひとめぼれに比べ多収である。玄米は千粒重が大きく大粒で粗タンパク質含有率が低い。品質、食味はあきたこまち並に良好である。

酒造好適米品種については、1988 年から秋田県農業試験場、秋田県醸造試験場、秋田県酒造組合の三者共同体制によって品種開発に取り組んできた。この中では、初期世代から酒造特性に重点を置いた選抜を行ってきたことが優れた酒造好適米品種の育成につながったものと考えられる。この酒造好適米品種開発の集大成として育成した秋田酒こまちが、2003 年に秋田県の奨励品種に採用されている。秋田酒こまちは秋系酒 251/秋系酒 306 後代から選抜・育成された中生のやや長稈穂重型の粳種で酒造好適米品種である。既存の品種美山錦に比べて短稈で倒伏に強く栽培しやすい。また、美山錦より玄米は大粒で外観品質に優れ、粗タンパク質含量が低い。心白発現が良好で精米特性、醸造特性が優れる。

低温苗立性の優れた直播適応性品種を育成することを目的とし、低温苗立性簡易検定の開発と遺伝資源の評価、さらにそれらを利用した系統育成を行った。低温苗立性簡易検定とは、乾籾播種した育苗箱を満水状態のコンテナに水没させ、冷水をかけ流しする方法である。低温苗立性簡易検定での草丈、葉齢、根長は

圃場直播栽培での出芽日数、苗立率との相関が高く、この方法が低温苗立性の簡易検定法として有効であることが示された。また、低温苗立性の遺伝資源として *Italica Livorno*、*Kakai203*、*Maratelli*、*Arroze da Terra*、秋系 467、S-101 が有望であることが示された。そこで、*Maratelli* と *Italica Livorno* を交配母本とし後代を低温苗立性簡易検定で選抜することで 15 系 2181 と秋系 580 の 2 系統を育成した。これらの系統は優れた低温苗立性を示し、外国稲の持つ低温苗立性を交配によって日本稲に導入することに成功した。しかし、2 系統とも玄米品質が極めて不良であるなど実用品種としては不十分であった。この原因として外国稲の持つ劣悪形質と低温苗立性とを分別して選抜できなかったことが示唆され、この課題を解決するために新たな育種戦略の構築が必要であると考えられた。

2-2 緒言

秋田県における水稻の交雑育種は 1931 年 (昭 6) ~ 1941 年 (昭 16) の第 1 次県単育種事業から始まる。この間に秋田 1 号から秋田 25 号まで育成され、これらの中から秋田 1 号、秋試 2 号、秋田 7 号が奨励品種に採用されている。第二次世界大戦によって秋田県での育種事業は中断された。この間、国及び指定試験地制度によるいわゆる農林番号系統が各県の奨励品種決定試験に義務的に配布されていたため、それらの中から優良品種を選出することに力を集中してきた。しかし、1960 年代後半に始まる米の生産過剰基調の中で 1970 年 (昭 45) には生産調整 (減反) が開始され、以降、各県 (産地) 独自のうまい米品種が求められるようになった。育種には長い年月と経費を要することから様々な議論があったが、県内の農業団体の要望を受けるかたちで 1977 年 (昭 52) から秋田県独自の育種事業が再開された (1985 畠山)。

育種事業再開から 7 年後の 1984 年 (昭 59) に県単育種初の成果として育成第一号のあきたこまち (秋田 31 号) が奨励品種に採択された。このあきたこまちが誕生してから 20 年以上になるが、今や全国的な品種として、秋田県産米の声価向上に大いに貢献している。また、あきたこまちの登場以来各地で銘柄米品種を目指した育種が開始され、産地間競争激化のきっかけとなっている。このような中、品種の果たす役割はますます大きくなってきているが、秋田県農林水産技術センター農業試験場では単に良食味品種であるということだけではなく、米作りの基本は生産現場にあるということを念頭に置いた育種を進めてきた。そのため、秋田県では、(1) 良質・良食味の銘柄米、(2) 新形質米、(3) 酒造好適米、(4) 超多収品種、(5) 直播適応性品種の 5 つを米の品種改良の柱として育種事業を進めている。

良質・良食味銘柄米は、主食である米として最も重

要な性質であり、消費者ニーズに合致したものである。秋田県で育成されたあきたこまちはその優れた品質・食味が徐々に消費者から認められ、全国的なブランド品種にまで成長した。その後、たかねみのり (1984 年奨励品種採用)、あきた 39 (1991 年奨励品種採用)、でわひかり (1994 年奨励品種採用)、めんこいな (1999 年奨励品種採用) などの良質・良品米が育成されてきた。

その一方で、米の需要を拡大するためにこれまで利用されていない新しい形質を持つ米や食用以外に利用される米の品種、いわゆる新形質米品種の開発も行ってきた。これまでに紫黒糯品種小紫と低アミロース品種淡雪こまちの 2 品種を育成した。小紫は玄米の表面に紫黒色の色素を有する糯品種であり、この天然色素を用いたお菓子や調理米飯への利用、ポリフェノールを多く含むことから機能性食品への利用が考えられる (松本ら 2006)。淡雪こまちはアミロース含有率が低く粳と糯の中間的な性質を持つ品種である。玄米は少し白く濁り炊飯米は強い粘りがあるため、主に冷凍米飯などに向くとされる。また、白米の 150 % の加水量にすることにより、炊飯の際の浸漬時間を短縮した早炊き米にも利用できる (大久ら 2007)。これら品種は山間地域も含め地域に根ざした特産的な品種として活用することにより、地域の活性化とこれらの加工を通じた地場産業の振興に貢献するものと考えられる。

また、米を原料とした日本酒は秋田が誇る製品であり、その原料である酒米に米所である秋田県のオリジナル品種を用いることでより地域特産化し競争力を高めることが期待される。良食味米と平行して酒造好適米新品種の育成に取り組み、秋田県初の吟醸酒専用の酒米として吟の精 (1992 年奨励品種) の育成を皮切りに、秋の精 (1999 年奨励品種)、美郷錦 (2001 年認定品種) を育成し、さらには集大成とも言える秋田酒こまち (2000 年奨励品種) の育成に至った。

さらに、超多収品種は国内の穀物自給率の低下に対する不安や飼料穀物の安定的生産に対する期待からその早期育成が望まれている。秋田県農林水産技術センター農業試験場でもヨネシロやアキヒカリなどを交配母本として籾数増加による超多収品種の育成を目指したが、既存品種の収量性を大幅に上回る品種の育成には至らなかった。これは、武田ら (1984) が指摘するところ、これ以上の籾数増加を図っても過繁茂を引き起こしやすく収量向上には結びつかないためであると考えられた。そこで、玄米の大粒化によるシンクサイズの増加に着目し、大粒品種オオチカラを交配母本に超多収品種秋田 63 号を育成した。秋田 63 号は寒冷地において粒大の増加により飛躍的な収量増を達成した初めての品種であるといつてよい。また、大粒性の導入に伴う稈長の増加や穂数、一穂籾数の減少は全くみられず、稈長、穂数はトヨニシキと同程度、一穂当た

りの粒数はむしろトヨニシキより多い。収量性は極めて高く、既存の品種トヨニシキやあきたこまちに比べ標準的な施肥条件で約 20 %も多収である。また、土壌窒素供給量が少ない条件でも高い生産性を示し、窒素生産効率が高い新しいタイプの超多収品種である。

農家経営への直播栽培の導入は稲作の生産費削減や規模拡大などが可能となるため、直播適応性品種の開発が急がれている。そのためには秋田県のような寒冷地でも播種後速やかに出芽するような低温苗立性の導入が必要である。秋田県農林水産技術センター農業試験場ではこれまでにいくつかの低温苗立性に優れた外国稲を交配母本として用いるとともに低温苗立性の簡易検定法を開発し選抜を行ってきた。しかし、従来の特性検定、圃場選抜だけでは外国稲の不良形質を取り除くことは難しく、未だ実用的な系統の作出には至っていない。

本章では秋田県農林水産技術センター農業試験場で進めてきた水稻の交雑育種の成果として育成してきた代表的な品種を中心に育成経過や特性についてまとめるとともに、育成に導いた選抜技術の重要性について述べる。

2-3 良質・良食味の銘柄米品種の開発

育種事業再開から 2007 年現在までに銘柄米品種として一般主食用品種 6 品種、糯品種 2 品種を開発した。その中で、先述したとおり育成第一号のあきたこまちが全国的なトップブランド品種となり、県内ではあきたこまちへの作付け集中が進んだ。一品種への集中は気象変動や病害虫の発生に対して危険であるとともに、収穫作業などが重なって刈り遅れによる品質の低下を招いたり、機械の利用効率向上を妨げたりする。そこであきたこまちを中心とした早生から晩生までの良食味品種ラインナップの開発を目指してきた。具体的にはあきたこまち並の品質、食味を持ち、早生ではたかねみより並以上の耐冷性、中生から晩生はトヨニシキ並以上の耐病性と収量性を併せ持つような品種を揃え、一つの品種グループとして県産米全体のレベルアップを図るという方針で進めてきた。

このように銘柄米品種の育種目標は複数の形質が全て一定水準以上を求められる難易度の高いものである。これを達成するためには、できるだけ育種規模を大きくし、その中から精度の高い検定法で優良系統を選抜する必要がある。しかし、秋田県農業試験場（現秋田県農林水産技術センター農業試験場）が秋田市仁井田にあった 1999 年までは、耐冷性、耐病性などの特性検定については地理的条件や検定圃場規模の不足など障害が多く十分な選抜ができずにいた。また、食味検定についても食味官能試験が中心で多検体を検定する方法がなかった。そこで、特性検定については検定法の改良などで検定精度を向上させ、さらに秋田県

農業試験場が秋田市雄和に移転したのを機に圃場規模を拡大して若い世代からの選抜を可能にした。食味検定についても新しい機器を導入し多検体を簡便に検定することによって選抜の効率化を図った。

このように秋田県農業試験場（現秋田県農林水産技術センター農業試験場）では選抜手法に少しずつ改良を加えながら、育種目標の達成を目指してきた。このような方針のもとで育成された品種の一つとして秋田 89 号が挙げられる。秋田 89 号は、耐冷性、耐病性ともに強く栽培しやすいこと、収量性が高いことなどから安定多収が可能な良質・良食味品種である。

本節では選抜手法の改良の例を挙げて重要性を述べるとともに、その成果として育成された秋田 89 号について紹介する。

2-3-1 選抜手法の改良

1) 耐冷性検定

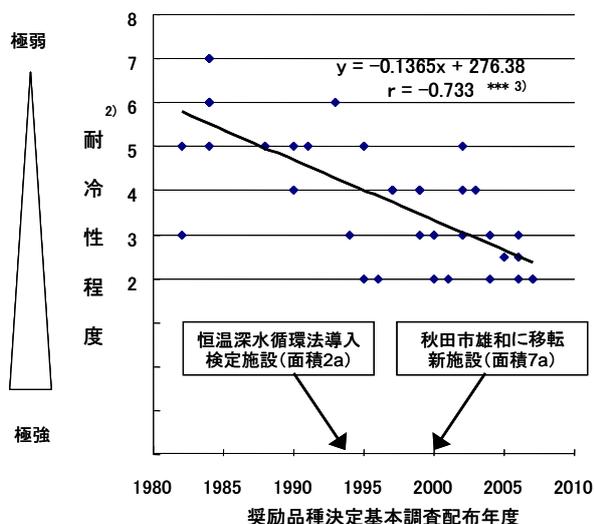
秋田県農業試験場（現秋田県農林水産技術センター農業試験場）の耐冷性検定は 1965 年の冷害を契機に地下水掛け流し圃場と 4 基の人工気象室が設置されたのが始まりである（秋田県農業試験場 1991）。地下水掛け流し圃場は浅水でしかも水温制御できなかったため、検定精度が低かった。また、人工気象室は温度制御は容易であるが多検定の検定には向かなかった。そこで、1994 年に恒温深水循環法を採用した約 2a の耐冷性検定圃場を新設した。温度制御された水を循環ししかも深水にすることで、検定精度は飛躍的に向上し、ある程度の系統選抜はできるようになった。さらに、2000 年に秋田県農業試験場が秋田市雄和に移転してからはやはり恒温深水循環方式の耐冷性検定圃場を新設し（第 2-1 図）（佐藤ら 2000）、圃場面積を約 7a に拡大することで若い世代の系統選抜や雑種集団の個体選抜も可能にした。

第 2-2 図に秋田県農業試験場（現秋田県農林水産技術センター農業試験場）で育成し奨励品種決定基本調査に配布した一般主食用粳系統の耐冷性程度の推移を示す。配布系統の耐冷性程度は年次が増すごとに有意に強くなり、選抜手法の改良や検定圃場の規模拡大が耐冷性のレベルアップにつながっていることがわかる。



第2-1図 恒温深水循環法による耐冷性検定

- a 冷水掛け流し処理中の検定圃場
 圃場規模：69m(横4.6m、縦15.0m)×8区画
 冷水生産：空冷チラー(株式会社荏原製作所)による
 水温制御：電動バルブが自動開閉して供給する冷水量を調節
 灌漑水循環方式：循環ポンプにより毎分7.2m³の灌漑水を循環
 処理水温：約19.0℃
 水深：約28cm
 処理期間：早生の幼穂形成期～晩生の穂揃期(7月上旬～9月上旬)
 b 冷水掛け流し処理後の不稔発生の様子
 耐冷性“中”の系統に比較し“極強”の系統の不稔が少ない



第2-2図 秋田県農林水産技術センター農業試験場が育成した奨励品種決定基本調査配布系統¹⁾の耐冷性程度の推移

- 1)一般主食用梗系統のみを抽出した
 2)2:極強 3:強 4:やや強 5:中 6:やや弱 7:弱 8:極弱
 3)***: 0.1%水準で相関有り

2) いもち耐病性検定

葉いもち耐病性の検定は、当初、折衷式苗代(揚床)方式で晩播、幼苗検定により実施し、後に畑苗代晩播方式の幼苗検定を行うようになった(秋田県農業試験場 1991)。しかし、秋田県農業試験場が秋田市仁井田にあった 1999 年までは、圃場が海岸部であり風が強かったため、このような方式では発病が少なく検定精度も低かった。そのため、1989 年からは約 2a の圃場に灌水装置を付設した簡易パイプハウスを建設し、上部を遮光ネット、周囲を防風ネットで覆うことにより均一な発病を促進し検定の精度を高めた(秋田県農業試験場 1991)。しかし、検定精度の向上には成功したものの、圃場規模が小さいために試験区を 400 区程度しか設置できず世代が進んだ系統の耐病性評価にとどまっていた。2000 年に秋田県農業試験場が秋田市雄和に移転したのを機に約 5a の葉いもち病検定圃場を新設した(第 2-3 図)。この圃場は灌水装置、防風ネットが設置されており精度の高い検定ができ、しかも十分な圃場面積であるため約 1,200 区の試験区を

設置できる。このことにより、若い世代からの選抜が可能にした。

穂いもち耐病性検定についても同様で、秋田県農業試験場が秋田市仁井田にあった 1999 年までは圃場規模が小さく若い世代からの系統選抜はできなかった。雄和に移転後、約 12a の検定圃場が新設されたことにより、検定精度が向上、若い世代からの系統選抜も可能になった。

以上のような検定法の改良や圃場規模の拡大が育成系統全体のいもち耐病性レベル向上を実現し、その結果、耐病性の秋田 89 号の育成につながったものと考えられる。



第2-3図 畑苗代晩播方式による葉いもち耐病性検定

- a 播種作業の様子
 畑苗代に直接播種(6月中旬)
 防風ネット・スプリンクラーを設置し自然発病誘発
 b 調査適期の検定圃場
 5葉期前後に発病程度調査、耐病性程度を判定

3) 食味検定

食味の優劣は最終的には人間が実際に食べて判断するため、食味官能試験がもっとも精度の高い検定法であるといえる。しかし、食味官能試験は手間がかかるため、あまり多くの系統を検定することは不可能である。これまでの実績を見ると秋田県農林水産技術センター農業試験場では年間 120 ~ 130 系統を食味官能試験に供試するにとどまっている。そのため、多検体を簡便に評価できる検定法が必要であり、物性による選抜や化学成分による選抜などが利用されている。

物性による選抜としては、1977 年の育種事業再開当初からピーカーによる炊飯光沢検定を行い育成系統の初期世代系統選抜に利用している。また、1978 年



第2-4図 物性および化学成分による食味検定

- a テクスチュロメーター(株式会社全研 GTX-2-IN型)
- b 味度メーター(株式会社東洋精米所 MA-90型)
- c アミロースオートアナライザー(フランルー社 SOLIDprep III型)
- d タンパク質含有率測定用近赤外線測定装置(フランルー社 InfraAlyzer500型)

にはテクスチュロメーター(第2-4図 a)を、1996年には味度メーター(第2-4図 b)を導入し炊飯米の物理性を測定することで選抜の資料とした。テクスチュロメーターによる選抜は秋田県の育種事業の初期に効果を発揮し、代表的な良食味品種あきたこまちの育成に貢献した(眞崎 1983、1984)。

化学成分による食味の評価として、米の主成分であるデンプン(特にアミロース)およびタンパク質含有率に着目した知見が多く見られる。精米のアミロース含有率は低いほど良食味であり(稲津 1988)、また、精米中のタンパク質が高くなると食味は低下する(松江ら 1996)との報告がある。秋田県農業試験場でもこれらを指標とした選抜を採用し、1990年にはアミロース含有率測定用のオートアナライザー(第2-4図 c)を、1996年にはタンパク質含有率測定用の近赤外線測定装置(第2-4図 d)を導入した。

これら物性あるいは化学成分による検定を導入することにより、年間300~400系統の食味評価が可能になった。このことにより、若い世代からの食味選抜が可能になり育成系統全体のレベルアップにつながっ

た。また、複数の評価法を採用することで検定の精度を飛躍的に向上させることができたと考える。

2-3-2 秋田89号の育成

1) 育成経過

第2-1表に秋田89号の育成経過の概略を示す。秋田89号は1995年に岩南8号を母、秋田58号を父として人工交配し、選抜、固定を進めてきた系統である。母本である岩南8号はあきたこまちを母とし良質・良食味であり、耐倒伏、耐いもち病の栽培しやすい系統であった(岩手県立農業試験場県南分場 1995)。しかし、奨励品種決定基本調査では収量性が特に低いなど秋田県には適応しないとされた(秋田県農業試験場 1997)。一方、父本の秋田58号は交配組合せが東北143号(ひとめぼれ)/秋田39号(あきた39)であり、めんこいな兄弟にあたる。安定多収で耐冷性が強く良質・良食味の優れた系統であったが、いもち病に弱い欠点があった(秋田県農業試験場 1996、秋田県農業試験場 1997)。育種の主目標は岩南8号の耐倒伏性、耐病性と秋田58号の収量性、耐冷性を併せ持った、良質・良食味品種であった。

交配の結果、114穎花中50粒が結実し、F₁、F₂を翌1996年に温室栽培した。1997年F₃で個体選抜を行い、1,258個体から圃場で51個体を選抜、さらに室内で玄米の外観品質から36個体を選抜した。1998年にF₄で単独系統選抜を行い、2000年F₅から系統群系統として選抜を続け、生産力検定や特性検定を開始した。2002年から秋系544の系統名を付して系統適応性検定試験に供試し、2004年F₉からは秋田89号の系統名を付して奨励品種決定本試験に供試して検討を重ねた。その結果、栽培特性、品質、食味いずれも非常に優れ、極めて有望と認められて2007年11月にはゆめおばこの品種名で種苗法に基づく品種登録の申請をした。

第2-1表 「秋田89号」の育成経過

年次	世代	育成経過
1995	交配	結実50粒/交配穎花数114粒
1996	F ₁ ・F ₂	温室栽培
1997	F ₃	個体選抜 室内36株/圃場51株/栽植1,258株
1998	F ₄	系統選抜 耐冷性検定
1999	育成休止	
2000	F ₅	生産力検定
2001	F ₆	葉いもち・穂いもち検定
2002	F ₇	味度メーター、アミロース、タンパク質、白度
2003	F ₈	食味官能試験
2004	F ₉	秋系544 秋田89号命名 奨励配布開始
2005	F ₁₀	
2006	F ₁₁	
2007	F ₁₂	品種登録申請

注: 1999年は農試移転に伴い種子保存のうえ育成休止

第2-2表 「秋田89号」の主要特性概要

品種名	秋田89号	ひとめぼれ	めんこいな
早晚性	中生の晩	中生の晩	中生の晩
草型	中間型	偏穂数型	中間型
出穂期(月日)	8.6	8.6	8.5
成熟期(月日)	9.19	9.19	9.18
稈長(cm)	74	76	72
穂長(cm)	18.9	18.4	18.6
穂数(本 ^m ⁻²)	402	448	401
稈の細太	中	やや細	中
稈の剛柔	やや剛	やや柔	やや剛
芒の多少・長短	極少・短	やや少・短	少・短
穎色	黄白	黄白	黄白
ふ先色	白	白	白
穂軸の抽出程度	中	中	中
粒着密度	中	やや疎	中
脱粒性	難	難	難
いもち耐病性			
遺伝子型	<i>Pia</i> , <i>Pii</i>	<i>Pii</i>	<i>Pia</i>
葉いもち	中	やや弱	やや弱
穂いもち	やや強	やや弱	やや弱
白葉枯耐病性	やや強	中	弱
耐倒伏性(0~5)	やや強(0.8)	やや弱(1.5)	やや強(0.5)
耐冷性(障害型)	極強	極強	中
穂発芽性	中	難	中
収量(kg ^a)			
標肥	66.0	62.3	68.3
多肥	66.0	61.1	70.7
対標準比			
標肥	106	100	110
多肥	108	100	116
玄米千粒重(g)	24.3	22.9	22.8
玄米外観品質(1~9)	上中(2.9)	上中(2.8)	上中(4.0)
玄米粗蛋白質含有率(%)	7.2	7.8	7.6

1)調査場所及び年次:

秋田県農林水産技術センター農業試験場奨励品種決定調査2004~2006年の平均値

2)玄米の収量及び対標準比の多肥を除き標肥区の成績

3)特性のランクは種苗特性分類基準による

4)玄米収量の標肥区は基肥N-P₂O₅-K₂O 各0.5kg^a⁻¹, 減数分裂期追肥N 0.2kg^a⁻¹多肥区は基肥N-P₂O₅-K₂O 各0.7kg^a⁻¹, 減数分裂期追肥N 0.2kg^a⁻¹

5)収量調査の選別ふるい目は1.9mm

2) 主要特性

第2-2表に秋田89号の主要特性概要を示す。秋田89号は出穂期、成熟期ともにひとめぼれ、めんこいな並で、熟期は"中生の晩"に属する。稈長はめんこいなより長くひとめぼれ並の"やや長稈"、穂長はひとめぼれ、めんこいな並、穂数はひとめぼれより少なくめんこいなとほぼ同じで草型は"中間型"に属する。秋田89号の稈の細太は"中"、剛柔は"やや剛"、芒は"極少・短"で穎色は"黄白"、ふ先色は"白"である。止葉の直立程度は"やや立"で穂軸の抽出は"中"、脱粒性は"難"である。

秋田89号のいもち病原性抵抗性遺伝子型はレース検定の結果から *Pia* と *Pii* を所有するものと推定され

第2-3表 「秋田89号」の食味関連成分に関する分析結果

品種・ 系統名	味度値 ¹⁾								白米アミロース含量 ²⁾ (%)				玄米粗タンパク質含量 ³⁾ (%)			
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	平均	2001	2002	2003	平均	2004	2005	2006	平均
秋田89号	77.2	89.8	89.2	75.2	85.4	78.1	76.6	81.6	17.0	18.3	19.2	18.2	7.5	7.2	7.0	7.2
ひとめぼれ	79.2	90.6	91.5	72.6	83.5	82.9	78.5	82.7	18.2	18.5	19.4	18.7	8.2	7.7	7.5	7.8
めんこいな	75.3	82.3	85.8	72.8	70.2	74.8	66.8	75.4	17.7	18.3	19.6	18.5	7.9	7.4	7.4	7.6
あきたこまち	81.0	90.3	85.4	78.3	82.2	76.4	72.2	80.8	16.3	17.8	18.7	17.6	8.1	8.0	7.8	7.9

1)味度値は味度メーター(東洋精米製作所)により測定

2)白米アミロース含量はオートアナライザー(ブランルーベ社)により測定

3)玄米粗タンパク質含量はインフラライザー500(ブランルーベ社)により測定

た。圃場抵抗性は葉いもち、穂いもちともにひとめぼれ、めんこいなより強く、それぞれ"中"、"やや強"である。また、白葉枯病耐病性もひとめぼれ、めんこいなより強く"やや強"と判定された。秋田89号の耐倒伏性はひとめぼれより強く"やや強"である。障害型耐冷性はひとめぼれ並の"極強"、穂発芽性はめんこいな並の"中"と判定された。



第2-5図 「秋田89号」の玄米

玄米収量(篩目1.9mm)は標肥区(基肥 N-P₂O₅-K₂O 各0.5kg^a⁻¹, 減数分裂期追肥 N 0.2kg^a⁻¹)、多肥区(基肥 N-P₂O₅-K₂O 各0.7kg^a⁻¹, 減数分裂期追肥 N 0.2kg^a⁻¹)ともにひとめぼれより明らかに多く多収品種である。第2-5図に秋田89号の玄米写真を示す。玄米はひとめぼれ、めんこいなに比べ千粒重が大きいのが特徴で、外観品質に優れ粗蛋白質含有率は少ない。

このように秋田89号は耐倒伏、耐病、耐冷性に優れ多収で品質も良好であるため、安定して良質米の生産が期待できる。

3) 食味関連成分および食味官能試験

第2-3表に食味関連成分に関する分析結果を示した。味度値(東洋味度メーターによる測定値)はめんこいなより安定して高く、あきたこまち、ひとめぼれと同程度であった。乾物あたりの白米アミロース含有率は18.2%でひとめぼれ、めんこいなより低いがあきたこまちよりやや高かった。また、乾物あたりの玄米粗タンパク質含有率は7.2%でひとめぼれ、めんこいな、あきたこま치의いずれよりも低く低タンパク質であった。

第2-4表に食味官能試験結果を示す。2002年~2007

第2-4表 「秋田89号」の食味官能試験結果

試験 年月日	基準品種	総合	外観	香り	味	粘り	硬さ	パネラー 数
2002/1/17	あきたこまち	-0.190	-0.238 *	-0.190 **	-0.095	0.190	-0.429 *	21
2003/1/9	あきたこまち	-0.125	0.000	-0.167	-0.167	0.125	-0.500 **	24
2003/12/8	あきたこまち	-0.083	-0.208	-0.167 *	0.000	0.042	-0.125	23
2003/12/12	あきたこまち	-0.250	-0.500 **	0.000	-0.167	-0.167	-0.292 *	24
2004/10/13	あきたこまち	-0.083	-0.083	-0.042	-0.042	-0.083	-0.667 **	22
2004/11/19	あきたこまち	-0.125	-0.042	0.083	-0.083	0.208	-0.500 *	22
2004/12/15	ひとめぼれ	0.042	-0.083	0.083	0.250	-0.083	-0.292	22
2004/11/25	はえぬき	0.042	0.000	-0.083	0.125	0.208	-0.583 **	22
2005/11/9	あきたこまち	-0.067	-0.067	-0.067	0.000	-0.267	-0.333 *	15
2005/11/21	あきたこまち	-0.042	-0.167 *	0.083	0.000	0.000	-0.458 **	23
2006/11/10	あきたこまち	0.083	0.208 *	-0.167 *	0.042	0.042	-0.333 *	22
2006/11/15	あきたこまち	-0.056	-0.167	-0.111	-0.056	-0.167	-0.444 *	17
2007/2/16	ひとめぼれ	-0.050	-0.150	-0.100	-0.100	-0.100	-0.250	20
2007/2/16	ひとめぼれ	-0.200 *	-0.100	0.000	-0.150	-0.200 *	-0.250	20

注) 総合、外観、香り、味は+3(基準よりかなり良い)~-3(基準よりかなり不良)
粘りは+3(基準よりかなり強い)~-3(基準よりかなり弱い)
硬さは+3(基準よりかなり硬い)~-3(基準よりかなり柔らかい) で評価した
**は1%水準で、*は5%水準で有意差があることを示す
パネラーはいずれも秋田県農林水産試験場職員

年にあきたこまち、ひとめぼれ、はえぬきと比較して14回食味官能試験を行ったところ、総じて基準品種と有意な差がなく良食味であるという結果であった。また、特徴的な点は基準品種と比較して柔らかい傾向にあり、あきたこまちとは異なるふっくらとした食感であることである。

2-3-3 考察

本節で目指した良質・良食味の米の品種の育成を達成できた最大の要因は育種戦略によるものと考えられる。中でも徹底した特性検定と食味にこだわった選抜が挙げられる。その一方で、特性検定については秋田県農業試験場が秋田市仁井田にあった1999年までは、十分な規模の耐冷性検定、耐病性検定施設がなかったことや圃場の地理的な要因で障害不稔やいもち病の自然発生もほとんど見られなかったことから十分な選抜ができなかった。そのため、この間の育成品種の中で耐冷、耐病性品種といえるのは早生のたかねみのりのみである。2000年に秋田県農業試験場が秋田市雄和に移転してからは耐冷性検定と耐病性検定の両施設が新たに設置され、それらを最大限に活用した選抜によって耐冷性と耐病性についても育成系統全体のレベルがかなり向上してきたことも品種として完成させるに至った大きな要因と考えている。

特に、食味に関する選抜はたかねみのり(1984年奨励品種採用)、あきた39(1991年奨励品種採用)、でわひかり(1994年奨励品種採用)の育成のころは目視による炊飯光沢、テクスチュロメーターによる解析、食味官能試験などであったが、めんこいな(1999年奨励品種採用)の育成では味度メーターによる解析、アミロース、タンパク質の成分分析を加え徐々に選抜

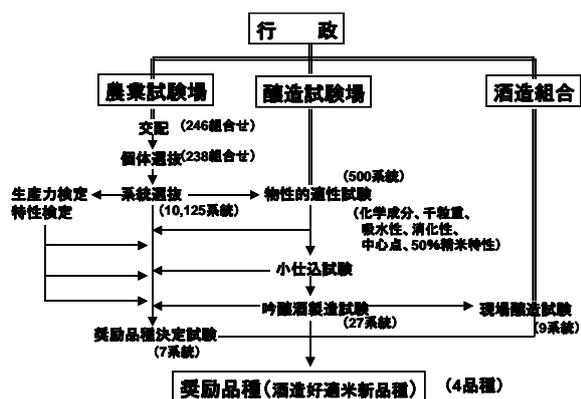
の精度を向上させていった。つまり、アミロースやタンパク質の分析、炊飯米の表面光沢などによる1次選抜で有望な系統をある程度絞り込み、残った系統について人間の感覚、いわゆる食味官能試験によって最終判断を下す方法である。

このような明確な選抜形質を設定した育種戦略とそのための選抜方法の向上を図ることによって、秋田89号のような良品質・良食味の品種の育成が達成されたと考えられる。

秋田89号は優れた良品質・良食味であるとともに様々な栽培適性をかねそなえた期待の新品種であり、今後、秋田県農業に大いに貢献するものと確信している。現在、育成中の系統も耐冷性、耐病性や品質、食味、いずれもかなり高いレベルにあり、秋田89号に続く優良品種の誕生が期待されることである。

2-4 酒造好適米品種の開発

1977年に水稻育種事業を再開した当初から銘柄米と併せ酒米の育種にも着手し、地域特産的な酒米品種の育成を目指してきた。しかしながら、当時の酒米育種では、主に玄米の粒大や心白の発現、栽培特性を中心とした選抜を行っており、育成の最終段階で依頼した醸造試験では良い結果を得ることができず、初期段階における酒造適性検定の必要性が示唆された。そこで秋田県農業試験場(現秋田県農林水産技術センター農業試験場)、秋田県醸造試験場(現秋田県農林水産技術センター総合食品研究所)、秋田県酒造組合の三者共同体制による酒米品種開発が提案され、1988年から酒造好適米新品種開発事業がスタートした。実需者や酒加工の専門家に育成の初期段階から参加してもらい酒造適性に重点をおいて選抜をすれば、選抜効率



第2-6図 酒造好適米新品種開発事業の仕組みと経過

が向上し育種規模を一挙に拡大できるものと期待された。育種目標は吟醸酒用酒米とし、酒造好適米として評価の高い山田錦と同等の醸造特性と秋田県のような寒冷地に適した栽培特性を併せ持った品種の育成を目指した。それまで秋田県農業試験場では、既存の酒米奨励品種である美山錦の栽培特性の改善を基本に考えていたが、醸造試験場、酒造組合との共同開発の実施により、戦略を持った酒米育種に取り組むことが可能になったと言える。

2-4-1 酒造好適米新品種開発事業の仕組みと経過

第2-6図に酒造好適米新品種開発事業の仕組みと経過を示す。事業における各機関の分担は、秋田県農業試験場が交配から始まる通常の育種作業を進める中で、秋田県醸造試験場は原料米分析及び試験醸造を、酒造組合は現場仕込規模での試験醸造を担当した(畠山1994)。

こうして、初期世代系統でも固定度を見て原料米分析に供試すれば、秋田県醸造試験場から年度内に検定結果がフィードバックしてくるので選抜効率は向上し育種規模の拡大が可能になった。交配、個体選抜、系統選抜いずれも5～6倍に拡大した。

2002年までの15年間に行われた酒米品種の開発では、交配数は246組合せ、選抜に供試した系統数は10,125系統に上る。また、酒造適性検定には500系統以上を供試し、さらに次の段階の兵庫県産山田錦を対照とした白米総使用量(麴米と掛け米の合計)100～200kg規模の吟醸酒製造試験には27系統が供試さ

れ、そのうち9系統について現場規模の醸造試験が行われた。現場醸造は1回1工場の評価で終わるのではなく、複数年、複数工場での実施を前提として行った。この結果、地方番号を付して奨励品種決定試験への供試に至った系統は7系統となり、うち4系統が秋田県の奨励(認定)品種に採用されている(第2-5表、第2-7図)(畠山1994)。

酒造好適米新品種育成事業は5年毎に区切りをつけ第1期から第3期まで行われた。第1期では主に固定の進んだ手持ちの系統の酒造特性を検定するとともに将来のための交配母本の選定、第2期では初期世代の系統から酒造特性を中心とした選抜を加えた。さらに第3期では栽培特性、酒造特性検定の精度の向上と選抜スキームの見直しを行い、育成の効率化を図った。このような取り組みにより、第1期では吟の精、第2期では秋の精、美郷錦、第3期では秋田酒こまちの育成に至った。

2-4-2 酒造好適米開発事業における育成品種

酒造好適米開発事業において4品種が育成された。育成第1号である吟の精は1992年本県初の吟醸酒専用の酒米として奨励品種に採用された。倒伏にはかなり強く大粒で外観上の心白の発現は極めて少ないのが特徴である(第2-5表、第2-7図)(加藤ら1994)。しかし、玄米の横断面で観察した場合、点状に見える小さな心白部分や心白として観察できないが心白構造に似ている潜在的な心白部分が多く存在し、酒造に好影響を与えているとされている(高橋ら1999a)。吟の精は高度精白における精米特性(無効精米歩合、整粒歩合)で山田錦より優れ、吟醸酒用酒米としての適性を持ち、淡麗タイプの清酒ができやすい酒造原料米とされている(第2-5表、第2-7図)(高橋ら1999b)。また、秋の精は1999年奨励品種に採用され、耐倒伏性が強く、収量性もあり栽培し易い品種である。玄米の蛋白質含量が低いのが特徴的で、吟醸酒用酒米としては山田錦より劣るが、栽培上も原料米としても美山錦を越える普通酒用の酒米として位置付けられている(第2-5表、第2-7図)(眞崎ら1999)。さらに、美郷錦2001年認定品種に採用なされ、山田錦を直接の交配親として脱粒性を改善し、秋田県の気象条件に適応

第2-5表 酒造好適米新品種開発事業での育成品種

品種名	奨励(認定)品種採用年	草型	熟期	特徴
吟の精	1992	やや長稈 穂重型	中生の早	大粒, 高度精白可能, 吟醸酒用
秋の精	1999	やや長稈 穂重型	中生の中	多収, 低蛋白, 普通酒用
美郷錦	2001	長稈 穂重型	中生の中	低蛋白, 山田錦タイプ, 地場産業的高級酒用
秋田酒こまち	2003	やや長稈 穂重型	中生の中	「山田錦」に匹敵する醸造特性, 栽培特性に欠点が少ない



第2-7図 酒造好適米新品種開発事業における育成品種の玄米(下段4品種)

可能な早生化に成功した初の品種である。耐倒伏性、耐冷性、いもち耐病性はどれも弱く、栽培が難しい品種と言える。心白発現が良好で腹白は少ない良質品種であり、製成酒の酒質評価も良好で純米吟醸酒等の高級酒用として期待されている(第2-5表、第2-7図)(眞崎ら 2004)。これら三品種はいずれも栽培特性あるいは酒造特性に特徴を持つ優れた品種であるが、当初の目標に達したとは言い難かった。

そして、事業最終の第3期に入り秋田酒こまちの育成に至った。秋田酒こまちは、栽培上の欠点が少なく、かつ山田錦並の醸造特性を持つと評価され、当初の目標を始めて達成した系統であると言ってよい。15年間にわたる酒造好適米新品種開発事業の集大成とも言える品種である。

2-4-3 酒造好適米新品種開発事業の集大成

—秋田酒こまち—

1) 育成経過

第2-6表に秋田酒こまちの育成経過の概略を示す。秋田酒こまちは1992年に秋系酒251を母、秋系酒306を父として人工交配し、選抜、固定を進めてきた系統である。母本である秋系酒251は1990年に試験醸造、1991年には併せて現場醸造まで行われ、精米特性、

製麴特性ともに良く特に製成酒の評価が高い有望系統であった。しかし、草型が劣り倒伏しやすく収量性が特に低いなどの栽培特性上の欠点が大きく、普及品種とすることを断念した系統である。一方、父本の秋系酒306は酒米としては短稈で倒伏に強く収量性が高いなど栽培特性の優れた系統であったが、腹白状心白が多いため精米時に碎米しやすく、また玄米粗タンパク質含有率が高いなど醸造特性上の欠点があった。育種の主目標は秋系酒251の優れた醸造特性はそのままに、栽培特性、特に耐倒伏性と収量性を向上させることであった。

交配の結果、63穎花中33粒が結実し、F₁を翌1993年に温室栽培した。1994年F₂で個体選抜を行い、792個体から圃場で78個体を選抜、さらに室内で玄米の外観品質から38個体を選抜した。1995年にF₃で単系統選抜を行い、1996年F₄から系統群系統として選抜を続け、生産力検定や特性検定、原料米分析を開始した。1998年から秋系酒492の系統名を付して奨励品種決定予備試験に供試するとともに試験醸造を行い、1999年から現場醸造試験を行った。2000年F₈から秋田酒77号の系統名を付して奨励品種決定本試験に供試して検討を重ねた。その結果、栽培特性、酒造特性ともに非常に優れ、極めて有望と認められて2001年3月には種苗法に基づく品種登録の出願をし、2003年には秋田県の奨励品種として採用された。

2) 主要特性

第2-7表に秋田酒こまちの主要特性概要を示す。秋田酒こまちの出穂期は美山錦、吟の精より1日程度遅く、成熟期は吟の精より遅く美山錦と同じで、熟期は“中生の中”に属する。稈長は美山錦より短く吟の精並の“やや長稈”、穂長は美山錦、吟の精より長い“やや長”、穂数は美山錦、吟の精とほぼ同じで“穂重型”に

第2-6表 「秋田酒こまち」の育成経過

年次	世代	系統・品種名	農業試験場 育成経過	総合食品研究所 酒造特性検定	酒造組合 現場醸造試験	作付面積 ha
1992	交配	「秋系酒251×秋系酒306」	(結実33粒/交配穎花数63)			
1993	F ₁		温室栽培			
1994	F ₂		圃場栽培 個体選抜(38個体/792個体)			
1995	F ₃		系統選抜、特性検定			
1996	F ₄		生産力検定	原料米分析(53点)		
1997	F ₅			小仕込試験(3点/45点)		
1998	F ₆	秋系酒492	奨励品種決定予備試験	中間規模試験醸造(1点/3点)		
1999	F ₇	↓	↓	(1点/3点)現場対応→	1工場	0.5
2000	F ₈	秋田酒77号	奨励品種決定本試験	(1点/3点)	3工場	1.5
2001	F ₉	秋田酒こまち	品種登録申請(2001年3月)		20工場	8
2002	F ₁₀	↓	↓		35工場	16
2003	F ₁₁	↓	奨励品種採用(2003年3月)		商品化	30

1)酒造特性検定の()内は選抜点数/分析点数, 選抜点数には「秋田酒こまち」が含まれる。

第2-7表 「秋田酒こまち」の主要特性概要

品種名	秋田酒こまち	美山錦	吟の精
早晚性	中生の中	中生の中	中生の早
草型	穂重型	穂重型	穂重型
出穂期(月日)	8.7	8.6	8.5
成熟期(月日)	9.28	9.28	9.25
稈長(cm)	82	88	83
穂長(cm)	21.9	20.2	18.7
穂数(本 ^m - ²)	317	303	319
稈の細太	太	太	太
稈の剛柔	やや剛	やや剛	やや剛
芒の多少・長短	無	無	稀・極短
ふ 色	黄白	黄白	黄白
ふ先色	黄白	黄白	黄白
止葉の直立程度	やや立	やや立	やや立
穂軸の抽出程度	中	中	中
粒着密度	やや疎	中	中
脱粒性	難	難	難
いもち耐病性			
遺伝子型	<i>Pia, Pii</i>	<i>Pia, Pii</i>	<i>Piz</i>
葉いもち	やや強	やや強	—
穂いもち	中	中	—
白葉枯耐病性	弱	中	弱
耐倒伏性(0~5)	やや弱(0.5)	弱(1.8)	やや弱(0.9)
耐冷性(障害型)	中	やや強	やや強
穂発芽性	やや難	極難	やや難
収量(kg ^a - ¹)			
標肥	59.5	59.6	67.8
多肥	55.7	56.7	66.6
対標準比			
標肥	100	100	114
多肥	98	100	117
玄米千粒重(g)	27.2	25.9	28.7
玄米外観品質(1~9)	上中(3.8)	上下(4.7)	中上(4.8)
玄米粗蛋白質含有率(%)	7.5	7.9	7.8

1)調査場所及び年次:

秋田県農業試験場奨励品種決定調査1998~2000年の平均値

2)玄米の収量及び対標準比の多肥を除き標肥区の結果

3)特性のランクは種苗特性分類基準による

4)玄米収量の標肥区は基肥N-P₂O₅-K₂O 各0.4kg^a-¹, 減数分裂期追肥N 0.2kg^a-¹多肥区は基肥N-P₂O₅-K₂O 各0.6kg^a-¹, 減数分裂期追肥N 0.2kg^a-¹

5)収量調査の選別ふるい目は12.0mm, 玄米外観品質は醸造用玄米基準

属する。また、秋田酒こまちは稈の細太は"太"、剛柔は"やや剛"、芒は"無"でふ色、ふ先色は"黄白"である。止葉の直立程度は"やや立"で穂軸の抽出は"中"、脱粒性は"難"である。

いもち病真性抵抗性遺伝子型はレース検定の結果から秋田酒こまちは *Pia* と *Pii* を所有するものと推定された。圃場抵抗性は美山錦並で葉いもちは"やや強"、穂いちは"中"である。また、白葉枯病耐病性は吟の精並の"弱"と判定された。秋田酒こまちは美山錦より倒伏が少ない"やや弱"であり酒米としては比較的倒伏に強い。さらに、障害型耐冷性は美山錦よりやや弱い"中"、穂発芽性は美山錦よりやや易で吟の精並の"やや難"と判定された。

玄米収量(篩目 2.0mm)は標肥区(基肥 N-P₂O₅-K₂O 各 0.4kg^a-¹、幼穂形成期追肥 N 0.2kg^a-¹)、多肥区(基肥 N-P₂O₅-K₂O 各 0.6kg^a-¹、幼穂形成期追肥 N 0.2kg^a-¹)ともに美山錦並である。玄米は美山錦に比べ、千粒重が大きく外観品質に優れ、粗蛋白質含有率は少なかった。

このように秋田酒こまちは美山錦と比較して耐病性、耐冷性、収量性ともにほぼ同等の栽培特性を有しており大きな欠点がない。また、酒米品種の多くは耐倒伏性に難があり栽培には技術を要するが、秋田酒こまちはその弱点を改良し作りやすく、秋田県での栽培

に適した品種であると言える。

3) 玄米および酒造特性

第 2-7 図に秋田酒こまちはの玄米写真を、第 2-8 表に玄米の形態及び玄米横断面の心白型比較の結果を示す。秋田酒こまちはの玄米の形状は美山錦と比べて長さが長く、幅が狭くて、山田錦に近い扁平型である。秋田酒こまちは心白の発現が多く、心白比率では線状(3 型)および眼状(4 型)の心白型が多くを占め、腹白状(5 型)心白が多い美山錦とは明らかに異なり山田錦に近い心白型である(高橋・田口 2003)。

選抜初期の段階で酒造原料米としての適性を評価するために、1997 年 F₃ 世代で実施した玄米と精米歩合 50 % 白米の原料米分析と小仕込試験結果を第 2-9 表に示した。小仕込試験は精米歩合 50 % の白米 200g を掛け米として使用し、各試験区とも同じ吟醸麹および酵母を使用した。秋田酒こまちは無効精米歩合や蛋白質含有率が低く、優れた精米特性を有していると考えられ、製成酒の官能試験では美山錦や吟の精に優り、山田錦に近い評価を得た。

秋田酒こまちはの吟醸酒用としての適性を評価するために、秋田県醸造試験場において、1999 年に山田錦を対照として行った吟醸酒製造試験を実施した。用いた白米の精米歩合は 35 %、白米総使用量 100kg で、酵母は秋田流花酵母 AK-1 である。製成酒の成分では、酸度、アミノ酸度、グルコースとも山田錦とほぼ同じであり、官能評価では香りが良く、甘みが上品で後味が軽快とされ、評価では山田錦と比べても良好であった(第 2-10 表)。

第 2-11 表には吟醸酒製造試験における評価の一覧を示した。秋田酒こまちは精米歩合 35 % まで精米が充分可能であり、麹が造りやすく製造工程上に難点がないこと、製成酒の官能評価は山田錦と異なるタイプであるが評点は良好であり、吟醸酒用としての高い適性が認められ、目標としていた山田錦並の酒造特性を有しているものと考えられた(高橋・田口 2003)。

秋田酒こまちはの現場醸造試験は 1999、2000、2001 酒造年度に実施し、それぞれ県内酒造工場の 1 工場、3 工場、20 工場で行われた。全ての仕込みで精米歩合 40 % 以下の白米を使用する大吟醸酒を白米総使用量 700 ~ 800kg 規模で製造した。

秋田酒こまちはの酒造特性について 2001 酒造年度の試験醸造成績は以下のとおりである。第 2-8 図に精米 36 回の精米特性の分布を示した。白米整粒歩合は 80 % 前後に、無効精米歩合は 3.0 % 前後に、白米粗タンパク質は 3.6 % 前後にピークがあった。酒造用原料米を 40 % 精米した場合の白米整粒歩合、無効精米歩合、白米粗タンパク質はそれぞれ 80 % 以上、5.0 % 以下、4.0 % 以下であると優良と考えられており、概ね大吟

第2-8表 玄米の形態及び玄米横断面の心白型比較

品種名	玄米の形態 ¹⁾			玄米横断面の心白型比率 ²⁾ (%)				
	長さ	幅	厚さ	I型	II型	III型	IV型	V型
	mm	mm	mm	無心白	点状心白	線状心白	眼状心白	腹白状心白
秋田酒こまち	5.43	3.18	2.23	6.0	13.4	34.1	26.8	19.7
美山錦	5.27	3.26	2.29	9.4	4.7	18.4	3.0	64.5
山田錦	5.47	3.17	2.19	16.8	15.4	26.0	17.4	24.4

1)玄米の形態については整粒50粒を調査した。
2)玄米横断面の心白型比率については整粒200粒を調査した。

第2-9表 原料米分析及び小仕込試験

品種名	精米歩合50%白米の原料米分析					小仕込試験 ¹⁾	
	千粒重	真精米歩合	整粒歩合	無効精米歩合	蛋白質含有率	製成酒の官能試験	
	g	%	%	%	%	評点 ²⁾	短評
秋田酒こまち	26.7	50.1	85.3	1.6	3.4	2.3	きれい, 甘味上品
美山錦	25.2	50.9	57.0	4.8	3.5	3.0	かたい, 味
吟の精	27.5	48.5	75.2	2.1	3.6	3.2	きれい, 渋み
山田錦	26.4	51.0	89.8	4.5	3.4	1.8	きれい, 巾あり, 上品

1)小仕込試験は精米歩合50%の白米200gを掛け米として使用し、各試験区とも同じ吟醸麹および酵母を使用した。
2)官能試験の評点は1(優)~5(劣)、パネラーは秋田県総合食品研究所職員6名

第2-10表 吟醸酒製造試験における製成酒¹⁾の成分及び官能評価

品種名	もろみ 日数 (日)	日本酒度 (V/V%)	アルコール (ml)	酸度 (ml)	アミノ 酸度 (ml)	グルコース (%)	官能試験	
							評点 ²⁾	短評
							秋田酒こまち	30.0
山田錦	30.0	3.5	17.8	1.4	0.5	1.3	2.0	香り良, 味ふくらみあり

1)精米歩合35%, 白米総使用量100kg, 酵母は秋田流花酵母AK-1使用
2)官能試験の評点は1(優)~5(劣)、パネラーは秋田県総合食品研究所職員6名

第2-11 吟醸酒製造試験における評価一覧

	秋田酒こまち	山田錦
精米	○ 精米35%まで精米可能. 精米速度早い.	○
原料処理	△ 浸漬中の碎米目立つ.	△
製麹	◎ 蒸米の表面乾きにくい. 酵素バランスが良い.	○
酒母	○ 初期ポーメが高い.	○
もろみ	○ グルコースが高い. アミノ酸度が低い.	○
製成酒の官能評価	◎ 甘味上品, 後味軽い.	◎ 香り華やか, ふくらみ

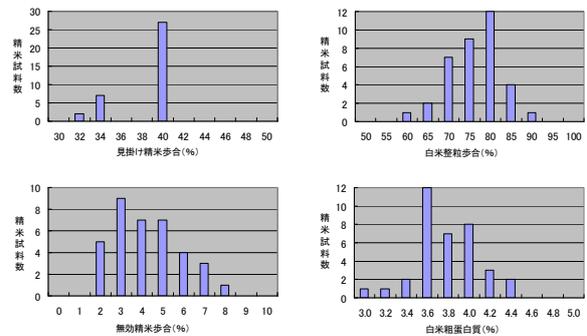
1)秋田県総合食品研究所醸造試験場(1999~2000年)
2)評価記号は◎(優), ○(良), △(可)

醸酒の原料米としての適性を有していることが示された(高橋・田口 2003)。

また、秋田酒こまちは山田錦に比較してその製成酒が日本酒度の平均がわずかに甘くなり、アミノ酸度が低い傾向であった(高橋・田口 2003)。

2-4-4 考察

秋田県では、1960年頃には2,000haを超える酒米



第2-8図 「秋田酒こまち」の精米特性の度数分布(高橋・田口 2003から写)

1) 2001酒造年度現場醸造試験(秋田県酒造組合実施)
2) 精米は20工場36回

の作付けがあったが、1977年には僅か22haまで減ってしまっている(秋田県農業試験場 1991)。これは、当時の酒米品種が倒伏しやすく低収で農家に敬遠されたためであった。酒米は、使用目的が極めて明確な原料米であり実需者が必要とする特性を持つことが絶対条件であるが、かといって栽培特性をともなわなくては農家の作付けにはつながらない。そのため、秋田県農業試験場での酒米育種では、栽培特性の改善を重要

と考へ選抜を行ってきた。しかし、育成の最終段階には実用的な酒造特性を持つ系統が残らず、初期段階における酒造特性検定の必要性を痛感した。すなわち、栽培特性と酒造特性の両方を兼ね備えた実用品種の育成を目標とする育種では、実需者との連携がいかに重要かということを示している。そういうことから、1988年に開始した酒造好適米新品種開発事業では、実需者側である秋田県醸造試験場や秋田県酒造組合が単に品種を要望するのではなく、大きなリスクを負って育種に参画し、三者がそれぞれの役割を分担したことは特筆に値する。そして、15年間に1万を超える系統を育成、うち500系統以上を酒造特性検定に供試し、この中から4系統を秋田県の奨励(認定)品種にすることができたことは新たに構築した育種戦略の成果である。

酒造好適米新品種開発事業における育種目標は、酒米品種として最も評価の高い山田錦並の酒造特性と秋田県のような寒冷地に適した栽培特性を併せ持つ品種というかなりハードルの高い設定であったが、初期世代から酒造特性に重点をおいて選抜・育成すれば可能と考えられた。しかし、事業の第1期と第2期では当初の目標を達成することはできず、選抜・育成した系統を中間母本として利用するさらなるステップが必要であった。秋田酒こまちの両親はともに第1期の育成系統であり、特に母親の秋系酒251は倒伏しやすく収量が低いなど栽培特性上の欠点が大きく実用品種としては無理があるものの、できあがった吟醸酒の評価が極めて高い系統であり、酒造特性の優れた独自の交配母本として利用することとした。すなわち山田錦を直接の母本としなくとも酒造特性で選抜を加えた自前の系統を中間母本とし、望ましい特性の集積を図ることにより優れた酒造特性を持つ品種の育成が可能と考えた。

このような経緯で交配から選抜・固定を進めてきた秋田酒こまちは、育種の積み重ねの成果と位置づけられる。秋田酒こまちの吟醸酒は、全国新酒鑑評会で2001、2002、2003酒造年度に連続して金賞を受賞しており、その優れた酒造特性は全国的に評価されつつある。2003年からは秋田県の奨励品種として普及に移され、酒造メーカー側の需要に沿った計画的な作付けを行って順調に面積を拡大している。今後は高品質な酒を安定して消費者に供給できるように、原料米の栽培から酒の製造工程の全てにわたるきめ細かい管理と技術の構築を行うことが酒造業の振興と酒米生産の発展に必要である。

2-5 直播適応性品種の開発

稲作の国際化と産地間競争の激化、担い手不足が進む中で稲作の省力、低コスト化に対応するために、農家経営への水稻直播栽培の導入が有効である。秋田県

においても直播栽培の普及を重要施策とし、2006年の直播面積507ha(秋田県水田総合利用課調べ)を2010年には10,000haとすることを目標にしている。しかし秋田県のような寒冷地で既存品種を用いると、播種後の低温により十分な出芽、苗立ちが得られず減収となることが多い。そこで、既存品種並みの特性を有し、かつ低温苗立性の優れた直播適応性新品種を育成する必要がある。低温苗立性について、堀末(1995)は日本品種内では変異が小さく、それらの改良には広範な遺伝資源の利用が不可欠であるとしている。一方、外国品種を交配母本とし単交配により品種育成した場合、食味不良などの劣悪形質の随伴によって後代の多くは育成途中で棄却されるため、現在のところ外国品種由来の直播適応性を導入した品種は普及されていない。随伴する劣悪形質を排除しつつ、有用形質のみを確実に導入するためには戻し交配が有効であるが(Harlan and Pope 1922)、低温苗立性のように圃場での評価が困難な形質の改良について戻し交配を導入することは難しい。これらのことから、独自の育種戦略として低温苗立性を高精度で簡便に評価できる検定法の開発と優れた遺伝資源の探求が必要であると考えた。

本節では低温苗立性簡易検定の開発と遺伝資源の評価、さらにそれらを利用した系統育成の経過について述べる。

2-5-1 低温苗立性簡易検定の開発

低温苗立性に優れる系統を効率よく選抜するためには、低温苗立性を高い精度で簡便に検定しなければいけない。しかし、圃場における低温苗立性の検定では播種深度や温度条件などを精密に制御することが難しく、かつ年1回しか検定できない。

そこで本実験では、まず、育苗箱に播種した水稻種子に冷水を掛け流しすることによって、その低温苗立性を検定する方法についてその有効性を検討した。

1) 材料および方法

日本型品種として日本稲のアキヒカリ、でわひかり、あきたこまち、ヨネシロ、吟の精、日本稲育成系統(秋田農試ほか)の秋田62号、ふ系185号、奥羽352号、青系129号、秋系399、秋系431、秋系433、秋系434、秋系466、秋系467、秋系468、系6061、アメリカ品種のS-101、S-201、M-103、M-202、イタリア品種のItalica Livorno、Maratelli、ポルトガル品種のArroze da Terra、旧ソビエト連邦品種のUSSR-8、ハンガリー品種のKakai203の計26品種・系統を用いた。なお、日本稲育成系統の12系統はいずれも日本稲同士の交雑後代である。

コンバイン収穫した種子は出芽・苗立ちに影響がある(大隅ら1987、諸橋ら1988、中山ら1988)こと

から、種子は前年に圃場で一般栽培し、手刈りで収穫し、乾燥したのち室温で保存した。

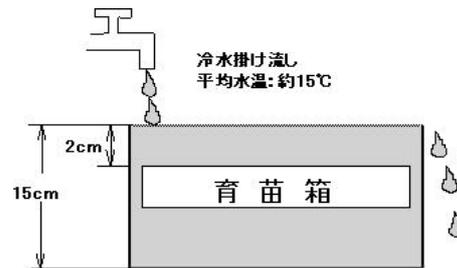
最初にこれら 26 品種・系統を用いて圃場直播試験を行った。1997 年 4 月 28 日に 1 品種・系統 100 粒を乾田に乾籾で条播（1 条 2.4m）し、約 2cm の覆土を行った（第 2-9 図）。施肥は基肥に LP コート 70（N-0.8kg^a）を播種と同時に接触施肥した。反復は 3 区制とした。播種当日から約 5cm の湛水状態を保った。5 月 6 日から 2 日ごとに調査し播種から 5 % 出芽するのに要した日数と、播種から 49 日後の苗立率を調査した。

また、圃場を必要とせず低温苗立性を簡易に検定できる方法（以降、低温苗立性簡易検定と呼ぶ）についても検討した。圃場直播試験と共通の 26 品種・系統を 1997 年 4 月 11 日に育苗箱（60cm × 30cm）に乾籾で播種した。育苗箱を 16 のブロック（15cm × 7.5cm）に区分けし、1 ブロックに 1 品種・系統を 50 粒ずつ散播した。その後、播種深度を 1cm となるように覆土した。区制は 3 区制とした。育苗箱を満水状態のコンテナに水深 2cm となるように水没させ、水道水をかけ流しした（第 2-10 図、第 2-11 図）。かけ流し期間中の平均水温は 13.7 °C であった。51 日後の草丈、葉齢、根長を調査した。

2) 結果

第 2-12 表に圃場直播試験での 5 % 出芽日数、49 日後の苗立率および低温苗立性簡易検定における 51 日後の草丈、根長、葉齢を示した。圃場直播試験では 5 % 出芽日数が 18.7 ~ 25.3 日の範囲に、49 日後苗立率が 33.7 ~ 65.0 % の範囲に分布した。また、低温苗立性簡易検定では草丈、根長、葉齢がそれぞれ 4.5 ~ 13.1cm、2.9 ~ 5.9cm、0.4 ~ 1.6 の範囲に分布した。

第 2-12 図に低温苗立性簡易検定と圃場直播試験との関係を示す。低温苗立性簡易検定での草丈と圃場での 5 % 出芽日数との間には 0.1 % 水準で有意な負の相



第2-10図 低温苗立性簡易検定の略図

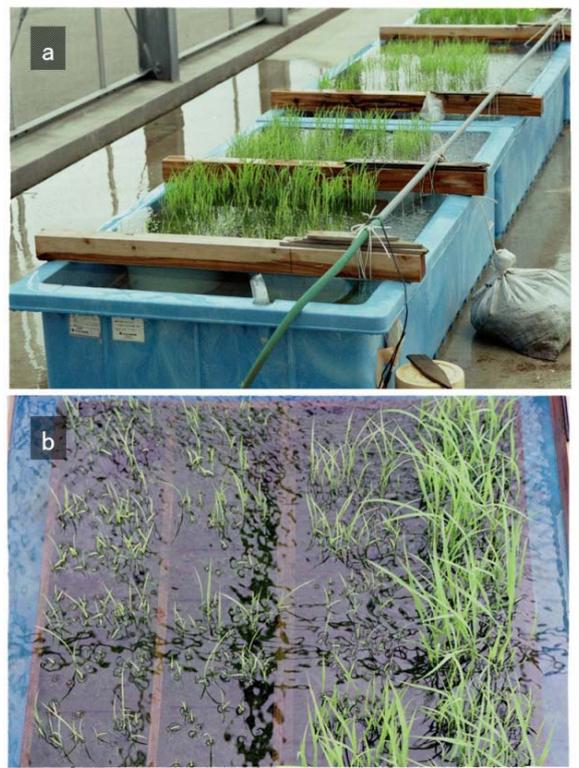
播種: 育苗箱乾籾播種
 処理条件: 水深約2cmとなるように水没させ、約15°Cの冷水を掛け流し処理
 処理期間: 約50日後
 調査項目: 草丈、葉齢、根長



第2-9図 圃場直播試験

a 播種作業の様子 b 苗立の様子

播種条件: 乾田に乾籾を条播し約2cm覆土
 施肥: LPコート70(N-0.8kg^a)を播種同時接触施肥
 水管理: 播種当日から約5cmの湛水状態を保った



第2-11図 低温苗立性簡易検定

a 低温苗立性簡易検定の全容
 b 検定途中の苗立の様子 右側が苗立良好、左側が不良である

播種: 育苗箱乾籾播種
 処理条件: 水深約2cmとなるように水没させ、約15°Cの冷水を掛け流し処理
 処理期間: 約50日間
 調査項目: 草丈、葉齢、根長

第2-12表 圃場直播試験および低温苗立性簡易検定の結果

No.	品種・系統名	圃場直播試験		低温苗立性簡易検定 ³⁾		
		5%出芽 ¹⁾ 日数 (日)	49日後 ²⁾ 苗立率 (%)	草丈 (cm)	根長 (cm)	葉齢
1	アキヒカリ	23.0	42.3	5.1	3.6	0.6
2	でわひかり	24.7	57.0	5.0	3.6	0.5
3	あきたこまち	25.3	45.3	7.0	5.0	1.0
4	ヨネシロ	24.7	49.3	4.6	3.8	0.6
5	吟の精	25.0	44.0	5.1	3.6	0.5
6	秋田62号	25.0	42.7	5.9	4.5	0.9
7	ふ系185号	23.7	44.7	5.1	3.7	0.6
8	奥羽352号	24.3	45.7	5.2	3.3	0.6
9	青系129号	24.7	46.3	5.2	4.1	0.7
10	秋系399	25.0	49.7	5.4	3.3	0.7
11	秋系431	25.3	48.3	4.6	2.9	0.4
12	秋系433	24.7	48.3	5.1	3.4	0.6
13	秋系434	23.3	33.7	5.0	3.4	0.6
14	秋系466	25.0	43.0	5.1	3.5	0.6
15	秋系467	23.3	52.3	8.6	5.4	1.4
16	秋系468	23.3	48.3	8.0	5.1	1.3
17	系6061	24.3	45.0	5.9	3.9	0.8
18	S-101	22.3	56.0	8.5	5.4	1.3
19	S-201	23.0	60.3	6.8	5.2	1.2
20	M-103	24.7	48.7	5.8	4.4	0.8
21	M-202	24.3	46.7	4.5	3.4	0.5
22	Italica Livorno	18.7	61.3	13.1	5.9	1.5
23	Maratelli	22.0	63.7	9.7	5.3	1.1
24	Arroze da Terra	19.7	65.0	9.2	5.3	1.3
25	USSR-8	19.7	51.3	10.0	4.9	1.6
26	Kakai203	20.0	54.7	10.3	5.8	1.6

1) 圃場直播試験において播種から5%出芽するまでに要した日数
 2) 圃場直播試験において播種から49日後の苗立率
 3) 育苗箱に乾粒で播種し平均水温13.7℃の冷水を51日間掛け流した

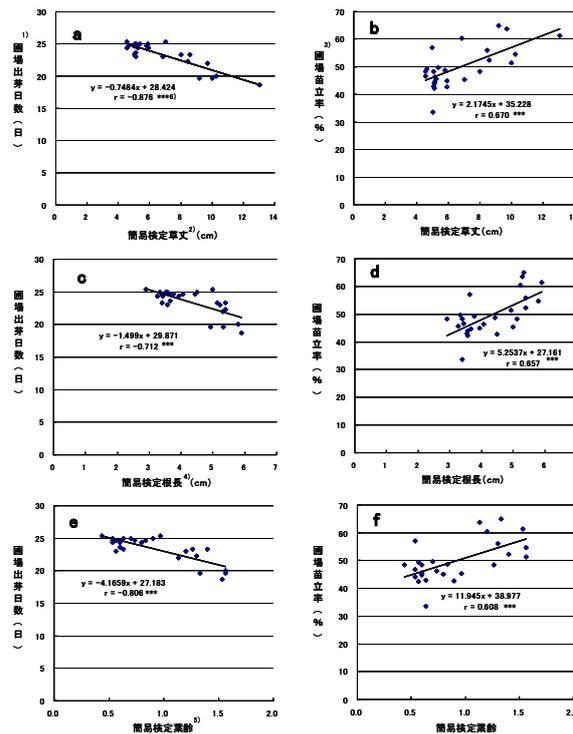
関 ($r=0.876$, $P<0.001$)、低温苗立性簡易検定での草丈と圃場での出芽率との間には0.1%水準で有意な正の相関 ($r=0.670$, $P<0.001$) が認められた (第2-12図 a, b)。つまり、低温苗立性簡易検定での草丈が長い品種・系統は圃場での直播栽培での出芽が早く、苗立率も高い傾向にあった。また、低温苗立性簡易検定での根長と圃場での出芽日数、苗立率との関係、あるいは低温苗立性簡易検定での葉齢と圃場での出芽日数、苗立率との関係についても同様の相関関係が認められた (第2-12図 c, d, f)。すなわち、低温苗立性簡易検定で根長が長い葉齢が大きい品種・系統は圃場での直播栽培で出芽が早く、苗立率も高い傾向にあった。

3) 考察

低温苗立性簡易検定での草丈、根長、葉齢の3つのいずれの指標とも圃場での出芽日数、苗立率との相関が高かった。つまり、低温苗立性簡易検定で草丈、根長が長く、葉齢が大きい品種系統は圃場での直播栽培でも優れた出芽、苗立特性を発現することを示している。このことから、低温苗立性簡易検定は圃場直播栽培における低温苗立性の簡易検定法として有効であると考えられた。

また、本実験では播種深度1cm、水深2cm、設定処理水温15℃ (実績13.7℃)、処理期間約51日の処理条件で行い品種・系統間に明確な差がみられたため、

この条件での検定が可能であると考えられた。しかし、



第2-12図 低温苗立性簡易検定と圃場直播試験との関係

- 1) 圃場直播試験において播種から5%出芽するまでに要した日数
- 2) 低温苗立性簡易検定(育苗箱に乾粒播種し13.7℃冷水を51日間掛け流し圃場)における草丈
- 3) 圃場直播試験において播種から49日後の苗立率
- 4) 低温苗立性簡易検定処理後の根長
- 5) 低温苗立性簡易検定における葉齢

より精密な検定を行うために処理条件の検討を重ねて行く必要があると考えられる。

低温苗立性簡易検定で調査した草丈、根長、葉齢のいずれの指標も圃場での出芽日数、苗立率と高い相関関係にあることから、3つの指標のうちいずれか1つを調査することで低温苗立性を検定できるものと考えられる。この中で、根はサンプリングの際に断根する機会が多く技術と時間を要するため、より簡便に検定するためには草丈か葉齢を調査することが適当であると考えられた。

2-5-2 低温苗立性に関する遺伝資源の探索

低温苗立性について、堀末(1995)は日本品種内では変異が小さく、それらの改良には広範な遺伝資源の利用が不可欠であるとしている。そこで本実験では国内外の26品種・系統の中から低温苗立性について優良な遺伝資源を探索することを目的とした。

1) 材料および方法

1. 低温苗立性簡易検定法の開発と共通である。

2) 結果

第2-13表に供試した26品種・系統の圃場直播試験での5%出芽日数を示した。供試した品種・系統のうちItalica Livornoが18.7日で最も早く出芽し、あきた

第2-13表 圃場直播試験における5%出芽日数の品種比較

順位	品種・系統名	圃場試験5%出芽日数 ¹⁾ (日)
1	Italica Livorno	18.7 a
2	Arroze da Terra	19.7 a
3	USSR-8	19.7 a
4	Kakai203	20.0 a
5	Maratelli	22.0 b
6	S-101	22.3 b
7	アキヒカリ	23.0 b c
8	S-201	23.0 b c
9	秋系434	23.3 b c d
10	秋系467	23.3 b c d
11	秋系468	23.3 b c d
12	ふ系185号	23.7 b c d e
13	奥羽352号	24.3 c d e
14	系6061	24.3 c d e
15	M-202	24.3 c d e
16	でわひかり	24.7 c d e
17	ヨネシロ	24.7 c d e
18	青系129号	24.7 c d e
19	秋系433	24.7 c d e
20	M-103	24.7 c d e
21	吟の精	25.0 d e
22	秋田62号	25.0 d e
23	秋系399	25.0 d e
24	秋系466	25.0 d e
25	あきたこまち	25.3 e
26	秋系431	25.3 e

¹⁾播種から5%出芽するまで要した日数
同一の英小文字は5%水準で有意差なし(最小有意差法)

第2-14表 圃場直播試験における49日後苗立率の品種比較

順位	品種・系統名	圃場試験苗立率 ¹⁾ (%)
1	Arroze da Terra	65.0 a
2	Maratelli	63.7 a b
3	Italica Livorno	61.3 a b c
4	S-201	60.3 a b c
5	でわひかり	57.0 a b c d
6	S-101	56.0 a b c d e
7	Kakai203	54.7 a b c d e f
8	秋系467	52.3 a b c d e f
9	USSR-8	51.3 b c d e f
10	秋系399	49.7 c d e f
11	ヨネシロ	49.3 c d e f
12	M-103	48.7 c d e f
13	秋系431	48.3 c d e f
14	秋系433	48.3 c d e f
15	秋系468	48.3 c d e f
16	M-202	46.7 d e f g
17	青系129号	46.3 d e f g
18	奥羽352号	45.7 d e f g
19	あきたこまち	45.3 d e f g
20	系6061	45.0 d e f g
21	ふ系185号	44.7 d e f g
22	吟の精	44.0 d e f g
23	秋系466	43.0 e f g
24	秋田62号	42.7 e f g
25	アキヒカリ	42.3 f g
26	秋系434	33.7 g

¹⁾播種から49日後の苗立率
同一の英小文字は5%水準で有意差なし(最小有意差法)

こまち、秋系 431 が 25.3 日で出芽まで最も日数がかかった。Italica Livorno と同程度に出芽が早かった品種・系統として Arroze da Terra、USSR-8、Kakai203 が、準ずる品種・系統として Maratelli、S-101、アキヒカリ、S-201、秋系 434、秋系 467、秋系 468、ふ系 185 号が挙げられる。

第 2-14 表に供試した 26 品種・系統の圃場直播試験での 49 日後苗立率を示した。供試した品種・系統の

第2-15表 低温苗立簡易検定における草丈の品種比較

順位	品種・系統名	低温苗立性簡易検定の草丈 ¹⁾ (cm)
1	Italica Livorno	13.1 a
2	Kakai203	10.3 b
3	USSR-8	10.0 b c
4	Maratelli	9.7 b c
5	Arroze da Terra	9.2 b c
6	秋系467	8.6 b c d
7	S-101	8.5 b c d
8	秋系468	8.0 c d
9	あきたこまち	7.0 d e
10	S-201	6.8 d e
11	系6061	5.9 e f
12	秋田62号	5.9 e f
13	M-103	5.8 e f
14	秋系399	5.4 e f
15	奥羽352号	5.2 e f
16	青系129号	5.2 e f
17	ふ系185号	5.1 e f
18	アキヒカリ	5.1 e f
19	吟の精	5.1 e f
20	秋系433	5.1 e f
21	秋系466	5.1 e f
22	秋系434	5.0 e f
23	でわひかり	5.0 e f
24	ヨネシロ	4.6 f
25	秋系431	4.6 f
26	M-202	4.5 f

¹⁾冷水(平均水温13.7°C)を5日間掛け流し処理後の草丈
同一の英小文字は5%水準で有意差なし(最小有意差法)

うち Arroze da Terra が 65.0 % で最も苗立率が高く、秋系 434 が 33.7 % で苗立率が最も低かった。Arroze da Terra と同程度に苗立率が高かった品種・系統として Maratelli、Italica Livorno、S-201、でわひかり、S-101、Kakai203、秋系 467 が見いだされた。

第 2-15 表に供試した 26 品種・系統の低温苗立性簡易検定での草丈を示した。供試した品種・系統のうち Italica Livorno が 13.1cm で最も草丈が高く、M-202 が 4.5cm で最も低かった。Italica Livorno に準ずる品種・系統として Kakai203、USSR-8、Maratelli、Arroze da Terra、秋系 467、S-101 があつた。

3) 考察

圃場直播試験において 5 % 出芽日数、49 日後苗立率が優れる複数の品種・系統が見出された。これらのは多くはヨーロッパ品種であった。三浦 (2003) はヨーロッパ品種の Italica Livorno、Maratelli、Arroze da Terra、Kakai203 などを低温発芽性が優れる遺伝資源である報告している。また、椛木ら (1990) はやはりヨーロッパ品種が低温伸長性の遺伝資源として利用できるとしている。低温発芽性や低温伸長性は低温苗立性の優劣を左右する形質の 1 つであるとの報告があり、本実験の結果と一致する。このことから、本実験で探索された品種・系統は低温苗立性の遺伝資源として有効であると考えられる。

また、共通の品種・系統を用いて低温苗立性簡易検定によって低温苗立性を評価したところ、圃場直播試験とほぼ同一の品種・系統が苗立性良好と評価され、

これらが安定した形質発現を示す有望は遺伝資源であることが確認された。

これらのことから、Italica Livorno、Kakai203、Maratelli、Arroze da Terra、秋系467、S-101が圃場直播試験において5%出芽日数、49日後苗立率および低温苗立性簡易検定における草丈のいずれも優れ、低温苗立性の遺伝資源として特に有望であると判断された。

2-5-3 低温苗立性簡易検定を利用した直播適応性系統の育成

前節で見いだした低温苗立性に優れる外国品種を交配母本とし、かつ冷水掛け流しによる低温苗立性簡易検定を用いることで直播適応性を持つ実用品種の育成を試みた。本研究では、外国品種の中から Maratelli と Italica Livorno を交配母本として低温苗立性に優れる系統として育成を進めた 15 系 2181 と秋系 580 について、それらの育成経過と主要特性、実用性について述べる。

1) 15 系 2181 の育成

(1) 育成経過

第 2-16 表に 15 系 2181 の育成経過を示す。育種目標は秋田 60 号の障害型耐冷性と Maratelli の低温苗立性をあきたこまちに導入して、良質・良食味の直播適応性品種を育成することであった。しかし、Maratelli は草姿不良で倒伏に弱く、脱粒性があり玄米に褐色の色素を有するなど目標達成のためには多くの改良が必要と考えられた。

15 系 2181 は 1996 年に秋田 60 号を母、Maratelli を父として人工交配し、さらに 1997 年、1998 年にそれぞれあきたこまちを花粉親として交配した組合せ後代から選抜、固定を進めてきた系統である。1999 年に BC₁F₁ 世代、2000 年に BC₁F₂ 世代から低温苗立性簡易検定により 13 個体を個体選抜した。さらに、2001 年には BC₁F₃ 世代から単独系統選抜、2002 年には BC₁F₄ 世代から系統群系統として選抜を続け、低温苗立性簡易検定、直播生産力検定、耐冷性検定を行い、複数の

有望系統を選抜した。このうちの 1 系統が 15 系 2181 である。

(2) 低温苗立性

低温苗立性簡易検定における冷水掛け流し期間および平均水温は、2002 年が 4 月 12 日～6 月 3 日 (53 日間) で 14.3℃、2003 年が 4 月 10 日～6 月 5 日 (57 日間) で 14.7℃であった。検定の結果を第 2-17 表に示した。

全ての品種・系統が 2002 年よりも 2003 年の方が草丈、根長、葉齢ともに大きな値を示した。しかし、2 カ年の実験において品種・系統間の優劣の関係には大きな違いは見られなかった。2002 年の低温苗立性簡易検定において 15 系 2181 は草丈が 9.8cm とあきたこまち、Maratelli よりも高く、根長、葉齢ともに Maratelli を上回り優れた低温苗立性を示した。2003 年の草丈は 13.1cm と Maratelli には及ばなかったもののあきたこまちより明らかに高かった。また、葉齢については 2.3 であきたこまち、Maratelli より進んでいた。

(3) その他の主要特性

15 系 2181 の主要特性は第 2-18 表のとおりである。15 系 2181 の圃場での苗立率はあきたこまちを上回ったが 32.7%と低かった。熟期は出穂期が 8 月 9 日、成熟期が 10 月 1 日で、ともにあきたこまちより 5 日早く、早生の早に属する。稈長は 61.3cm であきたこまちよりやや短く、穂数は 423 本 m² であきたこまち並であり、草型は偏穂数型に属する。耐倒伏性はあきたこまちより改善されているが、いもち病に弱く、障害型耐冷性もあきたこまちより弱い"やや弱"であった。玄米収量(篩目 1.85mm)が 33.7kg a⁻¹ とあきたこまちよりやや少なかったものの、玄米千粒重は 23.2g でありあきたこまちより玄米は大きかった。玄米の外観は Maratelli のように褐色の色素を呈することはなかったが、品質はあきたこまちが 4.0 (2 等上) に対し 15 系 2181 は 9.0 (3 等下) と明らかに不良であった (第 2-13 図)。

第2-16表 「15系2181」の育成経過

年次	世代	経 過
1996	交配	「秋田60号/Maratelli」 結実7粒/交配穎花数56粒
1997	交配	「秋田60号/Maratelli//あきたこまち」 結実157粒/交配穎花数257粒
1998	交配	「秋田60号/Maratelli//2*あきたこまち」 結実56粒/交配穎花数59粒
1999	BC ₁ F ₁	低温苗立性簡易検定による個体選抜
2000	BC ₁ F ₂	↓
2001	BC ₁ F ₃	系統選抜
2002	BC ₁ F ₄	↓ 低温苗立性簡易検定による系統評価
2003	BC ₁ F ₅	↓ 生産力検定, 特性検定

第2-17表 「15系2181」の低温苗立性

年次	品種・系統名	低温苗立性簡易検定 ¹⁾		
		草丈 (cm)	根長 (cm)	葉齡
2002年				
	あきたこまち	4.8	—	—
	Maratelli	8.0	4.2	1.1
	15系2181	9.8	5.9	1.7
2003年				
	あきたこまち	9.4	7.1	1.5
	Maratelli	18.6	7.9	2.0
	15系2181	13.1	6.3	2.3



1) 播種:育苗箱乾籾播種

処理条件:水深約2cm, 冷水(2003年14.3℃, 2004年14.7℃)を掛け流し

処理期間:2003年 53日間, 2004年 57日間

調査項目:草丈, 葉齡, 根長

第2-13図 「15系2181」及び両親の玄米

玄米品質検査等級

Maratelli:規格外 15系2181:9.0(3等下) あきたこまち:4.0(2等上)

第2-18表 「15系2181」の主要特性

年次	品種・系統名	苗立率 %	出穂期 月/日	成熟期 月/日	成熟期			倒伏 ¹⁾ 0~5	穂いもち ²⁾ 0~5	耐冷性	玄米重 kga ⁻¹	千粒重 g	品質 ³⁾ 1~9
					稈長 cm	穂長 cm	穂数 本m ⁻²						
2003年													
	あきたこまち	19.4	8/14	10/6	65.9	17.7	423	1.3	1.3	中	35.9	22.5	4.0
	15系2181	32.7	8/9	10/1	61.3	17.0	423	0.7	2.3	やや弱	33.7	23.2	9.0

1),2)倒伏・穂いもち:0(無)~5(甚)

3)品質:1(1等上)~9(3等下)

第2-19表 「秋系580」の育成経過

年次	世代	経	過
1996	交配	「秋系321/Italica Livorno」 結実4粒/交配穎花数103粒	
1997	交配	「秋系321/Italica Livorno//あきたこまち」 結実213粒/交配穎花数224粒	
1998	交配	「秋系321/Italica Livorno//2*あきたこまち」 結実92粒/交配穎花数116粒	
1999	BC ₁ F ₁	低温苗立性簡易検定による個体選抜	
2000	BC ₁ F ₂	↓	
2001	BC ₁ F ₃	系統選抜	
2002	BC ₁ F ₄	↓	
2003	BC ₁ F ₅	低温苗立性簡易検定による系統評価	
2004	BC ₁ F ₆	↓	
		生産力検定, 特性検定	

第2-20表 「秋系580」の低温苗立性

年次	品種・系統名	低温苗立性簡易検定 ¹⁾		
		草丈 (cm)	根長 (cm)	葉齡
2002年				
	あきたこまち	4.8	—	—
	ItalicaLivoruno	11.2	4.8	1.4
	秋系580	10.5	6.5	1.8
2003年				
	あきたこまち	9.4	7.1	1.5
	ItalicaLivoruno	22.7	7.8	2.5
	秋系580	13.7	8.7	2.3

1) 播種:育苗箱乾籾播種

処理条件:水深約2cm, 冷水(2003年14.3℃, 2004年14.7℃)を掛け流し

処理期間:2003年 53日間, 2004年 57日間

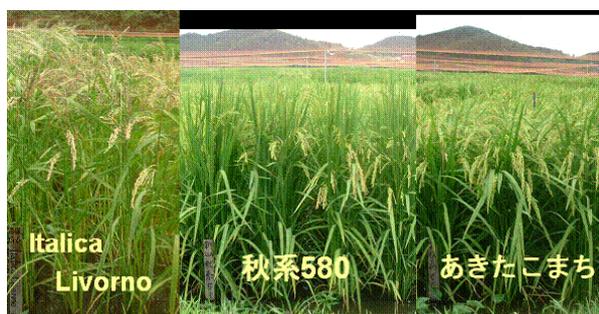
調査項目:草丈, 葉齡, 根長

第2-21表 「秋系580」の主要特性

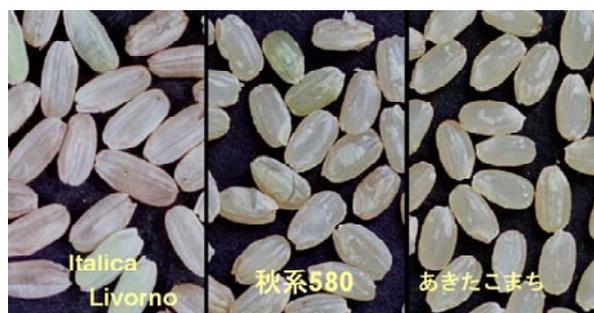
年次	品種・系統名	苗立率 %	出穂期 月/日	成熟期 月/日	成熟期			倒伏 ¹⁾ 0~5	穂いもち ²⁾ 0~5	耐冷性	玄米重 kg a ⁻¹	千粒重 g	品質 ³⁾ 1~9
					稈長 cm	穂長 cm	穂数 本 m ⁻²						
2003年													
	あきたこまち	19.4	8/14	10/6	65.9	17.7	423	1.3	1.3	中	35.9	22.5	4.0
	秋系580	20.0	8/14	10/9	66.8	18.2	400	0.7	0.0	強	36.6	24.4	7.3
2004年													
	あきたこまち	74.7	8/8	10/4	68.5	18.5	393	3.0	0.7	中	43.9	21.5	6.4
	秋系580	63.3	8/7	10/1	70.7	18.5	362	2.0	0.0	強~やや強	54.4	23.6	9.0
平均													
	あきたこまち	47.1	8/11	10/5	67.2	18.1	408	2.2	1.0	中	39.9	22.0	5.2
	秋系580	41.7	8/10	10/5	68.8	18.4	381	1.4	0.0	強	45.5	24.0	8.2

1)、2)倒伏・穂いもち:0(無)~5(甚)

3)品質:1(1等上)~9(3等下)



第2-14図 「秋系580」および両親の成熟期の草姿



第2-15図 「秋系580」及び両親の玄米

玄米品質検査等級

Italice Livorno: 規格外 秋系580: 8.2(3等中) あきたこまち: 5.2(2等中)

2) 秋系 580 の育成

(1) 育成経過

第 2-19 表に秋系 580 の育成経過を示した。育種目標は秋系 321 の障害型耐冷性と Italice Livorno の低温苗立性をあきたこまちに導入して、良質・良食味の直播適応性品種を育成することであった。しかし、Italice Livorno は草姿不良で倒伏に弱く、脱粒性があり玄米品質が悪いなど目標達成のためには多くの改良が必要とされた。

秋系 580 は 1996 年に秋系 321 を母、Italice Livorno を父として人工交配し、さらに 1997 年、1998 年にそれぞれあきたこまちを花粉親として交配した組合せ後代から選抜、固定を進めてきた系統である。そこで、1999 年に BC₁F₁ 世代、2000 年に BC₁F₂ 世代から低温苗立性簡易検定により 7 個体を個体選抜した。さらに、2001 年には BC₁F₃ 世代から単系統選抜、BC₁F₄ 世代から系統群系統として選抜を続け、低温苗立性簡易検定、直播生産力検定、耐冷性検定を行い、複数の有望系統を選抜した。そのうちの 1 系統が秋系 580 である。

(2) 低温苗立性

低温苗立性簡易検定における冷水掛け流し期間および平均水温は 2002 年が 4 月 12 日~6 月 3 日 (53 日間) で 14.3℃、2003 年が 4 月 10 日~6 月 5 日 (57 日間) で 14.7℃であった。検定結果を第 2-20 表に示

した。

全ての品種・系統が 2002 年よりも 2003 年の方が草丈、根長、葉齢ともに大きな値を示した。しかし、2 カ年の実験において品種・系統間の優劣の関係には大きな違いは見られなかった。2002 年の低温苗立性簡易検定において秋系 580 は草丈が 10.5cm とあきたこまちより明らかに高く Italice Livorno に近い値を示した。また、根長、葉齢ともに Italice Livorno を上回り優れた低温苗立性を示した。同様に、2003 年においても草丈は 13.7cm と Italice Livorno には及ばなかったもののあきたこまちより明らかに高く、根長と葉齢についてはあきたこまち、Italice Livorno より大きな値を示した。

(3) その他の主要特性

秋系 580 の主要特性は第 2-21 表のとおりである。直播生産力検定は 2003 年、2004 年の 2 カ年にわたって実施した。秋系 580 の圃場での苗立率は 2003 年、2004 年ともに低くあきたこまちに対して優位性を見いだせなかった。2003 年は苗立率 20.0% と特に低かった。熟期は出穂期が 8 月 10 日、成熟期が 10 月 5 日で、ともにあきたこまち並で早生の晩に属する。稈長は 68.8cm、穂長は 18.4cm でいずれもあきたこまち並、穂数は 381 本 m² であきたこまちよりやや少なく、Italice Livorno の不良な草姿が大幅

に改善された(第2-14図)。倒伏程度が1.4でありあきたこまちより倒伏には強く、穂いもち病の罹病は確認されなかった。また、障害型耐冷性はあきたこまちより強い“強”であった。玄米収量(篩目1.85mm)は45.5kg^aとなりあきたこまちより約14%多かった。また、玄米千粒重は24.0gとなりあきたこまちより2g重かった。これに対して、玄米品質はあきたこまちが5.2(2等中)に対し秋系580は8.2(3等中)と明らかに不良であった(第2-15図)。

3) 考察

低温苗立性簡易検定において供試した全ての品種・系統が2002年よりも2003年の方が草丈、根長、葉齢ともに大きな値を示した。これは2003年の方が2002年に比較して冷水掛け流し期間が長く、かつ冷水の平均水温が高かったためと思われる。しかし、2カ年の実験で品種・系統間の優劣の関係には大きな違いが見られず、本実験に用いた低温苗立性簡易検定の精度が高いと考えられた。そして、15系2181と秋系580は2カ年ともあきたこまちよりも明らかに優れた外国稲並の低温苗立性を示した。このことから15系2181、秋系580の育成によって外国稲の優れた低温苗立性を日本稲に導入することに成功したものと考えられた。

しかし、圃場直播試験における苗立率は2003年、2004年(15系2181は2003年のみ)ともに低く、あきたこまちに対して優位性を見いだせなかった。これは、低温苗立性以外にも播種後の苗立を左右する要因が存在していることを示している。圃場直播試験の試験条件を低温苗立性簡易検定の条件と比較すると、播種深度、播種後の水深ともに深く、また、止水である。そのため、土中出芽性(土壤還元抵抗性)も苗立に大きく影響していると考えられる。また、秋系580の苗立率の年次間差が大きいのは、2003年の播種時に圃場の砕土率にムラがあり均平もとれていなかったことから播種深度、播種後の水深ともに深く還元条件となり、2004年と比較して苗立不良となったためと考えられる。

これら2系統は低温苗立性以外にも優れた特性を示した。15系2181はあきたこまちと比較して熟期が“早生の早”と早いこと、稈長が短く倒伏に強いことも実際の直播栽培では有利であると考えられた。また、秋系580は熟期があきたこまち並の早生であること、あきたこまちよりも耐倒伏性が改良されたことが実際の直播栽培では有利であると考えられた。さらに、あきたこまちと比較してももち病抵抗性、耐冷性が明らかに強いなど優れた特性を示した。

しかし、2系統ともにあきたこまちと比較して玄米品質が極めて不良であるなど不利形質も多く、実用品種としては不十分であると判断された。これは外国稲の持つ低温苗立性遺伝子と品質を低下させる遺伝子と

の連鎖が強く、これらを分別して選抜できなかったことに起因するものと考えられる。

近年、QTLの検出を可能にするDNAマーカーが開発されたことにより(Yano and Sasaki 1997)、外国稲の低温苗立性遺伝子とそれに連鎖する劣悪形質の遺伝子との間で組み換えが起きている個体をDNAマーカーを指標とすることで積極的に選抜することができると考えられる。これを利用することで良質・良食味の日本稲に外国稲の低温苗立性のみを導入することが可能である。このことから、これら劣悪形質を排除し実用的な直播適応性品種育成のためにはDNAマーカー選抜が有効であり、その開発のためには低温苗立性に関するQTL解析が不可欠であると考えられる。

2-6 まとめ

秋田県農林水産技術センター農業試験場では多様な消費者ニーズに応え、かつ農家経営に貢献できる水稲品種の育成を目指してきた。そのために、(1)良質・良食味の銘柄米、(2)新形質米、(3)酒造好適米、(4)超多収品種、(5)直播適応性品種の5つを米の品種改良の柱として育種事業を進めている。この研究プロジェクトの中で交配による品種育成を進めてきた。

銘柄米品種の開発については、耐冷性、耐病性を兼ね備えた良質・良食味品種の育成を目指してきた。これを達成するためには、耐冷性、耐病性などの特性検定については検定法の改良と圃場規模の拡大、また、食味については物性および成分による多検体検定の導入により選抜の効率化を図ってきた。このような方針のもとで育成された秋田89号は、耐冷性、耐病性ともに強く栽培しやすいこと、収量性が高いことなどから安定多収が可能な良質・良食味品種である。また、現在、育成中の系統も耐冷性、耐病性や品質、食味、いずれもかなり高いレベルにあり、秋田89号に続く優良品種の誕生が期待される場所である。

酒造好適米品種の開発については醸造特性の向上が課題であった。そこで、秋田県農業試験場、秋田県醸造試験場、秋田県酒造組合の三者共同体制による酒造好適米新品種開発事業を開始し、若い世代から酒造特性で選抜することにより解決した。酒造好適米新品種開発事業では4品種を育成し、その中でも事業の集大成である秋田酒こまちの育成によりその目標は達成された。事業は2003年度をもって終了したが、秋田県農林水産技術センター総合食品研究所(旧秋田県醸造試験場)と連携した酒造特性による系統選抜は継続している。今後はより醸造特性の優れた酒米品種、あるいは新しい特性を持った酒米品種の育成を目指す。

直播適応性品種の開発については外国品種の低温苗立性の導入を目指して、低温苗立性簡易検定を開発し選抜に利用した。外国品種の低温苗立性を日本稲に導入することには成功し、育種戦略としては誤りではな

かったと言える。しかし、育成系統は品質が劣るなど実用品種としては不十分であり、新たな育種戦略の構築が必要であると考えられる。

このように秋田県農業試験場では生産者あるいは実需者が必要とする実用品種育成のために、明確な育種目標を掲げ品種改良に取り組んできた。その達成のためには解決すべき多くの課題があったが、業務体制を見直したり選抜手法に改良を加えることなどで克服してきた。すなわち、実用品種育成のためには育種戦略の構築がいかに重要かということを示している。本章で紹介した優れた品種はこのような地道な取り組みの成果である。今後も普及品種の育成を第一とし、戦略を持った育種を行うことが重要と考える。

3 低温苗立性に関する QTL 解析

3-1 抄録

低温苗立性の優れた遺伝資源である Maratelli と Italice Livorno の持つ低温苗立性のみを日本品種に導入するための DNA マーカーを開発するため、Maratelli と Italice Livorno の 2 品種にあきたこまちを交配して得た F₃ 系統群を用いて低温苗立性に関わる形質の QTL 解析を行った。

Maratelli/あきたこまちの後代で 2 ヶ所の低温苗立性の QTL が検出された。また、低温発芽性の QTL が 4 ヶ所、低温伸長性の QTL が 1 カ所検出された。低温発芽性の 1 カ所の QTL を除き、これらの QTL では外国稲の対立遺伝子が表現型を良好にする方向に働いていた。このことから、低温苗立性、低温発芽性および低温伸長性について日本品種が持たない新規の遺伝子を Maratelli が持つ可能性があり、検出された QTL を導入することでこれら形質の改良ができると期待された。

Italice Livorno/あきたこまちの後代では低温苗立性の QTL が 2 ヶ所、低温発芽性の QTL が 2 ヶ所、低温伸長性の QTL が 1 カ所検出された。これら QTL はいずれも Italice Livorno の対立遺伝子が表現型を良好にする方向に働いていることから、これらの形質を高める遺伝子を Italice Livorno が持つ可能性があり、検出された QTL を導入することでこれら形質の改良ができると期待された。

いずれの集団においても低温発芽性と低温苗立性との間に有意な相関関係が認められたが、低温伸長性と低温苗立性との間には相関関係が見られなかった。さらに、低温発芽性の QTL と低温苗立性の QTL とが同一の染色体上に検出されたことから、低温発芽性がその後の低温苗立性に対しより大きな影響を与えていると考えられた。これらのことから、低温苗立性を改良する場合、Maratelli や Italice Livorno の低温発芽性に関与する QTL (qGL-3-1、qGL-3-2、qGL-3-3、qGL-3-4、

qGL-11-1) を利用することで低温苗立性を高められる可能性が示された。

3-2 緒言

世界の温帯地域、南・東南アジア高地の稲作地帯において、イネの生育ステージ全般を通じて低温ストレスが大きな問題となっており、低温耐性の導入は非常に重要である (Sthapit and Witcombe 1998)。これまで幼植物期、生殖生長期の低温耐性に焦点を絞った育種の試みがなされ、収量性向上に大いに貢献してきた。日本においても穂ばらみ期耐冷性に関してはその育種の成果がめざましく、稲作の北上を可能にした。しかしながら、移植栽培が一般的である日本では直播栽培した場合の低温苗立性について、ほとんど育種が進んでいない。近年、移植栽培は労力やコストがかかることから直播栽培の普及が奨められており、そのための低温苗立性を改良した直播適応性品種の育成が必要となってきている。

第 2 章で述べたとおり秋田県農林水産技術センター農業試験場ではこれまでに低温苗立性の優れた外国稲 Maratelli と Italice Livorno を交配母本として用いるとともに低温苗立性簡易検定を開発し選抜を行ってきた。しかし、従来の表現型による選抜だけでは低温苗立性の改善は難しく、未だ実用的な系統の作出には至っていない。これは低温苗立性の複雑な遺伝様式に起因するものと考えられ、Redona and Mackill (1996a、b) も低温苗立性は高い遺伝率を示すがその遺伝様式は複雑であると報告している。また、近代的な半矮性品種の低温苗立性を遺伝的に改良することは困難であるとする報告もある (David and Peterson 1976、Mgonja et al. 1993)。これはイネの低温苗立性にはいくつかの量的形質が関連しているためと考えられる (McKenzie et al. 1980)。これまでに稲の低温苗立性の優劣の要因として低温発芽性 (佐々木 1974、Miura et al. 2001、Fujino 2004、Fujino et al. 2004) や低温伸長性 (Peterson et al. 1978、Turner et al. 1982、Dilday et al. 1990、Ogiwara and Terashima 2001)、苗腐病抵抗性 (田中ら 1991) など複数の形質が報告されている。

近年、低温苗立性のような複雑な形質であっても遺伝子地図に基づく解析によりその遺伝的相互作用を明らかにし、遺伝子の作用として説明できるようになってきた。つまり、DNA マーカーを用いた QTL 解析が遺伝子の同定と量的形質を制御する遺伝子座の解析を可能にした (Yano and Sasaki 1997)。また、検出された QTL に連鎖する DNA マーカーを利用することによるマーカー選抜を可能にした。DNA マーカー選抜は低温苗立性とその他の劣悪形質とを分別して選抜できる利点もある。これらのことから、実用的な直播適応性品種育成のためには DNA マーカー選抜が有効であり、その開発のために低温苗立性に関する QTL 解

析が不可欠であると考えられる (Soller and Beckmann 1983、矢野 1991、鶴飼 2000)。

そこで、本章では低温苗立性の優れた遺伝資源である Maratelli と Italica Livorno を用いてそれらの持つ低温苗立性を制御する遺伝子と連鎖する DNA マーカーを開発することを目的として QTL 解析を行った。

3-3 Maratelli/あきたこまち後代 F₃ 系統群を用いた低温苗立性の QTL 解析

第 2 章で述べたとおりヨーロッパ品種の Maratelli は優れた低温苗立性を示す。また、Maratelli を母本として育成された系統 15 系 2181 も低温苗立性が優れていることから、Maratelli は低温苗立性を良好にする遺伝子を有していると考えられる。そこで、本実験では Maratelli/あきたこまち後代の F₃ 系統群を用いて低温苗立性の QTL 解析を試みた。

3-3-1 材料および方法

1) 供試材料

低温苗立性が優れる Maratelli と低温苗立性が劣るあきたこまち、および Maratelli/あきたこまち後代 F₃ 世代 120 系統を供試した。F₃ 系統の種子は秋田県農林水産技術センター農業試験場の慣行法により生産した。2002 年 4 月、32 °C、24 時間で催芽した F₂ 種子を育苗箱に播種し育苗ハウス内で育苗した。約 4 週間育苗した後、代掻きした水田に F₂ 世代の 120 個体を移植し、2002 年 9 月に F₃ 世代の種子を採種し 120 系統を得た。

2) 低温苗立性の表現型評価

低温苗立性の評価は低温苗立性簡易検定によって 2003 年と 2004 年の 2 カ年に行った。実験は気温が昼 25 °C/夜 20 °C 条件下の温室内で、かけ流しする灌漑水の平均水温を 15 °C とし、乾籾を用いて行った。

600 × 300 × 30mm の育苗箱にペーパーポット (ニッテンペーパーポット 10 号) を設置し、72 区 (50 × 50mm) に分割した。F₃ 系統群は各系統の成熟した種子を 20 粒選り育苗箱内の分割した各区にそれぞれ播種した。播種後、育苗箱を 50 日間冷水かけ流し処理した。低温苗立性は低温苗立性簡易検定における草丈によって評価した。低温苗立性に関する実験を 2 カ年にわたって実施したのは、より多くの遺伝子型系統を評価するためである。また、コントロールとして同じシステムを用いて水温 25 °C としたときの草丈を常温苗立性として評価した。形質の安定性や広義の遺伝率を確認するために、両親である Maratelli とあきたこまちをそれぞれの実験毎に 6 反復供試した。

3) DNA 抽出

完全展開した生葉約 1mg をサンプリングし、その

葉切片から赤木 (2000) の方法に従い DNA を抽出した。サンプリングしたイネの葉の先端を 65 °C で 1 時間風乾後、Micro Smash (トミー精工) を用いてステンレスボール (φ 3mm) により完全に粉碎した。簡易抽出バッファー (1M Tris-HCl (pH8.0)、5M NaCl、0.5M EDTA (pH8.0)、10% SDS) (Edwards et al. 1991) を 400 μL 加え、ミキサーを用いて 3 分間攪拌した後、室温で 1 時間放置した。13,000rpm で 5 分間遠心し、組織の残渣を沈殿させた。上清 300 μL を 1.5 ml エンペンドルフチューブに移し、等量のイソプロパノールを加えて混合した。室温で 20 分間放置した後、13,000rpm で 10 分間遠心した。チューブ内の液を捨て乾燥した後、DNA を 100 μL の TE buffer (10mM Tris-HCl, pH8.0, 1mM EDTA) に溶解した。

4) PCR 及び電気泳動

PCR (Polymerase Chain Reaction) には GeneAmp9600 または GeneAmp9700 (Perkin-Elmer 社) を使用した。反応液 20 μL 中には 10mM Tris-HCl (pH8.3)、50mM KCl、1.5mM MgCl₂ buffer、4 nM dNTPs、0.25 unit rTaq (TAKARA)、20pM プライマーが含まれる。マイクロサテライトを増幅する 550 組のプライマーを使用し、反応液には Forward プライマーと Reverse プライマーを各 10pM 添加した。この反応液に DNA を 1 μL 添加して以下の条件で PCR を行った。PCR サイクルは 94 °C、2 分 → (94 °C、10 秒 → 55 °C、30 秒 → 72 °C、1 分) × 35 サイクル → 72 °C、10 分 → 4 °C とした。PCR 増幅産物は 3% MetaPhor Agarose (FMC) を用い、TBE buffer 中で定電圧 150V にて 1 時間泳動して分画した。分子量マーカーには 20 base pair ladder (TAKARA) を使用した。

5) 遺伝子地図の作成及び QTL 解析

解析した各マーカーの遺伝子型のデータをもとに MAPMAKER/EXP ver. 3.0 (Lander et al. 1987) を用いて遺伝子地図の作成を行った。F₂ 世代における SSR マーカーの遺伝子型の期待分離比は共優性マーカーの 1:2:1 または優性マーカーの 3:1 と異なるので、マーカー毎に期待分離比に対する適合度をカイ 2 乗検定で評価した。期待分離比が 1:2:1 または 3:1 の計 89 マーカーを対象にゲノム内の分離比を 5% 水準 (α=0.05) でカイ 2 乗検定するため、シーケンシャルボンフェローニ (ホルム) 補正したカイ 2 乗 (例 α'=0.05/89=0.0006) を閾値とし、適合度の有意性検定を行った (Rice 1989)。QTL 解析はソフトウェア Windows QTL Cartographer Version 2.5 (Wang et al. 2006) に組み込まれている複合区間マッピング (Composite Interval Mapping、CIM) 法を用いた。供試データの QTL の閾値は 1,000 回の並びかえ検定 (5% 水準) によって設定した。複数の QTL が検出さ

れた形質に関しては、Windows QTL Cartographer Version 2.5の多重区間マッピング (Multiple Interval Mapping) モデルによって寄与率を算出した。

3-3-2 結果

1) F₃系統群における低温苗立性の変異

両親または F₃ 系統群において低温苗立性に明確な変異が見られた (第 3-1 表、第 3-1 図 a、b)。2003 年の試験における低温苗立性は Maratelli は 103mm (75mm、2004 年) を示し、一方、低温苗立性の弱いあきたこまちでは 35mm (16mm、2004 年) であった。低温苗立性に関する 2 年間の QTL 解析結果から計算される広義の遺伝率は 2003 年では 0.770、2004 年では 0.859 といずれも高かった。

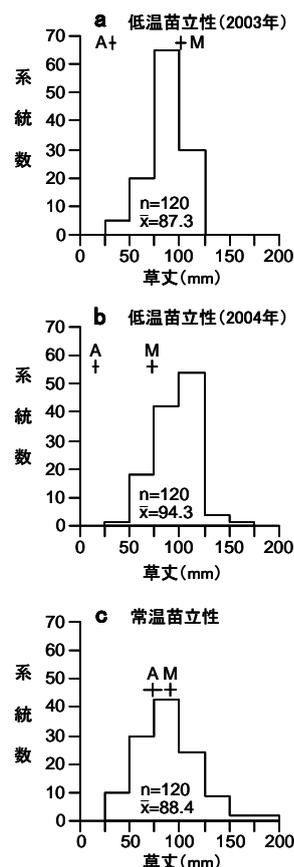
F₃ 系統群の低温苗立性は 2003 年では 30 ~ 121mm の範囲に、2004 年では 49 ~ 153mm の範囲に連続的に分布し、平均値はそれぞれ 87.3mm、94.3mm であった (第 3-1 表、第 3-1 図 a、b)。いずれの年次も両親を超越する系統が存在した。また、F₃ 系統群の低温苗立性における年次間相関は 5% 水準 ($r=0.185$) で有意であった。

常温苗立性は Maratelli は 86mm を示し、あきたこまちでは 74mm であった。F₃ 系統群の常温苗立性は 33 ~ 184mm の範囲に連続的に分布し、平均値は 88.4mm であった (第 3-1 図 c)。両親を超越する系統も多く見られた (第 3-1 表、第 3-1 図 c)。

また、低温苗立性と常温苗立性の間には有意な相関関係は見られなかった (第 3-1 表)。

2) マーカー (遺伝子型) の分離と遺伝子地図

最初に両親の DNA を用い 550 個の SSR マーカーの多型解析を行い、その内 100 個の SSR マーカーを用いて遺伝子地図の作成を行った。この中で、11 個のマーカーはマーカー間の距離が短かったため (3cM 未満 コサンビユニット) 除外し、最終的に 89 個の



第3-1図 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群における低温苗立性および常温苗立性の度数分布

M: 「Maratelli」の値 A: 「あきたこまち」の値
 +: 中心は平均値、幅が標準偏差を表す
 n: 供試したF₃系統数 \bar{x} : 標準偏差

マーカーで遺伝子地図を作成した。マーカーはイネの 12 本の染色体に対応する 12 連鎖群として位置づけることができた (第 3-2 図)。マーカーはゲノム全体に散在し、マーカー間の平均距離は 26.5cM、遺伝子地図の全距離は 2,650cM となり、イネの全染色体をカバーする遺伝子地図を作成することができた (第 3-2 図)。第 2、5、7、8、9、12 染色体上のそれぞれ RM145-RM327、RM341-RM5631、RM5642-MRG348、RM214-RM234、RM6999-RM5637、RM3912-RM5786、RM5700-RM6123 間の遺伝的距離は大きく 50cM 以上あった。作成された遺伝子地図はイネゲノムの約 90

第3-1表 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群における低温苗立性および常温苗立性

形質 ¹⁾ (単位)	年次	Maratelli	あきたこまち	F ₃ (範囲)	h^2_B ²⁾	r ³⁾
低温苗立性 (mm)	2003	103	35	87.3 (30-121)	0.770	-
低温苗立性 (mm)	2004	75	16	94.3 (49-153)	0.859	-
常温苗立性 (mm)	2004	86	74	88.4 (33-184)	0.752	0.136

1) 低温苗立性: 低温苗立性簡易検定 (水温 15°C) における草丈 (mm)

常温苗立性: 常温苗立性簡易検定 (水温 25°C) における草丈 (mm)

2) 広義の遺伝率を公式 $(V_P - V_E) / V_P$ で算出した。

3) 各形質と 2003、2004 年の低温苗立性 (mm) の平均値との相関係数を算出した。

%を網羅しており、何れの染色体の両端付近にはマーカーが得られた。また、5%水準で有意に期待分離比から外れたマーカーは第5染色体上のMRG4834のみであった。

3) QTL解析

検出されたQTLの染色体上の位置、相加効果、優性効果について第3-2表にまとめた。低温苗立性に関するQTL(QTL of Seedling vigor at the low temperature:以降qSVL)が第3、11染色体上に1つずつ見いだされた(qSVL-3-1、qSVL-11-1)(第3-2表、第3-2図)。

qSVL-3-1は2003年、2004年ともに検出され、第3染色体短腕上のマーカーRM3387とRM6349との間に検出された。qSVL-3-1はあきたこまちの染色体を背景とする条件でがより大きな効果を示し、12.0-26.8%の寄与率であった。qSVL-11-1はマーカーRM5716とRM7277との間に検出され、LOD値6.1、寄与率15.9%であった。これら2つのQTLともにMaratelliの対立遺伝子が低温苗立性を強くする方向に働いており、それらQTLの寄与率は全表現型の41.5%であった(第3-2表、第3-2図)。

また、本実験では、常温苗立性に関するQTLは検出することができなかった。

第3-2表 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群における低温苗立性QTLの染色体位置

QTL	染色体	マーカー ¹⁾	位置 ²⁾ (cM)	LOD値 ³⁾	相加効果 ⁴⁾	優性効果 ⁵⁾	寄与率 ⁶⁾ (%)
低温苗立性(2003年)(閾値 LOD ⁷⁾ :4.2)							
qSVL-3-1	3	RM3387-RM6349	0.0	10.5	12.7	-9.7	26.8
qSVL-11-1	11	RM5716-RM7277	153.4	6.1	10.1	-2.7	15.9
						Total	41.5
低温苗立性(2004年)(閾値 LOD:3.8)							
qSVL-3-1	3	RM3387-RM6349	0.0	3.9	5.9	-11.3	12.0

1)QTL近傍のマーカー

2)染色体短腕側のマーカーからの距離(cM)

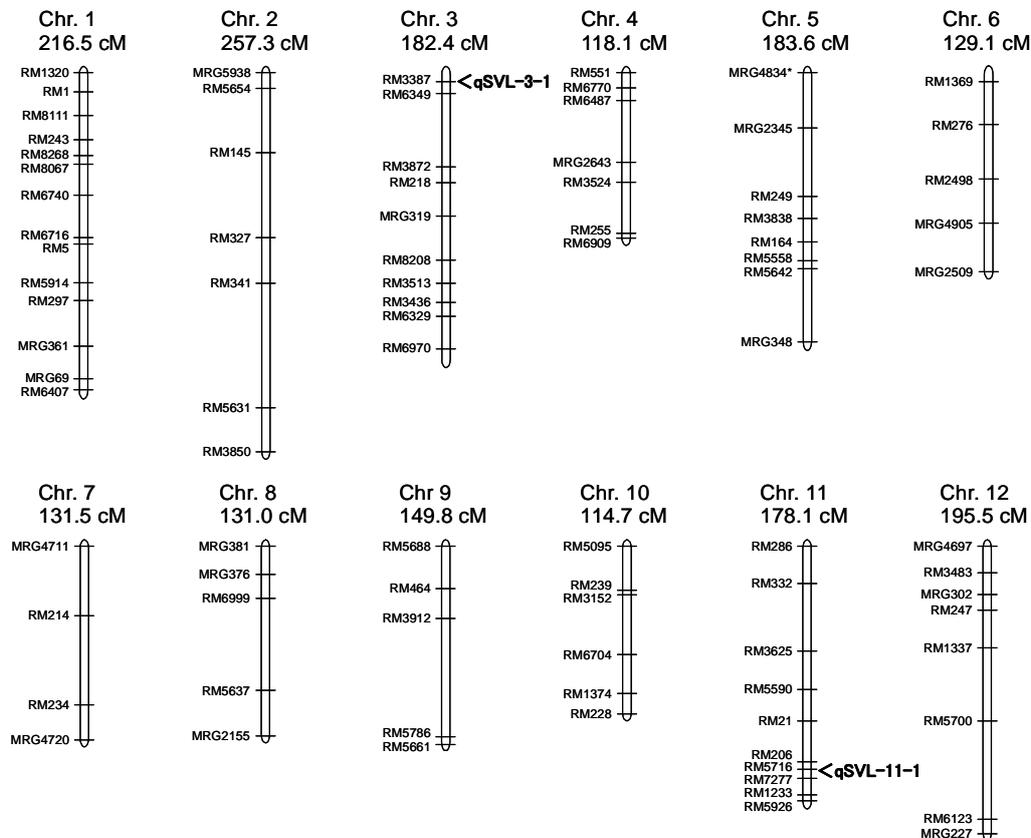
3)QTLのLOD値

4)遺伝子型が「あきたこまち」ホモ型から「Maratelli」ホモ型に置換したときの効果の1/2の値

5)優性の方向

6)全表現型に対する寄与率

7)1,000回の並びかえ検定(5%水準)で算出されたQTLの閾値



第3-2図 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群の遺伝子地図と低温苗立性に関するQTLの位置

3-3-3 考察

F₃ 系統群での低温苗立性は連続的な変異を示し (第 3-1 図 a、b)、複数の遺伝子が関与する量的形質であることが示唆された。さらに、超越分離を示したことから (第 3-1 表、第 3-1 図 a、b)、Maratelli とあきたこまちの双方に低温苗立性を向上させる遺伝子が存在すると考えられた。しかしながら、本実験で検出された qSVL-3-1、qSVL-11-1 はいずれも Maratelli の対立遺伝子が低温苗立性を強くする方向に働いていた (第 3-2 表)。このことから、あきたこまちは本実験で検出できなかった作用力の小さな QTL を持つと考えられる。

本研究では、2003 年と 2004 年の 2 ヶ年に低温苗立性の QTL 解析を行った。しかしながら、それら 2 年間の年次間相関は低かった ($r=0.185$, $P<0.05$) (第 3-1 表)。この年次間相関が低かった要因として、実験に供試した種子粒数 (1 区当たり 20 粒) が少なかったこと、各年次での実験を周りの気温や光に影響される開放条件下で実施したことが考えられる。このような条件でも低温苗立性に関して 2 つの QTL が検出されていることから、少なくともこれ以上の遺伝子が関与していると考えられた。さらには、2 ヶ年にわたって qSVL-3-1 は第 3 染色体短腕上の SSR マーカー RM3387 (359, 442-359, 581 bp physical map position in Gramene Annotated Nipponbare Sequence 2006、<http://www.gramene.org>) 近傍に検出された (第 3-2 表)。さらに、この QTL の寄与率は低温苗立性の表現型の 12.0-26.8 % であり、低温苗立性の向上に高い効果を示すことが明らかとなった (第 3-2 表)。

また、F₃ 系統群での常温苗立性も連続的な変異を示し (第 3-1 図 c)、複数の遺伝子が関与する量的形質であることが示唆された。さらに、超越分離を示したことから (第 3-1 表、第 3-1 図 c)、Maratelli とあきたこまちの双方に常温苗立性を向上させる遺伝子が存在すると考えられた。しかし、常温苗立性に関する QTL は検出されず、さらに、低温苗立性との間に相関が見られないことから低温苗立性は常温苗立性とは異なる遺伝子で制御されていると考えられた。従って、低温苗立性の QTL が検出された QTL 領域には低温条件下で特異的に作用する遺伝子が座乗している可能性がある (第 3-2 表、第 3-2 図)。

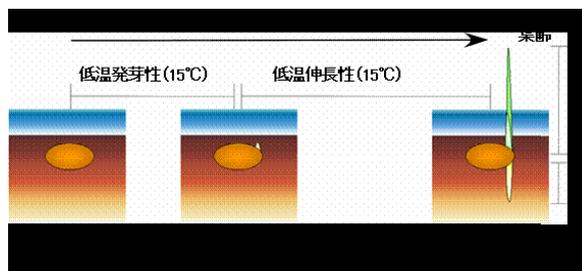
低温苗立性に関する複数の QTL の存在が示されたことから、これらを日本の良食味品種に導入し、低温苗立性の優れる良食味な直播適応性品種を育成することが期待される。さらに、QTL 近傍の DNA マーカーを指標としたマーカー選抜をそれらの育成に活用することが可能であると考えられる。

3-4 Maratelli/あきたこまち後代 F₃ 系統群を用いた低温発芽性、低温伸長性の QTL 解析

前節において Maratelli/あきたこまち後代 F₃ 系統群を用い低温苗立性の QTL 解析を行い、2 ヶ所の低温苗立性の QTL を検出した。同時に QTL 解析では検出できなかった作用力の小さな複数の遺伝子が低温苗立性に関与している可能性も示唆された。低温苗立性は幾つかの形質が複合して発現すると考えられることから、これらを明らかにするためには、低温苗立性に関連する幾つかの形質に分割して解析するのが有効である。

直播栽培における低温苗立性に関わる形質として、低温発芽性 (佐々木 1974) や低温伸長性 (Carnahan et al. 1972, Daivid and Peterson 1976, Li and Rutger 1980, Ogiwara and Terashima 2001)、苗腐病抵抗性 (田中ら 1991)、中茎伸長性 (勝田 1998)、土中出芽性 (土壌還元抵抗性) (福田ら 1997、太田ら 2003、山口ら 2007)、加齢による種子発芽能力の低下 (Yamauchi and Winn 1996) などの報告がある。イネの低温苗立性を改良するためにはこれら形質に関与する QTL 領域を明らかにし、それらの低温苗立性の向上に対する効果を検証することが重要である。実際の低温条件下での苗立の経過を見ると、乾粒で播種し正常な苗立ちに至るまで、低温下で種子が発芽し幼植物が伸長する過程を経る (第 3-3 図)。

本節では、低温苗立性をより詳細に解析するために、低温発芽性と低温伸長性の 2 つの形質に着目し、前節と共通の F₃ 系統群を用いてこれらの形質に関する QTL 解析を試みた。



第3-3図 イネの低温苗立の経過

3-4-1 材料および方法

1) 供試材料

前節と共通の Maratelli/あきたこまち後代 F₃ 世代 120 系統および両親を供試した。

2) 低温発芽性、低温伸長性の表現型評価

2003 年に Maratelli、あきたこまち及び F₃ 系統群の 15 °C での発芽性を調査した。1 系統・品種につき 25 粒の成熟した種子を濾紙を敷いた直径 60mm のペトリ皿内に置床し 7ml の蒸留水を加えた後、気温 15 °C、暗条件の恒温器で発芽させた。発芽粒数の調査は 1 日毎に 14 日間行った。コントロールとして 25 °C 条件下で同様に試験を行った。低温発芽性は 25 粒の平均発

第3-3表 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群における低温発芽性および低温(常温)伸長性

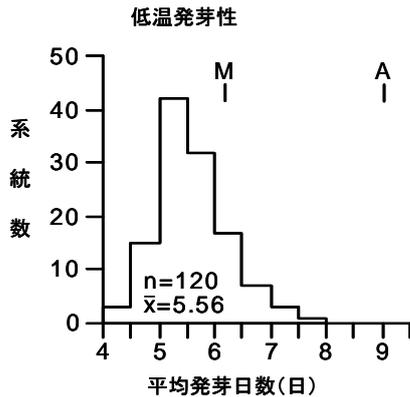
形質 ¹⁾ (単位)	年次	Maratelli	あきたこまち	F ₃ (範囲)	h^2_B ²⁾
低温発芽性(日)	2003	6.2	9.1	5.6(4.4-7.6)	-
低温伸長性(mm)	2005	69	35	49.2(27-66)	0.488
常温伸長性(mm)	2005	97	54	71.6(45-95)	0.909

1)低温発芽性:15°Cでの平均発芽日数(日)

低温伸長性:低温伸長性簡易検定(水温15°C)における第1葉鞘長(mm)

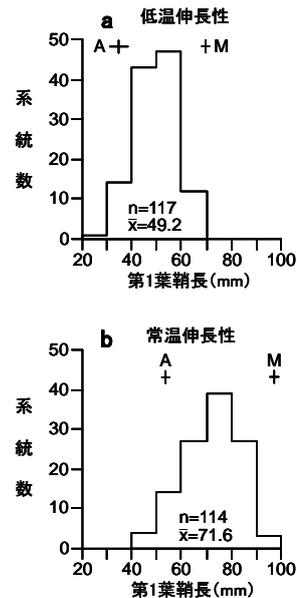
常温伸長性:常温伸長性簡易検定(水温25°C)における第1葉鞘長(mm)

2)広義の遺伝率を公式(V_P-V_E)/ V_P で算出した。低温発芽性の V_P は算出していない。



第3-4図 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群における低温発芽性の度数分布

M:「Maratelli」の値 A:「あきたこまち」の値
 +: 中心は平均値, 幅が標準偏差を表す
 n: 供試したF₃系統数 \bar{x} : 標準偏差



第3-5図 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群における低温伸長性および常温伸長性の度数分布

M:「Maratelli」の値 A:「あきたこまち」の値
 +: 中心は平均値, 幅が標準偏差を表す
 n: 供試したF₃系統数 \bar{x} : 標準偏差

3-4-2 結果

1) F₃ 系統群における低温発芽性および低温(常温)伸長性の変異

両親または F₃ 系統群において低温発芽性および低温(常温)伸長性に明確な変異が見られた(第3-3表、第3-4図、第3-5図)。

Maratelli およびあきたこま치의低温発芽性、つまり、15°Cでの平均発芽日数は、それぞれ6.2日および9.1日であった。F₃ 系統群では4.4~7.6日の範囲で連続的に分布し、平均値は5.6日であった。両親を超越する系統も多く見られた(第3-3表、第3-4図)。

一方、幼植物の低温伸長性はMaratelliで69mm、あきたこまちで35mmであった。F₃ 系統群の低温伸長性は27~66mmの範囲に連続的に分布し、平均値49.2mmであった(第3-3表、第3-5図a)。また、常温伸長性はMaratelliで97mm、あきたこまちで54mmであった。F₃ 系統群の常温伸長性は45~95mmの範

芽日数で評価した。

低温伸長性を評価するために2005年に催芽粉と低温苗立性簡易検定を利用した。催芽種子は32°C、24時間、湿度100%条件で催芽したもので、低温発芽性の影響を排除し幼植物の低温伸長性のみを評価するために用いた。低温伸長性の評価は2005年の催芽粉を用いた実験による第1葉鞘長によって行なった。また、コントロールとして同じシステムを用いて水温25°Cとしたときの第1葉鞘長で常温伸長性についても評価した。形質の安定性や広義の遺伝率を確認するために、両親であるMaratelliとあきたこまちをそれぞれの実験毎に6反復供試した。

3) DNA抽出、PCR及び電気泳動及び遺伝子地図の作成及びQTL解析は3-3-1と同様の方法を用いた。

圃に連続的に分布し、平均値 71.6mm であった (第 3-3 表、第 3、5 図 b)。低温苗立性、常温苗立性ともに Maratelli を超越する系統は見られなかった (第 3-3 表、第 3-5 図)。

出された QTL の染色体上の位置、相加効果、優性効果について第 3-4 表にまとめた。

低温発芽性に関する QTL (QTL of Germinability at the low temperature : 以降 qGL) は第 1、3、11 染色体上に計 4 つ検出された (qGL-1-1、qGL-3-1、qGL-3-2、qGL-11-1) (第 3-4 表、第 3-6 図)。qGL-1-1 はマーカー RM5 と RM5914 との間に検出され、LOD 値 8.1、

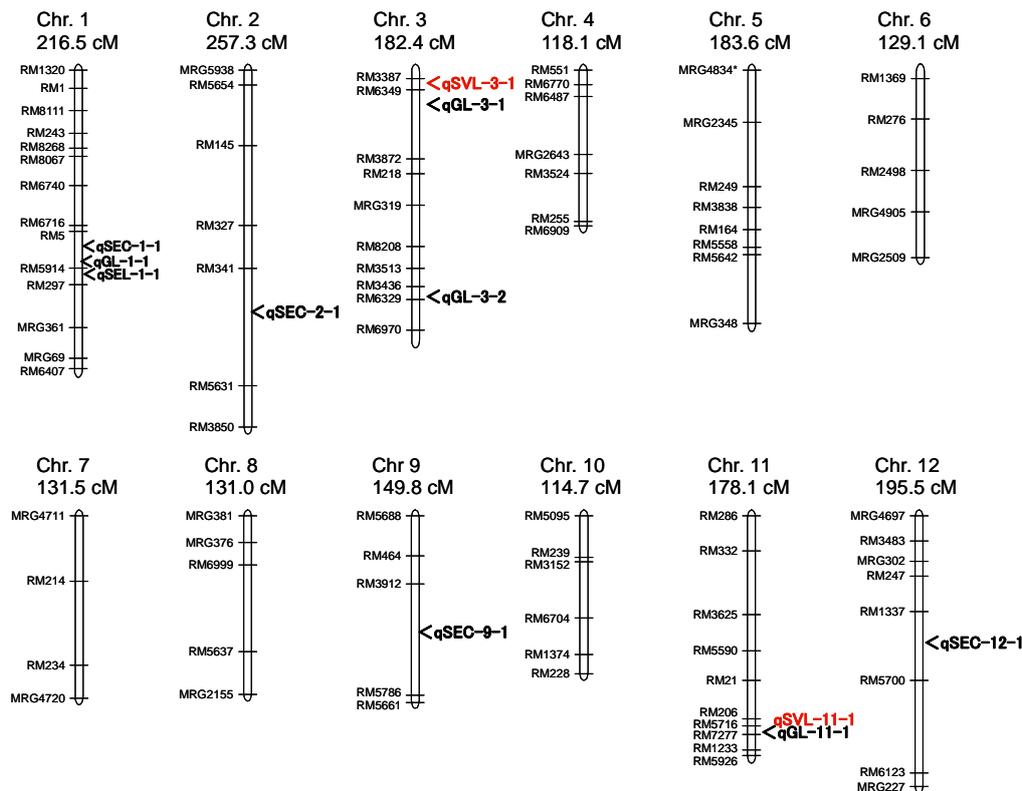
2) QTL 解析

QTL 解析には前節と共通の遺伝子地図を用い、検

第3-4表 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群における低温発芽性QTLおよび低温(常温)伸長性QTLの染色体位置

QTL	染色体	マーカー ¹⁾	位置 ²⁾ (cM)	LOD値 ³⁾	相加効果 ⁴⁾	優性効果 ⁵⁾	寄与率 ⁶⁾ (%)	
低温発芽性(閾値 LOD ⁷⁾ : 4.2)								
qGL-1-1	1	RM5-RM5914	137.2	8.1	0.5	0.1	22.6	
qGL-3-1	3	RM6349-RM3872	16.4	5.3	-0.3	0.4	18.6	
qGL-3-2	3	RM3436-RM6329	154.8	6.6	-0.4	-0.1	16.1	
qGL-11-1	11	RM5716-RM7277	153.4	4.6	-0.4	0.1	9.8	
							Total	70.4
低温伸長性(閾値 LOD: 3.7)								
qSEL-1-1	1	RM5914-RM297	147.4	6.1	5.1	1.1	20.9	
常温伸長性(閾値 LOD: 4.2)								
qSEC-1-1	1	RM5-RM5914	133.2	6.2	8.1	-5.9	29.7	
qSEC-2-1	2	RM341-RM5631	174.9	7.2	-6.9	-15.6	59.8	
qSEC-9-1	9	RM3912-RM5786	90.8	4.7	9.6	-7.9	51.5	
qSEC-12-1	12	RM1337-RM5700	73.2	5.2	3.1	-16.6	53.5	
							Total	99.2

- 1) QTL 近傍のマーカー
- 2) 染色体短腕側のマーカーからの距離 (cM)
- 3) QTL の LOD 値
- 4) 遺伝子型が「あきたこまち」ホモ型から「Maratelli」ホモ型に置換したときの効果の 1/2 の値
- 5) 優性の方向
- 6) 全表現型に対する寄与率
- 7) 1,000 回の並びかえ検定 (5% 水準) で算出された QTL の閾値



第3-6図 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群の遺伝子地図と低温発芽性および低温(常温)伸長性に関するQTLの位置

qSVL: 低温苗立性QTL qGL: 低温発芽性QTL
 qSEL: 低温伸長性QTL qSEC: 常温伸長性QTL

寄与率 22.6%であった。qGL-3-1 はマーカー RM6349 と RM3872 との間に検出され、LOD 値 5.3、寄与率 18.6%であった。qGL-3-2 はマーカー RM3436 と RM6329 との間に検出され、LOD 値 6.6、寄与率 16.1%であった。qGL-11-1 はマーカー RM5716 と RM7277 との間に検出され、LOD 値 4.6、寄与率 9.8%であった。これら QTL のうち qGL-3-1、qGL-3-2、qGL-11-1 は Maratelli、qGL-1-1 はあきたこまの対立遺伝子が低温での発芽を早くする方向に作用しており、それら QTL の寄与率は全表現型の 70.4%であった (第 3-4 表、第 3-6 図)。

低温伸長性に関する QTL (QTL of Seedling elongation at the low temperature: 以降 qSEL) は第 1 染色体上のマーカー RM5914 と RM297 との間に 1 つ見いだされ (qSEL-1-1)、LOD 値 6.1、寄与率 20.9%であった (第 3-4 表、第 3-6 図)。また、常温伸長性に関する QTL (QTL of Seedling elongation at the conventional temperature: 以降 qSEC) も第 1、2、9、12 染色体上に検出された (qSEC-1-1、qSEC-2-1、qSEC-9-1、qSEC-12-1) (第 3-4 表、第 3-6 図)。qSEC-1-1 はマーカー RM5 と RM5914 との間に検出され、LOD 値 6.2、寄与率 29.7%であった。qSEC-2-1 はマーカー RM341 と RM5631 との間に検出され、LOD 値 7.2、寄与率 59.8%であった。qSEC-9-1 はマーカー RM3912 と RM5786 との間に検出され、LOD 値 4.7、寄与率 51.5%であった。qSEC-12-1 はマーカー RM1337 と RM5700 との間に検出され、LOD 値 5.2、寄与率 53.5%であった。これら 4 つの QTL で常温伸長性の 99.2%を説明することができた (第 3-4 表、第 3-6 図)。

3) 低温発芽性および低温 (常温) 伸長性と低温 (常温) 苗立性との相関関係

低温発芽性および低温 (常温) 伸長性と低温 (常温) 苗立性との相関関係を第 3-5 表に示した。低温苗立性に関与する形質間の相関については、F₃ 系統群での低温苗立性と低温伸長性 ($r=-0.172$)、常温苗立性 ($r=0.136$) あるいは常温伸長性 ($r=-0.122$) との相関関係は見られなかったが、低温苗立性と低温発芽性の間には相関関係が見られた ($r=-0.427$, $P<0.01$)。

第3-5表 「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統群における

低温発芽性および低温 (常温) 伸長性と低温苗立性との相関関係

形質 ¹⁾ (単位)	r ²⁾
低温発芽性(日)	-0.427 **
低温伸長性(mm)	-0.172
常温伸長性(mm)	-0.122

1)低温苗立性: 低温苗立性簡易検定(水温15°C)における草丈(mm)

低温発芽性: 15°Cでの平均発芽日数(日)

低温伸長性: 低温伸長性簡易検定(水温15°C)における第1葉鞘長(mm)

常温伸長性: 常温伸長性簡易検定(水温25°C)における第1葉鞘長(mm)

2)各形質と2003、2004年の低温苗立性(mm)の平均値との相関係数を算出した。

** : 1%水準で有意に相関有り

3-4-3 考察

低温発芽性は F₃ 系統群で連続的な変異を示し (第 3-4 図)、複数の遺伝子が関与する量的形質であることが示唆された。さらに、超越分離を示したこと (第 3-3 表、第 3-4 図)、QTL 解析で Maratelli とあきたこまの両方が低温発芽性を強くする方向に働く QTL を有していたことから (第 3-4 表)、Maratelli とあきたこまの双方に低温発芽性を向上させる遺伝子が存在すると考えられた。

また、低温伸長性も F₃ 系統群で連続的な変異を示し (第 3-5 図 a)、複数の遺伝子が関与する量的形質であることが示唆された。常温伸長性も同様に連続的な変異を示し (第 3-5 図 b)、複数の遺伝子が関与する量的形質であると考えられる。また、2 つの形質ともに Maratelli を超越する系統はなく (第 3-3 表、第 3-5 図)、これら形質を向上させる遺伝子を Maratelli が全て有していると考えられた。しかし、qSEC-2-1 はあきたこまの対立遺伝子が常温伸長性を強くする方向に働く QTL として検出された (第 3-4 表)。これは qSEC-2-1 が他の QTL と相加的な効果を持たないことによると考えられる。

低温苗立性と低温発芽性との間に有意な相関関係 ($r=-0.427$, $P<0.01$) があつた (第 3-5 表)。つまり、低温下でのごく初期の生育、少なくとも低温発芽性がその後の低温での苗立性に影響を及ぼしていると言える。QTL 解析でも qGL-3-1 は qSVL-3-1、qGL-11-1 は qSVL-11-1 と極近傍の染色体領域に位置しており、このことが低温苗立性と低温発芽性との有意な相関関係をもたらしたものと考えられる (第 3-2 表、第 3-4 表、第 3-6 図)。これらの 2 ヶ所の QTL と同座でかつ低温下で類似の効果を示す QTL として qGL-3-1 については qLTG-3-1 (Fujino et al. 2004) が、qGL-11-1 については qGL-11 (Miura et al. 2001) が外国稲と日本稲との交雑による QTL 解析で検出されている。このことは QTL が検出された染色体領域には低温苗立性に関与する遺伝子が座乗している可能性が高いと考えられる。すなわち、Maratelli は優れた低温発芽性を持つことにより良好な低温苗立性を示すものと考えられる。

これに対して、低温伸長性と低温苗立性との間に相関は認められず (第 3-5 表)、低温伸長性に関する QTL も低温苗立性の QTL とは別の染色体上には検出された (第 3-2 表、第 3-4 表、第 3-6 図)。このことから、低温下での幼植物の伸長性を向上させる遺伝子は存在するが、低温苗立性の向上に対する寄与率はあまり大きくないと考えられる。

以上のことから、Maratelli は低温発芽性あるいは低温伸長性を向上させる遺伝子をどちらも有しているが、低温発芽性の遺伝子の方が低温苗立性向上に有効であると言える。つまり、実際の育種において低温苗

立性を改良しようとした場合、Maratelli の低温発芽性に関する QTL (qGL-3-1、qGL-3-2、qGL-11-1) を利用することで低温苗立性を高められる可能性が示された。

3-5 Italice Livorno/あきたこまち後代 F₃ 系統群を用いた低温苗立性の QTL 解析

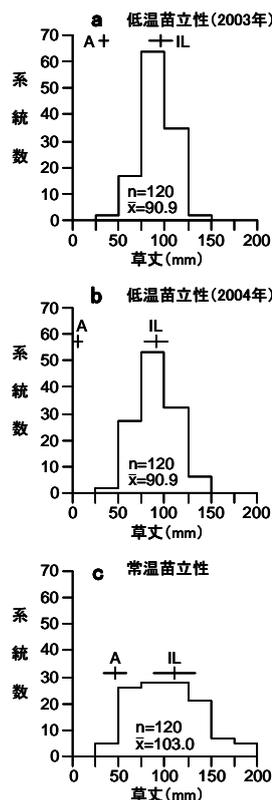
第 2 章で述べたようにヨーロッパ品種の Italice Livorno は優れた低温苗立性を示す。また、Italice Livorno を母本として育成された系統秋系 580 も低温苗立性が優れることから、Italice Livorno は低温苗立性を向上させる遺伝子を有していると考えられる。そこで、本実験では Italice Livorno/あきたこまち後代の F₃ 系統群を用いて低温苗立性の QTL 解析を試みた。

3-5-1 材料および方法

1) 供試材料

低温苗立性に優れる Italice Livorno と低温苗立性に劣るあきたこまち、および Italice Livorno/あきたこまち後代 F₃ 世代 120 系統を供試した。F₃ 系統の種子は秋田県農林水産技術センター農業試験場の慣行法により生産した。2002 年 4 月、32℃、24 時間で催芽した F₂ 種子を育苗箱に播種し育苗ハウス内で育苗した。約 4 週間育苗した後代掻きした水田に F₂ 世代の 120 個体を移植し、2002 年 9 月に F₃ 世代の種子を採種し 120 系統を得た。

2) 低温苗立性の表現型評価、DNA 抽出、PCR 及び電気泳動及び遺伝子地図の作成及び QTL 解析は 3-3-1 と同様の方法を用いた。



第3-7図 「Italice Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群における低温苗立性および常温苗立性の度数分布

IL:「Italice Livorno」の値 A:「あきたこまち」の値
 +: 中心は平均値, 幅が標準偏差を表す
 n: 供試したF₃系統数 \bar{x} : 標準偏差

3-5-2 結果

1) F₃ 系統群における低温苗立性の変異

低温苗立性は F₃ 系統群において連続的な変異を示すことが明らかとなった (第 3-6 表、第 3-7 図 a、b)。2003 年における低温苗立性は Italice Livorno は 94mm (85mm、2004 年) を示し、低温苗立性の弱いあきたこまちでは 34mm (13mm、2004 年) であった (第 3-6 表、第 3-7 図 a、b)。低温苗立性に関する 2 年間の QTL 解析結果から計算される広義の遺伝率は 2003 年では 0.625、2004 年では 0.887 といずれも高かった (第 3-6 表)。

第3-6表 「Italice Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群における低温苗立性および常温苗立性

形質 ¹⁾ (単位)	年次	Italice Livorno	あきたこまち	F ₃ (範囲)	h^2_B ²⁾	r ³⁾
低温苗立性(mm)	2003	94	34	90.9(37-130)	0.625	-
低温苗立性(mm)	2004	85	13	90.9(43-148)	0.887	-
常温苗立性(mm)	2004	110	50	103.0(36-190)	0.762	0.386**

1)低温苗立性:低温苗立性簡易検定(水温15℃)における草丈(mm)

常温苗立性:常温苗立性簡易検定(水温25℃)における草丈(mm)

2)広義の遺伝率を公式 $(V_p - V_E) / V_p$ で算出した。

3)各形質と2003、2004年の低温苗立性(mm)の平均値との相関係数を算出した。

** : 1%水準で有意に相関有り

F₃ 系統群の低温苗立性は 2003 年では 37 ~ 130mm の範囲に、2004 年では 43 ~ 148mm の範囲に連続的に分布し、平均値はそれぞれ 90.9mm、90.9mm であった (第 3-6 表、第 3-7 図 a、b)。いずれの年次も両親を超越する系統が存在した。また、F₃ 系統群の低温苗立性における年次間相関は 1%水準 (r=0.374) で有意であった。

一方、常温苗立性は *Italica Livorno* は 110mm を示し、あきたこまちでは 50mm であった。F₃ 系統群の常温苗立性は 36 ~ 190mm の範囲に連続的に分布し、平均値は 103.0mm であった (第 3-6 表、第 3-7 図 c)。両親を超越する系統も見られた。

これら F₃ 系統群における低温苗立性と常温苗立性の間に有意な正の相関関係が確認された (r=0.386、P<0.01) (第 3-6 表)。

2) マーカー (遺伝子型) の分離と遺伝子地図

最初に両親の DNA を用い 550 個の SSR マーカーの多型解析を行い、多型のみられた 96 個の SSR マーカーを用いて遺伝子地図の作成を行った。この内 2 個のマーカーはマーカー間の距離が短かったため (3cM 未満 コサンプユニット) 除外し、最終的に 94 個のマーカーで遺伝子地図を作成した。マーカーはイネの 12 本の染色体に対応する 12 連鎖群として位置づけることができた (第 3-8 図)。マーカーはゲノム全体に散在し、マーカー間の平均距離は 20.0cM、遺伝子地図の全距離は 1,880cM となり、イネの全染色体をカバーする遺伝子地図を作成することができた (第 3-4 図)。第 1、2、7、8、12 染色体上のそれぞれ RM8067-RM6716、RM3512-RM3850、RM5752-RM6776、RM310-RM3459、RM247-RM1246 間の遺伝的距離は大きく 50cM 以上あった。作成された遺伝子地図はイネゲノムの約 85 % を網羅しているが、第 9 染色体の上端をカバーしていなかった。また、5 % 水準以上で有意に期待分離比から外れたマーカーは第 3 染色体上の RM3525 及び第 12 染色体上 RM5700 の 2 個であった。

3) QTL 解析

検出された QTL の染色体上の位置、相加効果、優

性効果について第 3-7 表にまとめた。低温苗立性に関する QTL が第 2、3 染色体上に 1 つずつ見いだされた (qSVL-2-1、qSVL-3-2) (第 3-7 表、第 3-8 図)。qSVL-2-1 は第 2 染色体長腕上のマーカー RM3512 と RM3850 との間に検出され、LOD 値 4.0、寄与率 24.4 % であった。qSVL-3-2 は第 3 染色体長腕上のマーカー RM6970 と RM6987 との間に検出され、LOD 値 4.6、寄与率 16.2 % であった。これら 2 つの QTL ともに *Italica Livorno* の対立遺伝子が低温苗立性を強くする方向に働いていた (第 3-7 表、第 3-8 図)。これに対して、常温苗立性に関する QTL は本実験では検出することができなかった。

3-5-3 考察

低温苗立性は F₃ 系統群で連続的な変異を示し (第 3-7 図 a、b)、複数の遺伝子が関与する量的形質であることが示唆された。さらに、超越分離が観察されたことから (第 3-6 表、第 3-7 図 a、b)、*Italica Livorno* とあきたこまちの双方に低温苗立性を向上させる遺伝子が存在すると考えられた。しかしながら、本実験で検出された qSVL-2-1、qSVL-3-2 はいずれも *Italica Livorno* の対立遺伝子が低温苗立性を強くする方向に働いていた (第 3-7 表)。このことから、あきたこまちは本実験で検出できなかった作用力の小さな QTL を持つと考えられる。

同様に、常温苗立性も F₃ 系統群で連続的な変異を示し (第 3-7 図 c)、複数の遺伝子が関与する量的形質であることが示唆された。さらに、超越分離を示したことから (第 3-6 表、第 3-7 図 c)、*Italica Livorno* とあきたこまちの双方に常温苗立性を向上させる遺伝子が存在すると考えられた。しかし、常温苗立性に関する QTL は検出されず (第 3-7 表、第 3-8 図)、常温苗立性には作用力の小さな遺伝子が多数関与していると考えられた。

低温苗立性の QTL が検出された領域には常温苗立性の QTL が検出されなかったことから (第 3-7 表、第 3-8 図)、これら QTL 領域には低温条件で特異的に作用する遺伝子が座乗している可能性があると考えられた。

第3-7表 「*Italica Livorno* / あきたこまち」後代F₃系統群における低温苗立性QTLの染色体位置

QTL	染色体	マーカー ¹⁾	位置 ²⁾ (cM)	LOD値 ³⁾	相加効果 ⁴⁾	優性効果 ⁵⁾	寄与率 ⁶⁾ (%)
低温苗立性(2003年)(閾値 LOD ⁷⁾ :3.5)							
qSVL-3-2	3	RM6970-RM6987	+4.0	4.6	0.76	0.85	16.2
低温苗立性(2004年)(閾値 LOD:3.6)							
qSVL-2-1	2	RM3512-RM3850	+12.0	4.0	1.52	-0.33	24.4

1)QTL近傍のマーカー

2)染色体短腕側のマーカーからの距離(cM)

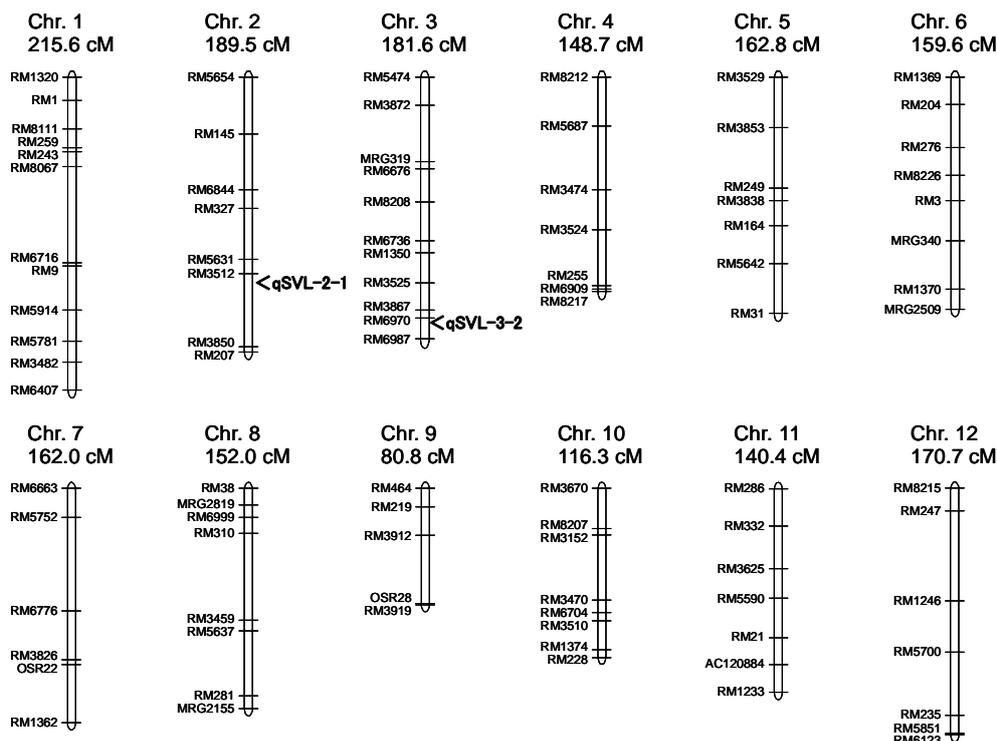
3)QTLのLOD値

4)遺伝子型が「あきたこまち」ホモ型から「*Italica Livorno*」ホモ型に置換したときの効果の1/2の値

5)優性の方向

6)全表現型に対する寄与率

7)1,000回の並びかえ検定(5%水準)で算出されたQTLの閾値



第3-8図 「Italice Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群の遺伝子地図と低温苗立性に関するQTLの位置

本実験では常温苗立性の QTL は検出されなかったが、低温苗立性と常温苗立性との間に有意な相関関係が見られたことから ($r=0.386$, $P<0.01$) (第 3-6 表)、効果の小さい複数の遺伝子が低温下でも働くことにより低温苗立性に影響している可能性が考えられた。

Maratelli と同様に Italice Livorno でも低温苗立性を向上させる複数の QTL が同定されたことから、これらを日本の良食味品種に導入し、低温苗立性の優れる良食味な直播適応性品種を育成することが期待される。また、QTL 近傍には DNA マーカーが存在するため、これらを利用したマーカー選抜によってこのような品種を効率的に育成することが可能になるものと考えられる。

3-6 Italice Livorno/あきたこまち後代 F₃ 系統群を用いた低温発芽性、低温伸長性の QTL 解析

前節において Italice Livorno/あきたこまち後代 F₃ 系統群を用い低温苗立性の QTL 解析を行い、2ヶ所の低温苗立性の QTL を検出した。同時に QTL 解析で検出できなかった作用力の小さな複数の遺伝子が低温苗立性を高めている可能性も示唆された。これらを明らかにするためには、複合形質である低温苗立性を構成する幾つかの形質に分割して解析するのが有効である。

直播栽培における低温苗立性に関わる形質として、

低温発芽性 (佐々木 1974) や低温伸長性 (Carnahan et al. 1972, Daivid and Peterson 1976, Li and Rutger 1980, Ogiwara and Terashima 2001)、苗腐病抵抗性 (田中ら 1991)、中茎伸長性 (勝田 1998)、土中出芽性 (土壤還元抵抗性) (福田ら 1997、太田ら 2003、山口ら 2007)、加齢による種子発芽能力の低下 (Yamauchi and Winn 1996) などの報告がある。イネの低温苗立性の改良のためには、これらの形質に関与している QTL 領域を明らかにし、低温苗立性の向上に対する効果を検証することが必要であると考えられる。低温条件下の苗立の経過を見ると、乾初で播種し正常な苗立ちに至るまで、低温下で種子が発芽し幼植物が伸長する過程を経ることから (第 3-3 図)、低温発芽性と低温伸長性の 2つの形質に着目した。

本節では、低温苗立性をより詳細に解析するために、前節と共通の F₃ 系統群を用いて低温発芽性と低温伸長性に関する QTL 解析を試みた。

3-6-1 材料および方法

1) 供試材料

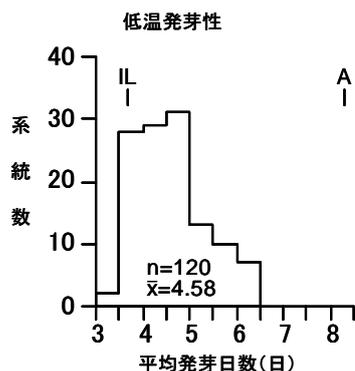
前節と共通の Italice Livorno/あきたこまち後代 F₃ 世代 120 系統および両親を供試した。

2) 低温発芽性、低温伸長性の表現型評価、DNA 抽出、PCR 及び電気泳動及び遺伝子地図の作成及び QTL

第3-8表 「Italica Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群における低温発芽性および低温(常温)伸長性

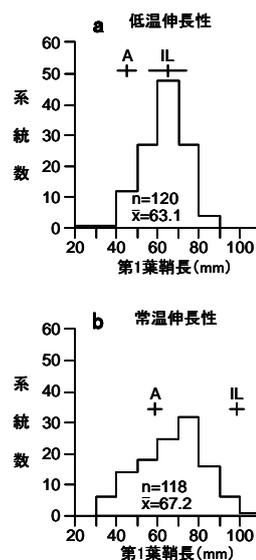
形質 ¹⁾ (単位)	年次	Italica Livorno	あきたこまち	F ₃ (範囲)	h_B^2 ²⁾
低温発芽性(日)	2003	3.7	8.3	4.6(3.2-6.3)	-
低温伸長性(mm)	2005	64	45	63.1(24-85)	0.548
常温伸長性(mm)	2005	92	59	67.2(32-108)	0.946

1)低温発芽性:15°Cでの平均発芽日数(日)
 低温伸長性:低温伸長性簡易検定(水温15°C)における第1葉鞘長(mm)
 常温伸長性:常温伸長性簡易検定(水温25°C)における第1葉鞘長(mm)
 2)広義の遺伝率を公式(V_P-V_E)/ V_P で算出した。低温発芽性の V_P は算出していない。



第3-9図 「Italica Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群における低温発芽性の度数分布

IL:「Italica Livorno」の値 A:「あきたこまち」の値
 +: 中心は平均値, 幅が標準偏差を表す
 n: 供試したF₃系統数 \bar{x} : 標準偏差



第3-10図 「Italica Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群における低温伸長性および常温伸長性の度数分布

IL:「Italica Livorno」の値 A:「あきたこまち」の値
 +: 中心は平均値, 幅が標準偏差を表す
 n: 供試したF₃系統数 \bar{x} : 標準偏差

解析は 3-3-2 と同様の方法を用いた。

3-6-2 結果

1) F₃ 系統群における低温発芽性および低温(常温)伸長性の変異

両親または F₃ 系統群において低温発芽性および低温(常温)伸長性に明確な変異が見られた(第 3-8 表、第 3-9 図、第 3-10 図)。

Italica Livorno およびあきたこま치의低温発芽性、つまり、15 °Cでの平均発芽日数は、それぞれ 3.7 日および 8.3 日であった。F₃ 系統群では 3.2 ~ 6.3 日の範囲で連続的に分布し、平均値は 4.6 日であった(第 3-8 表、第 3-9 図)。さらに、両親を超越する系統も見られた。

一方、低温伸長性は Italica Livorno で 64mm、あきたこまちで 45mm であった。F₃ 系統群の分布は範囲 24

~ 85mm、平均値 63.1mm であり、両親を超越する系統も見られた(第 3-8 表、第 3-10 図 a)。また、常温伸長性は Italica Livorno で 92mm、あきたこまちで 59mm であった。F₃ 系統群の分布は範囲 32 ~ 108mm、平均値 67.2mm であり、両親を超越する系統も見られた(第 3-8 表、第 3-10 図 b)。

2) QTL 解析

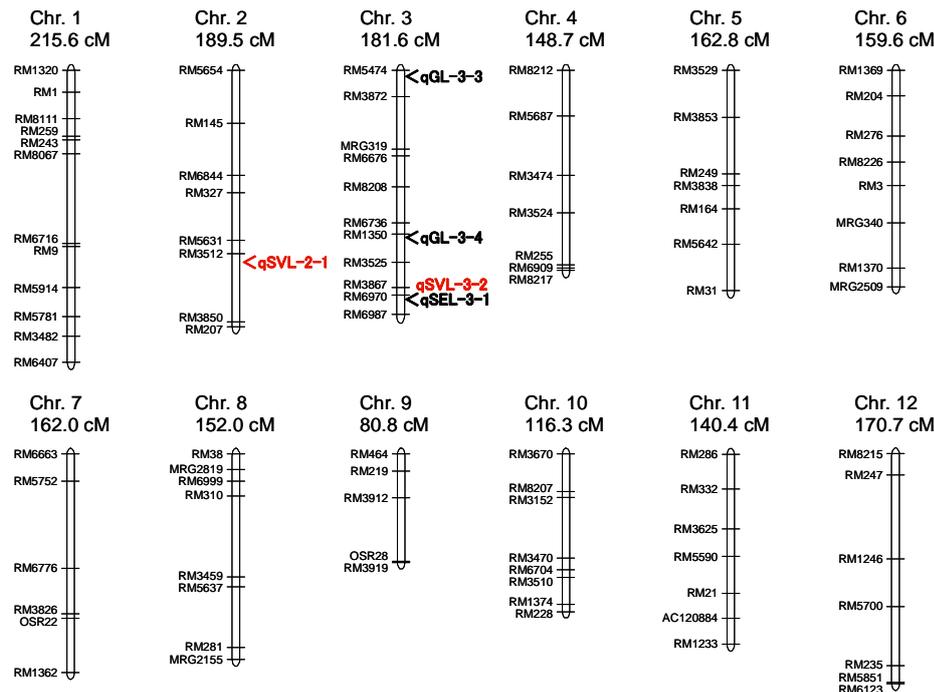
QTL 解析には前節と共通の遺伝子地図を用い、検出された QTL の染色体上の位置、相加効果、優性効果について第 3-9 表にまとめた。

低温発芽性に関する QTL は第 3 染色体上の 2 ヶ所に検出された(qGL-3-3、qGL-3-4)(第 3-9 表、第 3-11 図)。qGL-3-3 は第 3 染色体短腕上のマーカー RM5474 と RM3872 との間に検出され、LOD 値 5.2、寄与率 11.6 %であった。qGL-3-4 は第 3 染色体長腕上の RM1350 の領域に検出され、LOD 値 11.0、寄与率 25.2 %であった。いずれの QTL も Italica Livorno の対立遺伝子が低温での発芽を早くする方向に働いていた(第

第3-9表 「Italica Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群における
低温発芽性QTLおよび低温(常温)伸長性QTLの染色体位置

QTL	染色体	マーカー ¹⁾	位置 ²⁾ (cM)	LOD値 ³⁾	相加効果 ⁴⁾	優性効果 ⁵⁾	PVE ⁶⁾
低温発芽性(閾値 LOD:4.6)							
qGL-3-3	3	RM5474-RM3872	+2.0	5.2	-0.28	-0.29	11.6
qGL-3-4	3	RM1350	+0.0	11.0	-0.48	0.13	25.2
							Total 41.1
低温伸長性(閾値 LOD:3.7)							
qSEL-3-1	3	RM6970-RM6987	+10.0	5.0	0.64	-0.09	19.0

- 1)QTL近傍のマーカー
- 2)染色体短腕側のマーカーからの距離(cM)
- 3)QTLのLOD値
- 4)遺伝子型が「あきたこまち」ホモ型から「Italica Livorno」ホモ型に置換したときの効果の1/2の値
- 5)優性の方向
- 6)全表現型に対する寄与率
- 7)1,000回の並びかえ検定(5%水準)で算出されたQTLの閾値



第3-11図 「Italica Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群の遺伝子地図と
低温発芽性および低温(常温)伸長性に関するQTLの位置

qSVL:低温苗立性QTL qGL:低温発芽性QTL
qSEL:低温伸長性QTL

3-9表、第3-11図)。

また、低温伸長性に関する QTL として qSEL-3-1 が第3染色体長腕上のマーカー RM6970 と RM6987 との間に検出され、LOD 値 5.0、寄与率は 19.0 %であった(第3-9表、第3-11図)。この QTL は Italica Livorno の対立遺伝子が低温伸長性を強くする方向に働いていた。しかしながら、常温伸長性に関する QTL は検出することができなかった。

3) 低温発芽性および低温(常温)伸長性と低温(常温)苗立性との相関関係

低温発芽性および低温(常温)伸長性と低温(常温)苗立性との相関関係を第3-10表に示した。

F₃ 系統群での低温苗立性と低温伸長性 (r=0.051)

第3-10表 「Italica Livorno/あきたこまち」後代F₃系統群における
低温発芽性および低温(常温)伸長性と低温苗立性との相関関係

形質 ¹⁾ (単位)	r ²⁾
低温発芽性(日)	-0.384 **
低温伸長性(mm)	0.051
常温伸長性(mm)	0.086 **

1)低温苗立性:低温苗立性簡易検定(水温15°C)における草丈(mm)

低温発芽性:15°Cでの平均発芽日数(日)

低温伸長性:低温伸長性簡易検定(水温15°C)における第1葉鞘長(mm)

常温伸長性:常温伸長性簡易検定(水温25°C)における第1葉鞘長(mm)

2)各形質と2003、2004年の低温苗立性(mm)の平均値との相関係数を算出した。

** : 1%水準で有意に相関有り

および常温伸長性 (r=0.086) との相関関係は見いだせなかった。一方、低温苗立性と低温発芽性の間に相関関係が認められた (r=-0.384、P<0.01)。

3-6-3 考察

低温発芽性は F_3 系統群で連続的な変異を示し (第 3-9 図)、複数の遺伝子が関与する量的形質であることが示唆された。本実験では、低温発芽性の QTL として qGL-3-3 と qGL-3-4 の 2 つが検出され、いずれも *Italica Livorno* の対立遺伝子が低温発芽性を強くする方向に働いていた (第 3-9 表)。

また、 F_3 系統群での低温伸長性も連続的な変異を示し (第 3-10 図 a)、複数の遺伝子が関与する量的形質であることが示唆された。常温伸長性も同様に連続的な変異を示し (第 3-10 図 b)、複数の遺伝子が関与する量的形質であると考えられる。低温伸長性については超越分離を示したことから (第 3-8 表、第 3-10 図)、*Italica Livorno* とあきたこまちの双方に低温伸長性を向上させる遺伝子が存在すると考えられた。しかしながら、本実験では *Italica Livorno* の対立遺伝子が低温伸長性を向上させる qSEL-3-1 のみが検出された (第 3-9 表、第 3-11 図)。このことから、*Italica Livorno* とあきたこまちは作用力の小さな低温伸長性を高める QTL を有しているものと考えられた。

低温苗立性と低温発芽性との間に有意な相関関係 ($r=-0.384$, $P<0.01$) があった (第 3-10 表)。つまり、低温下でのごく初期の生育、少なくとも低温発芽性がその後の低温での苗立性に影響を及ぼしていると言える。QTL 解析でも第 3 染色体上に低温発芽性 QTL (qGL-3-2、qGL-3-4) と低温苗立性 QTL (qSVL-3-2) の両方が検出されており (第 3-7 表、第 3-9 表、第 3-11 図)、低温苗立性と低温発芽性との有意な相関関係を説明している。また、qGL-3-2、qGL-3-4 はいずれも Fujino ら (2004) がはやまさりと *Italica Livorno* の F_2 集団を用いて検出した類似の効果を示す QTL と染色体上の位置が近接している。このことから、これらが低温発芽性に関する同じ遺伝子であり、QTL が検出された染色体領域に座乗している可能性が高いと考えられる。これらのことから、*Italica Livorno* は低温発芽性を高める遺伝子を持つことにより良好な低温苗立性を示すものと考えられた。

また、qSEL-3-1 は qSVL-3-2 と同一の染色体領域の極近傍に位置していた (第 3-7 表、第 3-9 表、第 3-11 図)。これらの QTL は何れも *Italica Livorno* の対立遺伝子が低温苗立性を向上させる方向に働いていた (第 3-7 表、第 3-9 表)。これらのことより、*Italica Livorno* では低温での優れた伸長性が苗立性を向上させていることも示唆された。しかし、低温伸長性と低温苗立性との間に有意な相関関係は認められず、qSEL-3-1 のもたらす効果は低温苗立性全体に対してあまり大きくないと考えられる。

低温苗立性と常温伸長性との間には有意な相関関係が認められた ($r=0.386$, $P<0.01$) (第 3-11 表)。今回、

常温伸長性の QTL は検出されなかったが、効果の小さい複数の遺伝子が低温下でも働くことによって、低温苗立性にも影響している可能性が考えられた。

以上のことから、*Italica Livorno* は低温発芽性と低温伸長性を向上させる遺伝子を有しており、これらが低温苗立性を向上させると考えられたが、特に、低温発芽性の遺伝子が低温苗立性の向上に有効であると言える。つまり、低温苗立性を改良する場合、*Italica Livorno* の低温発芽性に関与する QTL (qGL-3-2、qGL-3-4) を利用することで低温苗立性を効果的に高められる可能性が示された。

3-7 まとめ

本研究では、秋田県でのイネの直播栽培の普及に不可欠な直播適応性品種の開発を目指し、低温下で直播しても苗が正常に成長できる形質 (低温苗立性) に関する QTL 解析を試みた。イネはこれまでの研究から、低温苗立性に関する遺伝形質について多様性に富み、中には低温での成長に優れるものの存在が知られている (小高、安部 1989)。そこで、低温苗立性に優れる外国稲の *Maratelli* と *Italica Livorno* を用い、これらに低温苗立性が劣るあきたこまちを交配して得た F_3 系統群を用いて低温苗立性に関わる形質の QTL の解析を行った。

Maratelli/あきたこまち後代 F_3 系統群で 2 ヶ所 (第 3-2 表、第 3-2 図)、*Italica Livorno*/あきたこまち後代 F_3 系統群でも 2 ヶ所 (第 3-7 表、第 3-8 図) の低温苗立性の QTL が検出された。これら QTL はいずれも外国稲の対立遺伝子が低温苗立性を良好にする方向に働いており (第 3-2 表、第 3-7 表)、この領域には日本品種が持たない新規の低温苗立性を向上させる遺伝子が座乗している可能性が示唆された。これらの低温苗立性を向上させる QTL を日本の良食味品種に導入し、低温苗立性の優れた良食味な直播適応性品種を育成することが期待される。さらに、このような品種育成において、QTL 近傍の DNA マーカーを利用したマーカー選抜が可能である。

直播栽培における低温苗立性を左右する形質として、低温発芽性 (佐々木 1974) や低温伸長性 (Carnahan et al. 1972, Daivid and Peterson 1976, Li and Rutger 1980, Ogiwara and Terashima 2001) をはじめとする多くの形質が報告されており、イネの低温苗立性はこれらの複合形質であると考えられる。低温苗立性の改良のためにはこれら形質が関与する QTL 領域を解析し低温苗立性向上に対する効果を検証することが重要である。そこで、多くの形質のうち低温発芽性と低温伸長性の 2 つの形質に着目し、それらに関する QTL 解析を試みた。

Maratelli/あきたこまち後代 F_3 系統群では低温発芽性の QTL が 4 ヶ所と低温伸長性の QTL が 1 カ所 (第

3-4 表、第 3-6 図)、Italica Livorno/あきたこまち後代 F_3 系統群では低温発芽性の QTL が 2 ヶ所と低温伸長性の QTL が 1 カ所 (第 3-9 表、第 3-11 図) 検出された。これら QTL のうち Maratelli/あきたこまち後代 F_3 系統群で検出された 1 カ所の低温発芽性の QTL を除き残り 7 カ所の QTL はいずれも外国稲の対立遺伝子が表現型を良好にする方向に働いていた (第 3-4 表、第 3-9 図)。このことから、低温発芽性と低温伸長性についても日本品種が持たない新規の遺伝子を Maratelli と Italica Livorno が持つ可能性があり、これらの QTL を導入することでこれら形質の改良できると期待される。

いずれの集団においても低温発芽性と低温苗立性との間に有意な相関関係が認められたが、低温伸長性と低温苗立性との間には相関関係が見られなかった (第 3-5 表、第 3-11 表)。さらに、低温発芽性の QTL と低温苗立性の QTL とが同一の染色体上に検出されたことから (第 3-4 表、第 3-6 図、第 3-9 表、第 3-11 図)、低温発芽性がその後の低温苗立性に対しより大きな影響を与えていると言える。つまり、低温苗立性を改良する場合、Maratelli や Italica Livorno の低温発芽性に関与する QTL (qGL-3-1、qGL-3-2、qGL-3-3、qGL-3-4、qGL-11-1) を利用することで低温苗立性を高められる可能性が示された。さらに、これらの QTL は異なる染色体領域に検出されていることから、これら領域に座乗する遺伝子を集積させることで、より低温苗立性の優れる系統を育成できることが示唆された。

今後、本研究で見出された QTL の位置情報を活用したマーカー選抜を応用した交配育種により外国稲の持つ有用な低温苗立性のみを付与させた直播適応性品種の育成が可能となり、秋田県での直播栽培の普及に寄与できると期待される。

4 低温苗立性に関与する QTL の効果

4-1 抄録

QTL 領域を有する NIL を育成し、これらの QTL 領域に実際に低温苗立性を左右する遺伝子が存在するかを検証した。

Maratelli を低温苗立性の遺伝資源とし、あきたこまちを連続戻し交配しながら低温苗立性の表現型で選抜を重ねて 3 つの BC_4F_1 系統を育成した。それらを相互交配した中から NIL (F_2) を 8 系統育成した。

8 つの NIL のうち 5 系統で低温発芽性の QTL、qGL-3-1、qGL-3-2 のいずれかあるいは両方を持っており、優れた低温発芽性を示した。このことから、これらの QTL 領域には低温発芽性を高める作用を持つ遺伝子が存在することが明らかとなった。さらに、1 ヶ所の QTL を持つ系統よりも 2 ヶ所の QTL を合わせ持つ系統の方がより高い低温発芽性を示し、これらの

遺伝子は相加的に働くものと考えられた。

低温苗立性に関する QTL、qSVL-3-1 を持つ 4 系統はいずれも優れた低温苗立性を示し、この QTL 領域には低温苗立性を向上させる遺伝子が存在することが明らかとなった。これら 4 系統は同時に低温発芽性も向上しており、qSVL-3-1 の極近傍に検出された低温発芽性 QTL、qGL-3-1 が低温発芽性を向上させることで良好な苗立になったと考えられた。

4-2 緒言

第 3 章において Maratelli と Italica Livorno を用いて低温苗立性に関する複数の QTL が存在することを明らかにした。このことから、DNA マーカーを用いた選抜により QTL 領域をあきたこまちなどの優良な日本品種に導入することで、表現型での選抜が難しい低温苗立性を向上できる可能性が示された。そのためには、QTL 解析で検出された低温苗立性に関与する QTL が座乗する染色体領域に実際に低温苗立性を左右する遺伝子が存在するかどうかを検証することが不可欠である。

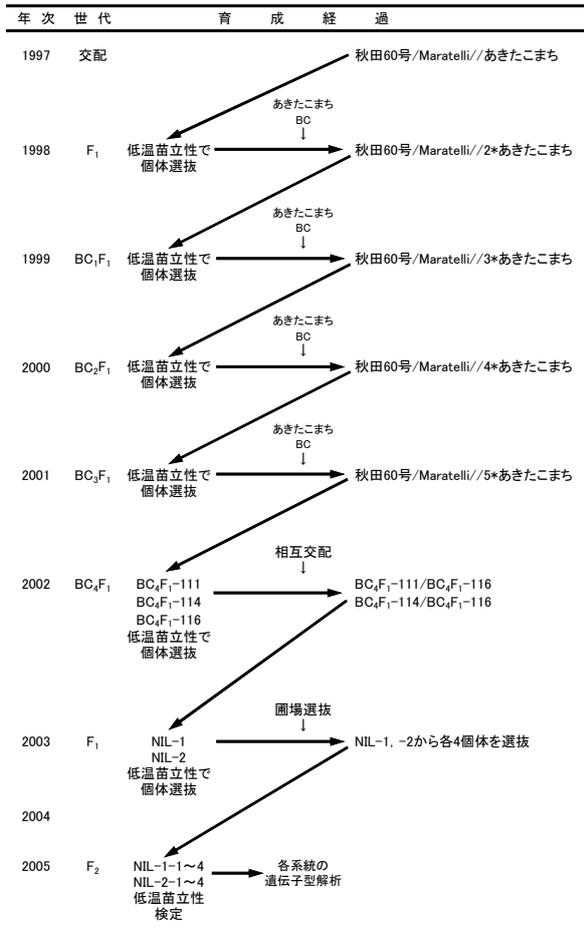
そこで、本章では Maratelli を遺伝資源とし低温苗立性の表現型で選抜しながらあきたこまちを連続戻し交配して育成した NIL について、遺伝子型と表現型との関係を解析した。

4-3 準同質遺伝子系統 (NIL) の育成と解析

4-3-2 育成経過

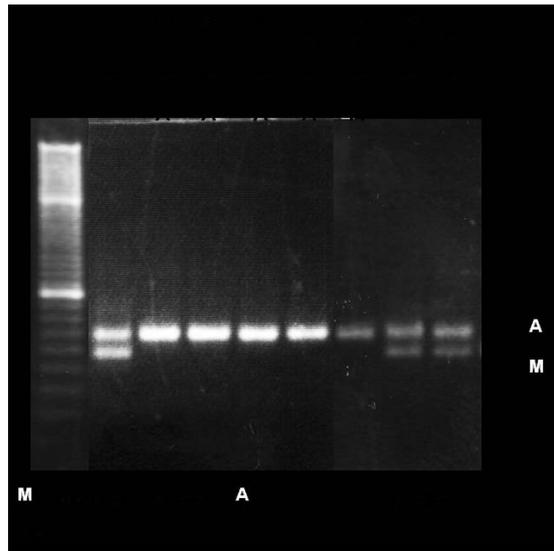
低温苗立性に関する遺伝子をあきたこまちに導入した NIL を育成するために、1997 年から Maratelli を低温苗立性の遺伝資源とし、あきたこまちを連続戻し交配しながら低温苗立性の表現型で選抜を重ねてきた (第 4-1 表)。1997 年に秋田 60 号/Maratelli の F_1 を母、あきたこまちを父として人工交配し、さらに 1998 年、1999 年、2000 年、2001 年にあきたこまちを連続戻し交配した。この間、毎年、交配に用いる個体は低温苗立性簡易検定による選抜を行った。2002 年に BC_4F_1 世代の 3 系統、 BC_4F_1 -111、 BC_4F_1 -114、 BC_4F_1 -116 を低温苗立性の優れる個体を選抜後に圃場養成し、それらの間で 2 組合せの交配を行った。それぞれの組合せを NIL-1、NIL-2 と名付けた。これら F_1 世代 2 組合せの中から低温苗立性の表現型により個体選抜し、さらに出穂期、草型で各組合せ 4 個体ずつの F_1 を選抜した。選抜した F_1 個体から F_2 種子を採種し、NIL-1-1 ~ 4 および NIL-2-1 ~ 4 の 8 つの NIL を育成した。これら系統は染色体の大部分があきたこまちに置換しており、Maratelli 由来の QTL 領域が表現型に及ぼす影響を解析するのに適当であると考えられる。2005 年にこれら NIL の表現型を評価すると同時に、遺伝子型を解析し QTL 領域を持つかを解析した。

第4-1表 あきたこまち低温苗立性準同質遺伝子系統群の育成経過

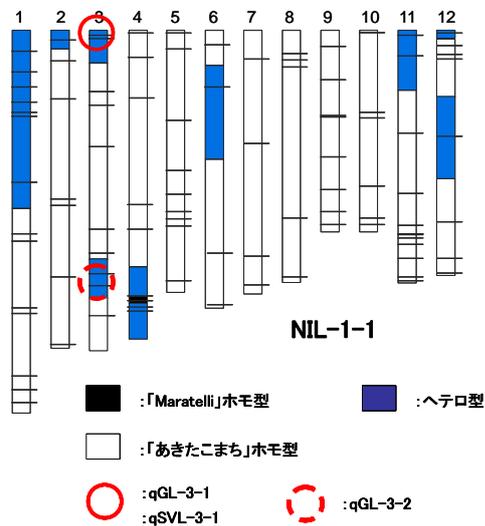


4-3-2 遺伝子型解析

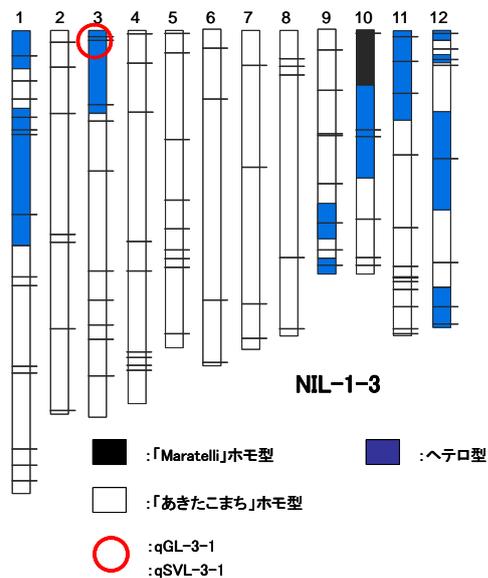
8つのNILについてQTL領域の遺伝子型の解析を行った。遺伝子型の解析は第3章と同じ方法とし、遺伝子地図作成に用いた89個のSSRマーカーで各系統の遺伝子型を解析した(第4-1図)。その結果、8系統中5系統が第3染色体上のQTLを含むMaratelliの染色体領域を残していることが明らかになった(第4-2図a、b、c、d、e、第4-3表)。NIL-1-1はqSVL-3-1(qGL-3-1)とqGL-3-2の2ヶ所のQTL領域を持っていた(第4-2図a)。また、NIL-1-3、NIL-2-1およびNIL-2-4の3系統はqSVL-3-1(qGL-3-1)のQTL領域のみを(第4-2図b、c、e)、NIL-2-3はqGL-3-2のQTL領域のみを持っていた(第4-2図d)。これらに対して、NIL-1-2、NIL-1-4およびNIL2-2の3系統はいずれもQTL領域を残していなかった。また、qGL-1-1(qSEL-1-1)とqSVL-11-1(qGL-11-1)の2つのQTL領域については8系統ともあきたこまちホモ型に置換していた。



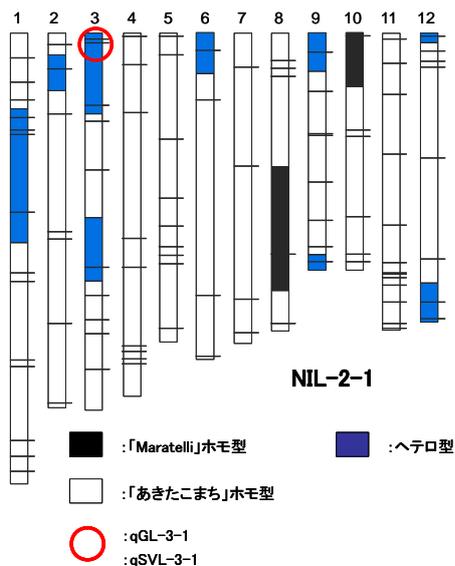
第4-1図 準同質遺伝子系統のRM8111における遺伝子型の解析



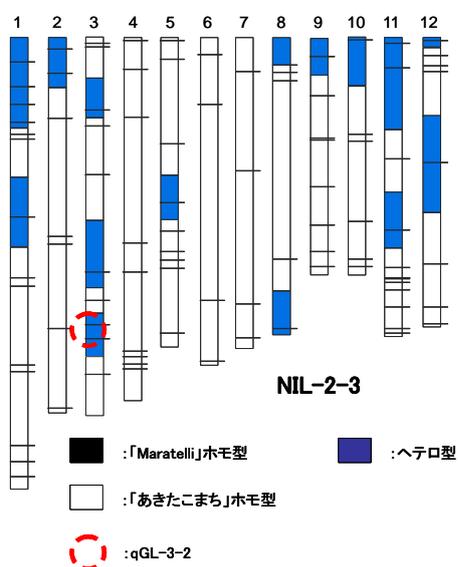
第4-2図a 準同質遺伝子系統(NIL-1-1)の染色体構成



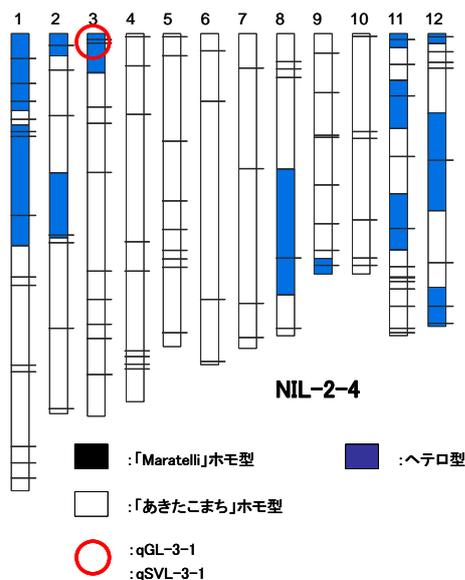
第4-2図b 準同質遺伝子系統(NIL-1-3)の染色体構成



第4-2図c 準同質遺伝子系統(NIL-2-1)の染色体構成



第4-2図d 準同質遺伝子系統(NIL-2-3)の染色体構成



第4-2図e 準同質遺伝子系統(NIL-2-4)の染色体構成

4-3-3 低温発芽性および低温苗立性

これら第3染色体の低温発芽性に関する QTL 領域を残す5つのNILを用いて低温発芽性の解析を行った。その結果、qGL-3-1とqGL-3-2の2ヶ所のQTLを持つNIL-1-1の平均発芽日数は6.09日と最も早い値を示し、その他のqGL-3-1、qGL-3-2いずれか1ヶ所のQTLを持つNIL-2-4、NIL-2-3、NIL-2-1およびNIL-1-3の平均発芽日数はそれぞれ6.62、6.73、6.77および7.57日を示した(第4-2表、第4-3図)。これに対し、低温発芽性に劣るあきたこまちの平均発芽日数は8.73日と最も遅く、低温発芽性に優れるMaratelliは6.42日を示した(第4-2表、第4-3図)。これらのNILでは低温発芽性があきたこまちよりも有意に高くなり、Maratelliと同程度の低温発芽性を持つことが明らかとなった(第4-2表、第4-3図)。さらに、1ヶ所の

第4-2表 「Maratelli/あきたこまち」由来準同質遺伝子系統の低温発芽性と遺伝子型

品種・系統名	低温発芽性 ¹⁾ (日)	QTL領域の遺伝子型 ²⁾			
		qGL-1-1 qSEL-1-1	qGL-3-1 qSVL-3-1	qGL-3-2 -	qGL-11-1 qSVL-11-1
Maratelli	6.42 ab	M	M	M	M
NIL-1-1	6.09 a	A	H	H	A
NIL-1-3	7.57 b	A	H	A	A
NIL-2-1	6.77 ab	A	H	A	A
NIL-2-3	6.73 ab	A	A	H	A
NIL-2-4	6.62 ab	A	H	A	A
あきたこまち	8.73 c	A	A	A	A

1)15°Cでの平均発芽日数

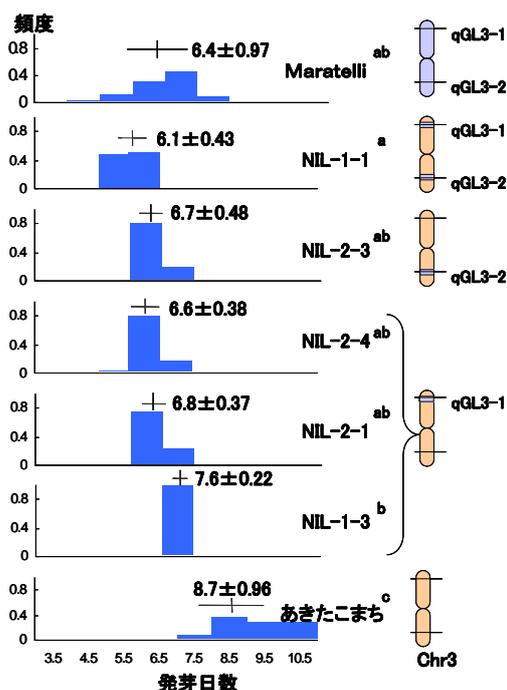
同一英数字のついた品種・系統間には1%水準で有意差がない(Tukey's test)

2)M:「Maratelli」ホモ型, A:「あきたこまち」ホモ型, H:ヘテロ型

QTLを持つ系統よりも2ヶ所のQTLを合わせ持つ系統がより高い低温発芽性を示すことが明らかとなった。

これらのNILを用いて、QTL領域が低温苗立性にどのような影響を与えるかについて解析した。低温苗立性に優れるMaratelliの草丈の平均値は163mm、低温苗立性が劣るあきたこまちの草丈は83mmで、8つのNILの草丈は115～141mmを示した(第4-3表)。低温苗立性のQTL、qSVL-3-1(qGL-3-1)領域を持つ

NIL-1-1、NIL-1-3、NIL-2-1、NIL-2-4は5%水準であきたこまちよりも有意に低温苗立性が良好であった(第4-3表)。低温発芽性QTL、qGL-3-2領域のみを持つNIL-2-3もあきたこまちよりも有意に良好な低温苗立性を示し、Maratelliと同程度であった(第4-3表)。また、これらのQTL領域を持たないNIL-1-2、NIL-1-4、NIL-2-2はいずれも有意にあきたこまちを上回る低温苗立性を示し、NIL-1-4はMaratelli並に良好であった(第4-3表)。



第4-3図 準同質遺伝子系統に見られる低温発芽性の変異
同一アルファベットがつけられた品種・系統間には1%水準で有意差がない(Tukey's test)

4-3-4 考察

本章で解析した8つのNILのうち5系統が低温発芽性のQTL、qGL-3-1、qGL-3-2のいずれかあるいは両方を持っていた。これら系統では低温発芽性があきたこまちよりも有意に高くなり、Maratelliと同程度の低温発芽性を持つことから、第3染色体上に検出された2ヶ所の染色体領域には低温発芽性を高める作用を有する遺伝子が存在することが明らかとなった。さらに、1ヶ所のQTLを持つ系統よりも2ヶ所のQTLを合わせ持つ系統の方がより高い低温発芽性を示したことから、これらの遺伝子は相加的に低温発芽性を高めるものと考えられた。低温発芽性を左右するQTLについては、Fujinoら(2004)がはやまさりとItalice LivornoのF₂集団を用いて第3染色体上に2ヶ所と第4染色体上に1ヶ所のQTLを、Miuraら(2001)が日本晴とKasalathとの戻し交雑自殖系統を用いて第2、第4、第5および第11染色体上に5ヶ所のQTLを検出しており、これらのQTLと本研究で見いだされたQTLを集積させることによって、より低温発芽性の高い系統を育成できる可能性がある。

第4-3表 「Maratelli/あきたこまち」由来準同質遺伝子系統の低温苗立性と遺伝子型

品種・系統名	低温苗立性 ¹⁾ (mm)	QTL領域の遺伝子型 ²⁾			
		qGL-1-1 qSEL-1-1	qGL-3-1 qSVL-3-1	qGL-3-2 -	qGL-11-1 qSVL-11-1
Maratelli	163 a	M	M	M	M
NIL-1-1	141 ab	A	H	H	A
NIL-1-2	115 bc	A	A	A	A
NIL-1-3	135 bc	A	H	A	A
NIL-1-4	141 ab	A	A	A	A
NIL-2-1	133 bc	A	H	A	A
NIL-2-2	125 bc	A	A	A	A
NIL-2-3	139 abc	A	A	H	A
NIL-2-4	140 ab	A	H	A	A
あきたこまち	83 d	A	A	A	A

1)低温苗立性簡易検定による草丈(mm)

同一英数字のついた品種・系統間には5%水準で有意差がない(Tukey's test)

2)M:「Maratelli」ホモ型, A:「あきたこまち」ホモ型, H:ヘテロ型

低温苗立性に関する QTL、qSVL-3-1 を持つ系統が 8 系統中 4 系統あり、いずれもあきたこまちより有意に優れた低温苗立性を示した。このことから、第 3 染色体上に検出された QTL 領域には低温苗立性を向上させる遺伝子が存在することが明らかとなった。これら 4 系統は同時に低温発芽性も向上しており、qSVL-3-1 の極近傍に検出された低温発芽性の QTL、qGL-3-1 が低温発芽性を向上させることで良好な苗立になったと考えられる。また、低温発芽性の QTL、qGL-3-2 のみを持つ 1 系統の低温苗立性も向上していた。このことから、低温発芽性がその後の低温苗立性に大きく影響していることが示唆された。第 3 章で示された低温発芽性と低温苗立性との高い相関関係は、この作用によるものと考えられる。その一方で、本研究で検出した低温発芽性、低温苗立性の QTL を 1 つも持たない 3 系統でも低温苗立性も向上していた。このことは、第 3 章では検出されなかった作用力の小さな低温苗立性の QTL を両親が持っていることを示している。

本章において、遺伝子型を解析した QTL 領域のうち qGL-1-1 (qSEL-1-1) と qSVL-11-1 (qGL-11-1) は全ての NIL であきたこまち型のホモであり、BC₃F₁ を相互交配する時点で固定していたものと考えられる。表現型による選抜ができなかったことから、これらの QTL 領域に座乗している低温苗立性に関わる形質を支配する遺伝子が劣性で作用する可能性を示唆している。つまり、Maratelli が持つ劣性の低温苗立性遺伝子をあきたこまちのバックグラウンドに表現型による選抜で集積させることは困難であることを示している。DNA マーカー選抜は優性遺伝子、劣性遺伝子の区別なく利用が可能であるため、劣性遺伝子を導入した品種を育成しようとする場合には DNA マーカー選抜が不可欠であると言える。

4-4 まとめ

本研究に用いた NIL は低温発芽性の QTL あるいは低温苗立性の QTL を有しており、表現型においても低温発芽性と低温苗立性の向上が認められた。このことから、第 3 章で検出された QTL 領域には低温発芽性、低温苗立性の遺伝子が座乗していることが明らかとなった。従って、これらを導入することにより、低温発芽性、低温苗立性の改善が期待できる。特に、低温発芽性を改善することは発芽後の低温苗立性の向上にもつながる可能性がある。また、本研究で用いた NIL が QTL 領域を持ち表現型の向上が確認できたことから、表現型の選抜により NIL の育成が可能であることも示された。しかしながら、8 系統中 3 系統が QTL 領域を持たなかったこと、第 1、11 染色体上の 2 ヶ所の QTL 領域でそれらを 1 ヶ所以上持つ系統がなかったことなどから、確実に QTL 領域を導入するためには DNA マーカー選抜が有効であると言える。特に、劣

性遺伝子の導入には DNA マーカー選抜が不可欠であると考えられる。

本章により、本研究で検出された QTL はそれを導入することにより低温発芽性、低温苗立性を向上させることが可能で、その選抜には近接する DNA マーカーが利用可能であることが明らかとなった。

5 DNA マーカーの育種選抜への利用

5-1 抄録

QTL 領域を確実に効率よく日本稲に導入するために、DNA マーカーを利用した選抜システムを構築しその有効性を明らかにしようと考えた。

DNA マーカー選抜と連続戻し交配を利用して、低温苗立性 QTL 領域を単独で持つあきたこまち NIL の育成を目指した。Maratelli/あきたこまちあるいは Italica Livorno/あきたこまち後代の F₃ 集団の中から QTL 領域を持ついくつかの個体を DNA マーカーで選抜した。これら個体にあきたこまちを連続戻し交配しながら DNA マーカー選抜を重ねていき、BC₃F₁ 種子、BC₃F₁ 種子を得たところまで育成が進めた。

NIL 育成の経過において、染色体はほぼ理論値どおり反復親であるあきたこまちに置換しており、また、各系統内で個体ごとの置換率には大きな変異が見られなかった。これらのことから、連続戻し交配によって世代を進めた場合、DNA マーカー選抜を加えなくてもほぼ理論値に基づき染色体は反復親に置換していくことを明らかにした。

NIL の育成には、連続戻し交配の初期世代は導入しようとする QTL 領域のみ DNA マーカーで選抜し、世代を重ね染色体全体がほぼ反復親に置換してからそれ以外の領域にマーカー選抜を利用する方法が有効であると考えた。具体的には (1) BC₃F₁ ~ BC₃F₁ 世代は QTL 領域のみ DNA マーカー選抜。 (2) BC₃F₁ 世代で網羅的に遺伝子型解析を絞り込めばヘテロ型のマーカーを絞り込む。 (3) BC₃F₁ 世代で QTL 領域以外のマーカーが全て反復親ホモ型である個体を選抜。 (4) BC₃F₂ 世代で導入しようとする QTL 領域が供与親ホモ型の個体を選抜する。以上のような育種選抜システムを採用することで、DNA マーカー選抜の効果を最大限に生かせるものと結論した。

本研究で構築した DNA マーカーを利用した選抜システムを表現型選抜による従来法と比較し、その有効性について考察した。DNA マーカー選抜システムは選抜精度が高く、大規模な栽培圃場も必要としない。そのため、世代促進が最大限に活用できるため育成期間を大幅に短縮できる。さらに、目的形質と不良形質とを分別して選抜できることができる。すなわち、この DNA マーカー選抜システムを育種事業に取り入れることによって、育種年限の短縮と育成系統のレベル

アップが可能になると同時に、圃場や人員の効率的利用が可能になると結論した。

5-2 緒言

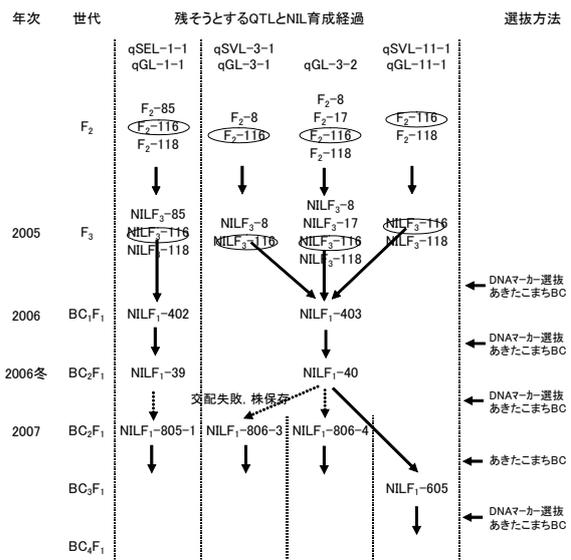
第3章で示したように、Maratelli あるいは Italice Livorno とあきたこまちの交配組合せ後代の QTL 解析から、複数の低温苗立性に関与する QTL を検出した。さらに、第4章ではこれら QTL を表現型による選抜で導入した NIL を解析し、QTL 領域の導入が低温苗立性の向上に有効であることを証明した。同時に、表現型による選抜では QTL 領域を持たない系統も選抜されたり、劣性の QTL 領域の選抜ができないなどの問題点も浮上し、より精度の高い選抜には DNA マーカーの利用が必要であると考えられた。近年、QTL の検出を可能にする DNA マーカーが開発されたことにより (Yano and Sasaki 1997)、量的形質のような複数の遺伝子が関与する形質であっても、それぞれの QTL の近傍にある DNA マーカーを指標として QTL を単独で有する NIL の選抜が可能になってきている (Yano et al. 1997、Yamamoto et al. 2000、Lin et al. 2000)。

そこで、本章では第3章で検出された QTL 領域を確実に効率的にあきたこまちに導入するために DNA マーカーを利用した選抜システムを確立し、その有効性を明らかにしようと考えた。そのため、Maratelli および Italice Livorno にあきたこまちを連続戻し交配する過程に DNA マーカー選抜を適用し、選抜された系統群の遺伝子型の経年変化を解析した。さらに、この結果を元に DNA マーカー選抜と連続戻し交配を利用したより効率の良い育種選抜システムを提案する。

5-3 DNA マーカー選抜による 準同質遺伝子系統 (NIL) の育成

5-3-1 育成経過

1) Maratelli 由来の低温苗立性に関与する QTL の導入



第5-1図 「Maratelli」由来の低温苗立性QTLをマーカー選抜で導入した「あきたこまち」NILの育成経過

Maratelli の低温苗立性に関与する染色体領域を DNA マーカー選抜によってあきたこまちに導入した NIL の育成を進めた (第5-1図)。材料として第3章で QTL 解析に用いた Maratelli/あきたこまち後代の F₂ 系統群の中から、NILF₃-8、NILF₃-17、NILF₃-85、NILF₃-116、NILF₃-118 の5系統を選抜して利用した。前歴の F₂ 個体において、系統 NILF₃-8 は qSVL-3-1 (qGL-3-1) と qGL-3-2 領域をそれぞれヘテロ型で、系統 NILF₃-17 は qGL-3-2 領域を Maratelli ホモ型で、系統 NILF₃-85 は qGL-1-1 (qSEL-1-1) 領域をヘテロ型で、系統 NILF₃-116 は qGL-1-1 (qSEL-1-1)、qSVL-3-1 (qGL-3-1) 領域をヘテロ型、qGL-3-2、qSVL-11-1 (qGL-11-1) 領域を Maratelli ホモ型で、系統 NILF₃-118 は qGL-1-1 (qSEL-1-1)、qGL-3-2、qSVL-11-1 (qGL-11-1) 領域をいずれも Maratelli ホモ型で持つ (第5-1表)。

これら5系統にあきたこまちを連続戻し交配し、qGL-1-1 (qSEL-1-1)、qSVL-3-1 (qGL-3-1)、qGL-3-2、qSVL-11-1 (qGL-11-1) 領域をそれぞれ Maratelli ホモ型で持つ4つのNILを育成することを目的とした。当初は各F₂個体が持つQTL領域を全て残したNIL

第5-1表 準同質遺伝子系統育成に用いた「Maratelli/あきたこまち」後代F₃系統の前歴F₂個体の遺伝子型

品種・系統名	QTL領域マーカーの遺伝子型 ¹⁾										染色体 ²⁾ 置換率 (%)
	qGL-1-1, qSEL-1-1			qSVL-3-1, qGL-3-1			qGL-3-2		qSVL-11-1, qGL-11-1		
	RM5	RM5914	RM297	RM3387	RM6349	RM3872	RM3436	RM6329	RM206	RM7277	
NILF ₃ -8	H	A	A	H	H	H	H	H	A	A	57.3
NILF ₃ -17	A	A	A	A	A	A	M	M	A	A	54.5
NILF ₃ -85	M	H	H	A	A	H	A	A	A	A	50.0
NILF ₃ -116	H	H	H	H	H	M	M	M	M	M	46.1
NILF ₃ -118	H	H	H	A	A	A	H	H	H	H	50.6

1) M:「Maratelli」ホモ型, A:「あきたこまち」ホモ型, H:ヘテロ型

2) 染色体置換率 (%) = ((あきたこまちホモ型のマーカー数) + (ヘテロ型のマーカー数) / 2) / (解析した全マーカー数) × 100

を育成する計画であったが、複数の QTL を同時に残そうとすると確率的に相当数の個体を遺伝子型解析する必要があったため、各 QTL 領域を単独で持つ NIL を育成することにした。遺伝子型解析は QTL 解析で作成した遺伝子地図の 89 マーカーを用いた。

2005 年に圃場に各系統 30 個体ずつ植栽し、あきたこまちに出穂期と草型が近い個体を系統あたり 3 個体、計 15 個体を選抜して遺伝子型を網羅的に解析した。これら 15 個体の中から qGL-1-1 (qSEL-1-1) の NIL 育成に用いる NILF₃-116-2、qSVL-3-1 (qGL-3-1) と qGL-3-2、qSVL-11-1 (qGL-11-1) の NIL 育成に用いる NILF₃-116-3 の 2 個体を選抜し、それぞれにあきたこまちを戻し交配した。戻し交配に用いた NILF₃-116-2、NILF₃-116-3 の 2 個体は導入しようとする QTL 領域がいずれも Maratelli ホモ型であった。また、結実した BC₁F₁ 種子の数はそれぞれ 77 粒、70 粒であった。

2006 年には、NILF₃-116-2、NILF₃-116-3 由来の BC₁F₁ 集団をそれぞれ NILF₁-402、NILF₁-403 と名付け 77 個体、70 個体を圃場に植栽した。この中で、あきたこまちに出穂期、草型が近い個体について遺伝子型を網羅的に解析した。この世代では前歴で交配に用いた個体の QTL 領域が全て Maratelli ホモ型であり QTL 領域の遺伝子型が分離しないため、解析する個体数を多くする必要はないと判断し、NILF₁-402 は 3 個体、NILF₁-403 は 6 個体についてゲノム全体にわたって遺伝子型を解析した。また、この世代以降は前歴であきたこまちホモ型であったマーカーについてはあきたこまちに置換したものと見なし解析しないこととした。解析した個体の中から qGL-1-1 (qSEL-1-1) の NIL 育成に用いる NILF₁-402-2、qSVL-3-1 (qGL-3-1)、qGL-3-2、qSVL-11-1 (qGL-11-1) の NIL 育成に用いる NILF₁-403-24 の 2 個体を選抜した。それぞれにあきたこまちを戻し交配し、それぞれ 55 粒、139 粒の BC₂F₁ 種子を得た。

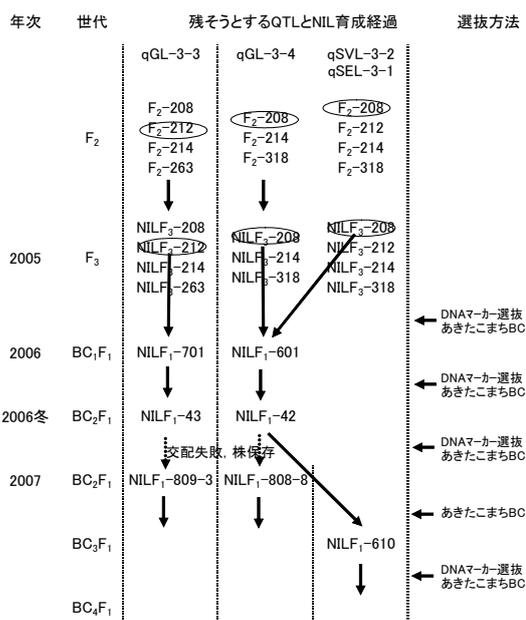
さらに、2006 年冬に NILF₁-402-2、NILF₁-403-24 由来の BC₂F₁ 集団をそれぞれ NILF₁-39、NILF₁-40 と名付け各 25 個体ずつ温室内に植栽し、うち各 22 個体について遺伝子型を解析した。この世代から QTL 領域が分離するため遺伝子型解析は網羅的ではなく QTL 領域を中心に行い、解析する個体数を多くした。解析した個体の中から qGL-1-1 (qSEL-1-1) の NIL 育成に用いる NILF₁-39-1、qSVL-3-1 (qGL-3-1) の NIL 育成に用いる NILF₁-40-12、qGL-3-2 の NIL 育成に用いる NILF₁-40-17、qSVL-11-1 (qGL-11-1) の NIL 育成に用いる NILF₁-40-18 の 4 個体を選抜し、それぞれにあきたこまちを戻し交配した。しかし、冬季のため交配の条件が悪く、結実した BC₃F₁ 種子の数はそれぞれ 0 粒、0 粒、0 粒、2 粒であった。

BC₃F₁ 種子が結実した NILF₁-40-18/あきたこまち

の後代はその種子を、それ以外の NILF₁-39-1、NILF₁-40-12、NILF₁-40-17 については株保存した個体を、2007 年にそれぞれ圃場栽培した。NILF₁-40-18 由来の系統には NILF₁-605、株保存した NILF₁-39-1、NILF₁-40-12、NILF₁-40-17 の各個体はそれぞれ NILF₁-805-1、NILF₁-806-3、NILF₁-806-4 と名付けた。NILF₁-605 の 2 個体については QTL 領域の遺伝子型を解析し、マーカーがヘテロ型の NILF₁-605-1 を選抜、あきたこまちの戻し交配し 88 粒の BC₄F₁ 種子を得た。同様に、NILF₁-805-1、NILF₁-806-3、NILF₁-806-4 にもあきたこまちを戻し交配し、それぞれ 2 粒、243 粒、32 粒の BC₄F₁ 種子を得た。

2) Italice Livorno 由来の低温苗立性に関与する QTL の導入

Italice Livorno の低温苗立性に関与する染色体領域を DNA マーカー選抜によってあきたこまちに導入した NIL の育成を進めた (第 5-2 図)。材料として第 3 章で QTL 解析に用いた Italice Livorno/あきたこまち後代の F₃ 系統群の中から、NILF₃-208、NILF₃-212、NILF₃-214、NILF₃-263、NILF₃-318 の 5 系統を選抜して利用した。前歴の F₂ 個体において系統 NILF₃-208 は qGL-3-3 をヘテロ型、qGL-3-4 と qSVL-3-2 (qSEL-3-1) 領域を Italice Livorno ホモ型で持ち、NILF₃-212 は qGL-3-3 と qSVL-3-2 (qSEL-3-1) 領域をヘテロ型で持ち、NILF₃-214 は qGL-3-3 と qGL-3-4 領域をヘテロ型、qSVL-3-2 (qSEL-3-1) 領域を Italice Livorno ホモ型で持ち、NILF₃-263 は qGL-3-3 と qGL-3-4 領域をヘテロ型で持ち、さらに NILF₃-318 は qGL-3-4 領域を Italice Livorno ホモ型で、qSVL-3-2 (qSEL-3-1) 領域をヘテロホモ型で持つ (第 5-2 表)。



第5-2図 「Italice Livorno」由来の低温苗立性QTLをマーカー選抜で導入した「あきたこまち」NILの育成経過

第5-2表 準同質遺伝子系統育成に用いた「Italica Livorno/あきたこまち」後代F₃系統の前歴F₂個体の遺伝子型

品種・系統名	QTL領域マーカーの遺伝子型 ¹⁾							染色体 ²⁾ 置換率 (%)
	qGL-3-3		qGL-3-4			qSVL-3-2, qSEL-3-1		
	RM5474	RM3872	RM6736	RM1350	RM3525	RM6970	RM6987	
NILF ₃ -208	H	H	IL	IL	IL	IL	IL	38.8
NILF ₃ -212	H	H	A	A	A	H	IL	43.1
NILF ₃ -214	H	H	H	H	H	IL	IL	35.1
NILF ₃ -263	H	H	H	A	A	A	A	38.3
NILF ₃ -318	A	A	IL	IL	IL	H	H	40.4

1)IL:「Italica Livorno」ホモ型, A:「あきたこまち」ホモ型, H:ヘテロ型

2)染色体置換率(%)=(あきたこまちホモ型のマーカー数)+(ヘテロ型のマーカー数)/2/(解析した全マーカー数)×100

遺伝子型の解析には QTL 解析で作成した遺伝子地図の 94 マーカーを用いた。

これら系統にあきたこまちを連続戻し交配し、qGL-3-3、qGL-3-4、qSVL-3-2 (qSEL-3-1) 領域をそれぞれ Italica Livorno ホモ型で持つ 3 つの NIL を育成することを目的とした。当初は各 F₂ 個体が持つ QTL 領域を全て残した NIL を育成する計画であったが、複数の QTL を残そうとすると確率的に相当数の個体を遺伝子型解析する必要があったため、各 QTL 領域を単独で持つ NIL を育成することにした。

2005 年に圃場に各系統 30 個体ずつ植栽し、あきたこまちに出穂期と草型が近い個体を系統あたり 3 個体、計 15 個体選抜し遺伝子型を網羅的に解析した。これら 15 個体の中から qGL-3-3 の NIL 育成に用いる NILF₃-212-1、qGL-3-4 と qSVL-3-2 (qSEL-3-1) の NIL 育成に用いる NILF₃-208-1 の 2 個体を選抜し、それぞれにあきたこまちを戻し交配した。戻し交配に用いた NILF₃-212-1、NILF₃-208-1 の 2 個体は導入しようとする QTL 領域がいずれも Italica Livorno ホモ型であった。結実した BC₃F₁ 種子の数はそれぞれ 34 粒、25 粒であった。

2006 年に NILF₃-212-1、NILF₃-208-1 由来の BC₃F₁ 集団をそれぞれ NILF₁-701、NILF₁-601 と名付け、NILF₁-701 は 13 個体、NILF₁-601 は 43 個体を圃場に植栽し、あきたこまちに出穂期と草型が近い個体についてのみ全染色体について遺伝子型を網羅的に解析した。この世代では前歴で交配に用いた個体の QTL 領域が全て Italica Livorno ホモ型であり分離しないため、解析する個体数を多くする必要はないと判断し、各系統 3 個体ずつ解析した。また、この世代以降は前歴であきたこまちホモ型であったマーカーについてはあきたこまちに置換したものと見なし解析しないこととした。解析した個体の中から qGL-3-3 の NIL 育成に用いる NILF₁-701-2、qGL-3-4 と qSVL-3-2 (qSEL-3-1)

の NIL 育成に用いる NILF₁-601-2 の 2 個体を選抜した、それぞれにあきたこまちを戻し交配した。結実した BC₃F₁ 種子の数はそれぞれ 34 粒、25 粒であった。

2006 年冬に NILF₁-701-2、NILF₁-601-2 由来の BC₃F₁ 集団をそれぞれ NILF₁-43、NILF₁-42 と名付け各 25 個体ずつ温室内に植栽し、各系統とも 22 個体について遺伝子型を解析した。この世代から QTL 領域が分離するため遺伝子型解析は網羅的ではなく QTL 領域を中心に行い、解析する個体数を多くした。解析した個体の中から qGL-3-3 の NIL 育成に用いる NILF₁-43-7、qGL-3-4 の NIL 育成に用いる NILF₁-42-21、qSVL-3-2 (qSEL-3-1) の NIL 育成に用いる NILF₁-42-16 の 3 個体を選抜し、それぞれにあきたこまちを戻し交配した。しかし、冬季のため交配の条件が悪く、結実した BC₃F₁ 種子の数はそれぞれ 0 粒、0 粒、4 粒であった。

BC₃F₁ 種子が結実した NILF₁-42-16/あきたこまちの後代はその種子を、それ以外の NILF₁-43-7、NILF₁-42-21 については株保存した個体を 2007 年に圃場栽培した。NILF₁-42-16 由来の系統には NILF₁-610、株保存した NILF₁-43-7、NILF₁-42-21 の各個体にはそれぞれ NILF₁-809-3、NILF₁-808-8 と名付けた。NILF₁-610 の 4 個体については QTL 領域の遺伝子型を解析し、マーカーがヘテロ型の NILF₁-610-3 を選抜し、さらにあきたこまちを戻し交配をして 92 粒の BC₃F₁ 種子を得た。同様に、NILF₁-809-3、NILF₁-808-8 にもあきたこまちを戻し交配し、それぞれ 57 粒、8 粒の BC₃F₁ 種子を得た。

5-3-2 DNA マーカー選抜による準同質遺伝子系統 (NIL) の遺伝子型の経過

低温苗立性に関する NIL の育成のために個体毎に DNA マーカーによる遺伝子型の解析を行い、DNA マーカーで選抜した QTL 領域を持つ個体に戻し交配を行いながら世代を進めてきた。ここでは、この過程で

第5-3表 「Maratelli」由来の低温苗立性QTL領域を持つ準同質遺伝子系統の染色体置換の経過

年次 (世代)	理論値	導入しようとするQTL領域			
		qSEL-1-1 qGL-1-1	qSVL-3-1 qGL-3-1	qGL-3-2	qSVL-11-1 qGL-11-1
(F ₂)					
系統名		F ₂ -116	F ₂ -116	F ₂ -116	F ₂ -116
染色体置換率 ¹⁾ (%)	50.0	46.1	46.1	46.1	46.1
2005					
系統名		NILF ₃ -116	NILF ₃ -116	NILF ₃ -116	NILF ₃ -116
(F ₃) 染色体置換率 (%)	50.0	44.3~51.5	44.3~51.5	44.3~51.5	44.3~51.5
選抜個体		NILF ₃ -116-2	NILF ₃ -116-3	NILF ₃ -116-3	NILF ₃ -116-3
選抜個体置換率 (%)		44.3	47.9	47.9	47.9
2006					
系統名		NILF ₁ -402	NILF ₁ -403	NILF ₁ -403	NILF ₁ -403
(BC ₁ F ₁) 染色体置換率 (%)	75.0	70.1~72.7	70.6~74.2	70.6~74.2	70.6~74.2
選抜個体		NILF ₁ -402-2	NILF ₁ -403-24	NILF ₁ -403-24	NILF ₁ -403-24
選抜個体置換率 (%)		72.4	74.2	74.2	74.2
2006冬					
系統名		NILF ₁ -39	NILF ₁ -40	NILF ₁ -40	NILF ₁ -40
(BC ₂ F ₁) 置換率(推定) (%)	87.5	81.2~89.6	81.3~88.0	81.3~88.0	81.3~88.0
選抜個体		NILF ₁ -39-1	NILF ₁ -40-12	NILF ₁ -40-17	NILF ₁ -40-18
選抜個体置換率 (%)		87.4	85.9	84.9	85.9
2007					
系統名					NILF ₁ -605
(BC ₃ F ₁) 置換率(推定) (%)	93.8				92.4~93.5
選抜個体					NILF ₁ -605-1
選抜個体置換率 (%)					93.5

1)染色体置換率(%) =

((あきたこまちホモ型のマーカー数) + (ヘテロ型のマーカー数)/2) / (解析した全マーカー数) × 100

染色体が反復親であるあきたこまちに置換していく経過について述べる。

あきたこまちの染色体へと置換した割合を染色体置換率(%)とした。便宜上、解析した全 DNA マーカーに占めるあきたこまち型であった DNA マーカーの割合として次式で求めた。

$$\left(\frac{(\text{あきたこまちホモ型のマーカー数}) + (\text{ヘテロ型のマーカー数})}{2} \right) / (\text{解析した全マーカー数}) \times 100 = \text{染色体置換率}(\%)$$

また、BC₂F₁ 世代からは QTL 領域が分離するので解析する個体数を多くしたため、遺伝子型解析は網羅的ではなく QTL 領域を中心に行い、それ以外の領域は選択的に解析した。そのため染色体置換率を、解析しなかったヘテロ型のマーカーが理論値に基づき 1 世代ごとに 1/2 があきたこまちに置換していくものと仮定した場合の推定置換率とした。

1) Maratelli 由来の低温苗立性に関与する QTL の導入

Maratelli の低温苗立性に関与する染色体領域を

DNA マーカー選抜と連続戻し交配によってあきたこまちに導入した NIL の育成の過程で、染色体が反復親であるあきたこまちに置換していく経過を第 5-3 表に示す。

材料として第 3 章で QTL 解析に用いた Maratelli/あきたこまち後代の F₃ 世代 120 系統の中から選抜した NILF₃-116 の後代を供試した。この出発材料とした NILF₃-116 の前歴 F₂ 個体の染色体置換率は 46.1 % であった。

2005 年は F₃ 世代の系統 NILF₃-116 の 3 個体について 89 マーカーを用いて遺伝子型を網羅的に解析した。

QTL 領域を含めた染色体の置換率は、理論値 50 % に対し、44.3 ~ 51.5 % であった。解析した遺伝子型により 3 個体の中から QTL 領域のマーカーがいずれも Maratelli ホモ型の NILF₃-116-2 と NILF₃-116-3 の 2 個体を選抜した。NILF₃-116-2 および NILF₃-116-3 の染色体置換率は、それぞれ 44.3 % および 47.9 % であった。

2006 年は NILF₃-116-2 後代の BC₁F₁ 世代 NILF₁-402、NILF₃-116-3 後代の BC₁F₁ 世代 NILF₁-403 の 2 集団からそれぞれ 3 個体、6 個体について遺伝子型を網羅的に解析した。QTL 領域のマーカーは理論どおりいずれ

第5-4表 「Italica Livorno」由来の低温苗立性QTL領域を持つ準同質遺伝子系統の染色体置換の経過

年次 (世代)		理論値	導入しようとするQTL領域		
			qGL-3-3	qGL-3-4	qSVL-3-2 qSEL-3-1
(F ₂)	系統名		F ₂ -212	F ₂ -208	F ₂ -208
	染色体置換率 ¹⁾	(%) 50.0	43.1	38.8	38.8
2005 (F ₃)	系統名		NILF ₃ -212	NILF ₃ -208	NILF ₃ -208
	染色体置換率	(%) 50.0	39.4~46.5	37.9~43.9	37.9~43.9
	選抜個体		NILF ₃ -212-1	NILF ₃ -208-1	NILF ₃ -208-1
	選抜個体置換率	(%)	39.4	43.9	43.9
2006 (BC ₁ F ₁)	系統名		NILF ₁ -701	NILF ₁ -601	NILF ₁ -601
	染色体置換率	(%) 75.0	64.7~68.3	69.5~71.5	69.5~71.5
	選抜個体		NILF ₁ -701-2	NILF ₁ -601-2	NILF ₁ -601-2
	選抜個体置換率	(%)	68.3	70.5	70.5
2006冬 (BC ₂ F ₁)	系統名		NILF ₁ -43	NILF ₁ -42	NILF ₁ -42
	置換率(推定)	(%) 87.5	77.2~85.4	81.8~88.9	81.8~88.9
	選抜個体		NILF ₁ -43-7	NILF ₁ -42-21	NILF ₁ -42-16
	選抜個体置換率	(%)	83.2	85	86.6
2007 (BC ₃ F ₁)	系統名				NILF ₁ -610
	置換率(推定)	(%) 93.8			91.8~93.3
	選抜個体				NILF ₁ -610-3
	選抜個体置換率	(%)			91.8

1)染色体置換率(%)=

$$((\text{あきたこまちホモ型のマーカー数}) + (\text{ヘテロ型のマーカー数}) / 2) / (\text{解析した全マーカー数}) \times 100$$

もヘテロ型であった。QTL 領域を含めた染色体の置換率は理論値 75 % に対し、NILF₁-402 が 70.1 ~ 72.7 %、NILF₃-403 が 70.6 ~ 74.2 % であった。解析した個体の中から染色体置換率が 72.4 % の NILF₁-402-2 と 74.2 % の NILF₁-403-24 を選抜した。

2006 年冬には NILF₁-402 後代の BC₂F₁ 世代 NILF₁-39、NILF₃-403 後代の BC₂F₁ 世代 NILF₁-40 の各 22 個体について遺伝子型を解析した。QTL 領域を含めた染色体の推定置換率は理論値 87.5 % に対し、NILF₁-39 が 81.2 ~ 89.6 %、NILF₁-40 が 81.3 ~ 88.0 % と推定された。解析した個体の中から NILF₁-39-1、NILF₁-40-12、NILF₁-40-17、NILF₁-40-18 を選抜した。これらの個体の染色体置換率はそれぞれ 87.4 %、85.9 %、84.9 %、85.9 % であった。

さらに 2007 年には、NILF₁-40 後代の BC₃F₁ 世代 NILF₁-605 の 2 個体について、QTL 領域を中心に遺伝子型を解析した結果、染色体置換率は 92.4 % と 93.5 % であった。この中から置換率が 93.5 % で QTL 領域がヘテロ型の NILF₁-605-1 を選抜し、あきたこま치의 戻し交配を行った。

2) Italica Livorno 由来の低温苗立性に関与する QTL の導入

Italica Livorno の低温苗立性に関与する染色体領域を DNA マーカー選抜と連続戻し交配によってあきたこまちに導入した NIL の育成の過程で、染色体が反復親のあきたこまちに置換されていく経過を第 5-4 表に示した。

材料として第 3 章で QTL 解析に用いた Italica Livorno/あきたこまち後代の F₃ 世代 120 系統から選抜した NILF₃-212、NILF₃-208 を出発材料として用いた。材料とした NILF₃-212 の前歴 F₂-212、NILF₃-208 の前歴 F₂-208 の染色体置換率はそれぞれ 43.1 %、38.8 % であった。

2005 年は NILF₃-212、NILF₃-208 の各 3 個体について 94 マーカーを用いて遺伝子型を網羅的に解析した。QTL 領域を含めた染色体の置換率は、理論値 50 % に対し、それぞれ 39.4 ~ 46.5 %、37.9 ~ 43.9 % であった。遺伝子型を解析した個体の中から QTL 領域の DNA マーカーの遺伝子型がいずれも Italica Livorno ホモ型の NILF₃-212-1、NILF₃-208-1 の 2 個体を選抜した。これらの染色体置換率は NILF₃-212-1 で 39.4 %、

NILF₃-208-1 で 43.9 % であった。

2006 年は NILF₃-212-1 後代の BC₁F₁ 世代 NILF₁-701、NILF₃-208-1 後代の BC₁F₁ 世代 NILF₁-601 の 2 集団から各 3 個体について遺伝子型を網羅的に解析した。QTL 領域のマーカ―は理論どおりいずれもヘテロ型であった。QTL 領域を含めた染色体の置換率は理論値 75 % に対し、NILF₁-701 が 64.7 ~ 68.3 %、NILF₃-601 が 69.5 ~ 71.5 % であった。解析した個体の中から選抜した NILF₁-701-2 と NILF₁-601-2 の染色体置換率はそれぞれ 68.3 % および 70.5 % であった。

2006 年冬には NILF₁-701 後代の BC₂F₁ 世代 NILF₁-43、NILF₃-601 後代の BC₂F₁ 世代 NILF₁-42 の各 22 個体について遺伝子型を解析した。QTL 領域を含めた染色体の推定置換率は理論値 87.5 % に対し、NILF₁-43 が 77.2 ~ 85.4 %、NILF₁-42 が 81.8 ~ 88.9 % と考えられる。解析した個体の中から NILF₁-43-7、NILF₁-42-21、NILF₁-42-16 を選抜した。これらの個体の推定される染色体置換率がそれぞれ 83.2 %、85.0 %、86.6 % であった。

さらに、2007 年に NILF₁-43 後代の BC₃F₁ 世代 NILF₁-610 の 4 個体について QTL 領域を中心に遺伝子型の解析を進めたところ、染色体置換率は 91.8 ~ 93.3 % であることが明らかになった。この中から置換率が 91.8 % で QTL 領域がヘテロ型の NILF₁-610-3 を選抜し、あきたこまちの戻し交配を行った。

5-3-3 考察

本研究では DNA マーカ―選抜と連続戻し交配技術を組み合わせることで、Maratelli と Italice Livorno の低温苗立性の QTL をあきたこまちに導入した NIL の育成を試みた。染色体の置換の経過を見ると、DNA マーカ―で QTL 領域を確実に残しながら連続戻し交配していくことで、世代を重ねるごとに染色体があきたこまちに置換した割合が増加し、マーカ―選抜と連続戻し交配が NIL の育成に有効であることが証明された (第 5-3 表、第 5-4 表)。また、世代ごとの染色体置換率はいずれも理論値よりやや低い傾向にあった (第 5-3 表、第 5-4 表)。これは、当初、複数の QTL 領域を持つ NIL を育成する計画であったため、材料として Maratelli、Italice Livorno の染色体領域を多く残した系統を用いたためと考えられる。従って、連続戻し交配による NIL 育成の過程では NIL の染色体は、ほぼ理論値どおり反復親であるあきたこまちの染色体に置換していると言える。

また、各系統内で個体ごとの染色体置換率を比較すると、最大値の個体と最小値の個体との差はいずれの世代、系統においても 10 ポイント未満であり、大きな違いは見られなかった (第 5-3 表、第 5-4 表)。つまり、連続戻し交配によって世代を進めた場合、DNA マーカ―選抜を加えなくてもほぼ理論値に基づき染色

体は反復親に置換していくと考えられる。このことから、導入しようとする QTL 領域を持つ個体を DNA マーカ―で選抜さえすれば、機械的に連続戻し交配することで NIL を育成できると考えられる。

5-4 DNA マーカ―選抜を利用した効率的育種選抜システム

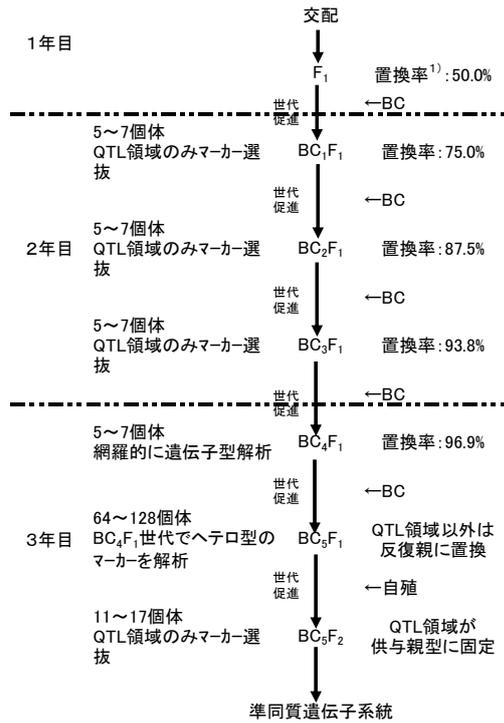
近年、DNA マーカ―が開発されたことにより、QTL の検出が可能となり (Yano and Sasaki 1997)、さらには低温苗立性などの量的形質でも関与する複数の QTL の近傍の DNA マーカ―を指標として個々の QTL を単独で有する NIL の選抜が可能となってきた (Yano et al. 1997、Yamamoto et al. 2000、Lin et al. 2000)。実際に、いもち病抵抗性 (杉浦ら 2004、藤井ら 2005、橋本ら 2005) や縞葉枯病抵抗性 (杉浦ら 2004) などの形質については実際の育種現場で DNA マーカ―選抜が行われはじめており、DNA マーカ―選抜の利用が増加していく傾向にある。しかしながら、多くの育成地では限られた人員と予算で最大限の効果を求められており、遺伝子型解析の作業がより少ない効率的な育種選抜システムが不可欠である。

第 1 節で NIL 育成過程での染色体置換の経過から、連続戻し交配によって世代を進めた場合、DNA マーカ―選抜を加えなくてもほぼ理論値に基づき染色体は反復親に置換していくことが示された。このことから、導入しようとする QTL 領域を持つ個体を DNA マーカ―で選抜さえすれば、機械的に連続戻し交配することで NIL を育成できるとの仮説を立てた。そこで、この仮説に基づき、DNA マーカ―選抜と連続戻し交配を基盤とする効果的かつ効率的な育種選抜システムを構築するとともに、そのシステムを表現型選抜による従来法と比較することにより、育種の効率化に対する効果を検証した。

5-4-1 DNA マーカ―選抜システムの構築

第 1 節で得られた仮説に基づき、DNA マーカ―選抜と連続戻し交配を基盤とする効果的かつ効率的な育種選抜システムを構築した (第 5-3 図)。このシステムではイネの染色体全体をカバーした 100 個の DNA マーカ―を使って NIL を育成する場合を仮定した。

まず、QTL 領域を挟む 2 個のマーカ―で選抜しながら、残り 98 個のマーカ―を反復親ホモ型に置換していくことになる。F₁ 世代では QTL 領域は理論上全個体ヘテロ型なので BC₁F₁ 世代から DNA マーカ―選抜を行う。前述のとおり QTL 領域以外は理論値に基づき反復親に置換していくものと仮定し、QTL 領域を挟む 2 マーカ―のみを解析する。このとき、解析した個体の全てが QTL 領域を持たない危険率を 5 % 以下にするには $(1/2)^5 = 0.031$ なので 5 個体、1 % 以



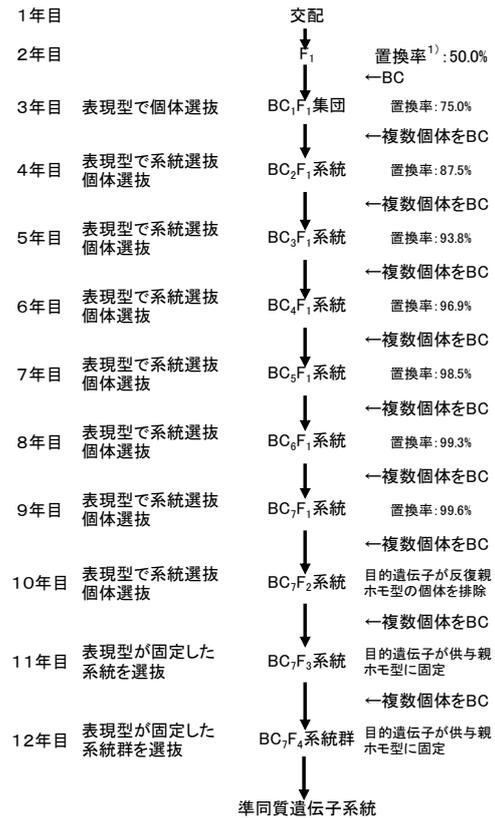
第5-3図 DNAマーカー選抜を利用した効率的育種選抜システム

1)置換率(%) = ((反復親ホモ型のマーカー数) + (ヘテロ型のマーカー数)/2) / (解析した全マーカー数) × 100

下にするには $(1/2)^7 = 0.008$ なので 7 個体を解析する必要がある。なお、このとき QTL 領域を挟む 2 マーカーは強く連鎖しているため、これらマーカー間で組み換えが起こる確率は無視するものとする。

BC₂F₁ 世代以降も同様にして選抜を重ねていくと、BC₄F₁ 世代で理論上の染色体置換率は 96.9% となる。つまり、前述の染色体置換率を求める式に当てはめて逆算すると、残り 6~7 個のマーカーをヘテロ型から反復親ホモ型に置換する必要がある。BC₄F₁ 世代で網羅的に遺伝子型解析をし、置換すべき 6~7 マーカーに絞り込めば、BC₅F₁ 世代でこれらマーカーが全て反復親ホモ型である個体を選抜すればよい。このためには、 $(1/2)^6 = 1/64$ 、 $(1/2)^7 = 1/128$ なので 64~128 個体の遺伝子型解析をすればよいことになる。これは、実際の育種現場において現実的な個体数であり、妥当であると考えられる。

次に、QTL 領域がヘテロ型、それ以外の領域が反復親ホモ型となった BC₅F₁ 個体を得ることができたら、その個体から自殖種子を採種し BC₅F₂ 世代で導入しようとする QTL 領域が供与親ホモ型の個体を選抜する。この際、解析した個体の中に QTL 領域が供与親ホモ型の個体が存在しない危険率を 5% 以下にするには $(3/4)^{11} = 0.042$ なので 11 個体、1% 以下にするには $(3/4)^{17} = 0.008$ なので 17 個体を解析する必要がある。QTL 領域以外にヘテロ型を残しながら自殖しその領域が反復親ホモ型に置換した個体を選抜する方法もあるが、1 マーカーにつき 1/4 の確率となるため



第5-4図 表現型による選抜と連続戻し交配を利用した従来法による準同質遺伝子系統の育成経過

1)置換率(%) = ((反復親ホモ型のマーカー数) + (ヘテロ型のマーカー数)/2) / (解析した全マーカー数) × 100

非効率的である。QTL 領域以外に戻し交配で反復親ホモ型に置換してから自殖し、QTL 領域が供与親ホモ型となった個体を選抜するのが理想的であると考えられる。

このように、NIL の育成には、連続戻し交配の初期世代は導入しようとする QTL 領域のみ DNA マーカーで選抜し、世代を重ね染色体全体がほぼ反復親に置換してからそれ以外の領域にマーカー選抜を利用する方法を採用することで、DNA マーカー選抜の効果を最大限に生かせるものと結論した。

5-4-2 表現型選抜による従来法を用いた NIL の育成経過

表現型による選抜および連続戻し交配を用いた従来法（以降、従来法と呼ぶ）によって、優性の 1 遺伝子を導入した NIL を育成する場合を想定した（第 5-4 図）。DNA マーカー選抜システムと同様に導入しようとする遺伝子が座乗する染色体領域のみを残し、残りの領域を反復親に置換することになる。

まず、従来法では表現型が分離する BC₁F₁ 世代から目的とする形質の表現型検定によって選抜を加える。表現型が優れる個体を選抜し戻し交配に用いるが、表現型分散は遺伝子型分散と環境分散の和からなり、環境分散が大きいかほど目的の遺伝子を選抜できない危険

率が大きくなる。そのため、できるだけ多くの個体を表現型検定に供試し、さらに複数の個体を選抜し戻し交配に用いる必要があると考える。戻し交配によって得られた BC_2F_1 系統群は系統毎に表現型検定に供試し系統選抜の後、 BC_2F_1 世代と同様に選抜系統の中から個体選抜を行い複数個体を戻し交配する。 BC_2F_1 世代以降も同様にして、系統選抜、個体選抜、戻し交配をしながら世代を進めていく。このとき、第1節で得られたように連続戻し交配によって世代を進めた場合 DNA マーカー選抜を加えなくてもほぼ理論値に基づき染色体は反復親に置換していくを採用すれば、DNA マーカー選抜で 100 個の DNA マーカーを反復親ホモ型に置換した場合と同等にするためには染色体置換率が 99.3 % となる BC_6F_1 世代まで世代を進める必要がある。この BC_6F_1 個体を自殖させ導入しようとする遺伝子を固定する。しかし、 BC_6F_2 集団は分離しヘテロ個体も含まれるため表現型で個体選抜した後、さらに自殖し BC_6F_3 系統で表現型が固定した系統を選抜する。環境分散が大きな形質の場合は、さらに BC_6F_4 系統群とし系統群内の全系統の表現型が固定している系統群を選抜する必要があると考える。

5-4-3 DNA マーカー選抜システムの効果の検証

DNA マーカー選抜システムと従来法との比較を第 5-5 表にまとめた。選抜手法であるが、DNA マーカー選抜システムでは DNA マーカーの多型解析、従来法は表現型検定である。表現型検定では必ず環境要因の影響を受けるため選抜精度が低い。このことから、従来法では目的の遺伝子を選抜できない危険率を考慮するとできるだけ多くの個体を表現型検定し複数個体を戻し交配する必要があり、材料の養成も系統栽培、系統群栽培が望ましい。そのためには、大規模な栽培圃場が必要である。これに対し、DNA マーカーは遺伝子そのものの違いを解析するので、環境要因の影響を

全く受けず選抜精度が高い。そのため、数個体を選抜してポット栽培できれば十分であり、栽培圃場を必要としない。また、表現型の検定には多くの時間と手間がかかる場合が多く、DNA マーカー選抜をシステム化することでそれを省くことができる。

次に選抜ステージであるが、従来法は導入しようとする形質にもよるが生育期全般にわたる。そのため、多くの場合は圃場で検定する必要があり世代促進ができずに、1年に1世代しか進められない。一方、DNA マーカー選抜システムでは幼苗期検定が可能であり、世代促進の利点を最大限に利用できる。短日処理と温室栽培を併用することによって、年間に3世代の世代促進が可能である。

これらのことから、DNA マーカー選抜システムでは従来法と比較して NIL の育成期間を大幅に短縮することが可能になる。従来法では $BC_2F_3 \sim BC_6F_4$ 世代：計 9 ~ 10 世代を進める必要がある。つまり、NIL の育成までは初年度の交配も含めると 10 ~ 11 年を要することになる。一方、DNA マーカー選抜システムでは BC_2F_2 世代：計 7 世代を進める必要がある。これを DNA マーカー選抜システムと世代促進のシステムを組み合わせ年間 3 世代進めることによって、交配から 3 年間で NIL の育成が可能である。従来法と比較すると 3 分の 1 以下に育成期間を短縮することができる。さらに、劣性遺伝子を導入しようとした場合は、従来法では戻し交配で得られた BC_6F_1 世代では表現型による選抜ができないため BC_6F_2 系統とし後代検定する必要がある。この時、選抜された BC_6F_1 世代を株保存して戻し交配に利用する場合と、 BC_6F_2 世代で選抜された系統の中の個体を利用する場合とがあるが、いずれにしても 1 年ごとに戻し交配と表現型検定とを交互に行うため優性遺伝子導入の場合と比較するとおよそ 2 倍の 20 年以上の育成期間が必要である。一方、DNA マーカー選抜の場合は優性遺伝子、劣性遺伝子の区別なく選抜が可能であるため、劣性遺伝子の導入を目的としたときに DNA マーカー選抜のメリットはさらに大きくなる。

DNA マーカー選抜の利点の 1 つとして形質を分別して選抜できることがあげられる。第 2 章、第 4 節の中でも述べたとおり従来法では目的とする形質と不良形質とを分別して選抜することができない。しかし、DNA マーカー選抜では目的遺伝子に連鎖する DNA マーカーとさらにそれに近接する DNA マーカー（フランキングマーカー）とを利用して、目的遺伝子付近で組み換えが起こった個体を積極的に選抜することが可能である。このことを利用して、目的形質と連鎖する不良形質とを分離することができる。

このように、DNA マーカー選抜は選抜精度が高く、大規模な栽培圃場も必要としない。また、世代促進の利点を生かすことによって、系統の育成期間を大幅に

第5-5表 DNAマーカー選抜システムと従来法との比較

比較項目	DNAマーカー選抜 ¹⁾ システム	従来法 ²⁾
選抜手法	DNAマーカー	表現型検定
選抜精度	高い	低い
育成材料	個体	系統、系統群
栽培圃場	不要	大規模圃場必要
選抜ステージ	幼苗期	生育期全般 (形質による)
世代促進	年3回	年1回
育種年限	3年	優性遺伝子 11~12年 劣性遺伝子 20年以上
目的形質と他の形質とを分別して選抜	可能	不可能

1) DNAマーカー選抜と連続戻し交配を用いてNILを育成する場合を想定した

2) 表現型選抜と連続戻し交配を用いてNILを育成する場合を想定した

短縮できる。さらに目的形質と不良形質とを分別して選抜できることが大きなメリットである。DNA マーカー選抜システムを育種事業に取り入れることによって、育種年限の短縮と育成系統のレベルアップが可能になると同時に、圃場や人員の効率的利用が可能になると考える。

5-5 まとめ

第3章では QTL 解析によって Maratelli や Italice Livorno の低温苗立性を向上させる遺伝子が座乗する染色体領域を特定し DNA マーカー選抜を可能にした。低温苗立性が優れる実用的な直播適応性品種を育成するためには DNA マーカー選抜を導入することが有効であると考えられる。しかしながら、限られた人員と予算で最大限の効果をを得るためには、遺伝子型解析の作業がより少ない効率的な育種選抜システムが不可欠である。

本章では、Maratelli および Italice Livorno にあきたこまちを連続戻し交配を行い、低温苗立性に関する QTL 領域を単独で有する NIL の育成を進めた。その過程で DNA マーカー選抜を適用し、さらに選抜された系統の遺伝子型の経年変化を解析した。その結果、連続戻し交配によって世代を進めた場合、DNA マーカー選抜を加えなくてもほぼ理論値に基づき染色体は反復親に置換していくことが明らかになった。このことから、導入しようとする QTL 領域を持つ個体を DNA マーカーで選抜さえすれば、機械的に連続戻し交配することで NIL を育成できるとの仮説が得られた。そこで、この仮説に基づき、DNA マーカー選抜と連続戻し交配を基盤とする効果的かつ効率的な育種選抜システムを構築した。すなわち、連続戻し交配の各世代では QTL 領域のみを残す個体を DNA マーカーで選抜し、世代を重ね染色体がほぼ反復親に置換した段階で全染色体領域についてマーカー選抜する方法である。

この選抜システムは従来の表現型での選抜に比べ、選抜精度が高く、大規模な栽培圃場も必要としないという点で優れている。また、世代促進の利点を生かすことによって系統の育成期間を大幅に短縮することができ、さらに、目的形質と不良形質とを分別して選抜できるといった利点がある。このように、この選抜システムによって水稲育種が効率化することが期待される。特に、低温苗立性のような従来の表現型に頼った選抜方法では育成が困難である形質の改良に非常に有効であり、本システムによって外国稲の持つ有用な低温苗立性のみを付与させた直播適応性品種の育成が期待される。

6 総合考察

秋田県農林水産技術センター農業試験場では多様な

消費者ニーズに応え、かつ農家経営に貢献できる水稲品種の育成を目指してきた。そのために、(1) 良質・良食味の銘柄米、(2) 新形質米、(3) 酒造好適米、(4) 超多収品種、(5) 直播適応性品種の5つを米の品種改良の柱として育種事業を進めている。この研究プロジェクトの中で交配による品種育成を進めてきた。

あきたこまちをはじめとするいくつかの良質・良食味品種の育成がされ、秋田県産米のブランド化など米価向上に大いに貢献している。このような成果は、育種事業を始めた当初から秋田県オリジナルのブランド品種の育成を目標とし、食味にこだわった選抜を続けてきた交配育種における選抜方法が実を結んだ結果として得られたものと考えられる。その後、耐冷性、耐病性などの特性検定については検定法の改良と圃場規模の拡大(第2-1図、第2-2図、第2-3図)、また、食味については物性および成分による多検体検定の導入(第2-4図)により選抜の効率化を図り、2007年には耐冷、耐病、安定多収で良質・良食味の秋田89号を新品種として登録出願するに至った(第2-5図)。

同時に、銘柄米に平行して酒造好適米品種の交配育種に着手し、地域特産的な酒米品種の育成を進めてきた。酒造好適米品種の開発では醸造特性の向上が最大の課題であった。そこで、1988年から秋田県農業試験場(現秋田県農林水産技術センター農業試験場)、秋田県醸造試験場(現秋田県農林水産技術センター総合食品研究所)、秋田県酒造組合の三者共同体制によって酒造好適米新品種開発事業を開始し品種開発に取り組んできた。この事業では、初期世代から酒造特性に重点を置いた選抜を行ってきたことが優れた酒米品種の育成につながったものと考えられる(第2-6図)。この酒米開発の集大成として育成した秋田酒こまちは、2003年に秋田県の奨励品種に採用され、山田錦並の醸造特性と秋田県の気候に適応した栽培特性を併せ持った優良品種である(第2-7表、第2-8表、第2-9表、第2-10表、第2-11表)。

これらの育成品種は、将来的にも秋田県農業の発展のために大いに貢献するものと確信している。これまでにこのような優れた品種が育成できた背景として、秋田県農林水産技術センター農業試験場で明確な育種目標を掲げて品種改良に取り組んできたことが挙げられる。さらに、それを実現するための選抜手法に改善を加えながら育種戦略を構築してきたことが、これらの優れた品種の育成につながったものと考えている。

直播適応性品種についても同様の考えで、寒冷地でも良好な苗立をする良質・良食味品種を育種目標とし、外国稲の低温苗立性を日本稲に導入する試みが続けてきた。最初に、選抜方法として低温苗立性簡易検定の開発を行った。これは乾籾を育苗箱に播種し、その育苗箱を満水状態のコンテナーに水没させ、冷水をかけ流しする方法であり(第2-10図、第2-11図)、

低温苗立性の簡易検定法として有効であることが明らかとなった(第 2-12 図)。一方、低温苗立性に優れる品種の探索を行い、Maratelli、Italica Livorno などヨーロッパ原産の品種の中に低温苗立性に優れるものが存在することを見出した(第 2-13 表、第 2-14 表、第 2-15 表)。

低温苗立性に優れる Maratelli と Italica Livorno を遺伝資源として利用し、低温苗立性を秋田県の主要品種へ導入し、低温苗立簡易検定で系統選抜を行うことで直播適応性品種の育成を試みた。育成された 15 系 2181 と秋系 580 は良好な苗立を示し、外国稲の持つ低温苗立性を日本稲に導入するのに低温苗立簡易検定が有効であることが証明された(第 2-17 表、第 2-20 表)。しかしながら、玄米品質が極めて不良であるなど実用品種としては不十分であった(第 2-13 図、第 2-15 図)。これは外国稲の持つ劣悪形質と低温苗立性とを分別して選抜できなかったためと考えられた。そこで、この問題を解決して実用的な直播適応性品種を育成するため新たな育種戦略の構築を目指すことにした。すなわち、低温苗立性に関する DNA マーカーの開発と、それを活用して低温苗立性を簡便かつ正確に評価し、選抜する方法の確立である。

まず、外国品種の持つ劣悪形質を排除し低温苗立性のみを導入した実用的な直播適応性の高い系統を選抜するために DNA マーカーの開発を行った。そのためには、低温苗立性に関与する染色体領域と劣悪形質を含む他の染色体領域との識別が必要となる。そこで、Maratelli と Italica Livorno の 2 品種にあきたこまちを交配した後代で低温苗立性に関係する形質の QTL 解析を行ったところ、Maratelli/あきたこまちの後代では低温苗立性に関して 2 ヶ所、低温発芽性に関して 4 ヶ所、低温伸長性に関して 1 カ所の QTL を検出することができた(第 3-2 表、第 3-2 図、第 3-4 表、第 3-6 図)。また、Italica Livorno/あきたこまちの後代では低温苗立性に関して 2 ヶ所、低温発芽性に関して 2 ヶ所、低温伸長性に関して 1 カ所の QTL を検出することができた(第 3-7 表、第 3-8 図、第 3-9 表、第 3-11 図)。これらの QTL のうち Maratelli/あきたこまちの後代で検出された 1 カ所の低温発芽性の QTL を除き残り 11 カ所の QTL はいずれも外国稲の対立遺伝子が表現型を良好にする方向に働いていた(第 3-4 表、第 3-9 表)。このことから、これら領域には日本品種が持たない新規の低温苗立性を向上させる遺伝子が座乗している可能性が示唆された。

また、いずれの集団においても低温発芽性と低温苗立性との間に有意な相関関係が認められたが、低温伸長性と低温苗立性との間には相関関係が見られなかった(第 3-5 表、第 3-10 表)。さらに、低温発芽性の QTL と低温苗立性の QTL とが同一の染色体上に検出されたことから(第 3-4 表、第 3-6 図、第 3-9 表、第 3-11

図)、低温発芽性がその後の低温苗立性に対しより大きな影響を与えていると言える。つまり、低温苗立性を改良する場合、Maratelli や Italica Livorno の低温発芽性に関与する QTL (qGL-3-1、qGL-3-2、qGL-3-3、qGL-3-4、qGL-11-1) を利用することで低温苗立性を高められる可能性が示された。さらに、これらの QTL は異なる染色体領域に検出されていることから、これら領域に座乗する遺伝子を集積させることで、より低温苗立性の優れる系統を育成できることが示唆された。今後、本研究で見いだされた低温苗立性を向上させる QTL を日本の良食味品種に導入し、低温苗立性の優れる良食味な直播適応性品種を育成することが期待される。さらに、このような品種育成において、QTL 近傍の DNA マーカーを利用したマーカー選抜が可能である。

本研究において低温発芽性がその後の低温苗立性に対しより大きな影響を与えていると考えられた。イネの低温発芽性については、胚部のカタラーゼ活性との関係が報告されており(Tanida 1996)、イネのカタラーゼ活性を形質転換により導入し、この遺伝子を過剰発現させて低温発芽性を向上させることに成功している(伊藤ら 1999)。本研究において見いだされた低温発芽性 QTL (qGL-3-1、qGL-3-2、qGL-3-3、qGL-3-4、qGL-11-1) 領域に座乗する遺伝子の単離により、これら QTL の作用とカタラーゼ遺伝子との関係が明らかになれば、低温発芽性に関する遺伝子発現の機構の解明が進むものと期待される。

一方、低温伸長性は低温発芽性よりも低温苗立に対する効果が小さいと考えられたが、種子を催芽してから播種するのが一般的な潤土直播栽培で良好な苗立を得るためには低温伸長性を無視できない。そこで、今後、この形質の遺伝機構を解明し低温伸長性を改良した実用品種を育成するためには、表現型をより精密に解析する必要がある。そのためには、催芽初にカルパー粉粒剤を粉衣して土壌還元の影響を排除するなど、環境分散をより小さくする工夫が必要であると考えられる。また、遺伝子型解析には SSR マーカー(赤木 2000、Akagi et al. 1997) や SNP マーカー(門奈 2004) など PCR 法で検出でき、かつ近縁品種間でも比較的多型を示す DNA マーカーを用いることで、できるだけ高密度な遺伝子地図を作製する必要があると考えられる。

本研究で検出された QTL の効果を検証するため、Maratelli を遺伝資源とし低温苗立性の表現型で選抜しながらあきたこまちを連続戻し交配して育成した NIL (第 4-1 表) について解析した。解析に用いた 8 つの NIL のうち 5 系統が低温発芽性の QTL を有しており、なおかつ低温発芽性の表現型の向上が認められた(第 4-2 表、第 4-3 図)。このことから、これら 5 つの NIL が有する QTL 領域には低温発芽性に関する遺伝子が

座乗していると考えられる。さらに、低温発芽性 QTL を 1ヶ所持つ系統よりも 2ヶ所持つ系統の方が良好な低温発芽性を示したことから（第 4-2 表、第 4-3 図）、これらの低温発芽性を高める遺伝子には集積効果があることが明らかとなった。

また、4つの NIL で低温苗立性の QTL (qSVL-3-1) を有しており、いずれもあきたこまちより有意に優れた低温苗立性を示した（第 4-3 表）。このことから、第 3 染色体上に検出された QTL 領域には低温苗立性を向上させる遺伝子が存在することが明らかとなった。これら 4 系統は同時に低温発芽性も向上しており（第 4-2 表、第 4-3 図）、qSVL-3-1 の極近傍に検出された低温発芽性の QTL、qGL-3-1 が低温発芽性を向上させることで良好な苗立になったと考えられる。低温発芽性に関する QTL はこれまでに複数の報告があるが、その中には本研究で見出された QTL とは異なる領域に見出されたものがある (Miura et al. 2001、Fujino et al. 2004)。また、本研究では低温苗立性に優れた品種が複数見出されており（第 2-13 表、第 2-14 表、第 2-15 表）、これらが低温発芽性を向上させる新たな QTL を持つ可能性が考えられる。すなわち、本研究で用いた Maratelli と Italice Livorno に加え、複数の母本から低温発芽性を向上させる遺伝子を集積することで、より低温苗立性の優れた系統を育成できる可能性がある。また、解析に用いた 8 つの NIL のうち 3 系統が QTL 領域を持たなかったこと、第 1、11 染色体上の 2ヶ所の QTL 領域を持つ系統がなかったことから、確実に低温苗立性に関与する QTL 領域を導入するためには DNA マーカー選抜が必要であることが示唆された。特に、劣性遺伝子の導入には DNA マーカー選抜が不可欠であると考えられた。

本研究により低温苗立性を向上させる染色体領域が特定されたことから、これらの染色体領域のみを持つ系統を DNA マーカーで選抜することが可能になった。そこで、DNA マーカー選抜と連続戻し交配を利用した効率的な育種選抜システムを構築し、その有効性を明らかにした。Maratelli および Italice Livorno にあきたこまちを連続戻し交配し低温苗立性に関する QTL 領域を単独で有する NIL を育成する過程（第 5-1 図、第 5-2 図）に DNA マーカー選抜を適用し、選抜された系統群の遺伝子型の経年変化を解析した。その結果、染色体がほぼ理論値どおり反復親であるあきたこまちに置換していくことが確かめられたため（第 5-3 表、第 5-4 表）、この現象を利用して DNA マーカー選抜と連続戻し交配を基盤とした効果的かつ効率的な選抜システムを構築した。すなわち、連続戻し交配の初期世代は導入しようとする QTL 領域のみ DNA マーカーで選抜し、世代を重ね染色体全体がほぼ反復親に置換した BC_nF₁ 世代からそれ以外の領域にマーカー選抜を利用する方法である（第 5-3 図）。

表現型選抜による従来法（第 5-4 図）と比較し、この選抜システムの利点として次のことが挙げられる（第 5-5 表）。まず、DNA マーカー選抜は選抜精度が高く、大規模な栽培圃場も必要としない。また、世代促進の利点を生かすことによって、系統の育成期間を大幅に短縮できる。さらに目的形質と不良形質とを分別して選抜できることが大きなメリットである。

この育種選抜システムを採用することで、現在育成中の系統の中から短期間で低温苗立性のみを向上させた系統を作成できるものと考えられる。さらには、系統間の相互交配で個別に導入した複数の QTL 領域を集積させる、いわゆるピラミディングを行っていくことで、さらに低温苗立性の向上が期待できる。今後、この育種戦略が直播適応性品種の育成につながるものと期待される。

現在、秋田県ではあきたこまちが作付け全体の 90% 近くを占めており、依然として良食味品種の需要が大きいことが分かる。このため、直播適応性品種が普及するためには、消費者ニーズに対応した良食味性を有することが必要条件となる (古川 2000)。一方、本研究でも示したとおり外国品種を交配母本に用いた場合、品質不良、食味不良などの劣悪形質が随伴することが多く、現在、外国品種由来の直播適性を導入した品種は育成されていない (堀末 1995)。本研究によって、あきたこまちなどの良食味日本品種を反復親とする連続戻し交配と DNA マーカー選抜を併用して、日本品種の品質・食味を損なうことなく外国品種から低温苗立性のみを導入するという明確な直播適応性品種育成に関する育種戦略を提示できた。同時に、本研究により得られた知見や系統は今後、秋田県の直播適応性品種開発、さらには直播栽培の安定化に大きく寄与するものと考えられる。

以上のように、本研究により、従来の表現型に頼った選抜方法では育成が困難である形質の改良に活用可能な DNA マーカーを組み込んだ育種プログラムが提案され、今後、本システムを用いた直播適応性品種の育成が期待される。さらには、新たな形質についても DNA マーカーを開発することで、効率的な品種育成の推進が期待される。

7 謝 辞

本論文をとりまとめるにあたり、秋田県立大学理事 森宏一博士、同生物資源科学部教授 赤木宏守博士、教授 金田吉弘博士、教授 森田弘彦博士、准教授 高橋秀和博士からは終始懇切な御指導と御助言を戴くとともに御校閲を賜った。

また、元秋田県農業試験場長 藤田佳克博士（現独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央総合研究センター病害抵抗性研究チーム長）、前秋田県農林水産技術センター農業試験場長 児玉徹氏（現全国

農業協同組合連合会秋田県本部参与)、農業試験場長加賀屋博行博士からは研究の遂行にあたって特段の御配慮と御鞭撻を賜った。農業試験場作物部長 眞崎聡氏からは暖かい激励とこの研究の計画、実施にあたり適切にご指示と有益な御指導を賜った。

本研究は、秋田県立大学生物資源科学部植物遺伝・育種グループや秋田県農林水産技術センター職員の御協力を得て行われた。特に、秋田県立大学生物資源科学部植物遺伝・育種グループの准教授 渡辺明夫博士、准教授 桜井健二博士、手塚耕一氏から有益な御助言と御協力を戴いた。また、秋田県農林水産技術センター農業試験場作物部の小玉郁子主任研究員、松本眞一主任研究員(現秋田県農林水産技術センター農業試験場原種生産部)、加藤和直研究員、田村里矢子技師(現仙北地域振興局)、総務管理室の佐藤信和技能主任、斉藤健悦技能主任、佐藤敬亮技能技師、下田紀幸技能技師からは絶大な御協力を戴いた。さらに、農業試験場作物部の臨時職員、京極ひろみ氏、牧野里美氏、佐藤かおり氏、鈴木盛栄氏には研究の遂行にあたり多大なご協力を戴いた。

以上の方々に心から感謝を申し上げる。

引用文献

- 赤木宏守 2000. DNA 多型によるイネの品種識別. 育種学研究 2 : 89-96.
- Akagi, H., Y. Yokozeki, A. Inagaki and T. Fujimura 1996. Microsatellite DNA markers for rice chromosomes. *Theor Appl Genet* 93 : 1071-1077.
- Akagi, H., Y. Yokozeki, A. Inagaki and T. Fujimura 1997. Highly polymorphic microsatellites of rice consist of AT repeats, and a classification of closely related cultivars with these microsatellite loci. *Theor Appl Genet* 94 : 61-67.
- 秋田県 2007. 平成 18 年度農林水産業及び農産漁村に関する年次報告. 38-39.
- 秋田県農業試験場 1991. 秋田県農業試験場百年史. 54-57.
- 秋田県農業試験場 1996. 平成 7 年度水稻品種に関する試験成績書. 27-41.
- 秋田県農業試験場 1997. 平成 8 年度水稻品種に関する試験成績書. 30-45.
- Andaya, V. C. and Mackill D. J 2003. Mapping of QTLs associated with cold tolerance during the vegetative stage in rice. *J Exp Bot* 54 : 2579-2585.
- Carnahan, H. L., Erickson J. R. and Mastenbroek J. J. 1972. Tolerance of rice to cool temperatures-USA. In *Rice Breeding*, Int Rice Res Inst, Los Banos, Philippines 535-540.
- Chen, X., S. Temnykh, Y. Xu, Y. G. Cho and S. R. McCouch 1997. Development of a microsatellite framework map providing genomewide coverage in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet* 95 : 553-567.
- David, B. J. and Peterson M. L. 1976. Rice seedling vigor at sub-optimal temperatures. *Crop Sci* 16 : 102-105.
- Dilday, R. H., Mgonja M. A., Amonsilpa S. A., Collins F. C. and Wells B. R. 1990. Plant height vs. mesocotyl and coleoptile elongation in rice: linkage or pleiotropism? *Crop Sci* 30 : 815-818.
- Edwards, K., C. Johnstone and C. Thompson 1991. A simple and rapid method for the preparation of plant genome DNA for PCR analysis. *Nucl Acids Res* 19 : 1349.
- Fujino, K. 2004. A major gene for low temperature germinability in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica* 136 : 63-68.
- 藤野賢治・関口博史・松田康之・小野和子・矢野昌裕 2007. イネ低温発芽性遺伝子 *qLTG-3-1* の単離. 育種学研究 9 (別 2) : 46.
- Fujino, K., H. Sekiguchi, T. Sato, H. Kiuchi, Y. Nonoue, Y. Takeuchi, T. Ando, S. Y. Lin and M. Yano 2004. Mapping of quantitative trait loci controlling low-temperature germinability in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet* 108 : 794-799.
- Harlan, H. V. and Pope M. H. 1922. The use and value of back-crosses in small-grain breeding. *J Hered* 13 : 319-322.
- 橋本憲明・大源正明・林敬子・芦川育夫・高原美規・山本皓二 2005. イネいもち病抵抗性遺伝子 *Piz* に連鎖する DNA マーカーの育種利用. 育種学研究 7 : 143-146.
- 島山俊彦 1985. 秋田県における水稻の県単育種—再開の背景と経過—. 育種 35 : 95-96.
- 島山俊彦 1994. 秋田県における酒米育種の新展開. 醸協 89(1) : 6-12.
- 島山俊彦・斎藤正一・眞崎聡・福田兼四郎・加藤武光・佐々木力・山本寅雄・嶋貫和夫 1991. 水稻新品種たかねみのりの育成について. 秋田農試研報 31:1-22.
- 堀末登 1995. 直播適性水稻品種の開発. 直播稲作研究の最前線 第 2 巻 農林水産技術情報協会, 東京 115-131.
- 藤井潔・早野由里子・杉浦直樹・林長生・伊澤敏彦・岩崎真人 2005. イネ準同質遺伝子系統を用いた穂いもち圃場抵抗性遺伝子 *Pb1* による穂いもち発病抑制効果の定量的評価. 育種学研究 7 : 75-85.
- 福田善通・太田久稔・田村克徳・笹原英樹・福山利範・芦川育夫・上原泰樹・八木忠之 1997. 土中出芽性に関する QTL (計量形質遺伝子座) 解析. 日作紀 66 (別 1) : 242-243.

- 古川嗣彦 2001. 寒冷地における直播栽培技術の現状と展望 5. 乾田直播栽培技術 (4)技術開発の今後の展望. 北農 67:157-159.
- 稲津脩 1988. 北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究. 北海道立農試報 66:1-89.
- 井辺時雄・吉村淳 1999. イネ育種において DNA マーカーは使えるのか? 育種学最近の進歩 41:63-66.
- 伊藤美奈子・竹澤利和・亀谷七七子・神崎洋之・寺内良平・中村郁郎 1999. イネカタラーゼ遺伝子の過剰発現による低温耐性イネの作出. 育種学研究 1(別2):60.
- 岩手県立農業試験場県南分場 1995. 水稻新配布系統成績所(岩南7号, 岩南8号). 8-13.
- 椛木信幸・金忠男 1990. イネの初期生育に関与する生理的要因の解明 1 各生育段階における成長速度の品種間差異. 北陸作物学会報 25:25-27.
- 加藤武光・畠山俊彦・眞崎聡・斎藤正一・福田兼四郎・嶽石進 1994. 水稻新品種吟の精の育成. 秋田農試研報 34:1-20.
- 勝田真澄 1998. イネ幼植物における中茎伸長性の変異と遺伝に関する研究. 農業生物資源研究所研究報告 12:55-98.
- 小高真一・安部信行 1989. 低温条件下における出芽, 苗立ちの安定機構の解明. 農林水産技術会議事務局研究成果 229:8-23.
- Lander, E., P. Green, J. Abrahamson, A. Barlow, M. Daley, S. Lincoln and L. Newburg 1987. MAPMAKER: An interactive computer package for constructing primary genetic linkage maps of experimental and national populations. Genomics 1:174-181.
- Li, C. C. and Rutger J. N. 1980. Inheritance of cool-temperature seedling vigor in rice and its relationship with other agronomic characters. Crop Sci 20:295-298.
- Lin, H. X., T. Yamamoto, T. Sasaki and M. Yano 2000. Characterization and detection of epistatic interactions of 3 QTLs, Hd1, Hd2, and Hd3, controlling heading date in rice using nearly isogenic lines. Theor Appl Genet 101:1021-1028.
- 眞崎聡・畠山俊彦・加藤武光・嶽石進・斎藤正一・福田兼四郎・田口光雄・山本寅雄・鎌田易尾・沼沢和紀 1995. 水稻新品種秋田 51 号の育成. 秋田農試研報 34:1-22.
- 眞崎聡・畠山俊彦・斎藤正一 1984. あきたこまち(秋田 31 号)の食味特性. 東北農業研究 35:13-14.
- 眞崎聡・畠山俊彦・斎藤正一・福田兼四郎・加藤武光・佐々木力・小野充・島田孝之助・山本寅雄・田口光雄・大森友太郎 1992. 水稻新品種あきた 3 9 の育成. 秋田農試研報 32:1-15.
- 眞崎聡・加藤武光・畠山俊彦・松本眞一・川本朋彦 2004. 水稻新品種美郷錦の育成. 秋田農試研報 44:49-72.
- 眞崎聡・加藤武光・畠山俊彦・松本眞一・川本朋彦・山本寅雄・嶽石進・斎藤正一・福田兼四郎・嶋貫和夫・池田直美 1999. 水稻新品種秋の精の育成. 秋田農試研報 40:23-43.
- 眞崎聡・斎藤正一・畠山俊彦 1983. テクスチュロメーターによる炊飯米特性の検討. 育種 33(別1):330-331.
- 松江勇次・小田原孝治・比良松道一 1996. 北部九州産米の食味に関する研究. 日作紀 65:245-252.
- 松本眞一・眞崎聡・川本朋彦・畠山俊彦・加藤武光・池田直美・斎藤正一・嶽石進・山本寅雄・嶋貫和夫・京谷薫・田口光雄・明沢誠二 1999. 水稻新品種めんこいなの育成. 秋田農試研報 40:1-22.
- 松本眞一・眞崎聡・川本朋彦・小玉郁子・畠山俊彦・加藤武光 2006. 水稻紫黒糯品種小紫の育成. 秋田農試研報 46:21-40.
- 松尾孝嶺 1974. 育種ハンドブック. 292-384.
- McCouch, S. R., L. Teytelman, Y. Xu, K. B. Lobos, K. Clare, M. Walton, B. Fu, R. Maghirang, Z. Li, Y. Xing, Q. Zhang, I. Kono, M. Yano, R. Fjellstrom, G. DeClerck, D. Schneider, S. Cartinhour, D. Ware and L. Stein 2002. Development and mapping of 2240 new SSR markers for rice (*Oryza sativa* L.). DNA Research 9:199-207.
- McKenzie, K. S., Rutger J. N. and Peterson M. L. 1980. Relation of seedling vigor to semidwarfism, early maturity, and pubescence in closely related rice lines. Crop Sci 20:169-172.
- Mgonja, M. A., Ladeinde T. A. O., Akenova M. E. 1993. Genetic analysis of mesocotyl length and its relationship with other agronomic characters in rice (*Oryza sativa* L.). Euphytica 72:189-195.
- 三浦清之 2003. 水稻直播適性品種育成のための種子発芽性および苗立ち性に関する遺伝育種学的研究. 生物研研究資料 2:1-44
- Miura, K., Lin S. Y., M. Yano and T. Nagamine 2001. Mapping quantitative trait loci controlling low temperature germinability in rice (*Oryza sativa* L.). Breed Sci 51:293-299.
- 門奈理佐 2004. イネ SNPs 解析と品種鑑別法への利用. 農業および園芸 79(1):163-167.
- 諸橋準之助・田村隆夫・金子均 1988. 水稻の湛水溝付直播法の出芽・苗立ちに関する研究 第4報 種子初採種方法と出芽・苗立ち. 日作紀 57(別1):277-278.

- 中山正義・加藤明治・増淵隆一・下坪訓次・小川修
1988. 湛水土中直播におけるコンバイン収穫物の出芽について. 日作紀 57(別1): 275-276.
- 荻原素之 1993. 水稻の湛水土壌中直播における出芽・苗立に関する研究. 石川農短大特報 20: 1-103.
- Ogiwara, H. and K. Terashima 2001. A varietal difference in coleoptile growth is correlated with seedling establishment of direct seeded rice in submerged field under low-temperature conditions. *Plant Prod Sci* 4: 166-172.
- 大久長範・小玉郁子・星野育・鶴巻ひとみ・大能俊久
2007. 低アミロース米淡雪こまちを用いた早炊き炊飯. 食科工 54: 339-342.
- 大隅光善・土居健一・柴田義弘 1987. 湛水土壌中直播栽培における2, 3の問題点 第4報品種, 収穫方法等の違いが出芽・苗立に及ぼす影響. 九州農業研究 49: 36.
- 太田久稔 2005. 稲における土中出芽性の評価方法の開発と土中出芽性に優れた品種の育成. 東京農工大学大学院博士論文. 74-82.
- 太田久稔・井辺時雄・吉田智彦 2003a. 水稻の湛水土中直播栽培における出芽性の検定法と遺伝的変異. 日作紀 72(1): 50-55.
- 太田久稔・上原泰樹・井辺時雄・吉田智彦 2003b. 水稻の湛水土中直播栽培における土中出芽性の新たな検定法と土中出芽性の新たな遺伝資源. 日作紀 72(3): 295-300.
- Panaud, O., X. Chen and S. R. McCouch 1996. Development of microsatellite markers and characterization of simple sequence length polymorphism (SSLP) in rice (*Oryza sativa* L.). *Mol Gen Genet* 245: 187-194.
- Peterson, M. L., Jones D. B. and Rutger J. N. 1978. Cool temperature screening of rice lines for seedling vigor. *II Riso* 27: 269-274.
- Redona, E. D. and Mackill D. J. 1996a. Genetic variation for seedling vigor traits in rice. *Crop Sci* 36: 285-290.
- Redona, E. D. and Mackill D. J. 1996b. Mapping quantitative trait loci for seedling vigor in rice using RFLPs. *Theor Appl Genet* 92: 395-402.
- Rice, W. R. 1989. Analyzing tables of statistical tests. *Evolution* 43: 223-225.
- 斎藤正一・畠山俊彦・眞崎聡・福田兼四郎・加藤武光・佐々木力・山本寅雄 1989. 水稻新品種あきたこまちの育成について. 秋田農試研報 29: 65-87.
- 佐々木多喜雄 1974. 稲品種の低温発芽性に関する育種学的研究. 北海道立農試報 24: 1-90.
- 佐藤暢芳・竹内正夫・荒木悟・光浦章・菊田恭輔
2000. 冷凍機を用いた温度一定制御試験ほ(圃)場施設—秋田県農業試験場納入—. エバラ時報 188: 67-72.
- 佐藤毅・藤野賢治・木内均・菊地治巳・野々上慈徳・竹内善信・林少揚・矢野昌裕 1999. はやまさりと *Italica Livorno* から由来する BC₁F₂ 系統群を用いた RFLP 連鎖地図の作成. 育種学研究 1(別2): 123.
- Soller, M. and j. s. Beckmann 1983. Genetic polymorphism in varietal identification and genetic improvement. *Theor Appl Genet* 67: 25-33.
- Sthapit, B. R. and Witcombe J. R. 1998. Inheritance of tolerance to chilling stress in rice during germination and plumule greening. *Crop Sci* 38: 660-665.
- 杉浦直樹・辻孝子・藤井潔・加藤恭宏・坂紀邦・遠山孝通・早野由里子・伊澤敏彦 2004. 水稻病害抵抗性付与のための連続戻し交配育種における DNA マーカー選抜の有効性の実証. 育種学研究 6: 143-148.
- Suh, J. P., S. N. Ahn, H. P. Moon and H. S. Sub 2002. QTL analysis of low temperature germinability in a Korean weedy rice (*Oryza sativa* L.). *Rice Genetics Newsletter* 16: 53-54.
- 高橋仁・田口隆信 2003. 酒造好適米新品種秋田酒こまちの開発と酒造特性 醸協 98(9): 598-607.
- 高橋仁・廣島一郎・中田健美・斎藤久一・椎木敏 1999a. 酒造好適米吟の精の潜在的な心白について. 醸協 94(3): 244-251.
- 高橋仁・田口隆信・渡辺誠衛・石川京子・中田健美・斎藤久一・佐無田隆・岩野君夫・石川雄章 1999b. 酒造好適米吟の精の選抜と酒造特性について. 秋田県総合食品研究所報告 1: 1-7.
- 武田友四郎・岡三徳・県和一 1984. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究 第2報 明治期以降の新旧品種の子実生産特性. 日作紀 53: 12-21.
- Takita, T. 1983. A rice line with very large grain obtained by pyramiding genic effects. *JARQ* 17: 93-97.
- 田中文夫・田中英彦・涌井明 1991. 湛水直播水稻の苗腐敗病 *Pythium spp.* の接種法と品種抵抗性検定. 日植病報 57(1): 120.
- Tanida, M. 1996. Catalase activity of rice seed embryo and its relation to germination rate at a low temperature. *Breed Sci* 46: 23-27.
- Tanksley, S. D. 1993. Mapping polygenes. *Annu Rev Genet* 27: 205-233
- Temnykh, S., D. P. William, N. Ayres, S. Cartinhour, N. Hauck, L. Lipovich, Y. G. Cho, T. Ishii and S. R. McCouch 2000. Mapping and genome organization of microsatellite sequence in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet* 100: 697-712.

- Turner, F. T., Chen C. C. and Bollich C. N. 1982. Coleoptile and mesocotyl length in semi-dwarf rice seedlings. *Crop Sci* 22 : 43-46.
- 鶴飼保雄 2000. ゲノムレベルの遺伝解析. 東京大学出版会.
- Wang, S., Basten C. J. and Zeng Z.-B. 2006. Windows QTL Cartographer 2.5. Department of Statistics, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA.
<http://statgen.ncsu.edu/qtlcart/WQTLCart.htm>
- 山口琢也・蛭谷武志・表野元保・山本良孝 2007. 低温土中出芽性に優れた在来品種阿波赤米の育種利用. *育種学研究* 9 : 103-110.
- 山本隆一 1990. 水稻直播栽培用品種開発の道標. *農業技術* 45 : 385-391.
- Yamamoto, T., Lin H. X., T. Sasaki and M. Yano 2000. Identification of heading date quantitative trait locus Hd6 and characterization of its epistatic interactions with Hd2 in rice using advanced backcross progeny. *Genetics* 154 : 885-891.
- Yamauchi, M, Winn T 1996. Rice seed vigor and seedling establishment in anaerobic soil. *Crop Sci* 36 : 680-686.
- 矢野昌裕 1991. 遺伝子地図の作成と育種への利用. *農業技術* 46(2) : 42-46.
- Yano, M. and T. Sasaki 1997. Genetic and molecular dissection of quantitative traits in rice. *Plant Molecular Biology* 35 : 145-153.
- Yano, M., Y. Harushima, Y. Nagamura, N. Kurata, Y. Minobe and T. Sasaki 1997. Identification of quantitative trait loci controlling heading date in rice using a high-density linkage map. *Theor Appl Genet* 95 : 1025-1032.

Abstract

Establishment of Efficient Selection System Using DNA marker Assisted Selection for Rice Breeding

Tomohiko KAWAMOTO

(*Agricultural Experiment Station, Akita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center*)

As the lesson from the services of the conventional crossing-breeding, it shows that the strategic selection on the early generation is efficient producing the practicality cultivars.

The improvement of SVL (seedling vigor at the low temperature) is necessary to the promotion of the direct seeding culture of rice.

As new strategy, the utilization of DNA marker assisted selection is valid with breeding a cultivar with excellent SVL.

Therefore, by the QTL analysis, it specified some chromosomal gene locus which improves in SVL, and it made possible DNA marker assisted selection.

Further, on the model of the improvement of SVL, by making possible identifying the chromosomal positions with DNA markers, I established an efficient selection system.

Comparing with the conventional method, DNA marker assisted selection is excellent in the following points, (1) It is the high precision of the selection. (2) It doesn't make need large-scale growing farm field. (3) It is possible to select only by the DNA analysis and it doesn't need the selection by the phenotype. (4) It is possible to identify only a character for the purpose. (5) The period of the breeding can be reduced (1/4 of the conventional method).

In effect, by this research, it is possible to improve rice-breeding efficiently in using DNA marker assisted selection. Further, pyramiding (the accumulation of the genes by the mutual crossing of the near isogenic lines) will make possible to breed the line with the higher ability.

Key Words: Direct Seeding Culture, DNA marker, Rice, QTL, Seedling vigor at the low temperature, Selection,

DNA マーカー選抜を利用した 効率的な水稻育種選抜システムの確立

川本 朋彦

(秋田県農林水産技術センター農業試験)

従来の交配育種法による品種改良の成果から、選抜初期から戦略的な育種選抜を行うことが実用品種の早期育成に効果的であることが示された。

低温苗立性の優れた直播適応性品種の育成のための新たな育種戦略としては、DNA マーカー選抜の導入が有効であると考えられた。そこで、QTL 解析によって低温苗立性を向上させる遺伝子が座乗する染色体領域を特定することで DNA マーカー選抜を可能にした。さらに、低温苗立性の改良をモデルに染色体領域を識別する DNA マーカーを利用した効率的育種選抜システムを構築した。この DNA マーカー選抜法は従来法と比較して、

(1) 選抜精度が高い、(2) 大規模な栽培圃場を必要としない、(3) DNA 分析のみで選抜でき形質毎の選抜法を必要としない、(4) 目的形質のみの識別、(5) 育成期間の短縮 (従来法の 4 分の 1) という点で優れている。

すなわち、本研究により DNA マーカー選抜を利用した効率的な水稻育種が可能となる。さらには、NIL の相互交配による遺伝子の集積 (ピラミディング) により、より能力の高い系統の育成できることが期待される。

キーワード：育種、QTL、水稻、選抜、直播栽培、DNA マーカー、低温苗立性

アカヒゲホソミドリカスミカメの発生生態の解明と減農薬防除技術の確立に関する研究

新山 徳光¹⁾

キーワード：アカヒゲホソミドリカスミカメ、減農薬、発生生態、斑点米、防除

目 次	
1 緒言	147
2 秋田県におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生実態と水田内増殖機構の解明	149
2-1 抄録	149
2-2 1999 年におけるカメムシ類の発生と斑点米被害の実態	149
2-3 アカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長と水田増殖要因	155
3 主要薬剤における減農薬防除の研究	
3-1 抄録	157
3-2 主要薬剤に対する感受性	158
3-3 主要薬剤の散布適期に関する試験	160
4 新しい減農薬防除技術に関する研究	162
4-1 抄録	162
4-2 新規ネオニコチノイド系薬剤（茎葉散布剤）による 1 回散布防除技術の開発	163
4-3 新規ネオニコチノイド系薬剤（茎葉散布剤）による減農薬防除の現地実証	165
4-4 粒剤による新しい防除技術の開発	167
4-5 発生源対策による新しい防除技術の開発	169
5 総合考察	172
6 謝辞	175
引用文献	176
Abstract	178

1 緒 言

秋田県の農業産出額に占める米の割合は 59% (2004 年度) で、米生産は重要な産業として位置づけられている。このため、高品質・良食味米は「売れる米」に欠かせない条件となっており、米の品質を損なう斑点米の多発生は米生産者にとって大きな問題である。斑点米とはカメムシ類によって籾が吸汁されることにより、玄米が部分的または全面的に着色したものをいい、着色粒の混入限度は 1 等米で 0.1%、2 等米で 0.3% と非常に厳しい基準となっている。1 等米から 2 等米への格下げは玄米 60kg 当たり 1,000 円程度の収入減となるため、斑点米による落等は稲作経営に大きな影響を与える。

生産者はカメムシ類の発生源となる畦畔・農道や休耕田の雑草管理、本田への複数回の薬剤散布により斑点米被害を抑える努力をしている。しかし、近年の米をめぐる産地間競争は激しく、高品質・良食味を維持するとともに、環境保全型農業の推進と食の安全、低コスト・軽労化が求められている。このような付加価値の高い米生産を推進するためには、現状よりも薬剤

の散布回数を削減した防除体系が必要となっている。

斑点米は、古くは北海道で 1918 年頃から認められ、病原菌によるものと考えられていた。カメムシ類による斑点米被害としての記録は、高橋 (1948) が報告したのが最初とされている (林 1997)。1950 年代に岐阜県や宮崎県で被害が報告され、1970 年以後多くの県で問題となるに至った (岩田ら 1976)。その原因として、水稻栽培の早期化により出穂期が早まったこと、畦畔雑草の刈り取りの不徹底と休耕田や牧草地の増加、BHC や EPN など残効性の高い農薬が使用されなくなったこと、殺虫剤そのものの散布回数の減少などが挙げられている。この背景には米の生産調整が始まり、量から質への転換といった国の政策が挙げられる。1999 年以降は、全国的に斑点米カメムシ類の発生が多くなり、深刻な問題となっている。

秋田県では 1974 年に斑点米の多発生があり、これを受けて 1976 年に初めて全県的に斑点米カメムシ類に関する発生種の調査が行われた。当時の調査で発生が多かった主要種は、オオトゲシラホシカメムシ *Eysarcoris lewisi* (Distant)、トゲカメムシ *Carbula*

※本論文は東北大学大学院農学研究科審査学位論文 (博士) を一部加筆修正したものである

¹⁾ 秋田県農林水産技術センター農業試験場、現 秋田県病害虫防除所

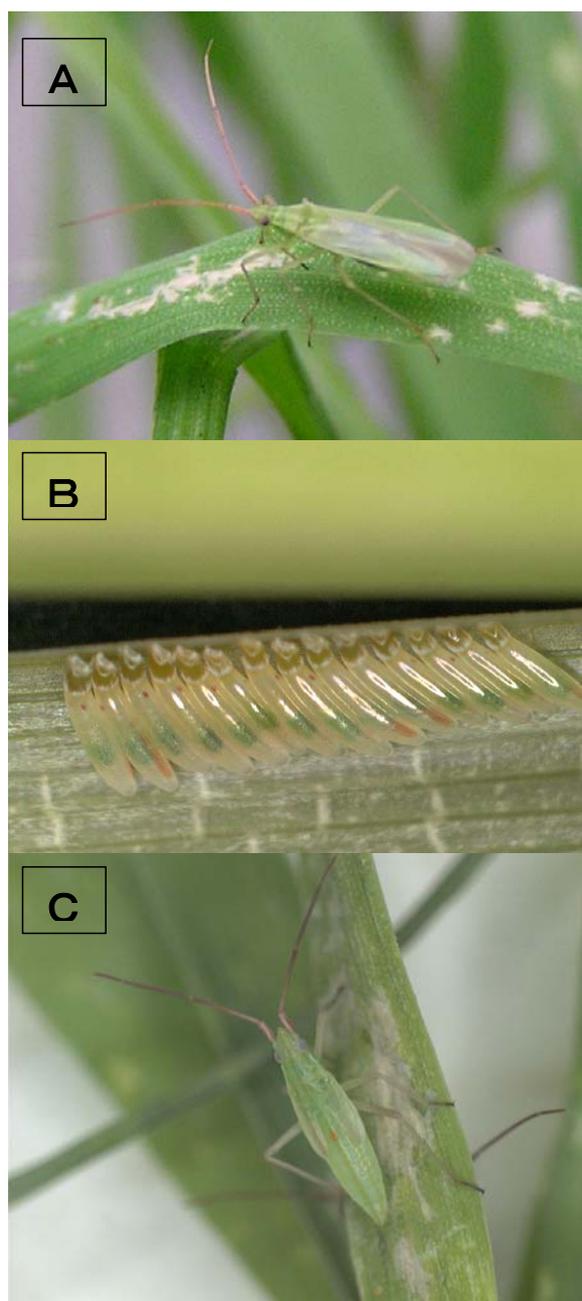
humerigera (Uhler)、ブチヒゲカメムシ *Dolycoris baccarum* (Linnaeus)、コバネヒョウタンナガカメムシ *Togo hemipterus* (Scott)、アカヒゲホソミドリカスミカメ *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (第1-1図)の5種であった。1980年代の発生種調査では、新たにホソハリカメムシ *Cletus punctiger* (Dallas)とアカスジカスミカメ *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura)が確認された。主要種は多くの圃場で発生が認められたオオトグシラホシカメムシ、コバネヒョウタンナガカメムシ、アカヒゲホソミドリカスミカメの3種であった。

斑点米カメムシ類は、斑点米を引き起こすカメムシ類の総称で地域や県によって発生種や主要種が異なる。現在、斑点米の原因種として9科65種が挙げられているが(安永ら1993)、防除対象となるのは10種に満たない。各地域の主要種は、北海道、東北、北陸ではアカヒゲホソミドリカスミカメ、東北太平洋側や中国近畿地方ではアカスジカスミカメ、東北南部以南ではクモヘリカメムシ *Leptocorisa chinensis* Dallas やホソハリカメムシ、九州南部や四国南部、和歌山県ではミナミアオカメムシ *Nezara viridula* (Linnaeus)である(菊地ら2005)。

アカヒゲホソミドリカスミカメは、半翅目異翅亜目カスミカメムシ科に属する小型のカメムシで、全北区に広く分布し、わが国でもほぼ全域にわたって生息している。イネ科作物を加害する重要種としての報告例が多く、日本では1970年代から80年代までは北海道でのみ斑点米の原因種として重要視されてきた。しかし、近年は東北や北陸地方においても発生量が急増し、同地域における斑点米カメムシ類の主要種となっている。

国内におけるアカヒゲホソミドリカスミカメに関する研究は、奥山・井上(1972)が北海道における黒蝕米の発生原因が本種の刺傷に起因することを報告して以来、北海道立農業試験場で精力的に研究が進められた。その結果、本種の発育零点と有効積算温度(奥山1974b;奥山・井上1975)、繁殖能力(奥山1974;奥山・井上1975)、発生消長(奥山1974a)、加害時期と斑点米の斑紋位置との関係(奥山・井上1974)、有効薬剤(井上1974;1975)、休眠卵の誘起および覚醒条件(奥山1982)、発生予測(八谷1999)、すくい取り効率(八谷1984)、要防除水準(八谷1985)、簡易飼育法(柿崎1997)、雄成虫の雌成虫に対する誘引現象(Kakizaki and Sugie 1997)、性フェロモンの同定(Kakizaki and Sugie 2001)などの多くの報告がされた。本種の北海道における発生は、卵態で越冬し年3世代を経過する(奥山1974)。第1回目に現れる越冬世代成虫の発生盛期は7月上旬となり、この時期の成虫はわずかに水田に飛来するが、その後の幼虫発生はみられない。第2回目に現れる第1世代成虫は7月下

旬～8月上旬に発生盛期となりイネの出穂期と重なるため、水田に多数飛来し、イネを加害し産卵を行う。第3回目に現れる第2世代成虫は8月下旬～9月に水田内や畦畔などで発生する(八谷1999)。発生量が多いため、出穂期を起点として約7日間隔に3～4回、有機リン剤や合成ピレスロイド剤などでの薬剤散布を防除の基本としている(橋本1988)。このように、本種の生態や防除方法については一応の解決がなされ、秋田県でも先に述べた主要3種を対象として、これに準じた対策がとられていた。しかし、実際には1999年に起こった斑点米被害を未然に防ぐこ



第1-1図 アカヒゲホソミドリカスミカメ
(A:成虫、B:卵塊、C:幼虫)

とができなかったことから、第一に秋田県におけるカメムシ類の発生と斑点米被害の実態を明らかにし、防除上の問題点を抽出する必要があると考えられた。さらに、抽出された問題点を検討し、斑点米カメムシ対策を早急に確立することが重要と考えられた。

本研究は、秋田県における斑点米カメムシ類、特にアカヒゲホソミドリカスミカメの発生生態を解明するとともに、斑点米の発生に関与するさまざまな要因を調査しながら、斑点米被害を軽減し、かつ減農薬栽培が可能となる防除技術の確立を目的として行った。このような防除技術の普及は、生産者にとっては低コスト化や省力化が図られ、消費者が求める安全・安心な農産物の提供に結びつくと考えられる。

2 秋田県におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生実態と水田内増殖機構の解明

2-1 抄録

1999年に行った現地圃場の農道・畦畔や水田内のすくい取り調査では、5科14種のカメムシ類が捕獲された。これまで主要種とされてきたオオトゲシラホシカメムシが農道・畦畔において比較的多く捕獲されたが、コバネヒョウタンナガカメムシは少なかった。これら2種は斑点米被害に直接結びつくと考えられる水田内での発生はきわめて少なかった。これらと比較してアカヒゲホソミドリカスミカメは、農道・畦畔および水田内における捕獲個体数の大部分を占めたことから、本種が斑点米の原因となる主要種であることが明らかになった。

現地圃場および巡回圃場調査における斑点米は、玄米の登熟が進んだ時期に加害された場合にできる側部斑点米がきわめて多かった。このことから、側部斑点米の発生を少なくすることが重要であることが示唆された。

県内全域で斑点米被害の発生が高かった1999年は、8月の平均気温が高く、7月の予察灯におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの誘殺数が多い特徴があったものの、重回帰分析の結果から割れ籾の発生率が高かったことが最も大きな要因と考えられた。割れ籾の発生程度は同じ条件で栽培された品種間で違いがあり、また同一品種でも水田内に分布の偏りが見られた。どちらの場合も割れ籾と斑点米の発生程度との間には強い相関が見られた。これは本種が固い籾殻を通して吸汁することが困難で、籾の開穎部分から加害する特性に起因すると考えられた。また、斑点米被害の多発生には水田内における本種の幼虫発生、すなわち幼虫増殖による登熟期後半の密度増加などの要因も関わっていると考えられた。

イネ科雑草地のすくい取り調査によって、本県におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生は年4回で

あることが明らかとなった。すくい取り調査の結果と有効積算温度により、各世代成虫の発生盛期を予測した結果、越冬世代が6月中旬、第1世代が7月中旬、第2世代が8月中旬、第3世代が9月下旬～10月上旬であることが示された。

水田内の発生消長調査では、出穂期数日後から14日後に成虫の発生盛期が見られ、その後、成虫の発生はほとんど認められなかった。幼虫は出穂期20日後過ぎから見られ、出穂期30日後頃に発生盛期となった。

ポット栽培したイネに若齢幼虫を放飼し、割れ籾の発生率と幼虫の生存率の関係をみたところ、割れ籾の発生率が高い「あきたこまち」は幼虫の生存率が高く、その結果として斑点米、特に側部斑点米の発生量が多くなることが示唆された。これらのことから、出穂期後に水田内に侵入した成虫はイネの葉鞘部に産卵し、孵化幼虫はイネの茎葉部や割れ籾の発生した籾を吸汁しながら成育することにより、斑点米が形成されると考えられた。

2-2 1999年におけるカメムシ類の発生と斑点米被害の実態

緒言

秋田県における1999年産うるち米の作柄は作況指数102のやや良であったが、1等米比率は48.5%（2000年1月31日現在）であった。1978年に等級整理されて以降、不稔型冷害によって著しく作況指数ともに低下した1981年に次ぐ低い1等米比率となった。落等原因の4割強、対検査数量比では約23%（例年0.3～3.8%）が、カメムシ類の加害により発生する斑点米が原因であった。この被害量は東北地方の中でも群を抜いており、なぜこのような大きな被害となったかを明らかにすることは今後の防除対策を考える上で非常に重要である。

そこで、本章では甚大な被害を被った1999年のカメムシ類、特にアカヒゲホソミドリカスミカメの発生実態および斑点米被害の特徴を明らかにし、防除技術開発のための基礎的知見を得ることを目的とした。

材料および方法

(1) 現地圃場におけるカメムシ類の発生種および発生推移調査

調査は1999年に秋田県南部の横手市金沢、同市黒川、大雄村新町（現横手市大雄新町）の水田で行った。6月上旬～9月中旬に7～10日の間隔で、農道・畦畔および水田内において捕虫網（径36cm、柄長90cm）を用いたすくい取り調査（20回振り）を行い、種類別に個体数を記録した。さらに、横手市金沢では農道・畦畔において、地表面の雑草をかき分けて種類別に

個体数を調査した。調査は7月下旬～8月中旬に3回
行い、1回につき50×50cmの枠内を5カ所調査した。
すくい取り調査圃場の殺虫剤による防除概要は第2-1
表のとおりである。

第2-1表 調査圃場の防除概要

調査地点	散布日	防除薬剤名(散布方法)
横手市金沢	8月7日	シラフルオフェンDF(航空散布)
	8月11日	シラフルオフェン粉剤DL(地上散布)
横手市黒川	8月7日	シラフルオフェンDF(航空散布)
	8月20日	シラフルオフェン粉剤DL(地上散布)
大雄村新町	7月25日	エトフェンプロックス粉剤DL(地上散布)
	8月5日	シラフルオフェンDF(航空散布)
	8月10日	シラフルオフェン粉剤DL(地上散布)
	8月15日	エトフェンプロックス粉剤DL(地上散布)

(2) 斑点米の特徴

すくい取り調査を行った3地点の圃場において、収
穫期の9月17日に各水田の中央部から任意に10穂を
抜き取り、斑点の発生部位によって第2-1図のように
頂部、側部、他に分類した。比較として農業試験場内
(秋田市仁井田)の無防除圃場の10カ所から1カ所10
株を9月16日に刈り取り、その中から1カ所20穂、
計200穂を任意に選び、同様に斑点米を類別した。

また、秋田県病害虫防除所が巡回圃場調査で県内の
116地点の水田から採集した玄米(1地点当たり30穂)
の斑点米を種類別に集計し、特徴を解析した。



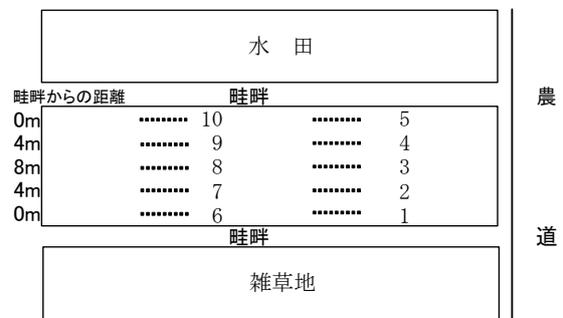
第2-1図 斑点米の分類

(3) 秋田県の斑点米被害の実態

東北農政局秋田食糧事務所(現秋田農政事務所)が
取りまとめた1999年産うるち米の玄米品質検査結果
を市町村単位(1999年現在69市町村)に集計し、秋
田県内の斑点米被害の分布の特徴を解析した。

さらに、1988年から2002年までの被害地点率(精
玄米1,000粒当たり斑点米が2粒以上混入している地
点の割合)と月別平均気温、月別降水量、アカヒゲホ
ソミドリカスミカメの予察灯への月別誘殺数、県内採
種圃産「あきたこまち」の割れ籾による被害率(割れ
籾の混入率が0.5%以上となった割合)および「あき
たこまち」の県平均の出穂期の関係を重回帰分析に
より解析した。これにより被害地点率に影響する要因
を探った。被害地点率は、秋田県病害虫防除所が県内
の一般圃場を対象として行っている巡回圃場調査より得
られたデータを用いた。月別平均気温および月別降水

量はアメダス(観測地点:秋田)の気象データを用い、
月別誘殺数は予察灯の調査地点のうち秋田(2000年
以降は雄和)と大曲(現大仙)の合計値を用いた。また、
割れ籾による被害率のデータは秋田県産米改良普
及協会から聞き取り調査し、県平均の出穂期は秋田県
農政部(現農林水産部)が発行している「稲作指導指
針」から抜粋した。



第2-2図 調査圃場と刈り取り位置

(4) 割れ籾と斑点米被害との関係

① 品種別の比較

1998年と1999年に農業試験場内(秋田市仁井田)
の同一の水田で栽培された奨励品種について、収穫後
の籾を約300ml採取し割れ籾と正常籾に分け、それ
ぞれ籾摺りした後、斑点米の発生程度を調査した。調
査した品種は、1998年が「でわひかり」、「あきたこ
まち」、「あきた39」、「ひとめぼれ」、「はえぬき」、「秋
田59号」、「ササニシキ」の7品種、1999年が「たか
ねみのり」、「でわひかり」、「あきたこまち」、「キヨ
ニシキ」、「あきた39」、「トヨニシキ」、「ひとめぼれ」、
「はえぬき」、「秋田59号」、「ササニシキ」の10品種
とした。両年次について割れ籾率と斑点米混入率の相
関関係を調べた。

② 水田内の分布

調査は1999年、農業試験場内(秋田市仁井田)の
無防除水田(16×54m)で行った。品種は「あきた
こまち」で、約35日間育苗した中苗を5月15日に機
械移植した。出穂期は8月1日であった。第2-2図に
示した10地点で連続10株を刈り取り、乾燥後、1地
点当たり任意に20穂を抽出し、正常籾と割れ籾に分
けた。それぞれを籾摺りした後、斑点米粒数を調査し
た。刈り取り時期は9月9日、22日とし、それぞれ
刈り取り位置別の割れ籾率や斑点米混入率の程度を比
較した。解析は刈り取り地点の1、5、6、10は畦畔際、2、
4、7、9を中間部、3、8を中央部としてまとめて行っ
た。また、割れ籾率と斑点米混入率の相関関係を調べ
た。なお、調査圃場におけるカメムシ類の発生種はア
カヒゲホソミドリカスミカメが主体で、その他オト
ゲシラホシカメムシ、ブチヒゲカメムシであった。

結果

(1) 現地圃場におけるカメムシ類の発生種および発生推移

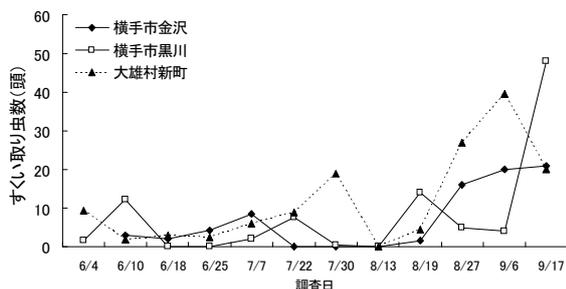
現地圃場の農道・畦畔や水田内のすくい取り調査では、5科14種のカメムシ類が捕獲された。捕獲数はアカヒゲホソミドリカスミカメが最も多く、次にオオトゲシラホシカメムシであった。ムギカスミカメやブチヒゲカメムシは農道・畦畔でのすくい取り調査で捕獲数が比較的多かったが、水田内ではほとんど捕獲されなかった。農道・畦畔でのかき分け調査では歩行性のオオトゲシラホシカメムシやナガカメムシ類が比較的多かった(第2-2表)。

第2-2表 現地農道・畦畔、水田内における発生確認種(1999年)

種名	農道・畦畔		水田内
	かき分け	すくい取り	すくい取り
カスミカメシ科 Miridae			
アカヒゲホソミドリカスミカメ <i>Trigonotylus caelestialium</i> (Kirkaldy)	△(1)	◎(370)	◎(64)
アサシカスミカメ <i>Stenotus rubrovittatus</i> (Matsumura)	×	△(5)	△(1)
ムギカスミカメ <i>Stenodema calcarata</i> (Fallen)	×	◎(16)	×
コアオカスミカメ <i>Apolytus lucorum</i> (Meyer-Dür)	×	△(3)	×
ナカグロカスミカメ <i>Adelphocoris suturalis</i> (Jakovlev)	×	△(1)	△(1)
カスミカメシの一種 Miridae sp.	×	△(1)	×
カメムシ科 Pentatomidae			
オオトゲシラホシカメムシ <i>Eysarcoris lewisi</i> (Distant)	◎(24)	◎(13)	△(4)
ブチヒゲカメムシ <i>Dolycoris baccarum</i> (Linnaeus)	△(4)	◎(11)	△(1)
ウズラカメムシ <i>Aelia fieberi</i> Scott	×	△(1)	×
ナガカメムシ科 Lygaeidae			
コバネヒョウタンナガカメムシ <i>Togo hemipterus</i> (Scott)	◎(8)	×	×
モンシロナガカメムシ <i>Panaorus albomaculatus</i> (Scott)	◎(16)	△(1)	×
ナガカメムシの一種 Lygaeidae sp.	◎(6)	△(1)	×
ヒメヘリカメムシ科 Rhopalidae			
アカヒメヘリカメムシ <i>Rhopalus maculatus</i> (Fieber)	×	△(3)	×
ツチカメムシ科 Cydnidae			
ツチカメムシの一種 Cydnidae sp.	×	△(1)	×

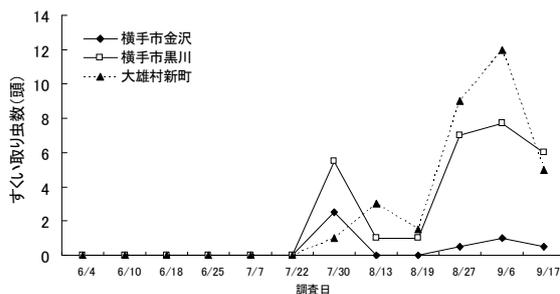
注: ◎捕獲数11頭~、○捕獲数6~10頭、△捕獲数1~5頭、×捕獲数0頭
*斑点米を形成しない種、()内は個体数、かき分けは0.5m×0.5mの5カ所×4回分、すくい取りは3カ所×12回分。

すくい取り調査で最も捕獲数が多かったアカヒゲホソミドリカスミカメの農道・畦畔における発生推移を第2-3図に示した。調査した3地点では6月上旬から8月中旬まで比較的低い密度で推移したが、8月下旬から9月上旬にかけて急激に密度が高くなった。各世代の発生時期は明らかではなかった。



第2-3図 農道・畦畔におけるアカヒゲホソミドリカスミカメ発生推移(1999年)

水田内では3圃場とも6月上旬の調査開始時から7月22日までアカヒゲホソミドリカスミカメの発生は認められなかったが、イネ出穂期の7月30日頃に1~6頭すくい取られた。その後、密度がやや低下したが、2圃場では8月27日以降急増し、9月6日にピークとなった(第2-4図)。



第2-4図 水田内におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生推移(1999年)

(2) 斑点米の特徴

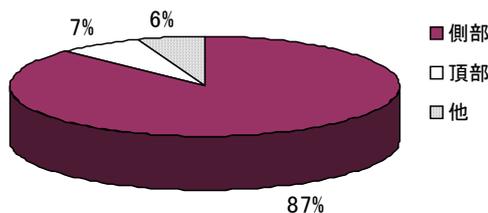
発生消長調査を行った現地圃場における斑点米の斑点発生部位は、側部が多く頂部がわずかで、その他は全くなかった。農業試験場内圃場でも現地圃場と同様の傾向であったが、その他に分類される両側部や基部、全面にもわずかに認められた。斑点米混入率は低い圃場でも0.7%以上あり、いずれの調査地点もきわめて高かった(第2-3表)。大雄村新町では、殺虫剤散布をしていない農業試験場内圃場と同程度の高い斑点米混入率であった。

巡回圃場調査における斑点米調査でも側部斑点米が大部分を占め、頂部や他は少なかった(第2-5図)。

第2-3表 斑点米の発生状況(1999年)

調査地	調査粒数	斑点米			斑点米混入率(%)
		頂部	側部	他	
横浜市金沢	813	1	13	0	1.72
横浜市黒川	1,025	0	8	0	0.78
大雄村新町 ¹⁾	933	2	33	0	3.75
農業試験場内 ²⁾	14,522	25	496	24	3.75

1)現横浜市大雄
2)旧農業試験場(秋田市仁井田)



第2-5図 巡回圃場調査における斑点米の種類別割合(1999年)

(3) 秋田県の斑点米被害の実態

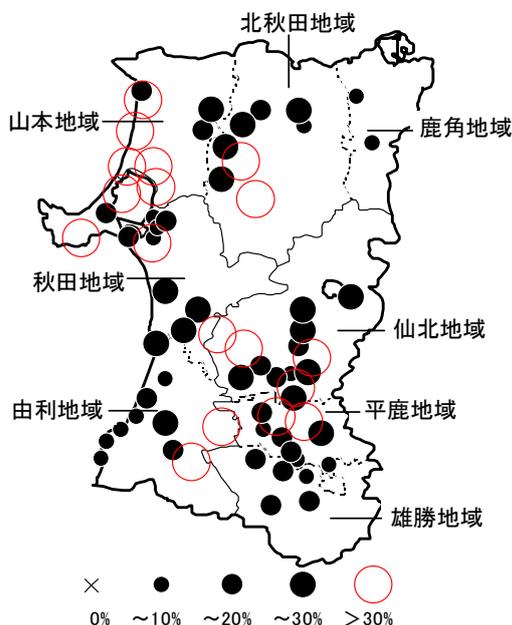
1999年の秋田県全体の1等米比率は50%を下回り、2等以下への格付け理由では半数近い46%がカメムシ類による被害と判定された。検査数量に占めるカメムシ被害の割合は23.4%となり、斑点米混入による等級低下から推定される減益額は29億円程度と見積もられた。カメムシ被害による等級低下率はいずれの地域でも例年より大幅に増加した。その中でも山本地域は検査数量の約4割がカメムシ被害による落等

で1等米比率低下の主要因となっていた。その他、秋田地域や仙北地域がこれに次ぎ、鹿角地域や由利地域、雄勝地域は比較的少なかった(第2-4表、第2-6図)。

第2-4表 1999年産うるち米等級格付け低下理由に占めるカメムシ被害の割合¹⁾

地域	検査数量(t)	等級比率(%)				カメムシ被害	
		1等	2等	3等	規格外	格付理由 ²⁾	等級低下率 ³⁾
鹿角	12,950	89.4	8.3	1.4	0.9	64.2	6.8
北秋田	35,552	61.0	31.6	6.0	1.5	58.7	23.0
山本	38,379	33.2	49.6	12.4	4.9	62.7	41.9
秋田	61,204	44.8	42.5	11.0	1.6	47.4	26.4
由利	38,684	25.1	58.7	13.1	3.1	24.9	18.6
仙北	87,681	45.6	41.1	9.2	4.1	47.5	25.6
平鹿	50,335	55.1	35.9	6.9	2.2	45.8	20.5
雄勝	27,040	80.7	15.2	2.7	1.3	62.5	12.0
合計/平均	351,825	49.0	39.7	8.7	2.6	46.0	23.4

1)1999年11月20日現在(秋田食糧事務所発表)
2)等級低下の理由に占める割合
3)カメムシ類による等級低下率(%)=落等比率×格付理由



第2-6図 秋田県における市町村別の斑点米による等級低下率(1999年)

第2-5表 斑点米被害地点率と気象および生物的要因の年次推移

年次	被害地点率(%) ¹⁾	平均気温 ²⁾				降水量 ²⁾				誘殺数 ¹⁾				割れ籾被害率(%) ³⁾	出穂期 ⁴⁾
		6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月		
1999	54.3	19.7	24.5	27.3	21.8	97	156	154	224	118	2558	391	98	61.0	8月1日
2000	30.8	19.5	24.2	26.8	21.7	101	134	16	220	198	801	72	3	33.4	8月2日
1988	17.4	19.0	20.9	26.1	20.1	63	57	171	117	0	7	309	25	27.1	8月13日
1994	15.9	18.7	24.5	26.9	22.2	53	128	109	183	42	605	583	39	0.8	8月2日
2001	15.8	19.0	23.8	24.3	20.2	123	257	97	130	18	400	58	11	10.7	8月6日
2002	14.1	18.8	23.8	24.3	20.4	98	257	347	53	22	548	200	50	2.2	8月5日
1996	13.9	18.7	22.9	24.1	19.8	212	134	47	57	71	289	212	7	0	8月9日
1998	10.3	18.6	23.8	23.5	22.2	252	114	413	125	38	376	158	10	0	8月5日
1991	10.2	20.5	22.1	23.4	20.5	240	373	168	143	177	178	76	24	0.4	8月5日
1992	9.0	18.9	22.5	24.4	19.2	53	101	226	131	10	151	75	16	0	8月8日
1990	7.2	19.9	23.0	25.5	21.1	283	293	118	273	26	194	148	27	0	8月6日
1997	7.2	19.1	23.7	24.2	19.5	138	102	111	199	24	156	153	16	0	8月5日
1989	6.6	17.9	23.5	25.2	19.9	114	39	141	368	57	621	504	60	0	8月9日
1995	5.5	18.7	22.6	24.4	19.6	49	203	400	163	11	483	87	21	0	8月9日
1993	2.0	18.0	21.1	21.9	19.2	144	302	165	171	9	181	102	7	0	8月17日

1)秋田県病害虫防除所調査。被害地点:精玄米1000粒当たり2粒以上混入している地点。誘殺数:予察灯へのアカヒゲホソミドリカスミカメの誘殺数(秋田(雄和)+大曲)。

2)気象データ観測所:AMeDAS秋田。

3)割れ籾による不合格率:秋田県産米改良協会より聞き取り。

4)秋田県稲作指導指針より。

1988年から2002年までの15年間における巡回圃場調査の斑点米被害地点率を高い順に並べて第2-5表に示した。この表から斑点米被害地点率を目的変数にし、各要素を説明変数にして重回帰分析を行い、標準偏回帰係数を算出した(第2-6表)。気象要因では6月から8月までの月平均気温および積算降水量とも有意な相関は認められなかった($p > 0.05$)。アカヒゲホソミドリカスミカメの予察灯への誘殺数や割れ籾被害率、出穂期の早晚では、割れ籾被害率および出穂期に有意な相関が認められ(それぞれ $r = 0.6766^{**}$ 、 $r = -0.1991^*$)、割れ籾率が高い年次および出穂期が早い年次は斑点米被害地点率が高かった。

第2-6表 被害地点率に対する各要素の標準偏回帰係数

平均気温				降水量			
6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月
0.2548	0.1387	0.3304	0.2491	-0.2295	-0.0139	-0.1254	-0.1479
誘殺数				割れ籾被害率	出穂期		
6月	7月	8月	9月	0.6766**	-0.1991*		
0.0190	0.2909	0.0632	-0.1050				

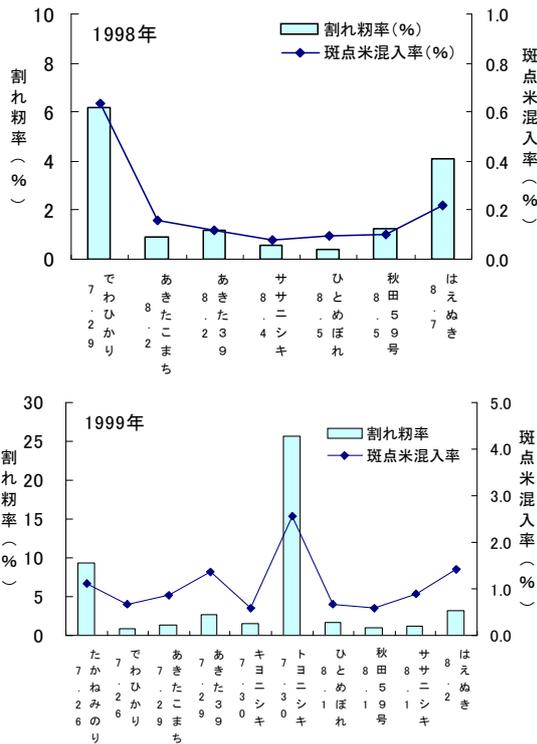
1)重回帰分析は平均気温と降水量、誘殺数と割れ籾被害率および出穂期の2組に分けた。

2)*、**はそれぞれ5%、1%水準で有意であることを示す。

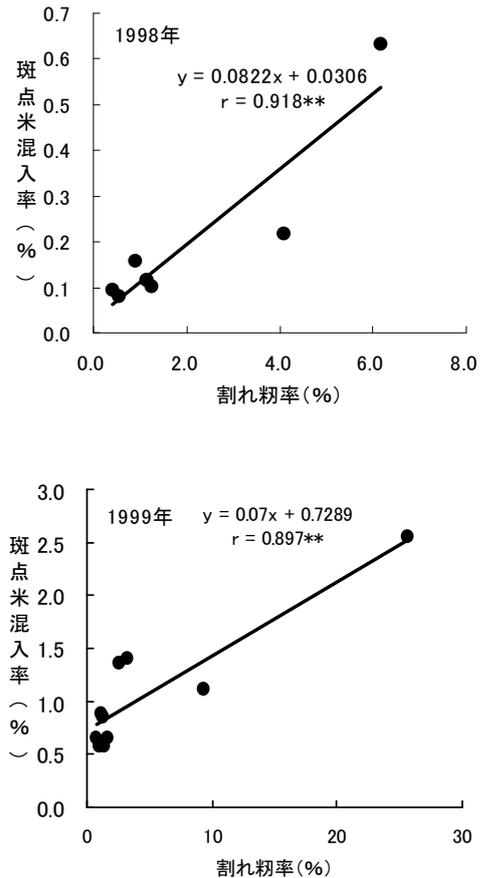
(4) 割れ籾と斑点米被害との関係

① 品種別の比較

1998年と1999年の奨励品種における割れ籾率と斑点米混入率を第2-7図に示した。1999年は1998年と比較して割れ籾、斑点米混入率ともに高い水準であった。出穂期の早晚と割れ籾率や斑点米混入率に一定の傾向は認められなかった。両年とも割れ籾率が高い品種は斑点米混入率も高い傾向があった。これらの相関と調べてみると、両年とも割れ籾率と斑点米混入率の間には高い正の相関が認められ(1998年: $r = 0.918$ 有意水準1%、1999年: $r = 0.897$ 有意水準1%)、回帰直線の傾きはほぼ等しかった(第2-8図)。



第 2-7 図 奨励品種における割れ率と斑点米混入率の関係 (日付は出穂期を示す)



第 2-8 図 奨励品種における割れ率と斑点米混入率の相関 (r は相関係数、**は有意水準が 1%であることを示す)

②水田内の分布

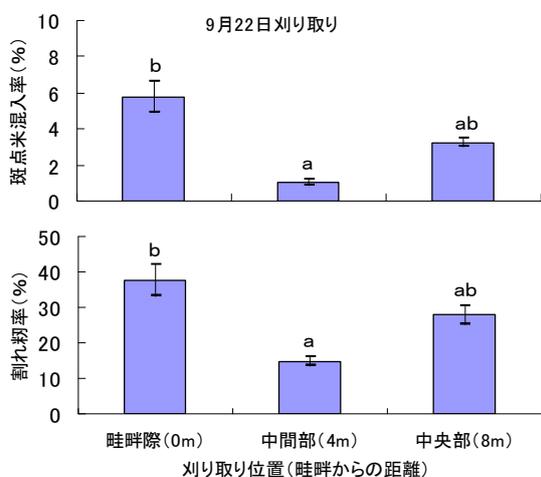
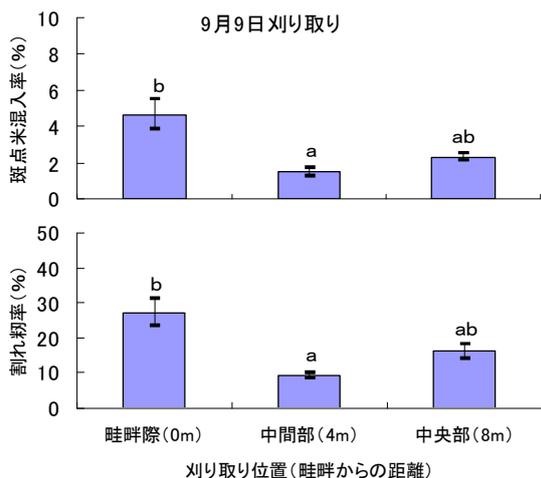
刈り取り位置別の割れ率と斑点米の圃場内分布を第 2-9 図に示した。9 月 9 日と 9 月 22 日の刈り取り時期とも畦畔際での割れ率は中間部に比べ有意に高かった (ARCSIN 変換後 Scheffe 法で検定、 $p < 0.05$)。同様に斑点米混入率も畦畔際が中間部と比較して高かった (ARCSIN 変換後 Scheffe 法で検定、 $p < 0.05$)。圃場中央部の割れ率および斑点米混入率は中間部よりやや高い傾向であった。

刈り取り位置ごとの割れ率と斑点米混入率の間には高い正の相関が認められ (9 月 9 日刈り取り : $r = 0.948^{**}$ 、9 月 22 日刈り取り : $r = 0.906^{**}$)、割れ率が高いと斑点米混入率が高い傾向が強かった (第 2-10 図)。

考察

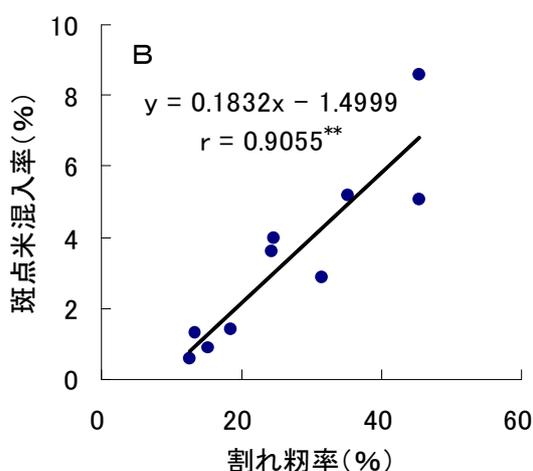
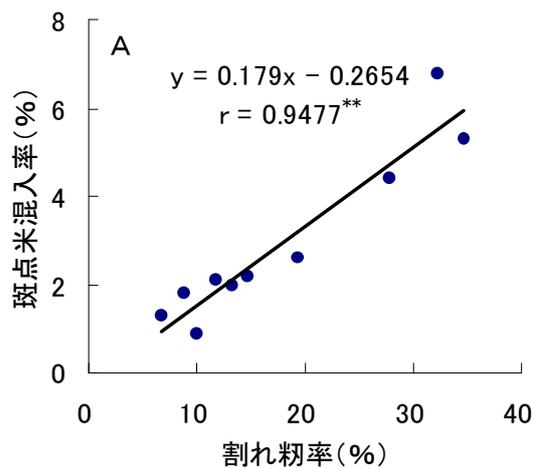
秋田県で全県的に斑点米カメムシ類に関する発生種の調査が行われた 1976 年当時の主要種は、オオトゲシラホシカメムシ、トゲカメムシ、プチヒゲカメムシ、コバネヒョウタンナガカメムシ、アカヒゲホソミドリ

カスミカメの 5 種であった。1980 年代の発生種調査ではホソハリカメムシとアカスジカスミカメが新たに確認されたが、多くの圃場で発生が認められたオオトゲシラホシカメムシ、コバネヒョウタンナガカメムシ、アカヒゲホソミドリカスミカメの 3 種が主要種とされた (佐藤 1991)。1999 年に行った本調査では、これまで主要種とされてきたオオトゲシラホシカメムシが農道・畦畔において比較的多く捕獲されたが、コバネヒョウタンナガカメムシは少なかった。また、これら 2 種は斑点米被害に直接結びつくと考えられる水田内での発生は極めて少なかった。これと比較してアカヒゲホソミドリカスミカメは、農道・畦畔および水田内において捕獲個体数の大部分を占めたことから、本種が斑点米の原因となる主要種と考えられた。このようなカメムシ類の発生相の変遷は日本各地でみられ、特にアカヒゲホソミドリカスミカメやアカスジカスミカメが増加している要因として、中筋 (1973) が指摘した多化性、多食性、吸穂性加害型に加え、飛翔能力が高い、割れ粉発生条件下で加害能力が高い、植物体の葉鞘内、穎花内に産卵し天敵からの攻撃を受けにくい、



第 2-9 図 割れ粉と斑点米の圃場内分布傾向

上図：9月9日刈り取り、下図：9月22日刈り取り
 縦線は標準誤差、グラフ上の同一英小文字は刈り取り位置間で有意差がないことを示す (ARCSIN 変換後 Scheffe 法で検定、 $p > 0.05$)



第 2-10 図 同一水田内における割れ粉率と斑点米混入率の相関

A：9月9日刈り取り、B：9月22日刈り取り
 r は相関係数、**は有意水準が 1%であることを示す

卵越冬することが挙げられている (林 1997)。アカヒゲホソドリカスミカメのこのような生態的特徴に加え、近年の水田を取り巻く環境の変化、特に転作牧草や休耕田の増加、桐谷 (2001) が指摘しているように気温上昇に伴うカスミカメムシ類の世代数の増加等が本種の発生拡大の要因と思われる。

水田内における本種の発生推移は、イネの出穂期前まで発生は認められず、出穂期以降に発生することが明らかとなった。北海道では越冬世代成虫の発生時期に相当する 6 月下旬から 7 月上旬にかけて、水田内でも発生することが知られているが (奥山 1974；八谷 1985、1998)、本県ではこのような現象は認められなかった。この原因は明らかではないが、北海道では本種の発生源となる広大な牧草地や小麦畑が存在するため、秋田県と比較して本種の発生密度が高いこと (奥山 1974；八谷 1985) が影響しているのかも知れない。本調査の水田内では 8 月中旬には密度が低下し、8

月下旬から 9 月上旬にかけて急激に密度が高まったが、8 月下旬までは幼虫も成虫と同程度の密度で推移していた。本種は出穂期後のイネに産卵し幼虫が発生することが知られているが、これまで幼虫密度は成虫密度より高くないとされていた。このように 8 月下旬以降急激に幼虫密度が高まる発生パターンはこれまで報告がなかったことから、さらに水田内の発生消長について詳細に調査する必要がある。また、現地圃場では 8 月上旬から中旬にかけてシラフルオフェン剤を主体とした薬剤散布が 2～4 回行われたが (第 2-1 表)、ほとんど発生を抑制できなかったことから、本種に対する防除薬剤の効果を再検討する必要があると考えられた。現地圃場および巡回圃場調査における斑点米は、側部に斑点ができるタイプ (側部斑点米) がきわめて多かったことから、玄米の登熟が進んだ時期に加害されたものと推定された (奥山・井上、1974)。このことは、斑点米を少なくするためには側部斑点米

の発生を少なくすることが重要であることを示唆しており、今後の防除方法を考える上で参考となる基礎的知見である。

秋田県内の斑点米被害の分布の特徴については、1998年以前は平鹿を中心とした県南内陸部がいわゆる常発地であった。その他の地域ではほとんど斑点米被害は認められなかったことから、1999年の全県的な被害の発生は特異的なものであった。しかし、このような全県的な被害発生となった原因については明らかではない。第2-5表で示したように、1999年は8月の平均気温が高く、7月の予察灯への誘殺数が多い特徴があるが、重回帰分析の結果から割れ籾の発生率が高かったことが最も大きな要因と考えられた。アカヒゲホソミドリカスミカメなどのカスミカメムシ類は固い籾殻を通して吸汁することが困難で、籾の開頭部分から加害するため(林1986)、割れ籾の多発生が本種の加害を容易にしたと考えられる。割れ籾の発生程度は、同じ条件で栽培された品種間で違いがあり、また、同一品種でも水田内に分布の偏りはあるが、いずれも斑点米の発生程度との相関が高いのは、上述のようなアカヒゲホソミドリカスミカメの加害特性によるためであろう。また、現地圃場調査で明らかのように、1999年の全県的な斑点米被害の発生には、水田内における本種の幼虫発生、すなわち幼虫増殖による登熟期後半の密度増加などの要因も関わっていると思われる、この点はさらに詳しく調査する必要がある。

2-3 アカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長と水田内増殖要因

緒言

北海道における研究によって、アカヒゲホソミドリカスミカメの基本的な発生生態はほぼ解明されている。本種はイネ科植物に産卵して、卵態で越冬し年3世代を経過する。水田内での発生は第1世代(第2回)成虫が周辺の雑草地などから移動し、イネに産卵して孵化した幼虫とともにイネ穂を吸汁加害して斑点米を生じさせる(奥山、1974)。秋田県においても年3回の発生で、斑点米は第1世代成虫と第2世代幼虫による穂の吸汁で発生すると考えられていた(秋田県病害虫防除所、1998)。しかしながら、1999年の本種の発生様相は年間の発生回数と水田内の発生消長および斑点米の形状の点から、これまでの知見と異なっていた。そこで、本種の発生源であるイネ科雑草地および水田内において詳細な調査を行い、秋田県における発生生態を解明することにした。また、2-2に示した現地における水田内の発生推移から、本種は出穂後のイネで増殖し斑点米の主要因となっていることが示唆されたが、増殖要因は明らかになっていない。これまでの調査において割れ籾率と斑点米の発生程度との間に高い

正の相関関係が認められることから、イネの割れ籾の発生程度の違いが本種の増殖、特に幼虫の生存率および羽化率に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

(1) 雑草地における発生消長

2000年に旧農業試験場内(秋田市仁井田)のイネ科雑草が繁茂している雑草地や水田畦畔のそれぞれ2~3カ所についてアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長調査を行った。調査期間は4月下旬~11月中旬とし、約7日間隔で捕虫網(径36cm、柄長90cm)によるすくい取り(20回振り)を行い、齢期別に捕獲個体数を記録した。齢期の判定(Wheeler et al. 1985)および個体数の計数は実体顕微鏡下で行った。

(2) 水田内の発生消長

2001年と2002年に農業試験場内の異なる4圃場(圃場A、B、C、D)と河辺郡雄和町内(現秋田市雄和)の農家圃場2圃場(圃場E、F)において、捕虫網(径36cm、柄長90cm)を用いたすくい取り調査を行った。調査は出穂期前から約7日間隔で収穫期近くまで6~8回行い、アカヒゲホソミドリカスミカメの成虫、幼虫別に虫数を数えた。すくい取った虫は直後にその場で数え、計数後は圃場に戻した。水稻品種はいずれも5月中旬に機械移植した「あきたこまち」である。出穂期は、圃場Aが8月3日、圃場Bが8月2日、圃場Cが8月5日、圃場Dが8月3日、圃場Eが7月31日、圃場Fが8月2日であった。出穂期以降は殺虫剤を散布せず、施肥量や水管理は農業試験場および農家慣行とした。

(3) イネでの増殖と割れ籾の関係

幼虫の生存と割れ籾との関係をみるために、ポット栽培したイネに幼虫を放飼して生存率と割れ籾の発生程度を調査した。イネは5月下旬に苗4本を1/5000aのワグネルポットに移植し、野外で栽培したものを用いた。供試品種は、「あきたこまち」、「ひとめぼれ」の2品種とし、試験は2005年には4反復、2006年は6反復で行った。供試虫はコムギ苗で室内飼育した2齢幼虫を用いた。2005年は出穂期25日後の9月2日に止葉を含む1穂を大きさ10×20cmのナイロンゴースの袋で覆い、5頭の幼虫を放飼した。放飼22日後の9月24日に生存虫数と発育ステージを調査した。同様に2006年は出穂期25日後の9月4日に幼虫を放飼し、26日後の9月30日に生存虫数と発育ステージを調査した。幼虫の放飼期間中はポットを雨よけ条件とした。放飼終了後に穂を切り取り、割れ籾率および斑点米混入率を調査した。

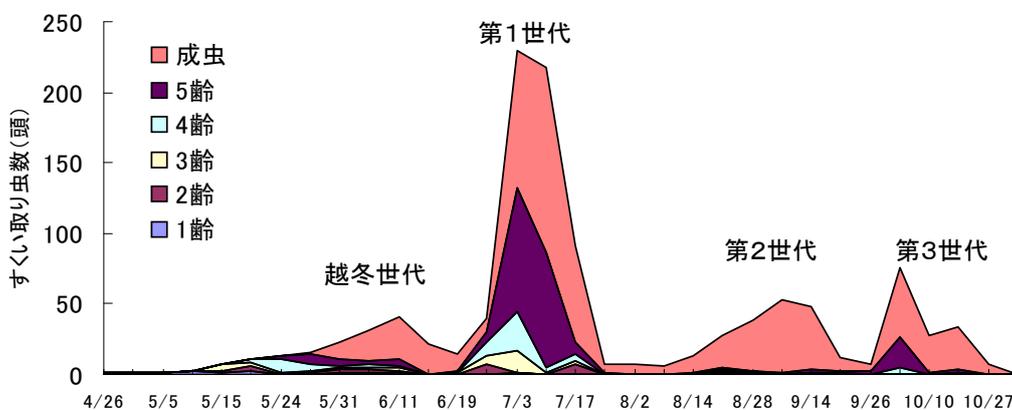
結果

(1) 雑草地における発生消長

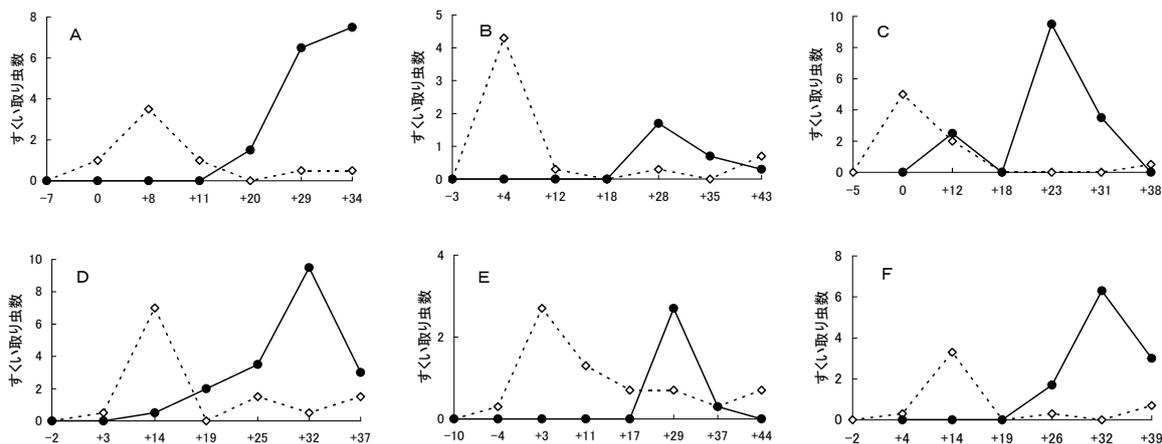
イネ科植物が優占する雑草地におけるすくい取り調査では、調査開始時の4月下旬にはアカヒゲホソミドリカスミカメの1齢幼虫がわずかに確認された。その後、幼虫の齢期が進み越冬世代幼虫の発生盛期は5月下旬となり、同成虫の発生盛期は6月中旬となった。第1世代幼虫の発生盛期は7月上旬、同成虫は7月中旬であった。第2世代は幼虫密度が低いため発生盛期は明らかではないが、成虫の発生盛期は9月上旬であった。第3世代幼虫の発生盛期は10月上旬で、成虫は10月上～中旬が発生盛期となった。10月第6半旬には幼虫がすくい取られなくなり、11月第3半旬には成虫もすくい取られなくなった(第2-10図)。

(2) 水田内の発生消長

各圃場のすくい取り調査の結果を第2-11図に示した。ほとんどの場合、イネの出穂期前には発生が認められず、出穂期頃から成虫がすくい取られた。成虫の発生ピークは出穂期3～14日後にみられ、その後はほとんど発生が認められなかった。幼虫の発生は、早い場合は圃場Cのように出穂期12日後頃から認められたが、多くの場合は出穂期20日後以降となり、出穂期30日後頃にピークとなった。また、圃場Bのように成虫よりも幼虫の密度が低下する場合もあったが、多くの圃場では成虫よりも幼虫の密度が高くなった。



第2-10図 イネ科雑草地におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長 (2000年)



第2-11図 水田内におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長

A: 出穂期は2001年8月3日(農業試験場内) B: 出穂期は2001年8月2日(農業試験場内)
 C: 出穂期は2002年8月5日(農業試験場内) D: 出穂期は2002年8月3日(農業試験場内)
 E: 出穂期は2001年7月31日(雄和町農家圃場) F: 出穂期は2002年8月2日(雄和町農家圃場)
 横軸は出穂期後の経過日数、縦軸は20回振りすくい取り虫数を示す。
 点線は成虫、実線は幼虫を示す。
 品種はいずれも「あきたこまち」。

(3) イネでの増殖と割れ目の関係

第2-7表に結果を示した。放飼虫の生存率は「ひと

めぼれ」に比べて「あきたこまち」で有意に高かった (t検定、 $p < 0.05$)。羽化率は2006年の試験で有意

差が認められ「ひとめぼれ」に比べて「あきたこまち」で高く (t 検定、 $p < 0.01$)、「あきたこまち」は餌として適していた。また、割れ籾率も「ひとめぼれ」に比べて「あきたこまち」で有意に高かった (t 検定、2005年： $p < 0.05$ 、2006年： $p < 0.01$)。斑点米は「あき

たこまち」では兩年とも大部分が側部であったが、「ひとめぼれ」では2005年は頂部のみで2006年は側部がやや多くなった。斑点米混入率は2006年の試験で有意差が認められ、「ひとめぼれ」と比較して「あきたこまち」が高かった。

第2-7表 幼虫放飼試験の結果(上表:2005年, 下表:2006年)

品種名	生存虫数 ²⁾				生存率 (%)	羽化率 (%)	籾の形状		割れ籾率 (%)	斑点米数			斑点米混入率 (%)		
	♀ ¹⁾	♂	5th	4th			3rd	2nd		正常	割れ籾	頂部		側部	他
あきたこまち	1.3	1.5	0.8	0.8	0.5	0.3	65 ^{*3)}	55 ^{n.s3)}	23.0	30.0	56.6 [*]	0	16.8	0	31.7 ^{n.s}
ひとめぼれ	0	0.3	0	0.8	2.5	1.3	0	5	46.8	0.3	0.6	6.5	0	0	13.8

品種名	生存虫数 ²⁾				生存率 (%)	羽化率 (%)	籾の形状		割れ籾率 (%)	斑点米数			斑点米混入率 (%)		
	♀ ¹⁾	♂	5th	4th			3rd	2nd		正常	割れ籾	頂部		側部	他
あきたこまち	1.7	2.0	0.2	0.5	0.5	0	73.4 [*]	73.4 ^{**3)}	20.5	34.8	65.4 ^{**}	0.3	24.3	0.2	44.8 ^{**}
ひとめぼれ	0	0	0.2	1.5	0	2.3	16.7	0	48.7	3.3	7.3	0.7	3.2	0	7.5

1)♀:雌成虫, ♂:雄成虫, 5th:5齢幼虫, 4th:4齢幼虫, 3rd:3齢幼虫, 2nd:2齢幼虫.

2)2005年は4反復, 2006年は6反復の平均値.

3)*, **はそれぞれ5%, 1%で有意差があることを, n.sは有意差がないことを示す (ARCSIN変換後 t -test).

注)放飼虫5頭のうち生存虫以外は死亡虫と不明(逃亡)虫.

考察

本章 2-2 の現地における農道・畦畔の発生調査では、草刈りによるカメムシ類の生息地の攪乱が起こったため、各世代の発生時期の把握ができなかった。しかし、雑草地における調査ではイネ科雑草が良好な状態に保たれたことから、ほぼ発生世代を把握できた。各世代成虫の発生盛期は、越冬世代が6月中旬、第1世代が7月中旬、第2世代が9月上旬、第3世代が10月上～中旬であった。ただし、7月下旬に雑草地の草刈りや耕起が行われたことから、第2世代以降の発生時期が本来の発生時期よりも遅れた可能性がある。そこで、本種の産卵前期間や有効積算温度(卵の発育零点:10.4℃、有効積算温度:122日度、幼虫の発育零点:9.2℃、有効積算温度:256日度)(奥山・井上1975)を用いて、越冬世代成虫の発生盛期(6月11日)を起点としてアメダス(観測地点:秋田)の日平均気温からその後の各世代成虫の発生盛期を計算した。その結果、第1世代は7月20日、第2世代は8月16日、第3世代は9月21日となり、雑草地での調査では草刈りや耕起により第2世代以降の発生時期が本来より遅くなったと考えられた。なお、第4世代成虫は温量不足のため出現不可能と推定された。以上のことを考慮して各世代成虫の発生盛期を推定すると、越冬世代が6月中旬、第1世代が7月中旬、第2世代が8月中旬、第3世代が9月下旬～10月上旬と考えられた。このことから、本種は寄主であるイネ科植物上において越冬世代から第3世代まで経過し、成虫は年4回発生することが明らかとなった。

水田内の発生消長は、イネの出穂期数日後から14日後に成虫の発生盛期となり、その後はほとんど成虫

の発生はみられなかった。幼虫は出穂期20日後過ぎから出現し、出穂期30日後頃に発生盛期となった。しかも、これまで知られていた発生パターンと違い、侵入成虫密度より次世代の幼虫密度の方が高くなる発生パターンが一般的であることが明らかとなった。このことは、出穂後のイネが本種の餌として好適であることを意味している。割れ籾の発生率と幼虫の生存率の関係をみると、割れ籾の発生率が高い「あきたこまち」は幼虫の生存率が高く(第2-7表)、その結果として斑点米、特に側部斑点米の発生量が多くなると示唆された。以上のことをまとめると、出穂期後に水田内に侵入した成虫はイネの葉鞘部に産卵し、孵化幼虫はイネの茎葉部や割れ籾の発生した籾を吸汁しながら成育し、結果として生存率が高まるため斑点米の形成量も多くなると考えられた。

3 主要薬剤における減農薬防除の研究

3-1 抄録

1999年は3～4回の薬剤防除を行っていたにも関わらず斑点米の被害を受けたことから、従来の薬剤防除対策が十分ではなかったと考えられた。そこで、秋田県内で多く使用されていた主要薬剤による防除方法を見直すため、本種に対する基本的な殺虫活性や残効性について検討した。その結果、シラフルオフェン剤はエトフェンプロックス剤やMEP剤と比較すると残効性が極端に劣ることが明らかとなった。県内の7地点から採集した個体群に対しても同様の結果が得られたことから、シラフルオフェン剤の効果は不十分であると考えられた。

次にMEP剤を用いた減農薬防除体系を検討した。従来は2回散布の場合、出穂期または穂揃期とその7～10日後の散布が効果的とされていたが、試験の結果、出穂期11日後+25日後の防除効果が高いことが明らかとなった。これは従来の3回散布と同じ効果があった。本結果により、効果の高い薬剤を用いることで、被害を確実に防止できる減農薬防除が可能となった。

3-2 主要薬剤に対する感受性

緒言

前章で明らかとなったように、斑点米カメムシ類が常発性害虫となっている地域では、航空防除と個人での地上散布により2～4回の防除を行っていたにも関わらず斑点米の被害を受けた。これはアカヒゲホソミドリカスミカメの多発生も要因の一つであったが、薬剤防除対策が十分ではなかったと考えられた。そこで、本章では斑点米カメムシ類を対象として秋田県内で多く使用されている主要薬剤による防除方法を見直すことを目的に、アカヒゲホソミドリカスミカメに対する基本的な殺虫活性や残効性について検討した。

材料および方法

(1) 虫体散布法による殺虫試験

水田へ侵入した成虫に直接、薬剤がかかる場合を想定して試験を行った。供試虫は農業試験場内(秋田市雄和相川)の雑草地から採集した雌雄成虫を用いた。検定薬剤として市販のシラフルオフエン(silafluofen 19%)EW(2,000倍)、エトフェンプロックス(ethofenprox 20%)乳剤(2,000倍)、MEP(fenitrothion 50%)乳剤(1,000倍)を供試した。薬液には展着剤として、シンダイン5,000倍相当量を添加した。直径9cm、高さ9cmの腰高シャーレに余分な薬液を吸い取るためのろ紙を敷き、その中に炭酸ガスで麻酔した20個体の供試虫を入れた。全ての個体が覚醒した後、供試虫に薬液がかかるようハンドスプレーで軽く散布し、経過を観察した。無処理区では展着剤のみ添加した水道水を散布した。生死判定は正常に行動できない苦悶虫も死虫に含めた。

(2) 食餌浸漬法による残効性試験

イネへの薬剤散布後に成虫が水田へ侵入する場合を想定して試験を行った。供試虫は農業試験場内の雑草地から採集した雌雄成虫を用いた。検定薬剤および使用濃度は前頁で述べた虫体散布法による殺虫試験と同じとした。播種後1週間程度のコムギの幼苗5本を、約10秒間薬液に浸漬し、風乾した。浸漬処理当日、1日後、2日後、3日後のコムギの幼苗を直径3cm、高さ12cmの試験管に入れ、10個体の供試虫を放飼し、23

℃、16L:8D条件の恒温器内に置いた。放飼2日後に生死の判定を行い、各処理とも2反復とした。生死判定は前頁と同じとした。無処理区には展着剤のみ添加した水道水を用い、無処理区の生存虫数から補正死虫率を算出した。補正死虫率(尾崎・斎藤、1981)は次式により算出した。

$$\text{補正死虫率} = [(\text{無処理区生存率}(\%) - \text{処理区生存率}(\%)) / \text{無処理区生存率}(\%)] \times 100$$

(3) 羽化後日数と雌雄別の薬剤感受性

秋田県内の各種個体群の感受性検定を行う前に、アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の羽化後日数と性別の違いが薬剤感受性に及ぼす影響を調査した。農業試験場内の雑草地から採集した老齢幼虫をコムギの幼苗で個体飼育して雌雄別、羽化後日数別に食餌浸漬法により調査した。供試薬剤はMEP(50%)乳剤で3～5濃度に希釈し、展着剤としてシンダイン5,000倍相当量を添加した。播種後1週間程度のコムギの幼苗10本を約10秒間薬液に浸漬し、風乾した後、直径3cm、高さ12cmの試験管に入れ、10個体の供試虫を放飼した。23℃、16L:8D条件の恒温器内に置き、放飼2日後に生死の判定を行った。各処理とも2反復とした。無処理区には展着剤のみ添加した水道水を用い、無処理区の生存虫数から補正死虫率を算出した。生死判定は前項と同じとした。

(4) 県内個体群の薬剤感受性

試験は食餌浸漬法で行った。供試虫は農業試験場内(雄和町)を含む県内7カ所の水田地帯にある雑草地や牧草地から採集した成虫を用いた。検定薬剤として市販のシラフルオフエン(19%)EW、エトフェンプロックス(20%)乳剤、MEP(50%)乳剤を供試した。半数致死濃度(LC₅₀)を算出するため供試薬剤を3～5濃度に希釈し、展着剤としてシンダイン5,000倍相当量を添加した。各供試薬剤の希釈濃度は農業試験場の個体群を用いた予備試験により決定した。薬剤の処理法および生死の判定は前項と同じとした。各処理とも原則として2反復としたが、検定個体数が少ない場合は反復を取らなかった。無処理区には展着剤のみ添加した水道水を用い、無処理区の生存虫数から補正死虫率を算出した。

結果

(1) 虫体散布法による殺虫試験

展着剤のみ添加した無処理区では死亡虫はみられなかった。供試した3薬剤とも100%の死虫率となり、殺虫効果は高かった。死亡経過を観察したところ、エトフェンプロックス乳剤およびMEP乳剤は散布後1時間以内に死亡が確認され即効的であったが、シラフルオフエンEWでは約6時間後で遅効的であった(第

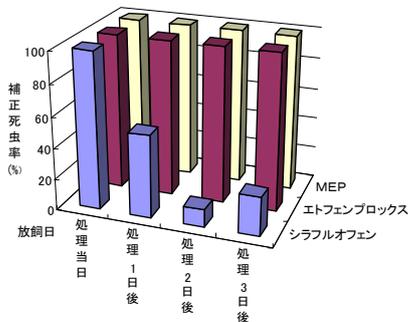
3-1 表)。

第3-1表 虫体散布法による殺虫効果

薬剤名	処理濃度(ppm)	死虫率(%)	致死時間
シラフルオフェン	95	100	6
エトフェンプロックス	100	100	1
MEP	500	100	1

(2) 食餌浸漬法による残効性試験

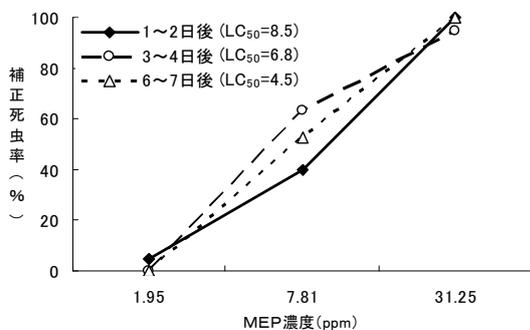
食餌浸漬法による残効性試験では、エトフェンプロックス乳剤およびMEP乳剤は処理当日～3日後放飼まで100%の死虫率となった。シラフルオフェンEWでは処理当日放飼はほぼ100%の死虫率であったが、処理1～3日後放飼では死虫率が50%以下となった。シラフルオフェンEWはエトフェンプロックス乳剤やMEP乳剤と比較して明らかに残効性が劣った(第3-1図)。



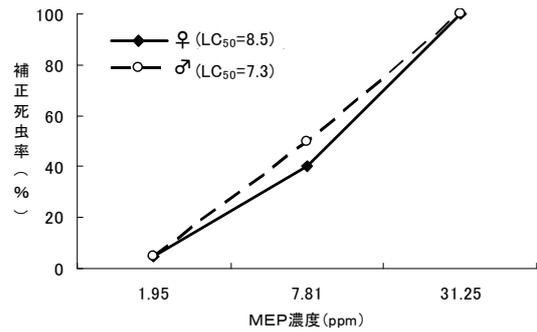
第3-1図 食餌浸漬法による主要薬剤のアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫に対する残効性

(3) 羽化後日数と雌雄別の感受性

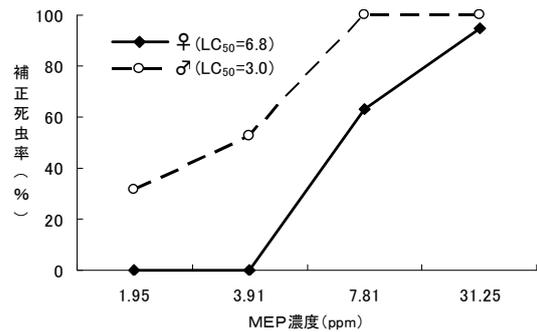
羽化後日数の違いによる薬剤感受性を羽化後1～2日後、3～4日後、6～7日後の雌成虫と比較したところ、羽化後日数が経過するにつれて感受性が高くなる傾向が認められた(第3-2図)。雌雄の違いによる感受性の差は羽化後1～2日後では認められないが、羽化後3～4日後では雄成虫の方が雌成虫よりやや感受性が高い傾向が認められた(第3-3図、第3-4図)。



第3-2図 羽化後日数が薬剤感受性に及ぼす影響(雌成虫)



第3-3図 雌雄成虫の薬剤感受性の違い(羽化1～2日後)



第3-4図 雌雄成虫の薬剤感受性の違い(羽化3～4日後)

(4) 県内個体群の感受性

各薬剤に対する県内個体群の半数致死濃度(LC₅₀)を第3-2表に示した。エトフェンプロックス乳剤およびMEP乳剤のLC₅₀は、それぞれ約10～30ppm、10ppm以下で、両剤に対する県内個体群の感受性は高かった。しかし、シラフルオフェンEWのLC₅₀は、ほとんどの地点で常用濃度の95ppmより高く、県内個体群の感受性は低かった。また、7地点の個体群間で各薬剤に対する感受性に大きな違いは認められなかった。

第3-2表 秋田県内個体群の各薬剤に対するLC₅₀(ppm)値(食餌浸漬法)

採集地点名 ¹⁾	薬剤名(常用濃度)			採集時期
	シラフルオフェン(95ppm)	エトフェンプロックス(100ppm)	MEP(500ppm)	
鹿角市	—	10.4	5.3	8月中旬
上小阿仁村	401.5	31.8	7.8	7月下旬
天王町	197.3	25.0	7.8	8月上旬
雄和町	495.0	31.3	5.9	7月上旬
大内町	297.1	10.7	5.2	8月上旬
中仙町	147.0	25.0 [≧]	5.1	7月下旬
横手市	380.0 [≧]	12.5 [≧]	6.3	7月下旬

¹⁾地点名は2001年時の市町村名。

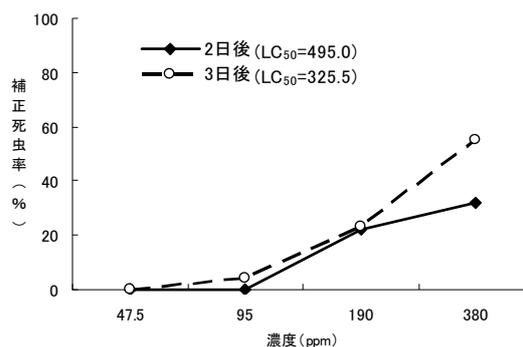
考察

薬剤検定法において虫体散布法は、薬剤が直接虫体に接触し作用する場合の殺虫活性を検定することを目的としており、虫体浸漬法と目的は同じである。本試験で供試した薬剤は、合成ピレスロイド剤のシラフルオフェンとエトフェンプロックス、有機リン剤のMEP

Pであるが、いずれも経皮毒性が強い接触型の殺虫剤である。中でもシラフルオフェンは致死時間が6時間程度であり、エトフェンプロックスやME Pと比較して遅効的であることが明らかとなった。このような致死時間の違いは薬剤の作用点の違いが影響していると思われる。アカヒゲホソミドリカスミカメの水田内での発生は出穂期頃から収穫期まで長期にわたり継続するため、散布された薬剤が直接虫体にかかることは少ないと考えられた。そこで、イネへの薬剤散布後に本種の成虫が水田へ侵入する場合を想定して、コムギ幼苗を用いた食餌浸漬法による薬剤検定を行った。その結果、本県で斑点米カメムシ類対象に最も多く使用されていたシラフルオフェンは、エトフェンプロックスやME Pと比較して極端に残効性が劣ることが明らかとなった。前章における現地圃場の薬剤防除概要からわかるとおり、シラフルオフェン剤は最も多く使用される薬剤である。このように本種に対する効果が劣ることが一般的であれば防除上非常に大きな問題となるため、秋田県内に分布するさまざまな個体群の感受性検定が必要と考えられた。しかし、野外採集個体をそのまま薬剤検定に供試する場合、さまざまな生理状態の個体が混在することから、羽化後日数や性別の違いが薬剤感受性にどの程度影響するか事前に把握する必要があった。本試験の結果、羽化後日数が経過しても薬剤感受性の変化はわずかであることから、少なくともME P乳剤では羽化後7日程度までは感受性に大きな違いは生じないと考えられる。また、雌雄の違いによって薬剤感受性が異なる傾向があったが、これは体重差に起因していると考えられている(清水、1997)。したがって、極端な性比の偏りを避けランダムに供試虫を選ぶことで野外採集個体の薬剤検定結果に大きな誤差は生じないと考えられた。

清水(1997)によると、斑点米カメムシ類の薬剤検定法は斑点米防止効果を考慮した場合、虫体浸漬法より稲体浸漬法の方が実際の防除に即していることから、本実験の食餌浸漬法の結果から実際の防除効果を推定できると考えられた。井上(1974)は、アカヒゲホソミドリカスミカメに対する薬剤の防除効果を判定する方法としてイネの稚苗を薬液に浸漬し24時間後に判定する室内試験により、有機リン剤のMP P剤、DE P剤およびME P剤の効果が高かったと報告している。本実験では有機リン系以外の薬剤も供試したことから処理48時間後に判定したが、ME P剤の LC_{50} 値は他剤と比べて低く、有機リン剤の効果が高いことが確認された。さまざまな系統の薬剤を稲体浸漬法で検討する場合は、72時間後までの LC_{50} 値を求めることが注意点として挙げられている(清水 1997)。そこで、特に虫体散布法で遅効的であったシラフルオフェン剤の処理3日後における死亡率の経過を調査した。その結果、第3-5図に示すとおり、確かに処理2日後

より3日後の方がやや死亡率が高まる傾向があったが、その違いはわずかであった。このことから、本実験でのシラフルオフェン剤に対する評価は妥当と判断された。したがって、食餌浸漬法の結果からシラフルオフェンEWはME P乳剤やエトフェンプロックス乳剤と比較して残効性が劣ると結論づけられた。以上のことから、シラフルオフェン剤はアカヒゲホソミドリカスミカメに対し残効が短く、食餌浸漬法による殺虫力がエトフェンプロックス剤やME P剤より劣ることが明らかであり、防除薬剤としての効果は不十分であると考えられた。



第3-5図 シラフルオフェン剤の判定時期別死亡率の推移

3-3 主要薬剤の散布適期に関する試験

緒言

斑点米カメムシ類に対する薬剤防除法として、従来から「秋田県農作物病害虫・雑草防除基準」等で、薬剤散布は出穂期と乳熟期の2回行い、多発時はさらに追加防除するよう指導されていた。実際、前章の現地圃場調査では航空防除を含めて2~4回の薬剤散布が行われていたが、斑点米被害を防止することはできなかった。本章3-2では主要防除薬剤の効果について検討し、ME P剤の効果が高いことを明らかにしたが、前章における本種の水田内での発生パターンや斑点米の特徴から、イネ登熟後の割れ籾発生以降に増殖した幼虫による加害、特に側部斑点米の抑制が重要であることが示唆された。そこで、ME P剤を用いて散布時期と散布回数を見直すとともに、最も少ない散布回数で十分な斑点米被害防止効果を得られる散布時期を明らかにし、従来よりも減農薬できる防除体系の検討を行った。

材料および方法

試験は2001年と2002年に農業試験場内の水田で行った。試験圃場の耕種概要および試験区の構成は第3-3表および第3-4表のとおりである。供試薬剤はME P(50%)乳剤1,000倍液に展着剤(シンダイン5,000倍)を添加した。散布量は2001年には120 l/10a、2002年には150 l/10aとした。各区とも定期

的に捕虫網（径 36 cm、柄長 90 cm）による 20 回振り
のすくい取りを行い、アカヒゲホソミドリカスミカメ
の発生推移を調査した。兩年とも収穫期の 9 月 20 日
に各区 10 株を刈り取った。乾燥・調製後、1.85mm の
篩で選別した精玄米について斑点米の発生程度を調査
した。斑点米は奥山・井上(1974)をもとに斑点の発生
部位別に頂部、側部、他に分類した。

第3-3表 耕種概要および試験区の構成(2001年)

品 種:あきたこまち	
移植日:5月15日(中苗機械移植)	
区制・面積:2連制, 1区90㎡	
試験区の構成:()は散布日	
1回散布試験	2回散布試験
①出穂期1日前(8/2)	①出穂期1日前+11日後(慣行)
②出穂期11日後(8/14)	②出穂期11日後+18日後
③出穂期18日後(8/21)	③出穂期18日後+27日後
④出穂期27日後(8/30)	④出穂期1日前+18日後
⑤無処理	⑤出穂期11日後+27日後

第3-4表 耕種概要および試験区の構成(2002年)

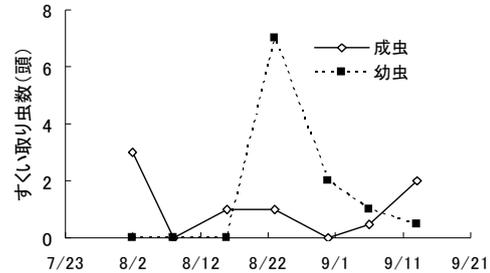
品 種:あきたこまち	
移植日:5月14日(中苗機械移植)	
区制・面積:2連制, 1区72㎡	
試験区の構成:()は散布日	
①出穂期11日後+18日後(8/16, 8/23)	
②出穂期11日後+25日後(8/16, 8/30)	
③出穂期18日後+25日後(8/23, 8/30)	
④出穂期+11日後+21日後(慣行)(8/5, 8/16, 8/26)	
⑤無処理	

結果

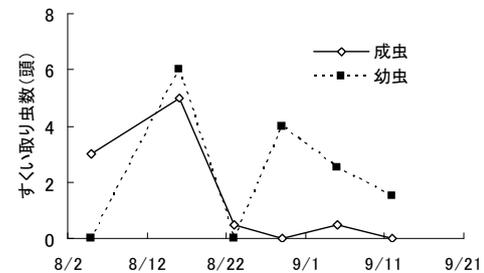
第3-6図と第3-7図に2001年と2002年の無処理区
におけるすくい取り調査の結果を示した。2001年は
出穂期頃は成虫だけで、出穂期 20 日後頃から幼虫が
すくい取られた。2002年も出穂期頃は成虫だけであ
ったが、出穂期 10 日後頃には成虫とともに 1 齢およ
び 2 齢幼虫も多くすくい取られた。その後、出穂期 24
日後以降は幼虫主体となった。

2001年の1回散布試験では、いずれの散布時期に
おいても無処理区より斑点米混入率は低下したが、薬
剤処理間および無処理区間に有意差は認められず
(ANOVA、 $p > 0.05$)、1等米の基準である斑点米混入
率 0.1%以下になる効果は得られなかった(第3-8
図)。2回散布試験では薬剤処理間に有意差は認めら
れなかったが、出穂期 11 日後+27 日後散布は無処理
区に対して有意に斑点米混入率が低かった(Tukey 法、
 $p < 0.05$)。出穂期 11 日後+27 日後の散布は側部斑
点粒の発生が最も少なく、斑点米混入率は 0.1%以下
となった(第3-9図)。しかし、出穂期 30 日後に近い
散布は収穫時期に近く、薬剤が使用できる収穫前日数
を考慮すると実際の場面では散布しにくい。そこで、
2002年は出穂期 11 日後から 25 日後の範囲で検討し

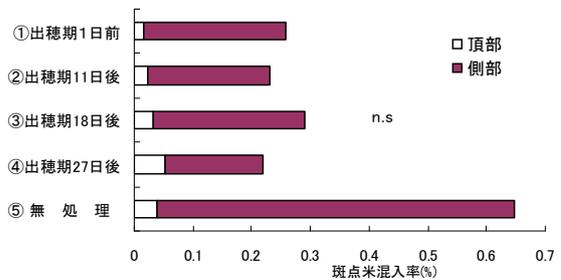
た。その結果、薬剤処理区は無処理区より有意に斑点
米混入率が低く(Tukey 法、 $p < 0.01$)、出穂期 11 日
後+25 日後が最も効果が高かった。特に側部斑点粒
は対照の出穂期+11 日後+21 日後の3回散布と同等
に抑制した(第3-10図)。



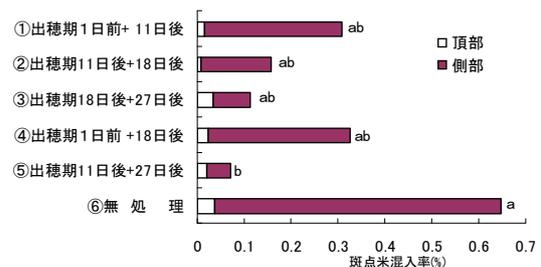
第3-6図 無処理区におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長(出穂期:8/3, 2001年)



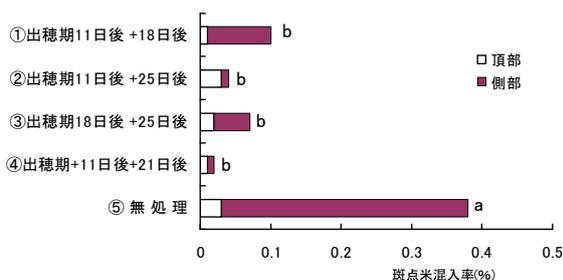
第3-7図 無処理区におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長(出穂期:8/5, 2002年)



第3-8図 1回散布の時期別斑点米混入率
n.s.はANOVAで有意差がないことを示す
(ARCSIN変換後に検定、 $p > 0.05$)。



第3-9図 2回散布の時期別斑点米混入率
グラフ上の異なる英小文字は処理間に有意差があるこ
とを示す(ARCSIN変換後Tukey法で検定、 $p < 0.05$)。



第3-10図 2回散布の時期別斑点米混入率
グラフ上の異なる英小文字は処理間に有意差があることを示す(ARCSIN変換後Tukey法で検定, $p < 0.01$).

考察

前章の現地圃場調査および秋田県病害虫防除所の巡回圃場調査の結果、秋田県内で発生していた斑点米は側部斑点米が大部分を占めた(第2-3表、第2-5図)。側部斑点米はイネの登熟期後半に本種に吸汁された場合に発生することから(奥山ら 1974)、本試験でのすくい取り調査の結果から、本県では主に登熟期後半に発生するアカヒゲホソミドリカスミカメの幼虫により側部斑点米が発生することは明らかである。本試験結果から出穂期 11 日後+25 日後または出穂期 11 日後+27 日後の防除効果が高かった。これは出穂期 11 日後散布は水田に侵入した成虫に対して殺虫効果があるため産卵を抑制し、出穂期 25 日後または 27 日後散布は直接幼虫密度を低下させるためと推察された。従来、アカヒゲホソミドリカスミカメに対しては 2 回散布であれば出穂期または穂揃期とその 7 ~ 10 日後の薬剤散布の効果が高いとされていた(八谷 1998)。これは、出穂期以降に水田に侵入する成虫を対象にしたものであり、その後水田内で発生する次世代幼虫の加害はあまり考慮されていないためである。秋田県内の斑点米被害は玄米側部での被害がほとんどであり、従来のように水田侵入成虫を対象とした防除だけでは被害を抑えられない。したがって、被害を効率的に抑制するためには水田内で増殖する次世代幼虫の発生を少なくすることが重要であることが初めて本試験で明らかとなった。このように、本種の水田内の発生生態と斑点米の形成される時期を明らかにし、より効果の高い薬剤を選定することで、3 ~ 4 回の薬剤散布を行っていた従来の防除体系から 2 回散布で確実に被害を防止できる減農薬防除が可能となった。

4 新しい減農薬防除技術に関する研究

前章では、主要薬剤の中で防除効果の高い薬剤を選定し、これを用いて最も少ない散布回数で斑点米被害を防止できる散布適期を明らかにした。これにより、従来よりも防除効果を高め、かつ減農薬が可能であることを示した。最近の農業や食品を取り巻く状況は、一般消費者からは環境保全型農業の推進と食の安全・安心が、生産者からは低コスト化や農作業の軽労化が

求められている。そこで、本章ではさらに薬剤の散布回数や施用量を削減し、なおかつ斑点米被害を受けない減農薬防除技術の確立を行った。まず、新規に開発されたネオニコチノイド系薬剤の茎葉散布剤の防除効果が、主要薬剤である有機リン剤(MEP剤など)や合成ピレスロイド剤(エトフェンプロックス剤、シラフルオフェン剤)よりも高いことを利用して最低防除回数である 1 回散布による減農薬防除の基礎的検討を行った。また、現地圃場においても実用的であることを証明するために大規模な現地実証を行った。そして、これまで斑点米カメムシ類を対象とした防除剤として検討されてこなかった粒剤による減農薬防除技術の開発を行った。さらに、アカヒゲホソミドリカスミカメの水田への侵入を防ぐことを目的に発生源対策による防除技術の開発を行った。

4-1 抄録

これまで報告されることがなかった新しい減農薬防除技術の検討を行った。新規に開発されたネオニコチノイド系薬剤の茎葉散布剤の防除効果は、主要薬剤である有機リン剤(MEP剤など)や合成ピレスロイド剤(エトフェンプロックス剤、シラフルオフェン剤)よりも高い。そこで、これを利用して最低防除回数である 1 回散布による減農薬防除の基礎的検討を行った。新規ネオニコチノイド剤の一つであるジノテフラン粉剤DLを出穂期 12 日後に 1 回散布した区は、慣行のMEP粉剤3DLとエトフェンプロックス粉剤DLの 2 回散布区よりも幼虫の発生を効果的に抑制し、斑点米の発生はまったく認められなかった。

散布適期を明らかにするために、出穂期 2 日後、10 日後、17 日後、25 日後にそれぞれ 1 回散布したところ、出穂期 10 日後、17 日後散布は幼虫発生がきわめて少なかった。斑点米混入率は出穂期 10 日後散布で最も少なく、次いで出穂期 17 日後散布が少なかった。このことから、ジノテフラン剤を用いた 1 回散布は従来剤の 2 回散布より防除効果が優ることが明らかとなり、散布適期は出穂期 10 日後頃と考えられた。

次に新規ネオニコチノイド剤を用いた 1 回散布の実用性を検討するために現地圃場にける大規模試験を行った。地上散布では、ジノテフラン粉剤DLを 1 回散布する減農薬防除法を約 30ha 規模で試験した。2004 年の結果では、ジノテフラン粉剤DL 1 回散布は対照の 2 回散布と同等の高い防除効果を示した。2005 年の結果では、実証地区は対照地区より斑点米の発生程度が低く、2 回散布より優れた効果を示した。

秋田県におけるカメムシ類防除の方法はヘリコプターによる散布が主体であることから、ヘリコプターによる新規ネオニコチノイド剤 1 回散布の防除効果を調査した。本試験ではクロチアニジン剤を使用した。試験結果はきわめて高い防除効果を示した。ヘリコブ

ターによる散布は地上散布と違い、畦畔や農道などのアカヒゲホソミドリカスミカメの発生源にも薬剤が散布されるため効果が高いと考えられた。以上のような数十 ha 規模の地上散布試験やヘリコプターによる薬剤 1 回散布の効果を実証した報告は初めてであり、本減農薬防除技術の有効性が実証された。

カメムシ類は一般にイネの穂を加害するため、穂に薬剤がかかる防除剤として従来から粉剤や液剤が用いられてきた。しかし、アカヒゲホソミドリカスミカメはイネ科植物の穂部だけではなく茎葉部もよく吸汁する。そこで、これまでカメムシ類の防除剤として検討されなかった粒剤による減農薬防除技術の開発を行った。5 粒剤について有効性を検討したところ新規ネオニコチノイド剤のクロチアニジン粒剤、ジノテフラン粒剤、チアメトキサム粒剤の 3 剤が高い効果を示した。そこで、これら 3 剤の散布適期を決定するために、3 ~ 4kg/10a を出穂期 4 日前、出穂期 3 日後（クロチアニジン粒剤は出穂期 6 日後）、出穂期 11 日後にそれぞれ 1 回散布した。いずれの粒剤処理区でも出穂期前散布より出穂期後散布の方が幼虫発生盛期の密度が低い傾向が見られ、斑点米混入率も出穂期後散布で低くなった。以上の結果から、新規ネオニコチノイド系の粒剤により本種の防除が可能であることが初めて明らかとなり、散布適期は出穂期 10 日後頃であることが明らかとなった。

本田への殺虫剤散布をなくす減農薬防除法として、本種が水田内に侵入する前に畦畔や農道に除草剤を散布して発生源を絶つ（発生源対策）防除技術の開発を行った。6 月下旬～7 月上旬に除草剤を 1 回散布することで、8 月上旬の本田侵入期までに農道・畦畔から本種の発生をなくすことが可能となった。これにより、穂揃期における水田内の発生密度を機械除草を行った対照区の 1/4 ~ 1/5 に低下させることが可能となった。本田への殺虫剤散布を行わなかった除草剤区でも、本田へ殺虫剤散布を行った除草剤区や対照区同等に斑点米混入率がきわめて低かったことから、除草剤による発生源対策だけで斑点米被害を回避できる可能性が明らかとなった。

4-2 新規ネオニコチノイド系薬剤（茎葉散布剤）による 1 回散布防除技術の開発

緒言

ネオニコチノイド系薬剤 (neonicotinoid) の初期開発剤はイミダクロプリド (imidacloprid) やニテンピラム (nitenpyram) などクロロニコチル系と呼ばれる化合物であるが、最近開発された新規ネオニコチノイド剤にはチアニコチル系のクロチアニジン (clothianidin) やチアメトキサム (thiamethoxam)、フラニコチル系のジノテフラン (dinotefuran) な

どがある（農薬ハンドブック 2005 年版）。これらネオニコチノイド系薬剤の特徴は浸透移行性に優れ、ウンカ類やアブラムシ類などの半翅目に対する殺虫活性がきわめて高いことである。著者は、社団法人日本植物防疫協会による殺虫剤実用化試験（一般委託試験）において、ジノテフラン剤やクロチアニジン剤がアカヒゲホソミドリカスミカメに対して、主要薬剤の有機リン剤や合成ピレスロイド剤よりも格段に高い防除効果を示すことを明らかにした（新山・飯富 1999、2000、2001）。そこで、本節ではジノテフラン剤を用いて主要薬剤よりも減農薬となる 1 回散布による防除の可否について検討した。

材料および方法

(1) 慣行防除体系との比較

試験は 2002 年に秋田県河辺郡雄和町内（現秋田市雄和）の一般農家圃場で行った。水稻品種は「あきたこまち」、移植日は 5 月 11 日、出穂期は 8 月 4 日であった。試験区はジノテフラン (0.5 %) 粉剤 DL の 3kg/10a を出穂期 12 日後 (8 月 16 日) に 1 回散布し、対照区は ME P (3 %) 粉剤 DL の 4kg/10a を出穂期 12 日後 (8 月 16 日)、エトフェプロックス (0.5 %) 粉剤 DL の 4kg/10a を出穂期 22 日後 (8 月 26 日) に散布した。1 区 90 m² (9 × 10m) とし、2 反復で行った。各区とも定期的に捕虫網 (径 36 cm、柄長 90 cm) による 20 回振りのすくい取りを行い、アカヒゲホソミドリカスミカメの発生推移を調査した。また、収穫期の 9 月 13 日に各区 10 株を刈り取り、乾燥・調製後、1.85mm の篩で選別した精玄米について斑点米の発生程度を調査し、防除効果の判定を行った。斑点米は奥山・井上 (1974) に従い、斑点の発生部位別に頂部、側部、他に分類した。なお、防除価は斑点米混入率をもとに次式により算出した。

$$\text{防除価} = 100 - \text{処理区の斑点米混入率} / \text{無処理区の斑点米混入率} \times 100$$

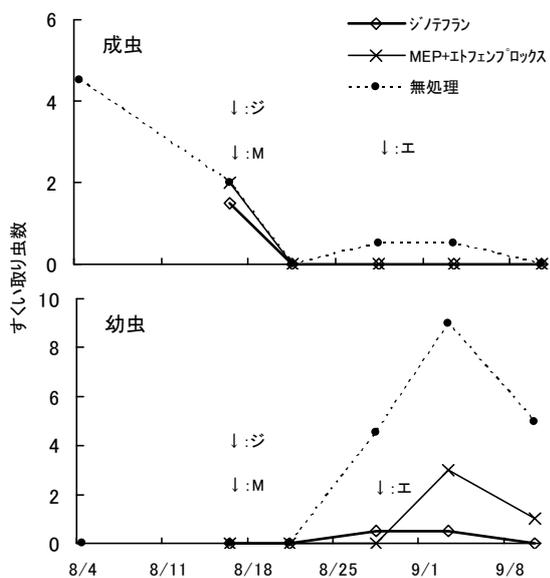
(2) 1 回散布の適期の検討

試験は 2003 年に農業試験場内の圃場で行った。水稻品種は「あきたこまち」、移植日は 5 月 13 日、出穂期は 8 月 5 日であった。供試薬剤はジノテフラン (5 %) ・フサライド (12 %) フロアブルとし、500 倍液に展着剤 (シンダイン 5,000 倍) を添加し散布した。散布量は 150 g/10a とした。散布時期は出穂期 2 日後 (8 月 7 日)、同 10 日後 (8 月 15 日)、同 17 日後 (8 月 22 日)、同 25 日後 (8 月 30 日)、1 区 72 m² (8 × 9m)、2 反復とした。試験区内のアカヒゲホソミドリカスミカメの発生推移および斑点米の調査は前項 (1) と同様に行った。

結果

(1) 慣行防除体系との比較

第4-1図に慣行散布体系との比較におけるすくい取り調査の結果を示した。無処理区では8月20日以前は成虫のみであったが、8月28日の調査以降は主に幼虫の発生であった。ジノテフラン粉剤DLを8月16日に1回散布した区は、慣行のMEP粉剤3DLとエトフェンプロックス粉剤DLの2回散布区と比べて8月28日以降の幼虫の発生は極めて少なく推移した。また、ジノテフラン粉剤DL散布区では斑点米の発生が見られず、慣行散布体系よりも防除効果が高い傾向が認められた ($p < 0.05$ 、斑点米混入率をARCSIN変換後にTukey法で検定) (第4-1表)。



第4-1図 各区のアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長
ジ:ジノテフラン, M:MEP, エ:エトフェンプロックス, ↓は散布日を示す。

第4-1表 ジノテフラン粉剤DL1回散布の斑点米抑制効果

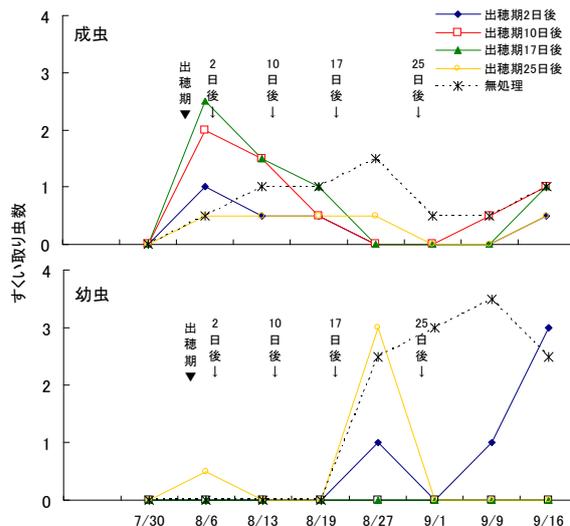
試験区	調査粒数	斑点米粒数			斑点米混入率(%)	防除値 ²⁾
		頂部	側部	合計		
ジノテフラン	13,706	0	0	0	0b ¹⁾	100
MEP+エトフェンプロックス	14,444	1.0	7.0	8.0	0.06b	89
無処理	13,622	3.5	73.0	76.5	0.56a	—

1)同一英小文字は処理間に有意差がないことを示す(ARCSIN変換後にTukey法で検定, $p > 0.05$).
2)防除値=100-処理区の斑点米混入率/無処理区の斑点米混入率×100。

(2) 1回散布の適期の検討

第4-2図に散布時期別のすくい取り調査の結果を示した。無処理区では8月20日以前は成虫主体であったが、8月27日以降は幼虫主体であった。各散布区とも散布後は無処理区より少なく推移したが、出穂期2日後散布では、9月10日以降増加した。出穂期10日後、同17日後散布では幼虫の発生がきわめて少なく推移した。出穂期25日後散布では散布後、幼虫の発生は抑制されたが、散布前には無処理区とほぼ同等に発生が認められた。斑点米の発生は出穂期10日後散布で最も少なく、次いで出穂期17日後散布であった。出穂期2日後および25日後散布は側部斑点米が

発生し、やや防除効果が劣った(第4-2表)。



第4-2図 各散布時期のアカヒゲホソミドリカスミカメの発生消長
↓は散布日を示す。

第4-2表 ジノテフラン剤の散布時期別斑点米抑制効果

試験区	調査粒数	斑点米粒数				斑点米 ¹⁾ 混入率(%)	防除値 ²⁾
		頂部	側部	他	合計		
出穂期2日後	12,753	0	11.5	1.5	13.0	0.102ab	51
出穂期10日後	12,207	0.5	0	0	0.5	0.004 b	98
出穂期17日後	13,339	1.5	0	0	1.5	0.011 b	95
出穂期25日後	12,892	3.0	8.0	0	11.0	0.085ab	59
無処理	11,052	1.0	21.5	0.5	23.0	0.208a	—

1)同一英小文字は処理間に有意差がないことを示す(ARCSIN変換後にTukey法で検定, $p > 0.05$).
2)防除値=100-処理区の斑点米混入率/無処理区の斑点米混入率×100。

考察

著者らによる研究から、ジノテフラン剤およびクロチアニジン剤の防除効果は、同じ散布回数、散布時期であれば対照とした従来剤よりも優ることが明らかにされている(新山・飯富 1999、2000、2001)。本試験ではジノテフラン剤を用いた1回散布は従来剤の2回散布より高い防除効果があることが明らかとなり、散布適期は出穂期10日後頃と考えられた。これはジノテフラン剤を適期に散布すると1回の防除作業で斑点米被害を回避できることを示すもので、減農薬の手段として有効な防除技術であると考えられる。

2で示したように、秋田県ではアカヒゲホソミドリカスミカメの幼虫による吸汁が主体となって側部斑点粒が発生すると考えられることから、本種の防除には幼虫の発生を抑制することが重要である。本試験では、ジノテフラン剤を本田侵入成虫の発生盛期を過ぎた出穂期10日後頃に散布しても、出穂期20日後以降に発生する幼虫をきわめてよく抑制した。これは、本田侵入成虫に対する殺虫効果によりある程度産卵を抑制していることに加え、本剤の少なくとも10日間程度の残効により孵化幼虫の発生を抑制した結果と推測された。この高い残効性は、殺虫活性と併せて本剤のもつ高い浸透移行性が寄与していると考えられる。

4-3 新規ネオニコチノイド系薬剤（茎葉散布剤）による減農薬防除の現地実証

緒言

前節ではジノテフラン剤を出穂期 10 日後頃に 1 回散布することにより、斑点米被害の防止を前提とした減農薬防除が可能であることを示した。しかし、本減農薬防除技術を一般圃場へ普及させるためには、現地圃場における実証が必要不可欠である。そこで、本節ではこの防除技術の実用性を実証する目的で、現地圃場において地上散布および有人ヘリコプターや無人ヘリコプターによる散布の大規模試験を行った。

材料および方法

(1) 地上散布の実証

地上散布による現地実証は、2004 年と 2005 年に秋田県平鹿郡平鹿町（現横手市平鹿町）A 地区（実証地区）の約 30ha の一般農家圃場で行った。水稻品種は「あきたこまち」、移植は 5 月下旬、出穂期は 2004 年では 8 月 6 日頃、2005 年では 8 月 5 日頃であった。カメムシ類に対する防除は、2004 年は 8 月 17 日（出穂期 11 日後）、2005 年は 8 月 16 日（出穂期 11 日後）にジノテフラン（0.5 %）粉剤 DL の 3kg/10a を全圃場に散布した。対照は A 地区に隣接する同町 B 地区（対照地区、約 11ha）とした。水稻品種は「あきたこまち」が主体で、出穂期は 2004 年、2005 年ともに 8 月 3 日頃であった。カメムシ類対象の防除は、2004 年は 8 月 7 日にフサライド・MEPゾルが航空散布され、さらに 8 月 20 日頃に主に MEP（3 %）粉剤 DL が地上散布された。2005 年は 8 月 16 日にフサライド・MEPゾルが航空散布され、さらにその 7～10 日後に主にジノテフラン（0.5 %）粉剤 DL やエトフェンプロックス（0.5 %）粉剤 DL が地上散布された。

2004 年は 9 月 10 日に実証地区の 45 圃場と対照地区の 24 圃場について、2005 年は 9 月 6 日に実証地区の 49 圃場と対照地区の 28 圃場について水田内のすくい取り調査（畦畔際 20 回、中央部 20 回の計 40 回振り）を行い、カメムシ類の発生程度を比較した。また、2004 年は 9 月 17 日に実証地区の 45 圃場と対照地区の 24 圃場について、2005 年は 9 月 16 日に実証地区の 18 圃場と対照地区の 12 圃場について 1 圃場当たり 100 穂（畦畔際 50 穂、中央部 50 穂）を採取して 1.85mm の篩で選別した精玄米について斑点米の発生程度を調査し、比較した。さらに、2004 年にはカメムシ類対

象の本田防除を行っていない同町 C 地区（無防除地区）でも同様に稲穂を採取して斑点米調査を行った。斑点米は奥山・井上（1974）に従い、斑点の発生部位別に頂部、側部、他に分類した。

(2) 有人ヘリコプターおよび無人ヘリコプター散布の実証

有人ヘリコプターおよび無人ヘリコプター散布の現地実証は、2005 年に秋田県潟上市天王江川の圃場で行った。栽培品種は「あきたこまち」と「ひとめぼれ」であり、「あきたこまち」の出穂期は平均して 8 月 1 日頃、「ひとめぼれ」の出穂期は平均して 8 月 4 日頃であった。調査圃場の概略図は第 4-3 図のとおりで、有人ヘリコプター区（有人ヘリ区：総散布面積は 998ha）と無人ヘリコプター区（無人ヘリ区）はそれぞれ①から⑥までの 6 圃場を調査した。有人ヘリ区でのヘリコプターの使用機種は「Bell206B」で、8 月 12 日にクロチアニジン（20 %）フロアブル（希釈倍率 8 倍、散布量 8l/ha 相当）を散布した。無人ヘリ区での使用機種は「ヤンマー YH300SL」で 8 月 9 日にクロチアニジンフロアブル（希釈倍率 8 倍、散布量 8l/ha 相当）を散布した。アカヒゲホソミドリカスミカメの調査は薬剤散布前の 8 月 9 日から始め、8 月 30 日まで定期的に捕虫網（径 36 cm、柄長 90 cm）により各区 6 圃場×2カ所において 20 回振りすくい取りを行った。斑点米調査は 9 月 15 日に各区 6 圃場×2カ所×5 株を刈り取り、乾燥、調製後に精玄米（1.9mm 以上）について行った。



第4-3図 調査圃場の配置 (秋田県潟上市)

結果

(1) 地上散布の実証

実証地区と対照地区のすくい取り調査と斑点米調査の結果を第 4-3 表と第 4-4 表に示した。2004 年における実証地区のすくい取り調査では、アカヒゲホソ

第4-3表 現地実証すくい取り調査および斑点米調査(2004年)

試験区	防除体系 ¹⁾	すくい取り調査(9/10)			斑点米調査(9/17)		
		調査圃場数	確認圃場率 ²⁾ (%)	虫数 ³⁾ /圃場	調査圃場数	斑点米混入率 ⁴⁾ % 平均 最小-最大	
実証地区 (約30ha)	出穂期11日後 1回散布	45	7	0.07 ^{n.s}	45	0.004 ^{n.s}	0-0.04
対照地区 (約11ha)	出穂期4日後航空防除 +出穂期17日後散布	24	21	0.25	24	0.004	0-0.05
無防除地区 (約23ha)	本田散布なし (8月中旬農道のみ防除)	—	—	—	6	0.202	0.01-0.61

1)実証地区:8/6出穂期 8/17ジノテフラン粉剤DL、対照地区:8/3出穂期 8/77サライド・MEPゾル+8/20MEP粉剤3DL。
無防除地区:8/3出穂期 8/18イトフェンプロックス粉剤DL(農道のみ)。
2)アカヒゲホソミドリカスミカメが水田内で捕獲された圃場の割合。
3)20回振り×2カ所の虫数, n.sは処理間に有意差がないこと($p > 0.05$)を示す(虫数を $\sqrt{(x+0.5)}$ 変換後にt検定)。
4)1圃場100穂調査, n.sは実証地区, 対照地区間に有意差がないこと($p > 0.05$)を示す(ARCSIN変換後にt検定)。

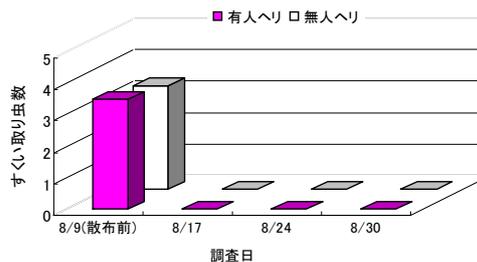
第4-4表 現地実証すくい取り調査および斑点米調査(2005年)

試験区	防除体系 ¹⁾	すくい取り調査(9/6)			斑点米調査(9/16)		
		調査圃場数	確認圃場率 ²⁾ %	虫数 ³⁾ /圃場	調査圃場数	斑点米混入率 ⁴⁾ % 平均 最小-最大	
実証地区 (約30ha)	出穂期11日後 1回散布	49	6.1	0.06 ^{n.s}	18	0.003*	0-0.013
対照地区 (約11ha)	出穂期12~13日後航空防除 +出穂期19~23日後散布	28	10.7	0.14	12	0.039	0-0.218

1)実証地区:8/5出穂期 8/16ジノテフラン粉剤DL。
対照地区:8/3~4出穂期 8/167サライド・MEPゾル+個人防除(ジノテフラン粉剤DLまたはイトフェンプロックス粉剤DL等)。
2)アカヒゲホソミドリカスミカメが水田内で捕獲された圃場の割合。
3)20回振り×2カ所の虫数, n.sは処理間に有意差がないこと($p > 0.05$)を示す(虫数を $\sqrt{(x+0.5)}$ 変換後にt検定)。
4)1圃場100穂調査, *は処理間に有意差があること($p < 0.05$)を示す(ARCSIN変換後にt検定)。

ミドリカスミカメの発生圃場率、1圃場当たり虫数とも対照地区より少ない傾向であった ($p = 0.0598$ 、虫数を $\sqrt{(x+0.5)}$ 変換後にt検定)。実証地区の斑点米混入率は平均および最大で対照地区と同等に低く ($p > 0.05$ 、ARCSIN変換後にt検定)、被害は認められなかった。本田防除を行わなかった無防除地区では平均斑点米混入率が約0.2%で発生程度が高かった。2005年における実証地区のすくい取り調査でも、アカヒゲホソミドリカスミカメの発生圃場率、1圃場当たり虫数はともに対照地区より少ない傾向であった ($p = 0.3392$ 、虫数を $\sqrt{(x+0.5)}$ 変換後にt検定)。実証地区の平均斑点米混入率は対照地区より有意に低く ($p < 0.05$ 、ARCSIN変換後にt検定)、被害となる斑点米混入率0.1%を超える圃場は認められなかった。

斑点米混入率は0.1%以下で同等に低く ($p > 0.05$ 、ARCSIN変換後にt検定)、斑点米の抑制効果は高いと判断された(第4-5表)。



第4-4図 有人および無人ヘリコプター散布によるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生抑制効果
1)出穂期は8/1、散布日は有人ヘリが8/12、無人ヘリが8/9。
2)虫数は20回振り、1圃場当たりで大部分が成虫。
3)調査面積は有人ヘリが80a、無人ヘリが102a。

(2) 有人ヘリコプターおよび無人ヘリコプター散布の実証

有人ヘリ区、無人ヘリ区とも薬剤散布前(8月9日)の水田内におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生状況は、成虫が主体で中発生であった。薬剤散布後は全くカメムシ類の発生は認められず、防除効果が高いと判断された(第4-4図)。斑点米調査では、有人ヘリ区で頂部斑点米の発生がやや見られたが両区とも

第4-5表 有人および無人ヘリコプター散布における斑点米抑制効果

試験区	調査粒数	斑点米粒数			斑点米混入率(%)
		頂部	側部	計	
有人ヘリ区	13,051	4.8	0.5	5.3	0.041 ^{n.s}
無人ヘリ区	12,435	0.5	0.2	0.7	0.006

1)各6圃場平均、1圃場10株当たり、精玄米(≥1.9mm)。
2)n.sは処理間に有意差がないことを示す(ARCSIN変換後にt検定, $p > 0.05$)。

考察

本試験では地上散布とヘリコプターによる散布の現地実証をカメムシ類の常発地域で行った。地上散布ではジノテフラン粉剤DLを1回散布する減農薬防除法を約30ha規模で行った。2004年の結果では実証地区および対照地区ともに薬剤散布の効果は高く、実証地区のジノテフラン粉剤DL1回散布は、対照の薬剤2回散布と同等に被害を抑えた。2005年の結果では実証地区は対照地区より斑点米の発生程度を抑制しており、薬剤2回散布より優る効果と考えられた。これまで、新規ネオニコチノイド剤の1回散布による防除を数十ha規模の圃場試験で実証した例はなく、本研究で本防除技術の有効性が初めて実際の米生産現場で実証された。また、秋田県では有人ヘリコプターや無人ヘリコプターによる薬剤散布がカメムシ類防除の主体であることから、ヘリコプターによる新規ネオニコチノイド剤1回散布の防除効果も調査した。この試験ではクロチアニジン剤を使用したのが、試験結果から非常に高い防除効果が得られると判断された。ヘリコプターによる散布は地上散布と違い、畦畔や農道などのアカヒゲホソミドリカスミカメの発生源にも薬剤が散布されるため、高い効果が得られたと思われる。ヘリコプターによる薬剤1回散布の効果を実証した報告はこれまでになかったが、本試験の結果から今後は県内全域に普及可能な防除技術と判断された。

4-4 粒剤による新しい防除技術の開発

緒言

カメムシ類による斑点米被害を最初に記録したとされる「農業害虫篇」(高橋、1948)には、イネカメムシ等の薬剤防除法として煙草石灰(煙草粉に石灰を混合した物)やBHC(粉剤)、石鹼を加用した硫酸ニコチン(800倍液)の散布が記されている。以来、現在に至るまでカメムシ類に対する薬剤防除は粉剤や液剤を散布する方法で行われている。少なくとも1960年代からカメムシ類を対象に使用されているDEP剤やMPP剤などの有機リン剤をはじめ(河野・武藤、1961)、その後開発された合成ピレスロイド剤のエトフェンプロックス剤やシラフルオフェン剤など既存の粉剤や液剤は一般に残効性が低いとされている(松崎、2001)。

アカヒゲホソミドリカスミカメの加害期間は乳熟期頃から収穫期近くまで長期間に及ぶことから、2や3で述べたように残効性が低い既存剤を使用する場合は散布回数を増やさざるを得ないのが現状であった。このことから、散布回数を削減するためには、殺虫活性があり残効性が高い防除薬剤が必要と考えられた。そこで、散布作業が容易で残効性が高いとされる粒剤による防除法について検討を行った。

材料および方法

(1) 有効薬剤の検索

試験は2000年に農業試験場内(秋田市雄和相川)の圃場で行った。水稻品種は「あきたこまち」、移植日は5月15日、出穂期は7月31日であった。供試薬剤はネオニコチノイド系のクロチアニジン粒剤、ジノテフラン粒剤、チアメトキサム粒剤およびニテンピラム粒剤、ピリジンアゾメチン系のピメトロジン粒剤とした(第4-6表)。いずれも浸透移行性を有し、吸汁性害虫のウンカ類に防除効果が高い薬剤から選択した。試験面積は1区72m²(8×9m)とした。各試験区を予め畦畔板で仕切り、7月31日に5cm程度に湛水後、試験薬剤の所定量を均一に手散布した。対照としてシラフルオフェンEW2,000倍液を7月31日と8月12日の2回、背負式動力噴霧機で所定量を散布した。アカヒゲホソミドリカスミカメの発生推移をみるために、7月31日から9月5日まで約7日間隔で各区の畦畔から7条目と20条目を中心に各10回、計20回、捕虫網径(36cm、柄長90cm)によるすくい取り調査を行った。斑点米は9月13日に畦畔より7条目から5株、20条目から5株の計10株を刈り取り、乾燥・調製後、粗玄米について調査を行った。

第4-6表 試験区の構成

供試薬剤	反復	濃度・散布量	散布回数
クロチアニジン(0.5%)粒剤	1	6kg/10a	1
ジノテフラン(1.0%)粒剤	1	6kg/10a	1
チアメトキサム(0.5%)粒剤	1	6kg/10a	1
ピメトロジン(3.0%)粒剤	1	6kg/10a	1
ニテンピラム(1.0%)粒剤	2	4kg/10a	1
シラフルオフェン(19%)EW(対照)	2	2,000倍、150L/10a	2
無処理	2	—	—

(2) 有効薬剤の散布適期

前項(1)の試験で明らかとなった有効薬剤の散布適期について検討した。試験は2001年に秋田市雄和銅屋の一般農家圃場で行った。水稻品種は「あきたこまち」、移植日は5月12日、出穂期は7月31日であった。試験面積は、1区90m²(9×10m)で、3反復(ただし無処理区は2反復)とした。その他、試験区の構成は第4-7表のとおりとした。

第4-7表 試験区の構成

供試薬剤	濃度・散布量	散布時期
クロチアニジン(0.5%)粒剤	4kg/10a	出穂期4日前、出穂期6日後、出穂期11日後
ジノテフラン(1.0%)粒剤	3kg/10a	出穂期4日前、出穂期3日後、出穂期11日後
チアメトキサム(0.5%)粒剤	4kg/10a	出穂期4日前、出穂期3日後、出穂期11日後
MEP(50%)乳剤(対照区)	1,000倍、120L/10a	出穂期3日後と出穂期13日後の2回
無処理	—	—

各試験区を中干し終了後の7月18日に畦畔板で仕切った。供試薬剤の処理時期は7月27日(出穂期4日前)、8月3日(出穂期3日後、ただしクロチアニジン粒剤は出穂期6日後)、8月11日(出穂期11日

後)とし、3cm程度に湛水後、所定量を均一に手散布した。散布後7日間は止水した。対照薬剤は、8月3日と8月13日の2回、背負式動力噴霧機で所定量を散布した。アカヒゲホソミドリカスミカメの発生推移をみるために、8月3日から9月14日まで原則7日間隔で捕虫網(径36cm、柄長90cm)によるすくい取り調査を行った。調査日は降雨や強風を避けるよう適宜、変更した。すくい取り調査は各区の畦畔から7条目と20条目を中心にして各10回、計20回行った。斑点米調査は、9月17日に各区から100穂を抜き取り、乾燥・調製後、精玄米(≧1.85mm)について行った。穂の採取方法は畦畔から5、10、15、20、25条目を選び、各条1株おきの20株から最長茎の穂を抜き取り100穂とした。

結果

(1) 有効薬剤の検索

試験圃場におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生量は全般に少発生であった。チアメトキサム粒剤、ピメトロジン粒剤、ニテンピラム粒剤、対照薬剤のシラフルオフェンEWでは、無処理区と比較して散布後のすくい取り虫数に差はなかったが、クロチアニジン粒剤、ジノテフラン粒剤ではすくい取り虫数がやや少なかった(第4-8表)。斑点米の発生程度はピメトロジン粒剤、ニテンピラム粒剤、シラフルオフェンEWでは無処理と比べて同等~多く、防除効果は認められなかった。しかし、クロチアニジン粒剤、ジノテフラン粒剤、チアメトキサム粒剤では無処理区と比較して明らかに斑点米の発生程度が低く、防除効果が認められた(第4-9表)。

第4-8表 すくい取り調査結果

試験区	すくい取り虫数 ¹⁾							
	散布前 ²⁾ 7/31	2日後 ³⁾ 8/2	7日後 8/7	14日後 8/14	21日後 8/21	28日後 8/28	37日後 9/5	散布後計 ⁴⁾ 8/2~9/5
クロチアニジン粒剤	0	0	0	0	1.0	1.0	1.0	3.0 (54)
ジノテフラン粒剤	0	1.0	0	1.0	0	0	0	2.0 (36)
チアメトキサム粒剤	2.0	1.0	3.0	0	0	0	1.0	5.0 (91)
ピメトロジン粒剤	2.0	0	0	1.0	1.0	2.0	2.0	6.0 (110)
ニテンピラム粒剤	0	0.5	2.5	0.5	0	1.5	0.5	5.5 (100)
シラフルオフェンEW(対照区)	0	0	1.0	0	1.0	1.5	2.5	6.0 (110)
無処理	0	1.5	0.5	1.5	1.5	0	0.5	5.5 (100)

1)ニテンピラム粒剤、シラフルオフェンEW、無処理は2区平均。
2)すくい取り調査後に薬剤散布。
3)薬剤散布後日数。
4)()は無処理を100とした場合の指数。

第4-9表 斑点米調査

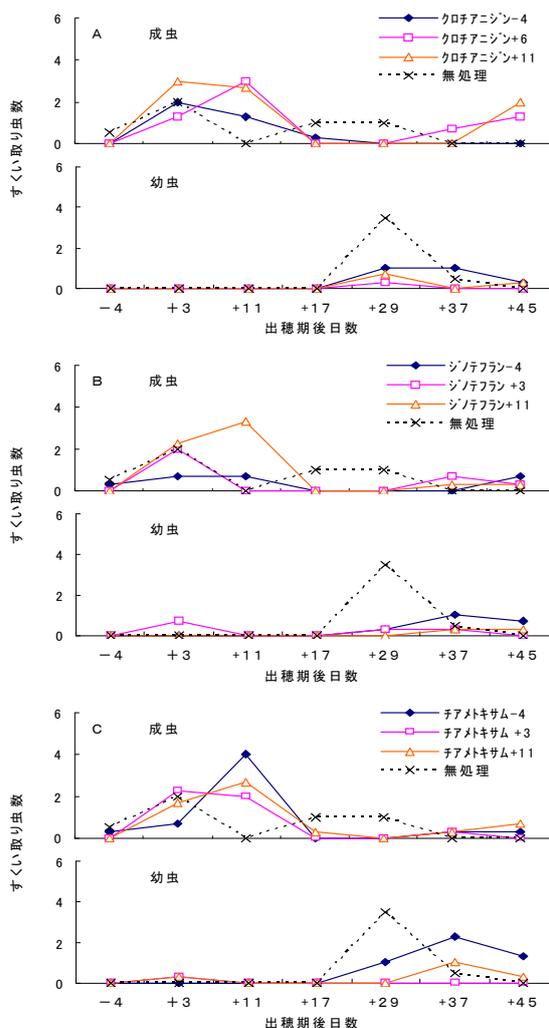
試験区	調査粒数	斑点米粒数 ¹⁾			斑点米混入率 ²⁾ (%)
		頂部	側部	合計	
クロチアニジン粒剤	16,023	4	23	0	0.169 (25)
ジノテフラン粒剤	16,802	0	5	0	0.030 (4)
チアメトキサム粒剤	14,044	1	8	0	0.064 (9)
ピメトロジン粒剤	13,249	7	84	0	0.687 (100)
ニテンピラム粒剤	12,819	2.5	104	0.5	0.835 (122)
シラフルオフェンEW(対照区)	11,574	6.5	99.5	3	0.942 (138)
無処理	11,893	5.5	72.5	3.5	0.685 (100)

注:1)ニテンピラム粒剤、シラフルオフェンEW、無処理は2区平均。
2)()は無処理を100とした場合の指数。

(2) 有効薬剤の散布適期

試験圃場におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生量は中発生であった。無処理区では出穂期3日後に成虫の発生盛期となり、出穂期29日後に幼虫の発

生盛期となった。クロチアニジン粒剤とジノテフラン粒剤では、出穂期6日後処理並びに出穂期3日後処理と出穂期11日後処理は出穂期4日前処理に比べて成虫の発生はやや多かったが、幼虫の発生は少ない傾向があった。チアメトキサム粒剤は、出穂期3日後処理と出穂期11日後処理は出穂期4日前処理に比べて成虫の発生はやや少なく、幼虫の発生は出穂期3日後処理、出穂期11日後処理、出穂期4日前処理の順に少なかった(第4-5図)。



第4-5図 各粒剤散布区のアカヒゲホソミドリカスミカメの発生推移

A: クロチアニジン粒剤、B: ジノテフラン粒剤、C: チアメトキサム粒剤

斑点米混入率は各処理間で統計的な有意差が認められなかったが(p = 0.0505, ANOVA)、次のような傾向が認められた。クロチアニジン粒剤の出穂期4日前処理は、無処理区と同等に斑点米の発生が多く効果が低かった。しかし、出穂期6日後および出穂期11日後処理の斑点米混入率は、それぞれ0.075%、0.070%であり効果が認められた。ジノテフラン粒剤の出穂期4日前処理では斑点米混入率が0.154%で効果がやや

低かったが、出穂期 3 日後および出穂期 11 日後処理の斑点米混入率はそれぞれ 0.049 %、0.019 % であり、高い効果が認められた。チアメトキサム粒剤の出穂期 4 日前処理は、無処理区と同等に斑点米の発生が多く効果が認められなかった。しかし、出穂期 3 日後および出穂期 11 日後処理の斑点米混入率は、それぞれ 0.088 %、0.066 % であり効果が認められた (第 4-10 表)。

第4-10表 各粒剤処理の斑点米発生状況(100穂当たり、精玄米)

供試薬剤	処理時期 ¹⁾	調査粒数	斑点米粒数			斑点米混入率(%)
			頂部	側部	その他	
クロチアニジン粒剤	-4	8,871	1.3	19.7	0	0.237 (64) ^{2)ns}
	+6	8,743	0.3	6.3	0	0.075 (20)
	+11	8,017	1.3	4.3	0	0.070 (19)
ジノテフラン粒剤	-4	8,433	0.3	12.7	0	0.154 (42)
	+3	8,235	0.3	3.7	0	0.049 (13)
	+11	8,550	0.3	1.3	0	0.019 (5)
チアメトキサム粒剤	-4	8,584	1.0	30.0	0.3	0.365 (99)
	+3	8,255	1.3	6.0	0	0.088 (24)
	+11	8,625	1.0	4.7	0	0.066 (18)
MEP乳剤(対照区)	+3,+13	8,311	0.7	20.3	0	0.253 (69)
無処理	-	8,556	2.5	28.5	0.5	0.368 (100)

1) 出穂期を0とした日数。

2) ()内は対無処理比。

3) nsはANOVAで有意差(5%)がないことを示す。

考察

水稻害虫を対象とした粒剤は、有効成分がイネの根から吸収されて茎葉部に移行する薬剤が多く、ウンカ類やヨコバイ類といった茎葉部を吸汁する害虫に効果が高い。一方、カメムシ類は一般にイネの穂を加害するため、穂に薬剤がかかる防除剤として従来から粉剤や液剤が用いられてきた。しかし、アカヒゲホソミドリカスミカメはイネを含めイネ科植物の穂部だけではなく茎葉部もよく吸汁することが知られており、穂への移行性が低い粒剤でも防除効果が認められると考えられた。有効薬剤の検索では同じネオニコチノイド剤でもニテンピラム粒剤は効果が認められず、クロチアニジン粒剤やジノテフラン粒剤、チアメトキサム粒剤は効果が認められた。この違いは本種に対する殺虫活性の違いと考えられる。チアメトキサム粒剤は散布後のすくい取り虫数が無処理とほぼ同等であるのに斑点米混入率が低かった要因は明らかではないが、アカヒゲホソミドリカスミカメに対し致死に至らせないまでも吸汁阻害効果を発揮したためかも知れない。

散布適期の試験では、各薬剤とも出穂期前より出穂期後の散布で斑点米抑制効果が高かった。これは、出穂期後散布の方が出穂期前散布と比較して幼虫密度を抑制するためであり (第 4-5 図)、出穂期後散布の方が幼虫発生時期に有効成分の稲体濃度が高く保たれるためと考えられる。また、対照としたMEP乳剤の効果が低かった。原因として 1 回目散布当日の夜に降った 6 mm の降雨の影響も考えられたが、この点、粒剤は湛水散布のため降雨の影響を受けなかったと推測された。

本研究により、新規ネオニコチノイド系の粒剤により本種の防除が可能となった。これは薬剤の散布回数の削減や防除作業の省力化、水田外への薬剤飛散の防

止、降雨などの気象条件に左右されない安定した防除効果など様々な利点につながる。さらに、有効成分を増量したり溶出パターンを工夫することにより、移植時に施用する箱粒剤での 1 回処理で初期害虫からカメムシ類までカバーできる可能性もあり、さらなる減農薬、軽労化も期待できる。

4-5 発生源対策による新しい防除技術の開発

緒言

アカヒゲホソミドリカスミカメはイネ科植物を寄主とし、水田畦畔・農道、および周辺の雑草地、休耕田、牧草地において増殖し、水田内に侵入する (八谷、1999)。そのため、イネの出穂前にこれらの発生源における本種の密度を低下させることは、斑点米被害の軽減に有効と考えられる。現在、行われている主な発生源対策は、畦畔・農道の機械除草、休耕田の耕起等であるが、いずれの方法も雑草が再生してくるため、本種の発生を完全には抑えることはできない。しかし、発生源対策として非選択性茎葉処理除草剤 (以下、除草剤) を用いることで、餌となるイネ科雑草を枯死させれば、本種の繁殖を抑えることができると考えられる。さらに、本種の水田侵入期において、発生源に本種成虫が存在しなければ、本田侵入は起こらず斑点米被害を防止できると推測される。そこで、一般農家圃場において本種の発生源を畦畔・農道に限定して、この仮説の検証を行った。

材料および方法

(1) 試験圃場

試験は 2004 年と 2005 年に秋田県秋田市雄和下黒瀬の一般農家圃場で行った。栽培品種は「あきたこまち」が主体で、一部の圃場では「めんこいな」であった。試験区の構成を第 4-11 表、第 4-12 表に示した。

第4-11表 試験区の構成(2004年)

区	水田面積	圃場数	畦畔管理方法				本田薬剤散布
			5月下旬	6月下旬	7月上旬	7月下旬	
除草剤区	1.06ha	7	草刈り	除草剤 ¹⁾	-	-	あり ²⁾
対照区	1.70ha	8	草刈り	-	草刈り	草刈り	あり ³⁾

1) グルホシネート液剤。

2) ジノテフラン液剤+MEP乳剤(8月2半旬+5半旬散布)またはエトフェンブロックス粉剤DL(8月5半旬散布)。

3) ジノテフラン液剤+MEP乳剤(8月2半旬+5半旬散布)またはエトフェンブロックス粉剤DL(8月3半旬散布)。

第4-12表 試験区の構成(2005年)

区	水田面積	圃場数	畦畔管理方法			本田薬剤散布
			6月上旬	7月上旬	8月下旬	
除草剤区	1.50ha	4	草刈り	除草剤 ¹⁾	-	なし
	0.66ha	5	草刈り	除草剤 ¹⁾	-	あり ²⁾
対照区	1.20ha	10	草刈り	草刈り	草刈り	あり ³⁾

1) グルホシネート液剤。

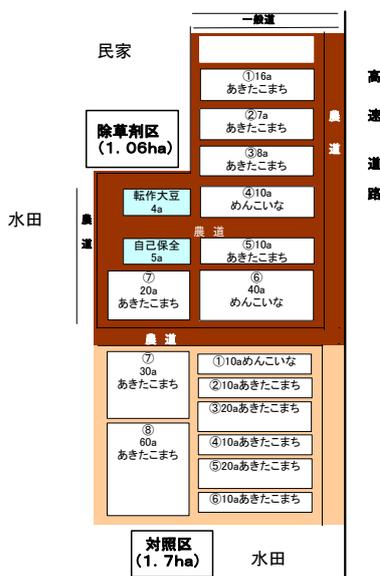
2) クロチアニジン水溶剤またはエトフェンブロックス粉剤DL(8月3半旬散布)。

3) エトフェンブロックスEW+クロチアニジン水溶剤(8月2半旬+4半旬)。

除草剤を畦畔・農道に散布した圃場を除草剤区、農家慣行の草刈りを行った圃場を対照区とした。試験圃

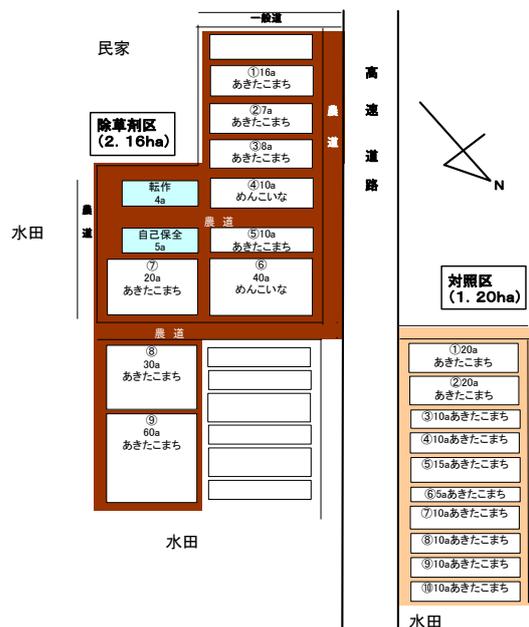
場は 5 ～ 60a 規模で、10 ～ 20a 圃場が主体であった。2004 年の試験では、除草剤区と対照区は高速道路に面して連続して隣り合い (第 4-6 図)、2005 年の試験では高速道路を挟んで隣り合った配置とした (第 4-7 図)。周囲は休耕田や転作牧草のない水田が連続しており、両区はほぼ同じ環境条件であった。除草剤は、グルホシネート液剤 (100 倍、1001/10a) を使用した。除草剤の散布は、2004 年の試験では 6 月下旬 (6 月 29 日)、2005 年の試験では 7 月上旬 (7 月 8 日) に行った。2004 年は両区とも農家慣行によりアカヒゲホソミドリカスミカメ防除のための本田への殺虫剤散布が行われた。除草剤区は、8 月 2 半旬にジノテフラン (10

%) 液剤と 8 月 5 半旬に ME P 乳剤の体系散布、または 8 月 5 半旬にエトフェンプロックス (0.5 %) 粉剤 DL の散布であった。対照区は、8 月 2 半旬にジノテフラン液剤と 8 月 5 半旬に ME P 乳剤の体系散布、または 8 月 3 半旬にエトフェンプロックス粉剤 DL の散布であった。2005 年の対照区では、農家慣行により、8 月 2 半旬にエトフェンプロックス (10 %) EW と 8 月 4 半旬にクロチアニジン (16 %) 水溶剤が散布された。除草剤区では、殺虫剤散布を行わない圃場と 8 月 3 半旬にクロチアニジン水溶剤またはエトフェンプロックス粉剤 DL を散布した圃場を設けた。



第4-6図 試験圃場の配置 (2004年)
(秋田県秋田市雄和)

■ : 除草剤区 □ : 対照区



第4-7図 試験圃場の配置 (2005年)
(秋田県秋田市雄和)

■ : 除草剤区 □ : 対照区

(2) 畦畔・農道および水田内における発生調査

2004 年、2005 年とも 6 月上旬から約 10 日に 1 回の割合で各区の畦畔、農道のすくい取り (畦畔は 50 回振り、農道は 20 回振り) を行い、アカヒゲホソミドリカスミカメの発生推移を調査した。2004 年は除草剤区で約 15 カ所、対照区で約 12 カ所、2005 年は両区とも約 30 カ所を調査した。また、アカヒゲホソミドリカスミカメの水田侵入期に当たる出穂期 3 日後 (両年とも 8 月 4 日: すくい取り調査に殺虫剤散布の影響がない時期) に両区の全水田内において、中央部と畦畔際でそれぞれ 20 回振りのすくい取りを行い、除草剤の畦畔・農道への処理による水田侵入抑制効果を評価した。

(3) 斑点米調査

2005 年の試験では 9 月 15 日に各圃場 100 穂 (畦畔際 50 穂、中央部 50 穂) を採取し、精玄米 (≧ 1.9mm)

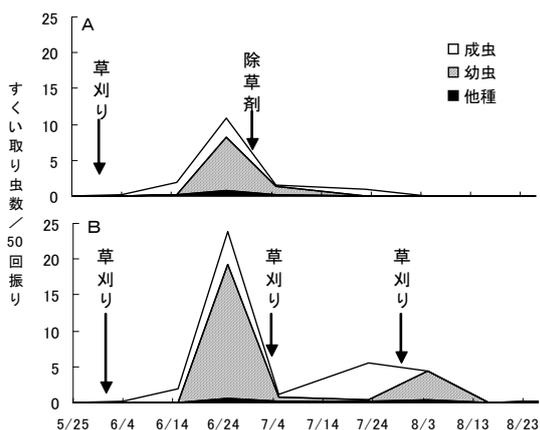
の斑点米発生程度を調査した。斑点米は奥山・井上 (1974) をもとに斑点の発生部位別に頂部、側部、他に分類した。

結果

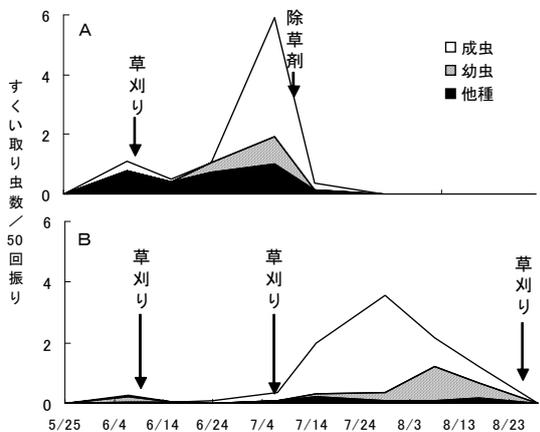
(1) 畦畔・農道における密度低減効果

両年とも畦畔・農道に発生した種はアカヒゲホソミドリカスミカメが大部分を占めたが、2005 年の除草剤区では対照区と比較してアカスジカスミカメやムギカスミカメなど他種の割合がやや高かった。2004 年の対照区では、2 回目の草刈り前はアカヒゲホソミドリカスミカメ幼虫を主体に発生密度は高かったが、草刈り後には急激な個体数の低下が認められた。その後、雑草の再生とともに成虫を主体に緩やかに個体数が増加した。8 月上旬の穂揃期の調査では幼虫のみの発生であった。これに対して除草剤区では、除草剤散布前は幼虫を主体に発生密度が高かったが、散布後は雑草

の枯れ上がりに伴い、比較的速やかにアカヒゲホソミドリカスミカメの個体数は減少し、穂揃期には全く認められなくなった(第4-8図)。2005年の試験では、草刈りを行った対照区は6月上旬から7月上旬まで除草剤区と比べて個体数が少なく経過したが、7月中旬から8月上旬にかけて成虫を主体に多くなった。除草剤区では、除草剤散布前は成虫を主体に発生密度が高まったが、散布後は急激に個体数が減少し、7月下旬以降は全く認められなくなった(第4-9図)。



第4-8図 畦畔・農道におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生状況 (2004年, A: 除草剤区, B: 対照区)



第4-9図 畦畔・農道におけるアカヒゲホソミドリカスミカメの発生状況 (2005年, A: 除草剤区, B: 対照区)

(2) 水田侵入抑制効果

穂揃期における水田内のアカヒゲホソミドリカスミカメの発生状況を第4-13表と第4-14表に示した。2004年のすくい取り虫数では統計的に有意差は認められなかったが(t 検定, $p > 0.05$)、除草剤区は対照区の約1/5であり水田への侵入程度は低い傾向にあった。発生個体は成虫が主体であり、また、対照区では半数の圃場で発生が認められたが、除草剤区では1圃場のみの発生であった。2005年のすくい取り虫数は、除草剤区の方が対照区より有意に少なく(t 検定、 p

< 0.01)、水田への侵入程度は約1/4に抑制された。発生個体は成虫が多く、対照区では全ての圃場で発生が認められたが、除草剤区では約半数の圃場での発生に留まった。なお、両区とも圃場の畦畔際と中央部とでは、発生密度に偏りはみられなかった。

第4-13表 水田内への侵入抑制効果(2004年8月4日調査)

試験区	すくい取り虫数	発育態別割合(%)		発生圃場率(%)
		成虫	幼虫	
除草剤区	0.07 ^{n.s}	100	0	14
対照区	0.38	83	17	50

注: すくい取り虫数は20回振り当たりの平均虫数。n.sは処理間に有意差がないこと($p > 0.05$)を示す(虫数を $\sqrt{(x+0.5)}$ 変換後に t 検定)。

第4-14表 水田内への侵入抑制効果(2005年8月4日調査)

試験区	すくい取り虫数	発育態別割合(%)		発生圃場率(%)
		成虫	幼虫	
除草剤区	0.28 ^{**}	60	40	55
対照区	1.20	83	17	100

注: すくい取り虫数は20回振り当たりの平均虫数。**は処理間に有意差があること($p < 0.01$)を示す(虫数を $\sqrt{(x+0.5)}$ 変換後に t 検定)。

(3) 斑点米の発生抑制効果

2005年の斑点米調査の結果を第4-15表に示した。本田に殺虫剤散布を行っていない除草剤区の斑点米発生程度は、殺虫剤散布を行った除草剤区や対照区と有意差はなく(ANOVA, $p = 0.8018$)、同程度に低かった。

第4-15表 斑点米調査結果(2005年)

区	本田薬剤散布	調査圃場数	調査粒数 ¹⁾	斑点米粒数			計	斑点米 ⁴⁾ 混入率(%)
				頂部	側部	他		
除草剤区	なし	4	8,252	0	0.5	0	0.5	0.006 ^{n.s}
	あり ²⁾	5	9,014	0.2	1.0	0	1.2	0.013
対照区	あり ³⁾	10	7,955	0	0.5	0.1	0.6	0.008

1) 1圃場当たり平均調査粒数。

2) クロチアニジン水溶性またはエトフェンブロックス粉剤DL(8月3半旬散布)。

3) エトフェンブロックスEW+クロチアニジン水溶性(8月2半旬+4半旬)。

4) n.sはANOVAで有意差(5%)がないことを示す。

考察

畦畔の雑草管理と斑点米カメムシ類の発生については、オオトゲシラホシカメムシやコバネヒョウタンナガカメムシ、ホソハリカメムシを対象にした報告はあるが(星野ら 1991; 石川ら 1995; 寺本 2003; 山代 1996)、カスミカメムシ類を対象とした報告は少ない。古くからアカヒゲホソミドリカスミカメが問題となっている北海道では、本種の発生源が畦畔や農道だけでなくコムギ畑や牧草地、様々な施設や住宅周辺の空き地や雑草地と多様であり、これら全てを対象とした発生源対策は現実的ではないとされてきた(八谷 1999)。しかし、上野(2004)は、本種の生息に好適なイタリアンライグラスが自生している場合は草刈り3回でも増殖がみられ、除草剤を散布した場合は長期間にわたり本種の密度を抑制し、草刈りと同等以上の密度抑制効果があったと報告している。本県でも一般的に水田周辺に小麦畑や牧草地が存在しない場合は、水田にごく近い畦畔や農道のみを対象とした発生源対策でも、本種の防除として十分有効ではないかと考えられた。

そこで本試験では発生源をなくすことを目的として、畦畔や農道に除草剤を散布して雑草を枯死させる方法を試みた。発生源対策を考えた場合、カメムシ類の生息を不可能にする点で、除草剤散布は草刈りより効果が期待できる。

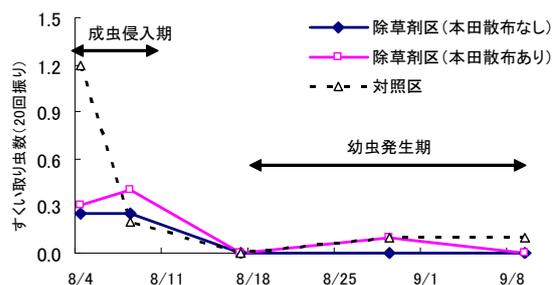
本試験では、対照区の草刈り時期は農家に任されていたため、特に2005年の試験において7月以降の草刈りの時期が適切ではない圃場もあった。そのため対照区では、7月中旬以降の畦畔・農道における本種の発生密度が多くなったと思われる。それに対し除草剤区の結果は、6月下旬～7月上旬に除草剤散布することで、8月上旬の本田侵入期まで農道・畦畔における本種の発生を抑制できることを示している。これらのことから、除草剤散布は本種の発生源対策として優れた方法と考えられた。

本種の発生源から水田内への侵入は、本種の移動分散能力に依存する。第4-13表や第4-14表から明らかのように、水田にごく近い畦畔や農道から本種の発生をなくすことで水田侵入を非常に低い密度に抑制できたのは、本種が生息地内あるいは食草間で短距離の飛行を繰り返すタイプの昆虫であるためと考えられる(後藤・樋口 2004)。一方、菊地ら(2004)は羽化後2～3日の若い個体に限り10分以上の飛行能力があると報告している。除草剤区でわずかに認められた水田侵入個体はこのような飛行能力の高い個体である可能性が考えられる。除草剤処理面積をある程度広くすることにより、飛行能力の高い個体の侵入の危険性も低下させることができると推察される。

従来、本種の発生源対策は、イネ出穂期以降に水田内に侵入する個体数を低下させるための出穂前の機械除草が主体であった。機械除草で発生源対策を行っても、本種が水田内に侵入して斑点米被害を起こすため、本田への殺虫剤散布を行っているのが現状であった。しかし、除草剤を利用することで機械除草よりも本種の水田侵入を効果的に抑制できる可能性が明らかとなった。これは除草剤散布により本種の寄主植物であるイネ科雑草が枯れて餌として不適になることから、移動性の低い幼虫は死滅し、成虫は他の寄主植物を求めて移動するためと考えられる。

斑点米の発生程度は本田への殺虫剤散布の種類や時期に最も大きく影響されるので、2005年の殺虫剤散布を行った除草剤区と対照区で、除草剤と草刈りの斑点米を比較するのは難しい。また、対照区に殺虫剤の無散布圃場を設定していないため、殺虫剤散布を行っていない除草剤区における斑点米混入率の低さが除草剤散布による効果であるとは厳密には言えない。しかし、経時的な水田内のすくい取り調査では、幼虫発生が通常ある8月下旬～9月上旬にまったく発生が認められなかったことから(第4-10図)、畦畔や農道への除草剤処理により成虫の水田侵入密度を抑制した結果

であると言える。



第4-10図 水田内のアカヒゲホソミドリカスミカメの発生推移

5 総合考察

近年、全国的に問題となっている斑点米カメムシ類としては、アカヒゲホソミドリカスミカメ、アサジカスミカメ、クモヘリカメムシの3種が挙げられるが、特にカスミカメ類の発生増大が顕著である(渡邊・樋口、2006)。その要因として水田転作に伴う飼肥料作物の導入、イネ科牧草の雑草化、休閒田の増加、水稻品種や気象条件の変化などが考えられている。これに加えて中筋(1973)や林(1997)が指摘しているカスミカメ類の多化性、多食性、高い飛行能力などの生態的特徴が近年の水田を取り巻く環境変化に適応させていると思われる。アサジカスミカメはイタリアンライグラス、メヒシバ、ヒエ類を選好する(飯村1992)。特に、イネ科牧草のイタリアンライグラスでの増殖は旺盛で、これらが水田に飛来して斑点米を発生させる(林1986)。そのため、イネ科牧草の栽培面積と斑点米被害量との間には正の相関がみられる(林1986; 田中2000)。これに対し、アカヒゲホソミドリカスミカメでは、転作牧草に近接した水田で斑点米被害が多い報告(新山2000)はあるものの、イネ科牧草面積や休閒田面積と本種の発生量や斑点米被害量との明確な関係を示す報告はない。本種は栽培種のイタリアンライグラスの他、スズメノカタビラ、スズメノテッポウ、ナガハグサ、コヌカグサ、メヒシバ等のイネ科雑草も選好する(菊地・小林、2002、2003)。これらのイネ科雑草は水田の畦畔や農道に普通に見られる植物であるが、イタリアンライグラスのように牧草地や転作田等にまとまった群落を形成しないため、大きな増殖源とはならない。このように同じカスミカメ類であっても、アサジカスミカメとアカヒゲホソミドリカスミカメでは水田周辺の発生源が若干異なる。

斑点米被害が増大する要因として、イネの割れ粉の発生程度が大きく関与している(河辺1972; 奥山・井上1974; 林1997; 後藤ら2000; 石岡ら2000、本田ら2001)。本研究で示したように、近年は割れ粉の

発生程度の高い年が多くなっており、このことが斑点米被害を助長していると考えられる。イネの登熟過程で割れ籾が発生するのは、開花 2 週間前頃の籾殻の伸長ピーク時に日照不足や低温で籾殻サイズが小さくなり（松島 1959；浜名 1987）、開花後の好天により玄米の肥大が良くなると、籾の鉤合部が開穎するためである。特に開花後の日中の高温は玄米の厚さを増加させるため（森田・松葉 1993）、割れ籾発生の大いなる要因となる。秋田県におけるイネの出穂、開花は 8 月上旬となるため、8 月の平均気温が 26 °C を超えると割れ籾被害率が高くなると考えられる（第 2-5 表）。秋田市においては、7 月下旬と 8 月上旬の平均気温と 7 月下旬の日照時間から割れ籾発生の推定式が作成されており（京谷 2002）、割れ籾の発生予測が可能となっている。米沢ら（2005）が、秋田県内の一般圃場において割れ籾率と斑点米混入率の関係を調べたところ、斑点米混入率 0.1 % に相当する割れ籾率は 1.0 % であった。しかし、7 ~ 9 割の圃場では割れ籾率が 1.0 % 以上であったことから、割れ籾の発生程度から斑点米被害を予測することは、防除対策を立てる上でそれほど有益ではないと指摘している。そのため、秋田県では、割れ籾が発生することを前提として防除対策を考える必要がある。実際、県内で発生している斑点米は割れ籾によって多くできる側部斑点米がほとんどであることから（第 2-3 表、第 2-5 図）、本研究における防除技術の開発は側部斑点米を抑制することを重視して進めた。

本研究では薬剤による防除技術を中心に検討し、実用性の高い減農薬防除技術を確立した。これまでのアカヒゲホソミドリカスミカメの薬剤防除技術に関する研究は、薬剤の効果（井上 1974、1975；黒蝕米対策研究班 1975；松崎 2001；上野 2004；石本 2004）や散布適期の検討（橋本・春木 1988；上野 2004；石本 2005）に関する報告がほとんどであり、減農薬防除に関する報告は少ない。北海道における本種の減農薬防除技術は要防除水準を設定し、捕虫網を使ったすくい取りによる発生予測から防除要否を判断して、不必要な薬剤散布を防ぐ発生対応型の防除技術である（八谷 1998）。この減農薬防除技術は出穂期頃とその 7 ~ 10 日後の 2 回散布を基本として行い、3 回目以降の防除要否を判断するものである。北海道では本種の発生源となる広大な小麦畑や牧草地が存在するが、このように発生源が水田周辺に多い場合は、水田周辺の成虫密度が高くなり、移動性の高い成虫は頻りに水田内に侵入する。したがって、侵入する成虫に対し、その都度、薬剤散布する必要があることから、上述の発生予測システムに基づいた発生対応型の減農薬防除技術が普及したと考えられる。北海道では発生の多かった 1980 年代前半は平均 5 ~ 6 回の薬剤散布を行う地域もあったが（八谷 1998）、すべての圃場が必ずしも 5

~ 6 回の薬剤散布を必要とするのではないので、基本の薬剤 2 回散布後はすくい取り調査によって不必要な薬剤散布を減らすのは合理的である。

一方、秋田県の一般的な水田地帯では小麦畑や牧草地は存在しないため、水田周辺における本種の発生密度は北海道に比べれば低い。しかし、水田内の発生消長調査で明らかのように、水田へ侵入する成虫密度が低くても次世代の幼虫密度は高くなる。さらに近年、秋田県では割れ籾の発生程度が高く、水田周辺における本種の発生密度が低くても斑点米被害が生じやすい。したがって、事前の発生予測に基づいて防除対策を立てることは実用的ではないため、水田内での本種の増殖防止を図るのが合理的と考えられる。本研究における減農薬防除技術はすべてこの考えに立脚したもので、本種の水田侵入から増殖、加害に至るまでの生態的特徴を利用している。すなわち、秋田県においてアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫はイネの出穂期数日後から 14 日後頃まで水田内に侵入し、その間にイネに産卵を行う。続いて出穂期 20 日後過ぎから順次ふ化した幼虫が発生し、籾を吸汁して斑点米を形成する。したがって、防除対象はこの出穂期から出穂期 14 日後頃までの侵入成虫と出穂期 20 日後過ぎから出現する幼虫の二つである。

以上のような特徴を踏まえ、これまで使用されてきた有機リン剤や合成ピレスロイド剤などの主要薬剤による効果的な防除法を次のように整理した。従来の防除法では、出穂期 ~ 穂揃期とその 7 ~ 10 日後に散布を行うのが良いとされていた。しかし、第 3-9 図のように、この防除法では高い効果は得られなかった。これらの薬剤では残効性が低いため、約 2 週間の成虫侵入の全期間に渡って効果を持続されることはできない。そのため、侵入成虫の産卵を全て抑えることはできず、結果として幼虫が発生してしまうのである。残効性の低い薬剤を用いる場合は、水田内に侵入する前に予防的に散布するよりは侵入後に散布する方が効果的である。本研究では ME P 剤の 1 回散布では防除効果が不十分であり、出穂期 11 日後 + 25 日後の 2 回散布の効果が最も高かった。1 回目の散布は水田内に侵入した成虫のイネへの産卵を抑制するには効果がある。しかし、1 回目の散布前あるいは散布後、残効切れした後に産みつけられた卵からは幼虫が発生する。幼虫発生時期は出穂期 20 日後過ぎであるため、この時期に 2 回目の散布を行うことにより十分な防除効果が得られると考えられる。

ME P 剤などの有機リン剤は薬剤コストが低く、合成ピレスロイド剤は航空散布での使用が多いため生産者のコスト負担が少ないという利点があり、長い間、防除剤として使用されてきた。その反面、複数回の薬剤散布が必要なため、生産者の高齢化と担い手不足が進む中での防除作業の簡略化という要望には応えられな

い欠点があった。そこで、防除作業をより簡略化できる減農薬防除技術の検討を行った。その結果、新規ネオニコチノイド剤が有機リン剤や合成ピレスロイド剤よりも効果が高いことを見だし、1 回散布でも効率的に水田内の本種の増殖を抑え、斑点米被害を防止できることを明らかにした。これまで難防除害虫とされ、経済的被害の大きかったアカヒゲホソミドリカスミカメを 1 回の散布作業で防除できることは、生産者にとっては非常に有益であると考えられる。本減農薬防除技術は、2006 年度においてヘリコプター散布を中心に地上散布も含めて秋田県の約 7 割の面積に普及し（秋田県病害虫防除所推定）、斑点米被害の防止に大きく貢献している。

近年、農産物をはじめとした食品の安全性に対する関心が高まっている。このような背景から食品衛生法が改正され、2006 年 5 月から基準設定のない農薬等を一定量以上含む食品の流通が原則禁止されるポジティブリスト制度が施行された（駄場 2006）。本制度導入のため、農作物生産現場では農薬の飛散防止対策が重要な課題となっているが（安藤 2006）、特に、栽培面積が広い水稻では粉剤散布やヘリコプターによる液剤散布の割合が高く、水田転換畑や水田に隣接した圃場で栽培している他作物への飛散が懸念されている。本研究で示した新規ネオニコチノイド剤の 1 回散布による減農薬防除は、従来よりも散布回数を削減できることから農薬飛散の頻度を低減できる利点がある。さらに、本研究では新規ネオニコチノイド系の粒剤によるカメムシ類防除法も開発したが、粒剤は粉剤や液剤に比べて剤型的に飛散しにくい利点がある。そのため粉剤や液剤では飛散の危険性がある他作物と隣接した圃場においても、これら他作物への飛散の危険性が少ない。また、粒剤による防除は、大型散布機や散布作業に人手がなくても背負式動力散布機があれば一人で作業ができるため、作業労働的にも優れている。防除効果の面でも、本研究で示されたように出穂期 10 日後頃の粒剤散布で水田内の幼虫の増殖は抑えられ、降雨などの気象条件に左右されない安定した防除効果が期待できる。その反面、水田内に侵入する成虫にはあまり効果が期待できないことも明らかとなった。したがって、成虫が飛来しやすいイネ科牧草地などに隣接した圃場や、街灯や商店などの夜間照明近くの圃場では、粒剤の防除効果は低下する可能性がある。また、出穂期前の散布や水のかけ流し状態での散布も効果の低下を招くので注意が必要である。

これまでの殺虫剤による防除は、アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫が水田内へ侵入した後の対策であった。本研究では、本種の発生源である畦畔・農道の雑草管理が斑点米被害防止に有効であり、かつ減農薬防除を可能にすることも明らかにした。除草剤を利用した発生源対策の利点は、畦畔・農道の草刈り作業を省

略でき、かつ、カメムシ類防除のための殺虫剤散布を不要とすることから省力的で低コストな点である。減農薬防除は単に薬剤コストや薬剤散布の労力を低減するだけではなく、薬剤散布による生物相への影響や環境汚染のリスクも低減することになる。殺虫剤の水田への散布はカメムシ類やウンカ類などの害虫の他に、水田に生息するトンボ類やユスリカ類、クモ類など防除対象外の生物相にも影響を与える（小山・城所 2003）。これに対して畦畔・農道への除草剤散布は、それら水田内の生物に対する直接的な影響はない。また、本研究で用いた除草剤の有効成分であるグルホシネートは、土壌中における半減期が 3 ~ 20 日と易分解性であり、最終的に二酸化炭素とリン酸、水に変化し土壌中に残留・蓄積はしなしたため環境への負荷が少ない（Dorn E. et al. 1992）という利点もある。畦畔・農道を対象とした発生源対策は水田区画が大きいほど相対的に発生源の割合が低下するため、本種の水田侵入を効果的に減少させることが可能と考えられる。県内では基盤整備により 1ha 規模の大区画圃場が年々増加しており、発生源対策による減農薬防除技術の導入が期待されている。なお、除草剤散布により畦畔・農道の雑草が枯れて緑が失われるため田園風景の景観を損ねること、雑草の枯死により畦畔が軟弱化すること、また、イナゴ類やウンカ類、フタオビコヤガなどのカメムシ類以外の水稻中後期害虫の発生抑制ができないなどの欠点があるが、これらの点については今後の検討課題としたい。

本研究で開発した減農薬防除技術の普及を促進するためには、上述のような利点と欠点を理解した上で、生産者の意向や圃場の立地条件等を考慮して防除法を選択する必要がある。例えば、（1）他作物への薬剤飛散の心配がない圃場では、新規ネオニコチノイド剤の粉剤やヘリコプターによる液剤散布を行う、（2）他作物への飛散が懸念され景観も重視される圃場では、草刈りにより雑草管理を行い、アカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の密度を低下させた上で粒剤を使用する、（3）基盤整備により大区画圃場となり草刈り作業や本田への薬剤散布が困難で景観はそれほど重視されない場合は、除草剤を利用した発生源対策を行う、などが考えられる。

近年、農業生産現場では農作物をはじめとした食品の安全性や環境負荷に対する不安や懸念、農業従事者の高齢化による労働力低下、米価の低迷による農家所得の減少など多くの問題を抱えている。本研究は農薬の使用を必要最小限にとどめ、これらの問題の解決につながる防除技術の確立を目指した。今後は本減農薬防除技術の普及を促進することにより、高品質で付加価値の高い米生産に貢献できるものとする。

謝辞

本論文をまとめるにあたり懇切なるご指導、ご校閲の労を賜った東北大学大学院農学研究科松田一寛教授、同昆野安彦准教授、同堀雅敏助教に心より感謝の意を表す。また、秋田県農林水産技術センター農業試験場生産環境部長深谷富夫氏には本研究を行うきっかけと研究遂行にあたり示唆に富むご助言をいただいた。元秋田県農業試験場長鳥越洋一博士（現独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター研究管理監）、前秋田県農業試験場長藤田佳克博士（現独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター病害抵抗性研究チーム長）、前農業試験場長児玉徹氏には研究の遂行にあたって特段のご配慮とご鞭撻を賜った。本研究は秋田県農林水産技術センター農業試験場生産環境部および管理室管理班のご協力を得て行われた。特に、故飯富暁康上席研究員、糸山享研究員（現明治大学農学部）、小田島昌美元職員、藤原シュン子職員には多大なご協力をいただいた。秋田県病害虫防除所職員の皆様には調査データと県内の病害虫に関する情報提供をいただいた。以上の方々と多くの現地試験を快くお引き受け下さった農家の方々、それをご指導下さった各農業協同組合職員や農業共済組合職員の方々、調査にご協力いただいたフロンティア研修生の方々に心から感謝の意を表す。

引用文献

- 秋田県病害虫防除所(1998)病害虫防除員のための水稲病害虫の診断と予察法(改訂版). 95pp.
- 安藤由紀子(2006)ポジティブリスト制度の導入に対応する農薬の飛散影響防止対策について. 植物防疫 60: 93-95.
- Dorn E. Goerlitz G, Heusel R, Stumpf K (1992) Verhalten von Glufosinate-ammonium in der Umwelt-Abbau und Einfluss auf das Oekosystem. Z.Pflanzenkrankh Pflanzenschutz, Sonderheft 13: 459-468
- 後藤純子・伊東芳樹・宍戸貢(2000)水田内におけるヒエ類とアカスジカスミカメによる斑点米との関係. 北日本病虫研報 51: 162-164.
- 後藤純子・樋口博也(2004)宙吊り飛翔法で測定したアカヒゲホソミドリカスミカメの飛翔能力. 応動昆虫 48: 219-224.
- 八谷和彦(1984)捕虫網による水稲害虫のすくい取り効率に関する知見. 北海道立農試集報 51: 73-82.
- 八谷和彦(1985)アカヒゲホソミドリメクラガメの要防除水準. 北海道立農試集報 53: 43-49.
- 八谷和彦(1998)斑点米カメムシ(アカヒゲホソミドリメクラガメ)の研究と対策. 第3回農林害虫防除研究会報告-茨城大会- 50-59.
- 八谷和彦(1999)アカヒゲホソミドリメクラガメの水田への侵入と発生予測. 植物防疫 53: 268-272.
- 浜名光衛(1987)高冷地における水稲の割れ籾と着色米の発生に関する研究. 福島農試研報 26: 22-31.
- 橋本庸三・春木保(1988)アカヒゲホソミドリメクラガメの防除時期について. 北日本病虫研報 39: 170-172.
- 林英明(1986)アカスジメクラガメの生態と防除. 植物防疫 40: 321-326.
- 林英明(1997)斑点米カメムシ発生相の変遷と防除対策. 植物防疫 51: 455-461.
- 本田浩央・遠藤秀一・渡辺和弘・阿部雄幸・永峰淳(2001)山形県における斑点米カメムシ類の多発生と防除対策. 1. 発生の特徴と多発生要因. 北日本病虫研報 52: 149-153.
- 星野康人・鈴木龍栄門・長谷川春雄・本間睦夫・円山実(1991)畦畔除草剤と殺虫剤による斑点米の発生防止試験. 北陸病虫研報 39: 63-65.
- 飯村茂之(1992)斑点米を発生させるアカスジメクラガメの寄主選好性. 東北農業研究 45: 101-102.
- 井上寿(1974)アカヒゲホソミドリメクラガメに対する各種殺虫剤の防除効果について. 北日本病虫研報 25: 55.
- 井上寿(1975)アカヒゲホソミドリメクラガメに対する各種殺虫剤の防除効果について(追補). 北日本病虫研報 26: 81.
- 石川浩司・田中太一・駒形健二・関正利(1995)農道畦畔の除草と殺虫剤散布による斑点米の発生防止. 北陸病虫研報 43: 13-16.
- 石本万寿広(2005)アカヒゲホソミドリカスミカメに対する薬剤散布適期. 北陸病虫研報 54: 29-38.
- 石岡将樹・木村利幸・木村勇司(2000)1999年に青森県で多発した斑点米. 2. アカヒゲホソミドリカスミカメの多発に影響した気象要因と斑点米発生の特徴. 北日本病虫研報 51: 158-161.
- 岩田俊一・葭原敏夫(1976)斑点米を発生させるカメムシ類-全国アンケート調査より-. 植物防疫 30: 127-132.
- 柿崎昌志(1997)アカヒゲホソミドリメクラガメのスズメノカタビラによる簡易継代飼育. 北日本病虫研報 48: 156-158.
- Kakizaki M, Sugie H.(1997) Attraction of males to females in the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium*. Kirkaldy(Hemiptera:Miridae).Appl.Entomol.Zool. 32: 648-651.
- Kakizaki M, Sugie H. (2001) Identification of female sex pheromone of the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium*. J. Chem. Ecol. 27: 2447-2458.
- 河辺信雄(1972)アカヒゲホソミドリメクラガメによる斑点米および芽ぐされ米の発生について. 北日本病虫研報 23: 134.
- 菊地淳志・小林徹也(2002)イネ科秋雑草におけるアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の餌植物選好性. 北日本病虫研報 53: 176-177.
- 菊池敦志・小林徹也(2003)イネ科春雑草とイタリアンライグラスにおけるアカヒゲホソミドリカスミカメ成虫の餌植物選好性. 北日本病虫研報 54: 113-114.
- 菊地淳志・石岡将樹・小林徹也(2004)アカヒゲホソミドリカスミカメの飛翔に及ぼす各種要因 第1報 羽化後日齢の影響. 北日本病虫研報 55: 140-142.
- 菊地淳志・小林徹也(2005)斑点米カメムシ対策としての畦畔・農道除草. 農業および園芸 80: 15-22.
- 桐谷圭治(2001)昆虫と気象 177pp、成山堂、東京.
- 黒蝕米対策研究班(1975)北海道における黒蝕米に関する研究. 北農 42: 1-90.
- 河野幹幸・武藤利郎(1961)岐阜県において黒変米の原因となるカメムシ類について. 植物防疫 15: 447-451.
- 京谷薫(2003)水稲の割れ籾を軽減する追肥診断と発生の推定法. 実用化できる試験研究成果、秋田県農林水産技術開発推進会議 pp. 87-88
- 米沢悟・佐藤宏朗・新山徳光・沓澤朋広(2005)近年の秋田県における割れ籾と斑点米との関係. 北日本病虫研報 56: 99-101.
- 松島省三(1959)稲作の理論と技術-収量成立の理論と応用-. 養賢堂、東京. 302pp.

- 松崎卓志 (2001) 富山県における斑点米カメムシ類の防除対策. 植物防疫 55 : 451-454.
- 森田敏・松葉捷也 (1993) 水稻登熟期の昼夜別高温処理が玄米の粒重、粒径および品質に及ぼす影響. 日作紀 62 (別2) : 30.
- 中筋房夫 (1973). 稲穂を加害するカメムシ類の発生の特徴と要防除密度. 植物防疫 27 : 372-378.
- 新山徳光 (2000) 特集: 1999 年の斑点米カメムシ類の多発生 [1] アカヒゲホソミドリカスミカメ. 植物防疫 54 : 309-312.
- 新山徳光・飯富暁康 (1999) 平成 11 年度一般委託試験成績 (Ⅱ 東北地域) 殺虫剤関係. 日本植物防疫協会、東京. pp. 1-2.
- 新山徳光・飯富暁康 (2000) 平成 12 年度一般委託試験成績 (Ⅱ 東北地域) 殺虫剤関係. 日本植物防疫協会、東京. pp. 5-6.
- 新山徳光・飯富暁康 (2001) 平成 13 年度一般委託試験成績 (Ⅱ 東北地域) 殺虫剤関係. 日本植物防疫協会、東京. pp. 11-12.
- 日本植物防疫協会 (2005) 農薬ハンドブック 2005 年版 (改訂新版). 日本植物防疫協会、東京. 820pp.
- 佐藤正彦 (1991) 秋田県におけるカメムシ類による斑点米の発生と防除法について. 東北地方におけるカメムシ類の発生と斑点米について、(株) アグロス 仙台 pp. 29-35.
- 高橋雄一 (1948) 農業害虫篇. 養賢堂、東京. 398pp.
- 奥山七郎 (1974a) アカヒゲホソミドリメクラガメの生活史に関する研究第 1 報 発消長について. 北日本病虫研報 25 : 53.
- 奥山七郎 (1974b) アカヒゲホソミドリメクラガメの生活史に関する研究第 2 報 産卵および各態の発育と温度との関係. 北日本病虫研報 25 : 54.
- 奥山七郎 (1982) アカヒゲホソミドリメクラガメの休眠卵誘起と覚醒. 北日本病虫研報 33 : 89-92.
- 奥山七郎・井上寿 (1974) 黒蝨米に関する研究 (2) アカヒゲホソミドリメクラガメの成、幼虫による黒蝨米の発現. 北日本病虫研報 25 : 52.
- 奥山七郎・井上寿 (1975) アカヒゲホソミドリメクラガメの産卵、発育と温湿度との関係. 北海道立農試集報 32 : 45-52.
- 小山淳・城所隆 (2003) 水田内のクモ類、アカネ属トンボ幼虫およびユスリカ類成・幼虫に対する水稻初期害虫防除の影響. 北日本病虫研報 54 : 123-125.
- 尾崎幸三郎・斎藤哲夫 (1981) 農薬実験法 1. 殺虫剤編 (深見順一ほか編)、東京: ソフトサイエンス社、p. 63-102.
- 清水喜一 (1997) 植物防疫基礎講座 農業害虫および天敵昆虫等の薬剤感受性検定マニュアル (8) イネ害虫: カメムシ類. 植物防疫 51 : 182-185.
- 田中英樹・高田真・千葉武勝 (2000) 岩手県における斑点米の発生予察法の検討. 北日本病虫研報 51 : 170-174
- 寺本憲之 (2003) 斑点米カメムシ類の個体数抑制を考慮した畦畔管理技術. 滋賀農総セ農試研報 43 : 47-70
- 上野清 (2004) 山形県において斑点米を発生させるカメムシ類の生態と防除に関する研究. 山形農事研報 37 : 53-78.
- 渡邊朋也・樋口博也 (2006) 斑点米カメムシ類の近年の発生と課題. 植物防疫 60 : 201-203.
- Wheeler A.G., Jr Henry T.J. (1985) *Trigonotylus coelestialium* (Heteroptera: Miridae), a pest of small grains: seasonal history, host plants, damage, and description of adult and nymphal stages. Proc. Entomol. Soc. Wash. 87 : 699-713.
- 山代千加子・小嶋昭雄・藤巻雄一 (1996) 畦畔の雑草管理による斑点米の発生抑制効果. 北陸病虫研報 44 : 47-50.
- 安永智秀・高井幹夫・山下泉・川村満・川澤哲夫 (1993) 日本原色カメムシ図鑑. 全国農村教育協会、東京. 380pp.

Abstract

Studies on Ecology and Reduced Pesticide Control to Rice Leaf Bug,*Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy)

Tokumitsu NIIYAMA ¹⁾

(¹⁾ *Agricultural Experiment Station, Akita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center,
Present Address : Akita Plant Protection Office*)

Promotion of agriculture on preservation of the environment, safety of food, and lowering the cost and lightening farmwork are requested by the competition between rice production regions of recent years while maintaining the high grain quality and good eating quality intensely. To promote the rice production with a high additional value, the control system that reduces the spray frequency of the pesticide more than the current state is needed. The occurrence of pecky rice in Akita Prefecture had become much damage by the whole area of the prefecture in 1999, though before in 1998 was not a serious problem excluding a part of frequency area. Then, key species of bugs causing pecky rice in 1999 were investigated and analyzed as the actual conditions of pecky rice damage, and the population occurrences of stinkbugs were clarified. Moreover, it examined it for the establishment of control technology that the factor taking part in the occurrence of pecky rice was analyzed, pecky rice damage was reduced, and reduced pesticide cultivation becomes possible.

1. The generation realities of the rice leaf bug (*Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy)) in Akita Prefecture and clarification of reproduction mechanism in rice field

In the farm road, the levee in a local field to which it had gone in 1999, and the sweeping investigation in the rice field, five families 14 species of stinkbugs were captured. It was clarified that the rice leaf bug was a key species that this bug causes pecky rice because it had had the majorities of the number of capture individuals in the farm road, the levee, and the rice field compared with other species.

As for a local field and pecky rice in the round field survey, the side pecky rice made when injured at time advanced by the ripening of the brown rice was extremely abundant. It was suggested that it be important to reduce the number of side pecky rice from this.

The year 1999 when the occurrence of pecky rice damage was high by the whole area of the prefecture was thought that it was the biggest factor that the incidence of the split-hull paddies was high from the result of the multiple regression analysis though was the feature that the normal temperature in August was high, and number of catches of rice leaf bug in the light trap in July is a lot of. The number of the split-hull paddies had the difference between the rice varieties grown on the same condition and bias of distribution were seen in the rice field as for the same varieties. In both cases, a strong correlation was seen between the generation extent of a crack paddy and macula rice. It was difficult for this bug to suck through hard hull, and was thought originating in the injury characteristic from the split-hull paddy. Moreover, the frequent occurrence of pecky rice damage was thought to be related to the factor of the density increment by reproduction of nymphs in the rice field.

It becomes clear that the generation frequency of rice leaf bug is four times a year according to the sweeping investigation of the gramineous weed ground. The peak occurrence time of each adult generation was forecast according to the result of the sweeping investigation and the total effective temperature. As a result, it was indicated that the overwinter generation was the beginning of June, the first generation was the middle of July, the second generation was the middle of August and the third generation was the end of September - the beginning of October.

In the investigation of seasonal prevalence of occurrence in the rice field, the peak occurrence time of adult was observed 3-14 days after the heading time, and the occurrence of adult was hardly observed afterwards. The nymph was observed 20 days after the heading time, and became the peak occurrence time 30 days after the heading time.

The relation between the incidence of the split-hull paddy and the survival rate of the nymphs was examined on the condition of releasing the young nymphs in the rice plant that grew in the pot. As for "Akitakomachi" that the incidence of the split-hull paddy is high, the survival rate of the nymphs was high, and it was suggested that the amount of side pecky rice increase as a result. It was concluded that the pecky rice was formed by hatching nymphs grows up while sucking in the stem and leaf and the split-hull paddy, it originates from adult that invaded rice field was laid in the leaf sheath of the rice plant after heading time.

2.Examination of reduced pesticide control of the main insecticide

It was thought that conventional control method were not enough because much damage resulted from pecky rice in 1999 though the insecticide of 3-4 times was sprayed. Then, to review the control method with main insecticide used in Akita prefecture, basic insecticidal activity and residual effectiveness to this bug were examined. As a result, the extreme residual effectiveness inferiority became clear compared with "ethofenprox" and "fenitrothion" as for "silafuofen". It was thought that the effect of "silafuofen" was insufficient because the comparable result had been obtained for the population that collected from seven points of the prefecture.

Next, the reduced pesticide control system that used the "fenitrothion" was examined. It was said that the application timing of heading date or full heading date and the 7-10 days after that was effective in case of twice application. But, the result of the examination, the control effect height on the 11 days + 25days after heading date became clear. This had the same effect as three times application about the past. Reduced pesticide control that was able surely to prevent damage became possible because it used the insecticide with high effect by this result.

3.Examination of new reduced pesticide control technology

The new reduced pesticide control technology that had not been reported up to now was examined. The control effect of the "neonicotinoid" on folage application is higher than organophosphorus insecticide (fenitrothion) and synthetic pyrethroid insecticide (ethofenprox and silafuofen). Then, reduced pesticide control that applicate once was basic examined by using this. The dinotefuran dust drift-less formulation that was one of the new neonicotinoid was applicated once 12 days after heading time effectively controlled the nymphs compared with twice application of fenitrothion dust drift-less formulation and ethofenprox dust drift-less formulation, and the pecky rice was not admitted at all.

The proper application timing of dinotefuran was investigated. The result of the examination, it was considered that the proper application timing was 10days after heading time.

The practical control effect of the application once using neonicotinoid to this bug was evaluated to a local large field. The control method using dinotefuran dust drift-less formulation was examined on about 30ha scale in the ground application. In the result in 2004, the demonstration fields showed equal to control fields. In the result in 2005, the demonstration fields showed higher effect than control fields that applicated insecticides two times.

The control effect of application of neonicotinoid by using helicopter was investigated. The result showed an extremely high control effect though "clothianidin", a kind of neonicotinoid insecticide, was used in the examination.

The new reduced pesticide control technology was developed with the granule that had not been examined up to now as control materials of stinkbugs.

The three kinds of neonicotinoid, clothianidin, dinotefuran and thiamethoxam, was effective and it was considered that the proper application time of these granules was 10 days after heading time.

The control technology that applied the herbicide in the levee and the farm road as a reduced pesticide control method without insecticide before this bug invaded in the rice field and removed the habitat was developed. It became possible to decrease the population density of this bug from the farm road and the levee by scattering the herbicide once from the end of June to the beginning of July until in the beginning of August when adults invade rice fields. This indicated that pecky rice damage was able to be evaded only by removing the habitat with herbicide.

The ecology of rice leaf bug in Akita Prefecture was clarified and new reduced pesticide control technology was established in this study. It is concluded that it will be possible to contribute to the offer of safe and relief farm products that lowering the cost and the labor saving are aimed at for the producer by spreading such a reduced pesticide control technology in general in the future.

Key Words: Control, Ecology, Pecky rice, Reduced pesticide control, Rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium*

(Bull. AKITA Agric. Exp. Stn. , 49, 147-180, 2009)

大玉スイカ新品種‘あきた夏丸’の育成とその特性

椿信一・檜森靖則¹⁾・佐藤孝夫

抄 録

‘あきた夏丸’は秋田県農林水産技術センター農業試験場において、露地普通栽培に適した赤肉の大玉スイカを目標に、市販F1品種の後代固定系統を組み合わせることで育成したF1品種である。‘あきた夏丸’の果肉は鮮やかな濃赤色で空洞やうろみが発生しにくく、カット販売に適している。また糖度が高く、肉質が硬めでシャリ感が強く、食味も優れている。

キーワード: 赤肉、あきた夏丸、大玉、シャリ感、スイカ、品種育成、F1、良食味、露地普通栽培

目 次

1 緒言	181	6 種子生産	189
2 育成経過	182	7 考察	189
3 品種特性	185	7-1 育種方法と方向性について	189
3-1 主要特性(農試本場)	185	7-2 品種特性について	190
3-2 現地試験での特性	186	7-3 普及と販売について	191
3-3 新規導入品種との比較	188	8 摘要	192
4 栽培上の留意事項	189	引用・参考文献	192
5 普及状況	189	Abstract	194

1 緒 言

秋田県に於けるスイカの栽培面積は536ha（全国都道府県中第6位）、出荷量は13,800 t（同11位）と共に上位にあり（農林水産統計 2007年）、本県は、早春の西南地方から始まるスイカ産地リレーの中で、山形県や長野県とともに盛夏期における主要な産地の一つとして認識されている。県では、売り上げ高が10億円を超え、県産野菜の中心的位置にあるスイカを、野菜生産をけん引するブランド品目の一つに位置づけ、その振興を図っている。

本県での作型は、その立地条件から7月下旬～8月上旬に出荷される露地普通栽培が中心となる。十分な気温と日射量が確保でき、自然状態に近い条件で栽培されるこの作型は、良品質な果実生産の条件を備えているにも関わらず、粗放な栽培管理等が影響し、本県産スイカの市場評価は必ずしも高いものではなかった。また、品種に対する認識が曖昧で、これまでは、種苗メーカーで育成された品種の中から、随時適品種を選定

して対応してきた。しかし、産地間競争が激化する中で、立地条件の優位性だけでなく、品種に対しても差別性を求める声が高まってきている。地域で生まれ、その栽培条件に適したオリジナル品種で独自性をアピールしていくことは、産地間競争に対する重要な戦略の一つと考えられる。

そこで、農業試験場では、オリジナル品種を核とし、平行して栽培方法の改善を進めていくことで、本県産スイカの市場評価が高められると考え、品種開発に取り組んだ。

8年間にわたる育種試験の結果、新品種‘あきた夏丸’の育成及び発表に至った。本品種は1950年代に岐阜農試で育成されて以来、約半世紀ぶりに地方の公的機関で育成された大玉スイカであるとともに、公的機関で品種登録された初の大玉スイカでもある。ここでは‘あきた夏丸’の育成過程とこれまでの試験結果に基づく特性、並びに普及状況について報告する。

¹⁾ 現・社団法人秋田県農業公社

2 育成経過

1) 育種目標

育成にあたって、最初に次の三つの方針を掲げた。第一に成果の普及性を重視し、特殊な形質のスイカではなく、大玉で球形、縞皮、赤肉といった、今日の主流で本県で最も生産量の多いタイプを対象とした。第二に栽培しやすく、本県の気象条件に適応した品種を育成するために、県内で育種選抜を行うこととした。第三に揃いが良く、多くの優良な形質を集積でき、かつ民間種苗メーカーの育成品種とも競える、F1品種を育成することとした。

具体的な育種目標は次の通りである。①本県の主要な作型である露地普通栽培は、疎植で株あたりの着果数を多く必要とするため、玉揃いが良く秀品率が高いこと。②近年、核家族化の進行に伴いカット販売が主流となっているため、空洞果が発生しにくく果肉色が鮮やかこと。③消費者の嗜好変化から、硬めで歯ごたえがあり、糖度が高いこと。④他産地と差別化できる独自性をもつことである。

2) 育成経過

本県にはスイカの在来種は存在しなかったため、素材の導入から育種を開始した。当時、県内の主力品種は、露地普通栽培では収量性の高い‘必勝’（大和農園育成）、整枝栽培では糖度の高い‘甘泉’（丸種育成）であり、それぞれが優れた特性を保持する一方、栽培上の問題点も抱えていた。すなわち、‘必勝’は裂果しやすく、果肉のうるみが散見され、‘甘泉’は二次肥大による果形の乱れが指摘されていた。そのため、それらを補う特性の品種を目指した。

1994～98年の5年間に、市販されていた赤肉系大玉のF1、55品種を導入し、その特性を調査した(第1表)。なお、導入にあたっては、県内普及品種に限らず、素材探索のため、広く全国から品種を収集した。特性調査の結果から、13のF1品種が育種素材として有望と考えられた。

1995年に最初のF2分離を開始し、以後随時F2分離を進め、2000年までにF5世代以上で固定を完了した。育種素材とした13品種の中には、選抜の途中で中止される系統もあり、最終的に8品種から15系統を得た(第2表)。これらの系統については、F1親品種が保持していた優良な特徴を失うことなく、ほぼそのまま固定することができた。世代促進は株間40cm2本仕立て1果どりの地這い栽培で行い、育種の規模はF2世代で15株前後、F3以降は1系統4～5株とした。また試験的な交配組み合わせはF4世代から随時行った。なお、F2分離世代が15株前後と少数であるのは、予備的な試験の結果、市販大玉品種の後代は比較的変異の幅が狭いことが明らかとなっていたため、少数の品種について集中的に取り組むよりも、多くの品種後代を広く浅く手が

けた方が効率的と判断したためである。

第1表 特性調査を行ったスイカ品種のリスト

No.	品種名	育成元	評価 ^z	調査年
1	フィンエースSF	(株)萩原農場	○	1994
2	甘泉	丸種(株)	○	1994
3	紅宝玉	(株)みかど育種農場	○	1995
4	ハニーシャルマン	(株)松井農園		1995
5	夏の訪れ	(株)松井農園	○	1995
6	夏の夢	(株)松井農園	○	1995
7	夏の予感	(株)松井農園		1995
8	吉野	(株)神田育種農場		1995
9	縞無双	(株)神田育種農場		1995
10	縞むすめ	(株)大和農園		1995
11	縞王	(株)大和農園		1995
12	縞美人	(株)大和農園		1995
13	太鼓判	(株)大和農園		1995
14	フィンエース	(株)萩原農場		1995
15	マティ21	(株)萩原農場		1995
16	HL27	(株)稔和		1995
17	大夏	(株)稔和		1995
18	夜空44	(株)稔和		1995
19	NW-023	ナント種苗(株)		1995
20	NW-908	ナント種苗(株)		1995
21	紅咲	ナント種苗(株)		1995
22	紅大	ナント種苗(株)		1995
23	パルナス・クイン	榎原農園		1995
24	パルナス・クイン100	榎原農園		1995
25	ロイヤル甘泉	丸種(株)	○	1995
26	紅泉	東海 ^{シト} (株)		1995
27	鶴の泉	(株)岩倉種苗店	○	1996
28	龍泉	(株)岩倉種苗店		1996
29	縞紅	(株)トーホク		1996
30	MK-W29	(株)みかど育種農場		1996
31	MK-W31	(株)みかど育種農場		1996
32	紅力	(株)みかど育種農場	○	1996
33	日の丸神武	(株)神田育種農場		1996
34	HL57	(株)稔和		1996
35	甘い夏	(株)稔和		1996
36	M-5	協和種苗(株)		1996
37	夏太鼓	協和種苗(株)	○	1996
38	No. 62	タキイ種苗(株)	○	1996
39	夏武輝(HT448)	タキイ種苗(株)	○	1996
40	NW-215	ナント種苗(株)		1996
41	E117	(株)萩原農場		1997
42	HL28	(株)稔和		1997
43	YH-64	(株)稔和		1997
44	YH-69	(株)稔和		1997
45	T-128(No. 5)	タキイ種苗(株)	○	1997
46	T405	東洋農事(株)		1997
47	試交630	東洋農事(株)		1997
48	美龍	東洋農事(株)		1997
49	必勝	(株)大和農園	○	1998
50	HL-28改良系	(株)稔和		1998
51	M-10	協和種苗(株)		1998
52	T-129(No. 46)	タキイ種苗(株)		1998
53	F10612	東洋農事(株)		1998
54	F10618	東洋農事(株)		1998
55	一王H.T	東洋農事(株)		1998

z:○育種素材として利用

第2表 育成系統数と主要特性

No.	素材品種	育成系統数	育成系統名	育成系統の主な特性					
				果皮色	条斑太さ	ブルーム ²	果肉色	果肉硬さ	種子色
1	フィンエースSF	1	H07sFA-1	緑	やや細	+	濃赤	軟	黒茶
2	甘泉	3	H07sKA-1~3	濃緑	太	+	濃赤	軟、硬	黒茶
3	紅宝玉	0							
4	夏の訪れ	5	H08sOT-1~5	濃緑	中	+、-	淡赤	中	縞
5	ロイヤル甘泉	1	H08sRY-1	濃緑	中	+	淡赤	軟	縞
6	鶴の泉	1	H09sIW-1	濃緑	やや太	-	赤	中	黒茶
7	紅力	2	H09sTI-1~2	極濃緑	やや太	++	濃赤	極硬	黒
8	夏太鼓	1	H09sTA-1	緑	やや太	-	やや淡赤	軟	黒
9	夏の夢	0							
10	夏武輝	0							
11	T-128(No. 5)	0							
12	必勝	0							
13	No. 62	1	H11s62-1	緑	やや太	-	やや淡赤	やや軟	縞
	計	15							

Y:果皮表面の蠟状物質 - :無、+ :有、++ :多

固定を完了した後に、育成系統間のF1組み合わせに着手した。スイカでは交配の方向（正逆）はF1の特性に関係しないことが一般的な考え方で、育成15系統からは、単純に組み合わせれば(15×14)÷2=105通りのF1が作出可能であったが、同一素材品種から育成した系統同士は組み合わせないこと、果肉質が軟らかい系統同士は組み合わせないこと、果面にブルーム(果皮表面の蠟状物質)のない系統同士も避けること、種子色が黒くなる組み合わせ(黒色が優性)にすることなどを考慮した結果、2000年の秋冬作で20のF1組み合わせの種子を得た。

2001年から育成F1系統の特性調査と有望系統の絞り込みを行った。2001年に育成全20系統を農試圃場の露地普通栽培と比較し、うち4系統(‘秋試交4号’、‘同交5号’、‘同交7号’、‘同交8号’)については、現地試験の露地普通栽培でも特性調査を行い、果実の揃いや食味から‘秋試交4号’、‘同交5号’を有望と認めた。2002年には現地試験にトンネル移動式栽培を加えて調査を行い、2003年に‘秋試交5号’を最有望と認め、既存品種と比較して優れていると判断して育種を完了した。

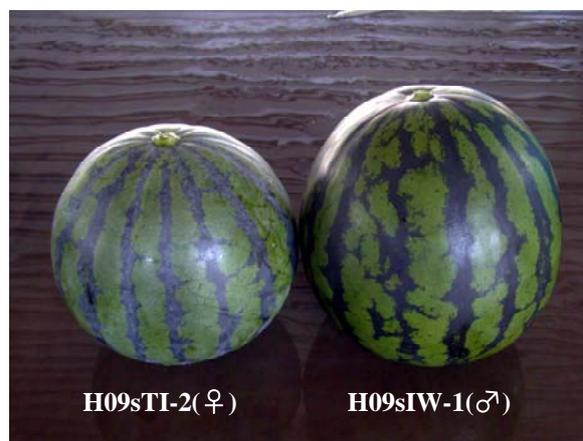
2004年4月に、公募で決定した‘あきた夏日和(なつびより)’の品種名で品種登録の申請を行ったが、途中名称変更命令を受け、次点の‘あきた夏丸(なつまる)’に名称訂正し、2004年10月に出願公表された。2005年7月の出願品種現地調査を経て2007年3月に品種登録された(第15135号)。

F1品種‘あきた夏丸’の親系統の特徴は第1図、第3表、第4表に、その育成経過は第2図に示すとおりである。母本の‘H09sTI-2’は‘紅力’(みかど育種農場

育成)の後代固定系で草勢が強く、葉がやや大きく、果実はやや小さいが濃緑果皮色で、高糖度で果肉色が濃く、果肉質は極めて硬く空洞がほとんどない等、果実品質に優れている。果面には、やや条溝があり、成熟期のブルームは極めて濃く、種子は黒色である。

一方父本の‘H09sIW-1’は‘鶴の泉’(岩倉種苗店育成)の後代固定系で、草勢は中位で葉はやや小さい、果実が大玉で揃いが良い等栽培上の特性に優れている系統で、果皮にブルームがなく、種子は黒茶色である。なお、両親はいずれもシャリ感が強い特性がある。

F1の‘あきた夏丸’は量的な形質である伸長性、草勢、葉の大きさ、果実の大きさ、果皮色、条斑の太さ、糖度、果肉の色(赤味の濃さ)、果肉の硬さ等はほぼ両親の中間であり、質的形質で優性に発現するブルームが果面に強く発生し、種子色は黒色である。



第1図 親系統の果実外観

第3表 親系統の生育特性と果実外部特性 (2001年 育成地)

品種・系統名	伸長性	草勢	葉の大きさ	果実の ^Z 大きさ	果皮色	果皮 ^J ブルーム	条斑太さ	条斑乱れ	果面の条溝
H09sTI - 2 (♀)	強	強	やや大	L	極濃緑	++	やや太	中	浅
H09sIW - 1 (♂)	中	中	やや小	3L	濃緑	-	やや太	やや整	極浅
あきた夏丸 (F1)	やや強	やや強	中	2L	濃緑	++	やや太	やや整	極浅
必勝	やや強	やや弱	やや小	3L	緑	+	中	やや乱	無
貴ひかり	やや強	やや強	やや大	3L	やや濃緑	+	やや太	やや乱	極浅
甘泉	やや強	中	中	4L	やや濃緑	+	太	やや整	極浅

Z: 平均的な果実の大きさ L: 6kg台、2L: 7kg台、3L: 8kg台

J: 果皮表面の蠟状物質 - : 無、+ : 有、++ : 多

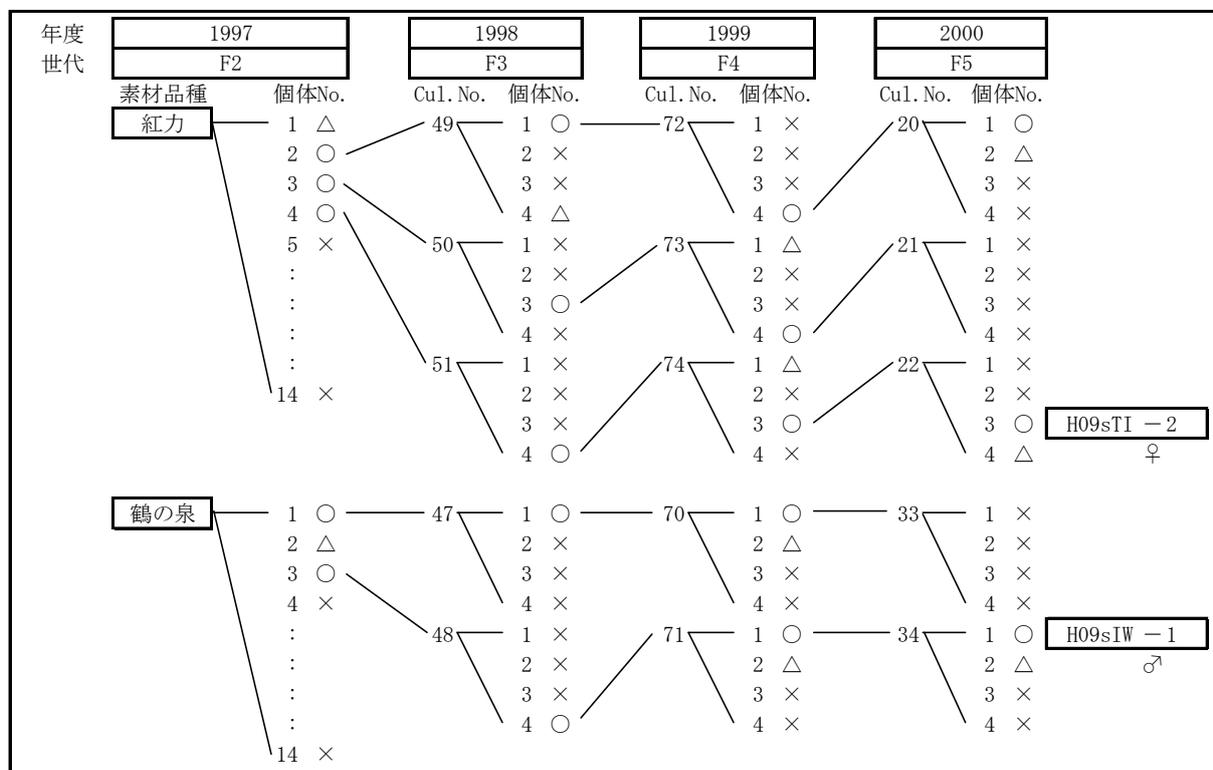
注) 試験規模: 5株/系統 試験場所: 農試露地圃場、非アロフェン質黒ボク土 (秋田市雄和)

耕種概要: 露地普通栽培 栽植様式: 畝幅5m、株間1m、10本整枝5果どり。台木: F R ダントツ 播種: 4月3日、定植: 5月2日、収穫: 7月30日 施肥量(kg/10a); N: P₂O₅: K₂O=13:13:9

第4表 親系統の果実内部特性 (2001年 育成地)

品種・系統名	糖度(Brix%)			果肉			果皮厚さ	種子色
	中心部	皮際部	差	色	空洞	硬さ		
H09sTI - 2 (♀)	12.4	8.2	4.2	濃赤	微少	極硬	やや厚	黒
H09sIW - 1 (♂)	12.3	7.4	4.9	赤	少	中	やや厚	黒茶
あきた夏丸 (F1)	12.3	8.0	4.3	やや濃赤	少	硬	やや厚	黒
必勝	11.9	6.9	5.0	濃赤	無	軟	やや厚	黒
貴ひかり	11.8	7.9	3.8	濃赤	少	硬	中	黒
甘泉	13.8	7.5	6.3	やや淡赤	中	中	中	黒

注) 試験規模、耕種概要は第3表に準ずる



第2図 親系統の育成経過

3 品種特性

3-1 主要特性(農試本場)

育成地での2002年から3年間の調査結果をまとめて示した(第6～8表)。作型は露地普通栽培で、耕種概要は第5表に示すとおりである。対照品種には、当時本県の露地普通栽培の主力品種であった‘必勝’を、また早い作型で用いられていた‘甘泉’については参考品種として調査を行った。

1) 植物体特性

草勢がやや強く、つるは太めで伸長性が強く、節間が長い。葉が大きく、生育は旺盛である。開花期の花粉量は十分に着果は安定している。圃場での裂果は対照品種の‘必勝’と比べて少なく‘甘泉’と同程度である(第6表)。

2) 成熟期

露地普通栽培では開花後44日程度で収穫可能な中生で、‘甘泉’より遅く、‘必勝’より早い。収穫が遅れても変形や肉質の低下が少なく、収穫適期幅が約7日と長く、在圃性が高い(第6表)。

3) 果実外部特性

平均果重が8.2kg程の大玉である。果形はやや腰高の球形で果皮が濃緑色、条斑は太く、条斑の乱れが少なく鮮明である。収穫期のブルームは強く発生する。

玉揃いが良く、変形果の発生は少ない。収穫適期には果面の条溝が他の品種より目立つが、これが収穫期判定の目安の一つとなる。果皮の硬さはやや硬く、花落痕はやや大きい。果面の日焼けは対照の‘必勝’より少ない(第7表、第3図、第4図)。

4) 果実内部特性

糖度は、果肉中心部が12.7%と高いうえ、皮際部も他品種より高く、部位による差が少ないため甘みを強く感じる。果肉色は鮮明な濃赤色で、‘甘泉’で多い空洞や、‘必勝’で見られる「うるみ」が発生せず、切断時の肉割れがほとんどないことからカット販売にも適している。黄帯については対照の‘必勝’より少ないが‘甘泉’より目立つ場合がある。肉質は硬めで歯ごたえがあり、シャリ感が強く食味が優れている。日持ち性は高く、シャリ感が収穫後10日程度持続する。果皮はやや厚く、種子の色は黒く、種子数は多く1果あたり700粒以上である(第8表、第4図)。

5) 病害抵抗性

本品種の育成にあたっては特定の病害に対する抵抗性は考慮しておらず、一般の市販スイカと同様につる割病、炭疽病に対する抵抗性は保持していない、そのため、既存品種と同様に、薬剤散布による予防を、また連作の場合は接ぎ木を必要とする。

第5表 特性調査の耕種概要

試験年度	作型	畝幅 (m)	株間 (m)	整枝方法	栽植密度 (株/10a)	台木 ^Z 品種	播種日 (月/日)	定植日 (月/日)	収穫日 (月/日)	施肥量		
										N (kg/a)	P ₂ O ₅ (kg/a)	K ₂ O (kg/a)
2002	露地普通	5	1	10本整枝5果どり	200	ドンK	3/27	4/24	7/29	11	13	7
2003	露地普通	5	1	10本整枝5果どり	200	ドンK	4/1	5/6	8/1	13	15	8
2004	露地普通	5	1	10本整枝5果どり	200	ドンK	4/2	5/6	8/3	10	10	5

Z: 台木に使用したユウガオ品種

注) 試験場所: 農試露地圃場、非アロフェン質黒ボク土(秋田市雄和)

第6表 植物体特性と成熟日数(2002～2004年、育成地)

品種名	草勢	主づる長さ (cm)	主づる太さ (mm)	節間長 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	開花時花粉量	着果性	裂果数/株 (個)	成熟日数 (日)	収穫適期幅 (日)
あきた夏丸	やや強	436	5.3	10.4	25.5	22.0	中	良	0.4	44	7
必勝(対照)	やや弱	362	4.9	7.9	21.0	15.5	中	良	0.7	46	4
甘泉(参考)	やや弱	388	5.6	9.5	23.0	16.0	多	良	0.5	41	4

注) 主要な植物体特性は収穫時に調査した値

第7表 果実外部特性(2002～2004年、育成地)

品種名	果重 (kg)	果高 (cm)	果径 (cm)	縦横比	果皮色	条斑太さ	条斑乱れ	果皮 ^Z ブルーム	玉揃い	変形	果面 条溝	果皮 硬さ	花落痕 (cm)	果面の 日焼け
あきた夏丸	8.2	26.1	24.4	1.07	濃緑	太	少	++	良	少	極浅	やや硬	1.6	少
必勝(対照)	8.3	25.0	25.4	0.98	緑	中	少	+	良	少	平滑	中	1.4	中
甘泉(参考)	7.9	24.7	23.7	1.04	やや濃緑	太	少	+	中	中	平滑	軟	1.2	少

Z: 果皮表面の皸状物質 - : 無、+ : 有、++ : 多

第8表 果実内部特性 (2002～2004年、育成地)

品種名	糖度(Brix)			果肉							日持 ^V ち性	果皮 厚さ (cm)	種子 色	種子 数 (粒/果)
	中心部 (%)	皮際部 (%)	差 (%)	色	空洞 ^Z	うるみ ^Y	黄帯	硬度 ^X (kg)	硬さ	シャリ感 ^W				
あきた夏丸	12.7	9.7	2.9	鮮濃赤	0.0	0.0	やや多	0.32	硬	強	良	1.3	黒	741
必勝 (対照)	12.2	8.8	3.4	濃桃赤	0.0	0.2	多	0.22	軟	強	中	1.3	黒	592
甘泉 (参考)	12.8	9.2	3.6	濃赤	3.0	0.0	少	0.24	やや軟	弱	中	1.2	黒	645

Z空洞:程度を0(無)、1(微)～5(甚)とした5果の平均値。Yうるみ:肉質が水浸状になる現象、程度を0(無)、1(微)～5(甚)とした5果の平均値。X硬度:直径5mmの円柱形プランジャーを使用。Wシャリ:シャリシャリとした歯触りの程度。V日持ち性:収穫後室温での適食期間で表し、悪(収穫から5日程度)、中(収穫から7日程度)、良(収穫から10日程度)とした。

第3図 ‘あきた夏丸’の栽培状況
(トンネル移動式栽培)

第4図 ‘あきた夏丸’の果実

3-2 現地試験での特性

2001年は横手市雄物川町の露地普通栽培で現地試験を行った。2002年には前年に引き続いて雄物川町で露地普通栽培で試験を行うとともに、横手市平鹿町では、より早い作型のトンネル移動式栽培でも試験を行った。耕種概要は第9表に、結果は第10～13表に示した。

1) 2001年の結果

露地普通栽培(雄物川町)では、対照の‘貴ひかり’ (萩原農場育成)と同様に草勢はやや強かったが、つるぼけにはならず、着果は良好であった。平均果重は6kgとやや小さかったが、果皮色が濃く条斑も太めで、変形が少なく果実外観評価は非常に優れていた(第10表)。糖度は果実中心部、皮際部ともに対照の‘貴ひかり’より高く、果肉色も濃く、硬めの肉質で空洞が少なく、食味も良好で、果実内部の評価でも‘貴ひかり’より優れ、総合評価でも非常に優れていた(第11表)。

2) 2002年の結果

露地普通栽培(雄物川町)では、草勢はやや強めであったが着果は良好であった。平均果重は8.0kgと大玉で、太い条斑の濃緑果皮色で、外観が非常に優れてい

たが、花落ち部分が平均2cmとやや大きかった(第12表)。糖度は対照の‘必勝’よりやや低かったが11%以上と十分で、果肉色は濃く、やや硬めの肉質で、対照品種の‘必勝’と同様にシャリ感が強く食味が優れ、総合評価でも非常に優れていた(第13表)。

トンネル移動式栽培(平鹿町)でも同様に草勢はやや強めであったが着果は良好で、対照の‘貴ひかり’より大玉で果皮色が濃く、外観が優れていた(第12表)。糖度は対照の‘貴ひかり’と同等に高く、果肉色は濃赤色であった。果肉の硬さは‘貴ひかり’と同様にやや硬かったが、シャリ感が強く、食味評価は‘貴ひかり’より高く、総合評価でも非常に優れていた(第13表)。

3) 総合

2年間の現地試験の結果からは、トンネル移動式栽培から露地栽培に共通して、「草勢はやや強めであるが着果が良い」、「果実は大玉で条斑が太く、果皮色が濃い、変形が少なく、裂果も見られないことから外観に優れる」、「糖度が高く、果肉色も濃く、やや硬めの肉質であるがシャリ感に優れ、食味も良い」という高い評価を得た。

大玉スイカ新品種‘あきた夏丸’の育成とその特性

第9表 現地試験の耕種概要

試験場所	試験年度	作型	畝幅 (m)	株間 (m)	整枝方法	栽植密度 (株/10a)	台木 ^Z 品種	播種日 (月/日)	定植日 (月/日)	収穫日 (月/日)	施肥量		
											N (kg/a)	P ₂ O ₅ (kg/a)	K ₂ O (kg/a)
横手市	2001	露地普通	5	1	10本整枝5果どり	200	FR ² ントツ	3/19	4/24	7/25	9	12	8
雄物川町	2002	露地普通	5	1	10本整枝5果どり	200	FR ² ントツ	3/18	4/20	7/26	9	12	8
横手市平鹿町	2002	トンネル移動式	5	0.9	7本整枝3果どり	200	ト ² ンK	3/1	4/6	7/18	12	18	12

Z: 台木に使用したユウガオ品種

第10表 現地試験の植物体特性と果実外部特性 (2001年)

品種名	草勢	着果性	果重 (kg)	果形	果皮色	条斑の太さ	玉揃い	変形	外観評価
あきた夏丸	やや強	良	6.0	整円形	濃緑	やや太	良	やや少	◎
貴ひかり(対照)	やや強	良	6.3	整円形	やや濃緑	やや太	極良	少	◎

注) 作型は露地普通栽培、評価は市販スイカ一般を対照としての評価: ◎ (非常に優)、○ (優)、△ (同等、再検討)、× (劣)

第11表 現地試験の果実内部特性と総合評価 (2001年)

品種名	糖度(Brix)			果肉			食味	果皮厚さ	種子色	熟期	内容評価	総合評価
	中心部 (%)	皮際部 (%)	差 (%)	色	空洞	硬さ						
あきた夏丸	12.6	10.0	2.6	濃赤	微少	やや硬	やや良	やや厚	黒	中	◎	◎
貴ひかり(対照)	11.6	9.2	2.4	赤	やや多	やや硬	中	中	黒	やや早生	△	○

注) 作型は露地普通栽培、評価は市販スイカ一般を対照としての評価: ◎ (非常に優)、○ (優)、△ (同等、再検討)、× (劣)

第12表 現地試験の植物体特性と果実外部特性 (2002年)

栽培方法	品種名	草勢	着果性	果重 (kg)	果高 (cm)	果径 (cm)	縦/横比	果皮色	条斑太さ	花落痕	外観評価
	あきた夏丸	やや強	良	8.0	24.2	24.8	0.98	濃緑	太	2.0	◎
露地普通	必勝(対照)	やや強	良	7.9	23.9	24.6	0.97	緑	中	1.5	◎
	夏の陣(参考)	やや弱	やや不良	7.2	24.0	23.9	1.01	濃緑	極太	1.6	△
トンネル	あきた夏丸	やや強	良	9.3	25.3	26.1	0.97	濃緑	太	1.8	◎
移動式	貴ひかり(対照)	やや強	良	8.3	25.1	24.8	1.01	やや濃緑	太	1.7	○

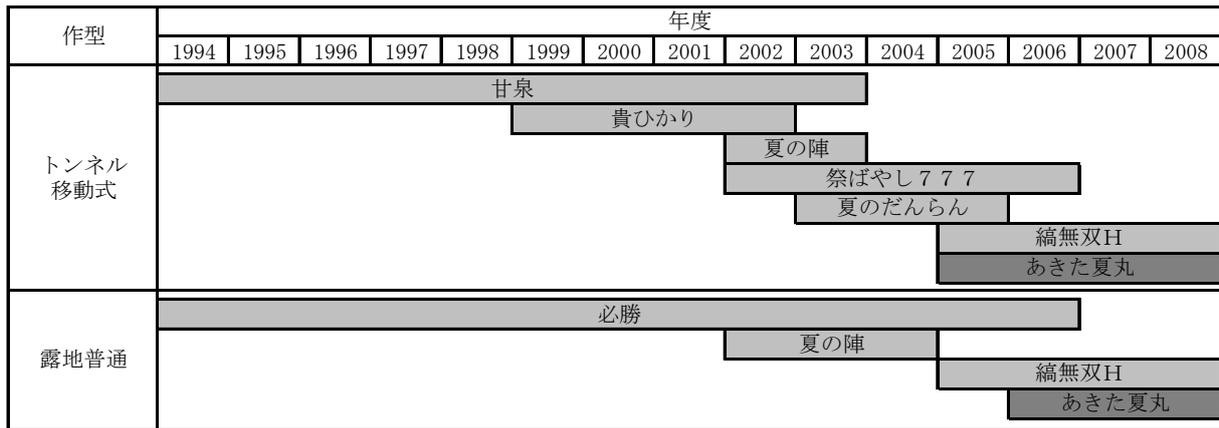
注) 評価は市販スイカ一般を対照としての評価: ◎ (非常に優)、○ (優)、△ (同等、再検討)、× (劣)

第13表 現地試験の果実内部特性と総合評価 (2002年)

栽培方法	品種名	糖度(Brix)			果肉				熟期	果皮厚さ (cm)	食味	内容評価	総合評価		
		中心部 (%)	皮際部 (%)	差 (%)	色	空洞 ^Z	黄帯	硬さ						水分シャリ感	
	あきた夏丸	11.8	8.8	3.0	濃赤	0.0	中	やや硬	多	やや強	中	1.4	○	○	◎
露地普通	必勝(対照)	12.7	8.7	4.0	濃桃赤	0.0	やや少	やや軟	多	やや強	やや早	1.7	◎	○	◎
	夏の陣(参考)	11.7	8.9	2.8	濃赤	0.0	やや少	やや硬	多	やや弱	中	1.4	△	△	△
トンネル	あきた夏丸	12.7	9.0	3.7	濃赤	1.0	中	やや硬	中	強	やや晩	1.5	◎	◎	◎
移動式	貴ひかり(対照)	12.5	9.7	2.8	濃朱赤	0.8	やや少	やや硬	中	弱	やや早	1.4	○	○	○

Z空洞: 程度を0(無)、1(微)~5(甚)とした5果の平均値。

注) 評価は市販スイカ一般を対照としての評価: ◎ (非常に優)、○ (優)、△ (同等、再検討)、× (劣)



第5図 秋田県における大玉スイカ主要品種の変遷

3-3 新規導入品種との比較

‘あきた夏丸’の発表に前後して県内に導入された品種には‘貴ひかり’(萩原農場育成)、『夏の陣’(丸種育成)、『祭ばやし777’(萩原農場育成)、『夏のだんらん’(萩原農場育成)、『縞無双H’(神田育種農場育成)等がある(第5図)。中でも‘縞無双H’は果肉が硬く、変形や空洞が少なく日持ちが良いことから、全国に広く栽培され、県内でも面積を拡大しつつあったため、『あきた夏丸’との特性比較調査を行った。耕種概要は第14表に示すとおりである。

1) 植物体特性と成熟期

‘縞無双H’と比較して‘あきた夏丸’の草勢がやや強く、主づるはやや太く、節間長がやや長い。葉の大きさもやや大きい。着果は、弱勢の‘縞無双H’に及ばないものの‘あきた夏丸’でも良好である。成熟日数は‘縞無双H’の方が約2日程早い。両品種ともに二次肥大が少なく収穫適期幅は7日と広い(第15表)。

2) 果実特性

平均果重は‘縞無双H’より大きく、果皮色は‘あきた夏丸’が濃い。条斑は‘縞無双H’が‘あきた夏丸’よりさらに太い。収穫期に於ける果皮ブルームは‘あきた夏丸’の方が強く発生する。両品種とも玉揃いが良いが、果面については‘縞無双H’の方が滑らかである(第16表)。糖度は‘あきた夏丸’がやや高く、特に皮際との糖度差が少ない。果肉色は‘あきた夏丸’が濃く、黄帯は‘あきた夏丸’の方が目立つ場合が多い。空洞、うるみ、硬さやシャリ感、日持ち性は同程度である。果皮の厚さは‘あきた夏丸’の方が厚い(第17表)。

3) 総合

‘あきた夏丸’は‘縞無双H’と比較して草勢が強めで、茎葉が順調に生育するため、果重が大きく収量が多い。また、生育が旺盛でも着果不良とはなりにくい。果実は‘縞無双H’と比べ大果で果皮色、果肉色共に濃く、糖度が高いという、優れた特性を保持していることがわかった。

第14表 耕種概要

試験年度	作型	畝幅 (m)	株間 (m)	整枝方法	栽植密度 (株/10a)	台木 ^Z 品種	播種日 (月/日)	定植日 (月/日)	収穫日 (月/日)	施肥量		
										N (kg/a)	P ₂ O ₅ (kg/a)	K ₂ O (kg/a)
2005	露地普通	5	1	10本整枝5果どり	200	ドンK	4/5	5/9	8/3	13	17	10
2006	露地普通	5	1	10本整枝5果どり	200	ドンK	4/7	5/8	8/3	13	17	10
2007	露地普通(改良型)	5	0.9	9本整枝4果どり	222	ドンK	4/1	5/8	8/3	13	17	10
2008	露地普通(改良型)	5	0.9	6本整枝3果どり	333	ドンK	3/31	5/7	8/7	13	17	10

Z: 台木に使用したユウガオ品種

注) 従来の露地普通栽培では、子づる、孫づる合わせて整枝していたのに対して、改良型は子づるのみで整枝するところが異なる。

第15表 植物体特性と成熟日数(2005~2008年、育成地)

品種名	草勢	主づる長さ	主づる太さ	節間長	葉の大きさ	開花時花粉量	着果性	成熟日数(日)	収穫適期幅(日)
あきた夏丸	やや強	やや長	やや太	やや長	やや大	中	良	44	7
縞無双H(対照)	やや弱	中	中	中	中	中	極良	42	7

注) 主要な植物体特性は収穫時に調査

第16表 果実外部特性 (2005~2008年、育成地)

品種名	果重 (kg)	果高 (cm)	果径 (cm)	縦横 比	果皮 色	条斑 太さ	条斑 乱れ	果皮 ^Z ブルーム	玉揃 い	変 形	果面 条溝	果皮 硬さ	果面の 日焼け
あきた夏丸	8.5	26.6	25.6	1.04	濃緑	太	中	++	良	少	極浅	やや硬	少
縞無双H (対照)	8.1	25.8	25.0	1.03	緑	極太	少	+	良	少	平滑	中	少

Z:果皮表面の蠟状物質 -:無、+:有、++:多

第17表 果実内部特性 (2005~2008年、育成地)

品種名	糖度(Brix)			果肉						日持 ^F ち性	果皮 厚さ (cm)	種子 色	
	中心部 (%)	皮際部 (%)	差 (%)	色	空洞 ^Z	うるみ ^Y	黄帯	硬度 ^X (kg)	硬さ				シャリ感 ^W
あきた夏丸	12.3	10.3	2.0	鮮濃赤	0.3	0.0	やや多	0.26	やや硬	強	良	1.5	黒
縞無双H (対照)	12.0	9.6	2.4	赤	0.3	0.0	少	0.26	やや硬	強	良	1.3	黒

Z空洞:程度を0(無)、1(微)~5(甚)とした5果の平均値。Yうるみ:肉質が水浸状になる現象、程度を0(無)、1(微)~5(甚)とした5果の平均値。X硬度:直径5mmの円柱形プランジャーを使用。Wシャリ:シャリシャリとした歯触りの程度。V日持ち性:収穫後室温での適食期間で表し、悪(収穫から5日程度)、中(収穫から7日程度)、良(収穫から10日程度)とした。

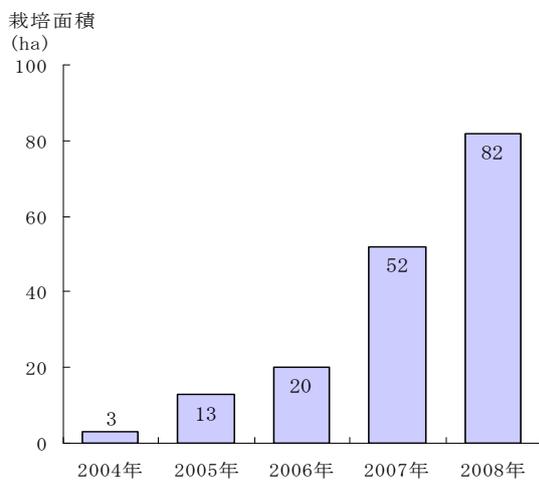
4 栽培上の留意事項

栽培適応地域は県内一円である。着果が安定していることや伸長性も良好であることから、露地普通栽培の他に、より早い作型の整枝栽培、トンネル移動式栽培にも適する。

草勢がやや強いことから、基肥施肥量は慣行より減らす。また、着果後につるの伸長が止まるため、追肥は慣行と同等とする。なお、台木は弱勢台木を使用する。

5 普及状況

2004年には、市場評価を確認するために県内の主要な産地である県南部の「JAおものがわ」、「JA秋田ふるさと」管内約3haで、平鹿総合農林事務所普及課の協力のもと、試験的栽培を実施した。その結果、「着果が容易で収量が多く作りやすい」と好評であり、また市場関係者からも、「シャリ感が強く食味が良い、カット販売に適して店持ちが良い」との高評価を得た。2005年から一般に種子を販売し、2006年は20ha、2007年は52ha、2008年は82haとその栽培面積は年々拡大している(第6図)。



第6図 ‘あきた夏丸’の栽培面積の推移

6 種子生産

スイカを初めとした野菜種子は、品種や系統により、採種量や充実度合い等、採種効率が大きく異なる場合がある。そのため、F1品種の採種を行う場合、親のどちらを母本とするかが重要となってくる。‘あきた夏丸’の場合、組み合わせ初期の段階では、果皮にブルーム(単因子優性で発現)を持たない‘H09sIW-1’を母本とした方がF1の交配純度検定が容易であると考えたが、実際は‘H09sIW-1’を母本とした場合、発芽揃いが劣り、奇形種子も散見したため、発芽が揃い易い‘H09sTI-2’を母本として使用することとした。なお、通常、スイカは単性花であるが、系統によっては両性花が発生しやすい場合がある。両性花はF1採種のうへでは除雄の労力がかかるため、‘あきた夏丸’の育成過程で両性花の発生しやすい系統は淘汰しており、採種は容易である。

‘あきた夏丸’の親系統の維持は農業試験場が、販売用種子の生産は許諾先である(社)秋田県農業公社が行っている。母本5株に対して父本1株を配置し、熟練した技術者が交配前日の袋かけ、交配直後の袋かけを徹底することにより、純度が高く無病の、しかも県内産にこだわった種子採種を実践している。採種後の薬剤処理は行わずに、70℃、3日間の乾熱処理による消毒を行い、発芽率を確認してから袋詰めして出荷している。種子出荷量も栽培面積の拡大に比例して増加しており、2008年には893袋(200粒/袋)となっている。

7 考察

7-1 育種方法と方向性について

我が国における計画的なスイカ育種の歴史は、今から約80年程前の奈良農試と千葉農試の業績にさかのぼることができる。奈良農試は、1923年に県内在来の“大和スイカ”(雑ばくな個体群)の中から優良系統の純系淘汰を開始し、1926年に‘大和2~4号’を育成し、さらに1928年には‘大和3号’にアメリカ導入の‘甘

露’を人工交配し、初のF1品種‘新大和’を育成した。続いて‘新大和’の後代固定に着手し、1933年には固定種の‘新大和1号’、‘旭大和’を矢継ぎ早に育成した(久富時男 1995)。また、千葉農試でも同様の素材(‘大和スイカ’、‘甘露’)から、1930~1939年にかけて固定種‘都1号’、‘都2号’、‘都3号’を育成し、普及を図っている(宇田川雄二 1985)。この一連の両農試における育種成果からは、現在のスイカ育種のあり方について、次に挙げるような、実に多くの示唆を得ることができ、これは‘あきた夏丸’の育成過程に大きな影響を及ぼした。

第一に挙げられるのが、オリジナル品種の有効性である。大正期に、奈良県で自然交雑から生まれた“大和スイカ”は、その品質が優れていることから、それまで各地に存在した在来種を駆逐し、全国の市場を独占するほど栽培面積が激増した。しかし県外にも“大和スイカ”の栽培が広がるにつれて、奈良県は新興産地との間で激しい産地間競争を強いられることとなり、その状況を打開するために育成されたのが前述の‘大和2~4号’である。この優良品種によって、奈良県は他産地に対して品質面で優位性を確保することができたとされる。このように、産地間競争に対する手段の一つとして、優良品種の育成が効果的であった事実は‘あきた夏丸’育成の背景の一つとなっている。

第二に注目すべきはF1品種の有利性である。前述のように‘大和2~4号’で一時的に優位性を確保した奈良県であったが、固定種であるがゆえに、他府県へ種子の流出が進み、新たな対策が求められた。そこで考えられたのが、当時の最新技術、F1化であった。その結果育成されたF1品種‘新大和’は、実用品種として初めて成果をあげた野菜のF1品種として記録されることとなった。F1化によって品種の保護が可能となり、奈良県産の優位性を長期にわたって維持することができたのである。‘あきた夏丸’の育成にあたってF1品種にこだわった理由の一つがここにあり、品種登録制度と組み合わせると本県産スイカの独自性が長く維持されることが期待できる。またF1の利点の一つに「優良形質の集積」があることも忘れてはならない。F1品種‘新大和’は栽培が容易であるのに加えて、「既存品種には類なき高尚なる風味を持つ・・・」と絶賛されるほど市場評価が高く、他品種の1.5~2倍の収益をあげたことが記録に残っている(久富時男 1995)。すなわち、F1化によって従来の作りやすい‘大和3号’と、新たに見いだされた食味の良い‘甘露’という2つの品種に分散していた優良形質を、長期間の歳月を要する固定化の過程を経ずに、わずか1年(1回の交配)で1つに集積して実用化されたことは、厳しい育種競争の中で、短期間で高い効果をあげた点で注目し得る。

第三に挙げられるのは、F1品種と固定系統の相互関

係である。F1品種‘新大和’の育成直後に、育成者自らその後代固定に着手し、F1の特性をそのまま保持した固定系統‘新大和1号’の育成に成功した。F1品種の後代から育成された固定品種は次のF1品種の素材となり、それを繰り返すことによって次々と優良形質が集積される。我が国のスイカが今日世界最高レベルの品質を誇っているのは、今までの育種努力による優良形質の集積の結果である。現在でも、F1品種は素材としては活用されており、今日まで多くの種苗メーカーのF1品種育成に結びついている。‘あきた夏丸’の育成に当たって、はじめに市販F1品種の後代固定に取り組んだのは、このような歴史的背景から学んだものであり、我が国のスイカ品種改良の歴史の一部に‘あきた夏丸’が位置し、また、‘あきた夏丸’を育種素材として、より優れた品種が育成されることをなによりも期待したい。

最後に挙げられるのは、地域で育種する意義である。すなわち前述のように、奈良農試の大和系と同時期に、千葉農試で同一素材から都系スイカが育成されたが、両者の特性は大きく異なるものであった。関東の火山灰台地で育成された都系品種群は、乾燥した台地でも良く成長する性質を有し、軽い土質でも重厚な食味を發揮する。しかし、奈良県のような重粘土地帯では草勢が強くて糖度が上がらず、果肉が硬くなりすぎる特徴があった。そのため奈良農試育成の大和系品種は水田用品種として主に関西へ、千葉農試育成品種は台地用品種として関東地方の主要品種として広く普及していったとされている(森田欽一 1983)。このようにスイカの草勢や食味は栽培条件、特に土壌条件にかなり左右されることが知られており、同一素材を用いても育成される品種は必ず地域性を身につけてくる。県で育成されたからこそ‘あきた夏丸’は本県に適して作りやすく、環境適応性が高い特性を保持していると考えられる。

7-2 品種特性について

‘あきた夏丸’の草姿は、茎が太く葉も大きいため、生育が旺盛である。スイカは野菜の中でも栽培が難しい作物の一つといわれており、その理由の一つに、栽培期間中に、栄養生長から生殖生長への切り替えをおこなう必要があることが挙げられる。本来スイカは施肥量に敏感に反応し、多肥では生育旺盛だが着果不良になり、少肥では着果が良好でも茎葉が茂らず、収量が上がらないことから、追肥等で草勢を調節するのが一般的であった。しかし品種改良により、近年の品種(‘必勝’や‘縞無双H’等)は草勢が弱く、肥料に対して鈍感となるように改良され、多肥条件の下ではその特性を發揮して栽培しやすい。しかし使われずに圃場に残留する肥料成分が多く、経営的、環境的にも負担をかけている点が指摘されていた。これに対して

‘あきた夏丸’は少肥でも比較的生育が旺盛である。これは品種の基本的な特性であり、着果不良となることもほとんどない。そのため既存品種より少なめの施肥量でも栽培が容易となっている。また、‘あきた夏丸’は、乾燥条件下でも十分に茎葉が茂るため、収量は他品種より上がりやすく、収量の年次変動が他品種より少ない。

‘あきた夏丸’の果実外観は、果皮色が濃く、縞(条斑)が太く力強い。縞の太さは近年の市販品種と同程度で特段に目立つ特性ではないが、果皮色は県内に流通している他の市販品種にはない濃緑色で、完熟をイメージできる。また、収穫期が近づくと果面に白いブルームが非常に強く発現することも特徴の一つである。このブルームは収穫の目安となる他、収穫期の強い日差しによる日焼けを防ぐ効果がある。収穫期の‘あきた夏丸’の果面を指でなぞるとわずかながら凸凹を感じ、これは‘必勝’や‘縞無双H’には見られない特徴である。当初、この特徴は果肉の空洞との関係が危惧されたが、実際には、果肉の空洞とは無関係であることが明らかとなり、完熟収穫の目安にもなる(条溝と成熟の進み具合については未調査)こと、消費者は微細な条溝を全く気にしないことが判明し、出荷時の等級区分を見直すことで問題が解決されている。

‘あきた夏丸’の果重については、着果数を調整すれば10kg以上の果実を生産できるが、元来、露地普通栽培で玉揃いが良いことを目標に育成した品種であるため、着果数を制限しない場合は7kg～8kg台が中心で10kg以上の大玉になる場合はほとんどなく、大玉品種の中では果数型品種といえる。一方‘必勝’や‘縞無双H’は露地普通栽培であっても、一部の果実は容易に10kg以上となる果重型品種であり、玉揃いの面では‘あきた夏丸’が優れている。なお、‘あきた夏丸’で果重9kg以上となると果肉に黄帯が目立つ場合があるため、7～8kg程度の適正果重になるような栽培を行う必要がある。

‘あきた夏丸’の果肉は硬めでシャリ感が強く糖度が高いが、これは現代の嗜好に適合した特性である。1960年代(昭和30年代後半から40年代前半)は、我が国の歴史上、スイカの消費量が最も多かった時期で、のどを潤す水分としてのスイカが求められた。この当時、みずみずしさとシャリ感がなによりも重要で、過度な甘みは必要なく、急いで食すのどに詰まるような硬い肉質は嫌われた。また、このように肉質が軽く、みずみずしくシャリ感に富むスイカは概して日持ちが悪く、適期に食すと極めて美味であるが、時期を過ぎると果肉の崩壊が早かった。一方現在は、スイカを水分補給の代用品として食することはほとんどない。多くの果物と同様にデザート的な認識が強くなり、少量摂取で強い印象を与えられるように硬く、歯ごたえがあり糖度が高いことが求められている。またカット販売

が主流であるため、空洞が少なく、果肉の発色が良いことなども重要な目標となった。‘あきた夏丸’の育成にあたっては、果実の揃いや変形、空洞がないことを重視して、果肉が硬く、糖度が高く、果肉色の濃い品種を目標としたため、スイカ本来のみずみずしさについては大きく妥協したものであった。ところが果肉が硬いため、変形や空洞が極めて出にくい特性から、結果的に在圃性が高く、完熟収穫が可能となり、糖度が安定し、日持ち性も良く、良食味な特性を発揮できたことは当初の予想を超えた品種特性となった。このように在圃性の高い本品種が完熟スイカとして認められたことは、今後の品種改良の方向性の一つを示していると考えられる。

収穫期における‘あきた夏丸’の糖度(Brix)は概ね11～13%の範囲にある。これは市販されている大玉スイカの中では高い方であり、糖度の年次変動も少ない。また、開花後35日程度で糖度が11%以上に達しており(データ未発表)、糖度の上昇が早い品種と考えられる。さらに、中心部と皮際部の糖度差が小さいことも大きな特徴でもある。また、シャリ感については育種目標の通り、他品種より高い評価で、食味の良い品種として定着しつつある。果肉色は濃く、発色も早く、収穫10日前の開花後35日目でも既に赤みが強い。空洞やうるみはほとんど見られないが、果肉が硬く締まっているため、切断時に包丁の圧力で切断の表面(深さ1mm程度)が水浸状になることがあるが、これは果肉のうるみとは異なり、食味には影響しない。

7-3 普及と販売について

‘あきた夏丸’の作付けは、県内のスイカ主要産地である内陸部の横手平鹿地域が中心である。中でも「JAおものがわ」での評価が高く、管内の半数を超える普及率となっている(2008年)。これは栽培の容易さ、糖度の高さ、食味の良さ等の品種特性が評価された結果であるが、‘あきた夏丸’の市場評価が高いのは、品種特性だけでなく、同時期に民間メーカー主導で県内に広まった栽培方法の改良効果も大きい。すなわち、従来の「普通栽培」では株間1～1.2m、子づると孫づるを合わせて10～12本出して5～6個どりであったが、これを改良して株間0.9m、揃った子づるのみ10本出して4～5果どりとした「普通栽培改良型」を積極的に取り入れたのである。これによって開花日が揃い、揃った果実を生産できるようになった。これは、品種の変更をきっかけに栽培方法を変えることに成功した事例の一つとなった。

‘あきた夏丸’の販売には、品種名を掲げて販売する場合と一般的な大玉スイカとして販売する二通りの販売方法をとっており、前者は主に県内向け、後者は県外出荷となっている。当初、スイカは、食味等で品種の違いがわかりにくく、品種売りは難しいと考えら

れていたが、県内での‘あきた夏丸’の知名度が高まるにつれ、わずかずつではあるが他品種より高単価で取引されている。

秋田県は夏期冷涼で、夏野菜については気象的な優位性を備えているが、品種面では画一的で、市場やメーカー主導の産地リレーの中の一産地として利用されてきたにすぎない。しかし、本県農業の発展には、生産者主導で、JA、全農、行政が一体となって、売り込む体制を築いていくことが最も重要で、その手段の一つとしてオリジナル品種‘あきた夏丸’は有効である。

8 摘 要

- 1 ‘あきた夏丸’は、市販の大玉系スイカを素材にして、本県の気象条件下で選抜を繰り返して育成した固定系統間のF1である。母本(H09s-TI-2)は‘紅力’後代固定系で果肉色や糖度など果実品質に優れ、父本(H09s-IW-1)は‘鶴の泉’の後代固定系で玉揃いなど栽培上の特性に優れている。
- 2 栽培特性は、草勢がやや強く、節間が長く、葉も大きく、生育が旺盛である。着果は安定しており、圃場での裂果は少ない。
- 3 成熟期は開花後44日程度の中生で、収穫が遅れても変形や肉質の低下が少なく、収穫適期幅が約7日と長い。
- 4 果実外部特性は、平均果重が8.2kg程の大玉である。果形はやや腰高の球形、で果皮が濃緑色、条斑は太く鮮明である。玉揃い良く、変形果の発生は少ない。
- 5 果実内部特性は、糖度が12.7%と高く、果肉が鮮明な濃赤色で、空洞やうるみが発生せず、切断時の肉割れがほとんど見られないことから、カット販売にも適している。肉質は硬めで歯ごたえがあり、シャリ感が強く食味が優れている。
- 6 日持ち性は高く、シャリ感が収穫後10日程度持続する。
- 7 着果が安定していることや伸長性も強いことから、露地普通栽培の他に、より早い作型のトンネル整枝栽培、トンネル移動式栽培にも適する。
- 8 草勢が強めなことから、基肥施肥量は慣行より減じる。また、着果後につるの伸長が止まるため、追肥は慣行と同等とする。台木は弱勢台木を使用する。

引用・参考文献

秋田県農林水産部／編. 2007. あきたブランド野菜づくりの手引き：79-95. 秋田県.
安藤安孝. 1937. 収益増進 蔬菜園芸精説：167-172. 賢文館.
市川実太郎. 1923. 実験蔬菜促成園芸：443-445. 養賢堂.
伊東正／監修. 日本園芸生産研究所／編. 2003. 蔬菜

の新品種15：1-9. 誠文堂新光社.
伊東正／監修. 日本園芸生産研究所／編. 2006. 蔬菜の新品種16：1-7. 誠文堂新光社.
今村猛雄. 1904. 蔬菜栽培書：296-302. 文武堂.
宇田川雄二. 1985. 千葉県野菜園芸発達史：225-228. 千葉県.
小田鬼八. 1956. 瓜類の栽培技術：111-112. 産業図書.
角田安啓・米田義一. 1932. 実験栽培 西瓜の研究：1-98. 研友社.
河野照義. 1976. 理論・実際 蔬菜栽培全編：279-287. 養賢堂.
神田武. 1932. 西瓜の同一純系内に於ける受粉形式の差異が結果、種子並に其の次代に及ぼす影響. 農業及園芸7：1855-1873.
神田武. 1939. 奈良県に於ける西瓜栽培. 農業及園芸14：311-317.
神田武. 1949. 西瓜の栽培技術；育農シリーズ1：1-12. 育種と農芸社.
神田武 他. 1956. 園芸新品種大鑑：175-186. 養賢堂.
神田武. 1978. スイカ F1の採種技術；そ菜種子生産研究会／編；野菜の採種技術：184-193. 誠文堂新光社.
佐藤清隆. 2002. メロン スイカ最新の栽培技術と経営；3. 秋田県平鹿地域：200-203. 全国農業改良普及協会.
下川義治. 1916. 実験蔬菜園芸：239-245. 成美堂書店.
杉山慶太 他. 2003. 耐裂果性小玉スイカ新品種‘姫しずか’の育成とその特性. 野菜茶業研究所研究報告2：9-21.
高橋英生 他. 1985. 作型を生かすスイカのつくり方：82-86. 農文協.
田中米. 1943. 大和西瓜と紀州西瓜；栄養と料理：60-61. 女子栄養大学出版部.
椿信一・檜森靖則. 2005. 果肉が濃赤色で空洞が少ない大玉スイカの新品種‘あきた夏丸’の育成. 東北農業研究58：203-204.
椿信一. 2006. 果肉が濃赤色で空洞が少ない大玉スイカの新品種‘あきた夏丸’の育成. 秋田育種談話会記事20：8-9.
椿信一. 2006. 果肉が濃赤色で空洞が少ない大玉スイカ新品種「あきた夏丸」. 農耕と園芸2月号：52-53.
富樫常治. 1938. 実験蔬菜栽培講義：207-213. 養賢堂.
奈良県立農事試験場 業務報告. 1924-1937.
日本園芸生産研究所／編. 1985. 蔬菜の新品種9：1-10. 誠文堂新光社.
日本園芸生産研究所／編. 1997. 蔬菜の新品種13：1

- －5. 誠文堂新光社.
日本園芸生産研究所／編. 2000. 蔬菜の新品種14：1
－11. 誠文堂新光社.
農耕と園芸編集部／編. 1986. スイカ 生理と栽培技
術：48－53. 誠文堂新光社.
萩原俊嗣. 2000. メロン類スイカ追録25号；農業技
術体系野菜編4・基：101－115. 農文協.
萩原善太郎. 1929. 大和西瓜の栽培法：1－5. (財)
富民協会.
久富時男. 1995. 大和の農業技術発達史：78－85. 奈
良県農業試験場.
藤井武雄. 1948. 蔬菜園芸学各論上巻：136－140. 養
賢堂.
堀準爾. 1939. 西瓜栽培の実際：28－42. 泰文館.
松尾孝嶺監修. 1989. 植物遺伝資源集成2：708-715.
講談社.
森田欽一. 1973. スイカ 作型とつくり方：27－36.
農文協.
森田欽一 他. 1983. 野菜全書；メロン・スイカ：479
－487. 農文協.
山中惣三郎. 1929. 大和西瓜はこうして作る：1－11.
吉田印刷所.
喜田茂一郎. 1911. 最近蔬菜園芸全書：662－664. 高
山堂.
渡邊誠三. 1953. 西瓜の密植増収法：11－14. 養賢堂.
渡邊齋. 1956. 果菜の栽培技術：265－273. 朝倉書店.

Abstract

Breeding of a New Watermelon Cultivar “Akita Natsumaru” and its Characteristics

Nobuichi TSUBAKI, Yasunori HIMORI ¹⁾ and Takao SATO

Agricultural Experiment Station, Akita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

(¹⁾ Present address: Akita Agriculture Public Corporation)

A new watermelon cultivar “Akita Natsumaru” was developed at the Agricultural Experiment Station, Akita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center in 2004 and registered in 2007.

“Akita Natsumaru” is an F1 hybrid cultivar crossing between the inbred line selected from “Benichikara” and the inbred line selected from “Tsurunoizumi”.

The agricultural characteristics are as follows;

The plant growth is vigorous with long vines and large leaves.

It shows good fruit setting and a few fruit cracking in the field.

It matures 44 days after flowering.

As few fruits with irregular shape or reducing of flesh quality were found by delayed harvest, the suitable harvest time period is 7 days and relatively long.

The fruit weight of “Akita Natsumaru” is about 8.2kg and shape is round.

The rind has dark green color with thick and clear stripes.

Fruits show high uniformity and less irregular shape.

The sugar degree of fruits is 12.7% and higher than that of others.

It is suitable for the cutting sales because the flesh has clear deep red color without hollow or water-core, and there is no crack when cutted it.

The flesh texture is hard with strong *Shari* feeling, and eating quality is excellent.

The *Shari* feeling continues for about 10 days after harvest.

“Akita Natsumaru” is adapt to not only precocious cultivation or open cultivation but also to all the work types in Akita Prefecture.

Growth of the stem and leaf may not continue after fruit setting, the additional fertilizer is necessary as the same amount of conventional practice.

Because “Akita Natsumaru” doesn't have resistance to Fusarium wilt, it is necessary to graft it on rootstock of weak bottle gourd variety for successive cropping.

Keywords : Akita Natsumaru, Breeding, Eating quality, F1, Open cultivation, Red flesh, *Shari* feeling, Watermelon

大玉スイカ新品種‘あきた夏丸’の育成とその特性

付表1 ‘あきた夏丸’育成関係者

氏名	現職名	育成職務内容	育成従事期間
椿信一	主任研究員	育種試験実務	1994年4月～2004年3月
佐藤孝夫	主任研究員	育種試験実務	2000年4月～2002年3月
檜森靖則	上席研究員	育種試験実務	2002年4月～2004年3月
加賀屋博行	場長	育種試験総括	2002年4月～2004年3月

付表2 主要特性一覧(2003年、育成地)

区分	形質	育成品種		類似品種			
		あきた夏丸		必勝		甘泉	
		階級	区分	階級	区分	階級	区分
01 種	種子の形	5	楕円形	6	やや長楕円形	5	楕円形
	種子の大きさ	4	やや小	4	やや小	4	やや小
	種皮の亀裂	1	無	1	無	1	無
	種皮の地色	6	黒	6	黒	6	黒
	種皮の斑紋・斑点	1	無	5	全面黒点	5	全面黒点
02 子葉	子葉の形	2	楕円形	2	楕円形	2	楕円形
	子葉の大きさ	5	中	5	中	5	中
	子葉の色	5	緑	5	緑	5	緑
03 主蔓	主蔓の長さ	6	やや長	4	やや短	5	中
	主蔓の太さ	5	中	5	中	5	中
	主蔓の節数	5	中	5	中	5	中
	主蔓の節間長	6	やや長	4	やや短	5	中
04 葉	本葉の形(欠刻)	4	やや浅	5	中	5	中
	本葉の大きさ	6	やや大	4	やや小	5	中
	本葉の色	5	緑	5	緑	5	緑
	草姿	2	普通	2	普通	2	普通
05 花	両全花	1	無	1	無	1	無
	初雌花の着生節位	5	中	5	中	5	中
	開葯性の難易	3	易	3	易	3	易
	子房の形	5	楕円形	5	楕円形	5	楕円形
	子房の大きさ	5	中	5	中	5	中
06 果	草勢	6	やや強	4	やや弱	5	中
	着果の安定性	7	高	7	高	7	高
	果形	5	高球形	3	球形	4	やや高球形
	果実基部の形	6	やや肩はり	3	なで肩	5	中
	果実の重さ	6	やや重	6	やや重	6	やや重
	果梗接着部の大きさ	5	中	5	中	5	中
	花落痕の大きさ	5	中	5	中	5	中
	果梗の長さ	5	中	4	やや短	5	中
	果梗の太さ	5	中	6	やや太	6	やや太
	果皮の地色	7	濃緑	5	中	6	やや濃緑
	果皮の条斑	5	中	5	中	5	中
	果皮条斑の太さ	6	やや太	5	中	6	やや太
	果皮条斑の色	5	濃緑	5	濃緑	5	濃緑
	果皮面の条溝	2	極浅	1	無	1	無
	外果肉の厚さ	5	中	5	中	5	中
	内果肉の色	7	濃赤	4	濃桃	7	濃赤
	果肉の硬さ	6	やや硬	5	中	5	中
	果肉の繊維	5	中	5	中	5	中
	果肉の食味	7	上	7	上	7	上
	果肉の糖度	7	高	7	高	7	高
	果肉の多しよ性	7	高	7	高	7	高
果肉の酸味	3	少	3	少	3	少	
1果含有種子数	7	多	5	中	6	やや多	
07 生 態	裂果性(ほ場)	5	中	7	高	5	中
	日持ち性	5	中	4	やや短	5	中
	輸送性	6	やや高	5	中	6	やや高

注) 品種登録申請時に提出した特性表のデータから作成

研 究 報 告 第49号

平成21年3月発行

編集兼発行 秋田県農林水産技術センター農業試験場
代表者 加賀屋 博行
郵便番号 010-1231
秋田県秋田市雄和相川字源八沢34-1
電話番号 018-(881)-3330
F A X 018-(881)-3301
