

ISSN 1881-8757

**BULLETIN**  
**OF**  
**THE AKITA AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION**

No.53

March 2013

---

---

**秋田県農業試験場研究報告**

第53号

平成25年3月

---

---

**AKITA AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION**

秋 田 農 試  
研 究 報 告

Bull. AKITA  
Agric. Exp. Stn.

**AKITA, JAPAN**

**秋 田 県 農 業 試 験 場**

# 秋田県農業試験場研究報告第53号

## 目 次

### 研究報告

高品質安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全  
発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究…………… 1～38

三浦恒子

糯米澱粉の理化学特性に基づいた餅硬化性推定法の開発と栽培環境が餅硬化性に及ぼす  
影響…………… 39～79

小玉郁子

**BULLETIN**  
**OF**  
**THE AKITA AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION**

**No. 53 (March 2013)**

**CONTENTS**

**Original Reports**

Chikako MIURA

Weed management system for rational utilization and high herbicidal efficacy of one-shot herbicide in direct-seeded rice under wet conditions in Akita prefecture for stable production of high-quality grain····  
..... 1~38

Ikuko KODAMA

Establishment of an estimation method for the rice cake hardness by urea dissolution of *waxy* rice, and influence of the growth temperature during the seed development on the rice cake hardness·· 39~79

# 高品質安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における 一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための 合理的雑草防除体系に関する研究

三浦 恒子

キーワード 水稲、湛水土中直播栽培、一発処理型除草剤、雑草ヒエ、イネ、安定生産

## 目 次

1. 緒言	1	試験 1 ピラゾレート粒剤少量散布による除草効果	17
2. 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤によるイネの分けつ発生への影響	8	試験 2 復元田無代かき、復元田代かき直播栽培における、ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理効果の変動	18
2-1. 抄録	8	3-4. 結果および考察	19
2-2. はじめに	8	3-5. 小括	24
2-3. 材料および方法	8	4. 水稲湛水直播栽培における一発処理型除草剤有効利用のための落水出芽中のプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤の少量散布による除草効果	25
試験 1 一発処理型除草剤使用により抑制を受ける分けつの次位・節位	8	4-1. 抄録	25
試験 2 剤型および種類を異にする一発処理型除草剤の分けつ発生への影響	9	4-2. はじめに	25
試験 3 一発処理型除草剤の吸収が促進される条件での節位別分けつへの抑制	10	4-3. 材料および方法	25
試験 4 一発処理型除草剤による第 2 節からの 1 次分けつ発生の抑制程度がイネの収量および玄米品質に及ぼす影響	10	試験 1 落水出芽期間に少量散布した P T 粒剤が直播イネの苗立ちに及ぼす田面の停滞水の影響	25
2-4. 結果および考察	11	試験 2 実規模の湛水直播水田での P T 粒剤の少量散布と一発処理型除草剤の体系処理における除草効果	26
2-5. 小括	15	4-4. 結果および考察	27
3 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤の使用条件拡大のための初期除草剤ピラゾレート粒剤の少量散布	16	4-5. 小括	29
3-1. 抄録	16	5 総合考察	30
3-2. はじめに	16	6 謝辞	32
3-3. 材料および方法	17	引用文献	33
		Abstract	36

## 1 緒 言

### 1-1. わが国における水稲直播栽培の普及状況と秋田県での普及上の課題

日本における水稲 (*Oryza sativa* L.) の主な栽培方法は機械移植栽培であり、育苗箱への播種後数週間の育苗を経て、専用の移植機を用いて苗が水田に移植される。移植栽培では 10 a 当たりの直接労働時間が 26.4 時間と省力化が進んでいるなかで、「育苗」と「田植

え」の作業がその 25 % を占めている (農林水産省 2010)。これに対して直播栽培は、イネの種子を直接水田に播種するため、育苗から移植までの作業を省略できることから、稲作経営の規模拡大や、複合経営の推進を支援する手段として普及に向けて取り組まれている。秋田県の稲作は作付面積と収穫量が全国第 3 位にあるが、区画と営農の大規模化が進む一方で、農業就業者の減少と高齢化が顕在化しており、省力栽培技術である直播栽培への転換が不可避である。

直播栽培には、代かきした水田に播種する湛水直

2013 年 3 月 28 日受理

<sup>1)</sup> 秋田県農業試験場

播と畑状態の水田に播種する乾田直播がある（秋田県農業試験場 2003）。全国の水稲直播栽培面積は、1998年に7,972 haであったが、2008年には18,603 ha（速報値）に増加した。様式別にこの期間の推移をみると、湛水直播は3,644 haから12,486 ha（速報値）に、乾田直播は4,329haから6,074ha（速報値）に増加しており、湛水直播が顕著に増加した。しかし、直播栽培の普及面積は水稲栽培の全体の約1%である（農林水産省 2010）。秋田県の水稲直播栽培面積は1997年の113haから2010年には1,152haに増加し、水稲栽培面積の1.3%に達した。その93%は湛水直播栽培で、秋田県においてはこの様式が主流である。

移植栽培と比較した場合、直播栽培で生産された米の収量と外観品質に関して、秋田県では以下の課題がある。玄米の外観品質・整粒歩合は同等かそれ以上である（吉永ら 2008）が、収量が10%程度低下する（秋田県農林水産部水田総合利用課 2008）。普及上の障害となる収量の低下に対し収量増加を目的に初数を増加させると、登熟歩合が低下し（三浦ら 2007）、玄米の外観品質が低下する傾向にある（吉永ら 2008）。すなわち、直播栽培での玄米外観品質を移植栽培での玄米と同等かそれ以上とするには、10%程度の収量低下が不可避となる（吉永ら 2008）。直播栽培が秋田県の稲作経営にこれまで以上に取り入れられるためには、省力化と同時に、整粒歩合が高く玄米外観品質が優れる「高品質」と、目標収量を安定して確保する「安定生産」を可能にする技術が必要である。すなわち、秋田県の具体的な目標である収量570 g m<sup>2</sup>、一等米（整粒歩合70%以上）比率90%以上（秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班・2011）を、直播水稲において実現するための技術開発が必要である。

## 1-2. 直播栽培に求められる栽培技術の個別課題

湛水直播栽培技術のうち、生産者から要望の多い個別課題は、鳥害の回避、出芽と苗立ちの安定化、イネの生育量の確保および雑草防除の安定化である（独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 東北農業研究センター 2003）。

出芽と苗立ちの安定化については、次のような研究と技術開発が進められた。湛水直播栽培では土壌表面に播種すると、出芽しやすい（嶽石・福田 1990）が、浮き苗や転び苗が生じやすく、出穂後の倒伏にもつながる（古畑 2009）。また、浮き苗や転び苗の発生程度が大きいと初収量が減少する（周ら 2003）。土壌表面播種での問題点の解消には土壌中への播種が、鳥害の防止（高城ら 2000）とあわせて有効である。しかし、土中播種では出芽率が低下しやすい（嶽石・福田 1990）ため、酸素の供給を目的とする過酸化カル

シウム粉粒剤の粉衣（山田 1951、中村 1976）や土壌還元抑制を目的とする落水出芽（大場 1997、本馬ら 1999）などの出芽促進技術が開発され、全国に普及した。これらの技術により湛水直播栽培での苗立ちの安定化が図られた。

秋田県においては、直播栽培で作付けの多い水稲品種「あきたこまち」の耐倒伏性は「中」で、直播栽培では成熟期の稈長が82 cmを超えると倒伏の恐れがある（秋田県農林水産部水田総合利用課 2011）ことから、土壌表面播種を避けて土壌中への播種が多く行われている。土中播種の場合、過酸化カルシウム粉粒剤の粉衣量を、低コスト化のため乾粒重の2倍量から1倍量に減量しても、落水出芽を行うことで目標の出芽・苗立ち数が得られること（若松・三浦 2004）や出芽と苗立ちに適した温度条件が播種後10日間の平均気温で14℃以上であること（三浦・若松 2006）など、出芽と苗立ちの向上に有効な知見が得られている。

生育量の確保については、全国および各地域において直播イネの生育相の解析に関する研究が展開され、その成果に基づく栽培マニュアルなど（農林水産省 2010）を通じて、普及が進められている。秋田県においては、移植栽培と同等の「あきたこまち」の玄米収量570 g m<sup>2</sup>を目標とした、生育の各段階における苗立ち数から穂数までの理想生育量（三浦ら 2007）、理想生育量を満たす苗立ち数確保のための播種適期、過酸化カルシウム粉粒剤の粉衣量および粉衣方法、必要な落水出芽の期間、生育期間中の水管理、幼穂形成期および減数分裂期の追肥の必要性和登熟期の倒伏の可能性の診断、肥効調節型肥料の側条施肥（若松ら 2005、三浦ら 2011b）など、穂数の確保と収量の安定化に寄与する研究成果が得られている。これらの成果が「水稲直播栽培指針（2003）」や「水稲直播栽培技術講習テキスト（2008）」に含められ、普及の場で活用されている。また、湛水直播栽培の播種様式では条播が主流であるが、点播では群落条件下でのイネの受光態勢や耐倒伏性が条播より向上する（吉永 2002）ため、生育量の確保を目的に点播播種機も導入されつつある。そこで、点播播種機の弱点である作業速度の遅さを改良した高速点播播種機が開発された（Katahira *et al.* 2011）。

以上のことから、気象の影響による収量の変動は依然として大きい（秋田県農林水産部 2011）ものの、イネの生育量確保のための栽培技術は秋田県においても確立されつつある。

秋田県における水稲移植栽培では安定生産と高品質の両立が求められることから、次位・節位別分けの有効化とそれぞれの分けつごとの玄米の収量性と整粒や窒素濃度などの品質の解析結果（金ら 2005）に基づいて、収量性と品質で優れる強勢茎主体に穂数を

確保することが奨励されてきた。同様に、直播栽培においても 1 穂着粒数や玄米窒素濃度が適正な高品質安定生産に寄与する穂の確保が重要であり、それらは、主稈と第 2～5 節から発生する 1 次分げつおよび第 2 節の 1 次分げつから発生する 2 次分げつである (若松ら 2006)。これらの分げつの多くは、6 月下旬から 7 月上旬にあたる有効分げつ決定期までに発生し、それ以降に発生した分げつが有効化した穂では整粒率 (RS-2000 静岡製機 (株) 製による測定値) が低下する (松波ら 2010)。また、上記の節位からの分げつを主体として目標の穂数を確保し、その上で有効茎歩合を 80 %程度とした湛水直播栽培の試験で、目標収量  $570 \text{ g m}^{-2}$  に近い収量  $553 \text{ g m}^{-2}$  を、2.5 (1 等の中～下) の玄米外観品質と 75.4 % の高い整粒歩合および 6.0 % の適正な玄米タンパク含有率が確保できることが示されている (三浦ら 2011b)。

### 1-3. 雑草防除における問題点

前述のようにイネの出芽と苗立ちの安定化および生育量の確保についてはこれまでも十分に研究され、問題が解決されつつあるが、雑草防除についての研究と技術開発はこれらに比べて不十分であり、以下のような問題点が残されている。

直播水稻に農薬登録された除草剤の種類数は、1994 年 5 月時点では湛水直播には 32 剤、乾田直播には 35 剤 (森田 1995) と、移植水稻に登録された除草剤数に比べて少なかった。2011 年 2 月時点では「移植後 1 回の処理で一年生雑草と主要多年生雑草の防除が可能 (宮原 1992)」な、移植栽培で一発処理除草剤に区分される約 140 剤のうち 41 剤が直播水稻に農薬登録され、使用できる一発処理型除草剤の種類数は 1994 年時点での 3 剤から増加したが、依然として少ない。除草剤の種類数が限られる状況にあるものの、移植栽培と同様に湛水直播栽培においても一発処理型除草剤は薬剤による雑草防除の基幹技術となっていることから、直播栽培で一発処理型除草剤のイネへの安全性と除草効果に関わる性能が移植栽培でのようには十分に発揮されないことが、解決を要する課題となっている。すなわち、秋田県を含む寒冷地では、一発処理型除草剤の直播水稻の区分における農薬登録での処理早限となるイネの特定葉齢への到達日と、処理晩限となる雑草ヒエの特定葉齢への到達日とがしばしば近接または逆転し、処理可能な期間が極めて短いか無くなる。処理可能な期間が短いことは、早限以前に処理された場合にはイネに対する生育抑制 (以下、薬害)、晩限以降に処理された場合には除草効果の低下をもたらすことから、以下の 2 点に集約されるように一発処理型除草剤の性能を十分に発揮しにくい要因となる。

第 1 の要因は薬害である。除草剤が持つイネに安

全で雑草のみを枯死させる選択性の確保には、イネの苗と雑草との生育ステージの差が重要である (森田 1995) が、直播栽培では除草剤使用時のイネの葉齢が移植栽培でのイネに比べて 2～3 少ない (Miura and Morita 2010) ことから、除草剤処理後のイネは生育や分げつ発生の抑制などの薬害を受けやすく、その結果、茎数・穂数不足となりやすい。よって、除草効果の安定した、一発処理型除草剤のイネへの影響の回避と、上述した高品質安定生産のための低節位の 1 次分げつからの穂数の確保を、ともに可能とすることが、直播栽培での高品質米安定生産技術として重要となる。

新規除草剤の農薬登録に係わる実用性の評価試験において、直播水稻での薬害はこれまで、苗立ち数や生育期の茎数および収量に対する影響の程度で評価されてきた (藤田 1999、酒井ら 2002)。ここでは次位・節位別の分げつ発生に対する影響は考慮されておらず、低節位の分げつ確保の観点からは十分とは言えない。そのために秋田県において、直播栽培を高品質安定生産技術として普及する上では、このことを踏まえた一発処理型除草剤の薬害判定の基準が必要である。

一発処理型除草剤については、秋田県農林水産技術センター農業試験場において、財団法人日本植物調節剤研究協会より受託の、農薬登録に必要な除草効果と薬害試験の一部としての水稻関係除草剤第二次適用性試験が実施されており、直播水稻での薬効・薬害、使用時期のデータが蓄積されている。しかし、第二次適用性試験は全国的に統一された除草剤の処理量、薬効・薬害の調査方法のもとで実施されるため、節位別の分げつ発生への影響などの課題についてはこれとは別に、独自の研究として実施する必要がある。

第 2 の要因は、移植栽培に比較して除草効果が発揮されにくく、結果として除草剤の使用回数が増加 (渡邊・川名 2006) することである。一発処理型除草剤の多くの剤での直播栽培における使用可能期間は、薬害を生じないイネ 2 葉期を早限、雑草ヒエの枯殺限界の 2.5 葉期を晩限とする期間である。イネへの生育抑制を防ぐためには、イネの 2 葉期以降に一発処理型除草剤を散布しなければならない。しかし、秋田県の湛水直播栽培の定点調査圃では、播種からの出芽揃いまでの平均日数は 13 日で、出芽揃いの時点ではイネ 2 葉期には達しておらず (秋田県農林水産部編集 2011)、1993 年の東北地方の湛水直播栽培で測定された雑草ヒエの葉齢は播種 15 日後で 2.5 葉期を超える (森田 1995) ことを勘案すると、寒冷地では一発処理型除草剤の使用可能期間が短い。秋田県農業試験場における一発処理型除草剤の使用可能期間についての実測事例は以下のようなものである。2002 年に 3 圃場 (田口ら 2003)、2008 年から 2011 年までの各年に 1 圃場を用いて、5 月 10 日前後を播種期として実施された合計 7 事例の

湛水直播栽培において、イネの2葉期から雑草ヒエの2.5葉期までの日数は、1日：4事例、2日：1事例、4日：2事例となり、使用可能期間は1～4日で、過半年では1日であった。すなわち、寒冷地の秋田県では、一発処理除草剤の使用基準でイネに対する安全性と除草効果が両立する使用可能期間は極めて短い。

また、落水出芽法における、土壌還元を抑制するための落水期間は、土壌条件により異なり（仙北地域振興局ら 2009）、重粘土壌など土壌還元が起りやすい水田ではしばしば2週間を超える。その結果、落水期間中に雑草ヒエの葉齢が一発処理型除草剤の枯殺限界を超え、再湛水後の適期散布を逸する場合がある（酒井・佐藤 1998、山本・菊池 2006）。

これまで直播栽培では、雑草ヒエの1.5葉期程度までに使用する「初期除草剤」を処理した後、除草効果の持続が不足した場合に「一発処理型除草剤」を処理する（福島ら 2000）、または、初期除草剤を使わずに一発処理型除草剤のみを処理し、その除草効果が十分発揮できなかった場合に、中干しの約10日前から中干し期間中に使用する「中・後期除草剤」を処理する（渡邊・川名 2006）除草剤の使用体系がとられている。中・後期除草剤の使用は2回以上に及ぶこともあり、この場合には省力技術とされる直播栽培においても、雑草防除に関しては省力化に対応していないことになる。直播栽培をさらに普及させるためには、上述のような、初期除草剤や一発処理型除草剤処理での雑草の残存を前提に、その後の一発処理型除草剤や中・後期除草剤を主力とする（その除草効果が十分発揮されなかった場合には次に処理可能な除草剤がない）「後半巻き返し型」（三浦 2010）から、はじめから一発処理型除草剤の性能を確実に発揮させて雑草を残存させない「先手必勝型」（三浦 2010）の除草剤使用法への転換が重要である。

#### 1-4. 雑草ヒエについて

本研究で主な対象とした雑草ヒエは全国的な主要雑草で、古くから水田雑草の中心的な位置を占めてきた（森田 2001）。日本国内における野生のヒエ属植物は外部形態および生態学的に、タイヌビエ（*Echinochloa oryzicola* Vasing.）、ヒメタイヌビエ（*E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *formosensis* Ohwi）、イヌビエ（*E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli*）、ヒメイヌビエ（*E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *praticola* Ohwi）の4単位に分類されている（藪野 1975）。4種の雑草ヒエを生産現場において、防除の必要な生育初期に地上部の形質で正確に識別することは必要である（森田 2001）が、難しいとされている。本研究においても、試験圃場に発生したタイヌビエとイヌビエを調査時に識別できなかったことから、雑草ヒエ（第1-1図）と

まとめて記載した。

日本において普遍的な水田雑草であるタイヌビエ（藪野 1975）については、試験研究に必要な休眠覚醒種子を得るための貯蔵条件（片岡・金 1977）や水田土壌中での種子の休眠と死滅要因（宮原 1972）など発生生態に関する研究が行われてきた。雑草ヒエの雑草害については、イネ群落中での存在時期による減収への影響の差異（野田ら 1971）など競合に係わる側面から、雑草ヒエに誘引されたアカスジカスミカメ（*Stenotus rubrovittatus*）による玄米外観品質の低下（後藤ら 2000）など虫害の助長の側面まで多岐にわたって研究されてきた。雑草ヒエの防除方法については、深水や有機質資材の散布など耕種的防除（笠原 1954、民間稲作研究所 1999）も研究されたが、それらに比較して省力的であることから、現在では除草剤による化学的防除が主流となっている。一発処理除草剤の全てが雑草ヒエに効果を示す成分を含有し、また4葉期を超える高葉齢に達した雑草ヒエに対応する専用の中・後期除草剤などが開発、実用化されている。

一発処理除草剤の性能を十分に発揮させるためには、除草剤を適切に使用することが求められている。そのためには雑草ヒエの葉齢の進展を予測することが重要で、有効積算気温（土井・村上 1977、森田 1999）や水田地温（内野 2002）を用いた葉齢進展モデルが作成された。

近年、全国的には雑草ヒエの重要性は低下傾向にあるが、秋田県の水稲栽培において雑草ヒエの要防除面積は水稲作付面積の98%を占め（財団法人日本植物調節剤研究協会東北支部 2011）、2010年にはほぼ全ての水田で使用された一発処理除草剤に加えて、その前に散布する初期除草剤が48,891 ha、その後散布する雑草ヒエ専用の中・後期除草剤が12,114 haの水田に使用されており、これらの合計面積は水稲作付面積の68%を占めた。このように、秋田県において雑草ヒエは、一発処理除草剤のみでは完全に防除されず、移植・直播水田を通して依然として主たる難防除雑草である。

#### 1-5. 「あきたe c o らいす」での直播栽培の展開について

消費者は「減農薬」によって栽培されたコメを求めており、生産者は「省力・低コスト」、「農薬被ばくの回避」、「有利販売による所得の向上」を求めている。これをうけて秋田県農林水産技術センター農業試験場において2004年に減農薬のプロジェクトが発足し、その成果をもとに2008年に減農薬防除体系を秋田県産米のスタンダードとする「あきたe c o らいす」プロジェクトが確立された（秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011）。「あきたe c

「おらいす」は、JAS 有機や特別栽培米なども含むが、施肥方法を問わない、農薬の使用成分回数が 10 回以下で生産されたコメの総称であり、「低コスト省力生産」、「環境に配慮した生産」および「販売を意識した生産」を内容とする。また、「あきた e c o らいす」を 2020 (平成 32) 年までに秋田県内の水田面積の 90 % に普及させることが目標となっている (秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011)。以上のことから、省力技術である直播栽培で「あきた e c o らいす」によるコメを生産するためには農薬使用回数を低減する必要がある。

「節減対象農薬の延べ有効成分回数」の中での除草剤に関して、移植栽培の「あきた e c o らいす」では、代かきと移植の間の日数を短縮し、代かきから 10 日以内に一発処理除草剤を散布できるように代かき・移植作業を設定すると、雑草ヒエが 2 ~ 2.5 葉期の時期に一発処理除草剤散布が可能となり除草効果が安定し、初期剤や中・後期剤の使用を省略できる (三浦・藤井 2010)。一方、湛水直播栽培においては前述のとおり、5 月 10 日前後に播種した場合にイネが 2 葉期以降で雑草ヒエが 2.5 葉期以前となる一発処理除草剤の使用期間は 1 ~ 4 日と短いことから、生産者の段階では 3 ~ 4 成分の一発処理型除草剤の処理のみでは十分な除草効果を得られず、雑草ヒエと広葉雑草に効果

の高い 1 ~ 4 成分の中・後期除草剤を 1 ~ 2 回追加で散布する体系処理が多く行われている。この体系処理における除草剤の延べ有効成分回数は 4 ~ 8 回あるいはそれ以上となる。「あきた e c o らいす」の中で直播栽培を推進するためには、一発処理型除草剤の性能の十分な発揮 (三浦・藤井 2010) による、使用除草剤の延べ有効成分回数の計画的な削減が欠かせない。

以上のことから、本研究では、秋田県での水稲湛水直播栽培の雑草防除技術に関して、1) 一発処理型除草剤による湛水直播イネへの影響 (薬害) を分げつ構成から解析し、影響を受ける分げつの次位節位とその分げつが高品質安定生産に及ぼす影響を明らかにし、これまで着目されていなかった収量と品質に寄与する分げつへの影響を指標とした一発処理型除草剤の薬害評価法を確立するとともに、2) 一発処理型除草剤の前処理として初期除草剤を少量散布することにより再湛水後の一発処理型除草剤の使用可能期間 (日数) の拡大を図り、新たな除草体系を確立すること、を目的とした。また、秋田県で移植栽培を中心に推進されている、栽培期間中の農薬の成分使用回数を低減した「あきた e c o らいす」を直播栽培で展開するための除草体系を実証した。



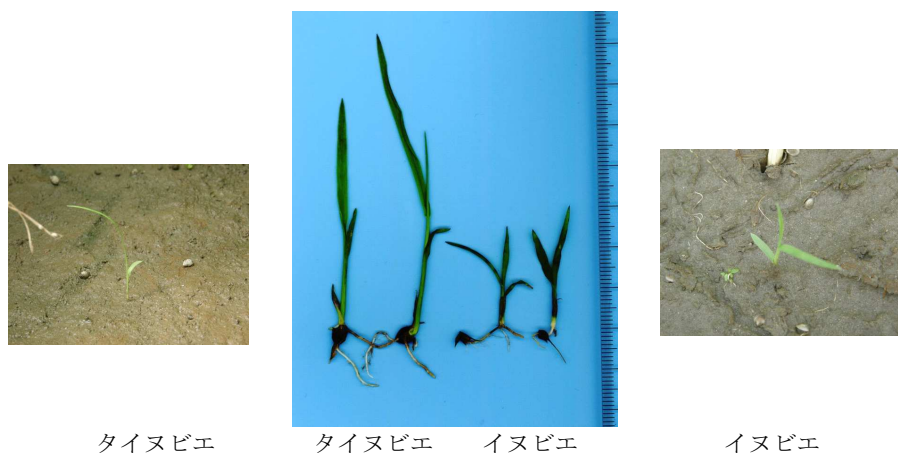
三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

第 1-1 表 本研究で対象とした雑草の和名と学名

生活型	科	和名	学名
一年生	アカバナ科	チョウジタデ	<i>Ludwigia epilobioides</i> Maxim.
	イネ科	イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. var. <i>crus-galli</i>
		タイヌビエ	<i>Echinochloa oryzicola</i> Vasing.
	オモダカ科	ヘラオモダカ	<i>Alisma canaliculatum</i> A. Br. et Bouche
	カヤツリグサ科	タマガヤツリ	<i>Cyperus difformis</i> L.
		ハリイ	<i>Eleocharis congesta</i> D. Don
	キク科	タウコギ	<i>Bidens tripartita</i> L.
	ゴマノハグサ科	アゼナ	<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Borbàs
		アメリカアゼナ	<i>Lindernia dubia</i> (L.) Penn.
	ツユクサ科	イボクサ	<i>Murdannia keisak</i> (Hassk.) Hand. -Mazz.
	ミゾハコベ科	ミゾハコベ	<i>Elatine triandra</i> Schk. var. <i>pedicellata</i> Krylov
	ミズアオイ科	コナギ	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. f.) Presl var. <i>plantaginea</i> (Roxb.) Solm. -Laub.
		オモダカ科	オモダカ
多年生	カヤツリグサ科	イヌホタルイ	<i>Scirpus juncooides</i> Roxb. var. <i>ohwianus</i> T. Koyama
		クログワイ	<i>Eleocharis kuroguwai</i> Ohwi
		マツバイ	<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. et Schult. var. <i>longiseta</i> Sven.
		ミズガヤツリ	<i>Cyperus serotinus</i> Rottb.

第 1-2 表 本研究に用いた除草剤の系統、一般名および化学名

系統	一般名	化学名
フェノキシ	シハロホップブチル	butyl(R)-2-[4-84-cyano-2-fluorophenoxy]phenoxy]propionate
カーバメート	ベンチオカーブ	S-4-chlorobenzyl diethylthiocarbamate
酸アミド	カフェンストール	N,N-diethyl-3-mesitylsulfonyl-1H-1,2,4-triazole-1-carbox-amide
	プロモブチド	(RS)-2-bromo-N-( $\alpha,\alpha$ -dimethylbenzyl)3,3-dimethyl-butylamide
	メフェナセツト	2-benzothiazol-2-ylpxy-N-methylacetanilide
スルホニルウレア	ピラゾスルフロ	ethyl 5-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-ylcarbamoylsulfamoyl)-1-methylpyrazole-4-carboxylate
	バンスルフロメチル	methyl- $\alpha$ -(4,6-dimethoxypyrimidin-2-ylcarbamoyl-sulfamoyl)- <i>o</i> -toluate
ダイアゾール	ピラゾレート	4-(2,4-dichlorobenzoyl)-1,3-dimethylpyrazol-5-yl toluene-4-sulfonate
ダイアジン	ベンタゾン	3-isopropyl-1H-2,1,3-benzothiadiazin-4-(3H)-one2,2-dioxide
トリアジン	プロメトリ	N <sup>2</sup> ,N <sup>4</sup> -di-isopropyl-6-methylthio-1,3,5-triazine-2,4-diamine
尿素	ダイムロン	1-( $\alpha,\alpha$ -dimethylbenzyl)-3- <i>p</i> -tolylurea
ピリミジジオキシ 安息香酸	ピリミノバックメチル	methl 2(4,6-dimethoxypyrimidin-2-yloxy)-6-(1-methoxy-iminoethyl)benzoate
芳香族カルボン酸	フェントラザミド	4-(2-chlorophenyl)-N-cyclohexyl-N-ethyl-4,5-dihydro-5-oxo-1H-tetrazole-1-carboxamide
その他	ペントキサゾン	3-(4-chloro-5-cyclopentylloxy-2-fluorophenyl)-5-isoprpylidene-1,3-oxazolidine-2,4-dione



第 1-1 図 秋田県の水田における主な雑草ヒエであるイヌビエとタイヌビエの 2 ~ 2.5 葉期の形態

## 2 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤によるイネの分けつ発生への影響

### 2-1.抄録

直播栽培の一発処理型除草剤の薬害は、農薬登録のための全国的に統一された適用性試験を通して苗立ち数、生育期の茎数および収量への影響によって評価されてきた。しかし、秋田県の直播栽培での収量解析において、発生位置の異なる分けつからの穂が収量性と品質を異にすることが知られているため、移植栽培に匹敵する収量性と品質を目指す県内の直播栽培の現場では、次位・節位別の分けつ発生への影響を考慮した一発処理型除草剤の薬害の判定が必要となる。本研究では、圃場またはガラス室において、秋田県の湛水直播栽培で普及している数種の一発処理型除草剤の基準量を使用早限に処理し、分けつ発生と抑制を次位・節位別に詳細に調べ、新たな薬害評価法を提案した。一発処理型除草剤ピリミノバックメチル・プロモブチド・ベンスルフロンメチル・ペントキサゾン (PBBP) 水和剤をイネ (品種「あきたこまち」) の 2.5 葉期に処理した場合、第 2 節からの 1 次分けつの発生頻度は無処理区の 63 % と、有意に低下した。一方、第 7 節からの発生頻度は無処理区より高く、分けつ発生総数とその有効化率では同等であった。しかし、PBBP 水和剤処理では収量と品質確保に有効な第 2～5 節からの 1 次分けつと第 2 節からの 1 次分けつからの 2 次分けつの数が有意に減少した。また、同じ有効成分の PBBP 剤においても、水和剤での第 2 節からの 1 次分けつの発生頻度は粒剤に比べて著しく低下し、剤型による違いが認められた。さらに、PBBP 水和剤、同粒剤と成分の異なるカフェンストロール・ダイムロン・プロモブチド・ベンスルフロンメチル (CDBB) 粒剤の処理により第 2 節からの 1 次分けつの抑制程度が異なり、精玄米重と精玄米の整粒率は抑制程度の増大に伴って低下した。

### 2-2.はじめに

水稲直播栽培の雑草防除の問題点の一つは、除草剤処理時にイネの苗が移植栽培に比較して若いために薬害が発生しやすいことで、それは茎数および穂数の減少につながる。農薬登録に際しての適用性試験においては、直播イネへの薬害は、苗立ち数、生育期の茎数や収量で評価され、次位・節位別の分けつ発生への影響、すなわち分けつの構成までは考慮されてこなかった。秋田県における直播栽培では 1 穂着粒数や玄米窒素濃度が適正で、高品質米生産に寄与する穂の確保が重要であり、それらは、主稈と第 2 節～5 節から発

生する 1 次分けつおよび第 2 節の 1 次分けつから発生する 2 次分けつであることが明らかにされている (若松ら 2006)。秋田県における湛水直播栽培では低節位の分けつ確保を重視するため、除草剤の影響については、茎数、すなわち分けつの総数のみではなく分けつの次位・節位に関する情報が必要である。直播栽培におけるコメの高品質安定生産につながる雑草防除体系を確立する目的で、分けつの発生と抑制を受ける次位・節位とその程度に基づいた一発処理型除草剤の直播イネへの影響評価について検討した。

湛水土中直播栽培を対象に、圃場条件下での 1) イネ 2.5 葉期を処理早限とする一発処理型除草剤の、イネの次位・節位別の分けつの発生への影響、2) イネ 2 葉期または 2.5 葉期を処理早限とする 4 種類の一発処理型除草剤について第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつの発生に及ぼす剤型と成分の影響、および、3) ガラス室条件下での圃場条件より高い気温条件下での、一発処理型除草剤のイネの第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつの発生への影響、を調べ、さらに、4) 3 種類の一発処理型除草剤により、第 2 節からの 1 次分けつ発生の抑制と玄米収量および玄米の品質への関係を圃場条件下で解析した。

### 2-3.材料および方法

#### 試験 1 一発処理型除草剤使用により抑制を受ける分けつの次位・節位

秋田県の直播栽培において使用の多い、イネ 2.5 葉期を処理早限とする一発処理型除草剤ピリミノバックメチル・プロモブチド・ベンスルフロンメチル・ペントキサゾン水和剤を用いて、分けつ発生の抑制を受けやすいイネの節位を、高品質米生産に寄与する穂となる次位・節位に着目して検討する。

#### 1) 耕種概要

試験は 2005 年に秋田県農林水産技術センター農業試験場 (秋田市雄和) の面積 500 m<sup>2</sup>、細粒質グライトの水田圃場で行った。N : 5.5 g m<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 7.3 g m<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O : 6.4 g m<sup>-2</sup> を化成肥料で播種時に側条施肥で施肥した。水稲品種「あきたこまち」の種子を浸漬・催芽後、播種前日に専用コーティングマシンにより、過酸化カルシウム (16 %) 粉粒剤を乾粒重比 1 倍量で粉衣した。乾粒換算で 4 g m<sup>-2</sup> の種子を専用播種機により播種深を 5～10 mm に設定し、湛水土中条播として 5 月 12 日に播種した。播種後落水管理を行い、播種した粒数の 10 % が出芽した時点で湛水を開始した。圃場内の平均的な苗立ちの部分に、プラスチック段が

第2-1表 供試一発処理型除草剤の除草剤名、略号、有効成分含有率、使用量および処理時期

除草剤名	略号	有効成分含有率	10aあたり使用量	本試験での処理量(製剤m <sup>2</sup> )	本試験での処理時期(使用基準の処理早限でのイネ葉齢)	処理の有無と処理日			
						試験1	試験2	試験3	試験4
ピリミノバックメチル・プロモブチド ・ベンスルフロンメチル ・ペントキサゾン水和剤	PBBP 水和剤	0.83%・17%・ 1.3%・2.8%	500ml	0.5ml	2.5葉期	2005年 6月1日	2007年 5月30日	2006年 5月22日	2011年 6月1日
ピリミノバックメチル・プロモブチド ・ベンスルフロンメチル ・ペントキサゾン1キロ粒剤	PBBP 粒剤	0.45%・9.0%・ 0.75%・2.0%	1kg	1g	2葉期	無し	2007年 5月28日	無し	2011年 5月30日
シハロホップブチル ・ピラゾスルフロンエチル ・プロモブチド・メフェナセット 1キロ粒剤	CPBM 粒剤	1.5%・0.3%・ 6.0%・7.5%	1kg	1g	2.5葉期	無し	2007年 5月30日	2006年 5月22日	無し
カフェンストロール・ダイムロン ・プロモブチド・ベンスルフロンメチル 1キロ粒剤	CDBB 粒剤	3.0%・6.0%・ 6.0%・0.75%	1kg	1g	2葉期	無し	2007年 5月28日	無し	2011年 5月30日
無処理区	—	—	—	—	—	設置	設置	設置	無し

ール製の1 m×1 mの正方形の枠を設置し、除草剤処理区と対照として除草剤を処理しない区(以下、無処理区)を無作為に3反復として設け、試験区とした。なお、以下の試験での供試水稻品種と種子の調整は試験1と同様とした。

## 2) 供試除草剤

秋田県における直播栽培で最も広範囲に用いられている一発処理型除草剤である、ピリミノバックメチル・プロモブチド・ベンスルフロンメチル・ペントキサゾン水和剤(以下、PBBP水和剤)を、同剤の処理早限のイネの2.5葉期にあたる6月1日に、製品量で0.5 ml m<sup>2</sup>を約5 cmの水深で処理した(第2-1表)。試験期間中、試験区の減水深は1 cm日<sup>-1</sup>以下であった。無処理区では随時手取り除草を行い、雑草害による分げつ発生の抑制を防いだ。

## 3) 分げつ発生調査

試験区内の連続するイネの10個体に節位別に異なる色のリングを付けて区別し、分げつの次位、節位を、4葉期を超えた2005年6月10日から7月15日まで調べた。分げつ茎の呼称は、第1葉(不完全葉)の基部から発生した分げつを第1節からの1次分げつとした(星川1975)。発生した1次分げつの節位毎に2次分げつを区別し、2次分げつの発生数は1次分げつからの発生節位を無視して一括して示した。分げつの発生頻度は、分げつの総発生数を調査個体数で除して100を乗じて求めた。分げつの有効化率は、有効分げつ総数を分げつ発生総数で除して100を乗じて求めた。

## 4) 気温測定

播種後から除草剤処理時期の気温測定には、試験場

内に設置されている気象観測装置を用いた。播種翌日から10日間の平均気温は、湛水直播水稻の出芽速度および苗立ち率に影響を及ぼす(三浦ら2006)ことから、毎時の測定の前平均値として日平均気温を求め、10日間の平均気温として示した。

## 試験2 剤型および種類を異にする一発処理型除草剤の分げつ発生への影響

秋田県の生産現場において用いられているイネ2葉期または2.5葉期を処理早限とする剤型と成分を異にする4種類の一発処理型除草剤を用いて、第2節、第3節からの1次分げつ発生の抑制における剤型および成分の影響の差異を解析する。

### 1) 耕種概要

試験は2007年に秋田県農林水産技術センター農業試験場(秋田市雄和)の圃場で、気温の測定を含めて試験1と同様の手順で行った。播種は5月12日とした。

### 2) 供試除草剤

試験1で使用したPBBP水和剤と同成分で剤型の異なる1キロ粒剤(以下、PBBP粒剤)および秋田県の水稲直播栽培での使用頻度の高い一発処理型除草剤である2種の1キロ粒剤のシハロホップブチル・ピラゾスルフロンエチル・プロモブチド・メフェナセット1キロ粒剤(以下、CPBM粒剤)、カフェンストロール・ダイムロン・プロモブチド・ベンスルフロンメチル1キロ粒剤(以下、CDBB粒剤)を、第II-1表に示す条件で処理した。これらの除草剤において、イネの分げつ抑制に影響があると思われる成分は、雑草ヒエ

に有効であるピリミノバックメチル、ペントキサゾン、カフェンストール、メフェナセットと、多年生雑草等に有効であるベンスルフロンメチル、ピラゾスルフロンエチルである。

供試剤の処理早限にあたるイネ 2 葉期は 5 月 28 日、イネ 2.5 葉期は 5 月 30 日であった。処理時の水深は、秋田県農作物病害虫・雑草防除基準（秋田県 2011）によって水和剤は約 5 cm、粒剤は約 3 cm とした。対照として無処理区を設置した。無処理区は随時手取り除草を行い、雑草害による分げつ発生の抑制を防いだ。無処理区ではイネ 2 葉期に水和剤の試験区と合わせて水深 5 cm とした。試験期間中、試験区の減水深は 1 cm 日<sup>-1</sup> 以下であった。

### 3) 分げつ発生と生育の調査

試験区内の連続するイネの 10 個体について、第 4 節からの 1 次分げつの発生を確認した後の有効茎決定期である 6 月 19 日に、葉齢と第 2、3 節の 1 次分げつの発生数を調査した。また、最高分げつ期である 7 月 13 日に、試験区枠内の 2 条各 30 cm を対象に上記の 10 個体を含むイネの茎数を調査した。

### 試験 3 一発処理型除草剤の吸収が促進される条件での節位別分げつへの抑制

気温の高い条件下でイネによる除草剤の吸収が促進され、薬害が助長されることを想定し、ガラス室内で圃場条件より高い気温を設定し、秋田県の生産現場で用いられているイネ 2.5 葉期を早限とする 2 種類の一発処理型除草剤のイネの第 2 節、第 3 節からの 1 次分げつの発生への影響を解析する。

#### 1) 栽培概要

農業試験場のガラス室において、2006 年 5 月 13 日に、縦 48 cm×横 29 cm×高さ 15 cm のプラスチック製バット内に試験 1、2 で使用した水田からの土壌を無施肥で代かき後に充填し、播種深度 5～10 mm で 1.5 cm の間隔として 1 列に 25 粒ずつ条播し、播種した籾数の 10 % が出芽した時点から約 1 cm の湛水とした。試験は 3 反復とした。

#### 2) 供試除草剤

試験 1、2 で用いた除草剤から、秋田県の直播栽培において長期間、広範にわたり使用されている PBBP 水和剤と CPBM 粒剤を選び製品量で各 0.5 ml m<sup>-2</sup>、1 g m<sup>-2</sup> を処理早限のイネ 2.5 葉期にあたる 5 月 22 日に処理した（第 2-1 表）。処理時の水深は約 3 cm とし、その後も同じ水深を保った。対照として無処理区を 3 反復設置し、随時手取り除草を行い、雑草害による分げつ発生の抑制を防いだ。

#### 3) 分げつ発生と茎数の調査

各試験区の連続するイネの 10 個体について第 2、3 節からの 1 次分げつの発生と茎数を播種から 7 月 12 日まで調査した。実際には 6 月 23 日まで分げつの発生が見られた。イネ 1 個体あたり茎数として、10 個体の茎数の合計を 10 で除して求めた。

#### 4) 気温測定

ガラス室内に設置したデータロガー（おんどとり TR-71U、株式会社ティアンドディ社製）を用いて測定した。

### 試験 4 一発処理型除草剤による第 2 節からの 1 次分げつ発生の抑制程度がイネの収量および玄米品質に及ぼす影響

3 種類の一発処理型除草剤を用いて、第 2 節からの 1 次分げつ抑制の程度が異なる圃場条件下の直播イネにおける玄米収量および玄米の品質の差異を、玄米整粒率を指標として解析する。本試験により、秋田県の直播栽培における目標収量 570 g m<sup>-2</sup> を、玄米の品質を高く維持して確保するには、第 2 節からの 1 次分げつによる有効穂が重要であることを実証する。

#### 1) 耕種概要

試験は 2011 年に秋田県農林水産技術センター農業試験場（秋田市雄和）の圃場で、気温の測定を含めて試験 1 と同様の手順で行った。播種は 5 月 10 日とした。

#### 2) 供試除草剤

試験 1、試験 2 で第 2 節からの 1 次分げつの発生を抑制した PBBP 水和剤、同成分の PBBP 粒剤、対照区として試験 2 で使用し第 2 節からの 1 次分げつの抑制がほとんど見られなかった CDBB 粒剤を選び、第 2-1 表の条件で処理した。除草剤処理時の水深は、秋田県農作物病害虫・雑草防除基準（秋田県 2011）によって水和剤では約 5 cm、粒剤では約 3 cm とした。試験期間中、試験区の減水深は 1 cm 日<sup>-1</sup> 以下であった。

対照区としての除草剤無処理区を設けず、また除草剤を処理した試験区に雑草は残存せず、分げつ抑制に影響しないと判断して手取り除草を実施しなかった。

#### 3) 分げつ発生と生育の調査

試験区内の連続するイネの 10 個体について、第 4 節からの 1 次分げつの発生を確認した後の有効茎決定期である 6 月 22 日に、葉齢と第 2 節、第 3 節の 1 次

分けつの発生数を調査した。また、最高分けつ期である7月15日と、穂揃い期である8月15日に、試験区内の2条各30 cmを対象に上記の10個体を含むイネの茎数および穂数を調査した。

#### 4) 収量と玄米品質の調査

試験区内の分けつを調査した10個体を含む、2条30 cmのイネを株元から刈り取り、乾燥調整後に粒厚1.9 mm以上の精玄米重を水分15.0%に換算して収量を算出した。株式会社サタケ製穀粒判別器RGQI10Aを用いて、得られた精玄米における整粒の粒数割合(以下、整粒率)を測定した。

### 2-4. 結果および考察

#### 1) 播種翌日から10日間の日平均気温および処理時の気温

播種翌日から10日間の平均気温の平均値は、試験1では13.6℃、試験2では13.5℃、試験4では15℃で、播種早限とされる12℃よりは高く、好適出芽・苗立ちとなる14℃(秋田県農林水産部農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班2011)に近かった。試験3では20.3℃で、14℃からは6.3℃高くなった。すなわち、4試験とも低温により出芽が抑制される温度条件では無かった。また、除草剤処理日の日平均気温は、試験1で23.2℃、試験2のイネ2葉期処理で13.4℃、イネ2.5葉期処理で19.0℃、試験4ではイネ2葉期処理で13.8℃、イネ2.5葉期処理で16.1℃。試験3は26.6℃であったことから、異常な低温や高温の問題は無かった。試験3では他の試験に比較して相対的に高い温度が得られた。

#### 2) 次位・節位別の分けつ発生と有効化率(試験1)

PBBP水和剤区および無処理区とも第2節からの1次分けつの発生を6月17日に確認した。その後も分けつ発生は続き、両試験区において3次分けつの発生を7月15日の調査まで確認した。10個体の分けつ発生総数はPBBP水和剤区で92本、無処理区で97本と同等で(第2-2表)、これまでの薬害の評価法では薬害が無いと判断する結果である。

第2-2表 除草剤処理が直播イネの分けつの発生および有効化、高品質米生産に寄与する分けつ数とその有効化率に及ぼす影響(試験1、2005年)

試験区	分けつ発生総数		有効化総数		高品質米生産に寄与する分けつ <sup>2)</sup>		有効化率 <sup>4)</sup> (%)
	(本)	N.S.	(本)	N.S.	(本)	(%)	
PBBP水和剤区	92 (8.2)	N.S.	67 (7.5)	N.S.	42 (3.2)	*	72.8 (1.8) N.S.
無処理区	97 (10.7)		73 (10.3)		52 (3.8)		75.3 (3.3)

1) 分けつ発生数および分けつ有効化数は主茎を除く10個体あたりの数値。

2) 高品質米生産に寄与する分けつは、有効化した第2節～5節からの1次分けつ、第2節からの1次分けつからの2次分けつとした。

3) 有効化率=有効分けつ総数÷分けつ発生総数×100として求めた。

4) カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。

5) 無処理との比較で、\*は5%水準で有意なことを、N.S.は有意差の無いことを示す(検定)。

一方、次位・節位別の分けつの発生頻度は(第2-1図)、1次分けつでは、PBBP水和剤区の第2節では60%に、無処理区と比較して有意に減少した。1次分けつ第3節から第6節ではほぼ100%となり、無処理区と同等であった。第7節からの発生頻度はPBBP水和剤区で多い傾向であった。2次分けつでは、第2節からの1次分けつから発生した分けつの発生頻度が無処理区の223%に対して処理区では124%と有意に低下した。このことは、第2節からの1次分けつ発生数の違いに起因していた。

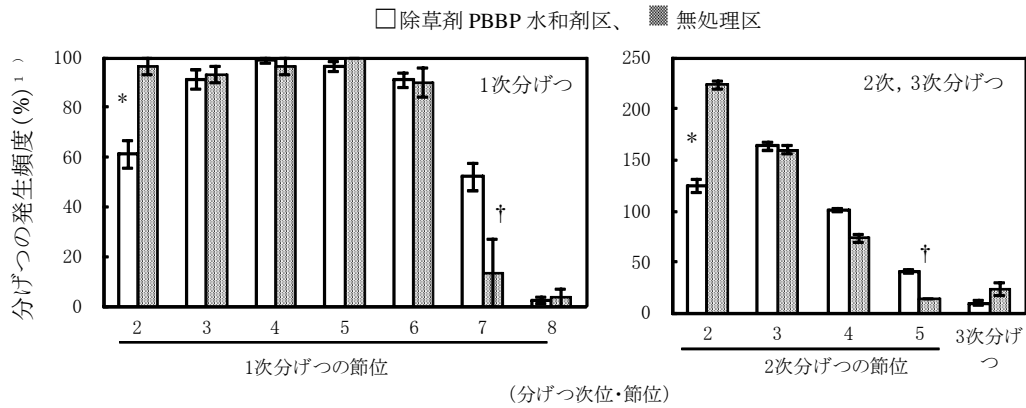
第2-2図には次位・節位別分けつの有効化率を示した。1次分けつでは第2節から第5節までは平均約95%の有効化率で、処理の影響は認められなかった。第6節ではやや低下して、第7節では50%以下となり、2次分けつでは各節位とも1次分けつより低いものの、同様に処理の影響は認められなかった。

PBBP水和剤の処理早限における処理によって第2節からの1次分けつの発生が抑制され、一方で高節位である第7節からの1次分けつ発生数が増加した。このことは茎数の補償作用が働いた結果(梅津ら1992、藤田2000)と考えられた。

若松ら(2006)は直播水稻の穂相について解析し、第7節からの1次分けつおよび、同伸葉同分けつ理論より第7節からの1次分けつと同時に発生すると考えられる2次分けつの穂への有効化率は60%以下であり、また、高節位および2次分けつが有効化した穂では、低節位の1次分けつに比べて1穂あたりの玄米重量は少なく、タンパク質含有率は高くなる傾向にある、としている。本試験でもPBBP水和剤区で増加した第7節からの1次分けつは有効化率では無処理区より低下し、高品質米生産に寄与する分けつとして期待できない。試験1では収量の調査を欠くが、PBBP水和剤区において高品質米生産に寄与する穂となる分けつが減少した(第2-2表)。分けつ数の減少は、その後の1穂着粒数の増加や出穂期以降の気象の推移などの要因により収量の減少をもたらさない場合もあるが、寒冷地での高品質米安定生産の観点からは第2節からの1次分けつの不足は薬害の一つとするべきである。

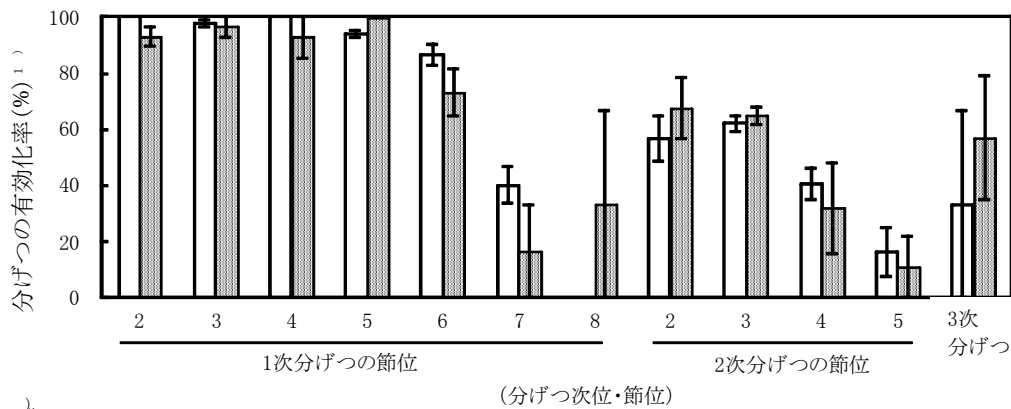
#### 3) 剤型と成分組成を異にする一発処理型除草剤の分けつ発生への影響(試験2)

第2-3表に第2節、第3節からの1次分けつの発生頻度を示した。無処理区での発生頻度は、第2節から50%、第3節から73%と、試験1に比べて低下した。イネ2.5葉期の除草剤処理翌日に27 mm日<sup>-1</sup>の降雨(アメダスデータ大正寺2007年5月31日)があった。試験区はプラスチック段ボール製の枠を挿入して設置したため、畦畔漏水の影響をほとんど受けないことから、水深が増した状態が数日間続いた。直



第2-1図 一発処理型除草剤の処理が直播イネの分けつの節位別構成へ及ぼす影響 (試験1、2005年)

- 1) 分けつの発生頻度=分けつの発生数÷調査個体数×100として求めた。
- 2) 図中の\*は試験区間で5%水準、†は10%水準で有意差のあることを示す。無印は有意差のないことを示す (t検定)。
- 3) 図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)。



第2-2図 一発処理型除草剤の処理下での直播イネの分けつの有効化の次位・節位別変動 (試験1、2005年)

- 1) 各次位節位分けつの有効化=各次位節位の有効分けつ数÷各次位節位の分けつ発生数×100として求めた。
- 2) 図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)。

播イネでは葉齡2.2前後に湛水深が5 cmから4 cm増加すると第2節からの1次分けつの発生率が低下する (佐々木ら 2002) とされていることから、本試験では測定値を欠くものの除草剤処理後の止め水期間内に圃場全体で水深が深くなったため、その影響を受けたものと考えられた。

第2-3表 剤型と種類を異にする除草剤の処理による直播イネの低節位の1次分けつ節位別発生への影響 (試験2、2007年)

試験区	1次分けつの発生頻度(%) <sup>2)</sup>	
	第2節	第3節
PBBP水和剤	3 (3) b	43 (20) a
PBBP粒剤	40 (10) ab	57 (12) a
CPBM粒剤	23 (3) ab	67 (7) a
CDBB粒剤	43 (30) a	67 (30) a
無処理	50 (15) a	73 (12) a

- 1) 分けつ発生は6月19日に調査した。
- 2) 分けつの発生頻度=分けつの発生数÷調査個体数×100として求めた。
- 3) カッコ内は標準誤差を示す (n=3)。
- 4) 各節の異なるアルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差のあることを示す。

第2節からの1次分けつの発生頻度は、PBBP水和剤区で無処理区より有意に、また、他剤より著しく低下した。統計的に有意ではないが第3節からの発生頻度も低い傾向にあった。PBBP水和剤区で、同じ成分で剤型が異なるPBBP粒剤区よりも第2節からの1次分けつの発生頻度が低下したのは、秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 (秋田県 2011) に準じて、水和剤処理時の水深を粒剤よりも約2 cm深い5 cmにしたことも一因と考えられた。しかしPBBP粒剤区では、第3節からの1次分けつ発生がやや少ない傾向であったことを考慮すると、PBBP両剤に共通する成分が強く関与したものと推察された。CPBM粒剤区では、有意差は見られなかったが、第2節からの1次分けつ発生頻度が低下した。CPBM粒剤の有効成分のうち、プロモブチドを含まない混合剤であるピラゾスルフロンのメフェナセット・シハロホップ粒剤 (有効成分含有率: 0.3%・7.5%・1.5%。10 aあたり使用量1kg) のイネ2.0葉期処理で、出芽と草丈および葉齡の強い抑制がみられている (須田・三浦ら 1999)。また、2011

(平成 22) 年度版秋田県農作物病害虫・雑草防除基準において CPBM 粒剤の処理早限はイネの葉齢 2.0 (秋田県 2011) であるが、同剤が初めて掲載された 2007 年の防除基準 (秋田県 2007) においては、イネへの安全性を考慮して処理早限は葉齢 2.5 とされていた。すなわち、CPBM 粒剤区では、ピラズスルフロシ・メフェナセット・シハロホップ粒剤と CPBM 粒剤に共通する成分により分けつが抑制されたと推察された。CDBB 粒剤区では第 2 節からの 1 次分けつの発生頻度は供試除草剤の中で最も高く、無処理区と同等であった。

第 2-4 表 剤型と種類を異にする除草剤の処理による直播イネの有効茎決定期の葉齢および最高分けつ期の茎数への影響 (試験 2、2007 年)

試験区	葉齢	茎数(本 $m^{-2}$ )	対無処理区比(%)
PBBP水和剤	6.5 a	523 (37) a	76
PBBP粒剤	6.4 a	605 (18) a	88
CPBM粒剤	6.5 a	721 (70) a	105
CDBB粒剤	6.7 a	664 (47) a	96
無処理	6.6 a	689 (32) a	100

1)葉齢は6月19日に、茎数は7月13日に調査した。  
 2)カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。  
 3)同一アルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。

4) イネの有効茎決定期の葉齢および最高分けつ期の茎数(試験 2)

第 2-4 表に有効茎決定期の 2007 年の 6 月 19 日のイネの葉齢と、最高分けつ期である 7 月 13 日の茎数を示した。処理区の葉齢は 6.4 ~ 6.7 の範囲で、無処理区と同等であり、イネの葉齢進展に除草剤の剤型と成分組成の影響は認められなかった。茎数は、PBBP 水和剤区において 523 本  $m^{-2}$  と、有意差はないものの無処理区と比較して 24 %減少した。

秋田県における目標収量 570 g  $m^{-2}$  のための最高分けつ期に確保すべき茎数は 600 本  $m^{-2}$  で、下限 500 本  $m^{-2}$ 、上限 700 本  $m^{-2}$  とされており(三浦ら 2007)、PBBP 水和剤区の茎数は下限値に近く、収量の減少が懸念される値であった。

前項で述べたように、PBBP 水和剤区では第 2 節からの 1 次分けつの発生が強く抑制され、第 3 節からの 1 次分けつの発生も少ない傾向であったことから、これらの節位から発生する 2 次分けつも減少したためと考えられた。また、試験 2 では、第 4 節からの 1 次分けつより後に発生する分けつ調査を欠くが、PBBP 水和剤処理のために湛水深を増した影響が強く、試験 1 で見られた高節位および高次位の分けつの発生による、補償作用による茎数の回復が無かったと推察される。剤型を異にする PBBP 粒剤では有意差は無いものの無処理区と比較して 12 %減少した。前項で述べた、第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつ発生が減少傾向が茎数に影響したと考えられた。他の粒剤の処理区での茎数は無処理区と同等であった。

試験 2 の結果から、湛水土中直播水稻において一発処理型除草剤の種類により収量と品質の面から重要な穂となる第 2 節からの 1 次分けつ発生の抑制程度が異なることが明らかとなり、抑制された場合には最高分けつ期の茎数が減少する傾向となることが示された。本試験では、次位・節位別の分けつの有効化の調査を欠くが、高品質米生産に寄与する分けつの発生が抑制され、最高分けつ期の茎数も不足する生育相をもたらす可能性のある種類の一発処理型除草剤については、使用時期を含めた安全使用に十分に留意する必要がある。

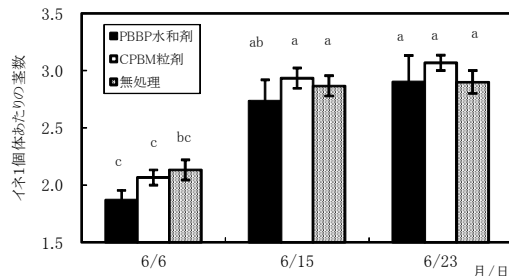
5) ガラス室内での高温条件下での節位別分けつの発生抑制 (試験 3)

圃場での試験 1、試験 2 に比べてそれぞれ 3.4 °C、7.6 °C 高い条件下での PBBP 水和剤および CPBM 粒剤処理区における第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつの発生頻度は無処理区と同等で、圃場での試験 1、試験 2 で観察された PBBP 水和剤による低節位 1 次分けつの発生の抑制は認められなかった (第 2-5 表)。茎数の推移は、分けつ開始時期にあたる 6 月 6 日では CPBM 粒剤処理区や無処理区に比べて PBBP 水和剤処理区で

第 2-5 表 相対的な高温条件下での直播イネの低節位の 1 次分けつ発生に及ぼす一発処理型除草剤の影響 (試験 3、2006 年)

試験区	1次分けつの発生頻度(%) <sup>2)</sup>	
	第2節	第3節
PBBP水和剤	83 (8.8) a	83 (6.7) a
CPBM粒剤	93 (3.3) a	93 (6.7) a
無処理	97 (3.3) a	87 (8.8) a

1)播種翌日から10日間の日平均気温20.3°C、一発処理型除草剤を処理した日(5月22日)の平均気温は26.6°Cであった。  
 2)分けつの発生頻度=分けつの発生数÷調査個体数×100として求めた。  
 3)カッコ内は標準誤差を示す。  
 4)各節の同一アルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。



第 2-3 図 相対的な高温条件下での直播イネ 1 個体あたりの茎数に及ぼす除草剤処理の影響 (試験 3、2006 年)

1)播種翌日からの10日間の日平均気温は20.3°C、一発処理型除草剤処理日の日平均気温は26.6°Cであった。  
 2)イネ1個体あたりの茎数は10個体の茎数の合計を10で除して求めた。



やや少ないが、分けつ発生が終了した6月23日には他の区と同等になった(第2-3図)。

試験3は、試験1、試験2より高い気温条件下でイネの除草剤吸収が促進され、分けつ発生の抑制が助長されることを想定して、ガラス室内で実施した。しかし、本試験では、供試除草剤の分けつ発生に対する影響は認められず、このことは26℃程度の気温条件がイネの除草剤吸収よりは、分けつ発生を促進する方向に作用したものと考えられた。一方、「散布後著しい高温が続く場合、初期生育が抑制される」といった注意事項が、多くの種類の一発処理型除草剤の使用基準に記載されていることから、上記に關与する気温の限界値や変温の影響などについて、今後さらに検討を要する。

#### 6) 剤型と成分組成を異にする一発処理型除草剤の分けつ発生への影響(試験4)

第2-6表に、収量と玄米品質への影響に関する試験4での第2節、第3節からの1次分けつの発生頻度を示した。第2節からの1次分けつの発生頻度は、PBBP水和剤区と同粒剤区で、CDBB粒剤区より有意に低下した。PBBP水和剤区と同粒剤区では有意差は無いが、PBBP水和剤区で低下した。第3節からの発生頻度は3試験区とも同等であった。第2節からの1次分けつの抑制は、PBBP水和剤区、同粒剤区、CDBB粒剤区では試験2と同様の状況を設定できた。

第2-6表 直播イネの収量と品質への影響に関する試験における剤型と種類が異なる除草剤処理によるイネの低節位の1次分けつ節位別発生への影響(試験4)

試験区	1次分けつの発生頻度(%) <sup>2)</sup>	
	第2節	第3節
PBBP水和剤	16 (3) b	59 (7) a
PBBP粒剤	22 (2) b	52 (8) a
CDBB粒剤	42 (4) a	62 (13) a

- 1)カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。
- 2)分けつの発生頻度=分けつの発生数÷調査個体数×100として求めた。
- 3)各節の異なるアルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差のあることを示す。

#### 7) 有効茎決定期のイネの葉齢および最高分けつ期の茎数(試験4)

第2-7表に有効茎決定期の2011年の6月22日のイネの葉齢と、最高分けつ期の7月15日の茎数を示した。除草剤処理区の葉齢は6.4～6.5の範囲で、3試験区で同等であり、イネの葉齢進展に除草剤の剤型と成分組成の影響は認められなかった。茎数は、試験2に比較して全試験区で著しく減少し、3つの試験区で、目標収量570 g m<sup>-2</sup>のために最高分けつ期に確保すべき茎数の下限500本 m<sup>-2</sup>(三浦ら2007)を下回った。

PBBP水和剤区では352本 m<sup>-2</sup>と有意差はないものの、他の2試験区と比較して50～60本 m<sup>-2</sup>程度減少した。試験4において、最高分けつ期の茎数が減少した要因としては、2011年6月23日、24日、27日のそれぞれ93.5 mm、105.5 mm、64.5 mmの降水量(気象庁気象統計情報/日ごとの値/大正寺/2011年/6月)による水深の増加が考えられた。すなわち6月23日、24日の豪雨の後6月25日に圃場を排水し水深を低下させたが、試験区においては、枠を設置しているため、測定値を欠くものの水深の減少は緩やかとなった。また、27日にも64.5 mmの降雨があった。直播栽培において、イネ8～9葉期にあたる6月下旬から7月上旬に15 cmの湛水深を保つと、高次位・高節位の分けつの発生が抑制され、分けつ発生総数は25%減少する(三浦ら2008)とされている。本試験区内では降水量から推察すると湛水深が15 cm以上となり、分けつの発生が抑制されたと考えられた。茎数は減少したものの、試験区間の比較では試験2と同様の状況を設定できた。

第2-7表 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による有効茎決定期の直播イネの葉齢および最高分けつ期の茎数への影響(試験4、2011年)

試験区	葉齢	茎数(本 m <sup>-2</sup> )
PBBP水和剤	6.5 a	352 (39) a
PBBP粒剤	6.5 a	426 (86) a
CDBB粒剤	6.5 a	422 (58) a

- 1)葉齢は6月22日に、茎数は7月15日に調査した。
- 2)カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。
- 3)同一アルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。

第2-8表 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による直播イネの穂数および収量・整粒率への影響(試験4、2011年)

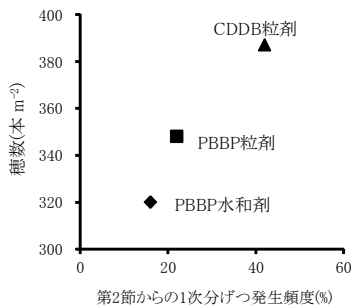
試験区	穂数(本 m <sup>-2</sup> )	精玄米重(g m <sup>-2</sup> )	整粒率(%)
PBBP水和剤	320 (20) N.S.	462 (31) N.S.	84 (0.1) *
PBBP粒剤	348 (68) N.S.	486 (93) N.S.	86 (1.3) N.S.
CDBB粒剤	387 (52)	628 (56)	87 (0.5)

- 1)穂数は穂揃い期の8月15日に調査した。
- 2)カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。
- 3)表中\*はDunnett法でCDBB粒剤を対照として、5%水準で有意差のあることを、N.S.は有意差の無いことを示す。
- 4)整粒率は株式会社サタケ製穀粒判別器RGQ110Aにより測定した。

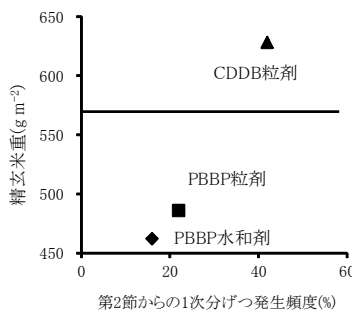
#### 8) イネの穂数および精玄米重と整粒率(試験4)

第2-8表に穂揃い期の2011年8月15日のイネの穂数と、精玄米重を示した。穂数は、試験4の3試験区において有意差はないものの、第2節からの1次分けつへの抑制程度が大きかったPBBP水和剤では、抑制程度が小さかったCDBB粒剤区と比較して、17ポイント減少した。PBBP粒剤では、最高分けつ期の茎数はCDBB粒剤区と同等であったが、穂数はCDBB粒剤区と比較して10ポイント減少した。このことは、

有効化率の高い低節位の分げつ発生が抑制されたことによる推察された。すなわち、試験 4 における各試験区での穂数は第 2 節からの 1 次分げつの発生頻度と強く関連していた(第 2-4 図)。精玄米重は、PBBP 水和剤、同粒剤で CDBB 粒剤と比較して有意差はないものの目標とした  $570 \text{ g m}^{-2}$  には達しなかった。一方、CDBB 粒剤区で  $628 \text{ g m}^{-2}$  と目標の  $570 \text{ g m}^{-2}$  を確保できた。直播栽培において、収量・品質に寄与する分げつを確保し、深水処理により高次位・高節位の分げつの発生を抑制した場合には、1 穂粒数が増加して総粒数の増加により、増収することが明らかとなっている(三浦ら 2008) ことから、CDBB 粒剤区では 6 月下旬の降雨により同様の状態になったと推察された。



第 2-4 図 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による直播イネの第 2 節からの 1 次分げつの抑制と穂数との関係 (試験 4、2011 年)

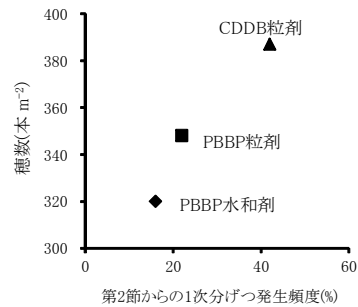


第 2-5 図 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による直播イネの第 2 節からの 1 次分げつの抑制と精玄米重との関係 (試験 4、2011 年)

精玄米重も第 2 節からの 1 次分げつの発生頻度と強く関連していた(第 2-5 図)。玄米の整粒率は、3 試験区とも 80 % 以上となり、高い値となった。その中の比較ではあるが、玄米の整粒率も第 2 節からの 1 次分げつの発生頻度と強く関連していた(第 2-6 図)

以上のことから湛水直播栽培において、ある種の一発処理型除草剤の早限処理に起因する第 2 節からの 1 次分げつへの抑制が起きて、特に高次位・高節位の分げつの発生が低下した場合には、収量と品質の低下がもたらされることが明らかになった。本試験で用いた

PBBP 水和剤、同粒剤の使用にあたっては、早限での処理を避ける除草体系が必要になると考えられた。



第 2-6 図 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による第 2 節からの 1 次分げつの抑制と玄米の整粒率との関係 (試験 4、2011 年)

## 2-5.小括

以上の 4 試験から、水稻の湛水土中直播栽培において、一発処理除草剤をその処理早限のイネ 2 ~ 2.5 葉期に使用した場合、収量と品質に寄与する分げつとして重要な第 2 節からの 1 次分げつの発生の抑制が、播種後の苗立ちや初期生育に影響のない気温条件でも起き得ること、その抑制程度は除草剤の成分、種類、気象条件や、水深などにより変動することが明らかになった。また、湛水直播栽培において収量および品質を向上させるためには、第 2 節からの 1 次分げつの発生の抑制を回避して、穂数を確保することが重要である。これまでの苗立ち数および茎数に基づく薬害評価に加えて、第 2 節からの 1 次分げつの発生の抑制程度を指標とすることは、寒冷地北部に位置する秋田県の水稲直播栽培において、高品質米安定生産に寄与する分げつの安定確保の技術確立のために重要であると考えられる。

一発処理型除草剤は湛水直播栽培での雑草防除体系の基幹技術である。しかし、ある種類の一発処理型除草剤使用による第 2 節からの 1 次分げつの発生抑制を防ぐために、これに対応した雑草防除技術が必要である。今後はさらに第 2 節からの 1 次分げつの発生を抑制する一発処理型除草剤の薬害を回避できる条件および使用方法の確立、落水期間に使用可能な除草剤や高葉齢の雑草に適用可能な除草剤の開発・実用化、初期除草剤の前処理による一発処理型除草剤のイネの 4 ~ 5 葉期処理などの新たな体系の確立を通して、高品質米生産に資する除草体系の確立が必要である。

### 3 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤の使用条件拡大のための初期除草剤ピラゾレート粒剤の少量散布

#### 3-1.抄録

直播栽培における一発処理型除草剤の農薬登録上の使用時期の早限は、多くの剤で葉害のおそれのないイネ2葉期とし、雑草ヒエの枯殺限界葉齢の2.5葉期を処理晩限としている。秋田県では、播種期の低い気温条件下でイネの出芽と生育が雑草ヒエのそれより遅延するため、この日数がしばしば1日となり、晩限を超えて散布される場合には除草効果が不十分となる。そのため、残存した高葉齢の雑草ヒエなどの枯殺のために中・後期除草剤の追加・複数回使用が必要となり、直播栽培の雑草防除における省力化を阻む大きな要因となっている。まず、播種後に使用可能な初期除草剤を少量散布することにより初期の雑草の発生と生育を抑制し、一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)を拡大させて、十分な除草効果を発揮させることを検討した。イネへの安全性が高く、雑草ヒエやイボクサに効果を示し、播種直後からイネ1葉期までに散布する初期除草剤ピラゾレート粒剤を用いた少量散布について検討した。

その結果、ピラゾレート粒剤の、農薬登録での3kg(製品量)/10aの半量をイネの出芽始期に湛水条件で処理することにより、その後に処理する一発処理型除草剤の使用可能日数が、単独使用の場合の1日から8日以上に拡大した。散布量の低減(少量1区)による除草効果の低下は初期除草剤の効果の許容範囲内であり、残存した雑草は一発処理型除草剤の性能の発揮により枯殺され、中・後期除草剤の追加散布の省略が可能になった。また、一発処理型除草剤の効果の不安定性が危惧される、転換畑からの復元田における無代かき直播栽培圃場や、本体系を試行した生産者圃場において実際に本研究結果の安定性と実用性を確認し、普及可能な技術であることを示した。ピラゾレート粒剤の製造・販売企業が本結果に着目して農薬登録に取り組み、全国の公立農業関係試験研究機関による効果・葉害に関する適用性試験を経て、2009年6月に10aあたりの使用量1.5kg(少量散布)として農薬登録された。

#### 3-2.はじめに

秋田県の水稲直播栽培においては、播種後のイネの葉齢より雑草ヒエの葉齢が速く進展するため(三浦

2010)、一発処理型除草剤のイネに対する安全性と除草効果が両立する使用可能期間(日数)が、1~4日と短くなることがある(田口ら2003、秋田県農林水産技術センター農業試験場において、財団法人日本植物調節剤研究協会から受託している水稲新除草剤第二次適用性試験の調査結果)。その場合、生産現場では雑草の枯殺限界を超えて除草剤が散布されることがしばしば起こり、直播栽培における雑草防除の効果不安定要因の一つとなっている。

一発処理型除草剤より使用時期が早く、残効性が短く、制御可能な雑草種が少ないという特徴で区分される初期除草剤のいくつかの剤が直播水稲に農薬登録されている。その中で、ピラゾレート粒剤(有効成分含有率:10%)はイネに対する安全性が高く(石田ら1984)、雑草ヒエ(石田ら1984、藤田1999)や直播栽培で問題となるイボクサ(荒井ら2007)に対する効果も高い。一方で、農薬登録での使用量(製品)が10aあたり3kgで1キロ粒剤およびフロアブル剤の使用量の3~6倍になること、および初期除草剤の中では価格が高いことが作業性およびコスト面での課題となり、本剤は現場で利用されにくい実態にある。そこで、移植栽培ではいくつかの初期剤の使用方に採用され、「水稲用除草剤では、フロアブル剤などの散布液を通常使用量よりも少なく散布する使い方のことをいう。初期剤や初期一発処理剤を前処理剤として少量散布し、一発剤や中期剤を体系処理して利用される。(独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構2006)」を内容とする少量散布の、湛水直播栽培への応用を発想した。すなわち、湛水直播栽培での一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)を、単用した場合の1~4日から拡大して除草効果の安定化をはかることを目的に、初期除草剤ピラゾレート粒剤を従来の使用基準における使用量の半量に相当する10aあたり1.5kgで少量散布した場合の適用性を調査した。

一発処理型除草剤の使用可能期間拡大の目的でのピラゾレート粒剤の少量散布を普及技術とするためには、無代かき栽培など除草剤の効果が低下する可能性のある条件での効果の変動を検討する必要がある。秋田県では、2009年度で約37%に達した水田転作面積率(秋田県農林水産部水田総合利用課調べ2010)に対応するため、水田への復元時のイネの倒伏軽減と畑地土壌の特性維持を目的に、無代かき湛水直播栽培が技術開発された(進藤ら2009)。一般的に復元田では畑地化により減水深が増加し(木村1986、足立1979)、無代かき直播栽培とした場合には、代かき直播栽培と比較して、田面水の縦浸透(山下ら1994)や漏水(長野間1998)も増加し、湛水状態を保つことが難しい。そのため、復元田では田面水の移動に伴う一発処理型除草剤の効果の低下が懸念される。

そこで、田面水の移動で一発処理型除草剤の効果

が変動する恐れのある復元田の湛水直播圃場において、ピラゾレート粒剤の少量散布と一発処理型除草剤による体系処理による雑草防除の効果に及ぼす代かきの有無の影響を調査した。さらに、実規模の大区画湛水直播水田でピラゾレート粒剤少量散布を試行した生産者から作業性と除草効果に関する情報を収集した。

3-3. 材料および方法

試験1 ピラゾレート粒剤少量散布による除草効果

一発処理型除草剤の性能を最大限発揮できる使用可能期間(日数)を単用の場合の1~4日から拡大し、除草効果を安定させることを目的に、使用量(製品)を3g m<sup>2</sup>(10aあたり3kg相当)から2g m<sup>2</sup>(同2kg相当)と1.5g m<sup>2</sup>(同1.5kg相当)へ減量した場合のピラゾレート粒剤の除草効果を明らかにする。

1) 耕種概要と試験区の配置

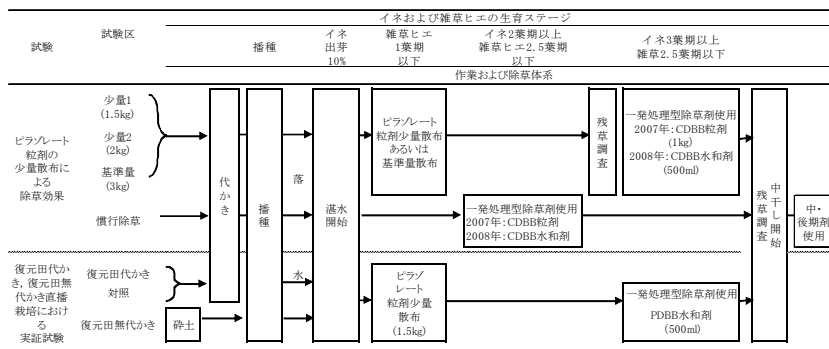
試験は2007年と2008年に秋田県農林水産技術センター農業試験場(秋田市雄和)の面積500m<sup>2</sup>、細粒質グライ土の水田圃場で行った。2007年には5月7日、2008年には5月6日に代かきを行い、N:6.8g m<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:9.1g m<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O:8.0g m<sup>2</sup>を化成肥料で播種時に側条施肥した。水稻品種「あきたこまち」の種子を浸漬・催芽後、播種前日に専用コーティングマシンにより、過酸化カルシウム粉粒剤(成分16%)を乾初重比1倍量で粉衣し、乾初換算で4g m<sup>2</sup>を専用播種機により湛水土中条播として、2007年には5月10日、2008年には5月9日に落水状態で播種した。播種後は落水管理とし、播種した初数の10%の出芽(秋田県農林水産部水田総合利用課2008)を確認した2007年5月22日、2008年5月17日に再び湛水した(第3-1図)。なお、試験2での供試水稻品種と種子の調整は本試験と同様とした。

播種後、塩化ビニル製の畦波シートを用いて2

m×3mの、除草剤処理用の試験区を無作為に2反復で設置した。同時に、プラスチック段ボール製枠を用いて、2007年にはピラゾレート粒剤散布後の除草効果調査用に1m×1mの無除草区を無反復で、一発処理型除草剤散布後の除草効果調査用に0.5m×0.5mの無除草区を2反復でそれぞれ設置した。2008年にはピラゾレート粒剤と一発処理型除草剤のそれぞれの散布後の除草効果調査用に、それぞれ0.5m×0.5mの無除草区を無反復で設置した。

2) ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理

2007年にはピラゾレート粒剤(有効成分含有率:10%)を再湛水2日後(5月24日)に、製品量で1.5g m<sup>2</sup>(以下、少量1区と記す)、2g m<sup>2</sup>(以下、少量2区と記す)、3g m<sup>2</sup>(以下、基準量区と記す)の3水準で処理した。2008年には、再湛水5日後(5月22日)に少量1区のみを設けた。2カ年とも処理時の水深は約3cmとした。体系処理用の一発処理型除草剤としては、2007年には、秋田県の湛水直播水稻栽培で長年使用されているカフェンストロール・ダイムロン・プロモブチド・ベンスルフロンメチル1キロ粒剤(有効成分含有率:3.0%、6.0%、6.0%、0.75%、10aあたり使用量1kg、農薬登録における使用時期:イネ2葉期から雑草ヒエ2.5葉期まで、以下、CDBB粒剤と記す)を、使用条件を満たす6月7日に製品量で1g m<sup>2</sup>を約3cmの水深で処理した。2008年には同水和剤(有効成分含有率:5.5%、10.0%、12.0%、1.4%、10aあたり使用量500ml、農薬登録における使用時期:イネ2葉期から雑草ヒエ2.5葉期、以下CDBB水和剤と記す)を、使用条件を満たす6月6日に製品量で0.5ml m<sup>2</sup>を約5cmの水深で処理した(第III-1図)。ピラゾレート粒剤処理区で用いた一発処理型除草剤のみをイネ2葉期で雑草ヒエ2.5葉期の2007年5月28日と、2008年5月29日に処理して慣行除草区とした(第3-1図)。



第3-1図 砕土・代かき以降の作業とピラゾレート粒剤の少量散布除草体系

- 1) 除草剤の略号については本文を参照
- 2) 図中のカッコ内のキログラム・ミリリットル表示除草剤(製品)の10aあたりの処理量を示す

### 3) 除草効果調査

無除草区で発生した全ての雑草を採取し、草種ごとの個体数と、80℃で48時間通風乾燥後の地上部乾物重を測定した。タイヌビエとイヌビエは区別せず「雑草ヒエ」とした。アゼナ類とミゾハコベを一括して「一年生広葉雑草」とした。無除草区が2反復ある場合には平均値を用いた。観察のみを行った2007年の慣行除草区を除いて、除草剤を処理した試験区の各雑草の草種別の地上部乾物重を測定し、無除草区の地上部乾物重に対する比に100を乗じた残草率を算出し、除草効果を評価した。一発処理型除草剤処理前の2007年6月6日（ピラゾレート粒剤処理13日後）と2008年6月5日（同処理16日後）にピラゾレート粒剤の除草効果を調査した。体系処理の除草効果を、2007年には一発処理型除草剤処理27日後の7月2日に、2008年には同処理24日後の6月30日にそれぞれ調査した。なお、試験2での除草効果調査の方法は本試験と同様とした。

### 4) イネの生育

一発処理型除草剤の処理直前の2007年6月6日に除草剤処理用の試験区内のイネの苗立ち数を、2条各1mを対象に3反復で調査した。2007年7月13日と2008年7月18日に生育期（最高分げつ期）の茎数を、各年の成熟期に穂数を、除草剤処理用の試験区の枠内の条60cmを2反復で調査した。収量は、同各試験区の中央部の3.0m<sup>2</sup>のイネを株元から刈り取り、乾燥調整後に粒厚1.9mm以上の精玄米重を水分15.0%に換算して算出した。

## 試験2 復元田無代かき、復元田代かき直播栽培における、ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理の効果の変動

一発処理型除草剤の効果不足が懸念される復元田での湛水直播栽培において、ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理の効果の変動を、代かきの有無の条件下で確認する。

### 1) 耕種概要

秋田県農林水産技術センター農業試験場において、前作のダイズ栽培時には雑草ヒエが繁茂していた圃場を復元田として「復元田無代かき区（80a）」と「復元田代かき区（20a）」を、また、一発処理型除草剤と茎葉処理除草剤（シハロホップブチル・ベンタゾン液剤）によって雑草が適切に防除されてきた代かき直播イネ連作圃場に「連作田代かき区（以下、対照区と記す）」を設けた。復元田無代かき区では、レーザプラウとレーザレベラにより均平作業後、2008年5月4日に縦軸回転ハローにより砕土・整地し、土壌を飽水

させた後の5月13日に播種し、復元田代かき区ではレーザプラウとレーザレベラにより均平作業後、対照区ではロータリで耕うん後、5月8日に代かき、5月13日に播種した。「復元田」の区では無施肥とし、対照区ではN：7.0g/m<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：9.3g/m<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O：8.2g/m<sup>2</sup>を化成肥料で播種時に側条施肥した。乾粒換算で3.5g/m<sup>2</sup>の種子を専用播種機により播種深を5～10mmに設定し、湛水土中条播として5月12日に播種した。播種後落水管理を行い、5月22日に再び湛水を開始した。（第3-1図）。それぞれの区に、0.5m×0.5mのプラスチック段ボール製枠を用いた無除草区を3反復で設置した。

### 2) 供試除草剤

製品量で1.5g/m<sup>2</sup>のピラゾレート粒剤を再湛水翌日の5月23日に約3cmの水深でそれぞれの区に処理した。一発処理型除草剤として、ピラゾレート粒剤処理10日後の6月2日に、秋田県の直播栽培で多く用いられている剤であるピリミノバックメチル・プロモブチド・ベンスルフロンメチル・ペントキサゾン水和剤（有効成分含有率：0.83%、17.0%、1.3%、2.8%、10aあたり使用量500ml、農薬登録における使用時期：イネ2.5葉期から雑草ヒエ3葉期、以下、PBBP水和剤と記す）を製品量で0.5ml/m<sup>2</sup>として約5cmの水深で3区に処理した（第3-1図）。

### 3) 除草効果調査

ピラゾレート粒剤処理10日後の6月2日、一発処理型除草剤の処理の直前に、無除草区とピラゾレート粒剤の試験区内の雑草の種類と葉齢を調査した。一発処理型除草剤処理28日後の6月30日に、50cm×50cmの枠を用いて試験区内の雑草を無作為の3反復で採取し、草種ごとの個体数と乾物重を測定した。

### 4) イネの生育

無除草区を除く各試験区の中心部で、苗立ちの均一な部分の2条各50cmを対象に、苗立ち数および最高分げつ期の茎数と成熟期の穂数を4反復で調査した。収量調査は、試験1と同様に行った。

## 試験3 ピラゾレート粒剤少量散布を試行した現地直播圃場における聞き取り調査

秋田県内で水稲湛水直播栽培にピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理を試行した生産者に面談し、作業性と除草効果などに関するコメントを得た。

### 1) 調査対象

秋田県大仙市（土壌タイプ：細粒質グライ土）、

由利本荘市（土壌タイプ：粗粒質グライ土）、および能代市（土壌タイプ：細粒質グライ土）の各 1 戸の水稲直播栽培生産者（第 3-9 表）

## 2) 調査内容

水稲直播圃場面積、除草体系、除草剤散布方法、体系全体の除草効果およびピラゾレート粒剤の散布における作業性を項目として、大仙市においては 2009 年 10～12 月、由利本荘市、能代市では 2010 年 10～12 月に面談した。

### 3-4. 結果および考察

#### 1) ピラゾレート粒剤少量散布による除草効果（試験 1）

##### (1) 無除草区における草種別の雑草発存量

ピラゾレート粒剤の除草効果調査時における無除草区での雑草発存量は、2007 年、2008 年ともほとんどの雑草種で  $0.5 \text{ g m}^{-2}$  以下であったが、ピラゾレートが強い活性を示す 12 種の雑草（石田ら 1984）のうち、雑草ヒエ、アゼナ類、コナギ、マツパイ、イヌホタルイおよびタマガヤツリが発生し、また直播栽培で問題となるイボクサ（荒井ら 2007）が発生していた。財団法人日本植物調節剤研究会における新除草剤適用性試験での実施基準では「当該地域の代表的な数種の雑草が均一かつ一定量発生することが望ましい」とされている（日本植物調節剤研究会 2004）。また、秋田県の水田における草種別発生面積は、多いものから雑草ヒエ、イヌホタルイ、コナギ、クログワイ、オモダカ、ミズガヤツリ、ヘラオモダカ、マツパイとなっていることから（秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011）、ピラゾレート粒剤の除草効果の評価が可能な条件であった。

一発処理型除草剤の除草効果調査時における無除草区の雑草乾物重は、2007 年にはマツパイ、コナギ、イヌホタルイ、雑草ヒエを主体に、合計で  $125.75 \text{ g m}^{-2}$  で、2008 年には一年生広葉雑草、コナギを主体に合計で  $64.52 \text{ g m}^{-2}$  であった。個体数では、調査を省略したマツパイを除いて、2007 年には、一年生広葉雑草、コナギ、イヌホタルイ、イボクサの順で多く、合計では  $2585 \text{ 本 m}^{-2}$  で、2008 年には一年生広葉雑草、コナギが多く、合計では  $828 \text{ 本 m}^{-2}$  であった（第 3-1 表）。クログワイ、オモダカなど防除が難しいとされ、一発処理型除草剤の防除対象外になっている多年生雑草を除いた一発処理型除草剤の評価の対象草種（日本植物調節剤研究会 2004）の 66 % の種が発生しており、ピラゾレート粒剤の評価と同様に、直播栽培における一発処理型除草剤の除草効果の評価が可能な条件であった。

#### (2) 除草効果

一発処理型除草剤の処理直前での、ピラゾレート粒剤の試験区での残草率は、2007 年で 1 % 以下、2008 年で 7.9 % であり、両年とも試験区間に有意差はなかった。（第 3-2 表）。財団法人植物調節剤研究協会における新除草剤適用性試験での判定基準では、残草率 10 % 以下の場合に「除草効果が極大」（日本植物調節剤研究会 2004）とされ、これに準じると本試験で得られた除草効果は「極大」の範囲であった。

ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理での残草率は、2007 年では少量 1 区では 1.8 %、少量 2 区では 4.9 % で、基準量区での 0.1 % より高いものの 10 % 以下であったことから、本体系処理は高い除草効果を示した（第 3-3 表）。同年の慣行除草区では、残草率を欠く観察調査ではあったものの、マツパイの残存が多く、中干し期間中である 7 月 23 日にベンタゾン液剤の処理を必要としたが、ピラゾレート粒剤の試験区ではその必要が無かった。同様に 2008 年では少量 1 区では慣行除草区で認められたイボクサは残存しなかった。ピラゾレート粒剤の少量散布の効果調査時には残草率で 50 % であったイボクサが、体系処理で用いられた一発処理型除草剤により制御されたと考えられた。ピラゾレート粒剤処理のない慣行除草区において、この時期のイボクサは除草剤による抑制を受けていないが、少量散布であっても本剤がイボクサへ効果（荒井ら、2007）を及ぼしたことがピラゾレート粒剤処理区において一発処理型除草剤の効果を発揮させた要因と推察された。また、慣行除草区では残存した雑草の生育が進み、7 月 9 日にシハロホップブチル・ベンタゾン液剤の処理が必要となったが、少量 1 区ではその必要が無かった（第 3-1 図）。

2 カ年の試験において、播種量の 10 % 程度のイネが出芽した時点で再湛水し、ピラゾレート粒剤を少量散布して、イネ 3 葉期以降に一発処理型除草剤の使用時期を確保した体系において、少量散布 1 区および 2 区は十分な除草効果を示した。

通常、初期剤の除草効果調査は、処理後 20 日頃に行い（日本植物調節剤研究会 2004）、また、直播栽培で基準量を処理したピラゾレート粒剤の除草効果は処理 41 日後まで（中山・高林 1998）調査されている。一方、本研究では、2007 年にはイネが 3.5 葉期である処理 13 日後、2008 年にはイネが 3 葉期である処理 16 日後と、上記より早く除草効果の評価した。本研究では、イネの生育が 3～3.5 葉に到達するまで 20 日より短い期間であった。そのため、一発処理型除草剤の効果確保のためのピラゾレート粒剤少量散布では、基準量の場合よりも残効期間は短くてもよいと考えた。ピラゾレート粒剤の後に使用する一発処理型除草剤の

三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

効果を最大限発揮させる使用可能期間（日数）を、単独使用の場合の1～4日から拡大し、除草効果の安定を目的とする場合には、ピラゾレート粒剤少量散布が有効であるが、一発処理型除草剤の処理がさらに遅れる場合や、中期剤との体系処理の場合には必要な残効期間についての検討が必要である。

第3-1表 ピラゾレート粒剤の少量散布による除草効果試験の無処理区における一発処理型除草剤使用の直前と一発処理型除草剤効果調査時の雑草種別の雑草発生量（試験1）

年次	調査時期	発生量	雑草種							合計 <sup>4)</sup>
			雑草ヒエ <sup>1)</sup>	一年生広葉 <sup>2)</sup>	イヌホタルイ	コナギ	イボクサ	マツバイ	その他 <sup>3)</sup>	
2007	一発処理型除草剤使用の直前	個体数(本 m <sup>-2</sup> )	10	2466	25	70	14	—	—	2585
		乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0.03	0.27	0.08	0.08	0.07	3.13	0.01	3.54
2008	使用の直前	個体数(本 m <sup>-2</sup> )	20	680	8	92	28	—	—	828
		乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0.04	0.33	0.02	0.04	0.04	0.03	0	0.50
2007	一発処理型除草剤効果調査	個体数(本 m <sup>-2</sup> )	16	1283	26	106	18	—	—	1449
		乾物重(g m <sup>-2</sup> )	15.74	6.04	16.06	24.77	1.64	61.1	0.4	125.75
2008	効果調査	個体数(本 m <sup>-2</sup> )	28	4696	28	428	56	—	—	5236
		乾物重(g m <sup>-2</sup> )	4.20	33.88	0.72	12.72	0.96	1.00	11.04	64.52

1)「雑草ヒエ」は、タイヌビエとイヌビエを含む。  
 2)「一年生広葉」はアゼナ類、ミノハコベを主に含む。  
 3)「その他」はタマガヤツリ、ハリイ、タウコギ、チョウジタデなどを含む。  
 4)本数の合計は、マツバイとその他を含まない。  
 5)—は調査を行っていないことを示す。

第3-2表 一発処理型除草剤の体系処理前時点でのピラゾレート粒剤少量散布による雑草の種別の残草率(%)（試験1）

年次	調査日	試験区	雑草種ごとの残草率(乾物重%) <sup>1)</sup>							
			雑草ヒエ <sup>2)</sup>	一年生広葉 <sup>3)</sup>	イヌホタルイ	コナギ	イボクサ	マツバイ	その他 <sup>4)</sup>	合計
2007	6月6日	少量1	0 a	0 a	0 a	2.5 a	0 a	0.5 a	0 a	0.5 a
		少量2	0 a	0.2 a	0 a	7.5 a	0 a	0.3 a	0 a	0.5 a
		基準量	0 a	0.3 a	0 a	7.5 a	0 a	0.3 a	0 a	0.5 a
2008	6月5日	少量1	2.0 c	7.5 a	0 a	0 a	50.0 a	35.0 a	0 a	7.9 a

1)残草率は、無除草区(第III-1表)に対する各試験区の地上部乾物重比に100を乗じたものを求めた。  
 2)「雑草ヒエ」は、タイヌビエとイヌビエを含む。  
 3)「一年生広葉」はアゼナ類、ミノハコベを主に含む。  
 4)「その他」はタマガヤツリ、ハリイ、タウコギ、チョウジタデなどを含む。  
 5)表中の同一アルファベットは同一草種で試験区間にTukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。乾物重比を逆正弦変換して分析した。

第3-3表 ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理の雑草の種別の残草率(%)（試験1）

年次	調査日	試験区	雑草種ごとの残草率(乾物重%) <sup>1)</sup>								
			雑草ヒエ <sup>2)</sup>	一年生広葉 <sup>3)</sup>	イヌホタルイ	コナギ	イボクサ	マツバイ	その他 <sup>4)</sup>	合計	
2007	7月2日	少量1	0	0.2	0	0	0	3.8	0	1.8	
		少量2	0	2.2	0	0	0	9.8	0	4.9	
		基準量	0	0.2	0.3	0	0	0	15	0.1	
		分散分析	試験区	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
2008	6月30日	少量1	0	0	0	0	0	0	0	0	
		慣行除草	0	2.9	0	0	69	0.2	0	2.6	
		分散分析	試験区	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*

1)残草率は、無除草区(第III-1表)に対する各試験区の地上部乾物重比に100を乗じたものを求めた。  
 2)「雑草ヒエ」は、タイヌビエとイヌビエを含む。  
 3)「一年生広葉」はアゼナ類、ミノハコベを主に含む。  
 4)「その他」はタマガヤツリ、ハリイ、タウコギ、チョウジタデなどを含む。  
 5)表中の\*とN.S.は、二元配置の分散分析において5%水準で試験区間に有意差のあることと、有意差の無いことを示す。乾物重比を逆正弦変換して分析した。

(3) イネの生育と収量

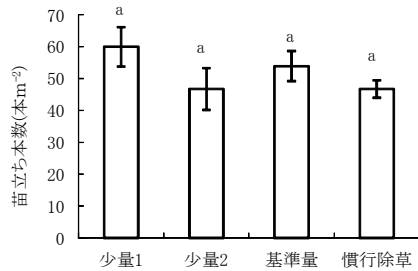
2007年のイネの1 m<sup>2</sup>あたり苗立ち数は、少量1区では60本、少量2区では47本、基準量区では52本、慣行除草区では48本で、少量1区と少量2区では、基準量区、慣行除草区と同等であった(第3-2図)。2007年の少量1区、慣行除草区で、最高分けつ期の茎数、穂数および収量は、それぞれ602、596本 m<sup>-2</sup>、458、442本 m<sup>-2</sup>および522、480g m<sup>-2</sup>であった。2008年は少量1区、慣行除草区で429、479本 m<sup>-2</sup>、393、347本 m<sup>-2</sup>、486、477 g m<sup>-2</sup>であった。少量1区と慣行除草区では、茎

数、穂数および収量には年次間差が見られたものの、試験区間では有意差はなく、ピラゾレート粒剤の少量散布によるイネの生育および収量への影響は無かった(第3-4表)。

試験1において、2カ年とも秋田県の湛水直播栽培の目標収量の570 g m<sup>-2</sup>に達しなかったことについて以下のように考察した。

2007年の秋田県内では、5月下旬の日照不足から苗立ち数が不足傾向で、各地域振興局による湛水直播栽培の定点調査圃(以下、定点圃と記す)の半数にお

いて目標苗立ち本数の 80 ~ 95 本 m<sup>2</sup> に達しなかった。また、全県平均での定点圃における幼穂形成期の葉緑素計値は 39.5 と目標数値の下限值 40 より低かった。しかし、定点圃においてはその後、適切に追肥が



第 3-2 図 ピラゾレート粒剤を少量散布した圃場における直播イネの苗立ち本数 (試験 1)

- 1) 苗立ち本数は 2007 年 6 月 6 日に調査した。
- 2) 図中の縦棒は標準誤差。
- 3) 図中の同一アルファベットは試験区間に Tukey 法で 5% 水準で有意差の無い事を示す。

第 3-4 表 ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理のもとでの直播イネの生育および収量(試験 1)

年次	試験区	最高分けつ期の茎数	穂数	収量
		本 m <sup>-2</sup>	本 m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>
2007	少量1	602	458	522
	少量2	500	391	482
	基準量	526	455	478
	慣行除草	596	442	480
2008	少量1	429	393	486
	慣行除草	479	347	477
分散分析	年次	*	*	*
	試験区	N.S.	N.S.	N.S.

1) 最高分けつ期の茎数は 2007 年は 7 月 13 日、2008 年は 7 月 18 日に調査した。  
 2) 表中の N.S. と \* は、少量 1 区と慣行除草区について処理と年次を要因とした、二元配置の分散分析において少量 1 区と慣行除草区の平均値間で有意差の無いこと、2007 年と 2008 年の平均値間で 5% 水準で有意差のあることを示す。

行われたと推察され、定点圃の平均収量は 570 g m<sup>2</sup> に達しなかったものの 543 g m<sup>2</sup> となった (秋田県農林水産部 2007)。本研究の試験 1 を行った圃場での苗立ち数は、定点圃の傾向と同様に 48 ~ 60 本 m<sup>2</sup> と少なかった。また、通常の除草剤の評価試験においては、剤の直接の影響による収量の減少程度で被害を判断する必要があり、葉色が淡い場合でも追肥を行わない。このために試験 1 では葉色が淡い状態でも追肥をしなかったことが、定点圃に比較して収量が減少した要因と考えられた。2008 年においては、最高分けつ期の茎数が目標数値の下限 500 本 m<sup>2</sup> (三浦ら 2007) に比較して著しく少なくなった。茎数を確保するために、5 葉期までに追肥を行うことが指導されているが (秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011)、2007 年と同様の理由により追肥を行わなかったことから、穂数・籾数不足となり、目標収量に達しなかったと考えられた。

(4) 一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)

試験 1 に用いた一発処理型除草剤 (CDBB 1 キロ粒剤、CDBB 水和剤) の農薬登録における使用可能期間は「イネ 2 葉期から雑草ヒエ 2.5 葉期まで」である。これに該当する日数は、慣行除草区では両試験年とも 1 日であったが、ピラゾレート粒剤少量散布と体系処理した場合には 2007 年には 10 日以上、2008 年には 8 日以上に拡大した (第 3-5 表)。

一発処理型除草剤の効果確保のためのピラゾレート粒剤少量散布 (1.5 g m<sup>2</sup>) で、一発処理型除草剤の使用可能期間が慣行除草区での 1 日から 8 ~ 10 日に拡大された。

これまで直播栽培では、発生後の雑草に中・後期剤として処理する茎葉処理除草剤の使用を前提にした除草体系が示されてきた (渡邊・川名 2006) が、日本海側に多い湿田では、ブームスプレーヤーを搭載した水田用乗用管理期 (栽培管理ビークルなど) による茎葉処理の中・後期剤の散布は困難な場合が多い (三浦 2010)。すなわち、下層土壌が「ビークルの車輪の前進と路面間の滑りによって起こる (生物生産機械ハンドブック 1996)」とされる「すべり沈下」しやすいため (田中ら、1967)、複数回の走行によって地耐力が低下し作業機の沈車の要因となるためである。よって、圃場管理上、茎葉処理剤の使用を雑草防除体系の前提とすることは望ましくない。茎葉処理除草剤は鉄砲ノズルなどを用いて畦畔からも散布可能であるが、ノズルからの噴霧量、散布速度および自然の風により散布幅が変わり、散布ムラが生じやすい (生物生産機械ハンドブック 1996) ことから、鉄砲ノズルでの畦畔からの散布では除草効果が不足する場合がある。

本試験の慣行除草区では 2007、2008 年とも中干し期間中に茎葉処理除草剤の使用が必要であったが、ピラゾレート粒剤少量散布との体系処理では不要であった。本試験における体系処理では一発処理型除草剤の使用時期を遅らせることが可能となるため、イネの 7 ~ 8 葉期頃に行われる中干しの時期までに発生する雑草も有効に防除しようと考えた。一発処理型除草剤の使用条件拡大のためのピラゾレート粒剤少量散布は、茎葉処理の中・後期剤除草剤の使用を省略することができ、寒冷地北部日本海側に位置する秋田県の水稲直播栽培においては有効な雑草防除方法になる。また、雑草防除に係わるコスト (除草剤の価格は全農秋田調べ 2011) の面では、ピラゾレート粒剤の基準量と一発処理型除草剤を使用する場合と比較すると、少量散布と一発処理型除草剤による体系処理では、除草剤費を約 25% 削減できる。さらに一発処理型除草剤と中・後期剤としての茎葉処理剤による雑草防除と比較すると除草剤費を 30 ~ 55% 削減できる。

なお、「試験 1」の結果の一部がピラゾレート粒剤の少量散布試験の基礎となり、その後全国の公立農試



三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

第3-5表 ピラゾレート粒剤の少量散布と一発処理型除草剤による体系処理のもとでの直播イネおよび雑草ヒエの葉齢の推移（試験1）

年次	除草体系	イネの生育ステージ					供試一発処理型除草剤の使用時期(日数)
		播種	出芽10%	2葉期	3葉期	3.5葉期	
2007	体系処理	5月10日	5月22日	5月28日		6月7日	発生無し
	慣行除草			2.5			1
	暦日	5月9日	5月17日	5月29日	6月6日		
2008	体系処理				2.0		8
	慣行除草			2.5			1
	暦日	5月9日	5月17日	5月29日	6月6日		

において効果および薬害にかかわる適用性が試験され、2009年6月に10 aあたりの使用量1.5 kg（少量散布）の内容で農薬取締法に基づく農薬登録の内容の拡大となった。

2) 復元田無代かき、復元田代かき直播栽培における、ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理の効果の変動（試験2）

(1) 無除草区の雑草発生量と体系処理による除草効果  
一発処理型除草剤処理直前（6月2日）の対照区の無除草区では、一年生広葉雑草が1葉期で、雑草ヒエとイヌホタルイの発生は無かった。復元田無代かき区では、復元田代かき区より雑草ヒエ、一年生広葉雑草の最大葉齢が0.5および1大きかった。また復元田無代かき区のみでイヌホタルイが発生した。ピラゾレート粒剤を少量散布した区の雑草の発生および最大葉齢は、雑草の発生のない対照区を除き、復元田無代かき区と復元田代かき区では雑草ヒエで1.0であった。（第3-6表）。すなわち、無除草区の雑草の葉齢進展は、対照区と比較して「復元田」で早く、さらに「無代かき」によって早まる傾向にあった。ピラゾレート粒剤の少量散布を行った場合、対照区では雑草が発生しなかったが、「復元田」では雑草ヒエが発生し、その最大葉齢には「代かき」と「無代かき」による差は

無かった。よって、「復元田」でピラゾレート粒剤の少量散布を行わない場合には一発処理型除草剤の使用可能期間が対照区より短くなる可能性があった。また無代かき区では、無除草区の雑草ヒエの最大葉齢から推察して一発処理型除草剤の使用可能期間が代かき区よりさらに短くなる可能性がある。

第3-6表 復元田無代かき、復元田代かき直播における一発処理型除草剤使用直前の雑草の種ごとの最大葉齢（試験2）

試験区	草種	無除草	ピラゾレート粒剤処理
復元田無代かき	雑草ヒエ <sup>1)</sup>	2.5	1
	イヌホタルイ	1	-
	一年生広葉 <sup>2)</sup>	2	1
復元田代かき	雑草ヒエ <sup>1)</sup>	2	1
	イヌホタルイ	-	-
	一年生広葉 <sup>2)</sup>	1	-
対照区	雑草ヒエ <sup>1)</sup>	-	-
	イヌホタルイ	-	-
	一年生広葉 <sup>2)</sup>	1	-

1)「雑草ヒエ」は、タイヌビエとイヌビエを含む。  
2)「一年生広葉」は主にアゼナ類、ミノハコベを含む。  
3) - は発生がないことを示す。

一発処理型除草剤の除草効果調査時（6月28日）の無除草区の雑草乾物重は、復元田無代かき区で7.1 g m<sup>2</sup>、復元田代かき区で21.5 g m<sup>2</sup>、対照区で8.7 g m<sup>2</sup>であった。発生本数は、マツバイと「その他」を除い

第3-7表 復元田無代かき、復元田代かき直播でのピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理による雑草の種別の残草率（試験2）

試験区	雑草種ごとの発生量と処理区での残草率(%) <sup>1)</sup>	雑草種ごとの発生量と処理区での残草率(%) <sup>1)</sup>						合計 <sup>5)</sup>
		雑草ヒエ <sup>2)</sup>	一年生広葉 <sup>3)</sup>	イヌホタルイ	コナギ	タウコギ	その他 <sup>3)</sup>	
復元田無代かき	無除草区雑草発生量	5	648	31	21	51	-	756
	残草率 <sup>1)</sup>	1.2	2.9	1.1	0.6	0.1	1.2	7.1
	残草率 <sup>1)</sup>	0 a	0 a	1 a	0 a	6.9 a	0 a	0.3 a
復元田代かき	無除草区雑草発生量	20	1301	29	56	103	-	1509
	残草率 <sup>1)</sup>	7	7.5	0.2	2.8	0.2	3.9	21.5
	残草率 <sup>1)</sup>	0 a	0.1 a	0.4 a	0.5 a	11.0 a	0 a	0.2 a
対照区	無除草区雑草発生量	3	192	12	4	61	-	272
	残草率 <sup>1)</sup>	0.2	5.3	1.6	0.01g以下	0.4	1.2	8.7
	残草率 <sup>1)</sup>	0 a	0 a	0 a	0 a	0.5 a	0 a	0.04 a

1)残草率は、無除草区に対する各試験区の地上部乾物重比に100を乗じたものを求めた。  
2)「雑草ヒエ」はタイヌビエとイヌビエを含む。  
3)「一年生広葉」は主にアゼナ類、ミノハコベ、「その他」には主にタマガヤツリを含む。  
4) - は測定していないことを示す。  
5)個体数の合計は「その他」を含まない。  
6)表中の同一アルファベットは同一草種で試験区間にtukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。乾物重比を逆正弦変換して分析している。

て、復元田無代かき区では 756 本  $m^{-2}$ 、復元田代かき区では 1509 本  $m^{-2}$ 、対照区では 272 本  $m^{-2}$  であった(第 3-7 表)。各試験区に雑草ヒエ、イヌホタルイ、タウコギ、コナギが発生し、ピラゾレート粒剤が高い活性 12 草種(石田ら 1984)の 25%、クログワイ、オモダカなど防除が難しいとされ、直播水稻での一発処理型除草剤の防除対象外になっている多年生雑草を除いた一発処理型除草剤の評価の対象草種(日本植物調節剤研究協会 2004)の 44%の草種が発生しており、直播栽培における体系処理の除草効果の評価が可能な条件であった。

復元田無代かき区の雑草発生量は、復元田代かき区や対照区と比較して少なかった。無代かき栽培では土壌の攪拌が少ないために土壌窒素の無機化が少なく(坂上・松原 1967、進藤ら 2003)、また、イネ近傍へ局所施肥するイネ栽培では条間作土中のアンモニア態窒素が少なくなることから、雑草の生育量が少ない(金田ら 2006)とされる。これらのことから、無代かき区では土壌窒素の無機化が少なく、窒素供給が少ないために雑草の発生量が少なかったと推察した。

ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤の体系処理後には、雑草ヒエと「その他」の雑草は 3 試験区で残存しなかった。イヌホタルイは、復元田無代かき区と復元田代かき区で残存したが、残草率では発生のない対照区と有意差は無かった。タウコギは、復元田無代かき区と復元田代かき区で残草率が 6.9%、11.0%の残草率となったが、対照区の残草率 0.5%と有意差は無かった。一年生広葉雑草とコナギは、復元田代かき区では残存したが、残存しなかった対照区、復元田無代かき区と有意差は無かった。全雑草種の合計値では 3 試験区とも残草率 1%以下と少なく、除草効果は高かった。

試験 2 では一発処理型除草剤を単独使用した試験区を設けていないが、「復元田」と「無代かき」においては、一発処理型除草剤の効果が変動しやすくなると予測される要因について、以下のように考察した。復元田無代かき区、復元田代かき区は、対照区に比較して、落水出芽終了後に再湛水する際に用水量を多く要した。すなわち、転換畑作からの復元(足立 1979、木村 1986)と、無代かき(山下ら 1994、長野間 1998)

により、本研究での圃場の減水深は増大したと考えられた。また、PBBP 水和剤には使用にあたり「除草効果の低下と生育抑制の葉害が発生する恐れがあるので、入水後水持ちの安定した後に散布してください。」との注意事項が付記されている(クミアイ化学工業株式会社 2010)。しかし、ピラゾレート粒剤を少量散布し、一発処理型除草剤の散布を遅らせたことにより、減水深が土壌の水積により減少し(足立 1979)、効果が安定したと考えられた。

復元田無代かき区は、対照区と比較して一発処理型除草剤処理時の無除草区における雑草ヒエの最大葉齢が大きく、雑草ヒエが早くから発生していたと考えた。無代かき直播栽培は、代かき湛水直播栽培に比べて、イネの播種後における雑草ヒエやホタルイの発生時期がばらつく(山下ら 1994)ことから、一発処理型除草剤単用の場合は、イネへの安全性からみた使用早限の前に、早期に発生した雑草ヒエの生育が進み、枯殺限界葉齢に達する場合があると推察された。

以上の結果から、一発処理型除草剤の効果が不安定になりやすいと考えられた「復元田」、特に無代かき条件下においても、一発処理型除草剤の使用条件拡大のためのピラゾレート粒剤少量散布の除草効果は高く、雑草防除技術としての実用性を確認できた。

## (2) イネの生育と収量(試験 2)

苗立ち数は復元田無代かき区で 90.7 本  $m^{-2}$ 、復元田代かき区で 78.1 本  $m^{-2}$ 、連作代かき区で 70.8 本  $m^{-2}$  であり、対照区と比較して有意な差は無かった。収量は 523  $g m^{-2}$ 、552  $g m^{-2}$ 、594  $g m^{-2}$  であり、対照区と比較して有意な差はなく(第 3-8 表)、2008 年の秋田県の直播実証圃の平均的収量である 589  $g m^{-2}$ (秋田県農林水産部水田総合利用課 2009)と同程度であることから、葉害および雑草害は無かったと考えられた。また、玄米の整粒率は、復元田無代かき区: 87.1%、復元田代かき区: 86.4%、対照区: 86.1%と高く、対照区に比較して有意な差はなかった。

対照区と比較して有意差はないものの、復元田では秋田県における目標収量 570  $g m^{-2}$  を確保できず、特に復元田無代かき区では減収程度が大きかった。このことについて以下の様に考察した。

第 3-8 表 復元田無代かき、復元田代かき直播栽培圃でのピラゾレート粒剤の少量散布と一発処理型除草剤による体系処理のもとでの直播イネの生育と収量(試験 2)

試験区	苗立数 本 $m^{-2}$	茎数 本 $m^{-2}$	穂数 本 $m^{-2}$	収量 $g m^{-2}$	整粒率 %
復元田無代かき	90.7(14.5) a	512(82.8) a	390(54.2) a	523(65) a	87.1(1.8) a
復元田代かき	78.1( 9.5) a	583(27.9) a	428(15.2) a	552(67) a	86.4(1.8) a
対照区	70.8(14.6) a	580(16.8) a	453(26.0) a	594(35) a	86.1(1.9) a
参考 目標生育値	95	600	470	570	-

1) 茎数は 2008 年 7 月 12 日に調査した。

2) 整粒率はサタケ社製製粒判別機 RGQ110A により調査した。

3) カッコ内の数値は標準偏差を示す。

4) 表中の同一アルファベットは試験区間に Tukey 法で 5% 水準で有意差の無いことを示す。

5) 目標生育値は平成 23 年度秋田県稲作指導指針 p100 より引用した。

復元田では窒素供給量が増大すると考えられ、移植水稲においても圃場の地力が高い場合は、倒伏し減収する(山野ら 2008)ことから、復元田での直播栽培では、倒伏による減収・品質低下を回避するために無肥料栽培(進藤ら 2010)が選択される。そのため、試験2においても復元田では無施肥とした。また、復元田での湛水直播栽培では無施肥栽培でも倒伏する機会が多く、無代かき直播栽培はこれを回避する目的で開発された。無代かき直播栽培のイネでは幼穂形成期までの窒素吸収量が少なく、幼穂形成期までの生育量が小さいが、その後の窒素吸収量は代かき直播栽培でのイネと同等になる(進藤ら 2010)。すなわち無代かき直播栽培では、幼穂形成期以降の窒素吸収量が多いことから、倒伏回避の必要上窒素追肥を行えない。試験2においても、試験1と同様に除草剤の薬害を判断する目的と、倒伏を回避する目的のため、復元田無代かき区、復元田代かき区においても追肥を行っていない。以上のことが、試験2の復元田において  $570 \text{ g m}^{-2}$  のイネ収量を確保できなかった要因と考えられた。

### 3) ピラゾレート粒剤少量散布を試行した現地直播圃場における聞き取り調査(試験3)

一発処理型除草剤の使用条件拡大のためのピラゾレート粒剤少量散布を実規模での水稲湛水直播栽培へ試行した事例での、生産者が指摘した除草効果と散布の作業性の実態と問題点は以下のものであった(第3-9表)。

2009年の大仙市の事例：1 haの大区画圃場において「背負い式動力散布機とナイヤガラホース」により、ピラゾレート粒剤が均一に少量散布された。作業性に問題はなかった。同圃場内では田面の高低差が大きく、特に高い部分では、中干し時期以降に雑草ヒエが残存した。しかし圃場全体として評価した場合に、除草効果は高かった。

2010年の由利本荘市の事例：30 aの圃場において

「周辺からの背負い式動力散布機による散布」で十分な除草効果が得られた。ただし、生産者は「これ以上圃場の区画が大きくなると、圃場内を歩いて散布しなければならない」と考えていた。

2010年の能代市の事例：1 haの大区画圃場において、「背負い式動力散布機による散布」が行われた。「圃場内を歩いて散布」したため、生産者は「重労働」と感じていた。除草効果には問題はなかった。

以上の実規模で試行した生産者の情報を集約して、一発処理型除草剤の処理可能期間を確保し、除草効果を安定させるためのピラゾレート粒剤少量散布は、十分実用性があると判断できた。しかし、圃場内の高い部分では水深が浅くなり、除草効果が低下することから、除草効果を一層安定化させるには、レーザーレベラなどを用いて圃場の均平をはかり、均一な水深を得ることが重要である(岡田ら 1995、大分県担い手育成総合支援協議会 2007)。また、少量散布により従来の散布量に比べると省力化が図られたが、背負い式動力散布機による散布は、大区画圃場においては、依然として重労働であるため、2011年4月に基準量を対象に登録拡大された無人ヘリコプターや播種機に装着した散布機などによるさらに省力的な散布方法の少量散布への適用が必要である。

### 3-5.小括

以上の3試験から、一発処理型除草剤との体系処理のためのピラゾレート粒剤の少量散布は、一発処理型除草剤の早限となる薬害防止のイネ2葉期と晩限となる雑草ヒエの枯殺限界葉齢2.5の間の使用可能期間が、単独使用の1日から8~10日に拡大し、薬害もなく十分な除草効果を示すことが明らかになった。また、代かきした連作圃場に比較して、減水深が大きく雑草が早く生育することから一発処理型除草剤の効果が不安定になる可能性のある復元田無代かき直播栽培

第3-9表 ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理を適用した秋田県内の湛水直播栽培圃場における作業概要と生産者の評価(試験3)

年次	地区	圃場面積(a)	播種日	播種様式	除草体系			除草体系への評価		
					除草剤名	10aあたり散布量	散布日	ピラゾレート粒剤の散布方法	体系全体の除草効果	ピラゾレート粒剤散布作業について
2009	大仙市	100	5月20日	湛水土中条播	ピラゾレート粒剤	1.5kg	5月26日	背負い式動力散布機にナイヤガラホースを装着して散布	圃場の高い所の一部で雑草ヒエ用の中・後期除草剤を散布したが全体は問題なし	問題なし
					PBBP水和剤	500ml	6月2日			
2010	由利本荘市	30	5月3日	湛水土中条播	ピラゾレート粒剤	1.5kg	5月16日	背負い式動力散布機で圃場周辺から散布	問題なし	問題なし これ以上圃場の区画が大きくなると、圃場の中を歩く必要がある
					PBBP水和剤	500ml	6月2日			
2010	能代市	116	5月11日	湛水土中条播	ピラゾレート粒剤	1.5kg	5月21日	背負い式動力散布機により散布	雑草ヒエが僅かに残草したが、問題なし	大区画圃場のため、圃場内を歩いて散布した。重労働のため省力散布技術が必要 一発処理除草剤は無人ヘリコプターを使用
					CPM1キロ粒剤	1kg	6月10日			

1)PBBP水和剤は本文(試験1)を参照。2)CPM1キロ粒剤はシハロホップブチル・ピラソルフロエチル・メフェナセット1キロ粒剤を示す。

においても、十分な除草効果を得た。ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤の体系処理は、一発処理型除草剤の散布時期を遅らせることで、中干し時期までの雑草を抑制できるため、茎葉処理の中・後期剤による防除を省略できた。この体系処理を試行した現地生産者圃場においても、効果は高かった。ただし、1 ha 超える大区画圃場では少量散布でも、「重労働」であることから、2011 年 4 月に基準量を対象に登録拡大された無人ヘリコプターや播種機に装着した散布機などによる、さらに省力的な散布方法の少量散布への適用にむけた検討が必要である。

#### 4 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤有効利用のための落水出芽中のプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤の少量散布による除草効果

##### 4-1.抄録

前章と同様の目的で、播種後の落水出芽期間中に散布可能で、落水期間が2週間以上に及ぶ場合に有効である一方、散布後イネの出芽前に湛水となった場合に苗立ち阻害(葉害)のおそれのある初期除草剤プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤を用いて少量散布の効果を検討した。

播種 2 日後の落水条件におけるプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤の基準量 4 kg (製品量) / 10 a の半量の散布 (少量 1 区) は、イヌホタルイが残存したものの、全体として雑草の発生を抑制した。半量の散布は再湛水後の一発処理型除草剤の使用可能期間を拡大しなかったが、同剤のもつ除草効果を十分に発揮させた。また、基準量の場合に処理後の降雨により発生する苗立ちの阻害を、半量の散布 (少量 1 区) では回避することができ、目標とした収量 (570 g m<sup>2</sup>) を得た。

##### 4-2.はじめに

湛水直播栽培の落水出芽期間中に使用できる数少ない初期除草剤の中で、プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤 (成分含有率 : 0.80 %・8.0 %、以下、PT 粒剤と記す) はイネの播種直後から出芽前・出芽後に使用できる初期除草剤である。しかし PT 粒剤には、使用に当たり「出芽直前に散布し、帯水する場合は葉害の危険性があるので、降雨が予想される場合には、播種後早い時期に散布してください」、「出芽前に入水を行うと葉害を生じるおそれがあるので、出芽前に入水はさけてください」(クミアイ化学工業株式会社 2010) との農薬登録の使用上の注意事項が付記されて

いる。すなわち、播種後の降雨や落水が不十分で、田面水が残るとき (山本・菊池 2006) にイネに葉害を引き起こし、苗立ち数および穂数を減少させる (三浦・須田 2006)。また、農薬登録での使用量 (製品) が 10 a あたり 4 kg から 6 kg で、1 キロ粒剤およびフロアブル剤の 4 ~ 12 倍と著しく多くなり、さらに初期除草剤の中では価格が高い。すなわち、葉害、作業性およびコスト面での課題により、本剤は現場で利用されにくい実態にある。

一方秋田県では、排水不良により土壌還元の起こりやすいグライ土圃場が全水田面積の約 60 % を占め (秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合班 2011)、グライ土圃場の多い地域では出芽のため落水期間を 2 週間以上とする場合がある (仙北地域振興局ら編集 2009)。落水期間が長くなることで発生した雑草の生育が進み、再湛水後には雑草ヒエの葉齢が一発処理型除草剤の処理上限の値を超えることがしばしばある。

イネの出芽を確保するために 2 週間以上の落水期間を必要とする上記のような湛水直播栽培では、第三章で示したピラゾレート粒剤の少量散布を再湛水後に実施しても、落水期間中に雑草ヒエが枯死限界の 1 葉期を超えるため少量散布の除草効果が不十分になる。この場合には、落水期間中に使用可能で、雑草ヒエに効果の高い PT 粒剤の活用が有効となる。比較的長期にわたる落水期間に発生する雑草ヒエをはじめとする雑草を制御し、一発処理型除草剤の使用可能期間 (日数) を確保し、その除草効果を十分発揮させるための、PT 粒剤の効果的な利用方法を検討する。すなわち、PT 粒剤の問題点である田面水の残存による葉害を防止し、かつ省力化を図るために、前章で示したピラゾレート粒剤の少量散布を踏まえ、一発処理型除草剤との体系処理条件下における PT 粒剤の少量散布の葉害と除草効果を検討した。

2006 年に秋田県農林水産技術センター農業試験場内のガラス室内で PT 粒剤の少量散布と田面水の有無によるイネの生育への影響を調査し、また、秋田県にかほ市の現地生産者圃場において PT 粒剤の少量散布と一発処理型除草剤の体系処理の除草効果と葉害を調査した。

##### 4-3.材料および方法

#### 試験 1 落水出芽期間に少量散布した PT 粒剤が直播イネの苗立ちに及ぼす田面の停滞水の影響

湛水直播栽培における落水期間の PT 粒剤の散布に際して、「葉害回避のため、出芽前に入水を避ける」旨の使用上の注意事項がある。しかし、葉剤の系外流

出を防止するために排水口を閉じることから、降雨時には滞水のおそれがある。散布後の降雨による水の停滞が PT 粒剤の薬害を助長している可能性がある。そこで、PT 粒剤の処理量がイネの薬害に及ぼす影響を停滞水の状態から解析した。

### 1) 耕種概要

水稲品種「あきたこまち」の種子を浸漬・催芽後、播種前日に専用コーティングマシンにより、過酸化カルシウム粉粒剤（成分 16 %）を乾粒重比 1 倍量で粉衣した。秋田県農林水産センター農業試験場水田圃場の土壌をあらかじめ代かきして、充填したプラスチック製のコンテナ（長さ 40 cm、幅 30 cm、深さ 5 cm）に 34 粒の粉衣粒を播種深 5 mm として 2006 年 5 月 13 日に播種した。無加温のガラス室に播種したコンテナを設置した。ガラス室内の播種翌日から 10 日間の日平均気温の平均値は 20.3 °C であり、出芽・苗立ちに影響を及ぼす低温条件ではなかった。

### 2) PT 粒剤処理と水管理

播種直後に製品量で 10 a あたり 2 kg の PT 粒剤を処理する区（以下、少量 1 区と記す。）、4 kg を処理する区（以下、基準量区と記す。）をそれぞれ設けた。対照として PT 粒剤を処理しない区（以下、無処理区と記す。）を設けた。それぞれの区に落水管理（以下、「落水」と記す。）と処理後 4 日間を 2-3 mm の停滞水とする（以下、「停滞水」と記す。）水管理を 3 反復設けた。出芽揃いと判断した 5 月 18 日以降は、薬害が生じるおそれがないことから全ての区を 5 mm の湛水とした。

### 3) 直播イネの出芽・苗立ち数と葉齢の調査

播種 5 日後（5 月 18 日）に、鞘葉が土壌表面に出た状態を出芽と判定して出芽個体数を、また、21 日後（6 月 3 日）に、3～4 葉期に生育した状態を苗立ちと判定して苗立ち個体数とさらにそれ以下の葉期の個体を含めたすべての個体の葉齢を測定した。

## 試験 2 実規模の湛水直播水田での PT 粒剤の少量散布と一発処理型除草剤の体系処理における除草効果

### 1) 耕種概要

試験は 2006 年に秋田県にかほ市の細粒質強グライ土の水田圃場で行った。試験 1 と同様の種子予措を行い、乾粒換算で 4 g m<sup>2</sup> を専用播種機により湛水土中条播として、5 月 15 日に落水状態で播種した。施肥量は地区の慣行に従い、N : 4.8 g m<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 6.4 g m<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O : 5.6 g m<sup>2</sup> を化成肥料で播種時に側条施肥した。播種後は PT 粒剤の使用基準に定められている処理後の落水期間 15 日間を遵守して落水管理を行い、6 月 2

日に再湛水した。

### 2) 除草剤処理と試験区設置

PT 粒剤については、試験 1 と同様に 10 a あたり製品量で 2 kg 処理する少量 1 区、同 3 kg 処理する少量 2 区と同 4 kg 処理する基準量区をそれぞれ 30 a、20 a および 10 a の規模で設けた。PT 粒剤を処理せず再湛水後に一発処理型除草剤のみを処理する慣行除草区を 30 a の規模で設けた。PT 粒剤は播種 2 日後の 5 月 17 日にナイヤガラホースを用いて処理した。一発処理型除草剤は、秋田県農作物病害虫・雑草防除基準（秋田県農林水産部水田総合利用課 2011）に掲載され、県内で長年用いられているシハロホップブチル・ピラゾスルフロエチル・プロモブチド・メフェナセット粒剤（成分含有率 1.5 %・0.3 %・6.0 %・7.5 %、以下 CPBM 粒剤）とし、6 月 3 日に規定量を処理した。慣行除草区内に、除草剤を処理しない無除草区を 1 m×1 m のプラスチック製の枠を用いて設けた。試験区は無反復とした。

### 3) 除草効果調査

無除草区に発生した全ての雑草を採取し、草種ごとの個体数を計測した後、80 °C で 48 時間通風乾燥後の乾物重を測定した。除草剤を処理した区では、試験区内に無作為で 50 cm×50 cm の 2 カ所の枠内に発生した全ての雑草を採取し、無除草区と同様に測定した。タイムビエとイヌビエを区別せず「雑草ヒエ」、アメリカアゼナとアゼナを一括して「アゼナ類」、ハリイとタマガヤツリを一括して「一年生カヤツリグサ」とした。

一発処理型除草剤処理 1 日前で PT 粒剤処理 16 日後にあたる 2006 年 6 月 2 日に慣行除草区と PT 粒剤の試験区での雑草を、また、中干し開始時期にあたる一発処理型除草剤処理 38 日後の 7 月 10 日に、無除草区および PT 粒剤と一発処理型除草剤の試験区における雑草量を体系処理の除草効果として測定した。

### 4) イネへの薬害

PT 粒剤の薬害については、6 月 2 日に目視と苗立ち数により測定した。慣行除草区では苗立ち数を調査しなかった。目視による薬害の判断においては、財団法人植物調節剤研究協会における新除草剤適用性試験での判定基準（2004）に準じ、「苗立ちが抑制され減収程度が 5 % 以内」と推察したものを薬害程度「小」と判定した。

### 5) イネの生育と収量の調査

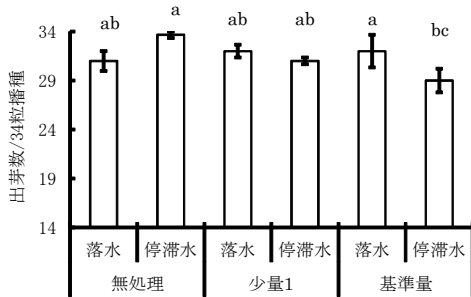
成熟期に、少量 1 区、2 区と基準量区の穂数を、除草剤処理用の試験区の枠内の 1 条 1 m につき 2 反復で調査した。収量は、同各試験区の中央部の 3.0 m<sup>2</sup>

のイネを株元から刈り取り、乾燥調整後に粒厚 1.9 mm 以上の精玄米重を水分 15.0 % に換算して算出した。反復は設けなかった。なお、慣行除草区ではイネの生育と収量の調査を行わなかった。

#### 4-4. 結果および考察

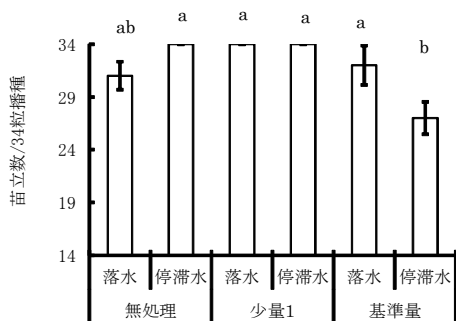
##### 1) PT 粒剤少量散布下の直播イネの出芽・苗立ちに及ぼす停滞水の影響 (試験 1)

停滞水の有無と散布量を要因とした二元配置の分散分析の結果、播種 5 日後の出芽数に対して停滞水の有無、散布量とも有意な効果を示さず、播種 21 日後の苗立ち数に対して、散布量は 1 % 水準、相互作用は 5 % 水準での有意な効果を示したが、停滞水の有無の効果は有意ではなかった (第 4-1 表)。すなわち、播種 5 日後の無処理区と少量 1 区で、停滞水により出芽数は影響されず、基準量区では停滞水により出芽数は減少



第 4-1 図 停滞水の有無の条件下で処理された PT 粒剤の散布量が直播イネの出芽数へ及ぼす影響 (播種 5 日後) (試験 1、2006 年)

- 1) 図中の縦棒は標準誤差を示す。
- 2) 図中の異なるアルファベットは Tukey 法において 5 % 水準で有意差のあることを示す。

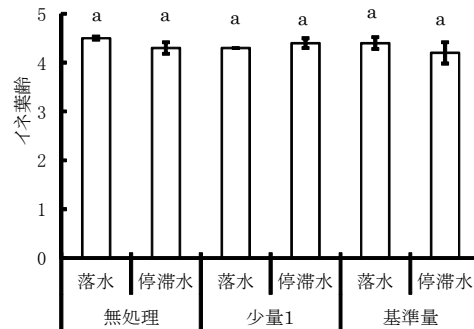


第 4-2 図 停滞水の有無の条件下で処理された PT 粒剤の散布量が直播イネの苗立ち数へ及ぼす影響 (播種 21 日後) (試験 1、2006 年)

- 1) 図中の縦棒は標準誤差を示す。
- 2) 図中の異なるアルファベットは Tukey 法において 5 % 水準で有意差のあることを示す。

傾向にあった (第 4-1 図)。また、苗立ち数は無処理区と少量 1 区で、停滞水により影響されず基準量区では減少した (第 4-2 図)。

苗立ちと判定したイネおよびそれ以下の葉齢のイネについて、無処理区、少量 1 区、基準量区とも、停滞水による葉齢進展の遅れはなかった (第 4-3 図) 以上のことから、少量 1 区では、播種後の PT 粒剤処理後の水が停滞する条件のもとでも、出芽・苗立ち数および葉齢は影響されず、少量散布により葉害は回避できた。



第 4-3 図 停滞水の有無の条件下で処理された PT 粒剤の散布量が直播イネの葉齢へ及ぼす影響 (播種 21 日後) (試験 1、2006 年)

- 1) 図中の縦棒は標準誤差を示す。
- 2) 葉齢の調査は、苗立ち個体とその葉齢以下の個体について行った。
- 3) 図中の異なるアルファベットは Tukey 法において 5 % 水準で有意差のあることを示す。

第 4-1 表 停滞水の有無と PT 粒剤散布量を要因とした二元配置の分散分析の結果 (試験 1、2006 年)

要因	項目		
	播種5日後の出芽数	播種21日後の苗立ち数	播種21日後の葉齢
停滞水の有無	N.S.	N.S.	N.S.
PT粒剤散布量	N.S.	**	N.S.
相互作用	N.S.	*	N.S.

##### 2) 実規模の湛水直播水田における PT 粒剤少量散布の効果 (試験 2)

にかほ市の水田において、播種 2 日後の PT 粒剤散布時には、すべての試験区に雑草は発生しなかった。PT 粒剤を処理しない慣行除草区には、一発処理型除草剤の処理前日の 6 月 2 日時点で、雑草ヒエ、イヌホタルイおよびコナギが発生し、乾物重の合計値で 1.32 g m<sup>2</sup> であった。PT 粒剤の少量 1 区において、慣行除草区と比較で、雑草ヒエは乾物重で 92.3 % 抑制されたが、イヌホタルイは全く抑制されなかった。少量 2 区と基準量区では全ての雑草が枯殺された。少量 1 区はイヌホタルイの残存を除いて、十分な除草効果を発

揮した（第4-2表）。

第4-2表 一発処理型除草剤直前（6月2日）でのPT粒剤少量散布の除草効果（試験2、2006年）

試験区		雑草種			合計
		雑草 <sup>2)</sup> ヒエ	イヌホ タルイ	コナギ	
少量1区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	62	6	0	68
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0.1	0.02	0	0.12
少量2区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0
少量3区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0
慣行除草 区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	446	6	4	452
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	1.3	0.02	-	1.32

1) - は0.01g以下を示す

2)「雑草ヒエ」はタイヌビエ、イヌビエを含む。

### 3) 実規模の湛水直播水田における一発処理型除草剤との体系処理の除草効果（試験2）

一発処理型除草剤処理38日後にあたる7月10日時点で、無除草区には、雑草ヒエ、アゼナ類、イヌホタルイ、コナギ、マツバイ、一年生カヤツリグサが発生し、乾物重の合計値で120 g m<sup>-2</sup>であった。クログワイ、オモダカなど防除が難しく、直播栽培の一発処理型除草剤の対象雑草とされない多年生雑草を除いた一発処理型除草剤による制御の対象雑草種（日本植物調節剤研究協会2004）の約90%の種が発生し、直播栽培における一発処理型除草剤の除草効果の評価が可能な条件であった。PT粒剤処理後に雑草が残存した少量1区、雑草の残存のない少量2区において一発処理型除草剤の除草効果は基準量区と同等に高かった。一方、慣行除草区では雑草の乾物重合計値は無除草区の2.8%と低く、乾物重の大部分はアゼナ類であった（第4-3表）。

第4-3表 PT粒剤と一発処理型除草剤による体系処理の除草効果（7月10日、試験2、2006年）

試験区		雑草種					1年生 <sup>3)</sup> カヤツリグサ類	合計
		雑草 <sup>1)</sup> ヒエ	マツ バイ	アゼナ <sup>2)</sup> ナ類	イヌホ タルイ	コナギ		
無除草区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	490	204	186	8	102	64	1054
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	90.5	3.4	4.6	0.8	16	4.9	120
少量1区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
少量2区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
少量3区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
基準量区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
慣行除草区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	220	0	0	0	220
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	3.4	0	0	0	3.4

1)「雑草ヒエ」はタイヌビエ、イヌビエを含む。

2)「アゼナ類」は主にアゼナ、アメリカアゼナを含む。

3)「一年生カヤツリグサ類」はタマガヤツリとハリイを含む。

### 4) 一発処理型除草剤の使用可能期間（日数）（試験2）

播種後16日の5月31日には全試験区でイネが2葉期に達した。また、再湛水後で一発処理型除草剤処理の前日の6月2日には、少量1区と慣行除草区で、雑草ヒエが2葉期、イヌホタルイが1.5葉期であった。少量2区と基準量区では雑草は観察されなかった（第4-4表）。多くの一発処理型除草剤の使用可能期間である「イネ2葉期以上で雑草ヒエ2.5葉期以内」となった日数は、雑草ヒエの葉齢が2葉であった少量1区と慣行除草区については、雑草ヒエが2葉期から2.5葉期に進展する日数は農試ほ場の調査では4日（秋田県農林水産技術センター農業試験場において、財団法人日本植物調節剤研究協会から受託している水稲新除草剤第二次適用性試験の2006年の調査結果）であり、5月31日から6月3日の4日間以上、8日以内と推測され、雑草ヒエの発生のない少量2区と基準量区については散布の晩限を特定できなかったため、それぞれ5月31日から6月3日の4日間以上であった。

少量1区では、PT剤を散布しない慣行除草区と一発処理型除草剤散布前日の雑草ヒエの葉齢が同等になったため、雑草ヒエの抑制による一発処理型除草剤の使用可能日数は拡大出来なかった。しかし、少量1区に関しては、一発処理型除草剤散布前日の雑草ヒエの発生量が慣行除草区の10%以下であり（第4-3表）、また、一発処理型除草剤散布後にはアゼナ類が残存した慣行除草区と違って雑草が残存しなかったことから、少量散布を加えたことによる除草効果の向上が認められた。

### 5) 目視と苗立ち数による葉害の評価

落水出芽法の期間中に約50 mmの降雨（気象庁/気象統計情報/日ごとの値/象湯/2006年/5月、6月）が観測された。この条件下でのPT粒剤による苗立ち抑制

第 4-4 表 PT 粒剤少量散布試験における一発処理型除草剤使用直前(6月2日)での雑草ヒエおよびイヌホタルイの葉齢(試験2、2006年)

試験区	雑草ヒエ	イヌホタルイ
少量1区	2.0	1.5
少量2区	—	—
基準量区	—	—
慣行除草区	2.0	1.5

第 4-5 表 PT 粒剤の散布量が苗立ち次の直播イネの薬害程度に及ぼす影響(試験2、2006)

試験区	観察による薬害程度	苗立本数(本 m <sup>-2</sup> )
少量1区	無	106
少量2区	小	84
基準量区	小	89
慣行除草区	散布無し	—

1)薬害程度「小」は、苗立ちが抑制され、減収程度が5%と推定される状態

2) — は調査していないことを示す。

3)回復無し

第 4-6 表 PT 粒剤の少量散布と一発処理型除草剤による体系処理のもとでの直播イネの成熟期における穂数と精玄米重(試験2、2006年)

試験区	穂数(本 m <sup>-2</sup> )	収量(g m <sup>-2</sup> )
少量1区	482	586
少量2区	376	525
基準量区	399	546

1)回復無し

は、少量1区では観察されなかったが、少量2区と基準量区では、減収程度が5%以内と推定される「小」(日本植物調節剤研究協会 2004)と判断できる薬害程度(第4-4図)であった。すなわち、苗立ち数は、少量1区で106本 m<sup>-2</sup>、少量2区で84本 m<sup>-2</sup>、基準量区では89本 m<sup>-2</sup>であり、薬害程度「小」の少量2区、基準量区では、少量1区と比較して、79%、84%に減少した(第4-5表)。



基準量区



少量1区

第 4-4 図 PT 粒剤の少量散布(右)と基準量散布(左)での直播イネの苗立ち状態の差異(一発処理型除草剤散布前日の状態:試験2、2006年)

## 6) 直播イネの生育および収量

成熟期の穂数および精玄米重はそれぞれ、少量1区で482本 m<sup>-2</sup>、586g m<sup>-2</sup>、少量2区で376本 m<sup>-2</sup>、525g m<sup>-2</sup>、基準量区で399本、546g m<sup>-2</sup>であった。少量1区においては、秋田県の湛水直播栽培の目標収量である570g m<sup>-2</sup>を確保できた。少量2区と基準量区では穂数不足から収量が減少した(第4-6表)。少量2区、基準量区では苗立ちが抑制され、穂数に影響したと推察された。穂数および収量が減少したことから、減収15%以内の薬害程度である「中」(日本植物調節剤研究協会 2004)に相当すると考えられた。

## 4-5.小括

PT 粒剤の少量散布との体系処理による一発処理型除草剤の使用可能期間は、雑草ヒエの葉齢から判断して、少量1区では慣行除草区と同等であった。しかし、少量1区では一発処理型除草剤との体系処理により除草効果は一発処理型除草剤単独の慣行除草区より向上した。すなわち、一発処理型除草剤散布後に、慣行除草区ではアゼナ類が残存したが、少量1区では残存しなかった。また、少量1区では、薬害による苗立ちの抑制もなく、目標の精玄米重570g m<sup>-2</sup>の収量を確保した。また、ガラス室における試験では、少量1区では落水条件のみならず、停滞水の存在下でも薬害を回避出来ることが明らかになった。

落水出芽法は湛水直播栽培の土中播種において重要な苗立ち促進技術である(吉永ら 2007)が、土壌が酸化的になるため、イネのみでなく雑草ヒエの生育も促進される(本馬ら 1999)。秋田県で推奨する落水期間は7日から10日間であるが、県内の土壌還元の高い地域や土壌タイプの場合は、酸化的条件を得るため落水期間を2週間以上とする場合がある(仙北地域振興局ら 2009)。落水期間が長くなると、第III章で示した湛水土壌処理剤であるピラゾレート粒剤では、散布可能となる落水出芽期間終了後の再湛水時に雑草ヒエが同粒剤の枯殺限界葉齢である1葉期を超えることが懸念される。本試験の結果から、このような場合には、落水期間中に処理が可能なPT粒剤の少量散布が、その後に散布する一発処理型除草剤の効果を安定



させることがわかった。よって、グライ土圃場のような土壌還元が起こりやすい条件や、堆肥などを使用し還元が懸念される圃場において、土壌の酸化的条件を保ち、イネの出芽数を確保するために落水期間を15日以上必要とする場合に、PT粒剤を少量散布することにより、降雨により滞水してもイネへの安全性が保たれ、雑草ヒエなどを防除し、その後使用する一発処理型除草剤の効果が安定する。この体系処理の除草効果は高く、雑草が残存しないことから中・後期剤の使用を省略することができる。

## 5 総合考察

本研究では、1) 一発処理型除草剤による湛水直播イネへの影響(薬害)を分けつ構成から解析し、分けつ総数すなわち茎数への影響なしに第2節位からの1次、2次分けつの発生が抑制される場合があり、それが整粒率の低下を通して品質に影響することを明らかにした。2) 処理条件を異にするピラゾレート粒剤およびプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤を用い、播種後から出芽時のそれぞれの使用時期に少量散布により雑草を抑制し、再湛水後に使用する一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)を拡大させた。また初期除草剤との体系処理により一発処理型除草剤の性能を発揮させ、中・後期除草剤の追加使用を不要にした。

各章において考察を加えたが、ここでは成果の活用方策および、本研究で得られた技術の「あきたe c oらいす」への適用と稲作経営への影響を考察した。

### 5-1. 湛水直播栽培のイネにおける一発処理型除草剤による第2節からの1次分けつ抑制の解明意義と生産者への情報提供

一発処理型除草剤について、湛水直播イネでの苗立ちや最高分けつ期の茎数を用いたこれまでの薬害評価法に加えて、収量と玄米の品質に寄与する第2節からの1次分けつの抑制の程度により評価することは、イネへの安全性を量的指標から質的指標へと拡大した点に意義を有する。この新しい薬害評価法は、寒冷地北部に位置する秋田県の水稲直播栽培において、収量と品質に寄与する分けつの安定確保による高品質安定生産と高い除草効果が両立する一発処理型除草剤の使用方法を確立し、普及するために重要である。

本研究で示された薬害の評価法を一発処理型除草剤の使用法の改善につなげるためには、高品質米生産に資するイネ新品種の開発、イネの出芽・苗立ち速度の向上などの作物学的視点とともに、散布技術の高度化、さらに高性能な新たな一発処理型除草剤の開発などの雑草科学的視点が重要である。これらの実現に

は雑草防除の分野を超えた取り組みが必要となる(三浦2010)。これらの視点からの研究が以下のように取り込まれつつある。薬害の回避に重要であるイネの出芽・苗立ち速度の向上については、過酸化カルシウム粉粒剤を粉衣した種子の加温処理が検討されており(花見・手代木1998、野村ら2002)、葉齢進展が早まることから薬害が回避される(荒井2008)とされ、加温処理は、地域によっては普及が進められている(石巻普及センター2010)。また、直播イネの出芽始期に散布可能な安全性の高い一発処理型除草剤も開発されてきている(秋田県2012)。

直播イネの第2節からの1次分けつの発生頻度は、苗立ちしたイネの10個体の第2葉に印をつけ、第2節からの1次分けつ発生の有無を確認することで把握できる。しかし、生産者が行う場合には得られた情報の正確な解析のために、農業試験場などの研究・指導機関のもとで行うことが望ましい。なお、一発処理型除草剤による第2節からの1次分けつの抑制程度は気象条件や水深などで変動することから、今後、試験研究・指導機関などが新たな除草剤および雑草防除体系の情報を生産者へ提供する際に、一発処理型除草剤による影響のみを確認できる試験方法の確立が必要である。

また、本研究ではイネ品種「あきたこまち」を用いたが、秋田県で直播栽培に用いられる他品種についても、収量と品質に寄与する分けつの特定と、それへの一発処理型除草剤の影響の検討が必要である。

一発処理型除草剤による特定の分けつの抑制に関する情報は、秋田県で発行する「稲作指導指針」および「農作物病害虫・雑草防除基準」に反映され、除草剤の安全使用条件として活用される。また直播栽培の新技術の提供においては、栽培技術の各部門の情報にとどまらず、総合的な栽培技術の指導が求められる。

(児玉2009)。したがって、上記の行政的な情報提供に加えて、直播栽培の技術体系に含めた情報として各農業協同組合の営農指導員や、生産者に直接迅速かつ正確に伝達する方策を検討する必要がある。

### 5-2. 初期剤の少量散布による一発処理型除草剤の使用時期拡大と効果の安定による、新しい体系処理の活用

初期剤の少量散布との体系処理で一発処理型除草剤の効果が安定し中・後期除草剤の使用を省略できることを示したが、これに加えて、イネが十分に生育した後に一発処理型除草剤を散布できることから、2章で示した第2節からの1次分けつの抑制を回避できる可能性がある。

直播栽培での除草剤の使用には、「後半巻き返し型」と「先手必勝型」がある(三浦2010)。前者では、薬

害の回避のためイネが処理早限の葉齢に達した後に除草剤を使用することから(岩手県 2011)、雑草ヒエをはじめとする雑草が除草剤の処理早限の葉齢を超える場合が多く、その結果、初期除草剤や一発処理型除草剤の性能を十分発揮させられなかった時に中・後期剤の使用(岩手県 2011、宮城県 2011)が指導されている。本研究の結果から、初期除草剤のピラゾレート粒剤あるいはプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤の少量散布によって、一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)の拡大と除草効果の安定化が図られ、「先手必勝型」の合理的な雑草防除技術の具体例が提示された。

ピラゾレート粒剤少量散布においては、直播栽培で多く用いられる中・後期剤のベンタゾン剤の防除対象外の問題雑草であるイボクサへの効果が認められた。イボクサの防除においては、ベンゾビシクロンを含む一発処理型除草剤、およびモリネートや MCPB を含む中期剤(荒井ら 2007)や、ビスピリバックナトリウム塩(中山ら 2010)、などの後期剤の除草効果が高いが、これらは直播栽培のイネの生育初期には使用できない。イボクサは 8℃で発芽可能とされ(森田 2004)、落水期間中から発生することから、初期剤であるピラゾレート粒剤の少量散布は、直播栽培を連年実施する圃場でのイボクサに対する「先手必勝型」雑草防除技術になり得ると考えられた。

PT 粒剤は農薬登録での基準量では、落水出芽中の降雨などによる停滞水など不適切な条件では葉害を生じることがあるが、少量散布により葉害を回避することができた。また落水期間が長くなり、その期間中に雑草の発生が懸念される(山本・菊池 2006)圃場において、落水期間中の PT 粒剤の少量散布により、再灌水後の一発処理型除草剤の効果が安定した(Miura *et al.* 2011)。しかし、PT 粒剤の少量散布は農薬登録の内容として拡大されておらず、この技術は「農薬登録での基準量以下での応用」として秋田県内の各地域振興局農林部農業振興普及課などの指導の下で実証圏などを通じて生産者に技術指導されている。

これら 2 種類の初期剤の少量散布の選択については、土壌が還元状態になりやすいために落水出芽の期間が 15 日以上必要となる場合はプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤を、落水出芽を終了して再灌水後に雑草ヒエが 1 葉期以内で、かつイボクサが発生する場合にはピラゾレート粒剤を選択し、一発処理型除草剤と体系処理することが適当である。

一方、散布方法については、ピラゾレート粒剤の基準量では無人ヘリコプターや播種機に装着した散布機による省力的な散布方法が農薬登録されているが、少量散布ではまだ農薬登録として適用されておらず、今後実用化に向けた検討が必要である。また、プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤では、基準量でもピラゾレート粒剤に相当する省力的散布方法がなく、現状で

は主に動力散布機で散布される。散布時期の田面が軟弱であるため、特に大区画水田での動力散布機を背負っての圃場内の移動は重労働となることから、直播栽培での PT 粒剤の省力的散布技術の改良が必要である。

### 5-3. 「あきた e c o らいす」における直播栽培

本研究の成果を、農林水産省の「特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」や秋田県の「あきた e c o らいす」における農薬の使用節減の対象である「成分回数」の観点から考察する。

これまで直播栽培においては、代かきから 3 日以内に播種を行うと(田口ら 2003)、イネが 2 葉期以上の時に、雑草ヒエが 2.5 葉期以内になり、一発処理型除草剤の適期使用が可能となることが明らかになっている。しかし、この場合でも、イネ 2 葉期を早限、雑草ヒエの 2.5 葉期を晩限とする一発処理型除草剤では使用可能期間(日数)が 1 日と短くなることが多いことから、より長い使用可能期間を有する一発処理型除草剤、すなわち 3 葉期まで枯殺する雑草ヒエの専用除草剤成分を含む 4 成分の一発処理型除草剤と、雑草ヒエと広葉雑草に効果の高い 1～4 成分の中・後期剤の体系処理が指向されている。この場合の体系処理における除草剤の成分数は 6～8 あるいはそれ以上となる。

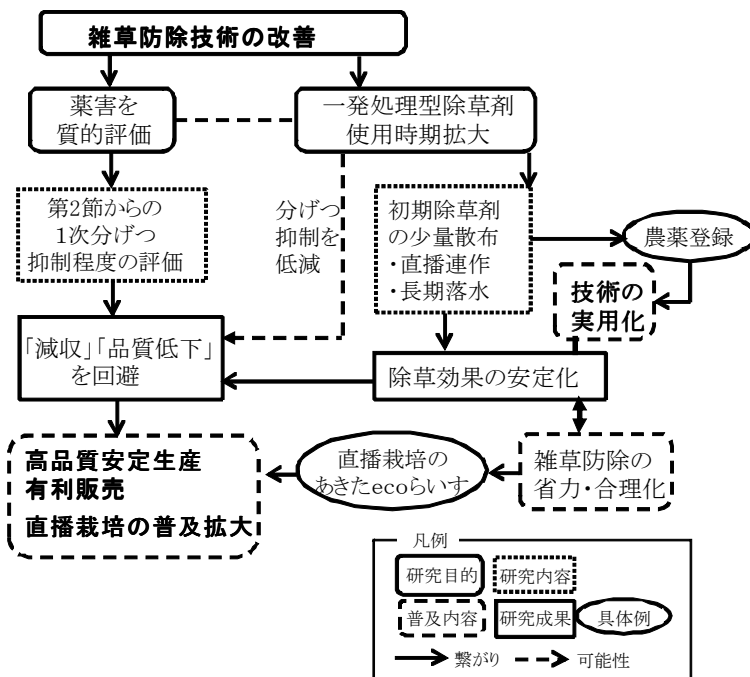
本研究で「先手必勝型」除草体系として示した、1～2 成分の初期剤と、雑草ヒエの枯殺限界を 2.5 葉期とする 3 成分の一発処理型除草剤の体系処理は成分回数を 4～5 に「計画的に低減」でき、コストも 45～75%に低減できる(第 5-1 図)。

直播栽培の「あきた e c o らいす」では、生育調節剤、殺菌剤、殺虫剤の使用が 4～6 成分回数に節減される(仙北地域振興局など 2009)ことから、これに除草剤を加えても合計で慣行栽培の 12～16 成分回数から 10 成分回数以内に節減される。低成分数の初期除草剤および一発処理除草剤の開発が実現すれば、除草剤の使用成分回数のさらなる節減も可能である。よって、本研究で得られた技術を用いることにより、直播栽培においても雑草防除体系での除草剤の成分回数の余裕をもち「あきた e c o らいす」におけるコメを生産できる。「あきた e c o らいす」は、「低コスト省力型生産」、「環境に配慮した生産」および「販売を意識した生産」によるコメを有利販売して、生産者の収益を増加することを目的としている。本研究により、雑草防除方法の改善が図られ、除草剤の使用回数および成分回数の計画的な節減が可能となり、かつ葉害および雑草害が無く移植栽培並の収量と高い品質を確保できる。よって直播栽培における収量と品質を

確保した「あきたecoらいす」の面積を拡大できる。

体系処理	作業・除草剤散布およびイネの生育ステージ				除草剤成分数合計	コスト比
	落水出芽中 または 再湛水後	イネ2～2.5葉期 以上	イネ5葉期以上 または 中干し時期			
	初期除草剤	一発処理型除草剤	中・後期除草剤			
本研究で提示した「先手必勝型」	少量散布 1～2 初期に防除	3 安定的に防除	無	4～5	45 ～ 75	↑ 100
従来の「後半巻き返し型」	1～2	3～4	2～4 省略	2～4 低減 6～8 それ以上		

第5-5図 本研究成果の、直播栽培における「あきたecoらいす」の雑草防除体系と除草剤の成分回数改善への貢献



第5-2図 研究全体のフロー図

#### 5-4.まとめ

本研究により、湛水直播栽培のイネについて第2節からの1次分げつに着目した高品質安定生産のための一発処理型除草剤の新しい薬害評価法と一発処理型除草剤の使用可能期間（日数）の拡大と効果安定のための体系処理が確立された。直播栽培の大きな課題である雑草防除について、一発処理型除草剤による、イネに対して安全で効果が高く効率的な雑草防除が可能となり、秋田県で営まれる直播栽培の収量性と品質を向

上できる。直播栽培を志向する生産者、また現在直播栽培を行っている生産者にむけて、雑草防除技術のイネへの安全性、省力化および効果の安定化の情報となり、栽培面積拡大を後押しするものとなる。また、本研究で得られた技術を用いて、直播栽培を「あきたecoらいす」へ適用することにより、面積拡大のみならず生産されたコメの有利販売の可能性も見いだされ、稲作経営の収益の増加にも資することができる。

## 6 謝 辞

本研究は、秋田県立大学大学院生物資源科学研究科植物生態生理分野と秋田県農林水産技術センター農業試験場で実施したものであり、遂行に当たっては、秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 森田弘彦教授、元秋田県農林水産技術センター農業試験場長 児玉徹氏、元同試験場主席研究員 眞崎聡氏、同試験場作物部長 佐藤雄幸氏をはじめとする多くの方の直接のご指導、励ましを賜りました。また、秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 小川敦史准教授、植物生態生理分野の皆様、秋田県農林水産技術センター農業試験場作物部主任研究員 松本眞一氏、同研究員 松波寿典博士、元同臨時職員 加藤瑞恵さん、斉藤夏美さん、同臨時職員 高橋幸子さん、同試験場生産環境部主任研究員 進藤勇人氏、元同試験場研究員 若松一幸氏、秋田県農林水産部農林政策課主査 平川謙一氏、同山本地域振興局農林部技師 田口奈穂子氏、同仙北地域振興局農林部主査 須田康氏、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター上席研究員 中山壮一氏、岩手大学大学院連合農学研究科生物環境科学専攻地域環境工学連合講座 片平光彦准教授、財団法人日本植物調節剤研究協会の皆様をはじめとする多くの方々には試験の遂行に当たって多くの支援を賜りました。

三井化学アグロ株式会社には、ピラゾレート粒剤(商品名：サンバード粒剤)を提供して頂きました。またクミアイ化学工業株式会社には、プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤(商品名：サターンバアロ粒剤)を提供して頂きました。

本論文のとりまとめに際しては、秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 金田吉弘教授、同 三吉一光准教授にご指導を賜りました。ここに記して上記の皆様にお礼を申し上げます。

(所属・職名などは2011年3月現在で表記)

### 引用文献

- 足立忠司 1979. 田畑輪換と還元田用水量. 土壌の物理性 39:30-34
- 秋田県監修 2007. 「秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 平成19年度版」、秋田県植物防疫協会、p.304
- 秋田県監修 2011. 「秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 平成23年度版」、秋田県植物防疫協会、p.280、p.295
- 秋田県監修 2012. 「秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 平成24年度版」秋田県植物防疫協会
- 秋田県農業試験場編集 2003. 「平成15年度版 水稲直播栽培指針」、秋田県農林水産部水田総合利用推進課、pp.2-3
- 秋田県農林水産部水田総合利用課編集 2008. 「水稲直播栽培技術講習テキスト」同課、p.12
- 秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班編集 2009. 「平成21年度秋田県稲作指導指針」、同班、p.61
- 秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合班編集 2011. 「平成23年度秋田県稲作指導指針」、同班、p.1、pp.3-6、p.30、pp.89-90、p.96、p.100
- 秋田県農林水産部編集 2007. 「作況ニュース8号総括編」同部、pp.13-18
- 秋田県農林水産部編集 2011. 「作況ニュース8号総括編」同部、pp.11-16、pp.67-72
- <http://www.pref.akita.lg.jp/www/contents/1303809126024/files/H23sakyouno8.pdf>
- 秋田県仙北地域振興局・平鹿地域振興局・雄勝地域振興局編集 2009. 水稲湛水直播栽培のポイント 県南版. 秋田県米政策事業推進本部
- 荒井三千代・山内敏美・花見厚 2007. 水稲湛水直播栽培におけるイボクサの防除法. 東北農業研究 60:43-44
- 荒井三千代 2008. 福島県の水稲直播栽培における雑草の現状と課題. 植調 42:11-16
- 嶽石進・福田兼史朗 1990. 湛水土中直播栽培の安定化. 秋田県農業試験場研究報告 30:1-16
- 土井康生・村上利男 1977. 北海道におけるタイヌビエの発生生態に関する地域性. 北海道農業試験場研究報告. 119:1-8
- 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構編集 2006. 「最新農業技術事典」農山漁村文化協会、p.716
- 独立行政法人農業・生物系特性産業技術研究機構 東北農業研究センター総合第1研究チーム編集 2003. 「東北地域の水稲直播に関するインタビューノート-生産者の心を探る-第1巻 北東北(青森、岩手、秋田)編」同研究センター水田利用部、p.63
- 藤田究 1999. 播種深度の異なる湛水直播水稲の初期生育に及ぼす数種土壌処理型除草剤の影響. 雑草研究 44:43-50
- 藤田究 2000. 砂壤土水田における土壌処理型除草剤の水稲に及ぼす形態的影響解明と適正使用に関する研究. 香川県農業試験場研究報告 53:1-65
- 福島裕助・許斐健治・石丸知道 2000. 水稲湛水直播栽培におけるスクミリンゴガイの食害軽減と雑草防除. 九州農業研究 62:13
- 古畑昌巳 2009. 湛水直播水稲の出芽・苗立ち向上に向けて. 日本作物学会紀事. 78:153-162
- 古谷勝司・片岡孝義 1978. 水田における野生ヒエの生育と種子生産. 雑草研究 23:180-185
- 後藤純子・伊東芳樹・安戸貢 2000. 水田内におけるヒエ類とアカスジカスミカメ(旧称:アカスジメクラカメ)による斑点米との関係. 北日本病害虫研究報告 51:162-164
- 本馬昌直・菊池栄一・三浦恒子・酒井博行・小野寺郁夫・一守貴志・木野田憲久・小菅孝一・寺島一男・渡邊寛明 1999. 東北地域の水稲湛水直播における直播後落

三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

- 水管理の効果と適用条件. 東北農業研究成果情報. 14:51-52
- 星川清親 1975. 「解剖図説イネの生長」農山漁村文化協会、東京、pp.157-170
- 花見厚・手代木昌宏 1998 水稲湛水直播栽培における酸素供給剤被覆種子の加温による出芽促進. 東北農業研究.36:69-71
- 石田三雄・松井貴志・矢内利明・川久保克彦・本間豊邦・矢内欽次・中川昌之・奥平洋巳 1984. 新除草剤ピラゾレート. 三共年報 36:44-92
- 岩手県監修 2010 「平成 23 年度 岩手県 農作物病虫害・雑草防除基準」社団法人岩手県植物防疫協会、p.344
- 金田吉弘・松橋秀男・鎌田易尾・三浦恒子・片平光彦・児玉徹 2002. 肥効調節型肥料の接触施肥による乾田土中早期湛水直播水稲の全量基肥施肥法. 日本土壤肥料学会誌 73:437-440
- 金田吉弘・佐々木景司・佐藤孝・村井茜・菅原茂幸・佐藤敦 2006. ライシメータ水田における基肥施肥法の違いが、水田雑草の生育と養分吸収に及ぼす影響. 日本土壤肥料学雑誌 77:635-641
- 笠原安夫・木下収 1954. 水田雑草ヒエ防除に関する研究 (第 2 報) 日本作物学会紀事 22:7
- Katahira, Mitsuhiro., Hayato Shindo, Kazuyuki Wakamatsu, Chikako Miura and Motoyasu Natsuga. 2011. Development of multilayer sowing mechanism for high-speed hill drop sowing of paddy rice. Proceeding of international workshop on agricultural and bio-systems engineering 56-61
- 片岡孝義・金昭年 1977. 数種雑草種子の休眠覚醒の貯蔵条件による差異. 雑草研究 22 : 156-158
- 木村清 1986. 復元田の土壤環境と水稲生育. 土壤の物理学性 53:20-24
- 児玉徹 2009 水稲・ダイズ栽培における雑草問題の今日的課題 第 1 部水稲栽培と雑草問題 1.直播栽培の足踏みは雑草問題にあるのか. 日本作物学会紀事 78:264-274
- 金和裕・金田吉弘・柴田智・佐藤馨・三浦恒子・佐藤敦 2005. 中苗あきたこまちの高品質・良食味米安定生産に適した分けつの次位・節位. 日本作物学会紀事 4:149-155
- 児嶋清・住吉正・大段秀記 2000. 播種直後土壌処理剤による水稲湛水直播栽培の初期雑草制御. 雑草研究 45(別):44-45
- クミアイ化学工業株式会社編集 2011. 「11 クミカ農業の解説書」同社、東京、pp.272-273
- 松波寿典・佐野広伸・三浦恒子・佐藤雄幸 2010. 湛水直播栽培したあきたこまちの高品質・良食味米生産に有効な分けつの発生時期. 日本作物学会紀事 79(別 2)54-55
- 民間稲作研究所編 1999. 除草剤を使わないイネづくり. 農山漁村文化協会、東京、pp.63-188
- 三浦恒子・若松一幸 2006. 水稲湛水土中直播における出芽速度、苗立率と播種後の平均気温との関係. 日本作物学会東北支部会報 49 41-42
- 三浦恒子・若松一幸・進藤勇人 2007. グライ土壌における水稲湛水直播あきたこまちの目標生育量. 東北農業研究 60:27-28
- 三浦恒子 2010. 水稲直播栽培における雑草防除の現状、課題、展望 ー平成 22 年度公開シンポジウムよりー 3. 秋田県の水稲湛水直播栽培における雑草防除体系の展望. 雑草研究 55:94-96
- 三浦恒子・進藤勇人・佐藤雄幸・中山壮一 2009. 水稲湛水直播栽培におけるピラゾレート剤の減量使用による雑草防除体系. 東北の雑草 9:22-26
- 三浦恒子・藤井直哉 2010. 「あきた eco らいす」における雑草防除. 東北の雑草 10:6-9
- Miura, Chikako. and Hirohiko Morita 2010. Stabilization on weed management efficacy in direct seeded rice in northern Japan. 3<sup>rd</sup> International Rice Congress Poster Presentation Abstract 4416
- 三浦恒子・進藤勇人・佐藤雄幸・森田弘彦 2011. 秋田県の水稲湛水直播栽培における一発処理除草剤によるイネ(Oryza sativa L.) の低節位分けつ抑制の評価. 雑草研究 56(1):7-13
- 三浦恒子・進藤勇人・松波寿典・佐藤雄幸 2011. 水稲湛水直播栽培におけるシグモイド溶出型被覆肥料を主体とした側条施肥による分けつ制御技術. 東北農業研究 64 27-28
- Miura, Chikako., Suda Kou and Hirohiko Morita, 2011. Effect of reduced rate of application of a herbicide, prometryn+thiobencarb during drainage period on improvement of weed management in direct seeded rice in Akita, northern Japan, 23rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference: 359-365
- 宮城県監修 2011. 「宮城県農作物病虫害・雑草防除指針 平成 23 年度版」同編集、p.VI-3
- 宮城県石巻農業改良普及センター 2010. 稲作情報号外 (湛水直播編)「水稲湛水直播栽培作業のポイント」同センター、p.2
- 宮原益次 1972. 水田雑草タイヌビエ種子の休眠性に関する生理生態学的研究. 農事試験場研究報告 16:63-85.
- 宮原益次 1983. タイヌビエその他主要一年生雑草の生態と防除に関する研究. 雑草研究 28:1-11
- 宮原益次 1992. 「水田雑草の生態とその防除」全国農村教育教会、東京、pp.50-52、p.159
- 森田弘彦 1995. 水稲直播栽培における雑草防除の現状と問題点. 植物防疫 49:225-231
- 森田弘彦 1999. 1 時間気温値の加重型有効積算気温を用いた野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展. 雑草研究 44:218-227

- 森田弘彦 2001 日本の稲作と雑草ヒエ、藪野友三郎監修「ヒエという植物」全国農村教育協会、東京、pp49-68
- 森田弘彦 2004 雑草、平井一男・本田要八郎編集「防除ハンドブック イネの病害虫と雑草」全国農村教育協会、東京 p.56
- 長野間宏 1998. 稲作技術の展開方向と土壌物理性的諸問題. 土壌の物理性 79:3-9
- 中村喜彰 1976. 湛水直播用コーティング種子の基礎的研究. 農業機械学会誌 38:75-78
- 中山壮一・高林實 1998. 水稻の湛水直播栽培における芽干しの時期および期間によるピラゾレート剤の除草効果の変動. 雑草研究 33:180-184
- 中山幸典・北野順一・大西順平・川名義明 2011. 水稻乾田直播栽培におけるイボクサの防除方法. 関東東海北陸農業研究成果情報  
[http://www.mate.pref.mie.lg.jp/marc/SEIKA/H22/H22\\_seika08\\_ibokusa.pdf](http://www.mate.pref.mie.lg.jp/marc/SEIKA/H22/H22_seika08_ibokusa.pdf)
- 日本植物調節剤研究協会 2004. 水稻関係除草剤試験実施基準. 同協会、pp1-6  
[http://www.japrr.or.jp/shiken/files/teki2\\_shiken071019.pdf](http://www.japrr.or.jp/shiken/files/teki2_shiken071019.pdf)
- 日本植物調節剤研究協会東北支部編集 2011. 日本植物調節剤研究協会東北支部会報 46 : 51
- 野田健児・小沢啓男・芝山秀次郎 1971. 水稻の雑草害に関する研究. 雑草研究 12:28-32
- 野村幹生・高橋渉・尾島輝佳・川口祐男 2002. 過酸化石灰被覆剤の加温処理が直播水稻種子の出芽、苗立ちに及ぼす影響 第2報 加温処理開始時期および加温処理後の保存条件が出芽に及ぼす影響. 北陸作物学会報 37:29 ~ 32
- 農業機械学会編集 1996. 「生物生産機械ハンドブック」コロナ社、p535、p545
- 農林水産省 2010 直播栽培の現状について  
[http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z\\_genzyo/](http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/)
- 農林水産省 2010 農産物生産費統計  
[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi\\_nousan/index.html#y1](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_nousan/index.html#y1)
- 大分県担い手育成総合支援協議会 2007. 担い手経営革新モデルの実践事業成果 11. 農事組合法人大肥郷ふるさと農業振興会(日田市)<http://www.agri-oita.net/pdf/jirei/11.pdf>
- 岡田雄二・渡辺耕造・長谷部忠・大塚一雄・藤田耕朗 1995. 大区画水田における水稻散播湛直栽培を前提としたほ場均平化技術. 埼玉県農業試験場研究報告 48:1-13
- 大場茂明 1977. 落水出芽法の由来. 農業技術 52:33-34
- 坂上行雄・松原弘一郎 1967. 水田土壌の有機態窒素の無機化に及ぼす湛水直後土壌かくはんの影響 シロカキ作業に伴う水田土壌肥沃度 (第2報). 日本土壌肥料学雑誌 38:70-73
- 酒井博幸・吉田修一・山本晶子・長田行広・神名川真三郎 2002. 湛水土中直播における数種の土壌処理型除草剤の効果およびイネへの影響. 東北の雑草 2:17-23
- 酒井究・佐藤勉 1998. 水稻湛水直播栽培における除草剤使用適期の推定法. 植調 32 : 106-109
- 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸 2002. 大区画水田における田面の高低が直播水稻の初期生育と分けつに及ぼす影響. 日本作物学会紀事 71:308-316
- 進藤勇人・村上章・原田久富美・太田健・小林ひとみ 2004. 復田時の水稻不耕起・無代かき移植栽培における育苗箱全量施肥. 東北農業研究 57 : 25-26
- 進藤勇人・片平光彦・佐藤雄幸・松波寿典・佐藤健介・高山真幸・田村保男 2009. 田畑輪換における水稻無代かき湛水直播による倒伏軽減と跡地土壌の碎土性. 東北農業成果情報  
<http://tohoku.naro.affrc.go.jp/seika/jyouthou/H21/suitou/H21suitou028.pdf>
- 須田康・三浦恒子 1999. 直播栽培における除草剤の処理適期. 東北農業研究 52:61-62
- 田口奈穂子・三浦恒子・若松一幸・金和裕 2003. 水稻湛水土中条播におけるノビエ 3.0 葉期一発処理除草剤を適期使用するための代かきから播種までの日数. 東北農業研究 56:43-44
- 高城哲男・三浦嘉浩・小菅浩一 2000. 水稻湛水直播栽培におけるカルガモ被害の耕種的軽減技術. 日本作物学会東北支部会報. 43:1-3
- 田中孝・西村功 1967. 水田におけるトラクタの走行性能判定に関する実験結果の総括的考察. 農業機械学会誌 29 : 45-49
- 内野彰・渡邊寛明・伊藤一幸 2002. 水田地温による寒冷地のタイヌビエ(*Echinochola oryzicola* Vasing.)の葉齢進展と発生周期の推定. 雑草研究 47:66-73
- 梅津敏彦・遠藤昌幸・結城和博・今野周・米野操・武田正宏 1992. 散播による湛水土中直播栽培技術. 山形農業試験場研究報告 26:77-102
- 若松一幸・三浦恒子 2004. 水稻湛水直播栽培における過酸化カルシウム剤粉衣量が出芽・苗立に及ぼす影響. 東北農業研究 57:38-39
- 若松一幸・片平光彦・三浦恒子・山形茂 2005. 肥効調節型肥料の側条施用が水稻湛水土中条播の生育収量に及ぼす影響. 東北農業研究 58:23-24
- 若松一幸・三浦恒子・金和裕 2006. 直播水稻の分けつ発生と次位・節位別分けつ着生粒の特性. 日本作物学会東北支部会報 49:43-45
- 渡邊寛明・川名義明 2006. 直播栽培の雑草管理技術. 農業技術 61:503-508
- 藪野友三郎 1975. ヒエ属植物の分類と地理的分布. 雑草研究 20:97-104
- 山田登 1951. 過酸化石灰による作物に対する酸素の供給(予報). 日本作物学会紀事 21:65-66
- 山本倫子・菊池晴志 2006. 水稻湛水直播における播種後落水期間中に使用出来る初期除草剤の効果. 東北農業研究 59:41-42

三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

山野秀真・田中賢太郎・猪部 巖・出水敦 2008. 2年間の大豆転作が後作の水稲・小麦栽培に及ぼす影響. 大分県農林水産研究センター研究報告. 農業編 2:1-9

山下亨・加藤賢一・工藤篤・今野周・武田正宏 1994. 水稲無代かき作溝直播栽培技術の確立 第2報 雑草発生相の解明. 東北農業研究 47:33-34

吉永悟志 2002. 打込み式代かき同時土中点播機を用いた水稲の湛水直播栽培における生産性の向上および安定化に関する研究. 九州沖縄農業研究センター研究報告 41:53-116

吉永悟志・白土宏之・長田健二・福田あかり・中林光文・横山裕正・木村利行・日影勝幸・小田中温美・浅野真澄・三上雄史・島津裕雄・木川裕美・三浦恒子・若松一幸・山川淳・井上由紀・浅野目謙之・中山芳明・島宗知行・鈴木幸夫・木田義信・佐々木園子 2008.

東北地域における直播水稲の登熟特性と収量・品質関連形質. 東北農業研究センター研究報告 109: 41-82

周紅・森田脩・江原宏 2003. 湛水土中散播イネにおける苗立ち型別の生育と収量の特徴. 日本作物学会紀事 72:177-184

## Abstract

eed management system for rational utilization and high herbicidal efficacy of one-shot herbicide in direct-seeded rice under wet conditions in Akita Prefecture for stable production of high-quality grain

Chikako MIURA

Although crop acreage and rice yield in Akita Prefecture are ranked third in Japan, the total number of farmers has decreased in recent years, and the number of farmers >65 years has increased. To save labor and increase the scale of operations, rice farmers are trying to adopt direct-seeded rice cultivation under wet conditions in Japan. Methods of direct seeding and crop establishment have been recently confirmed. However, with this method, rice yield is 10 % lower than that resulting from mechanical transplanting, which is the most commonly used rice production method.

One of the reasons for the reduced rice yield is the failure of weed management using the direct seeding method. Sequential application of herbicides two to four times per crop is necessary for successful weed management using this method, whereas one application of one-shot herbicide is sufficient while using the mechanical transplanting method. Herbicidal injury is a significant problem in weed management using one-shot herbicides for rice that has been directly seeded because at the time of herbicide application, the rice plants (*Oryza sativa* L.) are less developed in comparison to rice seedlings by transplanting.

In this study, suppression of primary tillers from the second node by one-shot herbicide was investigated as a new indicator of herbicidal injury in direct-seeded rice. Herbicidal application at half of the recommended rate (hereafter: low volume use) of 0.15 g a.i.m.<sup>-2</sup> of pyrazolate and 0.16 kg and 1.6 g a.i.m.<sup>-2</sup> of prometryn and thiobencarb, respectively, in granular form was evaluated to stable the efficacy of one-shot herbicides. In addition, sequential application of herbicide to direct-seeded rice for Akita-eco raisu, an ecological pest management regime for rice that is utilized mainly in transplanted rice in Akita Prefecture, was considered.

### 1. Suppression of primary tillers from the second node by one-shot herbicide in direct-seeded rice

In previous studies, the total number of established seedlings, number of tillers at the tillering stage, and grain yield have been used as indicators of herbicidal injury in direct-seeded rice, however, tiller development in terms of nodal position and order of tillers affect yield and grain quality of direct-seeded rice in Akita Prefecture.

Therefore, information on the nodal position and the order of tillers was collected for this study. Susceptibility of every tiller of direct-seeded rice to one-shot herbicides is an indicator of its adaptability, and is important information in the effort to achieve yield ability and grain quality similar to those of transplanted rice.

The development of tillers at every nodal position was investigated in this study. The order and ratio of productive tillers in direct-seeded rice plants treated with one-shot herbicides at the 2.0- or 2.5-leaf stage, the earliest recommended application stage, were determined from 2005 to 2007 and in 2011 under field and glasshouse conditions. This strategy may be a new method of evaluating herbicidal injury as a result of application of one-shot herbicide.

When a flowable formulation of pyriminobac-methyl, bromobutide, bensulfuron-methyl, and pentoxazone was applied at the

2.5-leaf stage of the rice cultivar Akitakomachi, the rate of development of primary tillers from the second node was suppressed to 60 %. However, the rate of development of primary tillers from the seventh node increased. Therefore, no significant difference was found in the total number of developed tillers in treated and untreated plots. The response depended on the active ingredients and formulation of the one-shot herbicides, and was not observed under higher temperature conditions. Furthermore, the suppression of primary tillers from the second node caused reduced yield and lower crop quality.

## 2. Sequential application with low volume use of pyrazolate and one-shot herbicide to prolong suitable duration for one-shot herbicide application

For use of one-shot herbicide in direct-seeded rice, the earliest recommended application is the 2.0-leaf stage to prevent herbicidal injury. The latest recommended application is the 2.5-leaf stage of *Echinochloa* spp. for optimal effect of one-shot herbicide on weeds. The suitable duration of utilization for one-shot herbicide in direct-seeded rice is one to four days. This is because the leaf stage of *Echinochloa* spp. may exceed that of direct-seeded rice in Akita Prefecture. This short time window in which one-shot herbicide can be applied may result in lack of herbicidal efficacy. Therefore, increasing the number of applications and the times suitable for herbicidal treatment would prevent to save labor in weed management especially for *Echinochloa* spp.

In this study, the herbicidal efficacy of low volume use of pyrazolate was evaluated. The efficacy and duration of application of one-shot herbicide with low volume use of pyrazolate were also investigated. Low volume use of pyrazolate was shown to be effective for use in sequential application as a one-shot herbicide. The suitable duration for application of this one-shot herbicide was prolonged from one day (single application) to eight days. As a result of this sequential application, application of herbicides to foliage during midseason drainage was unnecessary.

To confirm the efficacy of sequential application with low volume use of pyrazolate and one-shot herbicide in direct-seeded rice, these herbicide was applied on a rotational basis to a large (1 ha) field without puddling (hereafter: rota-field). The efficacy of sequential application of this herbicide on a rota-field basis was similar to that in direct-seeded rice in a continuously cropping field with puddling (hereafter: control). In addition, the leaf stage of *Echinochloa* spp. in the rota-field treatment exceeded that of the control field by 1.

Sequential application with low volume use of pyrazolate and one-shot herbicide was an effective and stable weed control system. Use of this system could reduce costs and save labor in farming of direct-seeded rice in Akita Prefecture, further labor-saving methods of spraying were required by farmers.

Based on the results reported here, the company that produces and distributes this granular herbicide containing pyrazolate began herbicide registration with the agricultural public research organization in Japan. The low volume use (0.15 g a.i.m.<sup>-2</sup>) of pyrazolate was first registered in June 2009 based on tests of its herbicidal efficacy and potential for crop injury.

## 3. Sequential application with low volume use of a granular formulation of the prometryn and thiobencarb herbicide during the draining period after seeding and application of one-shot herbicide

A granular herbicide combination product containing prometryn and thiobencarb (hereafter: PT) was registered for application in direct-seeded rice fields as pre- and postemergence treatment during the drainage period just after seeding. The recommended application rate ranged from 0.32 g and 3.2 g to 0.48 g and 4.8 g a.i.m.<sup>-2</sup>. However, PT can cause accidental herbicidal injury to rice seedlings when surface water remains after seeding. Herbicidal injury using PT must be prevented without reducing herbicidal efficacy. In this study, changes in herbicidal efficacy and injury with low volume use of PT were evaluated under field and greenhouse conditions.

With low volume use of PT, sufficient herbicidal efficacy was observed with sequential application of one-shot herbicide. No injury to rice seedlings was observed regardless of the soil surface status (drained or saturated) at PT application time. Although *Scirpus juncooides* Roxb. Var. *ohwianus* T. Koyama survived until the time of one-shot herbicide application, it was controlled by successive application of this one-shot herbicide.

Although low volume use of PT did not prolong the suitable window for application of one-shot herbicide after flooding, it was more effective than a single use of one-shot herbicide. In addition, low volume use of PT prevented herbicidal injury to rice seedlings in the rain, and 570 g m<sup>-2</sup> of the yield target was obtained.

## 4. Summary of results regarding application methods of herbicides in this research



三浦 : 高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

1) Methods of evaluation of injury to rice seedlings from one-shot herbicide based on the rate of suppression of primary tillers from the second node in direct-seeded rice

For a new and easy method of evaluating tillers, suppression of tillers must be confirmed, except in the cultivar Akitakomati. In addition, a means of providing this information to farmers must be established.

2) Stability of efficacy of one-shot herbicide using low volume use of pyrazolate and PT

For low volume use of pyrazolate and PT to be widely adopted, the unmanned helicopter and sprayer attached to a seeder that has been routinely used in herbicide application must be adapted for further labor saving and herbicide formulation suitable to low volume use was required.

3) New weed management system in direct-seeded rice adapt to Akita-eco raisu

The new weed management system established in this research was able to reduce the number of active ingredients in the herbicide from the 6 - 8 that have been applied in the past to 4 - 5 in direct-seeded rice. Thus, the results of this research strongly support the promotion of Akita-eco raisu in direct-seeded rice with comparable herbicidal efficacy to herbicide used in transplanted rice.

(Bull.AKITA Agric.Exp.Stn., \*\*, \*-\*, 20\*\*)

# 糯米澱粉の理化学特性に基づいた餅硬化性推定法の開発と 栽培環境が餅硬化性に及ぼす影響

小玉 郁子

キーワード 糯米、澱粉構造、尿素澱粉溶解法、餅硬化性、登熟温度

## 目次

抄録	39	3-2. 異なる品種, 年次における尿素澱粉溶解法の適用と硬化性との関係	55
1. 緒言	40	3-3. 育成試験における初期世代選抜法に関する尿素澱粉溶解法の適用	58
2. 白米粒を用いた尿素澱粉溶解法による餅硬化性の少量評価法	41	4. 登熟期における温度条件と澱粉構造との関係	59
2-1. 尿素澱粉溶解法の測定条件の検討	42	4-1. 植物体および胚乳種子の形質	60
2-2. 尿素澱粉溶解法を用いた白米粒澱粉の吸光度	43	4-2. 温度条件の異なる環境で登熟させた糯品種の澱粉解析	62
2-3. 尿素澱粉溶解法を用いた品種の溶解速度	47	5. 総括	73
2-4. 餅硬化性が異なる品種における結晶構造回析	50	6. 謝辞	75
2-5. 餅硬化性と溶解速度, 結晶構造における相互関係	52	引用文献	75
3. 尿素澱粉溶解法を用いた餅硬化性の少量評価法における検証	53	Abstract	79
3-1. 餅生地における少量評価法の検討	54		

## 抄録

現在、本県の奨励品種である、たつこもち、きぬのはだは、県内糯品種の作付の9割以上を占めており、主に切り餅として利用されている。この2品種は、多収で栽培しやすいが、実需者からは加工適性の評価が低い現状にあり、つき餅成型後の冷蔵時間が短く、カットの作業性が優れる硬化性が高い品種が要望されている。そのため、硬化性が高く実需者の評価が高い品種である、こがねもち以上の品種を目標として、育種選抜法の開発と利用における研究を進めた。本研究は、第一に、育種として多数の品種や育成系統、個体を評価する必要があるため簡易に少量で客観的に数値化可能な方法をみだすこと。第二に、硬化性は澱粉の糊化や老化性と関連づけられることから、評価法は澱粉特性に着目した手法であること。第三に、育種素材や品種を用いて複数年の評価を行いその検証を行うこと。さらに新たな選抜方法を組み込んだ育種方法を提案することを最終目標とした。これらの育種の実用化研究のため、東北地方で栽培されている主な水稻糯品種について、澱粉特性に関与するとされる溶解

性、アミロペクチン構造、結晶構造について初めて明らかにし、相互の関係を考察した。さらに、澱粉の糊化特性と強く関係づけられている登熟温度とアミロペクチン構造について、人工気象器における温度制御下の試験を行い、品種の違いによる鎖長分布と糊化特性を明らかにし、その要因である澱粉生合成関連酵素に関する考察を行った。本研究の概要は以下のとおりである。

1. 餅硬化性の一指標としての尿素溶解法について基礎的実験を行い、白米20粒を用いて、尿素溶解法を適用し吸光度測定により数値化を試みた。温度、時間を変えたパラメーターから餅硬化性は、澱粉の溶解速度、澱粉ヨウ素複合体の吸光度、澱粉の相対結晶化と密接な関係があることを明らかにした。

2. 尿素溶解法について、2008年～2010年の3年間において栽培品種を用いて検証を行った。その結果、餅硬化性と新たな指標とした吸光度との間には、負の有意な相関があった。定法であるRVAの糊化特性と同等の精度であることから、尿素溶解法は精度が高い簡易少量評価法として育種利用できると考えられた。こがねもちを交配親とする組合せを材料とし、初期世代

の吸光度を評価した結果、F 3 と F 4 世代間には世代間相関があり、硬化性が高い系統が得られたことから、育種選抜法への実用可能性が大きく考えられた。

3. 餅硬化性は、登熟期の気温と関連があるとされることから、硬化性ランクが異なる 9 品種を用いて、常温下および高温下におけるアミロペクチン構造と糊化特性を調べた。その結果、品種のアミロペクチン構造は登熟期の温度に関わりなく数種にグルーピング化できる可能性が示唆され、遺伝的要因に支配されると推測された。一方、高温下では、アミロペクチン鎖長パターンから、ほぼ全ての品種が澱粉生合成関連酵素 BE II b の活性が低下していると推測された。また、常温下および高温下においても糊化温度の変動巾が小さい品種をみいだした。

## 1. 緒言

秋田県は土壌、気象に恵まれた有数の米産地であり、全国の水稲収穫量 292,000 トンのうち、3%を占めている。種類別規格の作付では粳米が 80,000 ha、糯米が 1,500ha である。粳米の作付が多い中において、糯米の作付割合は少ないものの、全国第 7 位の生産量を占めている。近年、稲作を巡る状況はめまぐるしく激変している。平成 5 年の冷害時における東北地方の米の供給不足により外国からの米の市場を開放以来、国外との競争のみならず国内における産地間競争は特に激化している現状にある。本県においても、粳米を柱とし、糯米は地場産業あるいは地域の活性化を担うものとして、生産されている。糯米は古くから伝統行事に使われることが多く地域特有の加工品として使われている。本県においても、糯米は食文化として根付いている背景がある。しかし一方で、法人化や集落営農等稲作の規模の拡大を進める経営体では、加工業者との契約栽培がほとんどであり、糯米は玄米として出荷され、県外で精米、加工され流通されている。そのため、糯米は粳米と異なり、加工後流通するため加工適性が特に重要視される(柳瀬ら 1981, 1982a, 1982b)。本県における糯米品種の作付は、たつこもち、きぬのはだ(加藤ら 1995)が 90%以上と多く、2 品種で本県の糯米のほとんどを占めている。しかし反面、契約栽培により大規模に生産している場合は、熟期や栽培特性の点で本県に適しないが、餅の加工特性が優れる、こがねもち(五十嵐ら 1959)やわたぼうし等の品種が作付されている場合が多い。その理由として、たつこもちときぬのはだは、米の増産時代に多収で耐肥性が強い品種を目標に育成された品種であることがあげられる。秋田県奨励品種における糯米品種の変遷に、その必要とされた品種と時代背景をみることができる。本県におけるこれまでの糯米品種の改廃の主な理由

は、稈長、耐倒伏性、多収性、耐病性、品質の向上に関するものであり、こがねもち、ヒメノモチ(斎藤ら 1974)、ヒデコモチ(斎藤ら 1985)の変遷に傾向をみるることができる。こがねもちは、餅質は良いが熟期が遅く安定的に栽培できないことから廃止されヒメノモチに交替した。ヒメノモチは出穂期がこがねもちより早く品質は良好であるが、耐倒伏性が弱いことから、ヒデコモチに交替した。ヒデコモチは短稈で稈質が強いが、耐冷性が弱かった。オトメモチは熟期が早生であること、耐倒伏性が強いことが評価され、たつこもちときぬのはだが奨励品種となるまで長期にわたり作付されていた。このように、これまで秋田県の糯米品種では安定多収が第一に重要視され、加工適性を重視した品種開発は行われてこなかった。以上の背景から、本県における糯米育種は内部品質における選抜法が確立されていない状況下にあって、現在、高い収量性および栽培特性を有し、加工適性が優れる双方の形質を有する糯米品種が求められている。

糯米における研究は、実需の評価が高いこがねもちに関する研究が多い。食品加工の面からの材料の評価(江川ら 1990、柳瀬ら 1981, 1982a, 1982b, 1984)では、こがねもちに関する餅の硬化性、性状、糊化特性を調べ、尿素溶液による澱粉溶出画分と餅硬化性との関連性を報告している。また、栽培方法の観点では、餅の性状や硬化性は、登熟温度と品種間の間に交互作用があるものの、登熟温度による影響が大きいことが示唆されている(松江ら 2002、杉浦ら 2005)。一方で、品種の遺伝的要因とする餅硬化性については、こがねもちに由来する品種の餅硬化性の評価がなされ、同一条件下で栽培された水稲糯 36 品種について餅硬化性のランクづけがなされている(石崎ら 1995)。さらに、施肥量と品種の餅硬化性との関係では、施肥量は品種の硬化性の差異を超えないとして餅硬化性は品種の遺伝的要因としている(石崎ら 2007)。以上のように、餅硬化性に関する食品の評価、品種、栽培の観点からの報告は多数ある。一方、品種開発における餅硬化性の検定法には、冷蔵した餅生地のみ具合の比較(江川ら 1990)、テンシプレスサーによる貫入抵抗(石崎 1994)、果実硬度計による餅硬度の測定(岡本ら 1998)による物理的な評価方法が従来から報告されている。また、水稲の食味評価(佐藤ら 2003, 2007)に用いられているラピッド・ビスコ・アナライザー(RVA)により、餅硬化性と糊化特性の関係が明らかにされ、白米粉の糊化開始温度や糊化ピーク温度が餅硬化性の指標として有効であることが報告されており(岡本ら 1998、小林ら 2000)、育成系統を用いた RVA の各特性値と餅硬化性との関係が明らかにされている(佐藤 2005, 2007)。しかし、これらの餅硬化性の検定法は多くの材料を必要とし、また RVA による評価法は白米の粉碎等、材料の調整に時間を費やすため、多

数の個体を扱う初期世代の一次スクリーニングや簡易に母本の評価を試みる方法としては手順が多い。近年、澱粉生合成関連酵素変異体に関するアミロペクチンの構造解析と物性に関する研究が大きく進み、餅硬化性が異なる品種間では、アミロペクチン鎖長分布パターンが大きく異なることが明らかにされ（Igarashi ら 2008、Okamoto ら 2002、Suzuki ら 2006）、澱粉のアミロペクチン構造との関連性が示唆されており、糯米の澱粉構造は餅の物性に深く関与することが明らかになってきている。水稻糯品種の開発においても尿素崩壊法を利用した餅硬化性の推定の可能性（佐藤ら 2005）や澱粉構造を指標とする育種法の可能性が示唆されている（Igarashi ら 2008）。

本研究は、第一に、育種として多数の品種や育成系統、個体を評価する必要があるため簡易に少量で客観的に数値化可能な方法をみいだすこと、第二に、餅硬化性は澱粉の糊化や老化性と関連づけられることから、評価法は澱粉特性に着目した手法であること、第三に、育種素材や品種を用いて複数年の評価を行いその検証を行うこと、さらに新たな選抜方法を組み込んだ育種方法を提案することを最終目標とした。これらの育種の実用化研究のため、東北地方で栽培されている主な水稻糯品種について、澱粉特性に関与するとされる溶解性、アミロペクチン構造、結晶構造について初めて明らかにし、相互の関係を考察した。さらに、澱粉の糊化特性と強く関係づけられている登熟期における温度条件とアミロペクチン鎖長について、人工気象器における温度制御下の試験を行い、品種の違いによる鎖長分布を明らかにし、その要因となる澱粉生合成関連酵素に関する考察を行った。

始めに 2 章では、糯米品種の硬化性の新たな評価指標として可能性を有する尿素溶解法について基礎的な実験を行い、白米 20 粒を用いて尿素溶解法を適用し吸光度を測定することにより定量化を試みた。また、餅硬化性と澱粉の相対結晶化度との関係について明らかにした。

3 章では、新たな餅硬化性評価法として尿素溶解法を用いて、2008 年～2010 年の 3 年間において栽培品種を用い検証を行い、定法である RVA との精度の比較をし、簡易少量評価法としての育種利用の可能性を検討した。

4 章では、餅硬化性や澱粉の糊化特性は、登熟期における温度条件と関連があるとされることから、人工気象器の温度制御下において異なる登熟温度を設定し、品種におけるアミロペクチン構造、および高温条件下におけるアミロペクチン構造と糊化特性について品種の温度反応性を検討し考察を行った。

## 2. 白米粒を用いた尿素澱粉溶解法による餅硬化性の少量評価法

本章では、水稻糯品種における餅硬化性を少量で評価する方法として尿素溶液による澱粉の溶解法を検討した。尿素はタンパク質や DNA の変性剤として用いられることが多く、その作用はそれらの水素結合が切れ、元の形を維持できなくさせるとされる。澱粉に対する作用も同様であり、澱粉の二重らせんを形成するための水素結合が尿素により阻害される。すなわち尿素を構成する NH<sub>2</sub> の部分が澱粉の N、O、H 等の水素結合に関与する原子と置換するためと考えられている。澱粉の糊化には熱糊化、アルカリ糊化、尿素溶液による方法があるが、尿素による方法は熱糊化やアルカリ糊化と同様にヨウ素反応の呈色程度により、澱粉の糊化の現象を簡易に判別することが可能であり、澱粉溶出液の吸収波長を測定することにより大まかな澱粉の構造を推測できる利点がある。また、アルカリ糊化と同様に酵素反応を阻害しないことから、溶出澱粉のアミロペクチン構造を解析できる利点がある。尿素溶解法は胚乳澱粉突然変異体の一次スクリーニング法として利用されており（西 1997、佐藤 1994）、同様に澱粉生合成関連酵素変異体と野生型間における糊化特性の差異を明らかにする方法として活用されている（Nishi ら 2001）。糯品種における尿素溶解性と餅硬化性に関する最初の報告は、インディカ種に由来する澱粉生合成関連酵素 SS II a が活性型の陸稲糯品種、関東糯 172 号における知見である。SS II a に支配される澱粉は尿素に溶解しにくく、澱粉の構造は他の陸稲品種との間に明らかな差異があることが報告されている（岡本ら 1998、Okamoto ら 2002、2009、Nakamura ら 2002）。一方、水稻糯品種における尿素溶解法と硬化性に関する育種学的研究では、佐藤ら（2005）は、尿素溶液中の白米のヨウ素呈色程度と RVA 法による糊化ピーク温度との間に順位相関があることをみだし、江川ら（1990）が示した 4.5 M 尿素溶液溶出画分の量と餅硬化性との関連性の結果を支持している。さらに円谷（2011）は、尿素溶液で溶出する澱粉量とヨウ素呈色の濃さとの間に相関を認めるとともに、溶出澱粉量の程度は澱粉の質的な違いにあると推測している。以上のように、水稻糯品種の尿素溶解に関する報告は非常に少ないものの、これらの知見から餅の硬化性の差異は澱粉の構造や質的な差異に起因し、尿素溶液を用いて澱粉を溶出させることにより、餅をつくることなく、餅硬化性を評価し育種利用できる可能性が高いと推測される。そこで、本章では、餅硬化性が異なる品種を用いて尿素に対する澱粉溶解速度および澱粉の結晶領域量との関係を調べ、尿素溶解法による餅硬化性評価法の開発を目的とした。

## 2-1. 尿素澱粉溶解法の測定条件の検討

水稲糯品種の尿素溶液に対する糊化の最適濃度を知らるために、硬化性が高いこがねもちおよび硬化性が低いヒメノモチの2品種を供試し、これらの白米粉を用いて、膨潤体積、糊化が開始する濃度、ヨウ素呈色反応試験を行い、尿素溶液の濃度条件を検討した。

### 1. 供試材料

2008年に秋田県農林水産技術センター農業試験場圃場（秋田市雄和源八沢）で同一条件下で栽培した、こがねもち、ヒメノモチの2品種を供試した。こがねもちは硬化性が極めて高く、ヒメノモチは硬化性が低い特性を有する。秋田県における出穂期は、ヒメノモチは中生に、こがねもちは極晩生の熟期に属する。移植は5月17日に行い、1株4本植え、1区7㎡で栽培した。刈り取り時期は、籾の黄化程度が90%に達した成熟期に品種毎に行った。1.85mmの篩に通した精玄米を90%前後にとう精し白米とした。白米粉は、白米を試験用粉砕器（ブラベンダー社製、クォルドマットジュニア型）で粉砕し350メッシュ以下のサンプルを実験に用いた。

### 2. 試験方法

#### 1) 尿素溶液中の澱粉の膨潤体積

ファルコンチューブに白米粉200mgを加え、10ml尿素溶液を入れ、20℃12時間、150rpmで回転振とうし、その後、4,000rpmで20分間遠心し4時間静置した。尿素溶液の濃度は、0、1、2、3、4、5、6、7、8、9(M/L)の10区とした。上澄の尿素溶液層をA、沈殿と糊化層をBとし、膨潤体積は以下のよう

に求めた。

$$\text{膨潤体積 B (ml)} = 10 \text{ (ml)} - \text{A (ml)}$$

#### 2) 尿素溶液中の澱粉の糊化

1.5ml エッペンチューブに白米粉20mgを入れ、尿素溶液1mlを加え、20℃、12時間、150rpm (TOMY社製、マイクロミキサー)で回転振とうし、10,000rpmで15分間遠心分離した後、1時間静置し、沈殿の色と溶液の様子を観察し、沈殿がゲル状となり無色になった時点を糊化点とした。尿素溶液の濃度は1)と同様に0~9(M/L)の10濃度区とした。

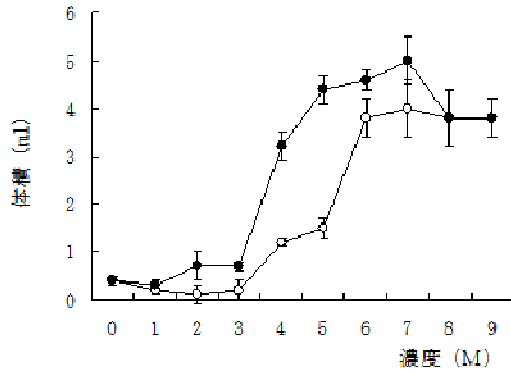
#### 3) 尿素溶液中の透過率

2)の上澄を一定量とり2~100倍に希釈し1mlとし、0.2% KI / 0.02% I<sub>2</sub>を100μl加え、ヨウ素

呈色をさせた後、530nmにおける吸光度を分光光度計 (BECKMAN社製、DU 7500)を用いて測定した。透過率は西(1997)の方法に準じ、吸光度の逆数として算出した。

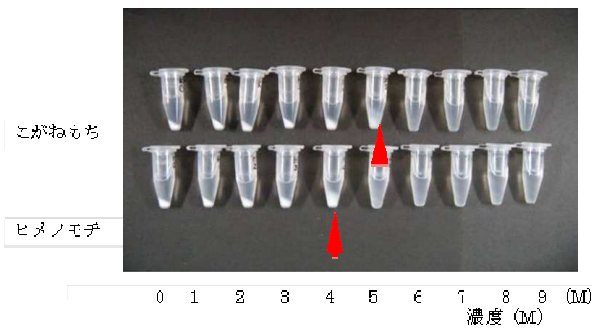
### 3. 結果

硬化性が大きく異なる2品種の白米粉を用いて、尿素溶液における糊化点を明らかにするために、尿素溶液の濃度を換え溶液中の膨潤体積および糊化の程度について調べた。第2-1図に白米粉の尿素濃度の違いによる膨潤体積を示した。こがねもちでは0Mから3Mまではほぼ変化はなく、4Mの尿素溶液でうっすらと沈殿と懸濁層、上澄に分かれ4Mから5Mの尿素溶液でやや増加し、5Mから6Mの尿素溶液間で著しく増加した。6M以上の尿素溶液では体積の増加はほぼみられなかった。一方、ヒメノモチでは、こがねもちより低い尿素溶液濃度から変化が表れた。1Mの尿素溶液では変化は認められなかったが、2Mから3Mの尿素溶液でわずかに増加が認められ、4Mでは完全に沈殿と懸濁層、上澄に分かれた。同時に体積は4Mから5Mの尿素溶液で著しく増加した。さらに6Mから7Mの尿素溶液濃度でさらに増加し8M以降の尿素溶液濃度ではやや減少した。糊化は2品種ともに4Mの尿素溶液濃度で開始し、糊化の進行の様子はヒメノモチの方が速かったが、糊化点の違いは判然としなかった。澱粉粒は水素結合を破壊しない限度内において可逆的に水分子を吸、脱着して膨潤すなわち水和、収縮するが、水素結合を破壊する条件では不可逆的に溶解し、糊化するとされている(檜作1977)。そこで、水和の影響をなくし澱粉分子に可逆的に取り込んでくる水分子を取り除くために、サンプルを白米粉20mgと少量にして遠心分離した。第2-2図に、こがねもち、ヒメノモチにおける尿素濃度の違いによる白米粉の糊化の様子を示した。こがねもちでは、0Mから4Mの尿素溶液では水和は認められず白色の沈殿物となり、5M以上の尿素溶液で透明なゲル状の沈殿物が認められた。これに対しヒメノモチでは、0Mから3Mの尿素溶液では水和は認められず白色の沈殿物で、4M以上の尿素溶液で透明なゲル状の沈殿物が認められた。これらの観察による現象が糊化に起因するかどうかを確認するため、尿素溶液中の透過率を調べたところ、こがねもちは5M尿素溶液濃度で透過率が急激に上昇し、これに対しヒメノモチはこがねもちより低濃度である4Mから透過率が上昇した(第2-3図)。これらの結果から、こがねもちは5Mの濃度で糊化が起き、ヒメノモチはこがねもちより低い濃度である4Mの尿素溶液濃度で糊化が起きることが明らかになった。

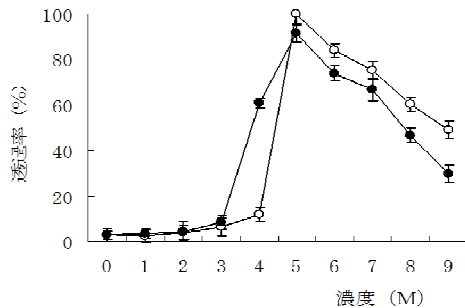


第2-1図. 尿素溶液濃度の違いによる膨潤体積の差異.

○:こがねもち ●:ヒメノモチ  
バーは標準偏差を示す, n=8



第2-2図. 尿素溶液濃度の違いによる糊化点の差異



第2-3図. 尿素溶液濃度の違いによる溶液中の透過率

○:こがねもち ●:ヒメノモチ  
バーは標準偏差を示す, n=8

#### 4. 考察

同一栽培条件下の材料で硬化性が大きく異なる、こがねもちとヒメノモチを用いて、澱粉の糊化点の差異を明らかにするために、異なる尿素溶液濃度を用いて澱粉の膨潤程度、糊化の観察、尿素溶液中の透過率を検討した。こがねもちの糊化点は 5 M の尿素溶液濃度で起き、ヒメノモチの糊化点は 4 M で起きた。硬化性の低いヒメノモチが硬化性が高いこがねもちより低い尿素溶液濃度で糊化した結果から、こがねもちとヒメノモチの糊化点の差異は 4 M から 5 M の尿素溶液濃

度で判別できる可能性があると推測された。澱粉は糊化すると、溶液は無色透明となり、透過率は高くなる。各尿素溶液中の透過率は、糊化の開始と一致した。江川ら (1990) は、産地および硬化性が異なる、こがねもち、陸稲糯米、ヒヨクモチ、カムイモチの 4 品種を用いて、澱粉分子間の水素結合の強度を変える目的で尿素溶液濃度を変えた分画を行い、4.5 M 尿素溶液溶出画分の多い品種ほど糊化開始温度が低下し餅の硬化性は低くなる関係を示している。さらに、6 M 尿素溶液中の不溶性画分が餅生地硬度と相関があること明らかにしている。本試験では、こがねもち以外は江川らとは異なる品種を用いているものの、2 品種における糊化点の差異は、尿素溶液の 4 M から 5 M 濃度間で判別することができ、本結果は江川 (1990) らの報告を支持する結果となった。

#### 2-2. 尿素澱粉溶解法を用いた白米粒澱粉の吸光度

2-1. では硬化性が異なる品種の白米粉を用いて、尿素溶液濃度の検討を行い、4 M から 5 M の濃度において品種間における糊化の差異をみいだした。品種育成では多数の検体を迅速に評価する必要があるため、選抜した多くの個体や系統を全て白米粉に調整する方法では多くの時間と労力を要する。そこで本節では、育種材料を簡易に評価する方法を前提とし、白米粒を用いた尿素溶解法について検討をした。白米粒の尿素溶解法では、佐藤ら (2005) は、こがねもち、ヒメノモチ、育成系統を用いてヨウ素呈色の発色程度を目視によるランクづけと糊化ピーク温度との間には弱い順位相関があることを示している。しかし、個体選抜などの初期世代や母本の評価においては、多数の検体を扱う必要があるため、硬化性が著しく異なる品種間では呈色程度のランクづけは容易であるが、呈色程度が中間的な検体や多数の検体を比較する場合には、客観的な評価ができない欠点あげられる。一方、小林ら (2000) は吸光度による餅硬化性の推定の試みをしている。そこで、本節では、2-1. で供試した品種の白米粒を用い、温度条件を変え白米粒から尿素によって溶出される澱粉とヨウ素呈色による澱粉ヨウ素複合体の最大吸収波長と吸光度を明らかにし、これらを利用した尿素溶解法の定量化の可能性を検討した。

##### 1. 供試材料

こがねもち、ヒメノモチの 2 品種を材料とした。栽培は 2008 年に秋田県農林水産技術センター農業試験場の圃場 (秋田市雄和源八沢) で行い、全ての品種を

同一条件下で栽培した。栽植様式は条間 30 cm、株間 15 cm、1 株 4 本植え、1 区 4 m<sup>2</sup> で行った。移植は 5 月 11 日に行った。刈り取り時期は、籾の黄化程度が 90% に達した成熟期に品種毎に行った。1.85 mm 篩に通した精玄米を 90 ± 0.5 % にとう精し白米とした。

## 2. 試験方法

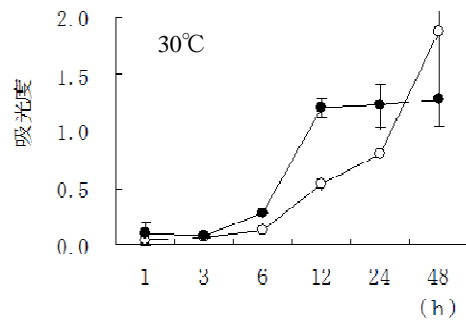
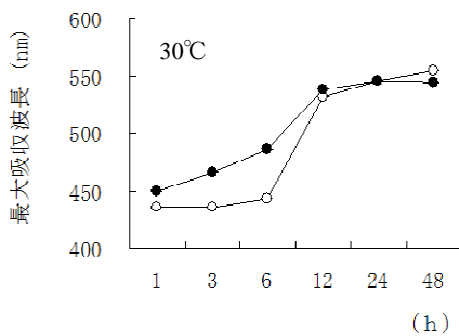
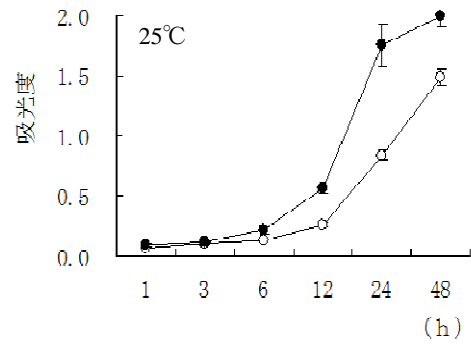
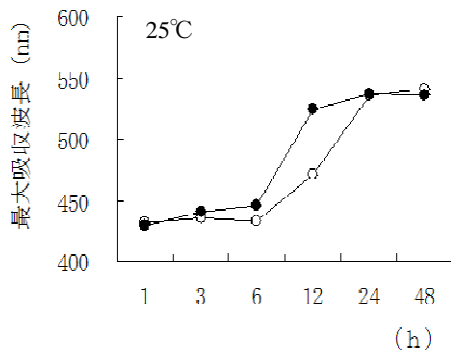
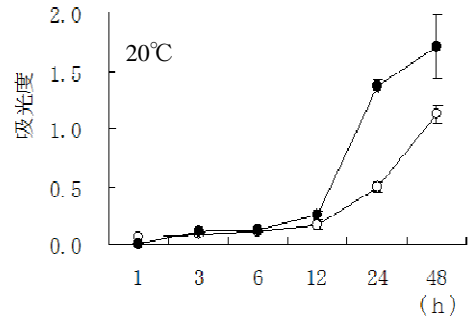
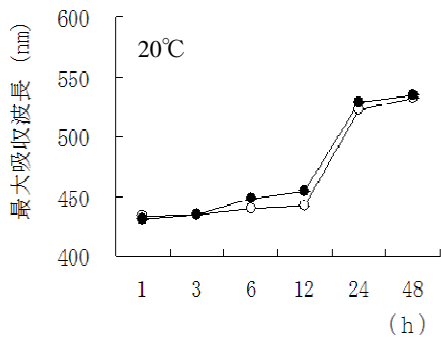
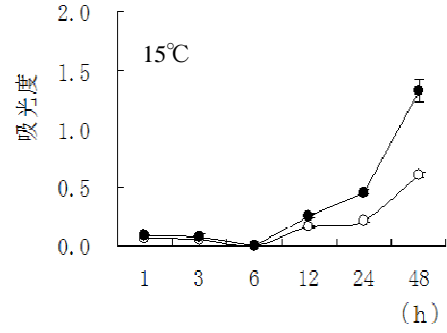
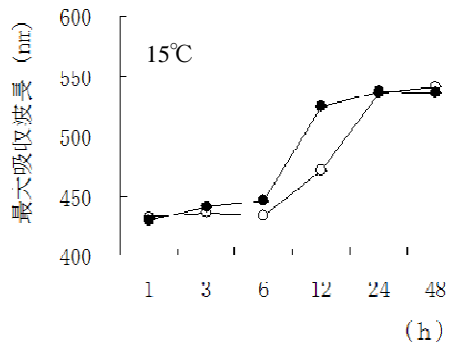
尿素溶解法による白米粒澱粉のヨウ素呈色試験白米粒 20 粒を 9 cm プラスチックシャーレに置床し、4、5 M 尿素溶液 (pH6.0) を 20 ml 加えた。その後、温度と時間について以下の条件でインキュベートした。温度：15、20、25、30 (°C)、時間：1、3、6、12、24、48 (h) とした。一定時間後に 2 % KI / 0.2 % I<sub>2</sub> を 500 μl 入れ軽く卓上で 2~3 回静かにシャーレを回し溶出液をヨウ素と混和し呈色させた。呈色液を蒸留水で 10 倍に希釈し、10、000 rpm で 5 分間、遠心分離した。上澄を一部とり、それぞれの最大吸収波長と 530 nm における吸光度 (BECKMAN 社製、DU 7500) を測定した。試験は 3 反復で行い、平均値で示した。

## 3. 結果

2-1. の結果を基に、尿素溶液濃度を 4.5 M として、15 °C から 30 °C までの各温度区における、こがねもちとヒメノモチの白米粒から溶出される澱粉ヨウ素複合体の最大吸収波長の推移を測定した (第 2-4 図)。こがねもち、ヒメノモチは、温度と時間の推移にともない、最大吸収波長は高くなり、全ての温度区において時間が長いほど最大吸収波長は長波長側にシフトした。また、吸収波長のピークはほとんどの温度区において、ヒメノモチがこがねもちより長波長側にあった。最長処理時間である 48 時間における最大吸収波長は、こがねもち、ヒメノモチでそれぞれ 15 °C では、528 nm、527 nm、20 °C では 532 nm、535 nm、25 °C では 541 nm、535 nm、30 °C では 554 nm、544 nm と、20 °C まではヒメノモチがこがねもちよりやや長波長側にピークがあり、25 °C 以上の温度区では、こがねもちがヒメノモチより長波長側にピークが認められた。

同一サンプルを用いて 530 nm における吸光度を測定し、各品種の澱粉ヨウ素複合体の反応性を調べた。こがねもち、ヒメノモチともに温度と時間に反応し、温度が高くなるほど、短い時間で吸光度は高くなった。また、15 °C、20 °C、25 °C では、ヒメノモチは一定時間経過後にはこがねもちより吸光度が高く明らかな品種間差が認められた。30 °C では、ヒメノモチの吸

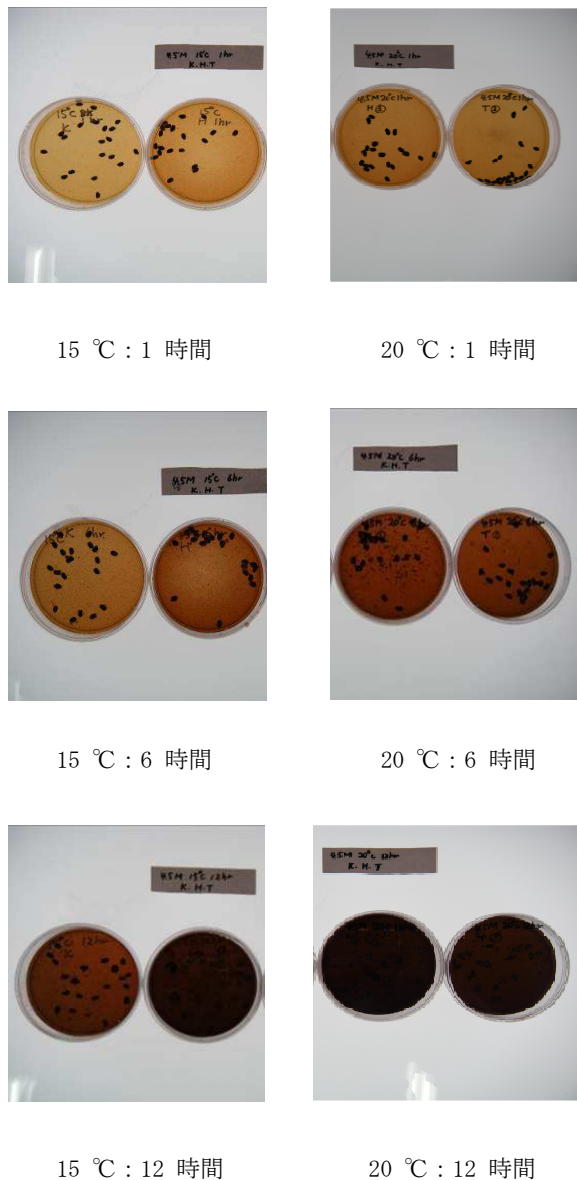
光度は 12 時間までは高く推移したが 24 時間、48 時間では変化はみられなかった。これに対し、こがねもち、ヒメノモチは、24 時間までは吸光度はヒメノモチより低く推移したが、48 時間ではヒメノモチより明らかに高くなった (第 2-5 図)。観察でもヨウ素呈色程度が濃くなる傾向は高くなる傾向が認められた。また、呈色程度の観察において発色程度が区別ができなかった検体においても、吸光度を測定した場合には、吸光度の数値に差異が認められた (第 2-6 図)。



第 2-4 図 異なる温度条件下における澱粉コウ素複合体の 590 nm における最大吸収波長。○：こがねもち ●：ヒメノモチ

第 2-5 図 異なる温度条件下における澱粉コウ素複合体の 590 nm における吸光度。○：こがねもち ●：ヒメノモチ パーは標準偏差を示す。





第 2-6 図 15 °C及び 20 °Cにおける尿素溶解によるヨウ素呈色の時間経過の様子。 図中の左はこがねもち、右はヒメノモチを示す。

#### 4. 考察

こがねもち、ヒメノモチの白米 20 粒を用いて、4.5 M 尿素溶液における澱粉ヨウ素複合体の最大吸収波長を測定した。糯米澱粉はアミロペクチンのみで構成されており、定法では 530 nm における吸収波長が用いられている。尿素溶解法を用いて温度と時間を変え、それぞれの品種における最大吸収波長を測定した結果、温度や時間によって、最大吸収波長は異なっていた。また、同一条件下においてもこがねもちとヒメノ

モチでは波長が数 nm の差異が認められ、高温区である 30 °C、6 時間の条件では最大で 53 nm の差異があった。これらの現象は、同一条件下において、溶出澱粉の質的な違いが吸収波長のピークの違いとなった可能性がある。また、各温度区における最大吸収波長の推移をみると、時間は異なるものの一定時間の後に長波長側にシフトし、さらに最長時間である 48 時間ではこがねもち、ヒメノモチともにほぼ同じ波長域にあった。実験では、同じ粒数を供試しているが品種により 1 粒の大きさに違いがあることが澱粉の溶解に影響することが考えられた。その影響を検証するために各実験毎に粒重、および楕円体の体積を計算し統計処理したところ、品種間の粒の大きさの違いと波長の間には統計的に有意な差がなかったことから、波長の差異は、品種による澱粉構造の質的な違いに起因し、尿素溶液に溶出しやすいものから溶け出したためと推測される。尿素溶解や変性に関する基礎的知見は少ないが、尿素はタンパク質や DNA の変性剤として用いられ、変性はそれらの水素結合が切れることによる現象であるとされている。澱粉においても同様の作用をしているとされ、アミロペクチンの二重らせんを形成する水素結合に関与する分子と尿素を構成する原子が置換するために、水素結合を阻害すると考えられている。このような尿素の作用から考察すると、吸収波長が長波長側を示すことは  $\alpha$ -1, 4 直鎖のより長い鎖を含む分枝が不規則に変性し解離し溶出し、逆に短波長側を示すことは短い澱粉の鎖の分枝が不規則に変性し解離し溶出した現象であることが考えられる。円谷 (2011) は尿素溶液中の澱粉のアミロペクチンの鎖長分布を解析し、澱粉溶出溶液のみでは鎖長のピークが認められず、枝切り酵素処理を行うことにより鎖長のピークが認められたとしている。これらのことから、尿素溶解反応の差異は溶出するアミロペクチンの鎖長の分枝の質的な違いを反映すると推測され、品種間の澱粉の溶出量を比較する場合には、それぞれの最大吸収波長における吸光度で比較するよりも一定波長で比較の方が適していると考えられた。これらの結果から、以降の試験では定法である 530 nm の波長を用いて実験することとした。

同一サンプルを用いて、530 nm における吸光度を測定したところ。こがねもち、ヒメノモチともに、温度が高いほどまた時間が長くなるほど吸光度は高くなった。佐藤ら (2005) は、白米を用いて 20 °C 24 時間の条件下で尿素溶解試験を行い、ヨウ素の呈色程度の評価に基準品種を設け、こがねもちを呈色程度が薄い基準品種に、ヒメノモチを呈色程度が濃い基準品種とし、数種の系統について溶解性のランクづけを行っている。本結果においてもこがねもちとヒメノモチでは、呈色程度に明らかな差異が認められ、こがねもちとヒメノモチは尿素による澱粉溶出の反応性が異なること

がみいだされた。また、同一条件下では常にこがねもちの呈色程度はヒメノモチの呈色程度より薄く、また吸光度も低いことから尿素溶解法を用いた吸光度の測定においてはこれらの品種を基準品種として用いることが適当であると考えられ、佐藤ら（2005）が設定した基準品種と一致する結果となった。一方、呈色程度が同程度と判別したものでも吸光度では違いが認められたことから、尿素溶解法による澱粉ヨウ素複合体を用いた吸光度の測定は客観的に数値化できる方法であることがみいだされた。ただし吸光度が1.0を大きく超える場合には値の信頼性が小さくなるため、澱粉溶出液の希釈倍率を大きくすることが必要であると考えられた。また、これらの溶解反応性や澱粉ヨウ素複合体の吸光度が餅硬化性や澱粉の構造や結晶性との相互の関係を明らかにする必要があると考えられた。尿素溶解反応における解析と餅の硬化性との関係は 2-3、2-4、2-5. で議論する。

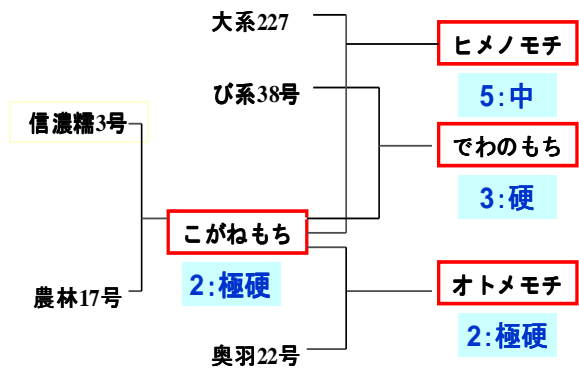
### 2-3. 尿素澱粉溶解法を用いた品種の溶解速度

2-2. において、餅硬化性が異なるこがねもちとヒメノモチの2品種を用いて、白米粒の尿素澱粉溶解反応による澱粉ヨウ素複合体の吸光度に差異が認められ、吸光度を用いて硬化性を評価する可能性がみいだされた。また、澱粉ヨウ素複合体の吸光度は、時間と温度の違いにより異なることが認められた。このことから、硬化性が異なる品種間では、尿素澱粉溶解反応における澱粉の溶解速度が異なることが推測される。そこで本節では、硬化性が高いこがねもちと硬化性が低いヒメノモチを基準品種とし、さらにその中間の硬化性を有する近縁の品種を用いて、尿素溶解法における白米粒の溶解速度について検討した。

#### 1. 供試材料

こがねもち、オトメモチ、ヒメノモチ、でわのもちの硬化性が異なる近縁の4品種を材料とした。第2-7図に品種の系譜および石崎ら（1995、1996）が評価した新潟県農業試験場産米の餅の硬化性ランクの抜粋を示した。オトメモチ、ヒメノモチ、でわのもちがこがねもちを交配親とする品種である。硬化性ランクは、極硬から極軟までの7ランクに分類され、数字が小さいほど硬化性が高いことを示している。新潟県における硬化性では、こがねもちとオトメモチは極硬で同じ硬化性ランクに属し、でわのもちは硬に、ヒメノモチは中に属する。これらの品種の秋田県における出穂期は、オトメモチは早生に、ヒメノモチは中生に、でわ

のモチは晩生に、こがねモチは極晩生の熟期に属する。試験は2009年に秋田県農林水産技術センター農業試験場圃場（秋田市雄和源八沢）で行い、全ての品種を同一条件下で栽培した。栽植様式は条間30cm、株間15cm、1株4本植え、1区4m<sup>2</sup>で行った。移植は5月11日に行った。刈り取り時期は、籾の黄化程度が90%に達した成熟期に品種毎に行った。1.85mmの篩に通した精玄米を90%±0.5%にとう精し白米とした。



第2-7図 供試品種の系譜と餅硬化性ランク

品種名の下に数字は硬化性ランクを示す（石崎ら 1996）。

極硬～極軟（1～7）までの7ランク。数字が小さいほど硬化性が高く硬いことを示す。

## 2. 試験方法

### 1) 餅生地調製と硬化性の測定

320gの白米に適量な水道水を入れ、室温で6時間浸漬した。脱水後、家庭用小型餅つき器（東芝社製、PFC-20FK）で餅を練り上げた。餅つき器の温度プログラムは、25分間蒸らし、13分間こねる設定を用いた。餅つき後、長さ20cm、厚さ1、5cm、幅5、5cmに成形後、15℃24時間で冷蔵貯蔵した。測定はレオナー圧縮試験器（Yamaden社製、RE-33005）を用いて50%変形時の圧縮荷重[N]を餅硬化性とした。プランジャーは（直径8mm、テフロン製）で10mm/秒の条件で行った。測定は、10点行い平均値で示した。

### 2) RVAによる糊化特性の測定

白米粉は2-1-1.と同様に調製後、粉碎し材料とした。糊化特性の測定には、ラピッド・ビスコ・アナライザー（Newport Scientific Pty.、Ltd.、Australia社製、RVA-3）を用いた。白米粉3.5g±0.01g（水分換算14%）に餅米のαアミラーゼ活性を抑えるために、取り扱いが危険な硫酸銅は使わず、高橋ら（1997）

の方法に準じて、白米粉に 0.01 M の EDTA・2Na を 25 ml 加え、付属のパドルで 10 回静かに上下し混和した。温度プログラムは豊島ら (1997) の方法に従い、以下の条件で行った。50 °C で 1 分保持後、50 °C から 93 °C まで 4 分間で昇温、93 °C で 7 分保持し、93 °C から 50 °C まで 4 分間で降温、50 °C で 3 分保持し、計 19 分間を 1 行程とした。測定は、糊化開始温度 (PT)、最高粘度 (PV)、最低粘度 (MV)、最終粘度 (FV)、ブレイクダウン (BD)、コンシステンシー (CS) を求めた。また、ブレイクダウンとコンシステンシーは以下のように求めた。ブレイクダウン (BD) = (PV - MV)。コンシステンシー (CS) = (FV - MV)。ビスコシティのパラメーターは、RVU で示した。測定は 1 品種につき 5 回反復し、平均値で示した。

### 3) 白米粒を用いた尿素溶解法

白米粒は尿素溶液反応の吸水時間のタイムラグをなくすため、1.5 時間吸水させた。その後、白米粒 20 粒を 9 cm プラスチックシャーレに置床し、4.5 M 尿素溶液 (pH 6.0) を 20 ml 加え、温度と時間を変え、以下の条件でインキュベートした。温度：15、20、25、30 (°C)、時間：2、10、16、24 (h) とした。一定時間後に 2 % KI / 0.2 % I<sub>2</sub> を 500 μl 入れ、2 ~ 3 回静かに卓上でシャーレを回し溶出液をヨウ素と混和し呈色させた。呈色液を蒸留水で 10 倍に希釈し、10、000 rpm で 5 分間、遠心分離した。その後、上澄をとり、澱粉ヨウ素複合体の 530 nm における吸光度を測定した。試験は 2 反復で行い、平均値で示した。

### 4) 検量線の作成と溶出澱粉量の算出

尿素溶液により溶出した白米の澱粉量を推定するため検量線を作成した。検量線作成用の澱粉は、糯系統 (EM21：九州大学農学研究科、佐藤光教授が開発) である冷アルカリ法により精製したアミロペクチンを用いた。エッペンドルフチューブにアミロペクチンを 0、1、2、3、5、8、10、20 mg を入れ、4.5 M 尿素溶液 (pH6.0) を 1 ml 加え 20 °C、24 時間で攪拌振とうした。その後、8、000 rpm で 15 分間遠心分離を行い、上澄をとり 2 % KI / 0.2 % I<sub>2</sub> を 100 μl 加え、波長 530 nm における吸光度を測定し検量線を作成した。検量線から希釈液中のアミロペクチン量を計算し、さらに採取した上澄液量を乗して溶出澱粉量を算出した。

## 4. 結果

第 2-1 表に 4 品種の糊化特性と餅硬化性を示した。品種間の糊化開始温度は 70.4 °C から 71.2 °C とそ

の差は 0.8 °C と小さかった。糊化開始温度は、こがねもちが最も低く、オトメモチ、ヒメノモチ、でわのもちの順に高かった。こがねもちとヒメノモチの間では有意な差 ( $p < 0.05$ ) が認められたが、オトメモチとでわのもちでは有意な差はなかった。最高粘度は、こがねもち、オトメモチが他の 2 品種より有意に高く、次いででわのもちが高く、ヒメノモチが有意に低かった。最低粘度は、ヒメノモチが最も低く、その他の 3 品種には有意な差が認められなかった。最終粘度はオトメモチが最も高く有意な差が認められ、こがねもちとでわのもちの間には差がなく、ヒメノモチが最も低かった。ブレイクダウンは最高粘度と同様の順位を示し、こがねもち、オトメモチが他の 2 品種より高く、ヒメノモチ、でわのもちがそれぞれ有意に低かった。コンシステンシーはオトメモチが他の 3 品種より高く、有意な差が認められた。餅硬化性では、こがねもち他 3 品種より有意に高く、次いでオトメモチ、でわのもち、ヒメノモチの順で、4 品種の硬化性には有意な品種間差が認められた。

第 2-2 表に、4 品種における糊化特性の各パラメーター値と餅硬化性との相互関係を示した。餅硬化性は最高粘度、ブレイクダウンと高い相関が認められた ( $P < 0.01$ ) が、糊化開始温度との間には関係は認められなかった。

第2-1表 水稲糯米4品種における糊化特性と餅硬化性.

品種	糊化特性					餅硬化性 (N)	
	PT (°C)	PV (RVU)	MV (RVU)	FV (RVU)	BD (RVU)		CS (RVU)
こがねもち	70.4±0.20 <sup>a</sup>	608±3.62 <sup>c</sup>	242±2.69 <sup>b</sup>	342±1.10 <sup>b</sup>	365±2.78 <sup>c</sup>	99±2.19 <sup>a</sup>	19.9±0.58 <sup>d</sup>
オトメモチ	71.0±0.32 <sup>c</sup>	618±11.46 <sup>c</sup>	247±3.70 <sup>b</sup>	360±6.56 <sup>c</sup>	370±7.98 <sup>c</sup>	113±3.34 <sup>b</sup>	18.5±0.89 <sup>e</sup>
でわのもち	71.2±0.33 <sup>c</sup>	589±2.73 <sup>b</sup>	244±2.28 <sup>b</sup>	345±0.53 <sup>b</sup>	345±2.64 <sup>b</sup>	101±2.11 <sup>a</sup>	14.7±0.58 <sup>b</sup>
ヒメノモチ	70.7±0.04 <sup>b</sup>	542±2.32 <sup>a</sup>	215±2.20 <sup>a</sup>	315±1.43 <sup>a</sup>	327±3.20 <sup>a</sup>	100±2.94 <sup>a</sup>	10.1±0.53 <sup>a</sup>

PT; 糊化開始温度, PV; 最高粘度, MV; 最低粘度.  
FV; 最終粘度, BD; ブレークダウン, CS; コンシステンシー.  
同一カラム間の同一英文字間では有意差がないことを示す (P<0.05).  
糊化粘度特性値は5反復の平均値, 餅硬化性は10点測定の前平均値を示す.

第2-2表 水稲糯米4品種における糊化特性値と餅硬化性との相互関係.

特性	PT	PV	MV	FV	BD	CS
HN	-0.21	0.96**	0.85	0.81	0.97**	0.35
PT		0.08	0.32	0.39	-0.09	0.45
PV			0.95*	0.95*	0.97**	0.54
MV				0.96**	0.85	0.45
FV					0.88	0.45
BD						0.56

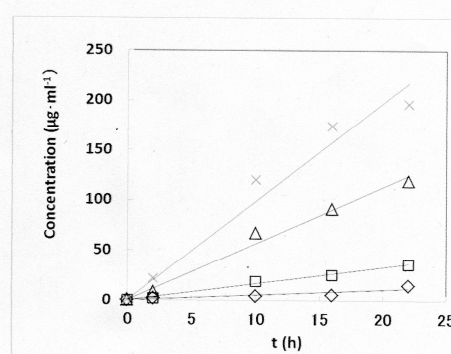
PT; 糊化開始温度, PV; 最高粘度, MV; 最低粘度.  
FV; 最終粘度, BD; ブレークダウン, CS; コンシステンシー.  
HN; 餅硬化性.  
\*, \*\* はそれぞれ5%水準, 1%水準で有意であることを示す.

次に尿素による澱粉溶解反応における溶出澱粉量の反応速度について解析を行った。近縁の硬化性が異なる4品種を用いた本試験においても、澱粉ヨウ素複合体の吸光度は、時間が長くなるほど、温度が高くなるほど、高くなる傾向が認められ、2-2.と同様の結果が得られた(図は示さず)。これらのことから、溶出澱粉量は温度と時間に依存し増加すると考えられた。そこで、澱粉の溶出反応を次式(1)として表わし解析を行った。

$$dC / dt = R \quad (1)$$

ここで、C [ $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ] は溶出澱粉量、t [h] は時間、R [ $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ] は溶解速度とした。

第2-8図に、(1)式から算出した、こがねもちの溶出澱粉量の経時変化を示した。15、20、25、30°Cの各温度区に対する溶出澱粉量の回帰直線の決定係数は、それぞれ0.85、0.99、0.99、0.97と高いことが認められた。



第2-8図 澱粉溶出速度線図(こがねもち).

Concentration [ $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ]; 溶出澱粉量, t [h]; 時間.

◇: 15°C, □: 20°C, △: 25°C, ×: 30°C.

(1)式から求めた各品種の溶解速度を比較した。第2-3表に4品種の溶解速度を示した。溶解速度と時間との間には全ての品種において高い相関が認められた、これらの相関係数は全ての品種において $r = 0.83$ 以上であった。

第2-3表 水稲糯米4品種における温度と溶解速度.

品種	溶解速度 [ $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ]			
	こがねもち	オトメモチ	でわのもち	ヒメノモチ
温度 [°C]				
15	0.53	0.53	0.41	0.68
20	1.65	1.36	1.86	3.24
25	5.66	5.80	6.79	7.47
30	9.88	7.34	7.06	10.50

#### 4. 考察

RVAの糊化特性は餅硬化性と関係があることが報告されている。本試験では、こがねもちの餅硬化性は最も高く他の品種との間には有意差が認められた。しかし、RVAの糊化特性のうち、餅硬化性との相関が高いとされる糊化開始温度(松江ら2002、中場2003、佐

藤 2005) については、4 品種の温度差が 0.8℃と小さく、こがねもちの糊化開始温度は最も低く、餅硬化性との順位とは異なっていた。良質糯品種のこがねもちの RVA の糊化特性に関する報告は多数あるが、その多くの報告は、こがねもちの糊化開始温度は供試品種の中では高い値として報告されている(石崎ら 1995、Sasaki ら 2009、佐藤ら 2005、佐藤 2007、杉浦 2005、Suzuki ら 2006、横尾 1993)。本試験において糊化開始温度がこれらの報告と一致しなかった要因として、 $\alpha$ アミラーゼ活性の阻害剤である硫酸銅は使わず粘性を確保するために、活性阻害剤に EDTA・2 NA 用いた点についても考えてみた。その結果、最高粘度、最低粘度、最終粘度の RVU 値は、粳米における各 RVA 値と同程度の数値であり  $\alpha$ アミラーゼ活性の抑制に問題があったため、こがねもちで熱糊化開始温度が最も高くなかった要因があると思われた。一方、佐藤ら(2005)は、硬化性と糊化開始温度との相関を示した上で、糊化開始温度は出穂後 20 日間の日平均気温と相関が高いことを報告しているが、登熟期間の気温と品種の糊化特性の相互作用によることも考えられた。また、本試験ではこれまでの報告にはない品種が含まれていること、既知の報告と栽培地が異なること、供試品種数が少ないこと等が糊化開始温度に明確な差異があらわれなかった原因と考えられた。ただし本実験における  $\alpha$ アミラーゼ活性の抑制の効果については、判然としなかった。

餅硬化性では、こがねもち他は他の 3 品種より有意に高く、次いでオトメモチ、でわのもち、ヒメノモチの順で、4 品種の硬化性には有意な品種間差が認められた。石崎(1996)は本試験で供試した 4 品種を含む 78 品種について、簡易測定法であるハードネス(石崎 1994)を指標とする硬化性ランクを報告している。本試験で得られた結果は、石崎の硬化性ランクと一致していた。こがねもちの硬化性を品種間で比較した報告例は多く、水稻糯米品種の中でも硬化性が高い(江川ら 1990、Igarashi 2008、Sasaki 2009、杉浦ら 2005)とされている。本結果はこれまでの報告と一致するとともに、石崎ら(1996)の報告における餅硬化性ランクと一致し矛盾しなかった。尿素溶解法における吸光度から澱粉溶出量を算出し、ゼロ次式に従い、溶解速度を求めたところ、品種間の溶解速度には違いがみられ、こがねもちやオトメモチでは溶解速度が小さく、ヒメノモチでは大きい傾向がみられた。これらの溶解速度の差異は、澱粉の結晶構造やアミロペクチン構造などに関与するものと考えられ、尿素溶液で遊離しやすい分子構造のものから溶出してきたことが推測された。

## 2-4. 餅硬化性が異なる品種における結晶構造回折

アミロペクチン分子内におけるクラスターの大きさや数、配置等、構造の詳細は不明の点が多いが、アミロペクチンは隣り合った直鎖同士が二重らせんを形成しており、これが澱粉の結晶性を作り出し不溶性の原因となっている。澱粉の分子構造については、アミロペクチンには結晶性であるクリスタルメラと非結晶性のアモルフォスメラがあり、これらが同心円上に繰り返し構造を有するとされている。澱粉生合成は、同心円の内側の還元末端側から外側の非還元末端側に進むと考えられている。結晶領域では、隣り合った  $\alpha$ -1、4 直鎖が二重らせんを形成しているのに対し、非結晶領域では澱粉生合成関連枝作り酵素 BE によって触媒される  $\alpha$ -1、6 グルコシド結合である分岐点が多い。また、澱粉の糊化は、隣り合った二重らせんが熱エネルギーによりほぐれ水分子が入り込むことで生じると考えられている。これに対し、老化は生澱粉と同じ程度までには完全な二重らせんには戻らないが、部分的に二重らせんに相当する構造を再形成する現象と考えられている。イネの野生型の澱粉の結晶は、通常 A 型結晶パターンを示す(Fujita ら、2003)。一方、イネ澱粉生合成関連酵素 SSIIIa 欠損変異体では、糊化開始温度、糊化ピーク温度が低く野生型と比較し粘性が極めて低く、その結晶性は低下することが報告されている(Fujita ら 2007)。さらに BE II b 欠損変異体では糊化開始温度、糊化ピーク温度が高く、その結晶は野生型とは異なる B 型結晶パターンを示す(Tanaka ら 2004)ことが報告されている等、アミロペクチンの構造や物性の変化は結晶に関与すると考えられる。これらの報告から、餅硬化性の違いや白米を用いた尿素による澱粉溶解速度の違いは、アミロペクチンの構造のみならず結晶性の違いに影響すると推定される。そこで、本節では 2-3. で用いた硬化性が異なる 4 品種を用いて澱粉の相対結晶化度について検討した。

### 1. 供試材料

前節と同じ 4 品種である、こがねもち、オトメモチ、ヒメノモチ、でわのもちを供試した。

### 2. 試験方法

#### 1) X線結晶回折

1.85 mm の篩を通した玄米整粒を 90 % にとり精した後粉砕し、74  $\mu$ m の篩を通した白米粉を材料とした。

濱西ら (2000) の方法に準じ、白米粉に内部標準物質としてフッ化カルシウムを 5 % (w / w) 添加し、その後、相対湿度 95 % 以上の密閉容器中で 24 時間調湿し、X 線結晶回折装置 (理学電気製、ultraX18B2、以下 XRD) の試料とした。測定条件は、X 線源: Cu - K $\alpha$ 、X 発生条件: 50 kv、27 mA、走査角 ( $2\theta / \theta$ ): 10 - 35 $^\circ$ 、発散スリット (DS): 1 $^\circ$ 、散乱スリット (SS): 1 $^\circ$ 、受光スリット (RS): 0、15 mm、ゴニオメーター走査速度: 2 $^\circ$  / min とした (理学電機株式会社分析センター編 1985)。測定した XRD データは、スムージング処理し、解析ソフト Sonneveld - Visser 法 (Sonnevelt E. J 1975) を用いてピーク幅 0.10、強度閾値 0.001 としてバックグラウンドを差し引き、K $\alpha$ 2 / K $\alpha$ 1 = 0.5 として K $\alpha$ 2 を除去した。澱粉の相対結晶化度 (RSC) は、以下の計算式により算出した。

$$\text{相対結晶化度} = (\text{総積分値} - \text{バックグラウンド積分値}) / \text{CaF}_2$$

積分値測定は 3 回行い、平均値とした。

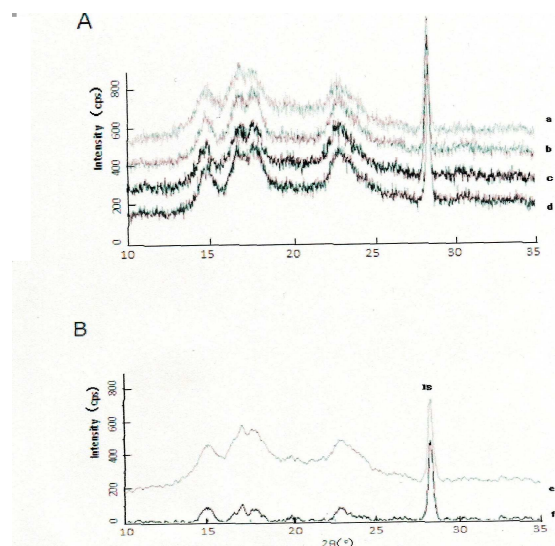
### 3. 結果

第 2-9A 図に、品種における澱粉の X 線結晶回折図を示した。X 線結晶回折図では、28.2 $^\circ$  ( $2\theta$ ) に内部標準物質のピークが表れた。そこで、スムージング処理しバックグラウンドを差し引いた後、全結晶性領域の面積の積分値に対する内部標準物質の面積の積分値の割合を算出し相対結晶化度を算出した (第 2-9 B 図)。第 2-4 表に X 線結晶回折図を解析した結果を示した。X 線結晶回折図から算出した相対結晶化度には品種間に明らかな違いが認められた。相対結晶化度は、こがねもちが最も大きく、次いで、でわのもち、オトメモチの順で大きく、ヒメノモチが最も小さい値を示し、こがねもちに比較して、他の 3 品種は 81 ~ 88 % と少ない割合を示した。

### 4. 考察

水稻糯品種について澱粉の X 線結晶構造回折の報告はないが、全ての品種が粳米と同様に A 型結晶を示した。Igarashi ら (2008) が報告したように、北海道産米は本州産あきたこまちにみられる A 型結晶ではなく Ca 型結晶と極めて異なる結晶構造を有する特殊な例においても、これまで X 線結晶構造回折図のピークの形のみで推論され解釈されてきた。これに対し本試験では定量化を試み、同じ A 型結晶である 4 品種について結晶領域を積分値で算出し相対結晶化度を求める方法を用いた。その結果、硬化性が高いこがねもちの相対結晶化度は大きく、硬化性が低いヒメノモチの相

対結晶化度は小さかった。全ての植物における結晶領域の周期は 9 nm (Jenkins ら 1993) と一定であり、結晶領域はアミロペクチンの直鎖同志が二重らせんを形成し、このクラスターが多く結合するタンデムクラスター構造を形成するとされる (Hizukuri 1986、Nakamura 2002)。餅の硬化は澱粉が糊化し結晶領域を形成する二重らせんがほどけ、再度二重らせんを構成するとされる老化現象と関連があり、硬化性が高いこがねもちは、他の品種に比べて二重らせんを形成する鎖が多いことは既に報告されている。本結果は餅硬化性とアミロペクチンの結晶性領域の関係について示唆した初めての報告であり、これらの報告を支持するものであり、アミロペクチンの分子構造が硬化性に強く関与することが推測された。ただし、今回供試した品種は 4 品種と少ないため、今後さらに硬化性の異なる多くの品種を用いた検証が必要である。



第 2-9 図 XRD 回折図。

A: a, こがねもち b, オトメモチ c, でわのもち d, ヒメノモチ

B: e, 平滑化, f, バックグラウンド処理, IS, 内部標準物質 (CaF<sub>2</sub>), (こがねもちの例)。

第 2-4 表 4 品種の相対結晶化度

品種	相対結晶化度 (-)
こがねもち	745
オトメモチ	658
でわのもち	670
ヒメノモチ	602

3 回測定し平均値を示した。

## 2-5. 餅硬化性と溶解速度、結晶構造における相互関係

尿素溶解法と餅の硬化性におけるこれまでの報告は、澱粉ヨウ素複合体を呈色程度により目視で評価したランクと RVA による糊化ピーク温度との関係にとどまっている (佐藤 2005)。そこで、尿素による溶出澱粉とヨウ素複合体の呈色度を吸光度で定量化する方法を確立するために、2-1. では、白米粉を用いて澱粉の尿素溶液に対する糊化とヨウ素呈色反応について明らかにし、尿素濃度の条件を明らかにした。2-2. では、前節で求めた尿素溶液の濃度を用いて、白米粒を用いて温度と時間に対する吸光度の尿素溶解反応における変化について明らかにした。2-3. では、硬化性が異なる 4 品種を用いて、RVA による糊化特性、餅硬化性、尿素溶解反応における溶解速度の解析を行い、品種間の差異をみいだした。2-4. では、溶解速度の違いが澱粉の結晶に起因すると考え、X 線結晶回折により澱粉の相対結晶化度を定量化し、品種間の差異をみいだした。そこで、本節では前節までにとりあげた、尿素溶解反応における溶解速度、澱粉の相対結晶化度と餅硬化性および餅硬化性ランク (石崎ら 1994) との関係明らかにする。

### 1. 供試材料

2-3. と同様の材料を用いた。

### 2. 試験方法

2-3.、2-4. で導いた結果を用いて、相関関係を明らかにした。パラメーターは、2-3. において精製澱粉量の検量線から算出した尿素溶解反応の溶解速度、餅硬化性と相関が高かった RVA による糊化特性値のブレ

ークダウン、餅硬化性、および 2-4. で X 線結晶構造回折図から算出した澱粉の相対結晶化度を用いた。

## 3. 結果

第 2-5 表に 4 品種を用いた各温度区における溶解速度とブレイクダウン、餅硬化性、および澱粉の相対結晶化度との相互関係を示した。15 °C および 30 °C における溶解速度は、いずれのパラメーターとも関係は認められなかった。一方、20 °C および 25 °C における溶解速度とブレイクダウンの間にはそれぞれ有意な負の相関が認められ、25 °C における溶解速度と餅硬化性との間には、最も高い有意な負の相関が認められた。また、20 °C および 25 °C における溶解速度と相対結晶化度との間には有意ではないものの高い負の相関が認められた。

第 2-10 図に、4 品種の 25 °C における溶解速度と餅硬化性ランク (石崎ら 1996) との関係を示した。溶解速度と餅硬化性ランクの間には、スピアマンの順位相関検定において、相関が認められた (図 A:  $r=0.88$ ,  $P < 0.05$ )。また、相対結晶化度と餅硬化性の間にも強い相関が認められた (図 B:  $r=0.92$ ,  $P < 0.05$ )。

## 4. 考察

これまで餅硬化性は RVA による糊化特性やアミロペクチンの鎖長分布割合で論じられてきた (江川ら 1990、Igarashi ら 2008、石崎ら 1995、岡本ら 1998、松江ら 2002、Okamoto 2002、Sasaki ら 2009 佐藤ら 2005、2007、杉浦ら 2005、Suzuki ら 2006、横尾ら 1993)。しかし、これらは一つのパラメーターを用いた解析がほとんどである。本試験では、餅硬化性を澱粉の尿素溶解による溶解速度、RVA の糊化特性、澱粉の相対結晶化度の数種の間関係すると推測されるパラメーターを用いて、餅硬化性を推定する手法を検討した。その結果、尿素溶解反応の 20 °C、25 °C における溶解速度は餅硬化性との間に特に高い相関がみいだされた。さらに、餅硬化性と澱粉の相対結晶化度の間には高い相関が認められた。澱粉のアミロペクチンは結晶性であるクリスタルラメラと非結晶性のアモルフォスラメラで構成されている。このうち、結晶領域では、隣り合った  $\alpha-1$ 、4 直鎖が強固な二重らせんを形成している。本結果では、餅の硬化性が高いこがねもちでは、相対結晶化度が大きく、餅の硬化性が低いヒメノモチでは相対結晶化度が小さい結果が得られ、餅硬化性と相対結晶化度との間には強い相関がみいだされた。また、一般に澱粉の熱糊化は、隣り合った二重らせんが熱エネルギーによりほぐれ水分子が入り込むこ

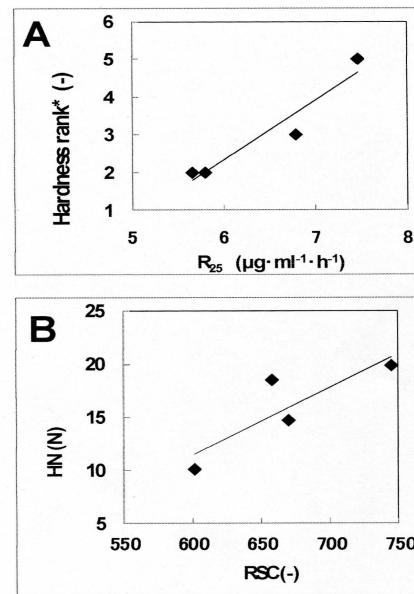
とで生じると考えられている。これに対し尿素による澱粉の糊化の作用は異なるものの、溶解速度の違いは澱粉の構造に関与することが考えられる。本試験では、溶解速度と餅の硬化性ランクとの間に関係が認められたことから、こがねもちにみられるように、結晶領域が大きいアミロペクチン構造を有する糯品種では尿素溶解法による溶解速度が小さく、溶出澱粉量が少ないことが推論され、さらに餅硬化性の違いはアミロペクチンの構造である結晶性領域の大きさの違いに影響すると推定された。以上のことから、澱粉の尿素溶解速度や相対結晶化度は、餅の硬化性を推論するための一つのパラメーターとして有効であると考えられた。また、溶解速度を利用し餅硬化性を推定する場合には、相関が高かった 20 °C と 25 °C の 2 温度のいずれかの条件を採用することが有効と考えられる。このうち、25 °C の条件では、餅硬化性と溶解速度、ブレイクダウン、相対結晶化度と、調査した全てのパラメーターとの相関があったことから、尿素溶解法による澱粉澱粉ヨウ素複合体のヨウ素呈色反応における吸光度から餅硬化性を推定する条件としては、25 °C がより最適な条件であると考えられた。

第 2-5 表 溶解速度, RVA 法によるブレイクダウン, 餅硬化性及び

澱粉の相対結晶化度との相関.			
相関係数			
溶解速度	ブレイクダウン	餅硬化性	相対結晶化度
R <sub>15</sub>	-0.44	-0.50	-0.52
R <sub>20</sub>	-0.93*	-0.92*	-0.70
R <sub>25</sub>	-0.97**	-0.97**	-0.77
R <sub>30</sub>	-0.42	-0.32	-0.06

\*, \*\*はそれぞれ 5 %, 1 % で有意であることを示す.

R は尿素溶液による澱粉の溶解速度. 数字は溶解の温度条件を示す.



第 2-10 図 溶解速度と餅硬化性ランク(A), 相対結晶化度と餅硬化性の関係(B).

R<sub>25</sub> ; 25 °C における反応速度, Hardness rank ; 餅硬化性ランク (石崎 1994). HN ; 餅硬化性, RSC ; 相対結晶化度.

### 3. 尿素澱粉溶解法を用いた餅硬化性の少量評価法における検証

2 章では、餅の硬化性を少量・簡易に評価する方法を検討するために、尿素溶解法を用いて澱粉ヨウ素複合体の吸光度により既知の定性的方法を定量化した。さらに品種の違いにより澱粉溶解の反応性に差異が認められたことから、時間、温度等の多数のパラメーターを用いて、その溶解反応について解析をおこなった。その結果、尿素溶解法の溶解速度と餅硬化性、さらに結晶構造解析を行い、溶解速度は澱粉の結晶構造に関与することを推測した。このように多数のパラメーターを用いて餅硬化性を推論することが可能と考えられ、特に、温度では 25 °C における溶解速度が餅硬化性と最も高い相関があることをみいだした。

育種においては、交配親となる母本の評価や交配後の初期世代では多数の検体を評価する必要がある。特に、餅硬化性は初期世代における選抜が有効とされることから、少量で簡易に評価し育種の効率化を図り、目的形質を確実に選抜する必要がある。そこで、本章では、2 章でみいだした、25 °C の温度条件を用いて、尿素溶解法を用いた澱粉ヨウ素複合体の吸光度測定が餅硬化性の推定法に適用可能であるかどうかを検証を行った。本章では、東北、北陸地方で栽培可能な主要糯品種を供試し、餅硬化性と吸光度との関係を明らかにするとともに、餅硬化性の大きな変動要因とされる登熟温度との関係も併せて検討を行った。さらに、こ



がねもちの交配組合せを用いて、初期世代における尿素溶解法による吸光度の評価を行い、後代系統の世代間相関を明らかにし、育種選抜法への適用性についても検討した。また、餅硬化性の少量評価法について検討を行った。

### 3-1. 餅生地における少量評価法の検討

餅硬化性は、製造工程においてはカッティングされる前の冷蔵時間に影響するため特に重要とされる形質である。硬化性は、通常冷蔵後の餅生地を一定時間つり下げ法によりその曲がり具合で評価されている（有坂 1994、江川ら 1990、山下 1996）。その他の方法では、テンシプレッサーによる貫入抵抗値（江川ら 1990）、テクスチュロメーターや果実硬度計による硬化度（江川ら 1990、岡本ら 1998）等による物理的な評価法等がある。しかし、これらの方法では 1 kg 以上の白米が必要とされ、測定前の冷蔵時間には 20 時間程度の長い時間を要する。水稻の育種においては、初期世代で簡便に多数の選抜個体を評価する必要がある。一方、硬化性のより簡便な方法としては、米粉を材料とするビスコグラフによる方法があり、糊化上昇温度は餅の硬化性と高い相関があるため硬化性の評価に有効であることが報告されている（柳瀬ら 1982）。この方法では、白米粉 50 g の量を用い 100 分間で測定が可能である。さらに近年ではビスコグラフより少ない 3.5 g 程度の材料で測定時間が 20 分間と短い RVA の糊化特性による評価法が用いられ、詳細な解析と育種利用がされている（岡本ら 1998、佐藤ら 2005、佐藤 2007）。またその他の方法では、米粉を水で練り茹でてもち生地を調整しテンシプレッサーで測定したハードネス値が糊化上昇温度と相関があることを利用した評価法も用いられている。この方法は、20 g と材料は少量でモチ生地に類似した形態となるものの、特別な道具を用いかつ工程が多い（石崎 1994）。しかし、これらは材料が十分に養成できる後期世代で系統を評価するため、目的形質を逃がしてしまう可能性がある。初期世代で簡易な少量選抜法で 1 次スクリーニングし、少ない材料で餅硬化性を評価しその適合性を検証することが可能であれば、従来より早期に餅の硬化性が高い系統を確実に選抜ができる。そこで、本節では、尿素溶解法を検証するための初期の個体選抜でも利用可能な 10 g 程度の白米を用いた餅生地の少量評価法を検討した。

#### 1. 供試材料

2009 年に秋田県農林水産技術センター農業試験場圃場（秋田市雄和源八沢）で同一条件下で栽培した、

こがねもち、ヒメノモチ、たつこもちの 3 品種を供試した。1 区 4 m<sup>2</sup>で行い、播種は移植は 5 月 17 日に行った。刈り取り時期は、籾の黄化程度が 90 % に達した成熟期に品種毎に行った。粗玄米を 1.85 mm の篩に通し精玄米にし、とう精歩留り 90 ± 1 % にした白米を材料とした。

#### 2. 試験方法

##### 少量白米における餅生地の冷蔵時間の検討

白米 10 g を直径 5 cm、高さ 10 cm のステンレス製の網容器に入れ、20 °C の水で浸し、20 °C 24 時間インキュベーター内で吸水させた。30 分間水切りした後、蒸し器で 20 分間煮沸した。その後 10 °C の水を 10 ml 入れ差し水をし、さらに 10 分間煮沸し蒸し米とした。餅生地は、蒸し米を直径 10 cm、深さ 4 cm の乳鉢に入れ、乳棒を用いて、3 分間押しつぶし、その後 2 分間練り作業を行い均一な餅生地を作成した。得られた餅生地を直径 3 cm、深さ 10 mm のプラスチックセルに入れ充填し、表面をラップフィルムで覆い 4 °C で冷蔵した。餅硬化性は果実硬度計（藤原製作所社製 KM-5 型）により餅生地上の任意の 5 カ所に 10 mm 径のプランジャーを挿入し、餅の硬化度を測定した。試験は 5 回反復で、冷蔵時間を 18、20、24、48 時間の 4 条件とし、測定値の平均値、偏差、分散で餅生地の冷蔵時間の最適条件を検討した。

#### 3. 結果

こがねもち、ヒメノモチ、たつこもちについて、冷蔵時間を 18、20、24、48 時間として温度 4 °C で餅生地の硬化性を測定した。餅生地の硬化度は、24 時間まではこがねもちが高く、ヒメノモチが低い傾向があった。冷蔵時間が長くなるにつれ硬化度は大きくなり、品種の差は 24 時間で最も大きく、48 時間では品種間差は認められなかった。品種につき 5 回反復し、平均値、標準偏差、変動係数を算出して測定値のばらつきを検討した（第 3-1 表）。品種の差が最も大きい 24 時間の硬化度の平均値はこがねもち、ヒメノモチ、たつこもちがそれぞれ 1.60、1.04、1.20 kg / cm<sup>2</sup> で、標準偏差は 0.05 ~ 0.07、変動係数は 3.5 ~ 6.8 と小さかった。平均値を 90 % の確率で推定する時に必要なサンプル数は、少量評価法においては 1 品種あたり標本数は計算上、5 回とするのが適当だった。しかし実際の測定において、偏差が少ない場合には試験の必要性に応じて 3 回で可能と考えられた。

第3-1表 白米10gを用いた少量餅硬化性評価の冷蔵時間

冷蔵時間	18時間			20時間			24時間			48時間		
	平均値	偏差	分散	平均値	偏差	分散	平均値	偏差	分散	平均値	偏差	分散
品種	kg・cm <sup>-3</sup>			%			kg・cm <sup>-3</sup>			%		
こがねもち	0.40	0.04	8.7	0.80	0.06	8.5	1.60	0.06	3.5	2.30	0.06	2.6
ヒメノモチ	0.30	0.05	16.67	0.73	1.04	4.9	1.04	0.05	4.9	2.26	0.05	2.2
たつこもち	0.30	0.05	16.67	0.75	0.09	12.2	1.20	0.08	6.8	3.20	0.05	2.8

平均値は餅の硬化度を示す。

#### 4. 考察

白米10gを用いた餅の少量硬化性評価法の冷蔵時間を検討した。冷蔵に要する時間は24時間であった。吸水24時間、水切り時間30分間、蒸し時間30分間、餅つき時間5分間、冷蔵時間24時間により硬化性の評価が可能となった。本試験に用いた白米量を従来法の餅の硬化性評価法に要する白米量と比較すると、餅つき法より1/100、ビスコグラフを用いた方法より1/5、ハードネスによる方法より1/2と材料は大幅に少ない量である。また、1回に処理可能なサンプル数は蒸米では蒸し器の大きさで異なるが、本試験では1回に8検体の蒸米ができた。しかし餅つき工程が手作業であり蒸米の老化が進む前に餅つき工程を行う必要があるため、1人で全工程を行う場合は最大で4検体が適当であり、餅つき工程を2人で行う場合には1回に8検体の餅つきが可能であると考えられる。この方法では1日に3サイクルができ、2人で行う場合には24サンプルの処理が可能である。育種の初期世代や母本養成では株数が少なく得られる材料の量が少なく、餅を作り硬化性を評価することが困難であったが、本法を用いることにより材料が少ない場合でも直接餅をつくり硬化性を評価することが可能になると考えられた。

#### 3-2. 異なる品種、年次における尿素澱粉溶解法の適用と餅硬化性との関係

2章で、硬化性が異なる糯品種間では尿素溶解法による澱粉の溶解は温度依存性に差異があり、温度25℃における溶解速度が餅硬化性と高い相関があることをみいだした。溶解速度を求めて餅硬化性を推定する方法としては極めて精度が高いが、その一方で時間を変えて調べることは餅硬化性を調べる以上に時間がかかり、多数の検体を扱うことは困難である。そこでこれまでの結果を基に、澱粉ヨウ素複合体の吸光度を用いて、一定の温度、時間の条件を用いて餅硬化性を推定する評価法を確立するために、育種素材を用いて

検証することとした。温度は、2-5。(第2-5表)で検討したように餅硬化性と最も相関が高い溶解速度の条件である25℃を用いた。また、時間は、2-2。(第2-5図)で検証した、25℃の温度条件下で、こがねもちとヒメノモチ間で最も差異が認められた24時間とした。この条件を用いて東北、北陸地方の主要な栽培品種を用いて、尿素溶解法による吸光度と餅硬化性との関係を検証した。また、佐藤ら(2005)の尿素崩壊法による呈色程度による方法、および育種現場で用いられているRVAによる糊化特性との精度の比較を行った。

#### 1. 供試材料

試験は、2008年、2009年、2010年に秋田県農林水産技術センター農業試験場圃場(秋田市雄和)において、同一条件下で栽培した品種を用いた。たつこもち、ヒメノモチ、きぬのはだ、こがねもちは3年間供試した。でわのもち、オトメモチは2009年、2010年の2年間供試した。サカキモチ、わたぼうしは2010年のみ供試し、3年間で8品種供試した。1区4m<sup>2</sup>で行い、移植は3年間ともに5月17日に行った。刈り取り時期は、初めの黄化程度が90%に達した成熟期に品種毎に行った。粗玄米を1.85mmの篩に通し精玄米にし、とう精歩留り90±1%にした白米を材料とした。

#### 2. 試験方法

##### 1) 餅硬化性

2-1. 2. 1) の方法および3の結果に基づき、白米10gを用い、餅つき後24時間冷蔵後に硬化度を測定した。試験は1品種につき3反復で行い、平均値で示した。

##### 2) 白米粒を用いた尿素溶解法による澱粉ヨウ素複合体の吸光度

白米粒20粒を9cmプラスチックシャーレに置床し、4.5M尿素溶液(pH6.0)を20ml加え、25℃、24時間、インキュベーター(アイラ社製、FLI-301NH)で静置した。その後、2%KI/0.2%I<sub>2</sub>を500μl入れ2~3回静かに卓上でシャーレを回し溶出液をヨウ素と混和し呈色させた。呈色液を蒸留水で10倍に希釈し、10,000rpmで5分間、遠心分離した。上澄を一部とり、530nmにおける吸光度(BECKMAN社製、DU7500)を測定した。試験は3反復で行い、平均値を算出した。

### 3) 目視による白米の尿素崩壊性

2) と同様の実験シャーレ内の検体を用いた。佐藤ら (2005) の方法を参考に、客観的に崩壊性を数値化するために、インキュベーション後、ヨウ素呈色前の白米の崩壊性を調査した。ただし、崩壊性は佐藤らの崩壊性の目安とは異なり、白米の崩壊の程度に関わらず崩壊した粒を数えた。崩壊性は、全粒数に対する崩壊した粒の割合とした。

### 4) RVA による糊化特性の測定

1-3. 2、2) と同様に行った。測定項目は、糊化開始温度、糊化ピーク温度とした。測定は 5 反復行い、平均値を算出した。

### 5) 登熟気温の算定

胚乳澱粉のアミロペクチンは開花後 5 日目以降から直線的に増加し、開花後 20 日目頃に最大量に達する (Asaoka ら 1985) ことから、登熟気温は出穂後 20 日間の日平均気温とした。平均気温は、秋田管区気象台のアメダス観測地大正寺 (秋田市雄和) のデータを利用した。

## 3. 結果

第 3-2 表に、品種の出穂期、登熟気温、餅硬化性を示した。秋田県における品種の早晚性は、たつこもち、オトメモチ、サカキモチは早生に、わたぼうし、ヒメノモチ、きぬのはだは中生に、こがねもち、でわのモチは極晩生に属した。試験を行った 3 年間の気温の傾向は、2008 年はやや低温年、2009 年は平温年、2010 年は高温年であった。各年次における登熟気温の差は 2008 年では、2.4 °C、2009 年では 1.9 °C だった。2008 年、2009 年の 2 年間は晩生品種ほど登熟気温が低くなる通常年の一般的な傾向を示した。これに対し 2010 年では、早生品種から晩生品種までの登熟気温の差は最大で 0.4 °C と差異はほとんどなかった。各年次の餅硬化性は、2008 年は 1.05~1.68 kg・cm<sup>-2</sup>、2009 年は 0.99~1.59 kg・cm<sup>-2</sup>、2010 年は 1.47~2.40 kg・cm<sup>-2</sup> であった。また硬化性の差は、2008 年では、0.63 kg・cm<sup>-2</sup>、2009 年では 0.60 kg・cm<sup>-2</sup>、2010 年では 0.93 kg・cm<sup>-2</sup> であった。年次において供試品種が異なるが、複数年の結果では、餅硬化性はこがねもちが高く、ヒメノモチが低く、たつこもちはその中間を示し、きぬのはだは高温年ではこがねもちより硬化性が高かった。また、同一品種内の餅硬化性は高温年であった 2010 年では 2008 年、2009 年より高くなる傾

向が認められた。

第 3-2 表 2008, 2009, 2010 年における各品種の出穂期, 登熟気温, 餅硬化性.

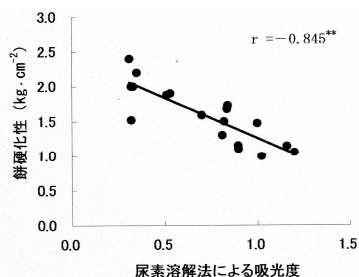
品種	出穂期 (月・日)			登熟気温 (°C)			餅硬化性 (kg・cm <sup>-2</sup> )		
	2008 年	2009 年	2010 年	2008 年	2009 年	2010 年	2008 年	2009 年	2010 年
たつこもち	8.01	8.01	7.25	23.3 <sup>b</sup>	23.5 <sup>b</sup>	25.7 <sup>a</sup>	1.14 <sup>b</sup>	1.15 <sup>b</sup>	1.90 <sup>c</sup>
ヒメノモチ	8.08	8.04	7.29	22.3 <sup>b</sup>	23.3 <sup>ab</sup>	25.9 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	0.99 <sup>a</sup>	1.73 <sup>b</sup>
きぬのはだ	8.13	8.10	8.02	21.1 <sup>ab</sup>	22.3 <sup>a</sup>	26.0 <sup>a</sup>	1.52 <sup>c</sup>	1.30 <sup>c</sup>	2.40 <sup>c</sup>
こがねもち	8.15	8.13	8.06	20.9 <sup>a</sup>	21.6 <sup>a</sup>	25.7 <sup>a</sup>	1.68 <sup>c</sup>	1.59 <sup>d</sup>	2.21 <sup>d</sup>
でわのモチ	8.12	8.08		21.6 <sup>a</sup>	25.6 <sup>a</sup>		1.40 <sup>c</sup>	2.00 <sup>c</sup>	
オトメモチ	8.03	7.28		23.5 <sup>b</sup>	25.9 <sup>a</sup>		1.50 <sup>d</sup>	2.00 <sup>d</sup>	
サカキモチ		7.25			26.0 <sup>a</sup>			1.90 <sup>c</sup>	
わたぼうし		7.30			25.8 <sup>a</sup>			1.47 <sup>a</sup>	

登熟温度は出穂後 20 日間の日平均気温。餅硬化性は、果実硬度計により測定した餅生地上の任意の平均硬度で示した。同一カラムの同一英文字間には有意差がないことを示す。

3 年間における尿素溶解法による吸光度と餅硬化性との関係を第 3-1 図に示した。澱粉ヨウ素複合体の吸光度は、2008 年は 0.70~1.20、2009 年は 0.70~1.02、2010 年は 0.31~1.00 の範囲にあり、2010 年の吸光度は 2008 年、2009 年に比べて低い傾向があった。吸光度と餅硬化性の間には、高い有意な負の相関がみいだされた ( $r = -0.845$ ,  $P < 0.01$ )。第 3-3 表に、餅硬化性と澱粉ヨウ素複合体の吸光度、米粒の崩壊性、RVA による糊化開始温度、糊化ピーク温度とのそれぞれの関係を示した。餅硬化性と糊化開始温度、糊化ピーク温度との間にはそれぞれ正の相関が認められた ( $r = 0.851$ ,  $P < 0.01$ ,  $r = 0.853$ ,  $P < 0.01$ )。さらに、吸光度と糊化開始温度、糊化ピーク温度の間にはそれぞれ有意な負の相関がみいだされた。一方、目視による白米の崩壊性は、2008 年、2009 年では品種の違いがみられたが、高温年の 2010 年ではほとんどの品種が崩壊しなかった。崩壊性と吸光度との間には弱い正の相関がみられたが ( $r = 0.491$ ,  $P < 0.05$ )、崩壊性と餅硬化性、糊化開始温度、糊化ピーク温度の間には関係は認められなかった。

第 3-4 表に登熟温度と澱粉ヨウ素複合体の吸光度、RVA による糊化開始温度、糊化ピーク温度との関係を示した。登熟温度と吸光度の間には関係は認められ

なかった（第3-2図）。一方、登熟温度と糊化開始温度、糊化ピーク温度との間にはそれぞれ正の有意な相関が認められ、松江ら（2002）、佐藤ら（2005、2007）の報告と一致した。



第3-1図 澱粉ヨウ素複合体の吸光度と餅硬化性。  
3年間 8品種供試. n=18.

第3-3表 餅硬化性と澱粉ヨウ素複合体の吸光度、崩壊性、糊化特性との関係

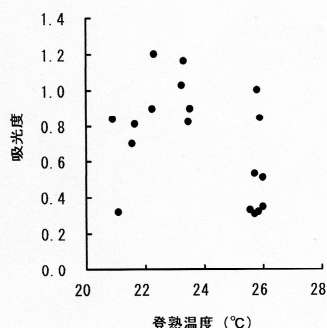
	餅硬化性	吸光度	崩壊性	糊化開始温度
吸光度	-0.845**			
崩壊性	-0.378	0.491*		
糊化開始温度	0.851**	-0.645**	-0.220	
糊化ピーク温度	0.853**	-0.709**	0.044	0.975**

3年間, 8品種供試. n=18.  
\*, \*\* はそれぞれ5%水準, 1%水準で有意であることを示す。

第3-4表 登熟温度と澱粉ヨウ素複合体の吸光度、糊化開始温度、糊化ピーク温度。

	吸光度	糊化開始温度	糊化ピーク温度
登熟温度	-0.40	0.72**	0.78**

3年間, 8品種供試. n=18.  
\*, \*\* はそれぞれ5%水準, 1%水準で有意であることを示す。



第3-2図 登熟温度と澱粉ヨウ素複合体の吸光度との関係。  
3年間 8品種供試. n=18.

#### 4. 考察

同一条件下で栽培した東北、北陸地方の主要8品種を供試し、白米の尿素溶解法を用いた吸光度と餅硬化性との関係を3年間検証した。尿素溶解法の温度条件は、2章において餅硬化性と相関が最も高かった溶解速度から求めた25℃、24時間を用いた。栽培を行った3年間の気温のうち、2010年は本県における高温年であった。餅硬化性は登熟気温と正の相関があり、品種間差よりも登熟温度の影響を大きく受けることが示唆されている（石崎ら1995、斉藤1987、松江ら2002）。本試験においても、餅硬化性は高温年である2010年ではほとんどの品種で他の試験年より餅の硬化性が高くなる傾向がみられた。また、尿素溶液に浸した白米の崩壊程度は、2008年、2009年は品種による違いがあったが、高温年の2010年はほとんどが崩壊せず、目視によるヨウ素呈色程度はこがねもちと同程度に薄い品種が多く目視による品種の判別は困難だった。反対に登熟気温が著しく低い低温年の場合には、米粒が崩壊しやすくヨウ素呈色は全ての品種が同じように濃くなることが推測され、この場合も品種間差の評価が困難になり、育種の選抜効果は低くなると考えられる。一方、尿素溶解法を用いた吸光度による評価は餅硬化性と相関が認められ、高温年である2010年においても数値化が可能であり、定量化による有効性が検証できた。また、現在、餅硬化性の評価の定法であるRVAと餅硬化性との相関係数を比較した結果、尿素溶解法による吸光度は、RVAの糊化開始温度、糊化ピーク温度と同等の高い精度を示すことがみいだされた。また、白米を用いた尿素溶解法は、試験に関わる時間が少なくRVAに比較し材料の前調製が不要であることや、試験をセットした後はインキュベーションし、その後吸光度を測定するだけでよいから、RVAのように20分毎に検体をセットする等の拘束される時間が少ない利点がある。また、登熟気温との関係では、RVAによる糊化開始温度、糊化ピーク温度は登熟気温と相関があることが報告されている（佐藤ら2005、松井ら2002）。一方、本試験で検証した吸光度と登熟気温との間には関係はみいだせなかった。この要因として、RVAの熱糊化と尿素の澱粉溶解との作用の違いが考えられる。RVAの熱糊化は、白米粉の吸水性や膨潤性が関与し、品種の澱粉構造とはほとんど関係がないと考えられる。一方、尿素溶解法の作用機作はあまり明らかではないが、アミロペクチンの二重らせんを形成する水素結合を主に阻害するとされ遊離しやすい分子から不規則に解離し始めると推測され、測定された吸光度は遊離しやすい一部の溶出澱粉のみを検出していると考えられ、RVAのように白米粉全体の糊化特性を反映していないためと推論される。糯米品種の硬化性が高い品種においては、澱粉のアミロペクチンの短

鎖が少ないことが既に報告されている。このことから尿素溶解法はより澱粉の構造を簡易に推定する方法とも推測される。この解明のためには、尿素溶解による溶出液の解析やその反応性を調べる必要があると思われる。一方、育種の見地から選抜を考慮すると、RVAでは糊化温度、ピーク温度が登熟気温と相関があるため、高温年および登熟期間の気温が高い時期に出穂する早生種を選抜する場合には、餅硬化性を過大に評価する可能性がある。それに対して、吸光度による評価は登熟気温と関係がみられなかったことから、登熟気温に左右されずに選抜目標とする熟期の品種や系統の硬化性を評価できる可能性があると考えられた。登熟期における温度と澱粉構造、糊化特性については、4章で議論する。

### 3-3. 育成試験における初期世代選抜法に関する 尿素澱粉溶解法の適用

前節の結果から、尿素溶解法による澱粉ヨウ素複合体の吸光度（以下、吸光度法）を用いて餅硬化性を評価できることを検証した。そこで、本節では育種素材を用いて、初期世代の個体を評価し、次世代の系統の世代間相関を明らかにし、育種の選抜法の利用可能性について検証した。

#### 1. 供試材料

2007年に、硬化性が高くかつ玄米白度も高い系統の育成を育種目標として、硬化性が高いこがねもちを母に、玄米白度が高い秋系糯604を父として、交配した。交配後、温室において雑種集団で採種した。2008年にF3世代において、圃場で800個体の中から出穂期で選抜した29個体を材料とした。このうち、玄米白度が高い20個体について吸光度を測定した。吸光度の比較品種には同一条件下で栽培したこがねもち、秋系糯604、ヒメノモチを用いた。2010年にこれらを系統とし、F4世代の20系統について、吸光度および餅硬化性を測定した。

#### 2. 試験方法

##### 1) 白米を用いた吸光度法

F3世代20個体を舂すり後、玄米を1.85 mmの篩を通し、小型精米器（ケット社製、パーレスト）で90 ± 0.1%にとう精し白米にし材料とした。F4世代とした20系統は、2-1.と同様に白米にした。吸光度法は、3-2.、2 2)と同様の方法で行った。測定は3反復行

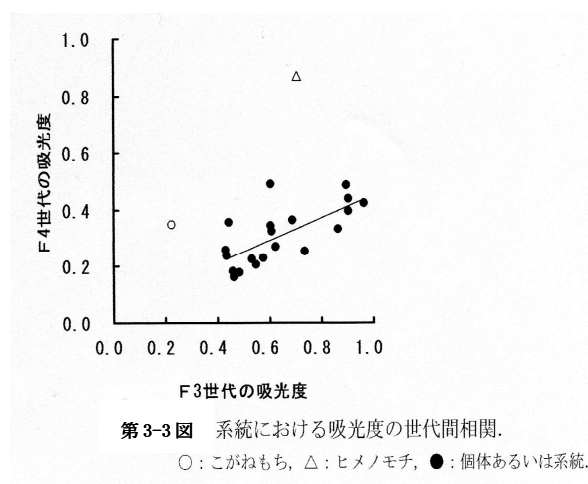
い、平均値で示した。

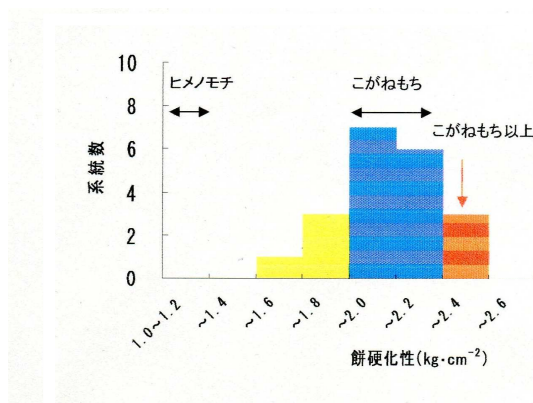
##### 2) 餅硬化性の測定

3-1. 2、1)の方法に準じて行い、白米10gを用い、餅つきした後、24時間冷蔵後に硬化度を測定した。試験は1品種につき3反復で行い、平均値で示した。

### 3. 結果

こがねもちを交配親とする育成材料を用いて、出穂期で選抜したF3世代29個体のうち、玄米白度が高い20個体および比較品種の吸光度を測定した。比較品種の吸光度は、こがねもちが0.22、秋系糯604が0.91、ヒメノモチが0.70であった。F3世代20個体の吸光度は0.36~1.30の範囲にあり、F3世代の吸光度は広く分布した。F3世代20個体を全て選抜し、F4世代で20系統とした。F4世代20系統の吸光度は0.35~0.49の範囲にあり、こがねもち、ヒメノモチの吸光度はそれぞれ0.35、0.87であった。第3-3図に、F3世代における吸光度とF4世代における吸光度との関係を示した。両者には正の相関が認められ、世代間相関があることがみいだされた( $r = 0.696$   $p < 0.01$ )。また、F4世代において餅の硬化性を評価した結果、こがねもちと同等である系統が13系統得られ、こがねもちより高い系統が3系統得られた。これらの系統はF4世代で評価した系統のうち80%の割合であった(第3-4図)。また、得られた系統の出穂期は早生から晩生までであった。





第3-4図 F4世代における餅硬化性の分布。  
 ←→ は比較品種の餅硬化性の範囲を示す。

#### 4. 考察

こがねもちを親とする育種材料である F3 世代および F4 世代について吸光度法を用いて評価した結果、両者の間には世代間相関が認められた。また F4 系統では餅硬化性がこがねもちと同等かそれ以上の系統が得られた。育種では目的形質の遺伝がどの程度の世代で有効であるか、形質の広義の遺伝率を算出する(新版植物育種学 1992)。初期世代において高い遺伝率を示す栽培形質としては、F4 系統では出穂率が 100%、稈長が 89%、籾数が 68% と報告されている(新版植物育種学 1992)。餅硬化性の広義の遺伝率についてはこれまで報告はない。本試験における吸光度法による広義の遺伝率は、F3 個体で 57%、F4 系統では 66% であった。小林ら(2000)は、餅硬化性の選抜は雑種集団の最初の個体選抜が有効であることを考察している。また、石崎ら(1995、1996)は、こがねもち、あるいはこがねもちを血縁とする品種を母本に用いることにより、硬化性が高い系統が育成可能であることを推測している。本結果は、F3 世代である個体選抜時における吸光度法による評価が有効であり、こがねもちを交配親とする交配組み合わせにより餅硬化性が高い系統が得られたことから、小林ら(2000)や石崎ら(1995、1996)を支持する結果であった。吸光度法は、初期世代における広義の遺伝率が比較的高いことから固定度が高まる後期世代においては、栽培特性とともに餅硬化性を確実に選抜していくことができる選抜法である可能性が示された。今後、得られた F4 系統について、後代の吸光度と餅硬化性を調べ、選抜効果と遺伝性を確認する必要がある。さらに、異なる交配組み合わせによる検証が必要と考えられた。

#### 4. 登熟期における温度条件と澱粉構造との関係

餅硬化性や餅質は、品種や産地により大きく相違する。これらの相違は、精米粉のアミログラム特性値の糊化温度に関係づけられることが、柳瀬ら(1984)により明らかにされている。佐藤ら(2005)は精米粉を材料にし、RVA による糊化温度などのパラメーターと硬化性、登熟温度、農業形質の関係を報告している。これらの糊化温度の相違は、澱粉すなわちアミロペクチンの分子構造に起因すると推測している。澱粉の特性は、遺伝的要因と温度に代表される環境要因の二つがあげられる。遺伝的要因には、アミロペクチン生合成系で作用する主に澱粉生合成関連酵素に関する遺伝子(中村 2006)の欠損や発現量の差異にある(Fujita 2003、Kubo 2005、Nakamura 2002、Nishi 2001、Satoh 2003)温度要因には、出穂後の登熟気温が澱粉構造に大きく影響することが報告されており、これによりアミロペクチン合成に関わる遺伝子の発現や澱粉生合成関連酵素の活性バランスが変化し、鎖長分布が影響を受けることが示唆されている(Jiang 2003、Umemoto 1999)。品種や産地、登熟気温により餅の硬化性に違いが表れることは、すなわち餅質が不安定になることを意味する。安定的な品質を有する糯米を生産し実需者に供給することは、生産現場においては重要である(柳瀬ら 1981、1982a、1982b)。これまで、本県主力品種における登熟期の温度による糯品種の澱粉構造、餅硬化性、糊化特性の変動に関する詳細な報告はない。そこで本章では、東北・北陸地方の主要栽培品種を用いて、人工気象器を用いた同一環境下、すなわち餅硬化性に対する環境要因を排除した条件で栽培した際の澱粉の性質を明確にすると同時に、高温区、常温区との2種類の登熟温度条件における澱粉構造と糊化特性の違いを明らかにした。

##### 4-1. 植物体および胚乳種子の形質

###### 1. 供試材料

試験は 2009 年に行った。供試品種は、陸稲糯品種である関東糯 172 号(岡本 2007)、水稻糯品種は、餅の硬化性および早晩性が異なるこがねもち、オトメモチ、わたぼうし、でわのもち、たつこもち、ヒメノモチ、きぬのはだ、風の子もちの 9 品種を用いた(第 4-1 表)。なお、関東糯 172 号は超硬化性に関する澱粉生合成酵素 SS II a が活性型(Nakamura 2002)であり餅硬化性が水稻糯品種より極めて高く、硬化性に関する遺伝解析が既になされている(平塚 2008)。一方、水稻糯品種は澱粉生合成酵素 SS II a が不活性型である。ま

た、登熟期の異なる温度条件下における胚乳種子の形質を比較するため、高温耐性の基準品種を同時に供試した。糯品種では、高温耐性に関する報告がないため基準品種には、九州・北陸地方において高温耐性の評価が定まっている粳品種の基準品種 3 品種、すなわち高温耐性が高いコシヒカリ、高温耐性が中のみちこまち、高温耐性が弱のトドロキワセの 3 品種を用いた。

第 4-1 表 供試品種の餅硬化性ランク

餅硬化性 <sup>a</sup> ランク	品種	澱粉合成酵素
(超硬)	関東糯172号	SS II <sup>a</sup> 活性型
極硬	こがねもち・オトメモチ	SS II <sup>a</sup> 不活性型
硬	でわのもち・わたぼうし	〃
やや硬	たつこもち	〃
中	ヒメノモチ	〃
やや軟	きぬのはだ	〃
軟	風の子もち	〃

<sup>a</sup>石崎ら(1996) , ただし( )はその他の文献による。

## 2. 試験方法

### 1) 植物体の養成

種子の消毒は 4 月 25 日に行った。種子 100 粒をヘルシード水和剤（ホクコー）で希釈倍率 20 倍で 10 分間処理した。30℃ のインキュベーターで 24 時間風乾後、10℃ で 6 日間浸種した後、30℃ で 1 日間で催芽した。催芽した種子を 5 月 3 日、育苗箱に播種しハウス内で育苗した。育苗土は黒ボク土と水田土を 2 : 1 に混和した土を用いた。移植は 5 月 24 日に行い、3.2 ~ 3.5 葉期の中苗を 1 株 1 本植えとし 1 / 5000 a ポットあたり 3 本移植し網室で養成した。ポット用土は黒ボク土と水田土を 4 : 1 に混和した土を 3.8 kg 用い、肥料は化成肥料でポットあたり硫安を N : 0.5 g、過リン酸石灰を P : 0.5 g、塩化カリを K : 0.5 g とした。高次の過剰分けつを抑制するため、7 葉期に水面から 60 cm の長さの畦畔シートをポットに入れ展開葉の葉鞘が完全に水につかるように 10 葉期まで深水処理を行い、10 葉期以降は通常の水管理を行った。また主稈、分けつを区別するため葉鞘に色つきリングを入れた。

### 2) 人工気象器内における出穂期の主稈穎花のマーキング

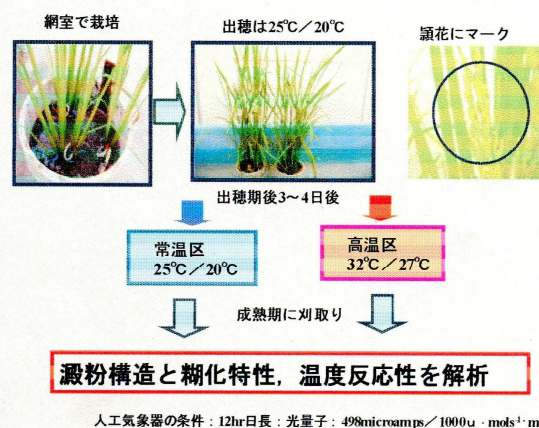
第 4-1 図に材料の養成および温度処理方法を示した。出穂直前の植物体のポットを品種毎に人工気象器に移動し、出穂は不稔の影響を防ぐため 25℃ / 20℃（昼温 / 夜温）、日長 12 時間、照度は穂の高さの位置で光量子 498 microamps per 1000 maicromols<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> の条件下で出穂させた。また出穂期とした同一日に開花した主稈の穎花全てにマジックでマーキングをした。出穂後 2~3 日の穂揃期に、品種毎に温度処理を行った。

### 3) 登熟期の温度処理

穂揃い期に品種毎に、常温区 25℃ / 20℃（昼温 / 夜温）および高温区 32℃ / 27℃（昼温 / 夜温）の条件下で成熟期まで処理した。日長、照度は 2) と同一条件で行った。サンプリングは、穂の黄化程度が 90 % 程度に達した成熟期に行った。

### 4) 形質調査

主稈の穂、分けつから発生した穂、地上部の 3 部位に分け調査した。個体毎に、稔実、1 粒重、穂重、茎葉乾物重を調査した。稔実および 1 粒重は各品種の平均的な 1 個体の主稈の穂を代表として用い調査した。稔実率は主稈の全粒数に対する稔実粒の割合で算出した。玄米形質は、成熟期に刈り取り籾水分 20 % 前後のりよく化が始まる前に籾殻をむき、乳白、腹白、背白、基白等の被害粒を目視で数えた。



第 4-1 図 材料養成と温度処理方法。

## 3. 結果

第 4-2 表に、常温区、高温区における個体の茎葉重と穂重を示した。高温区の茎葉重では常温区に対して 73 % から 95 % と減少した。品種別では、でわのもち

が最も減少の割合が大きく、次いでオトメモチ、関東糯 172 号、きぬのはだ、わたぼうし、たつこもち、こがねもちで、風の子もちの順で、最も影響が小さい品種はヒメノモチであった。高温区の穂重では常温区に対して 70 % から 90 % と減少した。品種別では、きぬのはだが最も減少の割合が大きく、次いで関東糯 172 号、たつこもち、風の子もち、オトメモチ、でわのもち、こがねもち、わたぼうしであり、最も温度による穂重の影響が小さい品種は、茎葉重でも影響が小さいヒメノモチであった。

第 4-2 表 常温区、高温区における茎葉重と穂重。

品種名	1 個体あたりの茎葉重 (g/個体)			1 茎あたりの穂重 (g/茎)		
	常温区		%	高温区		%
	平均	標準偏差		平均	標準偏差	
関東糯 172 号	14.3 ± 3.3	12.3 ± 0.8	n.s. (86)	2.81 ± 0.27	1.97 ± 0.10 *	(70)
こがねもち	14.7 ± 1.3	13.6 ± 2.4	n.s. (92)	0.28 ± 0.02	0.24 ± 0.02 n.s.	(85)
でわのもち	16.5 ± 4.9	12.2 ± 1.9	n.s. (73)	0.40 ± 0.10	0.32 ± 0.07 n.s.	(80)
きぬのはだ	11.4 ± 0.6	10.1 ± 3.6	n.s. (88)	0.30 ± 0.03	0.19 ± 0.04 *	(63)
ヒメノモチ	13.1 ± 2.2	12.5 ± 0.2	n.s. (95)	0.32 ± 0.05	0.29 ± 0.04 n.s.	(90)
たつこもち	10.7 ± 0.7	9.6 ± 0.8	n.s. (89)	0.30 ± 0.02	0.21 ± 0.02 **	(70)
風の子もち	13.3 ± 2.9	12.6 ± 3.4	n.s. (94)	0.20 ± 0.03	0.15 ± 0.01 *	(75)
わたぼうし	15.6 ± 2.7	13.8 ± 1.3	n.s. (88)	0.34 ± 0.04	0.29 ± 0.03 n.s.	(85)
オトメモチ	12.9 ± 0.6	11.0 ± 3.8	n.s. (85)	0.30 ± 0.03	0.23 ± 0.05 n.s.	(77)
コシヒカリ	17.2 ± 4.0	13.5 ± 3.9	n.s. (78)	1.84 ± 0.05	1.27 ± 0.05 *	(69)
あきたこまち	15.3 ± 0.8	12.6 ± 1.7	n.s. (82)	1.44 ± 0.10	1.40 ± 0.10 n.s.	(97)
トドロキワセ	18.8 ± 1.4	17.8 ± 0.3	n.s. (94)	1.55 ± 0.10	1.50 ± 0.11 *	(97)

\*\*、\*は常温区と高温区において1%および5%で有意差があることを示す。

(%) は常温区を100とした時の高温区の割合を示す。

第 4-3 表に、各区における稈実率と胚乳の被害粒率およびその代表的な被害粒の形質を示した。常温区、高温区ともに稈実粒数はほとんど変わらなかった。稈実粒数に対する被害粒の割合は、常温区では最も高い関東糯 172 号で 13 % で、それ以外の品種は 8 % 以下と低かった。これに対し高温区では大きく品種間差が認められた。被害粒率が最も大きい品種は、関東糯 172 号で調査した粒の 100 % が被害粒であった。次いで、わたぼうし、きぬのはだが同じ割合であり、ヒメノモチ、こがねもち、オトメモチ、風の子もちの順であり、最も被害粒の割合が低い品種はでわのもちで 13 % でほとんど影響がなかった。また、被害粒の形質は品種による違いが認められた。発生した被害粒の形質を大別すると、乳白、背白、基白、腹白であった。このうち、乳白が多く発生した品種は関東糯 172 号のみで、背白が多く発生した品種はこがねもち、でわのもち、たつこもちであり、腹白が多く発生した品種はわたぼうしであった。また、腹白と基白が同時に発生した品種は、ヒメノモチ、風の子もち、オトメモチであった。第 4-4 表に胚乳種子の重量を表に示した。常温区に対して高温区ではヒメノモチを除いて小さくなった。このうち、最も常温区に対して高温区において粒重の割合が最も小さくなった品種はきぬのはだで、次いで

関東糯 172 号、風の子もち、たつこもち、こがねもち、オトメモチ、でわのもちの順であった。

第 4-3 表 常温区、高温区における稈実粒数と被害粒数。

品種名	主稈穂着生粒の稈実粒数と被害粒数					
	常温区			高温区		
	稈実粒数	被害粒数	被害粒率 (%)	稈実粒数	被害粒数	被害粒率 (%)
関東糯 172 号	70	9	13	73	73	100
こがねもち	84	0	0	83	52	62
でわのもち	107	3	3	104	13	13
きぬのはだ	80	0	0	74	55	74
ヒメノモチ	81	0	0	70	47	67
たつこもち	71	6	8	86	20	36
風の子もち	75	2	3	68	36	53
わたぼうし	75	1	1	70	52	74
オトメモチ	82	2	2	90	53	59
コシヒカリ	82	0	0	90	53	59
あきたこまち	94	1	1	89	77	86
トドロキワセ	79	9	11	59	57	97

%は主稈穂着生粒における全稈実粒数に対する被害粒の割合を示す。

第 4-4 表 常温区と高温区における種子の重量。

品種名	重量 (g/粒)		(A) に対する (B) の割合
	常温区 (A)	高温区 (B)	
	関東糯 172 号	27.5 ± 2.2	22.6 ± 2.4 **
こがねもち	21.9 ± 2.6	20.2 ± 2.6 **	(92)
でわのもち	17.8 ± 1.7	17.3 ± 1.5 n.s.	(97)
きぬのはだ	20.9 ± 1.8	16.6 ± 1.6 **	(79)
ヒメノモチ	21.2 ± 1.6	21.7 ± 1.9 n.s.	(102)
たつこもち	23.3 ± 1.4	21.1 ± 2.3 **	(91)
風の子もち	21.0 ± 1.8	17.8 ± 1.2 **	(85)
オトメモチ	20.3 ± 1.7	19.4 ± 3.5 *	(96)
コシヒカリ	19.5 ± 1.3	18.4 ± 1.9 **	(94)
あきたこまち	20.7 ± 2.2	19.3 ± 2.2 **	(93)
トドロキワセ	21.5 ± 1.6	20.7 ± 1.5 **	(96)

\*\*、\*は常温区と高温区において1%および5%で有意差があることを示す。

## 4-2. 温度条件の異なる環境で登熟させた糯品種の澱粉解析

イネのアミロペクチンの鎖長分布と糊化温度、澱粉特性には密接な関係があることが澱粉生成関連酵素の変異体や広くイネ遺伝資源を調べた基礎研究から、次第に明らかになってきている (Fujita ら 2003、2007、Hizukuri 1986、Nakamura ら 2005、Tanaka ら 2004)。また、イネ以外においてもサツマイモとオオムギを材料にして、サツマイモの DP 6~10 とオオムギの DP 7~11 の鎖長は糊化温度と負の相関があり、さらに短い鎖はアミロペクチンの二重らせん構造の安定性を減少させ、短鎖が糊化温度を下げる原因であると推測されている。五十嵐ら (2007) は、水稻品種におけるアミロペクチン鎖長のうち (A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖が大きいほど粘度上昇温度が低いことを報告している。Okamoto ら (2002) は、糯品種においては、活性型の SS II a を保有する陸稲糯品種の関東糯 172 号および水稻糯品種で餅硬化性が高いとされるこがねもちでは、餅硬化性が低い品種と比較すると特に短鎖の



割合が少ない特徴があるとし、アミロペクチンの鎖長分布が異なることを報告している。また Suzuki ら (2006) は、ジャポニカタイプの糯米におけるアミロペクチンの高重合度画分である DP 37  $\geq$  の割合と粘度上昇温度、最低粘度、最終粘度、セットバックの間に正の相関があることを報告している。

一方、餅の硬化性は登熟気温の影響により変動し硬くなることが報告されている(松江 2002)。餅硬化性が年次により変動することは、実需者にとっては均一な品質を安定供給できない不安定要素となる。また、本県においても 2010 年は過去最高の高温登熟年であり糯米の品質低下が問題となった。このように糯米品種における登熟気温の影響と品質の安定化は重要な課題(近藤他 2005)である。粳品種においては九州、北陸地方では近年の出穂後の登熟期間の高温により、乳白、背白、基白、腹白等(小牧 2000)が発生することによる品質低下が問題となっている。このような状況から、栽培研究ではその回避技術(日本作物学会北陸支部編 2007、森田ら 2002、森田 2004、松村 2005、寺島ら 2001、友正ら 2009)、育種研究においては、高温耐性における検定法の開発とその品種開発(石崎 2006)が急がれている。また背白米、腹白米等における米粒形質の発生メカニズム(千葉ら 2009、三ツ井ら 2005、2006、田畑 2005、田畑ら 2006、若松ら 2007、2009、Yamakawa ら 2007、2010)や QTL 解析(小林ら 2008、蛭谷 2008)に関する知見が蓄積しつつあり、粳米品種では高温登熟下における品質低下に関与する遺伝子解析や栽培の技術対応が進んでいる。

Umamoto ら (1999) は、粳米品種を用いた澱粉構造と登熟温度を明らかにするために、人工気象下で登熟期における温度条件を高温区、常温区、低温区を設定した実験を行い、アミロペクチンの鎖長分布のパターンから、高温区ではアミロペクチンの鎖長の短鎖割合が減少することをみだし、その要因は澱粉合成関連酵素 BE II b 活性の低下と推論している。また Nakamura ら (2010) は詳細な温度反応系実験を行い、BE II b の作用機作について考察し短鎖の減少は DP 6~DP 7 の短鎖の結合に関与すると推論している。さらに、Ohdan ら (2011) は *in vitro* における実験系から BE II b 活性は温度による活性域があり、35 °C 以上の高温下では活性が大幅に低下することを報告している。このように、イネの高温登熟下における澱粉構造とその酵素活性については、基礎研究に負う点が多いが、水稻糯品種においては登熟期の温度条件と澱粉構造に関する知見は極めて少ない。しかし、糯品種における澱粉構造や糊化特性および硬化性に関する温度反応性が将来的に解明されることにより、気象変動下においても品質の安定した糯米の生産が可能になると考えられる。そこで、本節では温度条件の異なる環境で登熟させた主要糯品種の澱粉解析、すなわちアミロペクチン鎖長分

布と硬化性の指標である糊化特性およびこれらの相互関係を明らかにした。

## 1. 供試材料

松葉 (1991) の穂上位置の分類に従い、サンプリングした主稈の胚乳種子を枝梗および穂上位置毎にマルチプルウェルに入れ分析材料を選択した。弱勢穎花が少ないとされる、1~5 の枝梗のうち、同一開花日の胚乳で平均的な粒重の種子を以下の実験に供試した。実験は 1 品種につき異なる 3 粒を用いた。

## 2. 試験方法

### 1) 胚乳サンプルの調製と鎖長分布解析

イネ完熟種子 1 粒の籾と胚を取り除き胚乳だけとし、葉包紙に包んで、ペンチでつぶし、1.5 ml エッペンドルフチューブに移してプラスチックペッスルでさらに細かくすり潰した。その全量をふたつきガラス管に入れ、100 %メタノール 5 ml を加えて、時々攪拌しながら、10 分間煮沸した。放冷後、3,000 rpm、20 °C 5 分で遠心分離を行い、上清を除去した。沈殿に 90 %メタノール 5 ml を加えて、攪拌し、もう一度遠心分離を行い、上清を除去した、この操作を再度繰り返した。上清除去後、沈殿を 2 分間煮沸し、メタノールを蒸発させた。蓋つき試験管に、蒸留水 285  $\mu$ l を加えて、軽く攪拌し、次に 5 N 水酸化ナトリウム 15  $\mu$ l を加え、よく攪拌し、5 分間煮沸した。放冷後、100 %酢酸 9.6  $\mu$ l、600 mM Na-acetate buffer (pH 4.4) 100  $\mu$ l、2 % NaN<sub>3</sub> 15  $\mu$ l、蒸留水 1089.6  $\mu$ l を加え、攪拌し、イソアミラーゼ(林原社製、Pseudomonas amyloclavata 由来)を 2  $\mu$ l 加えて、攪拌しながら 37 °C、7 時間以上インキュベートし、さらにイソアミラーゼ 2  $\mu$ l を追加し、攪拌しながら、37 °C、約 8 時間以上インキュベートした。その後、20 分間煮沸し、イソアミラーゼを失活させ、放冷後、1.5 ml チューブに移し変え、15,000 rpm、20 °C、2 分間遠心分離した。上清を別チューブに取り、その内の 1 ml を脱イオンカラム(Bio-rad 社製、AG 500-X8 (D))に通し、脱イオンを行なった。このサンプルを Modified Park Johnson 法により、還元末端を定量し、各サンプル 10 nmol 相当の乾物ポリグルカンに APTS 溶液 2  $\mu$ l を加え、よく攪拌し、55 °C、90 分間反応させた。反応後、蒸留水 46  $\mu$ l を加え、これをキャピラリー電気泳動(BECKMAN COULTER 社製、P / ACE MDQ carbohydrate system)を用い、同機種のアプリケーションによりアミロペクチン鎖長分布のデータ解析(梅本 2009)を行なった。鎖長分布は 3 種子から 1 回測定した。

## 2) アミロペクチン鎖長分布の解析方法

1) で求めた品種個々の鎖長分布のデータを用いて常温区、高温区および高温条件下におけるその差分を算出し比較した。

## 3) DSC を用いた熱糊化特性の解析

1.5 ml エッペンドルフチューブに、サンプリングした玄米粒 5 粒をバルクにして用いた。玄米から胚を除去した胚乳を乳鉢ですりつぶした米粉を 105 °C の通風乾燥機で 2 時間乾燥させた。調製したサンプル 3 mg に蒸留水 9  $\mu$ l を加えて混合し、昇温速度 3 °C / min で 5 °C から 100 °C までの温度変化させたときの示差走査熱量装置（セイコーインスツルメンス社製、DSC6100）を用いて測定した。その後、同機種のアプリケーションソフトを用いて常温区、高温区における糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化終了温度を算出した。また、これまで糊化開始温度との関係が示されている A 鎖である  $\Sigma DP6 \leq 12$ 、B1 鎖である  $DP13 \leq 24$ 、A 鎖 / B1 鎖（Nakamura ら 2005）、および単位鎖のモル比である B2+B3 鎖である  $\Sigma DP37 \leq 60$  および (A / B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖（Igarashi ら 2008）と糊化特性との関係について、2) で得られた鎖長分布を用いて算出した。

## 3. 結果

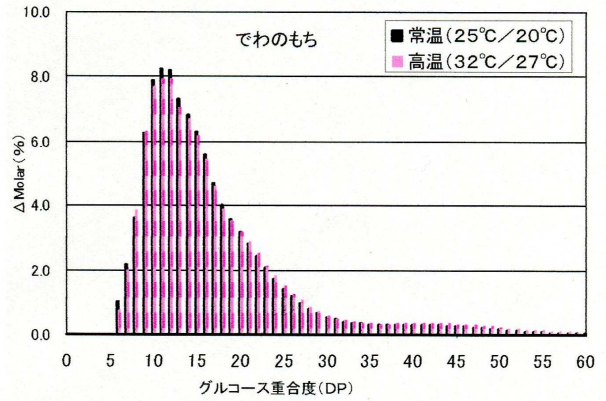
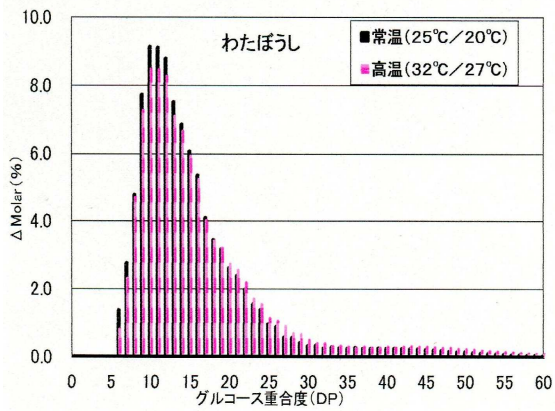
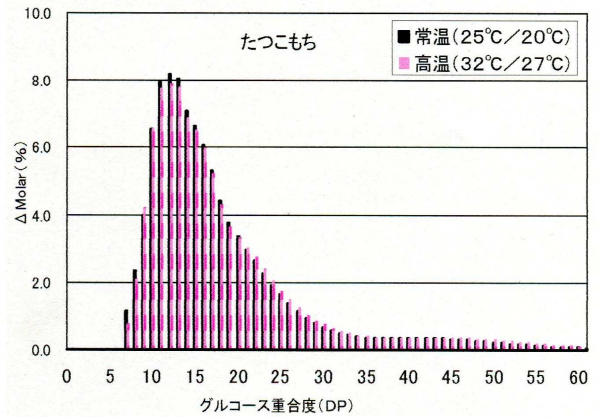
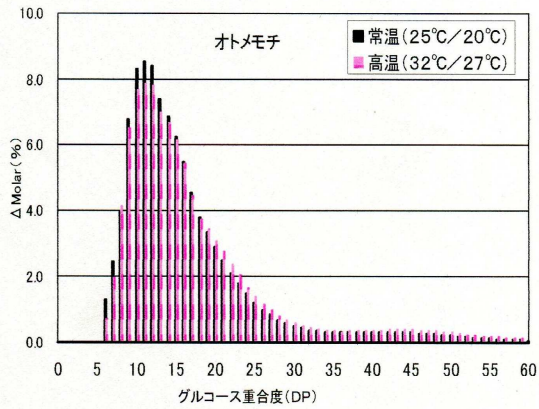
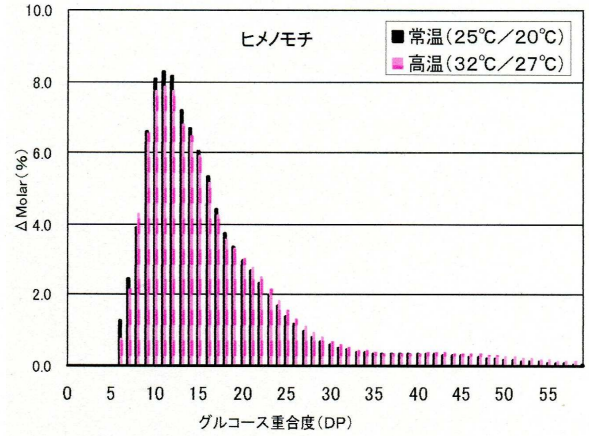
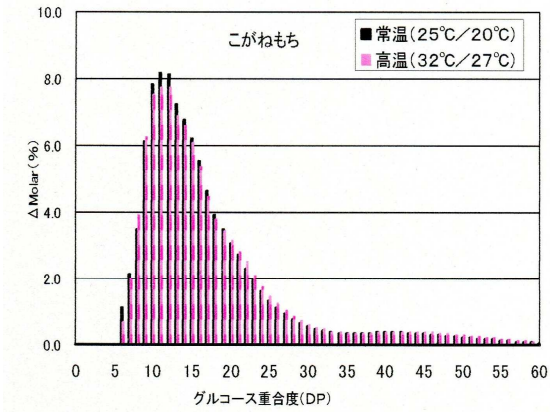
### 1) アミロペクチン鎖長分布の品種間差

第 4-2 図に各品種の常温区と高温区における鎖長分布パターンを示した。水稻糯品種の中で硬化性が高いとされる、こがねもちと他の品種との鎖長分布パターンを比較するため、供試品種の鎖長分布からこがねもちの鎖長分布を差し引き、その差分パターンを求めた（第 4-3a 図）。また、第 4-3b 図に既知の代表的な澱粉生合成関連酵素活性低下変異体と野生型の鎖長分布及びその差分パターンを示した（Nakamura ら 2002）。その結果、各差分のパターンと、前述の澱粉生合成関連酵素活性低下変異体と野生型の差分パターンとを比較するといくつか共通するパターンがみいだされた。関東糯 172 号は、こがねもちと比べて  $DP \leq 10$  の短鎖が極めて少なく、 $11 \leq DP \leq 32$  が増加したパターンを示した。このパターンは野生型から SS II a の活性低下変異体を引いた差分パターン（Nakamura 2002）と逆のパターンと類似し（第 4-3a 図）、本試験では A 型とした。オトメモチ、わたぼうしは、こがねもちと比べて

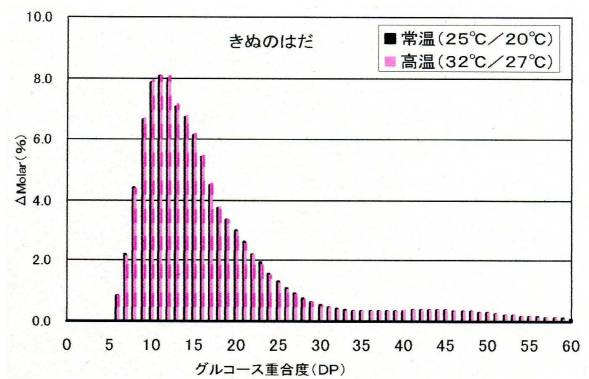
$DP \leq 14$  の短鎖が多く、 $15 \leq DP \leq 50$  が増加していた。このパターンは BE II b の活性低下変異体から野生型を引いた差分パターン（Nakamura ら 2002、Nishi ら 2001）と逆パターンと類似したパターンを示し（第 4-3a 図）、本試験では B 型とした。また、風の子もち、ヒメノモチ、たつこもちは、こがねもちと比べて  $DP \leq 10$  の短鎖、 $21 \leq DP \leq 35$  の中鎖が多く、 $11 \leq DP \leq 20$  および  $DP36 \geq$  の中長鎖が減少していた。このパターンは BE I 活性低下変異体のパターン（Satoh ら 2003）と類似したパターンを示し（第 4-3a 図）、本試験では C 型とした。一方、でわのモチはこがねもちと比べて  $8 \leq DP \leq 29$  がわずかに多く、 $DP33 \geq$  がわずかに少なく、こがねもちと類似したパターンを示し（第 4-3a 図）、本試験ではこれを D 型とした。一方、きぬのはだはこがねもちと比べて、 $6 \leq DP \leq 9$  の短鎖、 $DP43 \geq$  の長鎖が多く、 $11 \leq DP \leq 27$ 、 $33 \leq DP \leq 40$  がわずかに少ないパターンを示し、上記のいずれのパターンとも異なることから、本試験ではこれを E 型とした。

第 4-5 表に常温区における鎖長分布データからアミロペクチンの A 鎖、B1 鎖、B2+B3 鎖に分けたそれぞれの割合を示した。活性型 SS II a を有し餅硬化性が超硬である関東糯 172 号は、水稻糯品種と比べて A 鎖 / B1 鎖の短鎖が極めて少なかったが、(A+B1) 鎖、(A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖はやや少ない程度で水稻糯品種と大きな差はなかった。水稻糯品種のうちでは、餅硬化性が極硬とされるこがねもちは、A 鎖 / B1 鎖が最も少なく、(A+B1) 鎖や (A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖も少ない傾向があった。しかし、こがねもちと同様に餅硬化性が極硬とされるオトメモチは A 鎖 / B1 鎖、(A+B1) 鎖、また (A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖も多く、こがねもちと異なる傾向を示した。餅硬化性が硬とされるでわのモチは、A 鎖 / B1 鎖がこがねもちと並んで最も少なかったが、(A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖はこがねもちより明らかに多かった。また、でわのモチと餅硬化性が同じく硬とされるわたぼうしは A 鎖 / B1 鎖および (A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖が水稻糯品種のうちで最も多くこがねもちやでわのモチとは全く異なる傾向を示した。また、本県の奨励品種で餅硬化性がやや軟とされるきぬのはだおよびやや硬とされるたつこもちは、A 鎖 / B1 鎖および (A+B1) 鎖は両品種ともにこがねもちより多く、(A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖は関東糯 172 号やこがねもちとほぼ同程度であった。一方、北海道の品種で餅硬化性が軟とされる風の子モチは、A 鎖 / B1 鎖、(A+B1) 鎖および (A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖は供試品種のうち中間程度であった。以上のように、常温区では、それぞれの品種の鎖長パターンはこがねもちとの差分のパターンから A~E 型までの 5 つのグループに分類できた。しかし、A 鎖、B1 鎖、B2+B3 鎖の割合の特徴が品種により異なり、石崎ら（1994）の硬化性ランクの分類と鎖長との関係に

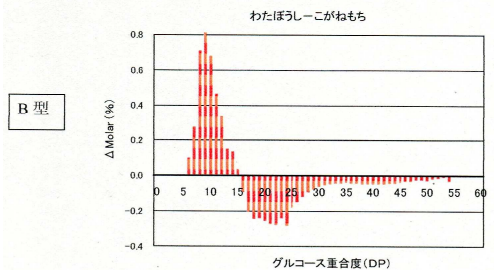
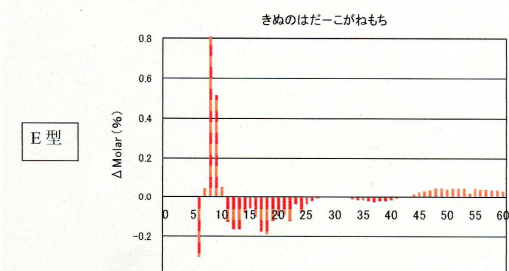
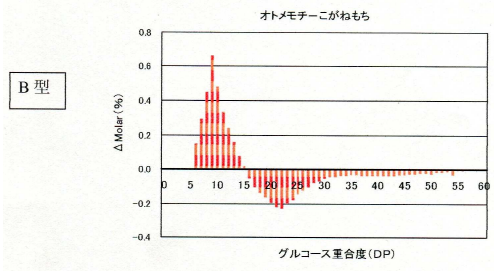
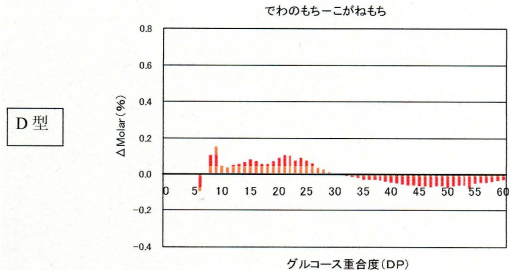
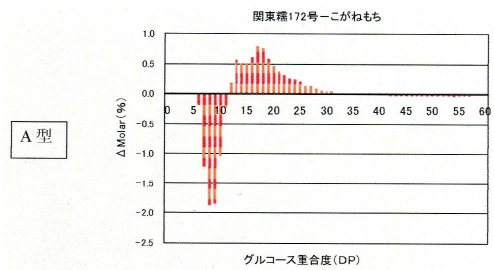
おいては、関東糯 172 号のように飛び抜けて A 鎖 / B1 鎖が少ないことが超硬化性になることは明確であるが、他品種間においては、明確な関係は得られなかった。



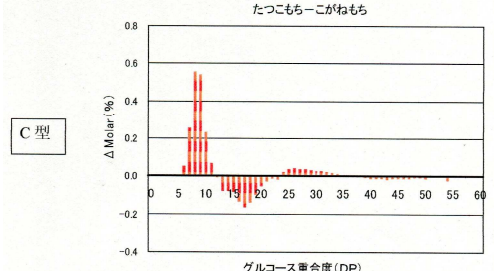
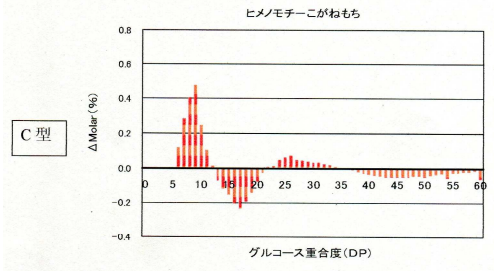
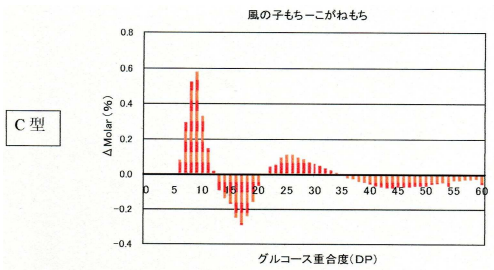
64

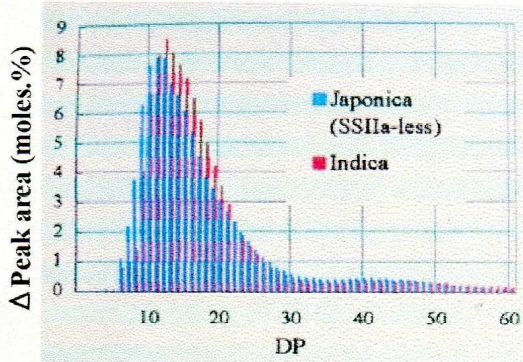


第4-2図 糯品種における常温区と高温区の鎖長分布。

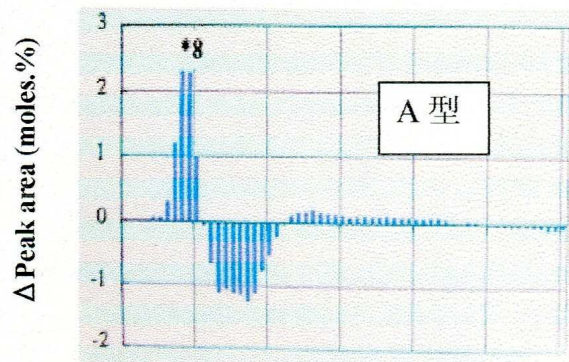


第4-3a図 こがねもちとの各品種との鎖長分布の差分.

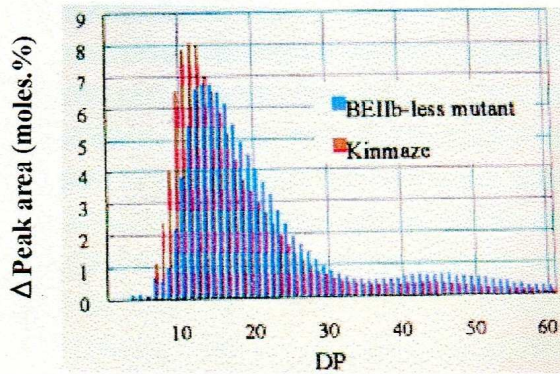




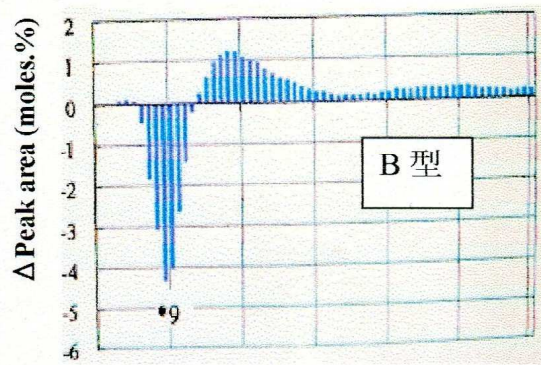
SS II a less mutant と Indica の鎖長分布



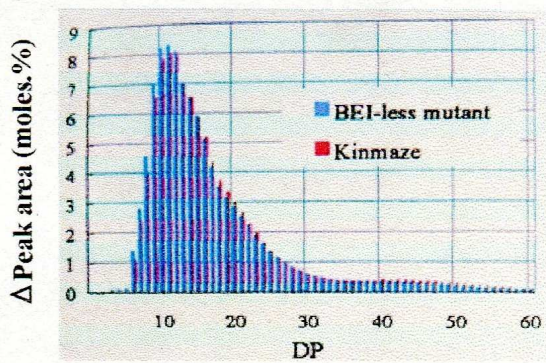
Indica - SS II a less mutant の差分パターン



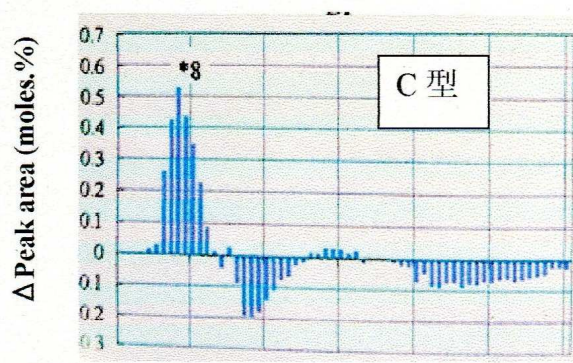
BE II b less mutant と Kinmaze の鎖長分布



BE II b less mutant - Kinmaze の差分パターン



BE I less mutant と Kinmaze の鎖長分布



BE I less mutant - Kinmaze の差分パターン

第 4-3b 図 代表的澱粉合成酵素活性低下変異体の鎖長分布と野生型との差分パターン(Nakamura 2002).

第 4-5 表 常温区における鎖長分布における割合

品種	鎖長分布における割合			
	A鎖/B1鎖	(A+B1)鎖	(B2+B3)鎖	(A+B1)鎖/ (B2+B3)鎖
関東糯172号	0.55	86.3	13.7	6.3
こがねもち	0.75	86.5	13.5	6.4
でわのもち	0.75	87.8	12.2	7.2
きぬのはだ	0.79	86.1	13.9	6.2
ヒメノモチ	0.80	87.0	12.9	6.7
たつこもち	0.80	87.3	13.6	6.4
風の子もち	0.81	87.3	12.7	6.9
オトメモチ	0.82	87.9	12.1	7.3
わたぼうし	0.85	88.1	11.9	7.4

A鎖： $\Sigma DP6 \leq 12$ , B1鎖： $\Sigma DP13 \leq 24$ , (B2+B3)鎖： $\Sigma DP37 \leq 60$

試験は 3 回反復の平均値を示した。きぬのはだは反復なし。

第 4-6 表 常温区における糊化特性

品種	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)
関東糯172号	67	76	80
こがねもち	61	68	74
でわのもち	62	69	74
きぬのはだ	57	66	73
ヒメノモチ	56	64	72
たつこもち	54	65	72
風の子もち	55	64	72
オトメモチ	58	65	72
わたぼうし	-	-	-

To: 糊化開始温度, Tp: 糊化ピーク温度

Tc: 糊化終了温度。

数値は 3 回測定 of 平均値を示す。- はデータなし。

## 2) DSC による熱糊化特性の品種間差

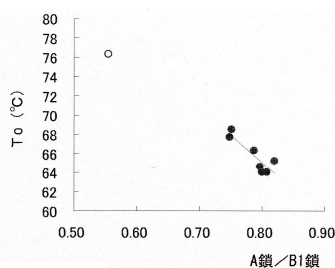
第 4-6 表に常温区における糊化特性を示した。供試した品種の糊化開始温度は 55 °C~67 °C、糊化ピーク温度は 64 °C~76 °C、糊化終了温度は 72 °C~80 °C の温度範囲にあった。餅硬化性と相関が高いとされる糊化ピーク温度は、超硬とされる関東糯 172 号が 76 °C と最も高く、水稻糯品種との糊化ピーク温度の差は 7 °C~12 °C と大きな差異が認められた。一方、水稻糯品種間の糊化ピーク温度の差は 5 °C の範囲内であった。糊化ピーク温度が最も高い品種は、餅硬化性が硬とされるでわのもちで 69 °C と高く、次いで餅硬化性が極硬とされるこがねもちで 68 °C と同程度であった。また、餅硬化性が軟とされる風の子もちは 64 °C であり、餅硬化性が中とされるヒメノモチと同じ糊化ピーク温度で供試品種のうちで最も低かった。その他の品種は餅硬化性のランクに関わりなく、こがねもちの糊化ピーク温度より 3 °C~4 °C 程低かった。第 4-7 表に、第 4-5 表で示した常温区におけるアミロペクチンの鎖長の割合と糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化最終温度との関係を示した。A 鎖および A 鎖 / B1 鎖と糊化温度は負の相関が認められた。特に、これらの鎖長の割合と糊化ピーク温度との間には極めて高い負の関係が認められた。一方、(A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖と糊化特性との間には関係はみいだせなかった (第 4-4 図、- 5 図)。

第 4-7 表 常温区における鎖長割合と糊化特性との関係

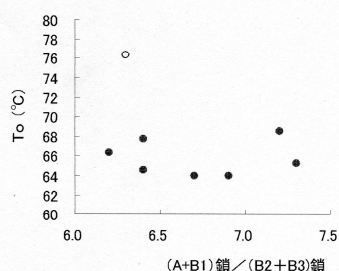
	A鎖	B1鎖	A鎖/B1鎖	(A+B1)鎖/ (B2+B3)鎖
To	-0.85**	0.89**	-0.88**	-0.11
Tp	-0.96**	0.97**	-0.97**	-0.31
Tc	-0.97**	0.97**	-0.98**	-0.32

A鎖： $\Sigma DP6 \leq 12$ , B1鎖： $\Sigma DP13 \leq 24$ , (B2+B3)鎖： $\Sigma DP37 \leq 60$ 。

To: 糊化開始温度, Tp: 糊化ピーク温度, Tc: 糊化終了温度。



第4-4図 常温区におけるA鎖/B1鎖と糊化ピーク温度。  
●；水稲糯品種 ○；関東糯172号



第4-5図 常温区における(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖と糊化ピーク温度。  
●；水稲糯品種 ○；関東糯172号

### 3) アミロペクチン鎖長分布の温度環境による影響

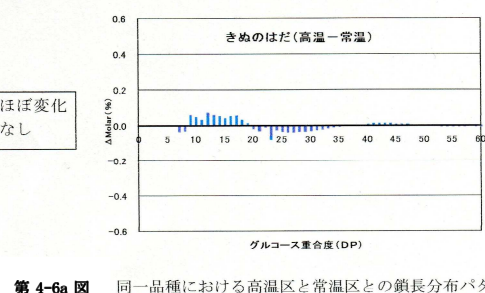
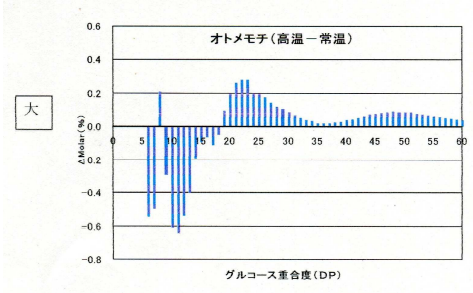
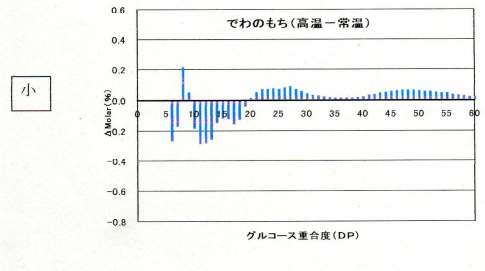
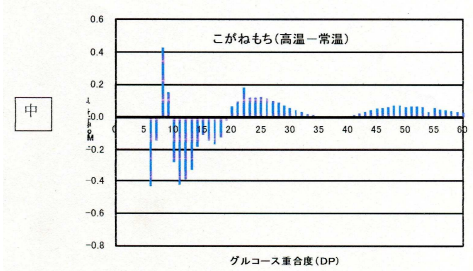
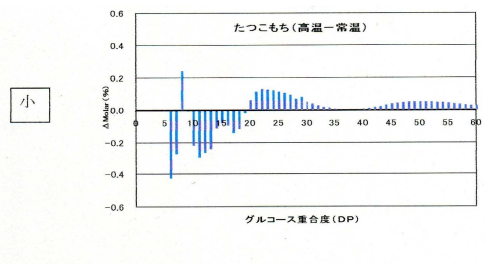
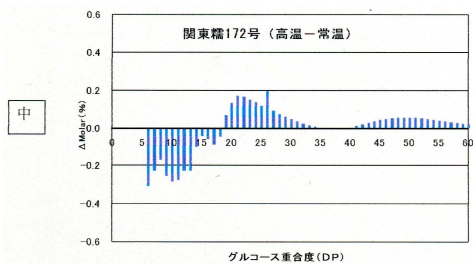
第4-6a図に、同一品種の鎖長分布を用いて高温区から常温区の鎖長分布割合を差し引いた差分のパターンを示した。きぬのはだ以外全ての品種が類似の差分パターンを示した。すなわち  $6 \leq DP \leq 19$  近傍までの短鎖が減少し、 $20 \leq DP \leq 37$  近傍までは増加し、さらに  $DP30 \geq$  が微増する傾向を示した。また、これらのパターンの増減の大きさは品種による違いがみられ、オトメモチでは増減の幅が最も大きく、関東糯172号、こがねもち、わたぼうし、風の子もち、ヒメノモチでは中程度であり、たつこもち、でわのもちでは小さく、きぬのはだではほとんど差分に変化は認められなかった。このように、品種の差分の割合には大小があるもののきぬのはだ以外の全ての品種で同じようなパターンを示したことから、これらの要因は高温の影響によると考えられ澱粉生合成に関する単一の要因か、数少ない要因が関与すると推測された。さらにこれらの差分パターンは鎖長の切り返し点および差分のパターンから、第4-6b図に示した澱粉生合成関連澱粉枝作り酵素BE II bの活性低下変異体から野生型の差分パターンに類似していた。

第4-8表に高温区における鎖長分布データからアミロペクチンのA鎖、B1鎖、(B2+B3)鎖に分けたそれぞれの割合を示した。前述の第4-5表の常温区における割合と比較すると、高温区では、きぬのはだを除く

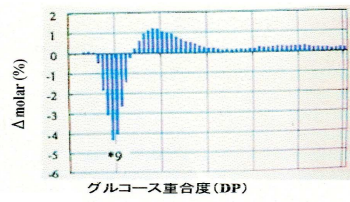
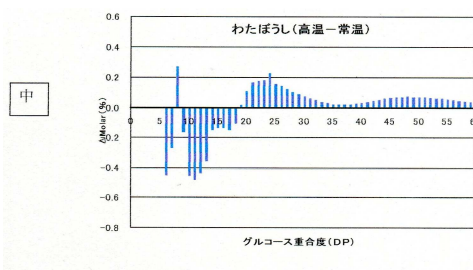
全ての品種でA鎖/B1鎖が常温区より減少していた。

(A+B1)鎖は全ての品種において高温区で常温区より減少していた。(B2+B3)鎖は、きぬのはだを除く全ての品種において高温区が常温区より減少していた。また、(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖もきぬのはだを除く全ての品種において減少していた。高温によるアミロペクチン鎖長分布の影響は、きぬのはだを除く全ての品種において同じ傾向を示した。高温区における個々の品種をみると、SS II a 活性型で餅硬化性が超硬である関東糯172号は、水稲糯品種と比べてA鎖/B1鎖の短鎖が極めて少なかったが、(A+B1)鎖、(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖はやや少ないものの他の品種と大きな差はなかった。餅硬化性が極硬とされるこがねもち、水稲糯品種のうちでA鎖/B1鎖が最も少なく、(A+B1)鎖および(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖が関東糯172号と同程度に少なかった。また、こがねもちと同様に餅硬化性が極硬とされるオトメモチはA鎖/B1鎖や(A+B1)鎖が水稲糯品種のうちでは多く、さらに(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖も多くこがねもちと異なる傾向を示した。餅硬化性が硬とされるでわのもちは、A鎖/B1鎖がこがねもちと並んで最も少なかったが、(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖はこがねもちより明らかに多かった。同様に餅硬化性が硬とされるわたぼうしはA鎖/B1鎖および(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖が水稲糯品種のうちで最も多くこがねもちやでわのもちとは全く異なる傾向を示した。また、餅硬化性がやや軟とされるきぬのはだやや硬とされるたつこもちでは、A鎖/B1鎖および(A+B1)鎖は両品種ともにこがねもちより多いが、(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖ではきぬのはだが供試品種のうち最も多く、たつこもちではこがねもちと同程度であった。一方、餅硬化性が軟とされる風の子もちは、A鎖/B1鎖、(A+B1)鎖および(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖が供試品種のうちでは多かった。以上のように、高温区においても常温区と同様に、それぞれの品種においてA鎖、B鎖、B2+B3鎖の割合の特徴が異なっていた。石崎ら(1994)の硬化性ランクの分類と鎖長との関係では、常温区と同様に関東糯172号では、A鎖/B1鎖および(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖が少なく、明らかに硬化性との関連性がみいだせた。一方、水稲糯品種においては、硬化性が極硬とされるこがねもち、硬とされるでわのもちではA鎖/B1鎖が常温区と同様に少ない傾向があったが、その他の品種ではA鎖/B1鎖と硬化性との関連性は明らかではなかった。また、(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖と硬化性との関連性は常温区と同様に認められなかった。

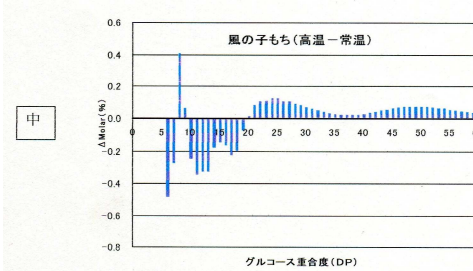




第4-6a 図 同一品種における高温区と常温区との鎖長分布パターンとの差分。



第4-6b 図 BE II b less mutant - Kinmaze 差分パターン。



第4-8 表 高温区における鎖長分布における割合

品種	鎖長分布における割合			
	A鎖/B1鎖	(A+B1) 鎖	(B2+B3) 鎖	(A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖
関東糯172号	0.52	84.8	15.2	5.6
こがねもち	0.73	84.9	15.1	5.6
でわのもち	0.73	86.2	13.8	6.2
きぬのはだ	0.79	86.4	13.6	6.3
ヒメノモチ	0.78	84.8	15.1	5.6
たつこもち	0.77	84.8	14.9	5.7
風の子もち	0.80	85.2	14.8	5.8
オトメモチ	0.75	85.4	14.6	5.8
わたぼうし	0.81	86.0	14.0	6.1

A鎖:  $\Sigma DP6 \leq 12$ , B1鎖:  $\Sigma DP13 \leq 24$ , (B2+B3) 鎖:  $\Sigma DP37 \leq 60$

2) DSC を用いた熱糊化特性の温度環境による影響

第 4-9 表に高温区における糊化特性を示した。供試した品種の糊化開始温度は 55℃～77℃、糊化ピーク温度は 64℃～82℃、糊化終了温度は 72℃～85℃ の温度であった。餅硬化性が超硬とされる関東糯 172 号は、糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化終了温度の全てが供試した品種のうち最も高かった。硬化性と相関が高いとされる糊化ピーク温度は、超硬とされる関東糯 172 号が 82℃ と最も高く、水稻糯品種との糊化ピーク温度の差は 8℃～16℃ と大きかった。また、水稻糯品種間の糊化ピーク温度の差も 10℃ と大きく品種間差異が認められた。水稻糯品種のうちでは、餅硬化性が極硬とされるこがねもちが 74℃ と高く、同じく餅硬化性が極硬とされるオトメモチは 64℃ とこがねもちの間には 10℃ の差があり、供試した品種のうちで最も低かった。また餅硬化性が軟とされる風の子もちは 66℃ とオトメモチの次に低かった。その他品種の糊化ピーク温度は餅硬化性のランクに関わりなく 72℃～73℃ の間であり、こがねもちの糊化ピーク温度より 1℃～2℃ 程低い程度であった。餅硬化性ランクとの関係では、硬化性が極めて高い関東糯 172 号、極硬とされるこがねもちで糊化ピーク温度が高く、軟とされる風の子もちで糊化ピーク温度が低い関係が認められたが、その他の品種では餅硬化性と糊化ピーク温度との間には特に関係はみられなかった。高温区と常温区の糊化温度を比較すると（第 4-6 表）、高温区ではオトメモチを除く全ての品種が糊化開始温度では 0℃～10℃、糊化ピーク温度では 2℃～7℃、糊化終了温度では 0℃～7℃ と常温区より明らかに高くなる傾向が認められた。ただし、オトメモチだけは、他の品種と異なり常温区より糊化開始温度で 2℃、糊化ピーク温度で 1℃ 低く、糊化終了温度は常温区と同じであった。

第 4-10 表に高温区におけるアミロペクチンの鎖長の割合と第 4-9 表で示した糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化最終温度との関係を示した。A 鎖と糊化開始温度、糊化ピーク温度との間には負の相関が認められた。B1 鎖と糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化終了温度の全ての温度との間には正の相関が認められた。また、A 鎖 / B1 鎖と糊化開始温度、糊化ピーク温度との間にも負の相関が認められた。一方、(A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖と糊化特性との間には、常温区と同様に両者の間には関係はみいだせなかった（第 4-5 図、- 8 図）。常温区における鎖長割合と糊化特性との関係（第 4-7 表）と高温区における鎖長割合と糊化特性の関係（第 4-10 表）を比べると A 鎖、B1 鎖、および A 鎖 / B1 鎖とそれぞれの糊化温度との間には常温区および高温区ともに負の相関が認められたが、高温区の相関は常温区より低かった（第 4-4 図、-7 図）。

第 4-9 表 高温区における糊化特性

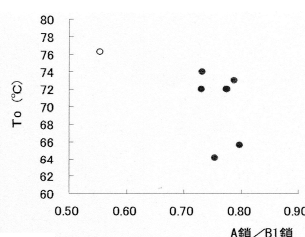
品種	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)
関東糯172号	77	82	85
こがねもち	68	74	80
でわのもち	66	72	79
きぬのはだ	66	73	80
ヒメノモチ	62	72	79
たつこもち	64	72	78
風の子もち	55	66	74
オトメモチ	56	64	72
わたぼうし	-	-	-

To: 糊化開始温度, Tp: 糊化ピーク温度  
Tc: 糊化終了温度.  
数値は 3 回測定の平均値を示す.

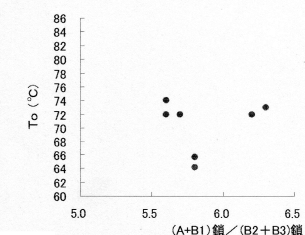
第 4-10 表 高温区における鎖長割合と糊化特性の関係

	A鎖	B1鎖	A鎖/B1鎖	(A+B1)鎖/ (B2+B3)鎖
To	-0.78*	0.81*	-0.80*	-0.09
Tp	-0.76*	0.77*	-0.77*	-0.17
Tc	-0.69	0.71*	-0.70	-0.09

A鎖:  $\Sigma DP6 \leq 12$ , B1鎖:  $\Sigma DP13 \leq 24$ , (B2+B3)鎖:  $\Sigma DP37 \leq 60$   
To: 糊化開始温度, Tp: 糊化ピーク温度, Tc: 糊化終了温度.



第 4-7 図 高温区における A 鎖 / B1 鎖と糊化ピーク温度。  
●: 水稻糯品種 ○: 関東糯 172 号

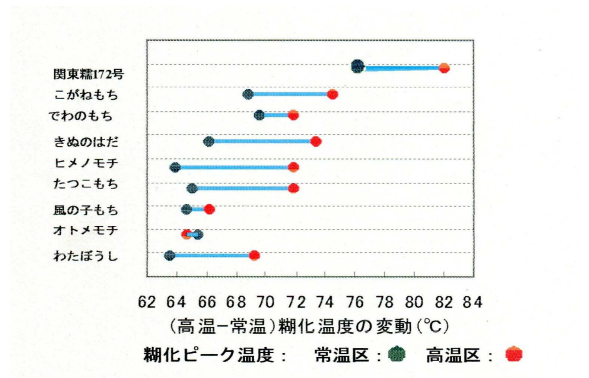


第 4-8 図 高温区における (A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖と糊化ピーク温度。  
●: 水稻糯品種

5) 常温区および高温区における糊化ピーク温度の変動性

第 4-9 図に常温区と高温区における糊化ピーク温度とその変動巾を示した。オトメモチ以外の品種の糊化ピーク温度は、常温区より高温区で明らかに高い傾向を示した。硬化性が超硬とされる関東糯 172 号の糊化

ピーク温度は常温区、高温区ともに水稻糯品種より極めて高く、関東糯 172 号の常温区の糊化ピーク温度は、水稻糯品種の高温区のうちで最も高い糊化ピーク温度を示したこがねもちよりも 2 °C 高かった。同一品種における糊化ピーク温度の変動性を明らかにするために、高温区から常温区の糊化ピーク温度を差し引きその変動巾を算出した。9 品種における変動巾は、-1 °C ~ 8 °C で平均すると 5.7 ± 1.5 °C であった。このうち、最も変動巾が大きい品種はヒメノモチで 8 °C、次いできぬのはだ、たつこもちで 7 °C と大きく、関東糯 172 号、こがねもちで 6 °C の変動巾であった。一方、変動巾が比較的小さい品種は、でわのもちおよび風の子もちでそれぞれ 3 °C、および 2 °C の変動巾であった。また、最も変動巾が小さい品種はオトメモチで -1 °C であった。これら 3 品種は高温の影響が極めて小さいと考えられた。また、オトメモチについては変動巾が極めて小さく他の品種と異なる糊化特性を示したことから今後再確認が必要と考えられた。



第 4-9 図 常温区および高温区における糊化ピーク温度の変動。

#### 4. 考察

水稻糯品種間における鎖長分布を比較するため、こがねもちの鎖長パターンを基準として、各品種の鎖長分布からこがねもちの鎖長分布を差し引いた差分を解析した結果、数種の共通したグループとなる類似するパターンがみいだされた。第 4-4a 図に示したように、関東糯 172 号は A 型に、オトメモチ、わたぼうしは B 型に、風の子もち、ヒメノモチ、たつこもちは C 型に、でわのもち、こがねもちはグループ D 型に分類できた。このことから、B 型に属する品種はこがねもちと比べて BE II b 活性が高い可能性があり、C 型に属する品種はこがねもちと比べて BE I 活性が低い可能性がある。また D 型に属するでわのまちはこがねもちと類似する鎖長分布パターンであることから、澱粉構造が類似すると考えられた。一方、きぬのはだは、以上のいずれにも含まれないと考えられた。これらの常温区におけ

る鎖長分布と高温区における鎖長分布は、A 鎖 / B1 鎖および (A+B1) 鎖の割合は高温区において少なくなり、(B2+B3) 鎖の長鎖が増加することにより (A+B1) 鎖 / (B2+B3) 鎖の割合が少なくなる傾向が認められるものの、高温区における品種のアミロペクチン鎖長分布パターンは常温区と同じ分類に属しこれらは A 型 ~ D 型のパターンと同じパターンを示した。このことは、品種個々のアミロペクチン鎖長は、品種個々の遺伝的要因に支配されると推測された。水稻糯品種の鎖長分布パターンは、硬化性が特に高いこがねもちや、硬化性が特に低い風の子もちについては既に報告されている (Igarashi ら 2008, Sasaki ら 2009)。しかし、本試験のように東北、北陸、北海道で育成された硬化性が異なる栽培品種を用いて、人工気象器を用いた同一条件下で養成した実験材料を解析した例はこれまでなく、これまで圃場栽培による登熟気温との関係のみで解釈されてきた硬化性や澱粉特性は、地域性および登熟気温のみだけでなく品種個々の遺伝的要因が関与することがみいだされた。さらにこれらの差分パターンから今回供試した品種について澱粉生成関連酵素遺伝子の発現に関するいくつかの推測ができた。一方、澱粉構造に関する登熟気温の影響を明らかにするため、同一品種における高温区の鎖長分布から常温区の鎖長分布を差し引いた差分パターンは、差分パターンの巾の大きさには多少異なるが、きぬのはだ以外は全て同じ差分パターンを示した。すなわち差分の増減する切り返し点と差分パターンから推測して、澱粉生成関連枝作り酵素 BE II b の活性低下パターンに類似していた。先に述べた常温区および高温区のそれぞれの差分パターンでは、品種の鎖長分布は遺伝的要因に支配されることを考察したが、同一品種における澱粉構造の高温の影響は、全ての品種で同じ要因、すなわち BE II b 活性低下の原因により生じたものと推測された。BE II b の活性は、温度反応域が 35 °C の高温では低下することが報告されている (Nakamura ら 2010, Ohdan ら 2011)。本試験における高温区は 27 °C / 32 °C と平均気温は 30.5 °C で in vitro における実験系と対応させると BE II b の活性が低下し始める温度帯であった。これらのことから、高温条件下で稲を栽培した場合では植物体においても同様の生理的影響があったことが推測され、その結果、鎖長分布の差分で認められたように、BE II b 活性が低下している可能性があるとして推測された。また、4-1. で行った形質調査の結果では、高温条件下で得られた玄米の粒重が低下していたことや乳白、背白、腹白などが発生していたことも BE II b の活性が低下した時の現象と一致する点がかみいだせる (Sawada ら 2009)。しかし、鎖長分布において BE II b の活性がこがねもちより高いと推測した B 型に属するオトメモチやわたぼうしでは、高温による鎖長の差分は、オトメモチで大きく、わたぼうし

でも中であり、分類した鎖長パターンと温度温度による差分の大きさは一致しなかった。しかし、品種間における糊化ピーク温度の変動巾は、オトメモチが最も変動巾が小さかったことから、より詳細にアミロペクチンの鎖長割合や澱粉を解析し、鎖長の温度反応性や品種の糊化温度の変動性を今後検討する必要があると考えられる。また、高温下におけるアミロペクチンの鎖長の動態とBEⅡbとの関連性については、今後、胚乳澱粉の酵素活性を調べさらに考察する必要があると同時に低温下におけるアミロペクチン鎖長とBEⅡbの活性との関係を調べる必要もあると思われる。

アミロペクチン鎖長分布の割合と糊化特性との関係では、常温区におけるA鎖/B1鎖および(A+B1)鎖の割合と糊化開始温度、糊化ピーク温度、糊化終了温度との間には相関が認められたが、(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖との間には関係はみいだせなかった。これは糊化温度がアミロペクチンの1クラスター内の $DP \leq 24$ の鎖長と隣り合った鎖の間の二重らせんの長さに依存し、クラスターあたりの鎖の数にはほとんど依存しないことを示している。しかし、供試品種の中にはでわのもちのようにA鎖/B1鎖の割合が少ないが(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖の割合が多く、糊化開始温度や糊化ピーク温度が高い品種もあった。また、同様の傾向が高温区においても認められ、(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖の割合が少ない品種は糊化温度が低いとするIgarashiら(2008)の結果とは一致しなかった。その理由として、本実験では人工気象器内の同一条件下で栽培した材料を用いて圃場栽培における出穂期の登熟温度の影響を排除していること、また、供試した水稻糯品種は石崎ら(1994)の硬化性ランクに基づいた9品種を用いているが、鎖長分布や糊化特性の差異が小さく遺伝的には比較的狭い変異であることが考えられる。これに対し、Igarashiら(2008)は北海道産の餅米が軟らかく、その要因を解明するため、産地が異なる宮城県産のこがねもち等、本州産の硬化性が高い代表的な品種のみを解析材料としている点が本試験とは異なっていることがあげられる。これら品種の栽培上の登熟温度については明記されていないものの、北海道産はくちょうもち、風の子もちは、宮城県産こがねもちより低温で登熟したと推定され、はくちょうもちや風の子もちでは本州産の硬化性が高い品種と比較して、1クラスターあたりの鎖の数が多いことが糊化温度を低くする要因であるとしている。以上のことから、環境要因を排除し同一条件下で登熟させた場合には、1クラスターあたりの鎖の数は、必ずしも餅硬化性の指標とされる糊化特性との関連性は弱いと考えられた。

高温区における、A鎖/B1鎖は、糊化開始温度及び糊化ピーク温度との間には弱い負の相関が認められた。これらの相関は常温区の関係より弱いものの、高温条件下においても短鎖の割合が減少すると糊化温度

が高くなることを示し、A鎖/B1鎖は常温区と同様に既知の報告通り、糊化特性に影響を与えていると考えられる。一方、(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖と糊化温度との間には、常温区と同様に関係はみいだせなかった。このことは、北海道産の風の子もちの糊化温度が低く餅が軟らかいことは、品種間で比較すると(A+B1)鎖/(B2+B3)鎖が多いことも起因するが、大きな要因は登熟温度による影響が大きいことを示す。また、常温区、高温区糊化ピーク温度と硬化性ランクは常温区より高温区で一致する品種が多かったが、3品種は一致しなかった。この理由として、糊化ピーク温度が登熟期の気温により左右されていることや石崎らの硬化性ランクづけは新潟県で圃場栽培した材料を用いた結果であり本試験では、餅硬化性を測定せず、指標である糊化特性を用いたこと等も要因として考えられた。一方、餅米で問題とされる硬化性の安定性を明らかにするために品種における糊化ピーク温度の変動性を調べた結果、本試験の条件では、でわのもち、風の子もち、オトメモチで変動巾が小さく、その他の品種は $6^{\circ}\text{C} \sim 8^{\circ}\text{C}$ の範囲でほぼ一定に上昇することが明らかになった。変動巾が小さい3品種については登熟気温の影響が遺伝的に小さいことや、タンパク質、吸水性等の違いが推測された。でわのもちは常温区、高温区ともに糊化ピーク温度が高く登熟気温による変動が小さいことから、硬化性が高いことが求められかつ品質が安定した切り餅用の育種母本に活用できると考えられる。また、風の子もちは、糊化ピーク温度が低くかつ登熟気温による変動が小さいことから、品質が安定した軟らかい餅菓子等の利用に適する母本に活用できると考えられた。

## 5. 総括

本県の糯米奨励品種である、たつこもちときぬのはだは、県内の作付面積の9割以上を占めており、主に切り餅として利用されている。この2品種は、多収で栽培しやすいが、餅加工特性として重要視される硬化性が劣っているため硬化性の高い品種が要望されている。そこで、硬化性が高く実需者の評価が高い品種であるこがねもち以上の品種を育成するために、初期世代において利用可能な新たな餅硬化性の選抜方法を現在の育種に組み込む育種法の開発を最終目標として本研究に着手した。本研究では、①実際の育種選抜の現場では多数の品種や育成系統、個体を評価する必要があるため簡易かつ少量の試料によって硬化性を推定するための新たな方法をみいだすこと、②現地栽培されている糯米を試料として複数年の評価を行いその実用性検証を行うこと、③登熟温度が澱粉構造や理化学特

性に及ぼす影響について調べることを目的とした。

### 1. 白米粒を用いた尿素澱粉溶解法による餅硬化性の少量評価法

糯米の尿素に対する溶解速度および糯澱粉の結晶領域量と餅硬化性との関係を調べ、餅硬化性推定のための新たな方法の開発を目的とした。25℃における尿素に対する溶解速度と餅硬化性との間には高い正の相関 ( $r = -0.97$ ,  $P < 0.01$ ) があり、澱粉の相対結晶化度と餅硬化性との間にも正の相関 ( $r = 0.92$ ,  $P < 0.01$ ) がみいだされた。さらに、溶解速度と石崎ら (1994) の餅硬化性ランクとの間にも Spearman の順位相関検定による高い正の相関 ( $r = 0.88$ ,  $P < 0.05$ ) が認められた。以上の結果から、餅硬化性と澱粉の尿素溶解性との間には定量的な関係があると結論した。溶解速度をパラメーターとした餅硬化性の推定法は少量の試料によって比較的簡易な測定が行えるため餅硬化性を推定する手法の一つとして有効であることが明らかになった。さらに、相対結晶化度の大きい品種では尿素溶解法による溶解速度が小さく、溶出澱粉量が少ないことが推測され、糯品種の餅硬化性の違いは、澱粉の結晶性の違いにも影響されることが示唆された。

### 2. 尿素澱粉溶解法を用いた餅硬化性の少量評価法における検証

餅硬化性と適合度が高い尿素澱粉溶解法 (以下吸光度法) の条件を用いて、硬化性が異なる品種を複数年栽培し、餅硬化性の推定実用性の検証、および従来法である RVA との適合性の検討を行った。さらに、交配材料を用いて、初期世代における選抜の有効性を調べた。3年間に供試した8品種、18サンプルの吸光度と餅硬化性との間には、高い有意な負の相関が認められた ( $r = -0.85$ ,  $P < 0.01$ )。RVAによる糊化ピーク温度と餅硬化性との間には既知の報告通り、高い正の相関が確認され ( $r = 0.85$ ,  $P < 0.01$ )、吸光度法はRVAと同等の精度で餅硬化性を評価できると判断された。2007年に交配した材料を用いて、2009年のF3世代について吸光度法を用いて20個体を評価した。これらを20系統としたF4世代の吸光度と、F3世代の吸光度との間には有意な関係がみいだされ、世代間相関が認められた ( $r = 0.70$ ,  $P < 0.01$ )。また、F4世代における吸光度の広義の遺伝率は、66%であった。これらの系統のうち、80%がこがねもちと同等以上の硬化性を有し、こがねもち以上の硬化性をもつ系統が3系統得られた。以上のことから、吸光度法は初期世代選抜に有効であり、少量の材料で、簡易にRVAと同等の精度で餅硬化性を評価できることが明らかになっ

た。

### 3. 登熟期における温度条件と澱粉構造との関係

登熟期間の温度が澱粉構造と糊化に与える影響を明らかにするために、人工気象器における常温区 (25℃ / 20℃) および高温区 (32℃ / 27℃) で栽培試験を行い、糯品種間による差異と温度反応特性の違いを調べた。こがねもちを基準とし他の品種のアミロペクチンの差分パターンを解析した結果、常温区では既存の澱粉生合成関連酵素の原因遺伝子の鎖長パターンから推測して大きく5つのパターンに分類することが可能であった。高温区においても同様のパターンに分類できたことから、これらの品種によるアミロペクチン構造の違いは、環境要因ではなく遺伝的要因に支配されるものと推測された。同一品種間において、高温区から常温区を引いたアミロペクチンの差分パターンでは、品種による変動の大小の差はあるものの、いずれも同様のパターン、すなわち澱粉生合成関連枝作り酵素 BE II b の活性低下パターンと類似していた。このことより、高温で栽培することにより BE II b の活性が低下した可能性が考えられた。ただし、きぬのはだはこれらと異なるパターンを示した。登熟温度の違いによる糊化ピーク温度は既報通り、高温区の糊化温度が常温区の糊化温度よりも高かった。一方、でわのもち、風の子もち、オトメモチでは、高温区と常温区との糊化温度の差が小さく、これらは鎖長分布パターンとは関係なく温度条件によって糊化温度が変化しないか、あるいは全く異なる変化を示している特徴をもつ可能性が推測された。

### 4. 今後の育種選抜法への利用

本研究では、餅硬化性と尿素溶解速度、澱粉の相対結晶化度が高い相関があることを明らかにし、白米を材料とする餅硬化性の新たな少量評価法を開発した。また登熟期における温度条件が澱粉構造と糊化特性に及ぼす影響を明らかにし、澱粉特性の側面から品種の特徴づけを明らかにした。今後、本研究で開発した吸光度法を用いて従来の育種規模に合わせ硬化性の順位の高いものから選抜でき、F3世代以降では従来の育種法と吸光度法を組み合わせることで育種を進めることが可能である。初期世代において、従来の育種法より少量で数十倍の個体を選抜しても解析することが可能であり、分析時間の短縮、要する人員も少なくできる。目的形質を初期世代で確実に選抜し、栽培特性を含む優れた遺伝子を多様に確保する育種システムの構築が可能であると考えられる。餅硬化性における澱粉構造に関して、品種は温度反応に関わらず遺伝的なアミロペクチンの鎖長分布を有することが明らかになった。た

だし澱粉構造の鎖長パターンは、高温登熟条件下では単一あるいはいくつかの要因により同じ差分パターンを示すことが明らかになった。登熟期における温度条件と澱粉構造および糊化特性の変動性には、解明できなかった課題が残されたが、本研究で供試した品種の澱粉構造とその温度反応性や糊化変動性、糊化特性は、今後の育種の母本活用資料として利用できると考えられ、基礎データを積み上げることにより将来的には糯米澱粉の多様な利活用ができると考えられる。最後に、本研究で積み上げた結果から、第5-1図に澱粉特性に着目した糯米育種のフローを示しまとめとする。



第5-1図 澱粉特性に着目した糯米育種のフロー。

## 6. 謝辞

本論文をまとめるにあたり、終始ご指導とご校閲、ご鞭撻をいただきました。秋田県立大学生物資源科学部応用生物科学科秋山美展教授に深甚なる感謝の意を表します。

また、同大学中村保典理事、同応用生物科学科陳介余教授、同生物生産科学科藤田直子准教授にも終始、ご指導とご校閲、ご鞭撻を戴いた。同生物環境科学科ユーセフィアン、ショハブ准教授からは英文要旨のご校閲を賜った。

同大学の応用生物科学科ならびに生物生産科学科の院生、学部生の方々とモチゼミにおいて有益な議論を交わすことができた。同大学前研究補助職員内海雅佳子氏には実験室において暖かい励ましの言葉を戴いた。

また本研究の遂行にあたり、秋田県総合食品研究センター高橋徹主任研究員からは餅の物性に関して貴重な意見を戴いた。東北大学農学研究科松波麻耶博士からは作物の生理・生態に関するご助言を戴いた。

前秋田県農林水産技術センター農業試験場渡会信紀場長、現農業試験場湯川智行場長、同眞崎聡前主席研

究員、同浅利幸男主席研究員、同佐藤雄幸作物部長からは研究の遂行にあたり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。同試験場作物部川本朋彦主任研究員、加藤和直研究員、佐藤健介研究員、企画管理部関口一樹技能技師、同下田紀幸技能技師からは絶大なご協力を戴いた。さらに、作物部研究補助職員、佐藤かおり氏、黒坂里香氏、佐藤潤之介氏には研究の遂行にあたり多大なご協力を戴いた。

以上の方々には心から感謝を申し上げる。

## 引用文献

- 赤間芳洋・有坂将美 (1992) もち米, 櫛渕欣也監修, 日本の稲育種 スーパーライスへの挑戦. 農業技術協会 東京 p202-208.
- Asaoka, M., Okuno, K., Sugimoto, T., Fuwa, H. (1985) Developmental changes in the structure of endosperm starch of rice (*Oryza sativa* L). *Agric. Biol. Chem.* 49 : 1973-1978.
- 有坂将美 (1994) 米菓製造における澱粉の性質評価に関する研究. 新潟研食品研究所研究報告. 特別号 22-34.
- 千葉雅大・松村修・寺尾富夫・渡邊肇 (2009) 穂の蒸散が穂温と米粒外観品質に及ぼす影響. 北陸作物学会報 44 : 14-18.
- 中場勝・櫻田博・宮野斉・佐野智義・本間猛俊・佐藤久実・結城和博・水戸部昌樹 (2003) 水稻糯品種の糊化特性と餅硬化特性. 日作東北支部報 46 : 51-52.
- 江川和徳・吉井祥一 (1990) 産地・品種を異にした糯米による餅の硬化性. 新潟県食品研究所研究報告 25 : 29-33.
- Fujita, N., Kubo, A., Suh D-S, Wong K-S, Jane J.L, Ozawa, K., Takaiwa, F., Inaba, Y., Nakamura, Y. (2003) Antisense Inhibition of Isoamylase Alters the Structure of Amylopectin and Physicochemical Properties of Starch in Rice Endosperm. *Plant. Cell. Physiol.* 44 : 607-618.
- Fujita, N., Yoshida, M., Kondo, T., Saito, K., Utsumi, Y., Tokunaga, T., Nishi, A., Satoh, H., Park, JH., Jane, JL., Miyao, A., Yasunori, H. Nakamura, Y. (2007) Characterization of SS III a-Deficient Mutants of Rice: The Function of SS III a and Pleiotropic Effects by SS III a Deficiency in the Rice Endosperm. *Plant Physiology.* 144 : 2009-2023.

- F. Zobel., S. N. Young., L. A. Rocca. (1988) Starch Gelatinization : An X-ray Diffraction Study. *Cereal Chem.* 65 : 443-446.
- 蛭谷武志・山本良孝・矢野昌裕・舟根政治 (2008) 染色体断片置換系統群を利用したイネの玄米外観品質に関与する QTL の検出. *育種学研究* 10 : 91-99.
- 濱西知子・八田珠郎・F. S. Jong・貝沼圭二・高橋節子 (2000) 生育段階の異なるサゴ澱粉の相対結晶化度と構造および糊化特性. *J Appl. Glycosci* 47 : 335-341.
- 檜作進 (1977) 澱粉粒の水和, 膨潤および糊化. 澱粉科学ハンドブック (中村道徳, 鈴木繁男編) 朝倉書店 p34-39.
- Hizukuri, S. (1986) Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydr Res.* 147 : 342-347.
- Hizukuri, S. (1995) Starch, analytical aspects. In AE Eliasson, ed, *Carbohydrates in Food.* Marcel Dekker, Lund, Sweden. p347-429.
- 平塚真遊・梅本貴之・岡本和之・勝田真澄 (2008) アミロペクチン鎖長分布に特徴をもつ陸稲のデンプン合成酵素 IIa の特性解析. *日作紀* 77 : 222-223.
- Igarashi, T., Kinoshita, M., Kanda, H., Nakamori, T., Kusume, T. (2008) Evaluation of Hardness of Waxy Rice Cake Based on the Amylopectin Chain-length Distribution. *J. Appl. Glycosci.* 55 : 13-19.
- 五十嵐俊成・神田英毅・木下雅文 (2008) 登熟温度が米のアミロペクチン単位鎖長分布と超長鎖 (LC) 含量に及ぼす影響. *J. Appl. Glycosci.* 55 : 191-197.
- 五十嵐松太郎・国武正彦・白倉治一 (1959) 水稻糯品種「こがねもち」. *新潟県農研報.* 9 : 19-27.
- 石崎和彦 (1994) もち品種の加工特性に関する研究. 第 1 報 もち硬化性の簡易推定法. *北陸作物学会報* 29 : 26-28.
- 石崎和彦・中村恭子・小林和幸・東聡志・阿部聖一・星豊一 (1995) もち品種の加工特性に関する研究. 第 2 報 もち硬化性の品種間差. *北陸作物学会報* 30 : 7-8.
- 石崎和彦・中村恭子・東聡志・小林和幸・阿部聖一・星豊一 (1996) もち品種の加工特性に関する研究. 第 3 報 こがねもちに由来するもち品種のもち硬化性. *北陸作物学会報* 31 : 16-17.
- 石崎和彦 (2006) 水稻の高温登熟性に関する検定方法の評価と基準品種の選定. *日作紀* 75(4) : 502-506.
- 石崎和彦・金田智・松井崇晃 (2007) 水稻糯品種における穂肥窒素の移植期及び品種の違いが餅の硬化性に与える影響. *日作紀* 76 : 301-305.
- Jenkins, P.J., Cameron, R.E., Donald, A.M. (1993) A universal feature in the structure of starch granules from different botanical sources. *Starch.* 45 : 417-420.
- Jiang, H., Dian, W., Wu, P. (2003) Effect of high temperature on fine structure of amylopectin in rice endosperm by reducing the activity of the starch branching enzyme. *Phytochemistry.* 63 : 53-59.
- 加藤武光・畠山俊彦・眞崎聡・斎藤正一・福田兼四郎・小野充・島田孝之助・田口光雄・山本寅雄 (1995) 水稻新品種「きぬのはだ」「たつこもち」の育成. *秋田農試研報* 34 : 23-48.
- 小林麻子・矢野雅裕・富田桂・林猛・水林辰実・田野井真 (2008) イネの高温登熟耐性に関する QTL 解析. *育種学研究* 10 (別 2) : 153.
- 小林和幸・松井崇晃・平尾賢一・重山博信・阿部聖一 (2000) もち品種の加工特性に関する研究. 第 5 報 餅硬化性の推定に関する 2, 3 の知見. *北陸作物学会報* 35 : 13-15.
- 小牧有三・太田久稔・福井清美・上原泰樹 (2000) 高温登熟条件の違いによる水稻品種の玄米品質の差異. *北陸作物学会報* 35 : 10-12.
- 近藤彦彦 他 (2005) イネの高温登熟研究 今後の方向. *農業技術* 60 : 462-470.
- Kubo, A., Yuguchi, Y., Takemasa, M., Suzuki, S., Satoh, H., Kitamura, S. (2008) The use of micro-beam X-ray diffraction for the characterization of starch crystal structure in rice mutant kernels of waxy, amylose extender, and surary 1. *Journal of Cereal Science.* 48 : 92-97.
- 松江勇次・内村要介・佐藤大和 (2002) アミログラム特性の糊化開始温度による水稻もち品種の餅硬化速度の評価方法と糯硬化速度からみた糊化開始温度と登熟温度. *日作紀* 71 : 57-61.
- 松葉捷也 (1991) イネ穂の着粒構造の分析およびその形成機構論. *中国農研報* 9 : 11-58.
- 松村修 (2005) 高温登熟による米の品質被害-その背景と対策. *農業技術* 60 : 1-10.
- 三ツ井敏明・福山利範 (2005) デンプン代謝からみた白未熟粒発生メカニズム(研究の現状). *農業技術* 60 : 11-16.
- 三ツ井敏明・福山利範・大山卓じ (2006) イネ高温登熟障害の発生メカニズム. *地球温暖化地域学* 2:1-4.
- 森田敏・白土宏之・高梨純一・藤田耕之輔 (2002) 高温が水稻の登熟に及ぼす影響 -高夜温と高昼温の影響の違いの解析. *日作紀* 71 : 102-109.
- 森田敏・白土宏之・高梨純一・藤田耕之輔 (2004) 高温が水稻の登熟に及ぼす影響. *日作紀* 73 : 77-83.
- Nakamura, Y. (2002) Towards a Better Understanding of the Metabolic System for Amylopectin

- Biosynthesis in Plants : Rice Endosperm as a Model Tissue. *Plant Cell Physiol.* 43 : 718-725.
- Nakamura, Y., Sakurai, A., Inaba, Y., Kimura, K., Iwasawa, N., Nagamine, T. (2002) The fine Structure of Amylopectin in Endosperm from Asian Cultivated Rice can be largely Classified into two Classes. *Starch/Stärke.* 54 : 117-131.
- Nakamura, Y. (2004) The Structure of Starch can be manipulated by changing the expression levels of starch branching enzyme IIb in rice endosperm. *Plant Biotech. Journal.* 2 : 507-516.
- Nakamura, Y., Francisco PB Jr, Hosaka, Y., Sato, A., Sawada, T., Kubo, A., Fujita, N. (2005) Essential amino acid of starch synthase IIa differentiate amylopectin structure and starch quality between *japonica* and *indica* rice varieties. *Plant Mol Biol.* 58 : 213-227.
- 中村保典 (2006) デンプンメタボリックエンジニアリング. 化学と生物 44(3) : 155-162.
- Nakamura, Y., Utsumi, Y., Sawada, T., Aihara, S., Utsumi, T., Yoshida, M., Kitamura, S. (2010) . Characterization of the Reactions of Starch Branching Enzymes from Rice Endosperm. *Plant Cell Physiol.* 58 : 213-227.
- 理学電機株式会社分析センター編 (1985) X線回折の手引き. 理学電機 東京 p56-65.
- 西愛子 (1997) イネ種子胚乳デンプンの尿素糊化特性. 九州大学遺伝子開発管理講座 修士学位論文.
- Nishi, A., Nakamura, Y., Tanaka, N., Satoh, H. (2001) Biochemical and Genetic Analysis of the Effects of Amylose-Extender Mutation in Rice Endosperm. *Plant Physiology.* 127 : 459-472.
- 日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編 (2007) 白末熟粒発生と粒重低下-高温の範囲と遭遇時期との関係- 高温障害に強いイネ. 北陸育種談話会編 p37-41.
- Ohdan, T., Sawada, T., Nakamura, Y. (2011) Effect of Temperature on Starch Branching Enzyme Properties of Rice. *J. Appl. Glycosci.* 58 : 19-26.
- 岡本和之・根本博 (1998) ラピッド・ビスコ・アナライザーによる陸稲糯品種の餅硬化性の評価と高度の餅硬化性を持つ「関東糯 172 号」. 日作紀 67 : 492-497.
- Okamoto, K., Kobayashi, K., Hirasawa, K., Yuguchi, Y., Takemasa, M., Suzuki, S., Satoh, H., Kitamura, S. (2002) Structural Differences in Amylopectin Affect Waxy Rice Processing. *Plant Prod. Sci.* 5(1) : 45-50.
- 岡本和之 (2007) 陸稲系統「関東糯 172 号」の高速餅硬化性に関する研究. 茨城農総生工研研報 10 : 1-43.
- Okamoto, K., Hirasawa, H., Umamoto, T. (2009) Screening and Characterization of cultivar with M-type amylopectin in Japanese upland rice. *Breeding Science.* 59 : 179-186.
- 斉藤昭三 (1987) 米の加工-新潟県における米研究を中心として-農林水産省農業究センター編. 稲と米生産から食卓まで. 農林水産技術協会 東京 p108-112.
- 斎藤正一・畠山俊彦・京谷薫・石山六郎・島田孝之助・大森友太郎・眞崎聡・嶋貫和夫・山口邦夫・福田兼四郎 (1985) 水稲新奨励品種「アキユタカ」「あさあけ」「ヒデコモチ」について. 秋田農試研報 27 : 71-145.
- 斎藤正一・山口邦夫・須藤孝久・佐々木正太郎・島田孝之助・嶋貫和夫 (1974) 水稲新奨励品種「ヒメノモチ」について. 秋田農試研報 20 : 1-22.
- 佐藤光 (1994) イネ胚乳澱粉変異体の作成とその解析. *Nippon Nogeikagaku kaishi* 11 : 1557-1580.
- 佐藤弘一・斉藤真一・平俊雄 (2003) 味度メーターおよびラピッド・ビスコ・アナライザーを利用した水稲良食味系統選抜. 日作紀 72 : 390-394.
- 佐藤弘一・斉藤真一・吉田智彦 (2005) 水稲糯品種の餅硬化性, 糊化特性および尿素崩壊性に関する選抜方法. 日作紀 74 : 310-315.
- 佐藤弘一 (2007) 福島県における水稲品種の用途別品質に関する研究. 東京農工大学院連合研究科博士学位論文.
- Sasaki, T., Kohyama, K., Suzuki, Y., Okamoto, K., T. R. Noel., S. G. Ring. (2009) Physicochemical characteristics of waxy rice starch influencing the in vitro digestibility of a starch gel. *Food Chemistry.* 116 : 137-142.
- Satoh, H., Nishi, A., Yamashita, K., Takemoto, Y., Tanaka, Y., Hosaka, Y., Sakurai, A., Fujita, N., Nakamura, Y. (2003) Starch-Branching Enzyme I-Deficient Mutation Specifically Affects the Structure and Properties of Starch in Endosperm. *Plant Physiol.* 133 : 1111-1121.
- Sawada, T., Francisco, P.B. Jr., Aihara, S., Utsumi, Y., Yoshida, M., Oyama, Y., Tsuzuki, M., Satoh, H., Nakamura, Y. (2009) Chlorella starch branching enzyme II (BE II) can complement the function of BE IIb in rice endosperm. *Plant Cell Physiol.* 50 : 1062-1074.
- Sonneveld, E.J., Visser, J. W. (1975) Automatic collection of powder data from photographs. *J. Appl. Cryst.* 8 : 1-7.
- 杉浦和彦・坂紀邦・工藤悟 (2005) 水稲糯品種における育種選抜のための餅硬化性及び切り餅食味の簡易



- 評価法. 日作紀 74 : 30-35.
- Suzuki, K., Nakamura, S., Satoh, H., Ohtsubo, K. (2006) Relationship between Chain-length Distributions of Waxy Rice Amylopectins and Physical Properties of Rice Grains . *J. Appl. Glycosci.* 53 : 227-232.
- 新版植物育種学 (1992) 文永堂出版株式会社 p71-75.
- 高橋正樹・小田中浩哉・扇良明・中野央子・神山芳典 (1997) エチレンジアミン四酢酸ニカリウム塩を用いた水稻糯品種のアミログラム測定について. 日作東北支部報 40 : 27-28.
- Tanaka, N., Fujita, N., Nishi, A., Satoh, H., Hosaka, Y., Ugaki, M., Kawasaki, S., Nakamura, Y. (2004) The Structure of Starch can be manipulated by changing the expression levels of starch branching enzyme II b in rice endosperm. *Plant Biotech. Journal.* 2 : 507-516.
- 田畑美奈子 (2005) 背白米および基白米発生に関する遺伝要因解析. 農業技術 65 : 453-470.
- 田畑美奈子・飯田幸彦・大澤良 (2006) 水稻の登熟期の高温条件下における背白米および背白米発生率の遺伝解析. 育種学研究 7 : 9-15.
- 寺島一男・梅本貴之・荻原均 (2001) 東北地域における 1999 年の夏季高温とコメの品質低下. 北陸作物学会報 36 : 106-109.
- 円谷アンナ (2011) 利用特性の異なるモチ米品種のデンプン解析. 秋田県立大学生物生産科学科修士学位論文.
- 友正達美・山下正 (2009) 水稻高温障害対策における用水管理の課題と対策の方向. 農工研技報 209 : 131-138.
- 豊島英親・岡留博司・大坪研一・須藤充・堀末登・稲津脩・成塚彰久・相崎万裕美・大川俊彦・井ノ内直良・不破英次 (1997) ラピッド・ビスコ・アナライザーによる米粉粘度特性の微量迅速測定方法による共同試験. 日本食品科学工学会誌 44 : 579-584.
- Umamoto, T., Nakamura, Y., Sato, H., Terashima, K. (1999) Differences in Amylopectin Structure Between Two Rice Varieties in Relation to the Effects of Temperature During Grain-Filling. *Starch/Starke.* 51 : 58-62.
- 梅本貴之 (2009) アミロペクチン鎖長分布に基づくデンプン特性解析法. 日作紀 78 : 107-111.
- 若松謙一・佐々木修・上菌一郎・田中明男 (2007) 暖地水稻の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響. 日作紀 76 : 71-78.
- 若松謙一・佐々木修・田中明男 (2009) : 暖地水稻における高温登熟条件下の日射量および湿度が玄米品質に及ぼす影響. 日作紀 78 : 476-482.
- 柳瀬肇・遠藤勲・竹生新治郎 (1981) もち米の品質, 加工適性に関する研究 (第 1 報) もち米の性状, 搗精品質ならびに二, 三の貯蔵性. 食総研報 38 : 1-9.
- 柳瀬肇・遠藤勲・竹生新治郎 (1982a) もち米の品質, 加工適性に関する研究 (第 2 報) 国内産もち米の貯蔵と加工適性. 食総研報 39 : 1-14.
- 柳瀬肇・遠藤勲・竹生新治郎 (1982b) もち米の品質, 加工適性に関する研究 (第 4 報) 国内産もち米と輸入もち米の品質指標ならびに品質評価. 食総研報 40 : 8-16.
- 柳瀬肇・遠藤勲・竹生新治郎 (1984) もち米の品質, 加工適性に関する研究 (第 6 報) もち生地の湯溶けならびに膨化伸展性の銘柄間差異. 食総研報 45 : 1-8.
- Yamakawa, H., Hirose, T., Kuroda, M., Yamaguchi, T. (2007) Comprehensive Expression Profiling of Rice Grain Filling-related Genes under High Temperature using DNA Microarray . *Plant Physiology.* 144 : 258-227.
- Yamakawa, H., Hakata, M. (2010) Atras of Grain Filling-Related Metabolism under High Temperature: Joint Analysis of Metabolome and Transcriptome Demonstrated Inhibition of Starch Accumulation and Induction of Amino Acid Accumulation. *Plant Cell Physiol.* 51 : 795-809.
- 山下浩 (1996) もち. イネ育種マニュアル. 農業研究センター資料 30 : 70-73.
- 横尾浩明・狄聖南・李慶林 (1993) アミログラムによる水稻糯品種の分類と近赤外分析機, オートアナライザーによる簡易推定法. 佐賀農セ研報 28 : 47-56.

## Abstract

**Establishment of an estimation method for the rice cake hardness by urea dissolution of *waxy* rice, and influence of the growth temperature during the seed development on the rice cake hardness**

Ikuko KODAMA

1. The urea dissolution method is routinely used to screen rice starch mutants. I have arranged this method to screen rice varieties for their hardness of glutinous rice cake. Although a previous report described the qualitative determination of rice cake hardness with this method, my approach is characterized by using the absorbance of iodo-starch reaction to quantify the rice cake hardness. To carry out this method, I examined 20 dehusked grains of four rice cultivars differing in their hardness, and found that rice cake hardness was directly correlated with the urea dissolution rate. Furthermore, I found that cultivars producing hard rice cakes showed a direct correlation with their starch crystallinity.

2. Using the urea dissolution absorbance method, I subsequently determined the hardness of eight rice varieties over a three year (2008-2010) period. Rice cake hardness showed a negative correlation with absorbance at 530 nm, but a positive correlation with Rapid Visco Analysis (RVA) characteristics. I also confirmed the positive correlation in F3 and F4 breeding lines of 'koganemochi', which produces the hardest rice cake. These findings confirm that the urea dissolution method is a simple, small-scale and highly accurate procedure for selecting hard rice lines at early breeding generations.

3. It is well known that the temperature during ripening is a major factor affecting the hardness of rice cake, and is related to the structure of amylopectin. I, therefore, compared the chain length distributions of amylopectin in several glutinous rice cultivars at 25 °C/20 °C to those at 32 °C /27 °C day/night temperatures using the chain length pattern of 'koganemochi' as standard. I determined that each rice starch mutant has its own defining amylopectin chain length pattern, and that based on these I could classify rice cultivars into specific groups. Furthermore, all the rice varieties analyzed showed a chain length pattern similar to the low-activity starch synthase BEIIb pattern. Therefore, different rice varieties show specific chain length patterns at high temperatures.

(Bull. Akita Agric. Exp. Stn. ××, - ,20××)

## 研 究 報 告 第 5 3 号

---

平成25年3月発行

編集兼発行 秋 田 県 農 業 試 験 場  
代 表 者 湯 川 智 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)-3939

---