

秋田県における中苗「あきたこまち」の分けつ発生 次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産技 術の確立に関する研究

金 和 裕

Stable production of rice with high grain quality and good eating quality by focusing on the nodal positions and orders of tillers in rice cultivar 'Akitakomachi' transplanted at the 4th leaf stage in Akita prefecture

Kazuhiro KON

目 次

第1章 緒 論	2	1. 育苗箱全量施肥・密植栽培による高品質・良食味米安定生産技術の実証	35
第2章 高品質・良食味米安定生産に適する分けつの次位・節位の解明	3	2. 深水栽培による高品質・良食味米安定生産技術の実証	40
第3章 生育初期における根域や土壌溶液中アンモニア態窒素濃度の違いが次位・節位別分けつの発生に及ぼす影響	11	第7章 分けつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産マニュアルの策定	46
第4章 水稻群落において次位・節位別分けつの1穂精玄米重が異なる要因の解明	19	第8章 総 括	51
第5章 穂の次位・節位構成が同一である群落における有効茎歩合の違いが収量, 品質, 食味に及ぼす影響	29	謝 辞	53
第6章 分けつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産技術の実証	35	引用文献	53
		Summary	57

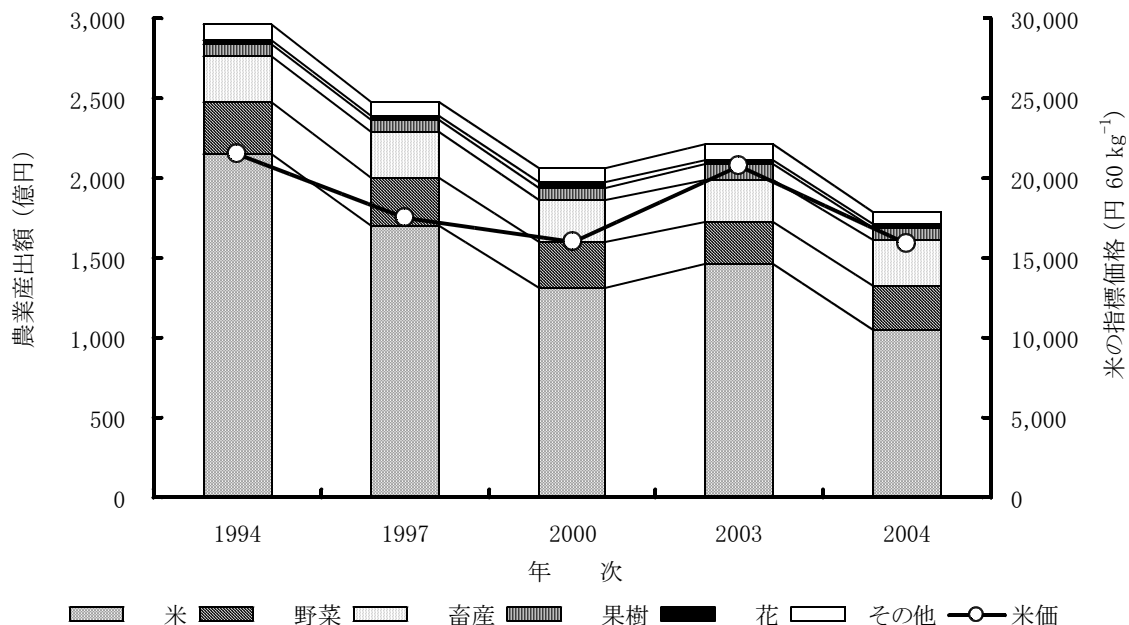
※本論文は秋田県立大学大学院生物資源科学研究科審査学位論文（博士）を一部加筆修正したものである。
2007年3月12日 受理

第1章 緒論

近年、良食味米品種に対する消費者の嗜好や米流通市場の需要が高まり、各県で独自の良食味品種が育成されている。その結果、産地間競争が激化し、良食味のみでは産地の優位性は維持できない現状にある。また、新食糧法施行後の制度改正に伴う新規参入の増加等により米流通市場においては業界の競争が激化しているため、米卸売業者は価格競争を前提として米の取扱規模を拡大する傾向にある(上野 2000)。さらに、流通段階においては米の取扱規模が大きいほど精米時の搗精割合が高く製品化率の良い米、即ち整粒歩合の高い米への要求が強くなる傾向にある(大泉 1998)。これらのことから、米流通市場では良食味に加え整粒

歩合の高い高品質米の需要が今まで以上に高まるものと考えられる。

一方、水稻を巡る気象環境は、1960～1970年代に比べて1980年代以降で変動が大きくなり、冷夏や猛暑などの出現頻度が大きいことが報告されている(平沼 2000)。このような気象変動により、米の収量・品質・食味はしばしば低下し農家や地域経済に多大な影響を及ぼしている。特に、秋田県は農業産出額に占める米依存度が高く、近年の米価の下落や気象変動による米収穫量の減少に連動して県の農業産出額も減少している(第1-1図)。



第1-1図 秋田県の農業産出額・米の指標価格の推移
(東北農政局秋田統計・情報センター)。

このため、農家や消費者、米流通市場からは、変動する気象条件下においても従来の良食味・安定収量に加えて整粒歩合などの玄米品質を高める高品質・良食味米安定生産技術の確立が求められている。

さて、米の品質、特に整粒歩合は精玄米のうち整粒の占める量の割合(原則として重量%)をいう(松本 1989)。整粒とは、被害粒、死米、未熟粒、異種穀粒、異物を除いた粒を指し、検査標準品との外観の比較により判定される。整粒は登熟が完全に行われた粒であり、整粒歩合の高い米は精米歩留りが高い(大坪 1996)。

一方、米の食味は食味官能検査によって評価されるが、検査に多大な時間と労力を要する。そこで、食味

評価を迅速化するため、食味官能値と米の化学成分の関係が検討されている。指標としては、玄米や精米の主成分であるデンプン(特にアミロース)およびタンパク質含有率に着目した知見が多く見られる。精米のアミロース含有率は、品種や登熟期間の温度条件によって左右され、アミロース含有率が低いほど良食味であることが知られている(稲津 1988)。一方で、栽培条件が同じ場合の同一品種内では、アミロース含有率が高いほど良食味であることが報告されており(Matsue ら 1995)、食味との関係は一定の傾向を示さない。

また、品種が同一の場合、食味に対しては精米中のタンパク質含有率が支配的な役割をはたしており、精

米中のタンパク質含有率が高くなると食味は低下する(松江ら 1996)。さらに、タンパク質含有率は、肥培管理や土壌条件に左右されることが知られている(石間ら 1974, 松江ら 1996)。このように、良食味米の指標としては、一般的に精米タンパク質含有率が用いられることが多い。以上のことから、現在生産現場で求められる高品質・良食味米は、整粒歩合が高く、タンパク質含有率が低い米と考えられている。

次に、水稻の収量は穂数と1穂精玄米重の積で求められる。穂数は分げつの発生頻度と穂への有効化率により決定される。そして、穂数は収量構成要素(穂数, 1穂初数, 登熟歩合, 千粒重)の中で年次変動および収量に対する寄与率が最も大きいことが報告されている(注:東北農政局秋田統計情報事務所 1990. 作況試験累年成績書. 171-172)。このため、穂数の決定要素である分げつの発生頻度と穂への有効化率の変動が収量の年次、地域変動の大きな要因になっていると考えられる。

これまでの知見では、分げつの発生数や穂への有効化率は発生次位・節位で異なること(星川 1975)、穂重(山本・池内 1990, 丹野 1992a)、整粒歩合(錦ら 1987)、玄米窒素濃度(丹野・飯島 1991)や精米のタンパク質含有率(Matsueら 1996)は主茎や次位・節位別分げつの着生粒で異なることが知られている。しかし、これらの報告はいずれも分げつの発生頻度、穂への有効化率、穂重、整粒歩合、タンパク質含有率を単独で考察したものが多く、相互の関係を総合的に検討し、安定した高品質・良食味米生産技術を実証した例は無い。

そこで、本研究では第2章で分げつの発生頻度と穂への有効化率、着生粒の精玄米重および整粒歩合、精米タンパク質含有率を検討し、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げつの次位・節位を明らかにした。第3章では、生育初期において分げつの発生頻度の変動に影響を及ぼす要因を明らかにするため、根域や土壌溶液中アンモニア態窒素濃度について検討した。第4章では、主茎や分げつの次位・節位の違いによって1穂玄米重が異なる要因を明らかにするため、各茎の穂揃期の稈・葉鞘中の非構造性炭水化物(Non-Structural Carbohydrate, NSC)量、群落における葉面積や葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布、出液速度を検討した。一方、有効穂の次位・節位構成が同一であっても、無効化する分げつの発生数の違いにより有効歩合が異なることが想定される。このため、第5章では有効歩合が異なる同一の有効穂における次位・節位別分げつの品質・食味・収量について検討した。第6章では、構築した分げつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産技術の実証試験を行った。さらに、第7章では実証試験の結果を基に、山間高冷地を除く秋田県全域に適応可能な高品質・良食味米安定生産マニュアルを策定した。

中苗「あきたこまち」に着目したのは、試験を実施した秋田県内の水稻うち品種作付け面積の85%を「あきたこまち」が(注:秋田県農林水産部 2005. 平成17年度稲作指導指針. 225)、機械移植面積の72%を中苗が占めているためである(注:秋田県農林水産部 2005. 平成17年度稲作指導指針. 248)。

第2章 高品質・良食味米安定生産に適する分げつの次位・節位の解明

はじめに

分げつの発生は、光強度(関谷 1952a)、水温(松島ら 1966)、温度較差(田中ら 1968, 柿崎 1979)、気温と光(花田 1974)、土壌水分(植田 1935, 関谷 1952b)、水深(酒井 1949, 関谷 1951, 荒井・宮原 1956, 錦ら 1987, 古谷ら 1991, 大江ら 1994, 菅井ら 1999)、肥料成分(玖村 1956, 高橋ら 1956, 本谷 1961, 関谷 1963a, 関谷 1963b, 石塚・田中 1969, Tanaka and Garcia 1965, Yoshida and Hayakawa 1970)、苗齢(星川 1975)、栽植密度(佐藤・清水 1958)、品種(本田 1977)などの気象環境や栽培条件によって異なる。

そして、分げつの発生数や穂への有効化率は発生次位・節位で異なること(星川 1975)、穂重(山本・池内 1990, 丹野 1992a)、整粒歩合(錦ら 1987)、玄米

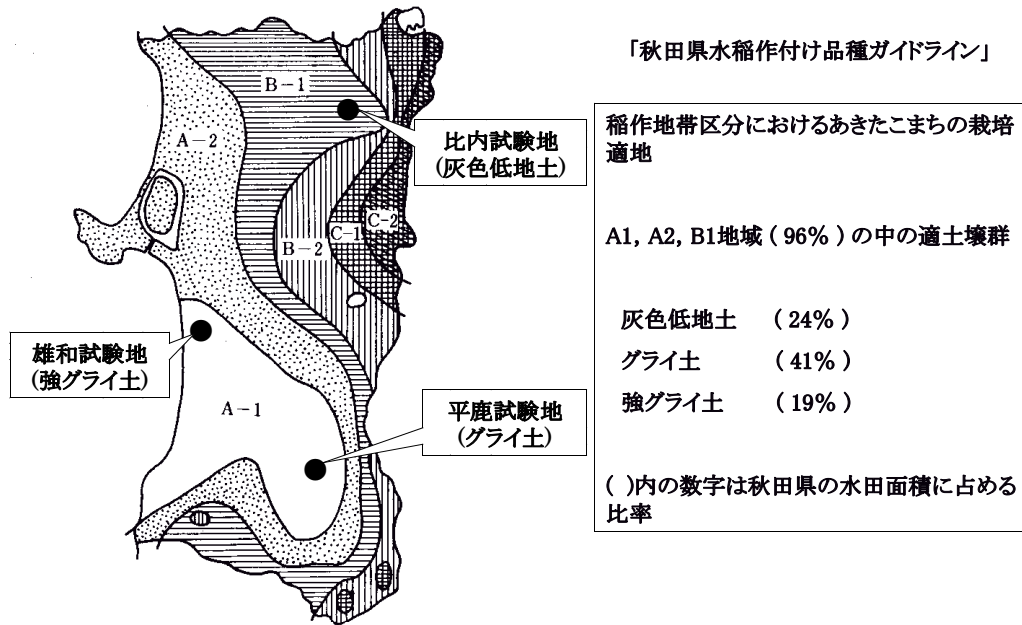
窒素濃度(丹野・飯島 1991)や精米のタンパク質含有率(Matsueら 1996)は主茎や次位・節位別分げつの着生粒で異なることが知られている。しかし、これらの報告はいずれも分げつの発生頻度、穂への有効化率、穂重、整粒歩合、タンパク質含有率を単独で考察したものが多く、相互の関係を総合的に検討し、高品質・良食味米安定生産に適した分げつの次位・節位を検討した例は無い。

そこで、本章でははじめに安定生産の視点から分げつの次位・節位と分げつの発生時期、発生頻度、穂への有効化率との関係およびそれらの年次・地域変動を検討した。次に、主茎および分げつの次位・節位の違いが着生粒の精玄米重、整粒歩合、精米タンパク質含有率に及ぼす影響およびこれらの相互の関係について総合的に検討し、高い整粒歩合と低タンパク質、安定収量を得られる分げつの次位・節位を明らかにした。

材料と方法

試験は、2001年と2002年に秋田県内の3カ所の水田圃場、県北部の比内試験地（大館市比内町、礫質灰色低地土）、県中央部の雄和試験地（秋田市雄和秋田県農業試験場内、細粒強グライ土）、県南部の平鹿試験地（横手市平鹿町、細粒グライ土）で実施した。各試験地の位置、耕種概要と土壌の化学性をそれぞれ第2-1図、第2-1表、第2-2表に示した。

供試品種は「あきたこまち」とした。内寸 28 cm × 58 cm の育苗箱に乾粒重で 100 g を播種し、35 日間育苗した 4.3 ~ 4.5 葉期（不完全葉を第 1 葉とした）の中苗を機械移植した。各試験地で、分けつの次位・節位を識別するため、移植時に 10 株について 1 株当たり 4 本を手植えし、株内の 1 個体、計 10 個体の分けつの発生次位・節位を成熟期まで定期的に調査した。調査は分けつ発生後、順次節位別に色の違うリングをはめて区別して行った（第 2-2 図）。分けつ茎



第2-1図 秋田県水稲作付け品種ガイドラインと現地試験実施場所。

第2-1表 各試験地の耕種概要と出穂期および収量。

試験年次	試験地	試験面積 m ²	移植時期	栽植密度 株 m ⁻²	基肥N量 kg ha ⁻¹	出穂期	収量 t ha ⁻¹
2001	比内	126	5月10日	22.2	70	8月10日	6.57
	雄和	47	5月15日	22.2	50	7月31日	5.47
	平鹿	150	5月23日	22.2	50	8月11日	5.51
2002	比内	150	5月10日	23.1	70	8月5日	5.99
	雄和	89	5月15日	22.2	50	8月2日	5.43
	雄和	97	5月24日	22.2	50	8月7日	5.83
	平鹿	225	5月23日	22.2	50	8月1日	5.27

基肥は化成肥料を用い、リン酸 (P₂O₅)、カリ (K₂O) は窒素と同量を全層に施肥した。

追肥は各試験地とも減数分裂期に硫酸で窒素 20 kg ha⁻¹ を施肥した。

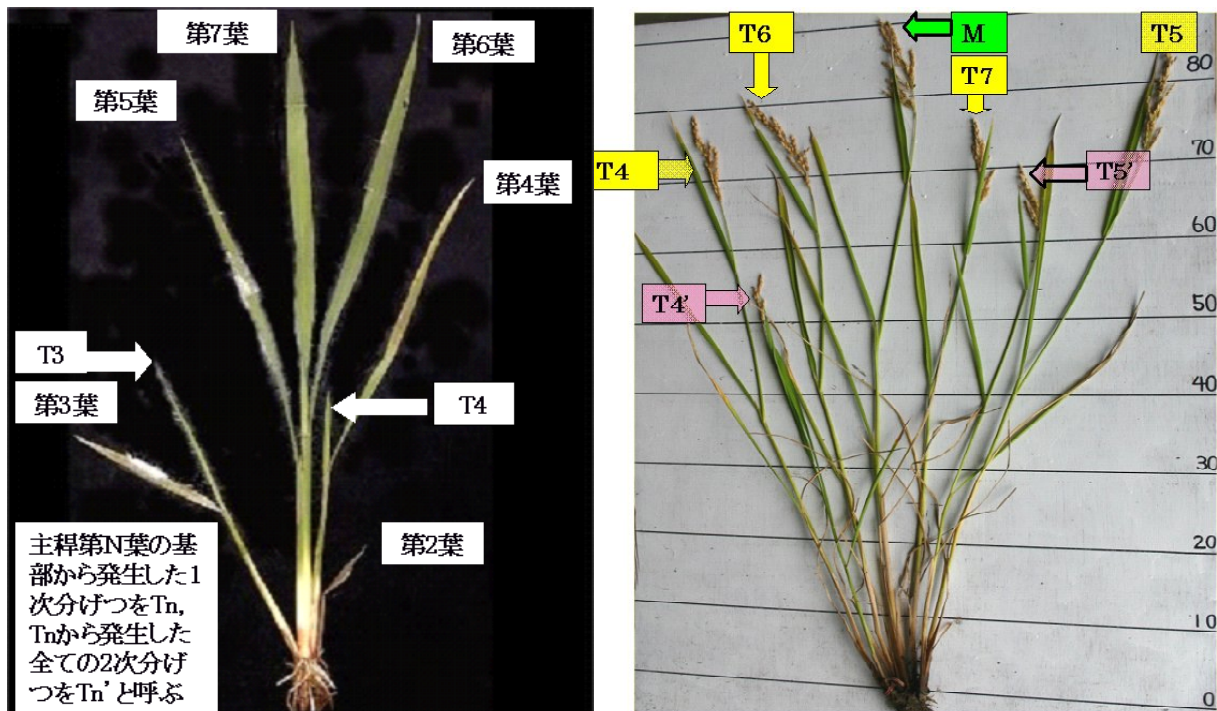
第2-2表 試験地土壌の化学性。

試験地	土壤型	pH (H ₂ O)	全炭素	全窒素	C/N比	CEC	交換性陽イオン			可給態 リン酸	可給態 ケイ酸
							K	Mg	Ca		
			-(g kg ⁻¹)-			----- (cmol _c kg ⁻¹) -----			-(mg kg ⁻¹)-		
比内	礫質灰色低地土	6.0	30.9	2.5	12.4	19.3	0.7	1.5	9.4	553	379
農試	細粒強グライ土	5.6	44.3	3.4	13.0	24.5	0.5	3.4	8.4	170	331
平鹿	細粒グライ土	5.2	37.5	3.0	12.5	31.8	0.7	2.9	12.7	344	329

表中の可給態リン酸はトルオーグ法で、可給態ケイ酸は湛水静置培養法で測定した。



第 2-2 図 リングによる分げつ発生次位・節位の調査方法.



第 2-3 図 主茎および次位・節位別分げつの呼称.

の呼称は、第 1 葉の基部から発生した分げつを第 1 節からの分げつとし、主茎を M、主茎の第 3 ～ 8 節から出現した 1 次分げつを T3 ～ T8、そして T4、T5、T6 から出現したすべての 2 次分げつをそれぞれ T4'、T5'、T6' とした (第 2-3 図)。分げつ発生時期の調査は、雄和試験地の 5 月 15 日植えの株について行い、同時に主稈葉齢を調査した。

2002 年には、次位・節位別分げつごとに 1 穂粒数、精玄米歩合、精玄米千粒重、1 穂精玄米重、整粒歩合、精米タンパク質含有率および精米 1 粒当たりタンパク質含有量を測定した。精玄米は、粒厚 1.9 mm 以上の

玄米とした。精玄米歩合は、全粒数に対する精玄米粒数の比率とした。整粒歩合は、精玄米について農林水産省の農産物検査規格規程に基づき目視で判定し、粒数比率で示した。精米タンパク質含有率および精米 1 粒当たりタンパク質含有量は、精玄米を歩留まり 90 ～ 91 % に搗精した精米について 1093 Cyclotec Sample Mill (Foss Tecator 社製) で粉碎した後、ケルダール法により硫酸-過酸化水素分解し、その分解液の全窒素含有量を窒素分析計 (TRAACS 2000 BRAN+LUEBBE 社製) を用いて定量し、これにタンパク質換算係数 5.95 を乗じて求めた。なお、精米タンパク質含有率、

精玄米千粒重および1穂精玄米重は水分を15%に換算して算出した。

2001年および2002年の移植期から出穂期までの気象データは、農業試験場から約15kmの距離にあるアメダス観測地点秋田のデータを使用した。

結 果

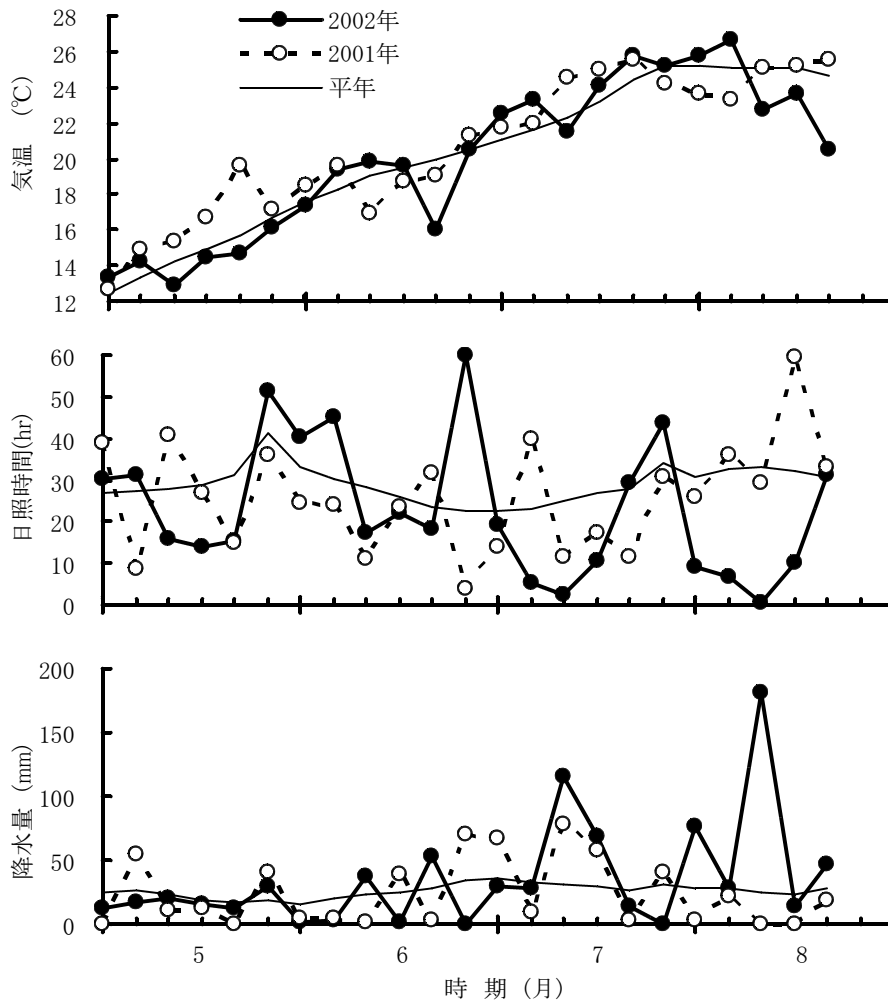
1. 気象概況

第2-4図に、アメダス観測による2001年および2002年の移植期から出穂期までの気象経過を示した。平年に比べて、2001年は移植時の5月中旬から6月上旬まで高温で経過し、その後6月中旬は低温・少照で経過した。6月下旬から7月中旬までは高温・多雨・少照で経過し、7月下旬から出穂期にかけて低温で経過した。2002年は、移植時の5月中旬から5月下旬まで低温で経過したが、6月以降は、6月下旬、7月中旬を除き出穂期まで高温で経過した。

2. 分けつ発生の特徴

第2-3表に、2001年および2002年の各主稈葉齢における次位・節位別分けつの発生率を示した。なお、調査10個体当たりの次位・節位別分けつの発生総数は、2001年の1次分けつは、T3が3、T4が10、T5が9、T6が10、T7が10、T8が2、2次分けつは、T4が1、T5が6本であった。2002年の1次分けつは、T3が0、T4が7、T5が8、T6が10、T7が10、T8が2、2次分けつはT4が9、T5が6、T6が1本であった。

2001年における第4節以上の節位(第n節)の1次分けつは、主稈第n+3葉の伸展中に78~100%の範囲で多く発生した。すなわち、T4、T5、T6、T7はそれぞれ主稈第7、8、9、10葉伸展期間中の発生率が高かった。また、T3は主稈第7葉伸展中に33%、第8葉伸展中に67%が発生した。さらに、2次分けつについては、T4が第9~11葉、T5が第10~11葉の伸展中にそれぞれ20~50%の範囲で発生した。



第2-4図 生育期間の半月別気象条件 (アメダス観測地点秋田)。

2002年については、第5節以上の節位（第n節）の1次分げつで2001年と同様に主稈第n+3葉の伸展中に88～100%の範囲で発生した。しかし、T3は発生せず、T4は第7葉伸展中に29%、第8葉伸展中に71%発生した。2次分げつは、T4'とT5'は主稈第10～11葉、T6'は第11葉が伸展中にそれぞれ17～100%の範囲で発生した。

第2-5図に、2001、2002年の全試験地における次位・節位別分げつの発生頻度を示した。分げつの発生は試験年次・試験地によって変動したが、1次分げつはT3～T8、2次分げつはT4'～T6'で発生した。次位・節位別分げつの発生頻度は、1次分げつはT3で11%と低かったのに対して、T4～T7で70～100%と増加し、T8で再び44%に低下した。2次分げつは、T4'

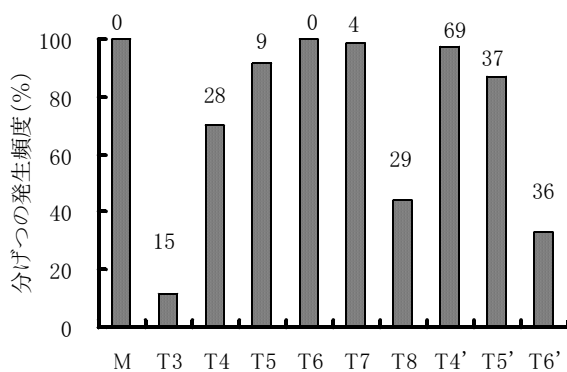
T5'でそれぞれ97%、87%と高く、T6'は33%と低かった。試験地間の変動や年次変動の大きさを示す標準偏差は、1次分げつではT5～T7で0～9%と小さく、T3・T4・T8で15～29%とやや大きかった。一方、2次分げつでは、36～69%といずれの節位においても変動幅が大きかった。

第2-6図に、2001、2002年の全試験地における次位・節位別分げつの穂への有効化率を示した。穂への有効化率は、MとT4～T7は90～100%と高く、ついでT3が83%と高かった。一方、T8やT4'・T5'・T6'は0～36%と低かった。標準偏差はMとT4～T7で0～8%と小さく、T3・T8やT4'・T5'で10～29%と大きかった。

第2-3表 各主稈葉齢における次位・節位別分げつの発生率。

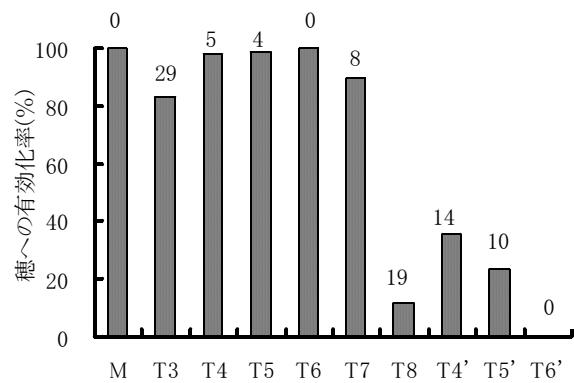
試験年次	主稈葉齢(葉)	次位・節位別分げつの発生率(%)								
		T3	T4	T5	T6	T7	T8	T4'	T5'	T6'
2001	5.1-6.0									
	6.1-7.0	33	90	11						
	7.1-8.0	67	10	78						
	8.1-9.0			11	90				20	
	9.1-10.0				10	100			40	50
	10.1-11.0						100		40	50
2002	5.1-6.0									
	6.1-7.0		29							
	7.1-8.0		71	88						
	8.1-9.0			12	100					
	9.1-10.0					100		67	83	
	10.1-11.0						100	33	17	100

分げつの発生率(%) = 各葉齢における次位・節位別分げつ発生数 ÷ 次位・節位別分げつ発生総数 × 100.



第2-5図 全試験地における次位・節位別分げつの発生頻度 (2001～2002年).

図中の数字は標準偏差を示す。調査個体数は70。
発生頻度 = 分げつの発生数 ÷ 調査個体数 × 100.



第2-6図 次位・節位別分げつの穂への有効化率 (2001～2002年).

図中の数字は標準偏差を示す。

穂への有効化率 = 穂数 ÷ 分げつ数 × 100.

T3およびT6'は7試験地中それぞれ3、5試験地での発生であった。

3. 主茎および次位・節位別分けつの1穂籾数, 精玄米歩合および精玄米千粒重

第2-4表に, 2002年のすべての試験地において穂へ有効化したM, T4~T7およびT4'・T5'について, 1穂籾数, 精玄米歩合および精玄米千粒重を示した。1穂籾数は, 38.6~88.5粒の範囲にあり, MおよびT4~T6がT4'・T5'に比べ有意に多かった。T7の1穂籾数は, 有意差は無いもののT4より少なく, T4'より多い傾向にあった。精玄米歩合は83.8~91.9%, 精玄米千粒重は, 21.7~23.6gの範囲にあったが, それぞれ主茎および次位・節位別分けつ間に有意な違いは認められなかった。しかし, 有意差は無いもののMとT4~T7の精玄米千粒重は, T4'・T5'に比べ重い傾向にあった。

4. 主茎および次位・節位別分けつの1穂精玄米重, 整粒歩合, 精米タンパク質含有率, 精米1粒当たりタンパク質含有量

第2-5表に, 2002年にすべての試験地において有効化したM, T4~T7およびT4'・T5'について1穂精玄米重, 整粒歩合, 精米タンパク質含有率, 精米1粒当たりタンパク質含有量を示した。いずれも主茎および次位・節位別分けつ間に有意差が認められた。

1穂精玄米重は, 0.89~1.90gの範囲にあり, MおよびT4~T6がT4'・T5'に比べ有意に重かった。T7は, 有意差は無いもののT4より軽く, T5'より重い傾向にあった。標準偏差はMおよびT4~T7で0.04~0.13gと小さかったのに対して, T4'・T5'では0.26~0.45gと大きかった。

整粒歩合は, 55.7~87.9%の範囲で, MおよびT4~T7がT4'に比べ有意に高かった。T5'は, 有意差は無いもののT4より低く, T4'より高い傾向にあった。

標準偏差は, M, T4~T7, T5'で2.2~5.9%と小さく, T4'で32.5%と大きかった。

精米タンパク質含有率は, 5.69~6.60%の範囲で, MおよびT4・T5がT7やT5'に比べ有意に低かった。T6は, 有意差は無いもののT4より高く, T4'より低い傾向にあり, 分けつの発生時期が早いものほど低い傾向にあった。標準偏差は, MおよびT4~T7で0.28~0.35%と小さく, T4'・T5'で0.44~0.60%と大きかった。

精米1粒当たりタンパク質含有量は, 1.34~1.52mgの範囲で, MおよびT5, T4'がT7に比べ有意に少なく, MとT4~T6やT4'の間には有意な差が認められなかった。標準偏差は, T4'で0.14mgと大きく, それ以外は0.07~0.10mgと小さかった。

5. 主茎および次位・節位別分けつの品質, 食味, 収量に係わる要素の相互関係

第2-6表に, 主茎および次位・節位別分けつの1穂籾数, 精玄米歩合, 精玄米千粒重, 1穂精玄米重, 整粒歩合, 精米タンパク質含有率, 精米1粒当たりタンパク質含有量について相互の相関係数を示した。1穂籾数が多い主茎や分けつほど精玄米歩合は高く($r=0.430^*$), 精玄米千粒重($r=0.646^{***}$)や1穂精玄米重($r=0.942^{***}$)が重い傾向にあった。また, 1穂精玄米重が重い主茎や分けつほど整粒歩合($r=0.662^{***}$)は高く, 精米タンパク質含有率($r=-0.488^{**}$)が低い傾向にあった。このほか, 精玄米千粒重が重い主茎や分けつほど1穂精玄米重($r=0.779^{***}$)は重い傾向にあった。さらに, 精米タンパク質含有率が低い主茎や分けつほど精米1粒当たりタンパク質含有量($r=0.767^{***}$)は少なく, 精玄米千粒重($r=-0.387^*$)は重い傾向にあった。

第2-4表 主茎および次位・節位別分けつの1穂籾数, 精玄米歩合, 精玄米千粒重 (2002年)。

次位 節位	1穂籾数 粒		精玄米歩合 %		精玄米千粒重 g		
	値	標準偏差	値	標準偏差	値	標準偏差	
M	88.5	± 5.4	a	90.8	± 1.7	23.6 ± 0.7	
T4	68.3	± 6.1	bc	91.4	± 2.6	23.6 ± 0.7	
T5	75.4	± 5.8	ab	90.0	± 2.3	23.5 ± 0.5	
T6	73.4	± 2.7	b	90.4	± 2.3	23.4 ± 0.6	
T7	56.7	± 1.8	cd	91.9	± 2.5	23.1 ± 0.6	
T4'	43.6	± 14.8	de	83.8	± 14.8	21.7 ± 1.9	
T5'	38.6	± 4.1	e	90.1	± 5.6	22.6 ± 0.7	
F検定	**			N.S.		N.S.	

表中の数値は平均値±標準偏差。アルファベットの違いは, LSD1%水準で有意差があることを示す。

表中の**は1%水準で分けつの次位・節位間に有意差のあることを示す。

表中のN.S.は分けつの次位・節位間に有意差の無いことを示す。

精玄米歩合(%) = 精玄米粒数 ÷ 総籾数 × 100。

第 2-5 表 主茎および次位・節位別分げつの 1 穂精玄米重、整粒歩合、精米タンパク質含有率、精米 1 粒当たりタンパク質含有量 (2002 年).

次位 節位	1穂精玄米重			整粒歩合		精米タンパク質 含有率		精米1粒当たり タンパク質含有量	
	g			%		%		mg	
M	1.90	± 0.13	a	85.9	± 5.7 a	5.69	± 0.28 c	1.34	± 0.08 c
T4	1.46	± 0.10	ab	82.7	± 5.6 a	5.96	± 0.35 bc	1.41	± 0.10 abc
T5	1.60	± 0.13	ab	86.2	± 5.9 a	5.87	± 0.35 bc	1.38	± 0.07 bc
T6	1.55	± 0.07	ab	87.0	± 2.8 a	6.20	± 0.33 abc	1.45	± 0.08 abc
T7	1.21	± 0.04	bc	87.9	± 4.7 a	6.56	± 0.30 a	1.52	± 0.08 a
T4'	0.89	± 0.45	c	55.7	± 32.5 b	6.38	± 0.60 ab	1.38	± 0.14 bc
T5'	0.93	± 0.26	c	79.7	± 2.2 ab	6.60	± 0.44 a	1.49	± 0.07 ab
F検定	**			*		**		**	

表中の数値は平均値±標準偏差. アルファベットの違いは, LSD1 %水準で有意差があることを示す.
表中の*は 5 %水準で, **は 1 %水準で有意差のあることを示す.

第 2-6 表 主茎および次位・節位別分げつの品質, 食味, 収量に関わる要素の相互関係 (2002 年).

	1穂粒数	精玄米 歩合	精玄米 千粒重	1穂精 玄米重	整粒歩合	精米タンパク 質含有率	精米1粒当たり タンパク質含有量
	A	B	C	D	E	F	G
A	1.000	0.430 *	0.646 ***	0.942 ***	0.570 **	-0.539 **	-0.113
B		1.000	0.829 ***	0.592 ***	0.714 ***	-0.225	0.355
C			1.000	0.779 ***	0.726 ***	-0.387 *	0.293
D				1.000	0.662 ***	-0.488 **	0.032
E					1.000	-0.017	0.486 **
F						1.000	0.767 ***
G							1.000

n=28, 表中の*は 5 %, **は 1 %, ***は 0.1 %水準でそれぞれ有意であることを示す.

考 察

本章では, 秋田県で作付け面積が全県の 85 %と最も多い「あきたこまち」の中苗移植栽培において, 高品質・良食味米安定生産に適した分げつの次位・節位を明らかにするため, 主茎および各分げつの発生頻度や穂への有効化率, 着生粒の精玄米重, 整粒歩合, 精米タンパク質含有率を検討し, 高い整粒歩合と低タンパク質, 安定収量をえられる分げつの次位・節位を検討した. 安定生産の目標収量は, 秋田県における作況指数の基準となる平年収量 5.70 t ha⁻¹ と設定した.

1. 高位安定生産に適した分げつの次位・節位

丹野 (1992a) は, コシヒカリやササニシキの稚苗移植栽培において主茎および次位・節位別分げつの穂重の違いやその変動の大きさから, M と T3 ~ T6 に依存した栽培法が安定多収に結びつくことを報告している. しかし, 水稻の収量は穂数と 1 穂精玄米重の積で求められ, 穂数は分げつの発生頻度と穂への有効化率により決定される. したがって, 安定収量を考えた場合, 主茎や次位・節位別分げつの穂重の違いやその変動の大きさに加え, 分げつの発生頻度と穂への有効

化率について検討する必要がある. すなわち, 気象変動にかかわらず分げつの発生頻度と穂への有効化率が安定して高く, さらに 1 穂精玄米重が重い次位・節位の分げつを主体に穂数を確保することが安定収量確保にとって望ましいと考えられる. 本試験の結果から, 「あきたこまち」の中苗移植栽培で分げつの発生頻度が安定して高いのは M と T5 ~ T7 (第 2-5 図), 穂への有効化率が高いのは M と T4 ~ T7 (第 2-6 図), 1 穂精玄米重が重いのは M および T4 ~ T6, 次いで T7 であった (第 2-5 表). 1 穂精玄米重が重い分げつの次位・節位が丹野 (1992a) の結果と異なるのは, 丹野が用いた稚苗に比べ本試験で用いた中苗の移植時の苗齢が 1 葉多いためと考えられた.

栽植密度 21.2 株 m⁻² で, 1 株 4 本植えの慣行栽培を想定すると, M と T4 ~ T7 により確保できる穂数は 424 本 m⁻² となる. 目標収量を 5.70 t ha⁻¹ とした場合の目標穂数は概ね 415 ~ 450 本 m⁻² であることから (注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 95), M と T4 ~ T7 により目標穂数はほぼ確保できることになる. したがって, 上述の論議により, M および T4 ~ T7 を主体に穂数を確保することが目標収量の安定確保にとって望ましいと考えられた.

なお、「あきたこまち」の中苗移植栽培では、T4、T8 および T4・T5は、発生頻度や穂への有効化率の変動が大きいためから穂数変動の主な要因になっていると考えられる(第2-5図、第2-6図)。山本(1991)は、活着が遅延するほど分けつの出現節位が上昇することを報告している。本試験においても、移植後高温で経過し活着が良好であった2001年に比べ、低温で経過した2002年は活着が遅延し、T4は発生が遅れ(第2-3表)、発生総数が少なかった。これらのことから、中苗の移植栽培における高品質・良食味米安定生産のためには、気象条件にかかわらずT4を安定的に確保することが重要であり、健苗の育成、適期移植などの基本技術の重要性が改めて確認された。また、穂数変動のもう一つの要因であるT8および2次分けつは、主稈第10葉伸展期間以降に主として発生する(第2-3表)。MやT4～T7を主体に穂数を確保するためには、T8および2次分けつの発生を効率的に抑制する栽培管理技術の確立が不可欠であり、その方法や時期について検討する必要がある。

2. 高位安定生産に適した主茎や次位・節位分けつ着生粒の整粒歩合と精米タンパク質含有率

安定生産に適したMとT4～T7は、T4・T5に比べ整粒歩合は高い傾向にあった(第2-5表)。これは、深水栽培において、T4～T6が、下位のT2・T3、上位のT7・T8および2次分けつに比べ整粒歩合が高いことを報告した錦ら(1987)の結果と同じ傾向にあった。

また、T7の精米タンパク質含有率は、T4・T5と同様に高かったが、発生時期の早いMとT4～T6は低い傾向にあった(第2-5表)。この結果は、稚苗移植においてMやT3～T6の玄米窒素濃度は、T7や2次分けつなどの高次位・高節位から出現した分けつに比べ低い傾向にあるという報告(丹野・飯島1991)や、主茎や1次分けつが2次や3次分けつに比べ精米タンパク質含有率が低いという報告(Matsueら1996)とほぼ一致していた。

3. 主茎や次位・節位別分けつの品質、食味、収量に係わる要素の相互関係

はじめに、主茎や次位・節位別分けつの1穂粒数と精玄米歩合、精玄米千粒重、1穂精玄米重の関係について検討した。その結果、それぞれに5%、0.1%、0.1%水準で有意な正の相関関係が認められた(第2-6表)。これらの結果は、稚苗を用いた試験で、MやT3～T6が他の次位・節位分けつに比べ粒数が多いにもかかわらず登熟歩合が高く、玄米千粒重や玄米重が重いことを指摘した丹野(1992a)の結果と同じ傾向にあった。丹野(1992a)は、この要因として出穂期において主茎や次位・節位別分けつの窒素保有量と1穂

粒数との間に高い正の相関関係が認められること、MやT3～T6は他の次位・節位分けつに比べ窒素吸収量が多くシンクとしての粒数が十分に確保されていること、ソースとしての糖+デンプン保有量が多いことを指摘している。さらに、丹野(1992b)はMやT3～T6は出穂期以降の炭素固定量が多いことを明らかにしている。本試験においても、MやT4～T7は、T4・T5に比べ1穂粒数が多く精玄米千粒重や1穂精玄米重が重い傾向にあった(第2-4表、第2-5表)。この理由として、MやT4～T7は、1)粒数が多いこと、2)出穂期に稈・葉鞘中に蓄積した糖、デンプンなど非構造的炭水化物(Non-Structural Carbohydrate, NSC)量が多いこと、3)出穂期以降の炭素固定量が多いことなどが推察される。

次に、主茎や次位・節位別分けつ着生粒の1穂精玄米重と整粒歩合の関係について検討した。その結果、0.1%水準で有意な正の相関関係が認められた。整粒は登熟が完全に行われた粒である(大坪1996)。1穂精玄米重の重い主茎や分けつは、前述のように出穂期の稈・葉鞘中にソースとしてのNSC量が多いこと、登熟期間の炭素固定量が多いことから、米粒の登熟が進み1穂の中で完全に登熟した粒の比率が高まり整粒歩合が高くなったものと推察した。

さらに、主茎や次位・節位別分けつ着生粒の1穂精玄米重と精米タンパク質含有率の関係について検討した。その結果、1%水準で有意な負の相関関係が認められた。これまで、精米のタンパク質含有率は精米1粒当たり窒素量と精米1粒重によって決定されることが知られている(松田2002)。そこで、精米タンパク質含有率と精玄米千粒重の関係について検討した結果、5%水準で有意な負の相関関係が認められた(第2-6表)。この結果は、従来のMatsueら(1996)の結果と一致している。加えて、1穂精玄米重と精玄米千粒重との間に0.1%水準で有意な正の相関関係が認められている(第2-6表)。これらのことから、1穂精玄米重が重い主茎や分けつは、精米1粒重が重いことによって精米タンパク質含有率の低下に寄与しているものと考えられた。

一方、Matsueら(1996)は次位・節位別分けつの精米タンパク質含有率と千粒重の関係を詳細に検討しているが、1粒当たり精米窒素量との関係については未解析である。本試験において、精米タンパク質含有率と精米1粒当たりタンパク質含有量の関係を検討した結果、0.1%水準で有意な正の相関関係が認められた(第2-6表)。また、精米1粒当たりタンパク質含有量は主茎や次位・節位別分けつ間で有意な差が認められた(第2-5表)。これらのことから、本試験における主茎および次位・節位別分けつの精米タンパク質含有率は、精玄米千粒重に加え精米1粒当たりタンパク質含有量に大きな影響を受けているものと考えられ

た。これまで、主茎や次位・節位別分げつ間で精米 1 粒当たりタンパク質含有量の差を検討した報告は見あたらず、今後要因を含めさらに研究を進める必要があると考えられた。

結 論

中苗「あきたこまち」の移植栽培において、M および T4 ~ T7 は異なる気象年次において安定して分げつの発生頻度や穂への有効化率が高く 1 穂精玄米重

が重い傾向にあった。一方、栽植密度 21.2 株 m^2 で 1 株 4 本植えの慣行栽培を想定すると、M および T4 ~ T7 により確保できる穂数は 424 本 m^2 で、目標収量を 5.70 t ha^{-1} とした場合に必要な穂数はほぼ確保できる。また、M および T4 ~ T7 はその他の分げつに比べ着生粒の整粒歩合が高く、精米タンパク質含有率が低い傾向にあった。これらのことから、M および T4 ~ T7 は高品質・良食味米安定生産に適していることを明らかにした。

第 3 章 生育初期における根域や土壤溶液中アンモニア態窒素濃度の違いが次位・節位別分げつの発生に及ぼす影響

はじめに

第 2 章において、「あきたこまち」の中苗移植栽培では地域や年次によって移植後早い時期に発生する第 4 節 1 次分げつの発生頻度が変動すること、その後発生する第 5 ~ 7 節 1 次分げつは発生頻度が高く変動が小さいことを示した。また、安定した高品質・良食味米を生産するためには第 4 節 1 次分げつの発生頻度を高めることが重要であることを指摘した。

さて、水稻の分げつ発生は土壤環境や気象環境により大きな影響を受けることが知られている。そして、肥料成分では窒素（玖村 1956, 関谷 1963a, Tanaka and Garcia 1965, 石塚・田中 1969）、リン酸（関谷 1963b, 本谷 1961）が分げつ発生に大きな影響を及ぼしている。また、土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度と初期茎数との間に正の相関関係が（安藤ら 1988, Sasaki ら 2002）、低温年次には水田土壤の陽イオン交換容量（Cation Exchange Capacity, CEC）と初期茎数との間に負の相関関係が認められることが報告されている（安藤ら 1988）。しかし、これらの報告はいずれも初期茎数との関係を検討したもので、次位・節位別分げつの発生については未検討である。

一方、水稻による窒素、リン酸、カリウムの吸収はマズフローの寄与は少なく、大部分は根と養分の接触や拡散などによって供給されることが知られている（岡島・今井 1973）。また、根の伸長や発根は苗質、移植後の気象環境や土壤環境の違いによって異なることが報告されている（山本 1997）。このため、生育初期において移植後の根の伸長域によって根に接する土量が異なることが水稻の窒素やリン酸の吸収に影響を及ぼし、次位・節位別分げつの発生に影響を及ぼしていることが考えられる。

そこで、本章では生育初期の根域や土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度の違いが水稻の次位・節位別分

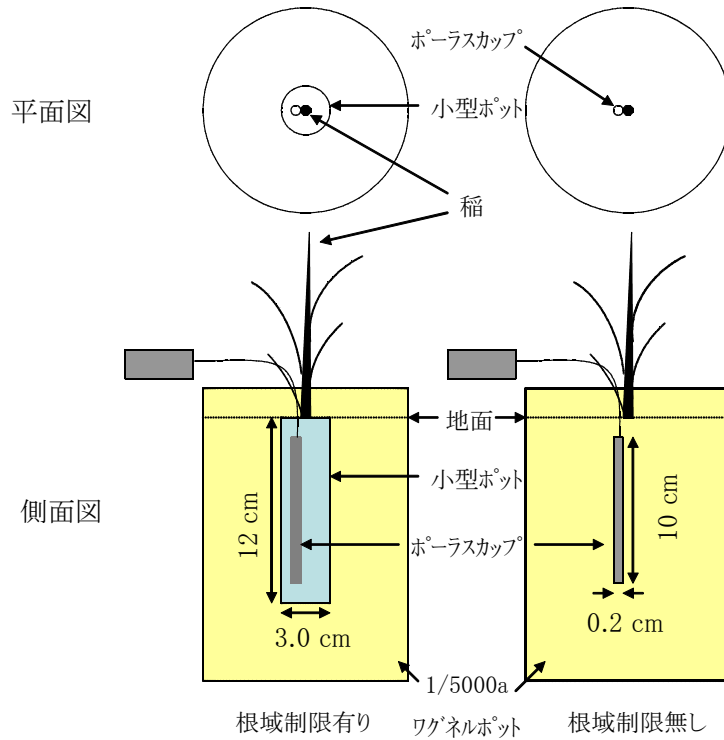
げつの発生に及ぼす影響について検討した。

材料と方法

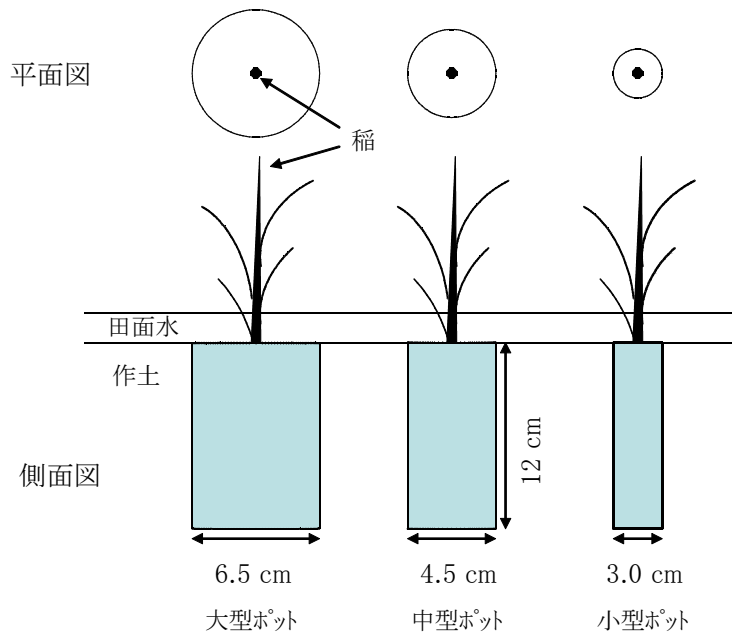
1. 根域の制限や土壤溶液中アンモニア態窒素濃度の違いが次位・節位別分げつの発生に及ぼす影響（試験 1）

2004 年に秋田市雄和の秋田県農業試験場内水田圃場（雄和土壤）と、南秋田郡大潟村の秋田県立大学短期大学部付属農場水田圃場（大潟土壤）の土壤を供試して試験を実施した。1/5000 a ワグネルポットに 5 mm の篩を通した生土をそれぞれ 4 kg 充填し（ポット当たりの乾土重は雄和土が 2.6 kg, 大潟土が 2.5 kg）、N, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ 0.12 g 施肥し、耕起・代かきを行った。5 月 25 日に、4.2 葉（不完全葉を第 1 葉とした）の「あきたこまち」の苗を各ワグネルポットに 1 本移植した。さらに、各土壤で根域制限の影響を確認するため、水は通すものの根は通さない不織布を用いて高さ 12 cm, 直径 3.0 cm, 容積 85 cm^3 の円筒状の有底ポット（小型ポット）を作成し、施肥・耕起・代かきを行ったワグネルポットの土を充填し同ワグネルポットの中心部に埋め込んだ。この小型ポット内に 4.2 葉の「あきたこまち」の苗をそれぞれ 1 本移植した。試験は、それぞれ 3 反復で実施した（第 3-1 図）。全ポットで分げつの次位・節位を調査した。調査は分げつ発生後、順次節位別に色の違うリングをはめて区別して行った。分げつ茎の呼称は、第 1 葉の基部から発生した分げつを第 1 節からの分げつとし、主茎を M, 主茎の第 2 ~ 6 節から出現した 1 次分げつを T2 ~ T6 とした。

また、水稻生育中の土壤溶液を採取するため、鳥山（1994）の方法により各ポットの移植苗の横に長さ 10 cm, 直径 0.2 cm の土壤溶液採取管（ポーラスカップ）を 1 ~ 11 cm の深さに埋設した（第 3-1 図）。



第3-1図 ワグネルポット内への小型ポットの埋め込み位置と土壌溶液の採取位置.



第3-2図 水田圃場への各ポットの埋め込み.

そして、移植直後から1週間毎に真空採血管で土壌溶液を採取した。1回当たりの溶液の採取量は約10 mlであった。採取した土壌溶液中のアンモニア態窒素およびリン酸についてオートアナライザー (TRAACS 2000 BLAN+LUEBBE 社製) により比色定量した。試験終了時の土壌残存窒素量 (土壌溶液中アンモニア態窒素量+交換性アンモニア態窒素量) は、生土に10% KCl 溶液を添加し1時間振とう抽出後オートアナライザー (TRAACS 2000 BLAN+LUEBBE 社製) によ

り比色定量した。

さらに、試験終了時の6月22日に、ポット内の水稻を採取し、草丈、葉齢、地上部乾物重を測定した。水稻の窒素含有率、リン酸含有率は、乾物重を測定した試料を粉碎し、ケルダール法により硫酸-過酸化水素分解した分解液中の窒素、リン酸量を、オートアナライザー (TRAACS 2000 BLAN+LUEBBE 社製) を用いて定量し求めた。

2. 根域の制限が水稻の生育や次位・節位別分げつの発生に及ぼす影響 (試験 2)

試験は、2004年に秋田県農業試験場内の水田圃場で実施した。水は通すものの根は通さない不織布を用いて円筒状で有底の高さ12 cm、直径6.5 cm、容積398 cm³のポット(大型ポット)、直径4.5 cm、容積191 cm³のポット(中型ポット)、直径3.0 cm、容積85 cm³のポット(小型ポット)を作成した。基肥として、化成肥料でN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ60 kg ha⁻¹施肥し、耕起・代かきを行った水田圃場の作土を各ポットに充填し圃場内に埋設した(第3-2図)。5月15日に、各ポットに根を全て切除した葉齢4.2葉の「あきたこまち」の苗を1本移植した。各ポット5反復で試験を実施した。

全ポットで分げつの次位・節位を調査した。調査は分げつ発生後、順次節位別に色の違うリングをはめて区別して行った。分げつ茎の呼称は、第1葉の基部から発生した分げつを第1節からの分げつとし、主茎をM、主茎の第4～7節から出現した1次分げつをT4～T7とした。

6月17日に、各ポットの稲を根が切れないように採取し、草丈、葉齢、地上部乾物重及び根重を測定した。水稻の窒素含有率、リン酸含有率は、乾物重を測定した試料を粉碎し、ケルダール法により硫酸-過酸化水素分解した分解液中の窒素、リン酸量を、オートアナライザー(TRAACS 2000 BLAN+LUEBBE社製)を用いて定量し求めた。

3. 土壌環境や気象環境の違いが移植後の発根と次位・節位別分げつ発生に及ぼす影響 (試験 3)

2004年に、秋田市雄和の秋田県農業試験場内水田圃場(雄和圃場)と、南秋田郡大潟村の秋田県農業試験場大潟農場水田圃場(大潟圃場)で試験を実施した。各圃場の基肥は、化成肥料でN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ雄和試験地は60 kg ha⁻¹、大潟試験地は50 kg

ha⁻¹施用した。栽植密度は、雄和圃場が20.8、大潟圃場が21.2株m⁻²であった。

5月15日に、各圃場で葉齢4.2葉の「あきたこまち」の苗を20株について1株当たり4本を手植えし、株内の1個体、計20個体について分げつの発生次位・節位を成熟期まで定期的に調査した。調査は分げつ発生後、順次節位別に色の違うリングをはめて区別して行った。分げつ茎の呼称は、第1葉の基部から発生した分げつを第1節からの分げつとし、主茎をM、主茎の第4～8節から出現した1次分げつをT4～T8、そしてT4、T5、T6から出現したすべての2次分げつをそれぞれT4'、T5'、T6'とした。

また、同日に各圃場に秋田県農業試験場内のハウスで育苗した葉齢4.2葉の「あきたこまち」のせん根苗(根を全て切除した苗)をそれぞれ30本移植し、10日後に根が切れないように採取し各個体の草丈、葉齢、地上部乾物重、発根数、発根長、発根重を調査した。

平均気温は、雄和圃場は農業試験場気象観測装置、大潟圃場はアメダス観測地点大潟のデータを使用した。地温は、地下3 cmの温度を測定した。

結 果

1. 根域の制限や土壌溶液中アンモニア態窒素濃度の違いが次位・節位別分げつの発生に及ぼす影響 (試験 1)

第3-1表に、雄和と大潟の各土壌の化学性を示した。どちらもスメクタイトを主要粘土鉱物とする細粒強グライ土である。pHは、雄和土壌に比べ大潟土壌で高かった。また、雄和土壌に比べ大潟土壌で全炭素、全窒素はいずれも低くC/N比も低かった。そして、CECは大潟土壌で48.0 cmol_c kg⁻¹と雄和土壌の24.5 cmol_c kg⁻¹に比べかなり高かった。可給態リン酸、可給態ケイ酸はともに雄和土壌に比べ大潟土壌が多かった。

第3-1表 供試土壌の化学性.

土壌	土壌型	pH (H ₂ O)	全炭素	全窒素	C/N比	CEC	交換性陽イオン			可給態 リン酸	可給態 ケイ酸
							K	Mg	Ca		
			-(g kg ⁻¹)-			----- (cmol _c kg ⁻¹) -----			-(mg kg ⁻¹)-		
雄和土壌	細粒強グライ土	5.6	44.3	3.4	13.0	24.5	0.5	3.4	8.4	170	331
大潟土壌	細粒強グライ土	7.4	28.8	2.6	11.1	48.0	1.1	4.2	54.6	203	1231

表中の可給態リン酸はトルオーグ法で、可給態ケイ酸は湛水静置培養法で測定した。

試験期間中の気象の経過は、農業試験場から約15 kmの距離にあるアメダス観測地点秋田のデータによると次のようであった。移植翌日から10日間の平均気温は17.8℃で平年差+0.7℃と高かった。また、積算日照時間は81時間で平年比119%と多かった。移植日(5月25日)から試験終了日(6月22日)ま

での平均気温は、18.5℃で平年差+0.3℃と高かった。また、積算日照時間は178時間で平年比102%とやや多かった。

そして、深さ3 cmの平均地温は、移植翌日から10日間は雄和土壌が19.0℃、大潟土壌が18.3℃であった。移植日から試験終了日までの平均地温は、雄和と土

壤が 19.8℃、大潟土壤が 19.1℃であった。

第 3-2 表に、試験終了時の次位・節位別分けつの発生頻度を示した。雄和土壤区では、根域制限無し区の分けつの発生頻度は M, T3 ~ T5 は 100%と高かったが、T2 は 33%, T6 は 67%と低かった。根域制限有り区の分けつ発生頻度は、M, T5 は 100%と高かったが T2 は 0%, T3 は 33%, T4 は 67%, T6 は 33%と低かった。大潟土壤区では、根域制限無し区の分けつの発生頻度は、M, T3, T5 は 100%と高かったが、T2, T4, T6 は 33%と低かった。根域制限有り区の分けつ発生頻度は、M, T5 は 100%と高かったがそれ以外は 0%と低かった。なお、各試験区とも主に T2 は 6月19日～22日、T3 および T4 は 6月13～15日の主程第7葉伸展中に、T5 は 6月17～19日の主程第8葉伸展中に、T6 は 6月22日の主程第9葉伸展中にそれぞれ発生した。

第 3-3 図に、土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度の推移を示した。両土壤とも、土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度は根域制限無し区で栽培期間中に大きな変化は認められなかったが、根域制限有り区は徐々に低

下した。また、根域制限の有無にかかわらず、移植時の土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度は雄和土壤区で 3.1～3.3 mg L⁻¹、大潟土壤区で 1.2～1.4 mg L⁻¹と雄和土壤区に比べ大潟土壤区で低く、その後も雄和土壤区に比べ大潟土壤区で低く推移した。

第 3-4 図に、移植 21 日後 (6月15日) の土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度とポット当たり茎数の関係を示した。移植 21 日後の時点では、T3, T4 以外の分けつは未発生であった。また、土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度とポット当たり茎数の間に有意な相関関係は認められなかった。

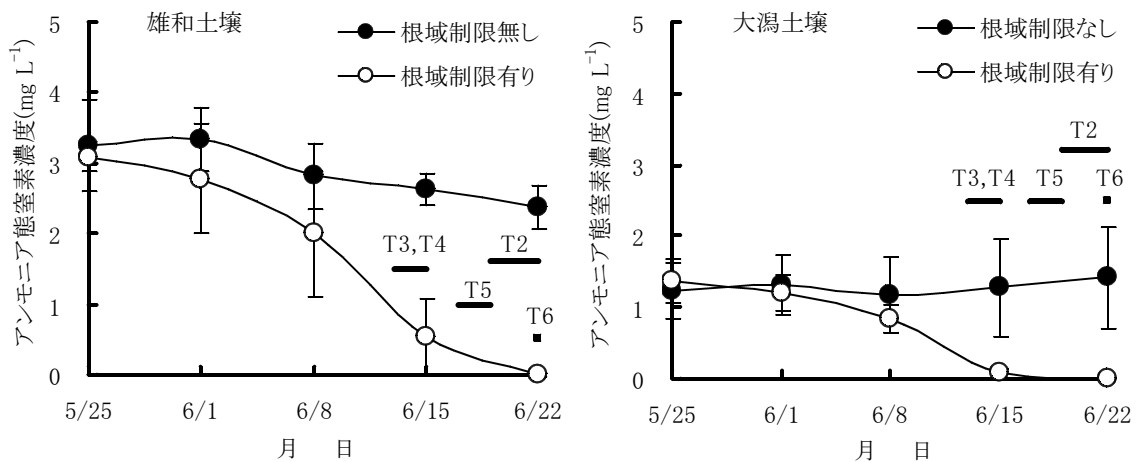
第 3-5 図に、土壤溶液中のリン酸濃度の推移を示した。両土壤とも、水稻生育期間中の土壤溶液中のリン酸濃度は根域制限の有無にかかわらずそれぞれに大きな変化は認められず、雄和土壤区に比べ大潟土壤区で高く推移した。

第 3-6 図に、試験終了時の土壤残存窒素量を示した。根域制限無し区および根域制限有り区の小型ポット外の土壤残存窒素量は、両土壤間にそれぞれ有意な差は認められず 59～66 mg kg⁻¹ の範囲にあった。しかし、

第 3-2 表 試験終了時 (6月22日) の次位・節位別分けつの発生頻度。

土壤	根域制限	分けつの発生頻度(%)					
		M	T2	T3	T4	T5	T6
雄和土壤	無し	100	33	100	100	100	67
	有り	100	0	33	67	100	33
大潟土壤	無し	100	33	100	33	100	33
	有り	100	0	0	0	100	0

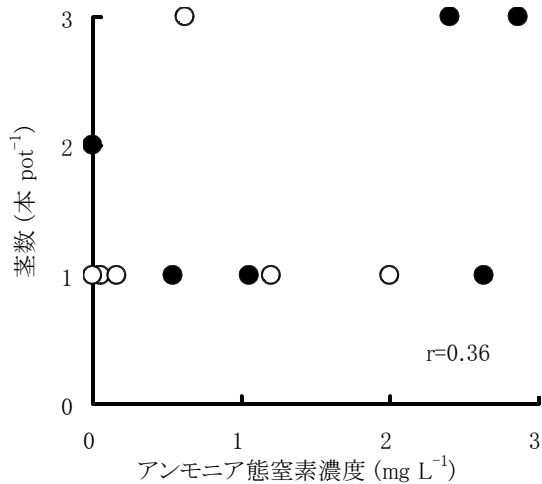
発生頻度 = 分けつの発生数 ÷ 調査個体数 × 100.



第 3-3 図 土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度の推移。

図中のエラーバーは標準偏差を示す。

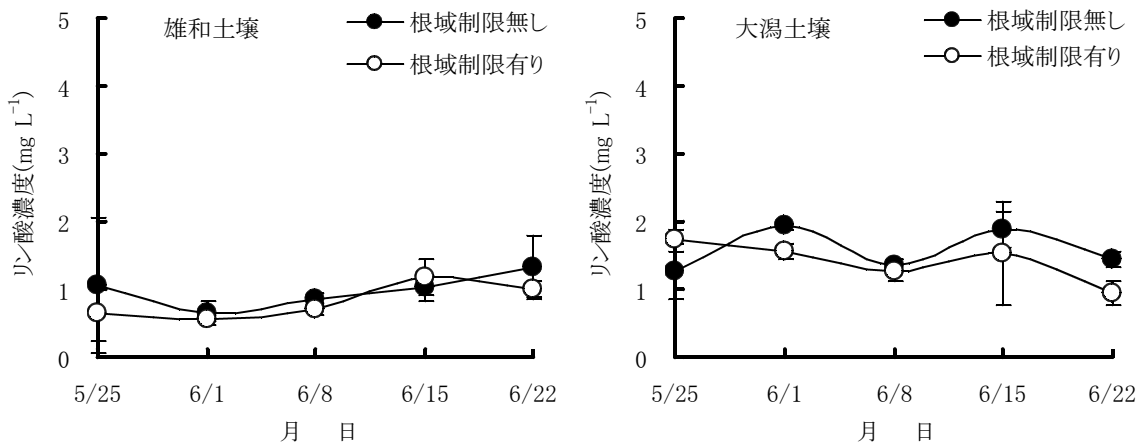
図中の太実線は各分けつの主な発生期間を示す。



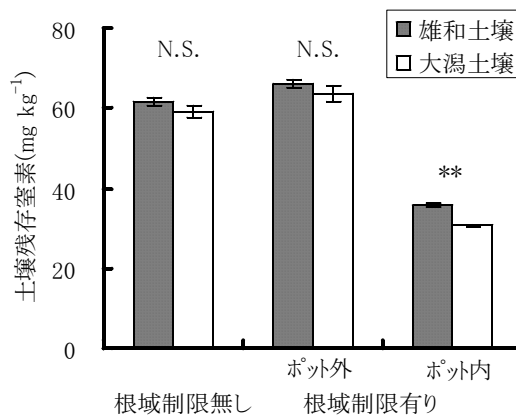
第3-4図 移植21日後（6月15日）の土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度と茎数の関係。
図中の●は雄和土壤，○は大潟土壤を示す。

根域制限有り区において小型ポット内の土壤残存窒素量は雄和土壤区が 39 mg kg^{-1} 、大潟土壤区が 31 mg kg^{-1} と雄和土壤区が大潟土壤区に比べ有意に多かったものの差は小さく、両土壤とも小型ポット外に比べ小型ポット内の土壤残存窒素量は少なかった。

第3-3表に、試験終了時の水稻の生育および窒素・リン酸含有率と窒素・リン酸吸収量を示した。土壤の違いでは、茎数は1%水準で有意な差が認められ雄和土壤区に比べ大潟土壤区は個体当たりの茎数が少なかったが、それ以外では有意な差は認められなかった。根域制限の有無の違いでは、主稈葉齢は5%水準で、それ以外は1%水準で有意な差が認められた。すなわち、根域制限無し区に比べ根域制限有り区は茎数、主稈葉齢は少なく、草丈は短く、地上部乾物重は小さく、窒素含有率、リン酸含有率はともに低く、窒素吸収量、リン酸吸収量はともに少なかった。



第3-5図 土壤溶液中のリン酸濃度の推移。
図中のエラーバーは標準偏差を示す。



第3-6図 試験終了時の土壤残存窒素量。
図中のエラーバー標準誤差を示す。
図中の N.S. は各試験区の平均値間に有意差の無いことを示す。
図中の**は各試験区の平均値間に1%水準で有意差のあることを示す。

第3-3表 試験終了時の水稻の生育および窒素・リン酸含有率と窒素・リン酸吸収量.

土壌	根域制限	茎数	主稈葉齢	草丈	地上部	窒素	リン酸	窒素	リン酸
		本ポット ⁻¹	葉	cm	乾物重	含有率	含有率	吸収量	吸収量
					gポット ⁻¹	%	%	mgポット ⁻¹	mgポット ⁻¹
雄和土壌	無し	5.0	8.4	37.5	0.52	4.40	1.25	23.0	6.50
	有り	3.3	8.1	31.9	0.35	3.83	1.08	13.3	3.75
大潟土壌	無し	4.0	8.4	37.5	0.43	4.31	1.42	18.4	6.03
	有り	2.0	8.1	32.5	0.27	3.80	1.11	10.3	3.00
2元配置の 分散分析	土壌間	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	根域制限の有無	**	*	**	**	**	**	**	**

表中の N. S. は 2 元配置の分散分析において土壌間または根域制限の有無の間に有意差の無いことを示す。

表中の*, **は 2 元配置の分散分析において土壌間または根域制限の有無の間にそれぞれ 5 %水準, 1 %水準で有意差のあることを示す。

2. 根域の制限が水稻の生育や次位・節位別分けつの発生に及ぼす影響 (試験 2)

試験期間中の気象の経過は, 農業試験場から約 15 km の距離にあるアメダス観測地点秋田のデータによると次のようであった。移植翌日から 10 日間の平均気温は 15.8℃で平年差 +0.5℃と高かった。しかし, 積算日照時間は 28 時間で平年比 46%と少なかった。移植日 (5月15日) から試験終了日 (6月17日) までの平均気温は, 17.5℃で平年差 +0.4℃と高かった。また, 積算日照時間は 147 時間で平年比 115%と多かった。

第 3-4 表に, 試験終了時の次位・節位別分けつの発生頻度を示した。根域の制限が大きい小型, 中型ポット区は根域の制限が小さい大型ポット区に比べ T4, T7 の発生頻度は低かったが T5, T6 の発生頻度は差が認められず 80 ~ 100%と高かった。なお, 各試験区とも主に T4 および T5 は 6月8~10日の主稈第8葉伸展中に, T6 は 6月13~14日の主稈第9葉伸展中に,

T7 は 6月16~17日の主稈第10葉伸展中にそれぞれ発生した。

第 3-5 表に試験終了時の水稻の生育および地上部窒素・リン酸含有率と地上部窒素・リン酸吸収量を示した。それぞれの調査項目において各試験区間に有意な差が認められた。草丈は, 大型ポット区が他の区に比べ有意に長かった。主稈葉齢は, 小型ポット区が他の区に比べ有意に少なかった。地上部乾物重は, 大型ポット区>中型ポット区>小型ポット区の順に小さく, 大型ポット区と小型ポット区では有意差が認められた。根重は, 大型ポット区>中型ポット区>小型ポット区の順に小さく, 大型ポット区や中型ポット区と小型ポット区ではそれぞれ有意差が認められた。地上部窒素濃度, 地上部リン酸濃度は大型ポット区が他の区に比べそれぞれ有意に高かった。地上部窒素吸収量は, 大型ポット区が他の区に比べ有意に多かった。地上部リン酸吸収量は, 大型ポット区>中型ポット区>小型ポット区にの順で有意に多かった。

第3-4表 試験終了時の次位・節位別分けつの発生頻度.

試験区	次位・節位別分けつ発生頻度 (%)			
	T4	T5	T6	T7
大型ポット	60	80	100	100
中型ポット	0	100	100	60
小型ポット	10	100	100	0

発生頻度 = 分けつの発生数 ÷ 調査個体数 × 100.

第3-5表 試験終了時の水稻生育および地上部窒素・リン酸含有率と地上部窒素・リン酸吸収量.

試験区	草丈(cm)	主稈葉齢	地上部	根重	地上部窒素	地上部リン酸	地上部窒素	地上部リン酸
			乾物重	gポット ⁻¹	含有率	含有率	吸収量	吸収量
			gポット ⁻¹	gポット ⁻¹	%	%	mgポット ⁻¹	mgポット ⁻¹
大型ポット	32.9a	9.2a	0.79a	0.51a	2.50a	0.80a	19.6a	6.26a
中型ポット	30.7b	9.0a	0.67ab	0.44a	2.23b	0.75b	15.1b	5.03b
小型ポット	30.8b	8.6b	0.59b	0.32b	2.15b	0.71b	12.7b	4.19c
F検定	*	**	*	**	**	*	**	**

表中の*は 5%, **は 1%水準で有意差のあることを示す。

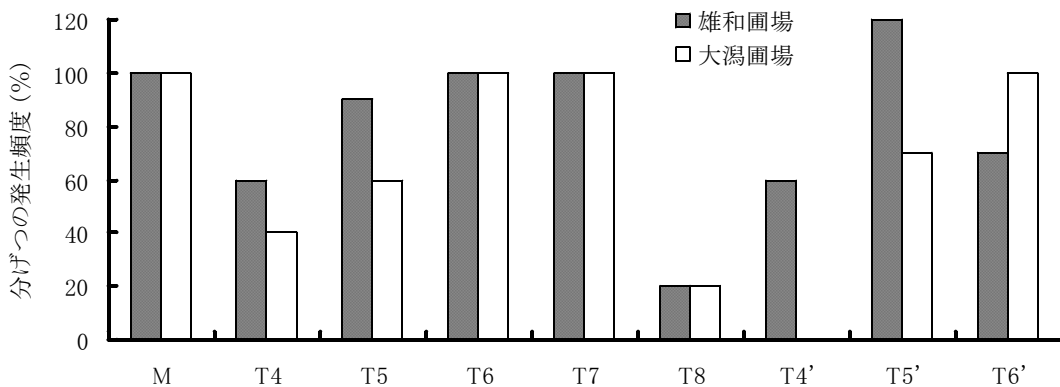
表中の同一英小文字は Duncan 法により 5%水準で有意差が無いことを示す。

3. 土壤環境や気象環境の違いが移植後の発根と次位・節位別分げつ発生に及ぼす影響 (試験 3)

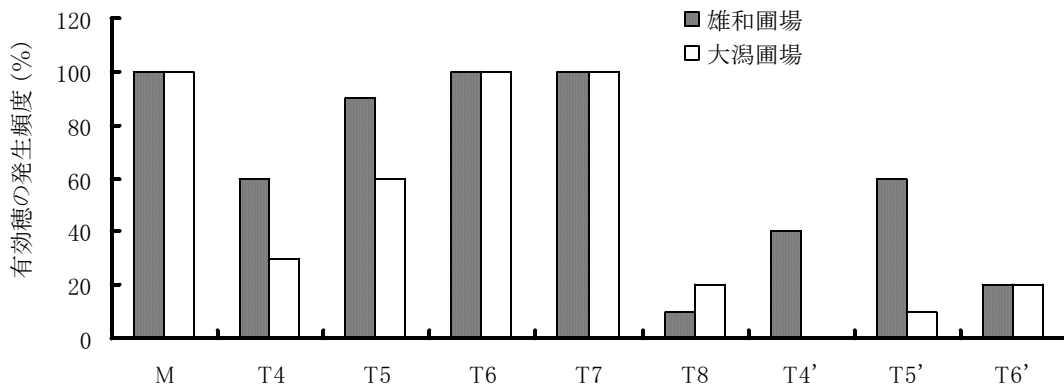
第 3-7 図に、雄和圃場と大潟圃場で調査した次位・節位別分げつの発生頻度を示した。両圃場とも 1 次分げつは T4 ~ T8 が発生した、2 次分げつは雄和圃場で T4' ~ T6' が発生し、大潟圃場で T5' ~ T6' が発生した。T4, T5, T4', T5' の発生頻度は、それぞれ雄和圃場が大潟圃場に比べ高かった。T6 ~ T8 の発生頻度は、両圃場間に差は無く、T6' の発生頻度は雄和圃場に比べ

大潟圃場で高かった。

また、第 3-8 図に雄和圃場と大潟圃場で調査した次位・節位別有効穂の発生頻度を示した。両圃場とも、1 次分げつは T4 ~ T8, 2 次分げつは雄和圃場で T4' ~ T6', 大潟圃場で T5' ~ T6' が穂へ有効化した。T4, T5, T4', T5' の発生頻度は、それぞれ雄和圃場が大潟圃場に比べ高かった。T6, T7, T6' の発生頻度は、両圃場間に差は無く、T8 の発生頻度は、雄和圃場に比べ大潟圃場で高かった。



第 3-7 図 主茎および次位・節位別分げつの発生頻度.



第 3-8 図 主茎および次位・節位別有効穂の発生頻度.

第 3-6 表 せん根苗の移植 10 日後の生育・発根状況.

調査項目		雄和圃場	大潟圃場
平均気温	(°C)	15.6	14.9
平均地温	(°C)	18.0	17.6
草丈	(cm)	18.7	16.0
主稈葉齢	(葉)	5.1	5.1
平均発根数	(本 個体 ⁻¹)	13.3	10.2
平均発根長	(cm)	7.0	4.0
最長根長	(cm)	10.0	6.0
発根重	(g)	0.34	0.11
地上部乾物重	(g)	1.33	0.85

発根重・地上部乾物重は調査 30 個体の重さ.

第 3-6 表に、せん根苗の移植 10 日後の生育、発根状況について示した。雄和圃場に比べ大潟圃場で、移植後 10 日間の平均気温は 0.7 °C、平均地温は 0.4 °C 低かった。主稈葉齢は両圃場とも 5.1 葉と差は認められなかった。しかし、個体当たりの平均発根数は雄和圃場の 13.3 本に比べ大潟圃場で 10.2 本と少なく、平均発根長は雄和圃場の 7.0 cm に比べ大潟圃場で 4.0 cm と短く、最長根長は雄和圃場の 10.0 cm に比べ大潟圃場で 6.0 cm と短かかった。また、発根重は雄和圃場の 0.34 g に比べ大潟圃場で 0.11 g と小さく、地上部乾物重も雄和圃場の 1.33 g に比べ大潟圃場で 0.85 g と小さかった。

考 察

1. 土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度の違いが生育初期の次位・節位別分けつの発生に及ぼす影響

安藤ら (1988) は、低温条件では土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度が高いほど初期茎数が多くなり、土壌の CEC と初期茎数との間に負の相関関係が認められるが、高温条件下ではこれらの関係は認められないことを報告している。Sasaki ら (2002) も同じような気象条件下にある同一地域の圃場において、土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度と移植 20 日後の茎数の間に正の相関関係が認められることを報告している。また、CEC の高い土壌では、同一アンモニア態窒素施用量であっても土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度が低いことが知られている (Shoji ら 1974, 安藤ら 1988)。試験 1 においても、CEC の高い大潟土壌区は雄和土壌区に比べ水稻の生育期間中の土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度が常に低く推移し (第 3-1 表, 第 3-3 図), 試験終了時のポット当たり茎数が有意に少なかった (第 3-3 表)。しかし、移植が 5 月 25 日と遅かったことから気温は高く経過し、日照時間も平年に比べやや多く経過した。このため、安藤ら (1988) の結果と同様に移植 21 日後 (6 月 15 日) の土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度と T3 や T4 で構成されたポット当たり茎数の間に有意な相関関係は認められなかった (第 3-4 図)。また、その後発生した T5 は発生期間中の土壌溶液中アンモニア態窒素濃度が各試験区で大きく異なるにもかかわらず (第 3-3 図), 発生頻度は 100 % と安定して高く (第 3-2 表), 各土壌において T5 の発生は土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度の影響を受けていないと考えられた。

一方、リン酸も分けつ発生に関与することが知られている (関谷 1963b, 本谷 1961)。本試験において、大潟土壌区は雄和土壌区に比べ可給態リン酸量が多く (第 3-1 表) 水稻生育期間中の土壌溶液中リン酸濃度は常に高く推移したものの (第 3-5 図), 試験終了時の水稻のリン酸含有率やリン酸吸収量は差が無く、試験終了時の個体当たりの茎数は有意に少なかった (第 3-3 表)。これらのことから、土壌溶液中のリン酸濃度は直接分けつ発生に影響を及ぼしたとは考えられなかった。

2. 根域の制限が生育初期の次位・節位別分けつの発生に及ぼす影響

試験 1 および試験 2 において、根域の制限によって試験終了時の茎数が有意に減少した (第 3-3 表, 第 3-5 表)。この茎数の減少は、試験 1 では T5 の発生頻度が根域の制限の有無によらず 100 % と高かったことから、T2 ~ T4 及び T6 の発生頻度の低下によるもので

あった (第 3-2 表)。また、試験 2 では T5, T6 の発生頻度が根域の制限の有無によらず 80 ~ 100 % と高かったことから、T4, T7 の発生頻度の違いによるものであった (第 3-4 表)。

根域の制限によって、試験 1 の T6 や試験 2 の T7 の発生頻度が低下した要因は、分けつの出現が主茎の葉数の増加と密接に関係するとした片山 (1951) の同伸性理論から、根域の制限によって主稈葉齢の伸展が遅れたことにより (第 3-3 表, 第 3-5 表), 試験終了時にこれらの分けつが発生していない個体が多かったためと考えられた。

試験 2 の初発分けつは T4 と T5 で、試験 1 の T3, T4 に比べ 1 節位高い位置であった。試験 1 では、せん根せずに苗を移植し、移植後 10 日間は平均気温、積算日照時間ともに平年を上回ったことから活着は良好であったが、試験 2 ではせん根した苗を移植し、移植後 10 日間は平年に比べ平均気温は高く経過したものの日照時間が少なかったことから活着は遅延した。活着が遅延するほど分けつの出現節位が上昇する (山本 1991) との報告から、試験 1 に比べ試験 2 で初発分けつの節位が上昇したのと考えられた。

これまで、水稻の分けつ発生は稲体の窒素濃度 (石塚・田中 1969) やリン酸濃度 (本谷 1961) に影響を受けること、水稻による窒素、リン酸の吸収はマスコローの寄与は少なく、大部分は根と養分の接触、拡散などによって供給されることが知られている (岡島・今井 1973)。また、それぞれの葉と節根との間には同伸性の関係が認められ、主稈第 N 葉が出葉を開始するときに第 N-3 節から節根が出現すること (小松 1959)、水稻の全根長は移植後シグモイド曲線に沿う増加を示すこと (伊藤 1992) が報告されている。本試験において、T3 ~ T5 の発生時点における茎葉の窒素やリン酸の含有率および根量については未検討である。しかし、T3 や T4 が発生する初発分けつの発生時期は、移植時に根の一部が断根されることに加え移植後の葉齢の展開が少ないことから新根の発根数は少なく根長は短かく根の接する土量は少ないと考えられる。加えて、根域が制限されることにより、さらに根の接する土量は減少し水稻による窒素やリン酸の吸収が減少し T3 や T4 の発生頻度が低下したものと推察された。

移植後の根の伸長や発根は、温度、日射量、風等の環境要因に加え、移植苗の養分含有量や本田基肥施肥量によって変動する (山本 1997)。このため、移植後の気象環境や土壌環境の違いにより根域の大きさは変動するものと考えられる。このことが圃場に移植した中苗の生育初期の窒素やリン酸の吸収量に影響を及ぼし、T3 や T4 の発生頻度が変動するものと推察された。

また、岡島・今井 (1973) は、土壌溶液中のアンモ

ニア態窒素は固相吸着のものと比例的に変化することを報告している。試験1の根域制限有り区では、土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度は両土壤とも根域制限無し区に比べ6月8日以降急激に低下し、試験終了時の6月22日には土壤残存窒素が31～36 mg kg⁻¹であるにもかかわらずほぼ0 mg L⁻¹まで低下した(第3-3図)。このことは、根域制限有り区の水稲が、根域制限無し区の水稲に比べ狭い根域から窒素を吸収したことにより固相吸着と液相のアンモニア態窒素の平衡がくずれたことによるものと考えられた。

そして、岡島・今井(1973)は根表面への養分供給において低い土壤溶液中濃度(強度因子)の不足を固相吸着アンモニア態窒素(容量因子)が補っているものと推察している。試験1の根域制限有り区において、T5はT3やT4に比べ発生時期の土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度が低いにもかかわらず発生頻度が高かった(第3-2表, 第3-3図)。このことは、T5発生後の試験終了時における小型ポット内の土壤残存窒素が31 mg kg⁻¹以上と分げつ発生に十分な量(木内ら1961)が残存していたことに加え(第3-6図)、T3やT4の発生時期に比べ主稈葉齢が1葉増え、発根数や根長が増加し根の接触する土量が増えたことにより土壤残存窒素を吸収利用できたためと推察された。

水稲の生育初期において、土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度は葉身長および窒素吸収量(鳥山1994)や初期茎数(安藤ら1988, Sasakiら2002)に影響することが報告されている。しかし、これらの報告では根域について未検討であり、これらの結果と根域の違いとの関係については不明である。なお、水稲の生育初期において土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度の違いが発根数や根の伸長に及ぼす影響について検討した報告は見あたらず、このことが水稲の分げつ発生に間

接的に影響を及ぼしていることも考えられるので今後更に検討を要する。

同じ苗を用いて、同日に大潟圃場と雄和圃場に移植した試験3の結果から、大潟圃場は雄和圃場に比べ最初に発生したT4やT5の発生頻度は低かったものの、その後に発生したT6やT7はいずれも発生頻度が100%と高く有効穂の発生頻度も同様の結果であった(第3-7, 8図)。また、大潟圃場と雄和圃場におけるせん根苗の移植試験の結果から、大潟圃場は雄和圃場に比べ移植10日後の発根数が少なく、発根長が短く、発根重が少なく根の初期生育が不良であることを明らかにした(第3-6表)。これまでの考察から、大潟圃場と雄和圃場のT4やT5の発生頻度の違いは、根の初期生育の不良が主な要因と考えられた。しかし、本試験では大潟圃場で根の初期生育が不良となる要因について明らかにすることができなかったことから、今後更に検討する必要があるものとする。

結 論

「あきたこまち」の中苗移植栽培において、初期茎数の変動は主に最初に発生するT3, T4の発生頻度の変動によるものであった。T3やT4の発生頻度は、土壤溶液中アンモニア態窒素濃度との関係は判然としなかったが、根域の制限によって低下した。その後発生するT5は、土壤溶液中アンモニア態窒素濃度や根域制限の有無に関係なく安定して発生頻度が高かった。

以上のことから、初期の茎数は根域の大小、すなわち根が接触する土量の多少に影響を受けるものと考えられた。また、初期の茎数と土壤溶液中のアンモニア態窒素濃度との関係については、移植後の気温が高く経過したことから判然としなかった。

第4章 水稲群落において次位・節位別分げつの1穂精玄米重が異なる要因の解明

はじめに

第2章において、主茎や分げつの発生次位・節位の違いにより着生初めの玄米重が異なること、玄米重の重い主茎や分げつは1穂粒数が多く、精玄米歩合(全粒数に対する精玄米粒数の比率)や精玄米千粒重が優る傾向にあることを明らかにした。一般に、水稲群落において同一日射量では単位面積当たりの穎花数が多いほど登熟歩合は低い傾向にある(和田1969)。しかし、同一株内の主茎や次位・節位別分げつ間ではこの関係は成立しておらず、これまでこの要因について検討した報告は見あたらぬ。

さて、出穂期から収穫期までの穂重増加量は、出穂期までに茎葉に蓄積された非構造的炭水化物(Non-Structural Carbohydrate, NSC)と出穂後の乾物生産量とに密接な関係のあることが報告されている(村山ら1955, 和田1969, 翁ら1982, 塚口ら1996)。そして、これらの乾物生産は群落における光合成量に依存している。出穂後の水稲群落における主茎や各分げつの光合成量は、葉身、葉鞘および穂など光合成器官の光合成量の総和である。しかし、水稲では葉身以外の葉鞘や穂は、光合成機能を有するものの葉身に比べ光合成能力は低い(Yoshida and Cock 1971, 津野ら1975)。したがって、出穂後の水稲群落における主茎

や各分げつの光合成量は着生する葉身による光合成量の総和と考えることができる。各葉身の受光量は、群落内部の葉身の相互遮蔽によって群落上層で高く下層で低いことが知られており (田中 1972)、群落における光合成量は葉面積の垂直分布により大きな影響を受ける。また、葉身の光合成速度は、葉面積当たりの葉身窒素量と正の相関が高いことが報告されている (Makino 2003)。以上のことから、群落内の主茎や次位・節位別分げつの光合成量は、各茎の葉面積や葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布に規定されると考えられる。しかし、これまで出穂期以降の水稻群落において光合成量に係わるこれらの因子を主茎や各分げつの間で比較検討した報告は無い。

一方、地下部の根量や根活性についても、登熟期間の光合成量に影響を及ぼす葉面積、葉の枯れ上がり、葉身の傾斜角度、個葉の光合成能力等と密接に関係していることが報告されている (李・太田 1973)。従来、根量や根活性の調査は、根を掘り上げた後に洗浄し根量や生理活性を測定していたことから多大の労力を要していた。そのため、根の生理活性の調査を簡易に行うことを目的に、切断した茎基部からの出液速度で根の生理活性を把握しようとする試みが行われている (馬場 1957)。出液速度は大豆 (李ら 1994) や水稻 (山口ら 1995b) で根の呼吸速度と高い相関関係が認められ、根の量や活性を簡易に評価する手法として提案されている (山口ら 1995b, 森田・阿部 2002)。

そこで、本章では主茎や分げつの発生次位・節位により着生初めの玄米重が異なる要因を明らかにするため次の試験を実施した。はじめに、主茎や次位・節位別分げつごとに出穂期前後 (幼穂形成期、穂揃期、穂揃 20 日後) の乾物重、乾物増加量および穂揃期における稈・葉鞘中の NSC 量を検討した。次に、出穂期以降の群落光合成量に影響をおよぼす地上部の要因である主茎や次位・節位別分げつの葉面積および葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布を検討した。さらに、地下部の要因である根量および根の活性を明らかにするため、穂揃期における主茎や各次位・節位別分げつの出液速度を検討した。

材料と方法

1. 主茎や各分げつの幼穂形成期、穂揃期、穂揃 20 日後の乾物重および穂揃期における稈・葉鞘中の NSC 量

試験は、2005 年に秋田県農業試験場内の水田圃場 (細粒強グライ土) で実施した。供試圃場の面積は 500 m² で 1 区制とした。供試品種は「あきたこまち」で、4.5 葉期 (不完全葉を第 1 葉とした) の中苗を用いた。基肥は化成肥料で N, P₂O₅, K₂O をそれぞれ 60 kg ha⁻¹ ずつ、追肥は減数分裂期に硫酸で N を 20 kg ha⁻¹ 施用

した。栽植密度は 22.2 株 m² (30 cm × 15 cm) とした。

分げつの次位・節位を識別するため、移植時に圃場中央部の 40 株について 1 株当たり 4 本を手植えし、株内の 1 個体、計 40 個体の分げつの発生次位・節位を成熟期まで定期的に調査した。調査は分げつ発生後、順次節位別に色の違うリングをはめて区別して行った。分げつ茎の呼称は、第 1 葉の基部から発生した分げつを第 1 節からの分げつとし、主茎を M、主茎の第 4～7 節から出現した 1 次分げつを T4～T7、T4、T5 から出現したすべての 2 次分げつをそれぞれ T4', T5' とした。

分げつ調査個体のうち、幼穂形成期に 3、穂揃期 (8 月 8 日) に 5、穂揃 20 日後に 5 個体を採取した。それぞれ主茎および次位・節位別分げつごとに根を除去し、80 °C で 2 日間通風風乾後乾物重を求めた。穂揃期および穂揃 20 日後の試料は穂、上位 3 葉、その他の葉、稈・葉鞘に分けそれぞれ乾物重と 1 穂粒数を求めた。さらに、大西・堀江ら (1999) の方法により主茎および各分げつごとに穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量を求めた。

2. 水稻群落における主茎や次位・節位別分げつの葉面積および葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布

試験は、2003 年に秋田県農業試験場内の水田圃場 (細粒強グライ土) で実施した。供試圃場の面積は 500 m² で 2 区制とした。供試品種は「あきたこまち」で、4.3～4.5 葉期の中苗を用いた。基肥は、化成肥料で N, P₂O₅, K₂O をそれぞれ 50 kg ha⁻¹ ずつ施用した。追肥は、減数分裂期に硫酸で N を 20 kg ha⁻¹ 与えた。栽植密度は、22.2 株 m² (条間 30 cm, 株間 15 cm) とした。

圃場中央部の 20 株を、1 株 4 本植えて手植えし、各株 4 本の内 1 本を分げつ調査個体とした。分げつの発生節位は、分げつの節位別に色の違うリングをはめて識別した。分げつ茎の呼称は、第 1 葉の基部から発生した分げつを第 1 節からの分げつとし、主茎を M、主茎の第 3～7 節から出現した 1 次分げつを T3～T7、そして T3, T4, T5 から出現したすべての 2 次分げつをそれぞれ T3', T4', T5' とした。

相対照度の測定は、8 月 18 日 (出穂期 8 月 4 日) に 5 連の光量子計を用い株間、条間各 3 カ所を測定し、群落最上部の光量子量を 100 % として示した。葉面積の測定は、8 月 18～20 日に分げつ調査個体の中で M および T3～T7, T4', T5' がそれぞれ 1 茎残存している 4 株を採取して行った。各株のうち分げつ調査を行っている 1 個体について高さ、次位・節位別に葉身を切り分けた後、それぞれの葉面積を葉面積計 (LI3100C MINOLTA 社製) により測定した。葉身窒素量は、葉面積を測定した試料を 80 °C で 2 日間乾燥し粉碎した後、ケルダール法により硫酸-過酸化水素

分解し、その分解液を窒素分析計（TRAACS 2000 BRAN+LUEBBE 社製）を用いて定量し求めた。同時に、葉面積を測定した主茎や各分げつの1穂粒数を測定した。

また、成熟期に各区で分げつ調査個体（それぞれ18個体と17個体）の主茎と残存した分げつの穂を採取し、主茎と次位・節位別分げつごとに1穂粒数、精玄米歩合、精玄米千粒重および1穂精玄米重を測定した。

測定に使用した主茎および次位・節位別分げつの穂数を第4-1表に示した。精玄米は粒厚1.9 mm以上の玄米とした。精玄米歩合は、全粒数に対する精玄米粒数の比率とした。精玄米千粒重および1穂精玄米重は水分を15%に換算して算出した。部分刈り収量は、成熟期に各試験区で無作為に1カ所を選び96株を採取し、精玄米重を測定し水分15%に換算して算出した。

第4-1表 成熟期における主茎および次位・節位別分げつ調査穂数（2003年）.

	M	T3	T4	T5	T6	T7	T3'	T4'	T5'
区1	18	14	13	18	18	11	12	11	2
区2	17	15	12	17	17	10	5	8	3

調査個体数は、区1は18個体、区2は17個体。

3. 主茎や各分げつの穂揃期における出液速度

試験は、2005年に秋田県農業試験場内の面積500 m²の水田圃場（細粒強グライ土）で実施した。供試品種は「あきたこまち」で、4.5葉期の中苗を用いた。基肥は化成肥料でN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ60 kg ha⁻¹ずつ、追肥は減数分裂期に硫酸でNを20 kg ha⁻¹施用した。栽植密度は23.8株 m⁻²（30 cm×14 cm）とした。

分げつの次位・節位を識別するため、移植時に圃場中央部の40株について1株当たり4本を手植えし、株内の1個体、計40個体の分げつの発生次位・節位を穂揃期まで定期的に調査した。調査は分げつ発生後、順次節位別に色の違うリングをはめて区別して行った。分げつ茎の呼称は、第1葉の基部から発生した分げつを第1節からの分げつとし、主茎をM、主茎の第3～7節から出現した1次分げつをT3～T7、T4、

T5から出現したすべての2次分げつをそれぞれT4'、T5'とした。

分げつ調査個体のうち、穂揃期（8月9日）に10個体について茎基部からの出液を主茎および各分げつごとに採取した。まず、1株の茎全部を午前10時に地際より10 cmの部位で切断し、主茎および次位・節位別分げつごとに予め重さを測定しておいたキャップ（ビニール管の一端にポリ塩化ビニールデンフィルムをかぶせて、中に約0.2 gの脱脂綿をいれたもの）を切断面に押し当ててこれに出液を吸収させた（第4-1図）。1時間後の重量変化を出液速度として示した。全ての茎の出液速度の測定は測定開始2時間後の12時までには終了した。出液速度測定後に主茎と各分げつの切断面の長径と短径を計測し茎断面積を算出した。また、主茎と各分げつの1穂粒数を測定した。



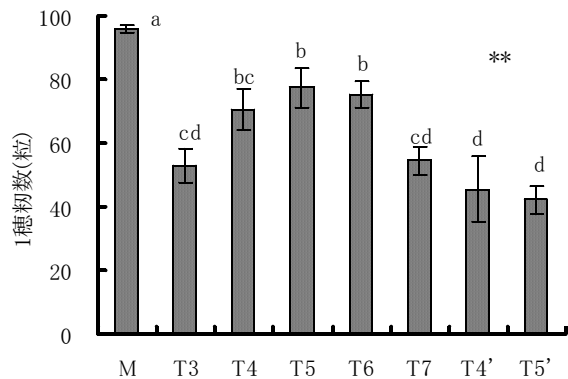
第4-1図 出液速度の測定方法

結 果

1. 主茎や各分げつの幼穂形成期、穂揃期、穂揃 20 日後の乾物重および穂揃期における稈・葉鞘中の NSC 量

第 4-2 図に、穂揃期および穂揃 20 日後に採取した主茎および各分げつの 1 穂粒数を示した。主茎および各分げつの 1 穂粒数は、33 ~ 111 粒の範囲にあり、M は他の分げつに比べて有意に多く、T4, T5, T6, T7 は T4', T5' に比べてそれぞれ有意に多かった。

第 4-2 表に、各生育時期における主茎と次位・節位別分げつの調査茎数および乾物重を示した。幼穂形成期の主茎および各分げつの乾物重は 0.32 ~ 1.34 g 茎⁻¹ の範囲にあり、M は他の分げつに比べて有意に重く、T4, T5, T6 は T4', T5' に比べてそれぞれ有意に重かった。T7 は有意差は無いものの T4 より軽く T5' より重い傾向にあった。穂揃期の主茎および各分げつの乾物重は 0.83 ~ 3.10 g 茎⁻¹ の範囲にあり、M は他の分げつに比べて有意に重く、T4, T5, T6, T7 は T4', T5' に比べてそれぞれ有意に重かった。穂揃 20 日後の主茎および各分げつの乾物重は 1.11 ~ 4.08 g 茎⁻¹ の範囲にあり、M は他の分げつに比べて有意に重く、T4, T5, T6, T7 は T4', T5' に比べてそれぞれ有意に重かった。



第 4-2 図 主茎および次位・節位別分げつの 1 穂粒数 (2005 年)。

図中のエラーバーは標準誤差を示す。

図中の**は 1%水準で主茎や分げつの次位・節位間に有意差のあることを示す。

図中の同一英小文字は Duncan 法により主茎や分げつの次位・節位間に 5%水準で有意差の無いことを示す。

第 4-2 表 各生育時期における主茎と次位・節位別分げつの調査茎数および乾物重 (2005 年)。

分げつの 発生次位 ・節位	幼穂形成期		穂揃い期		穂揃い20日後	
	調査茎数	乾物重 g 茎 ⁻¹	調査茎数	乾物重 g 茎 ⁻¹	調査茎数	乾物重 g 茎 ⁻¹
M	3	1.34 ± 0.05 a	5	3.10 ± 0.06 a	5	4.08 ± 0.09 a
T4	3	0.74 ± 0.05 bc	5	1.58 ± 0.23 c	4	2.30 ± 0.38 b
T5	3	0.85 ± 0.04 b	4	2.00 ± 0.12 bc	4	3.01 ± 0.19 b
T6	3	0.81 ± 0.06 bc	4	2.14 ± 0.10 b	5	2.94 ± 0.34 b
T7	3	0.52 ± 0.05 cd	3	1.88 ± 0.09 bc	4	2.62 ± 0.24 b
T4'	4	0.32 ± 0.05 d	3	0.94 ± 0.26 d	4	1.11 ± 0.16 c
T5'	4	0.42 ± 0.17 d	3	0.83 ± 0.01 d	3	1.19 ± 0.34 c
F検定		**		**		**

乾物重の数値は平均値±標準誤差。

表中の同一英小文字は Duncan 法により 5%水準で有意差が無いことを示す。

表中の**は 1%水準で有意差のあることを示す。

第 4-3 図に、次位・節位別分げつの幼穂形成期～穂揃期および穂揃後 20 日間の乾物増加速度を示した。両期間とも M および T4 ~ T7 が T4', T5' に比べ高い傾向を示した。

第 4-4 図に、穂揃期における主茎および次位・節位別分げつの稈・葉鞘中の NSC 量を示した。主茎および各分げつの稈・葉鞘中の NSC 量は 159 ~ 622 mg 茎⁻¹ の範囲にあり、M は他の分げつに比べて有意に多く、T4, T5, T6, T7 は T4', T5' に比べてそれぞれ有意に多かった。

2. 水稻群落における主茎や次位・節位別分げつの葉面積および葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布

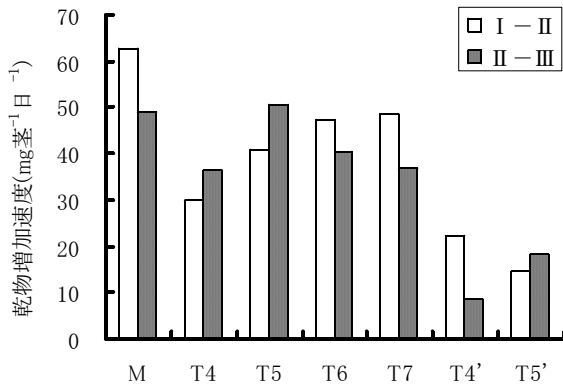
1) 主茎および次位・節位別分げつの収量および収量構成要素

試験区の出穂期は 8 月 4 日、成熟期は 9 月 30 日であり平均収量は 5.42 t ha⁻¹ であった。第 4-5 図に、8 月 18 ~ 20 日に採取した主茎および次位・節位別分げつの 1 穂粒数を示した。1 穂粒数は 42.3 ~ 96.0 粒の範囲にあり、M および T4 ~ T6 が T4', T5' に比べ有意に多かった。また、T3, T7 は有意差は無いものの T4

より少なく、T4'より多い傾向にあった。

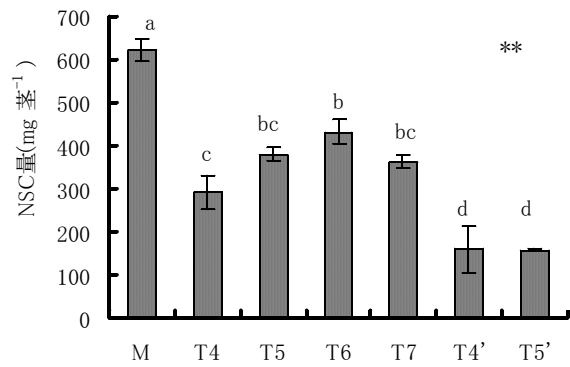
第 4-6 図に、主茎および次位・節位別分げつの 1 穂精玄米重を示した。1 穂精玄米重は 0.39 ~ 1.53 g の

範囲にあった。主茎や各分げつでは、1 穂精玄米重は M および T4 ~ T6 が重く、次いで T3, T7 が重く、T3', T4', T5'は軽い傾向にあり、第 2 章と同様の結果を示した。



第 4-3 図 主茎および次位・節位別分げつの乾物増加速度 (2005 年).

I-幼穂形成期, II-穂揃期, III-穂揃 20 日後.

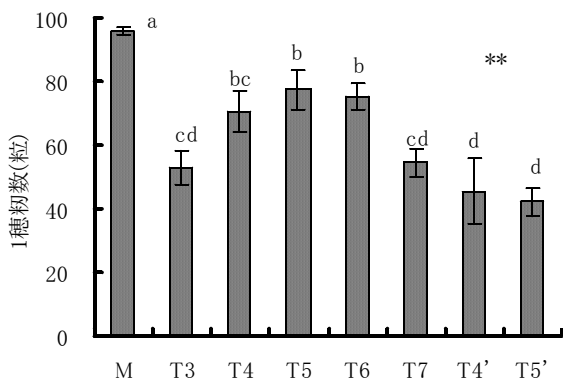


第 4-4 図 穂揃期における主茎および次位・節位別分げつの稈・葉鞘中の NSC 量 (2005 年).

図中のエラーバーは標準誤差を示す.

図中の**は 1%水準で主茎や分げつの次位・節位間に有意差のあることを示す.

図中の同一英小文字は Duncan 法により主茎や分げつの次位・節位間に 5%水準で有意差の無いことを示す.

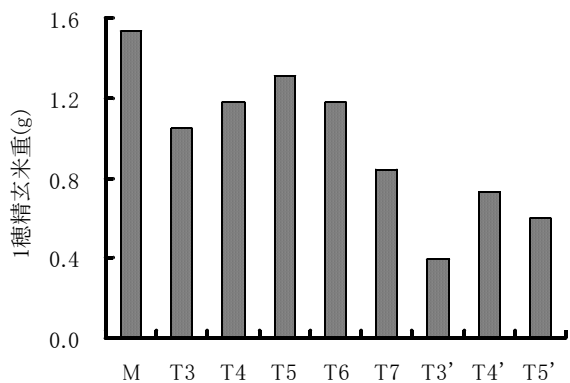


第 4-5 図 主茎および次位・節位別分げつの 1 穂粒数 (2003 年).

図中のエラーバーは標準誤差を示す.

図中の**は 1%水準で主茎や分げつの次位・節位間に有意差のあることを示す.

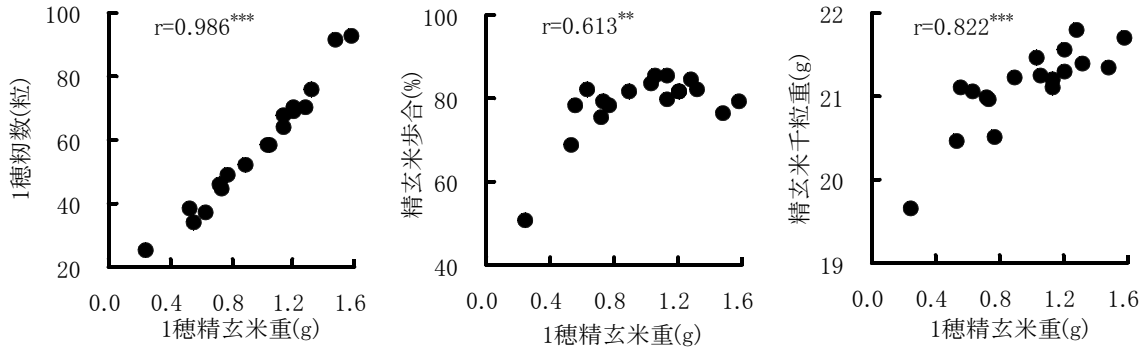
図中の同一英小文字は Duncan 法により主茎や分げつの次位・節位間に 5%水準で有意差の無いことを示す.



第 4-6 図 主茎および次位・節位別分げつの 1 穂精玄米重 (2003 年).

第4-7図に、成熟期の主茎および次位・節位別分けつの1穂精玄米重と1穂初数、精玄米歩合および精玄米千粒重の関係を示した。1穂精玄米重は、1穂初数

および精玄米千粒重との間にそれぞれ0.1%水準で、精玄米歩合との間に1%水準で有意な正の相関が認められた。



第4-7図 主茎および次位・節位別分けつの1穂精玄米重と1穂初数、精玄米歩合および精玄米千粒重の関係 (2003年).

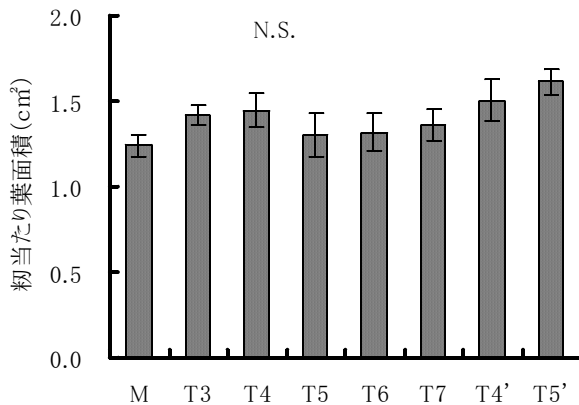
n = 18, 図中の**は1%水準, ***は0.1%水準で有意なことを示す.

2) 主茎および各次位・節位分けつの初当たり葉面積および葉面積当たりの葉身窒素量

第4-8図に、主茎および各次位・節位分けつの初当たり葉面積を示した。主茎および各分けつの初当たり葉面積は1.24～1.61 cm²の範囲にあり、主茎や各分

げつ間に有意な差は認められなかった。

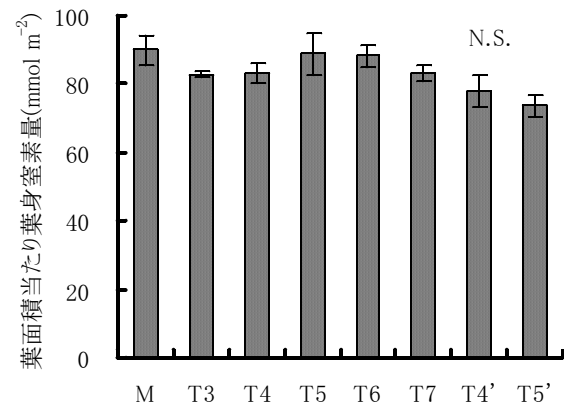
第4-9図に、主茎および各次位・節位分けつの葉面積当たりの葉身窒素量を示した。主茎および各分けつ間で、葉面積当たりの葉身窒素量に有意な差は認められなかった。



第4-8図 主茎および各次位節位分けつの初当たり葉面積 (2003年).

各図中のエラーバーは標準誤差を示す.

図中の N.S. は主茎や分けつの次位・節位間に有意差の無いことを示す.



第4-9図 主茎および各次位・節位分けつの葉面積当たりの葉身窒素量 (2003年).

図中のエラーバーは標準誤差を示す.

図中の N.S. は主茎や分けつの次位・節位間に有意差の無いことを示す.

3) 主茎および各次位・節位分けつの葉面積および葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布と群落相対照度

第4-3表に、主茎および各次位・節位分けつの高さ別葉面積を示した。高さ40 cm未満では、主茎や各分けつの葉面積に有意な差は認められなかった。しかし、高さ40 cm以上の葉面積はそれぞれの高さにおける主茎や各分けつ間で有意な差が認められた。すな

わち、高さ40～50 cmでは、M, T4, T5, T5'がT4'に比べ有意に多く、高さ50～60 cmでは、M, T5, T6, T6'がT5'に比べ有意に多かった。また、高さ60～70 cmでは、M, T5, T6, T6'がT4', T5'に比べ有意に多く、高さ70～80 cmでは、M, T4, T5, T6, T6'がT3, T7, T4', T5'に比べ有意に多かった。高さ80～90 cmでは、M, T3, T4, T5, T6 で葉身は存在するが、それ以外の分けつ

で葉身は存在しなかった。

第 4-4 表に、主茎および各次位・節位分げつの高さ別葉面積当たりの葉身窒素量を示した。主茎や各分げつの高さ別葉面積当たりの葉身窒素量は 60 ~ 111 mmol m⁻² の範囲にあった。同じ高さでは、主茎や各分げつの葉面積当たりの葉身窒素量に有意な差は認められなかった。しかし、各茎で地際から高い位置にある葉身の葉面積当たりの葉身窒素量は有意に多い傾向にあった。すなわち、M, T3 は高さ 50 cm 以上に位

置する葉身で高さ 40 cm 未満に位置する葉身に比べ有意に多く、T4, T5 は高さ 60 cm 以上に位置する葉身で高さ 40 cm 未満に位置する葉身に比べ有意に多かった。また、T6, T7 は高さ 40 cm 以上に位置する葉身で高さ 40 cm 未満に位置する葉身に比べ有意に多かった。そして、T4 は高さ 50 cm 以上に位置する葉身で高さ 30 cm 未満に位置する葉身に比べ有意に多く、T5 は高さ 30 cm 以上に位置する葉身で高さ 20cm 未満に位置する葉身に比べ有意に多かった。

第 4-3 表 主茎および各次位・節位分げつの高さ別葉面積 (cm², 2003 年).

高さ(cm)	M	T3	T4	T5	T6	T7	T4'	T5'	F検定
90 - 100	0.1								
80 - 90	7.7 a	0.0 c	2.5 bc	3.2 b	1.2 bc				**
70 - 80	13.4 a	4.8 b	11.4 a	15.6 a	10.7 a	3.0 b	3.1 b	1.0 b	**
60 - 70	15.0 a	8.9 bc	12.1 abc	15.9 a	15.1 ab	11.9 abc	8.3 c	6.9 c	*
50 - 60	21.7 a	7.9 c	13.6 bc	16.9 ab	15.6 ab	11.3 bc	10.7 bc	7.5 c	**
40 - 50	23.9 a	14.7 bc	19.0 ab	19.1 ab	14.7 bc	16.7 b	9.9 c	14.7 ab	**
30 - 40	23.3	17.1	21.5	17.7	22.6	16.4	15.3	18.2	N.S.
20 - 30	13.2	16.0	14.6	8.5	13.7	11.6	12.6	14.9	N.S.
10 - 20	0.8	4.9	5.7	2.2	4.8	2.0	5.2	4.4	N.S.
0 - 10			0.1						
計	119.2 a	74.3 c	100.5 b	99.1 b	98.3 b	72.8 c	65.0 c	67.6 c	**

表中の*は 5%, **は 1%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。

表中の同一英小文字は Duncan 法により同じ高さの葉面積に 5%水準で有意差が無いことを示す。

第 4-4 表 主茎および各次位・節位分げつの高さ別葉面積当たりの葉身窒素量 (N mmol m⁻², 2003 年).

高さ(cm)	M	T3	T4	T5	T6	T7	T4'	T5'	F検定
90 - 100	t								
80 - 90	108 a	t	98 ab	104 a	t				N.S.
70 - 80	110 a	t	110 a	108 a	110 a	98 ab	t	t	N.S.
60 - 70	106 a	99 a	97 ab	100 ab	111 a	101 a	t	t	N.S.
50 - 60	97 ab	96 ab	89 bc	89 abc	94 b	89 bc	87 a	t	N.S.
40 - 50	85 bc	85 bc	90 bc	84 bc	91 b	84 c	79 ab	78 a	N.S.
30 - 40	69 c	76 c	66 d	74 c	73 c	72 d	73 ab	67 b	N.S.
20 - 30	75 c	75 c	74 cd	t	71 c	71 d	67 b	63 bc	N.S.
10 - 20	t	t	t	t	t	t	63 b	60 c	N.S.
0 - 10			t						
F検定	**	**	**	**	**	**	*	**	

表中の t は、葉面積の測定値が 1cm² 未満の葉身を含む場合を示す。

表中の*は 5%, **は 1%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。

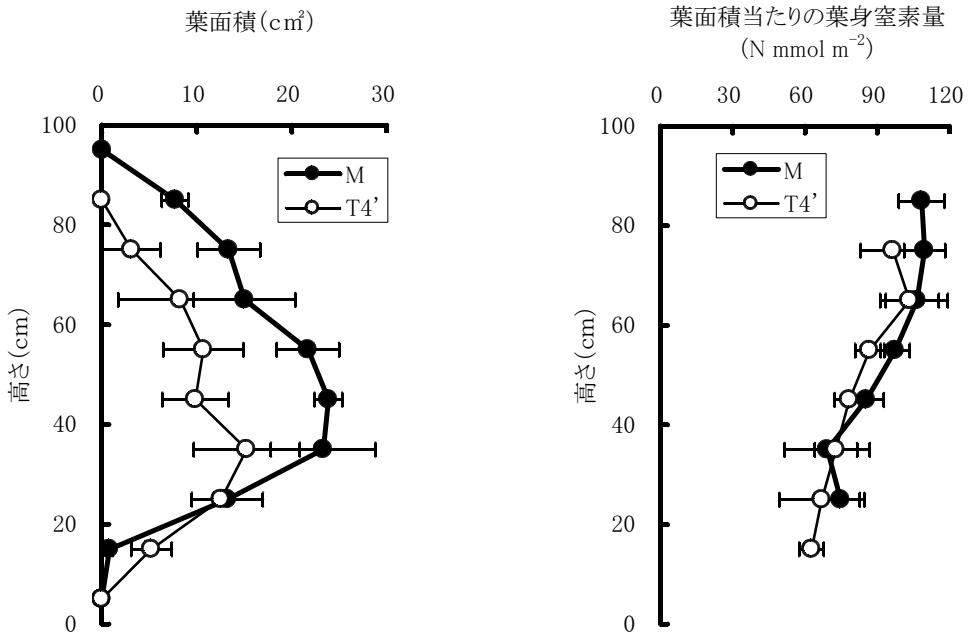
表中の同一英小文字は Duncan 法により同一茎内の高さ別葉面積当たりの葉身窒素量に 5%水準で有意差が無いことを示す。

t は除外して統計処理を行った。

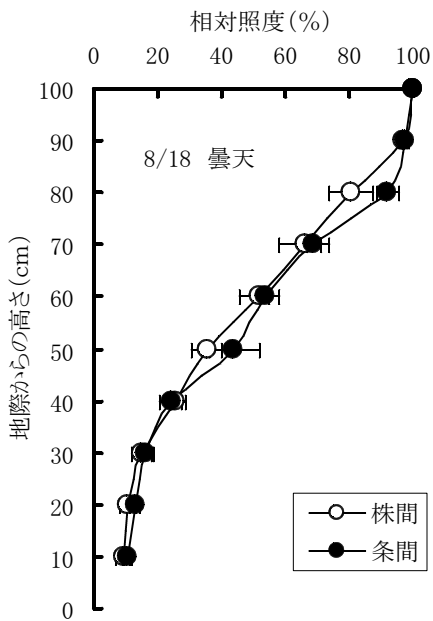
第 4-10 図に、1 穂精玄米重の重い M と軽い T4' の葉面積、葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布を図示した。M の葉面積は T4' に比べ群落上層で多く下層で差が小さかった。また、葉面積当たりの葉身窒素量はそれぞれの高さにおいて差は小さかった。

第 4-11 図に、水稻群落の高さ別相対照度を示した。

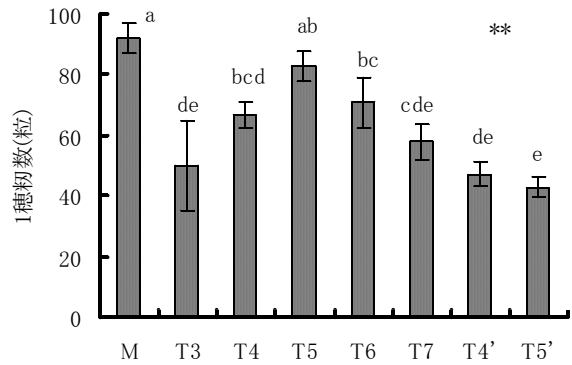
株間における相対照度は群落上層部で高く、地際からの高さが 90 cm で 98%, 60 cm で 53%, 30 cm で 16% であった。また、高さ 90 cm から 30 cm までは直線的に低下し、30 cm 以下はゆるやかに低下した。条間における高さ別相対照度は、株間のそれとほぼ同様に推移した。



第4-10図 M, T4' の葉面積, 葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布 (2003年).
 図中のエラーバーは標準偏差を示す.



第4-11図 高さ別相対照度 (2003年).
 図中のエラーバーは標準誤差を示す.



第4-12図 主茎および次位・節位別分けつの1穗粒数 (2005年).
 図中のエラーバーは標準誤差を示す.
 図中の**は1%水準で主茎や分けつの次位・節位間に有意差のあることを示す.
 図中の同一英小文字はDuncan法により主茎や分けつの次位・節位間に5%水準で有意差の無いことを示す.

3. 主茎や各分けつの穂揃期における出液速度

1) 主茎および次位・節位別分けつの出液速度, 1穗粒数および切断部の茎断面積

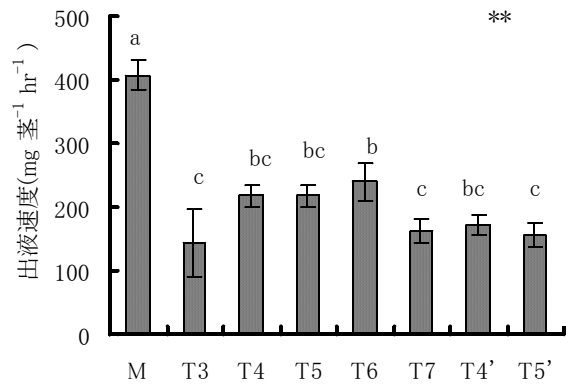
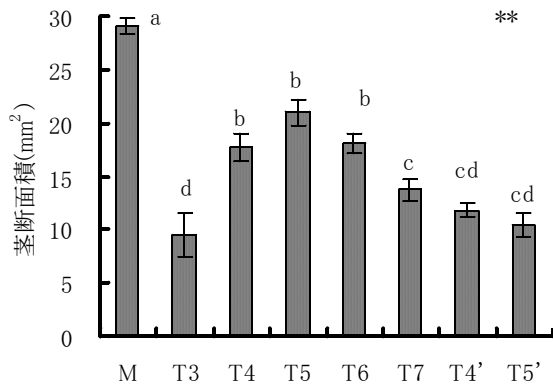
出液速度, 1穗粒数, 切断部の茎断面積を測定した主茎および各分けつの数は, それぞれMが8, T3が3, T4が10, T5が10, T6が8, T7が8, T4'が6, T5'が5本であった.

第4-12図に, 主茎および各分けつの1穗粒数を示した. 1穗粒数はM, T5, T6がT3, T4', T5'に比べ有意に多かった. また, T4, T7は有意差は無いもののT6より小さくT4'より多かった.

第4-13図に, 主茎および各分けつの切断部の茎断面積を示した. 茎断面積はM, T4, T5, T6がT3, T4', T5'に比べ有意に多かった. また, T7はT4に比べ有意に小さく, 有意差は無いもののT4'より大きかった.

第 4-14 図に、主茎および各分げつの出液速度を示した。出液速度は M, T6 が T3, T7, T5' に比べ有意

に高い値であった。また、T4, T5, T4' は有意差は無いものの T6 より低く T7 より高い値であった。



第 4-13 図 主茎および次位・節位別分げつの切断部の茎断面積 (2005 年).

図中のエラーバーは標準誤差を示す.

図中の**は 1%水準で主茎や分げつの次位・節位間に有意差のあることを示す.

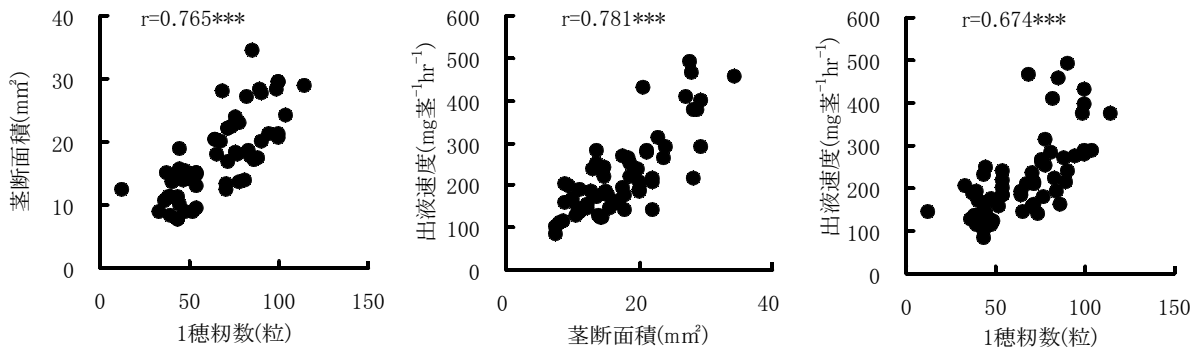
図中の同一英小文字は Duncan 法により主茎や分げつの次位・節位間に 5%水準で有意差の無いことを示す.

第 4-14 図 主茎および次位・節位別分げつの出液速度 (2005 年).

図中のエラーバーは標準誤差を示す.

図中の**は 1%水準で主茎や分げつの次位・節位間に有意差のあることを示す.

図中の同一英小文字は Duncan 法により主茎や分げつの次位・節位間に 5%水準で有意差の無いことを示す.



第 4-15 図 主茎および次位・節位別分げつの 1 穂粒数, 切断面の茎断面積, 出液速度の関係 (2005 年).

n = 61, 図中の***は 0.1%水準で有意なことを示す.

2) 主茎および次位・節位別分げつの 1 穂粒数, 切断部の茎断面積および出液速度の相互の関係

第 4-15 図に、主茎および次位・節位別分げつの 1 穂粒数, 切断部の茎断面積および出液速度の相互の関係を示した。主茎および次位・節位別分げつの 1 穂粒数と切断部の茎断面積, 茎断面積と出液速度, 1 穂粒数と出液速度の間にそれぞれ 0.1%水準で有意な正の相関関係が認められた。1 穂粒数が多い主茎や分げつは切断部の茎断面積が大きく, 出液速度の値が高い傾向にあった。また, 切断部の茎断面積の大きい主茎や分げつは出液速度の値が高い傾向にあった。

考 察

本章では, 第 2 章で明らかにした主茎や分げつの発生次位・節位により着生粒の玄米重が異なる要因を検討するため, 主茎や各分げつの乾物重, 穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量, 出穂期以降の群落空間における葉面積や葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布, 穂揃期の出液速度を検討した。

1. 主茎や各分げつの幼穂形成期, 穂揃期, 穂揃 20 日後の乾物重および穂揃期における稈・葉鞘中の NSC 量

本試験において、M や T4 ~ T7 は 1 穂粒数が多く (第 4-2 図)、T4'、T5' に比べ幼穂形成期、穂揃期、穂揃 20 日後のいずれの時期においても乾物重が重かった (第 4-2 表)。また、幼穂形成期~穂揃期、穂揃後 20 日間のそれぞれの乾物増加速度が高い傾向にあり (第 4-3 図) 丹野ら (1990) と同様の結果を示した。これらのことから、M や T4 ~ T7 は、T4'、T5' に比べ出穂期前後の幼穂形成期、穂揃期、穂揃 20 日後のいずれの時期においても水稻群落において光合成能力の高いことが示唆された。

丹野 (1992a) は、稚苗移植栽培において 1 穂粒数の多い M と T3 ~ T6 が他の分けつに比べ出穂期の糖+デンプン保有量が多いことを指摘している。本試験の中苗移植栽培の場合も同様に、1 穂粒数の多い M や T4 ~ T7 は T4'、T5' に比べ穂揃期の稈・葉鞘の NSC 量が多かった (第 4-4 図)。M や T4 ~ T7 は、T4'、T5' に比べ幼穂形成期や穂揃期の乾物重が重く同期間の乾物増加速度が速いことから群落における光合成量が多いと考えられ、その結果穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量が多かったものと推察された。

2. 水稻群落における主茎や次位・節位別分けつの 1 穂精玄米重と葉面積および葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布の関係

試験区の収量は、登熟期間中の日照不足の影響により平年に比べやや少なかった。しかし、第 2 章の結果と同様に主茎や次位・節位別分けつ間で 1 穂粒数 (第 4-5 図) や 1 穂精玄米重が異なり (第 4-6 図)、1 穂精玄米重の重い主茎や分けつは 1 穂精玄米重の軽い分けつに比べ、1 穂粒数が多く、精玄米歩合が高く、精玄米千粒重が重い傾向にあった (第 4-7 図)。和田 (1969) によれば、1 穎花当たりの出穂後の炭水化物生産量と登熟歩合との間には正の相関が認められる。そして、本試験において 1 穂粒数の多い主茎や分けつは、1 穂粒数の少ない分けつに比べ穂揃後 20 日間の乾物増加速度の値が高かったことから (第 4-3 図) 出穂後の炭水化物生産量が多いと考えられた。

そこで、はじめに出穂後の水稻群落における炭水化物生産量に大きな影響を及ぼす粗当たり葉面積 (津野・王 1988)、および葉面積当たりの葉身窒素量 (Makino 2003) について、主茎および各分けつ間で比較した。その結果、粗当たり葉面積は主茎や各分けつ間で有意な差が認められなかった (第 4-8 図)。また、葉面積当たりの葉身窒素量も、主茎や各分けつ間で有意な差が認められなかった (第 4-9 図)。これらのことから、各茎の粗当たり葉面積や葉面積当たりの葉身窒素量からは、群落内での同一品種、同一株内における主茎や各分けつ間に出穂期以降の光合成量の違いは十分に説明できないと考えられた。

次に、これまでの知見から (田中 1972, Makino

2003, 武田・玖村 1957)、出穂期以降の水稻群落における主茎や各分けつの光合成量は、各茎に着生する葉身の受光量、葉面積、葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布に影響を受けることが考えられたので、これらについて検討した。出穂期以降の水稻群落における高さ別相対照度は、群落上層で高く下層になるほど低下し (第 4-11 図)、群落上層に位置する葉身ほど受容する日射量は多いと考えられた。また、1 穂粒数の多い主茎や分けつは葉面積が多い傾向にあった (第 4-3 表)。この結果は、主として高さ 40 cm 以上の群落上層に位置する葉身の葉面積の違いによるもので、相対照度が著しく低下する高さ 40 cm 未満の群落下層に位置する葉身の葉面積は、主茎や各分けつ間で有意な差は認められなかった (第 4-3 表)。さらに、主茎や各分けつの葉面積当たりの葉身窒素量を高さ別に検討した結果、主茎や各分けつの葉面積当たりの葉身窒素量は同じ高さにある葉身で有意な差は認められなかった (第 4-4 表)。しかし、各茎において高い位置にある葉身で葉面積当たりの葉身窒素量は多い傾向にあり (第 4-4 表)、群落上層の葉身ほど窒素濃度が高く同化能率が高いとの報告 (武田・玖村 1957) から、本試験において相対照度の高い群落上層に位置した主茎や各分けつの葉身の光合成速度は高かったと考えられる。

以上のことから、出穂期以降の水稻群落において 1) 1 穂粒数の多い主茎や分けつは、相対照度の高い群落上層に葉面積当たりの葉身窒素量の多い葉身を多く持つこと、2) 相対照度の低い群落下層では葉面積や葉面積当たりの葉身窒素量は主茎および各次位・節位別分けつ間で有意な差が認められないことの 2 点が明らかになった。

主茎や各分けつの光合成量は、分けつに着生する各葉身の光合成量の総和であり、各葉身の受光量、葉面積、光合成速度に規定される。日射量の少ない群落下層では、主茎や各分けつ間で葉面積や葉面積当たりの葉身窒素量に有意な差が認められなかったことから主茎や各分けつの光合成量の差は小さいと考えられた。しかし、日射量の多い群落上層では、1 穂粒数の多い主茎や分けつは 1 穂粒数の少ない分けつに比べ葉面積が多かった。また、主茎や各分けつの葉面積当たりの葉身窒素量は同じ高さでの差は小さいが、群落上層の葉身で群落下層の葉身より多かった。これらのことから、1 穂粒数の多い主茎や分けつは 1 穂粒数の少ない分けつに比べ、日射量の多い群落上層において光合成量が増加するため、出穂後の茎全体の光合成量が多くなるものと考えられた。

一方、主茎や各分けつ間では養分が相互に移行することが知られている (田中 1958, 中村 1963, 佐藤 1961, 王・花田 1982)。このため、登熟期間においても主茎や各分けつで同化した炭水化物が他の分けつへ

移行することが考えられ、個々の分げつにおける生産能力の差異に対して少なからず影響を及ぼしていることが推察される。しかし、王・花田（1982）は子分げつが第3葉抽出完了以上もしくはそれに近い発育段階に達した場合、母茎から子分げつへの炭水化物の移行は少ないことを報告している。登熟期間に残存する分げつはいずれも第3葉抽出完了以上、もしくはそれに近い発育段階であることから、登熟期間に母茎から子分げつへ移行する炭水化物量は少なく、主茎や各分げつの生産力の差は主に個々の茎の葉面積や葉面積当たりの葉身窒素量に支配的されていると考える。

3. 主茎や各分げつの穂揃期における出液速度

登熟期間の乾物生産に影響を及ぼす葉面積、葉の枯れ上がり、葉身の傾斜角度、個葉の光合成能力は、根量や根活性と密接に関係していることが報告されている（李・太田 1973）。山口ら（1995a）も、根の呼吸速度が高い個体は葉身 N % が高く、葉の枯れ上がりが少ないことを報告している。そして、速水（1983）は根群呼吸活性量（根重×単位呼吸能）が高いほど個体群光合成能力が高いことを指摘している。このように、根の量や活性は葉面積や個葉の光合成能力等に関係し、群落の光合成量に大きな影響を及ぼしていると考えられている。また、出液速度は根の呼吸速度との間に正の相関関係が認められ（山口ら 1995b）、根量×根の生理活性を示す指標と考えられている（森田・阿部 2002）。

一方、松島（1957）は稈基第1伸長節間と1穂穎花数の間に高い正の相関関係があることを報告している。また、李・太田（1973）は、主茎や同一個体の分げつ間において、第3節位根の太さと1穂穎花数、穂首節の太さおよび稈基（穂首節より数えて第5節の節間）の太さとの間に高い正の相関関係が認められることを報告している。そして、山口ら（1995b）は断面面積の大きい茎、すなわち太い茎は茎断面面積当たりの出液速度が高い値であることを報告している。これらの報告から、1穂穎花数の多い主茎や分げつは茎が太く、出液速度の値が高いことが示唆される。

本試験における出液速度の結果から、穂揃期において1穂穎数の多い主茎や分げつは、切断面の茎断面面積が大きく出液速度の値が高い傾向にあり（第4-15

図）、根量が多く根活性が高いことが示唆された。

丹野（1992a）は稚苗の移植栽培において、MやT3～T6は1穂穎数が多いにもかかわらず登熟歩合が高く玄米重が重いことを報告している。そして、その要因として主茎やこれらの分げつでは出穂期の糖+デンプン保有量が多いこと（丹野 1992a）、出穂期以降の炭素固定量が多いことを指摘している（丹野 1992b）。出穂期までに稈・葉鞘に蓄積したNSCは、その68～77%が穂に移行すること（Cock and Yoshida 1972）、出穂後籾に転流して穂重増加に寄与するだけでなく穎花の炭水化物受容能力を高めることにより穂重増加に寄与していることが示唆されている（翁ら 1982、塚口ら 1996）。そして、子実炭水化物に対する登熟期間中の光合成の寄与率は60～100%であり（吉田 1986）、出穂期までに蓄積されたNSCの寄与率よりも高いことが知られている。本試験において、丹野（1992a）の指摘と同様に1穂穎数の多い主茎や分げつは穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量が多かった。また、丹野（1992b）の指摘した出穂期以降の炭素固定量は、ポット試験による結果で群落条件下では検討されていない。しかし、本試験の結果から、出穂期以降の水稻群落では、主茎や各分げつの葉面積や葉面積当たり葉身窒素量の垂直分布が異なった。さらに、1穂穎数の多い主茎や分げつは出液速度の値が高い傾向にあり、根量および根活性が高いことが示唆された。これらのことから、1穂穎数の多い主茎や分げつは出穂期以降の群落における乾物生産量が多かったものと考えられた。

結 論

水稻群落において、1穂精玄米重の重い主茎や分げつは1穂穎数が多く、精玄米歩合（全穎数に対する精玄米粒数の比率）や精玄米千粒重が優る傾向にあった。この要因として次の2点を明らかにした。1穂精玄米重の重い主茎や分げつは、1) 穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量が多い、2) 穂揃期以降の群落空間における葉面積や葉面積当たりの葉身窒素量の垂直分布が群落光合成に有利に働き、さらに水稻根の活性が高いことから穂揃期以降の乾物生産量が多い。

第5章 穂の次位・節位構成が同一である群落における有効茎歩合の違いが収量、品質、食味に及ぼす影響

はじめに

第2章において、中苗「あきたこまち」では主茎と

第4～7節1次分げつ（強勢茎）が高品質・良食味米安定生産に適していることを明らかにした。成熟期の有効穂の構成が強勢茎主体の場合でも、無効化する分

げつの発生の多少によって有効茎歩合が異なることが想定される。そして、有効茎歩合の違いが出穂期以降の乾物生産に影響を及ぼすことが報告されている(大江・恵木 1997)。

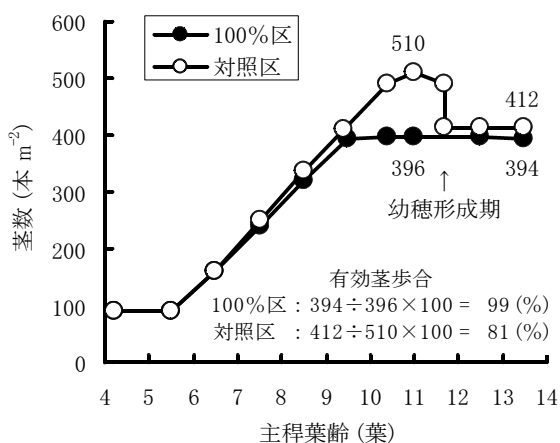
そこで、本章では有効穂が強勢茎のみで構成され、有効茎歩合が異なる2つの水稻群落を用いて、有効茎歩合の違いが収量および玄米の整粒歩合・タンパク質含有率に及ぼす影響について検討した。

材料と方法

1. 実験圃場および栽培方法

試験は、2003年に秋田県農業試験場内の面積500m²の水田圃場(細粒強グライ土)で実施した。供試品種は「あきたこまち」で、4.5葉期(不完全葉を第1葉とした)の中苗を用いた。基肥は化成肥料でN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ50kg ha⁻¹ずつ、追肥は減数分裂期に硫酸でNを20kg ha⁻¹施用した。栽植密度は22.2株m⁻²(30cm×15cm)とし、各試験区ごとに4条×12株を1株4本植えて手植えた。

各株4本、各区計192本について、分けつ発生後順次節位別に色の違うリングをはめて分けつの発生次位・節位を識別した。分けつ茎の呼称は、第1葉の基部から発生した分けつを第1節からの分けつとした。そして、主茎をM、主茎の第4～7節から出現した1次分けつをT4～T7、すべての2次分けつをTとした。試験区は、各株の4個体で強勢茎以外の分けつを発生次第直ちに切除する有効茎歩合100%区(100%区)と、幼穂形成期に強勢茎以外を切除した対照区を設置した(第5-1図)。



第5-1図 茎数の推移と有効茎歩合

2. 分けつの発生次位・節位の調査

各試験区の分けつ調査株の内、中央部の24株(2条×12株)、計96個体について穂揃期(8月8日)

まで定期的に分けつの発生次位・節位を調査した。

3. 穂揃期の高さ別葉面積と相対照度および稈・葉鞘中の非構造性炭水化物(NSC)量

穂揃期に各試験区から3株採取し、各株で強勢茎がすべて揃った1個体、計3個体について主茎および次位・節位別分けつごとに1穂粒数と高さ別に葉面積を測定した。葉面積の測定は各個体ごとに高さ別に葉身を切り分けた後、それぞれの葉面積を葉面積計(LI3100C MINOLTA社製)により測定した。

相対照度の測定は、穂揃期に5連の光量子計を用い条間3カ所を測定し、群落最上部の光量子量を100%として示した。また、各株の稈・葉鞘中のNSC量は凍結乾燥後にDenisonら(1990)の方法により加水分解し、Lever(1972)の方法により還元糖を比色法で定量しグルコース量に換算した。

4. 出液速度

出液速度は、穂揃期の5日後、19日後にあたる8月13、27日の両日に各試験区でそれぞれ8株について10:00～15:00の5時間に森田・阿部(2002)の方法で測定した。

5. 収量調査および整粒歩合、精玄米タンパク質含有率

成熟期に、各試験区から4株採取し、主茎および次位・節位別分けつごとに1穂精玄米重、1穂粒数、精玄米歩合、千粒重、整粒歩合、精玄米タンパク質含有率を調査した。粒厚1.9mm以上の玄米を精玄米とした。1穂精玄米重および千粒重は水分15%に換算した。総粒数に占める精玄米粒数の比率を精玄米歩合とした。

整粒歩合は、食糧庁の農産物検査規定に基づき目視で判定し粒数比率で示した。精玄米タンパク質含有率は、ケルダール法で求めた窒素含有率にタンパク質換算係数5.95を乗じ水分15%に換算して算出した。

また、穂揃期に葉面積の調査で採取した3株の乾物重と成熟期に採取した4株の乾物重から主茎および次位・節位別分けつの乾物増加量を求めた。

結果

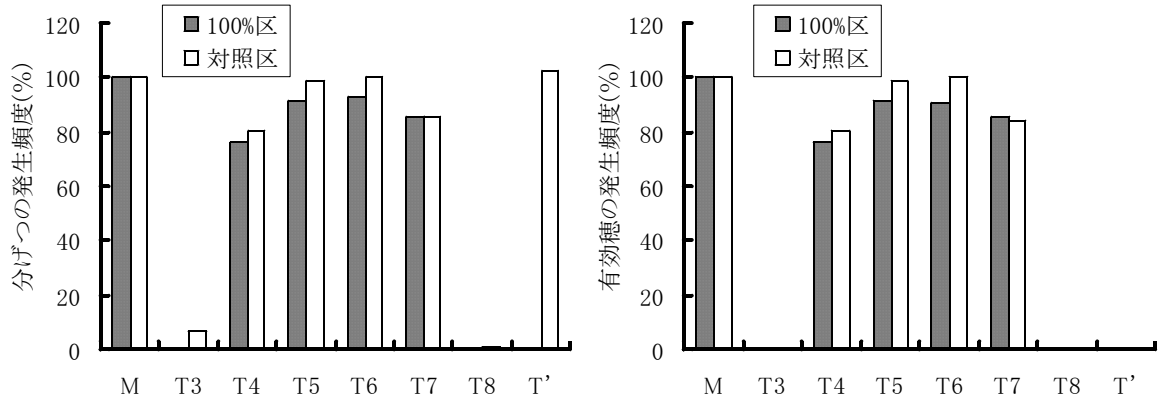
1. 分けつ・有効穂の発生頻度と有効茎歩合

第5-1図に、両試験区の茎数の推移と有効茎歩合を示した。各試験区の有効茎歩合は、100%区は99%、対照区は81%であった。

第5-2図に、主茎および次位・節位別分けつ・有効穂の発生頻度を示した。分けつの発生頻度は、100%区は強勢茎が76～100%の範囲にあり、対照区は強

勢茎が 80 ~ 100 % の範囲にあった他に, T3 が 6 %, T8 が 1 %, T' が 102 % であった. 有効穂の発生頻度は, 100

% 区で強勢茎が 76 ~ 100 % の範囲にあり, 対照区は強勢茎が 80 ~ 100 % の範囲にあった.



第 5-2 図 主茎および次位・節位別分げつ・有効穂の発生頻度.

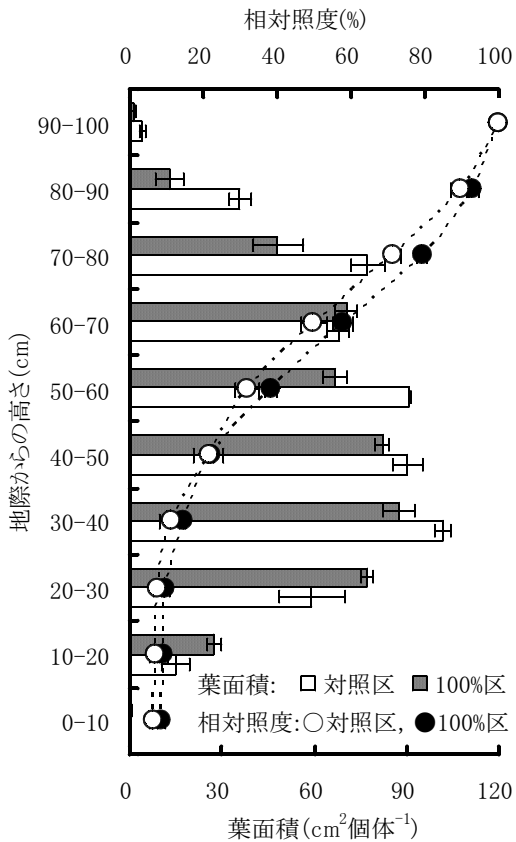
24 株で各株 4 個体, 計 96 個体調査.

発生頻度 = 分げつ・有効穂の発生数 ÷ 調査個体数 × 100.

2. 穂揃期の高さ別葉面積と相対照度

第 5-3 図に, 穂揃期の高さ別葉面積と相対照度を示した. 穂揃期の高さ別葉面積は, 100 % 区が対照区に比べ高さ 30 ~ 100 cm で同等か少なく, 高さ 30 cm

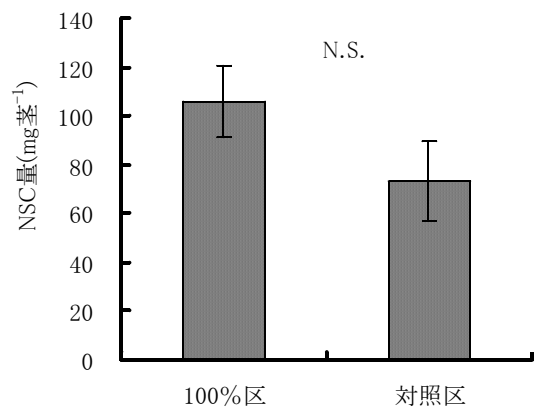
以下では多い傾向にあった. 条間における相対照度は, 両試験区とも群落上層部で高く, 地際からの高さが 90 cm から 50 cm までは直線的に低下し, 40 cm 以下はゆるやかに低下した. いずれの高さにおいても 100 % 区は慣行区に比べ相対照度が高い傾向にあった.



第 5-3 図 穂揃期の高さ別葉面積と相対照度 (条間). 4 個体の平均値, 図中のエラーバーは標準誤差を示す.

3. 穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量

第 5-4 図に, 穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量を示した. 1 茎当たりの NSC 量は, 両試験区で有意な差は認められなかったが, 100 % 区が対照区に比べ多い傾向にあった.



第 5-4 図 穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量.

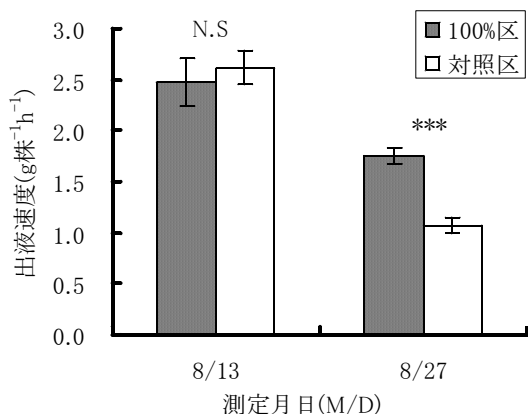
NSC 量はグルコース換算値. 3 株の平均値.

図中のエラーバーは標準誤差を示す.

図中の N. S. は試験区の平均値間に有意差の無いことを示す.

4. 出液速度

第5-5図に、穂揃後の8月13日と8月27日に測定した出液速度を示した。100%区は対照区に比べ、8月13日の出液速度に有意な差は認められなかったが、8月27日の出液速度は有意に高かった。両試験区とも8月13日に比べ8月27日の出液速度は低い傾向にあったが、100%区は対照区に比べ出液速度の低下が小さかった。



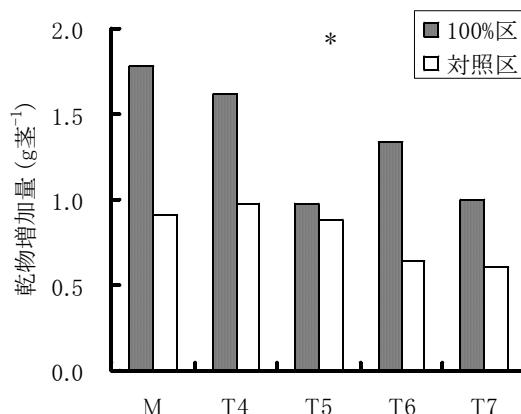
第5-5図 有効茎歩合の違いが出穂後の出液速度に及ぼす影響。

各8株調査。図中のエラーバーは標準誤差を示す。図中のN.S.は試験区の平均値間に有意差の無いことを示す。

図中の***は試験区の平均値間に0.1%水準で有意差のあることを示す。

5. 主茎および次位・節位別分けつの穂揃期から成熟期にかけての乾物増加量

第5-6図に、穂揃期から成熟期にかけての主茎および次位・節位別分けつの1茎当たりの乾物増加量を示した。1茎当たりの乾物増加量は、M、T4～T7のいずれも100%区が対照区に比べ多かった。



第5-6図 主茎および次位・節位別分けつの穂揃期から成熟期にかけての乾物増加量。

各試験区それぞれ穂揃期3株、成熟期4株調査。図中の*は2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を示す。

第5-1表 主茎および次位・節位別分けつの稈長、1穂精玄米重、1穂籾数、精玄米歩合、精玄米千粒重、整粒歩合、精玄米タンパク質含有率。

節位	調査	稈長	1穂精玄米重	1穂籾数	精玄米歩合	精玄米千粒重	整粒歩合	精玄米タンパク質含有率	
	茎数	cm	g	粒	%	g	%	%	
1	M	16	75.3	1.49	88	76.4	22.2	86.3	6.7
0	T4	11	72.7	1.33	78	77.2	22.1	86.5	6.9
0	T5	16	71.9	1.34	77	79.4	21.9	86.5	7.2
%	T6	16	71.0	1.17	69	77.5	21.9	81.3	7.8
区	T7	15	68.6	1.10	63	82.4	21.2	84.3	8.1
対	M	16	78.0	1.18	78	70.2	21.6	81.0	7.0
	T4	13	77.3	0.92	66	65.0	21.4	80.5	7.6
照	T5	16	75.5	1.02	69	72.4	20.4	82.3	7.5
	T6	15	74.6	0.97	67	70.6	20.5	80.8	7.7
区	T7	13	70.1	0.67	49	68.7	19.9	78.8	8.6
			**	**	*	**	**	*	*

4株で各株4個体、計16個体調査。

精玄米歩合 = 精玄米粒数 ÷ 総籾数 × 100。

表中の*、**は2元配置の分散分析においてそれぞれ5%、1%水準で試験区間に有意差のあることを示す。

6. 生育・収量調査および整粒歩合、精玄米タンパク質含有率

第5-1表に、主茎および次位・節位別分げつの稈長、1穂精玄米重、1穂籾数、精玄米歩合、精玄米千粒重、整粒歩合、精玄米タンパク質含有率を示した。2元配置の分散分析により、稈長、1穂精玄米重、精玄米歩合、精玄米千粒重は1%水準で、1穂籾数、整粒歩合、精玄米タンパク質含有率は5%水準でそれぞれ試験区間に有意な差が認められた。すなわち、主茎および各分げつで100%区は対照区に比べそれぞれ稈長は短かく、1穂精玄米重は重く、1穂籾数は多く、精玄米千粒重は重く、整粒歩合は高く精玄米タンパク質含有率は低い傾向にあった。

7. 主茎および次位・節位別分げつの品質・食味・収量に係わる要素の相互関係。

第5-2表に、主茎および次位・節位別分げつの1穂精玄米重、1穂籾数、精玄米歩合、精玄米千粒重、整粒歩合、精玄米タンパク質含有率について相互の相関係数を示した。1穂精玄米重が重い主茎や分げつほど1穂籾数が多く ($r=0.933^{**}$)、精玄米歩合が高く ($r=0.633^*$)、精玄米千粒重が重く ($r=0.877^{**}$)、整粒歩合 ($r=0.866^{**}$) が高く、精米タンパク質含有率 ($r=-0.850^{**}$) が低い傾向にあった。また、整粒歩合が高い主茎や分げつほど精玄米歩合が高く ($r=0.747^*$)、精玄米千粒重が重い ($r=0.697^*$) 傾向にあった。そして、精玄米タンパク質含有率が低い主茎や分げつほど精玄米千粒重が重い ($r=-0.761^*$) 傾向にあった。

第5-2表 主茎および次位・節位別分げつの品質・食味・収量に係わる要素の相互関係。

	1穂精玄米重 A	1穂籾数 B	精玄米歩合 C	精玄米千粒重 D	整粒歩合 E	精玄米タンパク質含有率 F
A	1.000	0.933 **	0.633 *	0.877 **	0.866 **	-0.850 **
B		1.000	0.332	0.806 **	0.715 *	-0.972 **
C			1.000	0.475	0.747 *	-0.161
D				1.000	0.697 *	-0.761 *
E					1.000	-0.646 *
F						1.000

n=10. 表中の数字は相関係数を示す.

表中の*は5%水準, **は1%水準でそれぞれ有意であることを示す.

考 察

第2章において、中苗「あきたこまち」の移植栽培では強勢茎が高品質・良食味米安定生産に適していること、T8やT1は主稈第10葉が伸展する期間以降に主として発生し、強勢茎に比べ穂への有効化率が低いことを明らかにした。強勢茎を主体に穂数を確保する場合、T8やT1の発生数の多少により有効茎歩合が低くなる生育相と、有効茎歩合が高くなる生育相の両方の生育相が想定される。これまで、茎数の制限によって有効茎歩合を高めることにより穂長と穂重(三本ら1971)、籾数(三本ら1971, 大江・恵木1997)が増加することが報告されている。また、分げつ発生期間の深水処理によって弱小分げつの発生を抑制し有効茎歩合を向上させることで収量が高まること報告されている(錦ら1987, 古谷ら1991, 大江・三本2002)。しかし、有効茎歩合の違いが水稻の収量や品質・食味に及ぼす影響について総合的に考察した報告はない。そこで、本章では強勢茎以外の分げつ(弱勢茎)を発生次第切除することによって有効茎歩合の高い群落を作成し、そのことが1穂精玄米重、整粒歩合、精玄米タンパク質含有率に及ぼす影響を検討した。

1. 有効茎歩合の違いが1穂精玄米重に及ぼす影響

これまで、出穂期から収穫期までの穂重増加量は、出穂期までに稈・葉鞘中に貯蔵されたNSC量と出穂後の乾物生産量とに密接な関係があることが報告されている(翁ら1982)。本試験において、100%区は対照区に比べ穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量は有意な差が認められなかったが多い傾向にあった(第5-4図)。一方、100%区は対照区に比べ各茎の穂揃期から成熟期にかけての乾物増加量が有意に多かったことから出穂後の乾物生産量が多かったものと考えられた(第5-6図)。

丹野ら(1990)は無効分げつの固定炭素の74~84%が有効茎に転流することを報告している。このため、本試験で対照区の弱勢茎を幼穂形成期に切除したことが、対照区の穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量に影響している可能性は否定できない。しかし、100%区や対照区の穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量は73.4~105.7 mg 茎⁻¹で(第5-4図)、穂揃後の乾物増加量0.8~1.5 g 茎⁻¹に比べかなり少ない(第5-6図)。また、子実炭水化物に対する登熟期間中の光合成の寄与率は60~100%であり(吉田1986)、NSCの寄与率よりも高いことが知られている。これらのことから、対照

区の切除分けつの NSC が子実炭水化物に寄与する割合は低いと考えられ、100%区が対照区に比べ1穂精玄米重が重かった要因としては穂揃期以降の乾物生産量が多かったことが考えられた(第5-1表)。

一方、大江・恵木(1997)は、茎数の制御によって出穂期以降の群落光合成環境が改善され、葉色値が成熟期まで高く維持されることにより穂重が増加することを報告している。本試験で、100%区と対照区の穂揃期の群落内相対照度や高さ別葉面積を測定した。しかし、両群落で稈長が異なることから高さ別の葉面積の比較では群落光合成環境の比較ができないと判断された。また、登熟期間の光合成環境や葉色値の変化は未検討であることから両群落の登熟期間の光合成環境の良否は判断できなかった。しかし、登熟期間中の出液速度を検討した結果、100%区の出液速度は対照区に比べ穂揃5日後は有意な差は認められなかったが、穂揃20日後は高かった(第5-5図)。出液速度は根の呼吸速度との間に正の相関関係が認められ(山口ら1995b)、根量×根の生理活性を示す指標と考えられている(森田・阿部2002)。そして、根量や根活性は葉面積、葉の枯れ上がり、葉身の傾斜角度、個葉の光合成能力と密接に関係し、登熟期間の乾物生産に影響を及ぼすことが報告されている(李・太田1973)。これらのことから、100%区は対照区に比べ根量が多く登熟後半まで根の生理活性が高く維持されていたため、出穂期以降の乾物生産量が多かったものと推察された。

以上の考察から、100%区は対照区に比べ穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量は有意な差が認められなかったが多い傾向にあり、出穂期以降の乾物生産量が多かったことから1穂精玄米重が重かったものと考えられた。

さて、100%区は主稈第10葉伸展期間以降に発生する T8 や T' を発生次第切除するため、幼穂形成期までの期間は対照区に比べ分けつ数が少ないことから群落の光環境が良く稈基部の日射量が多いことが推察される。主稈第10葉期～幼穂形成期までの期間は下位節間の伸長時期にあたり、同期間における稈基部の日射量と下位節間長の間には負の相関関係を認めた上地ら(1993)の報告から、本試験において100%区の稈長が対照区に比べ短かったのは光環境の影響と考えられた(第5-1表)。三本ら(1971)も、連続的な分けつ切除による茎数制限によって下位の節間が短縮し稈長が短くなることを報告している。また、同期間は根が

下層に伸長し(川田ら1963)根域が拡大する期間である。森田ら(1987)は、茎葉部の生育が旺盛な場合には横方向に比べ下方に伸長する1次根数の割合が高いことを報告している。これらのことから、有効茎歩合の違いは、無効茎が出現する有効茎決定期以降の水稲群落の光合成環境に影響を与えるため、根の伸長域や活性の違いが生じたものと考えられる。今後、有効茎歩合の違いが根域の拡大や登熟期間の根活性に及ぼす影響についてさらに詳細に検討する必要がある。

2. 有効茎歩合の違いが玄米の整粒歩合やタンパク質含有率に及ぼす影響

主茎や次位・節位別分けつ着生粒の1穂精玄米重と整粒歩合、精玄米タンパク質含有率の関係について検討した。その結果、第2章の結果と同様に主茎や各分けつ着生粒の1穂精玄米重と整粒歩合、精玄米タンパク質含有率の間にそれぞれ1%水準で有意な正と負の相関関係が認められた(第5-2表)。そして、1穂精玄米重の重い主茎や分けつは、1穂粒数が多いにもかかわらず精玄米歩合が高く、精玄米千粒重が重い傾向にあった(第5-2表)。これらのことから、100%区は対照区に比べ第4章で示したように出穂期にソースとしての稈・葉鞘中の NSC 量が多いこと、登熟期間の乾物生産量が多いことから米粒の登熟が進み1穂の中で完全に登熟した粒の比率が高まり整粒歩合が高くなったものと推察した。また、第2章の結果と同様に精玄米タンパク質含有率と精玄米千粒重の間に5%水準で有意な負の相関関係が、1穂精玄米重と精玄米千粒重の間に1%水準で有意な正の相関関係がそれぞれ認められた(第5-2表)。これらのことから、1穂精玄米重が重い主茎や分けつは、第2章で考察したように玄米1粒重が重いことによって精玄米タンパク質含有率の低下に寄与しているものと考えられた。

結 論

強勢茎のみで構成された水稲群落において、有効茎歩合の高い稲は低い稲に比べて1穂精玄米重が重く、同時に整粒歩合が高く精玄米タンパク質含有率が低い傾向にあった。これらのことから、高品質・良食味米の安定生産において強勢茎主体に穂数を確保することに加え、さらに有効茎歩合を高めることの重要性が示唆された。

第6章 分げつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産技術の実証

「あきたこまち」の中苗移植栽培では主茎と第4～7節1次分げつ（強勢茎）を主体に穂数を確保し、有効茎歩合を高めることが高品質・良食味米安定生産のポイントであることを前章までに明らかにした。本章では、これらの知見をふまえ強勢茎を主体に穂数を確保し、有効茎歩合を高める栽培法を検討し実証を行った。

1. 育苗箱全量施肥・密植栽培による高品質・良食味米安定生産技術の実証

はじめに

育苗箱全量施肥は、水稻が成熟期までに必要とする窒素分を育苗箱に施用し、移植時に苗とともに本田に持ち込む方法である（佐藤・渋谷 1991）。このため、本田での基肥や追肥の散布作業が省略できることから省力技術として注目されている（金田ら 1994）。そして、施肥窒素の利用率が極めて高いことから減肥が可能である（金田ら 1994, 池田ら 1995, 荒木ら 1999, 松野 1999, 日高・葩島 2000）。また、慣行栽培に比べ初期生育が不足すること（熊谷ら 1999, 松野 1999）、有効茎歩合が高いことが知られている（金木ら 2000）。一方、慣行栽培に比べ玄米の品質については差が無く（荒木ら 1999, 日高・葩島 2000）、玄米タンパク質含有率は同等か低い（池田ら 1995, 松野 1999, 日高・葩島 2000）傾向にあることが報告されている。

さて、育苗箱全量施肥移植栽培は、秋田県内において省力技術として八郎潟干拓地を中心に栽培面積が増加している（伊藤 2001）。しかし、その品質や食味、分げつの発生次位・節位について詳細な検討はなされていない。また、初期生育の不足は最終的に穂数の減少につながり安定生産の支障となる可能性がある。

そこで、本章では育苗箱全量施肥と密植栽培を組み合わせ、強勢茎を主体に穂数を確保し有効茎歩合を高めることにより高品質・良食味米安定生産を実証するため試験を実施した。

材料と方法

1) 実験圃場および栽培方法

2002～2004年の3カ年に、秋田県農業試験場内の面積500 m²の水田圃場（細粒強グライ土）2筆で試験を実施した。1筆は育苗箱全量施肥・密植区（箱施肥区）、1筆は化成肥料慣行施肥区（慣行区）とした。

供試品種は「あきたこまち」を使用した。内寸28 cm × 58 cmの育苗箱に乾初重で100 gを播種し、35日間育苗した4.3～4.5葉期（不完全葉を第1葉とした）の中苗を、2002年は5月15日、2003年は5月16日、2004年は5月17日に6条植えの乗用田植機で1株平均4本植えとなるように調節し、箱施肥区は坪当たり80株、慣行区は坪当たり70株の密度で移植した。

箱施肥区は、基肥窒素が50 kg ha⁻¹となるようにチッソ旭肥料（株）社製のシグモイドタイプの被覆尿素肥料「苗箱まかせ N400-100」（窒素成分のみ40%含有、25℃溶出日数100日）を用いて種子の上に層状に施肥し覆土後育苗した。また、リン酸、カリはそれぞれ50 kg ha⁻¹を耕起時に全層に施肥した。慣行区は、高度化成肥料を用いた。基肥として窒素、リン酸、カリそれぞれ50 kg ha⁻¹を耕起時に全層に施肥した。また、減数分裂期に窒素で20 kg ha⁻¹を追肥した。

2) 生育・収量調査および整粒歩合、精玄米タンパク質含有率

各試験区の生育調査は、それぞれ試験区中央部の20株について定期的に草丈、茎数、葉色（ミノルタ社製の葉緑素計 SPAD-502 で測定）、主稈葉齢を調査した。部分刈り収量は、成熟期に各試験区で無作為に1カ所を選び96株を採取し、粒厚1.9 mm以上の精玄米の重さを測定し水分15%に換算して算出した。収量構成要素は、成熟期に各試験区の平均穂数に近い株を5株採取して常法（注：秋田県農林水産部 2004. 平成16年度稲作指導指針. 342-344）により求めた。精玄米タンパク質含有率は、各試験区の精玄米についてケルダール法で求めた窒素含有率にタンパク質換算係数5.95を乗じ水分15%に換算して算出した。整粒歩合は、各試験区の精玄米を東北農政局秋田農政事務所に依頼して調査した。

3) 分げつの次位・節位および有効茎歩合、強勢茎比率

分げつの次位・節位を識別するため、移植時に10株について1株当たり4本を手植えし、株内の1個体、計10個体の分げつの発生次位・節位を成熟期まで定期的に調査した。調査は分げつ発生後、順次節位別に色の違うリングをはめて区別して行った。分げつ茎の呼称は、第1葉の基部から発生した分げつを第1節からの分げつとし、主茎をM、主茎の第3～8節から出現した1次分げつをT3～T8、そしてT4、T5、T6から出現したすべての2次分げつをそれぞれT4'、T5'、

T6'とした。分けつ調査個体の最高茎数と穂数から有効茎歩合（全茎数のうち穂へ有効化した茎数の比率）と強勢茎比率（全穂数に占める強勢茎の比率）を求めた。

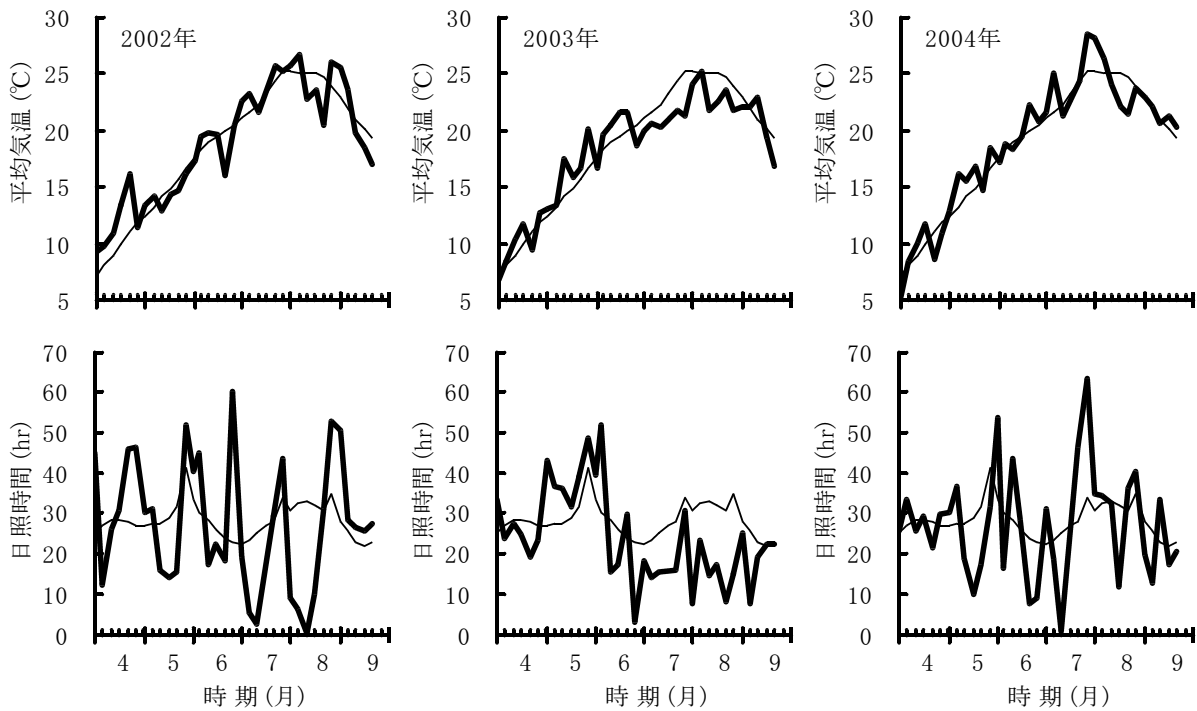
各試験年次の移植期から成熟期までの気象データは、農業試験場から約 15 km の距離にあるアメダス観測地点秋田のデータを使用した。

結 果

1) 各試験年の気象経過

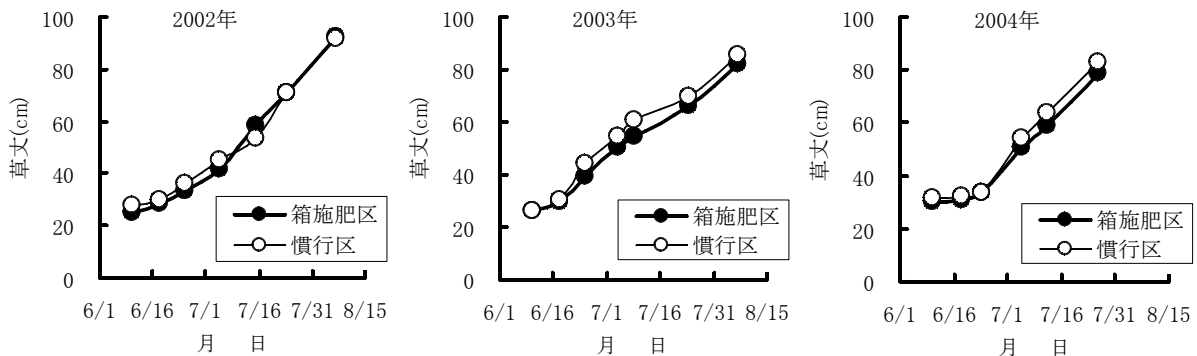
第 6-1-1 図に、各年次の気象経過を示した。2002 年は、移植時の5月中旬から5月下旬までやや低温で経過したが、6～7月は高温で経過した。登熟期間前半

の8月上中旬は低温・少照で経過し、登熟後半の8月下旬から9月上旬にかけて高温多照で経過した。2003 年は、移植時から分けつ発生期の6月中旬まで高温で経過した。その後一転し、有効茎決定期となる6月下旬から成熟期まで低温少照で経過した。このため、山間部を中心に障害不稔が発生し、平坦部でも白ふや若干の不稔が見られた。2004 年は、移植時の5月中旬から高温で経過し、幼穂形成期から出穂期にあたる7月下旬から8月上旬にかけて高温多照で経過した。登熟前半にあたる8月中旬は低温で経過し、その後は平年並みか高温で経過し、日照も平年並みに経過した。しかし、8月20日に秋田県沖を通過した台風15号の潮風害やその後の相次ぐ台風の襲来により沿岸部を中心に登熟が不良となった。

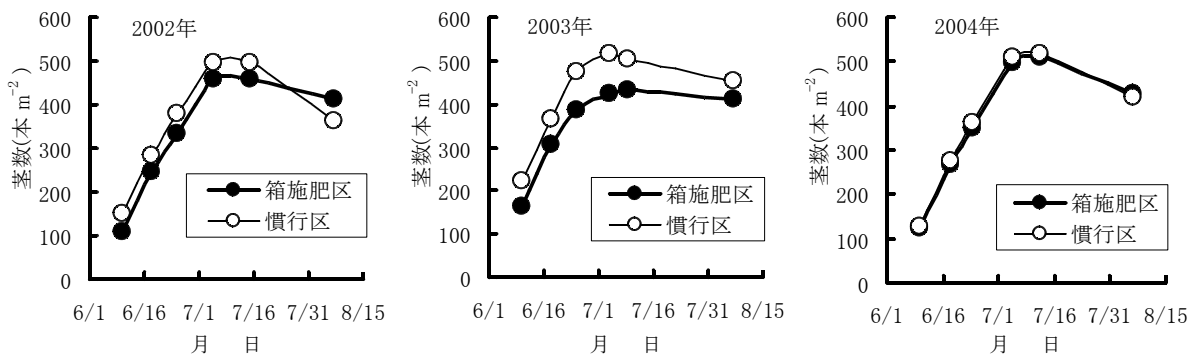


第 6-1-1 図 生育期間の半月別気象条件（アメダス観測地点秋田）。

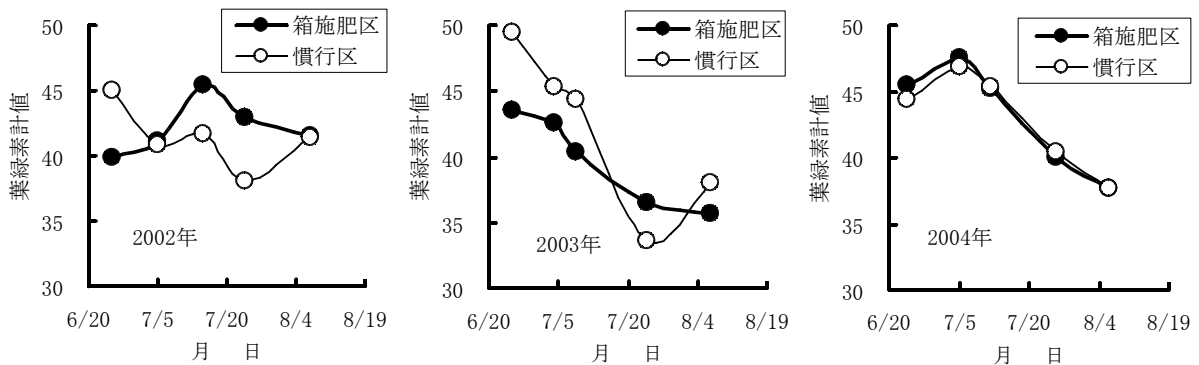
図中の細実線は平年値を示す。



第 6-1-2 図 育苗箱全量施肥・密植栽培が草丈の推移に及ぼす影響。



第 6-1-3 図 育苗箱全量施肥・密植栽培が茎数の推移に及ぼす影響.



第 6-1-4 図 育苗箱全量施肥・密植栽培が葉色の推移に及ぼす影響.

第 6-1-1 表 稈長，収量，収量構成要素および整粒歩合，精玄米タンパク質含有率.

年次	試験区	稈長	収量	穂数	1穂	m ² 当たり	登熟	千粒重	整粒	精玄米タンパク
		cm	t ha ⁻¹	本 m ⁻²	籾数 粒	籾数 千粒	歩合 %	g	歩合 %	質含有率 %
2002年	箱施肥区	77.5	5.96	412	69.7	28.7	89.0	23.6	73.0	6.7
	慣行区	75.1	5.43	364	69.1	25.2	93.4	23.9	64.0	7.1
2003年	箱施肥区	75.6	5.69	413	72.4	29.9	89.0	22.2	83.0	6.8
	慣行区	79.2	5.95	451	72.9	32.9	87.0	21.6	77.0	7.3
2004年	箱施肥区	77.5	5.50	427	73.1	31.2	88.0	22.6	79.0	6.6
	慣行区	85.0	5.63	424	81.0	30.7	87.0	22.5	72.0	6.9
平均値	箱施肥区	76.9	5.72	417	71.7	29.9	88.7	22.8	78.3	6.7
	慣行区	79.8	5.67	413	74.3	29.6	89.1	22.7	71.0	7.1
変動係数	箱施肥区	1.4	4	2	3	4	1	3	6	1
	慣行区	6.2	5	11	8	13	4	5	9	3
		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	*

表中の*は 2 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を示す.

表中の N. S. は 2 元配置の分散分析において試験区間に有意差の無いことを示す.

2) 水稻の生育と収量

第 6-1-2 図に、各年次の草丈の推移を示した。箱施肥区の草丈は慣行区に比べて全生育期間にわたって同等かやや短い傾向にあった。

第 6-1-3 図に、各年次の茎数の推移を示した。箱施肥区の茎数は、慣行区に比べ全生育期間にわたって同等かやや少ない傾向にあった。2002 年は、慣行区の有効茎歩合が低く最終的な穂数は箱施肥区で多くなっ

た。

第 6-1-4 図に、各年次の葉色の推移を示した。2002 年、2003 年は、箱施肥区は慣行区に比べ最高分げつ期にあたる 7 月上旬まで葉色が同等か低く推移し、7 月中旬は逆に箱施肥区が慣行区より高く推移した。2004 年は両試験区とも同様の葉色の推移を示した。

第 6-1-1 表に、各年次における稈長、収量、収量構成要素および整粒歩合、精玄米タンパク質含有率を示

した。稈長は、箱施肥区と慣行区間に有意な差は無く、いずれの年次も倒伏は認められなかった。箱施肥区および慣行区の収量はそれぞれ $5.50 \sim 5.96 \text{ t ha}^{-1}$ 、 $5.43 \sim 5.95 \text{ t ha}^{-1}$ で、3カ年の平均でそれぞれ目標収量である 5.70 t ha^{-1} をほぼ達成していた。収量および収量構成要素は、それぞれ試験区間で有意な差は認められなかった。しかし、箱施肥区は慣行区に比べ有意に整粒歩合は高く、精玄米タンパク質含有率は低かった。そして、変動係数は箱施肥区が慣行区に比べ、いずれの項目も低かった。

3) 主茎と次位・節位別分けつ、および穂の発生頻度と有効茎歩合および強勢茎比率

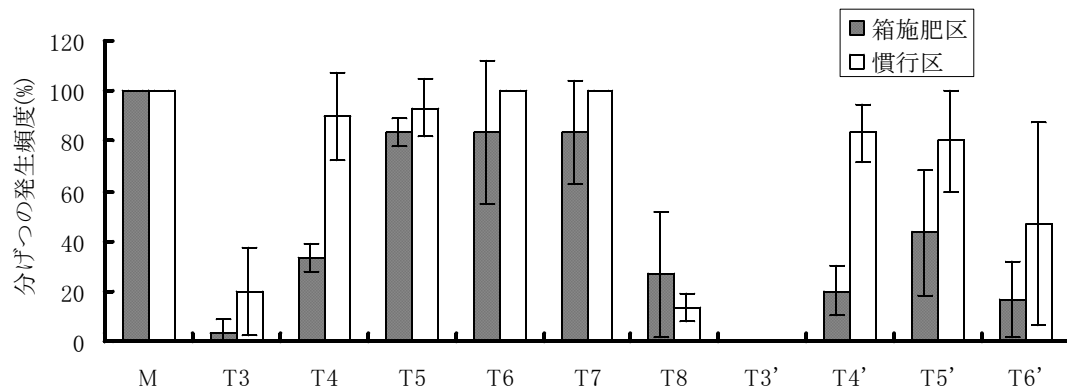
第 6-1-5 図に、主茎および次位・節位別分けつの発生頻度を示した。M および T5、T6、T7 は、両試験区とも発生頻度は高かった。T4、T4'、T5'、T6' は、箱施

肥区が慣行区に比べ発生頻度が低かった。T3、T8 は、両区とも発生頻度が低かった。

第 6-1-6 図に、主茎および次位・節位別有効穂の発生頻度を示した。分けつの発生頻度と同様に、M および T5、T6、T7 は両試験区とも発生頻度は高かった。T4、T4'、T5'、T6' は箱施肥区が慣行区に比べ発生頻度が低かった。T3、T8 は、両試験区とも発生頻度が低かった。

第 6-1-7 図に、各年次の有効茎歩合を示した。有効茎歩合は、各年次とも箱施肥区が慣行区に比べ高かった。

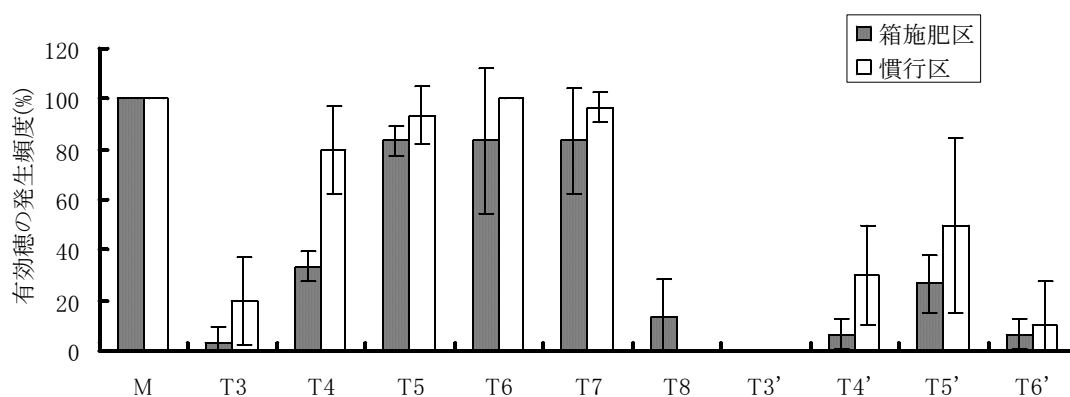
第 6-1-8 図に、各年次の強勢茎比率を示した。強勢茎比率は、2002 年は箱施肥区が慣行区に比べ低かったが、2003、2004 年は箱施肥区が慣行区に比べ高かった。



第 6-1-5 図 主茎および次位・節位別分けつの発生頻度 (2002-2004 年)。

図中のエラーバーは標準偏差を示す。

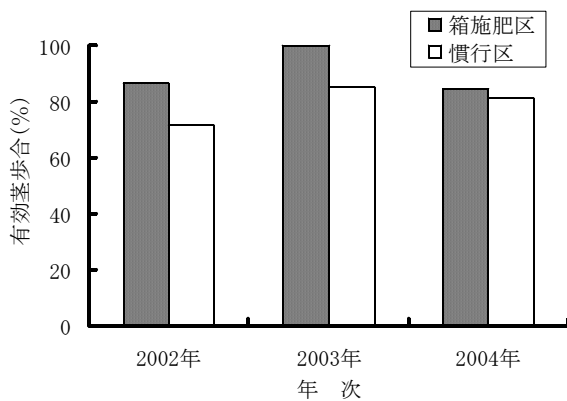
分けつの発生頻度 = 分けつの発生数 ÷ 調査個体数 × 100。



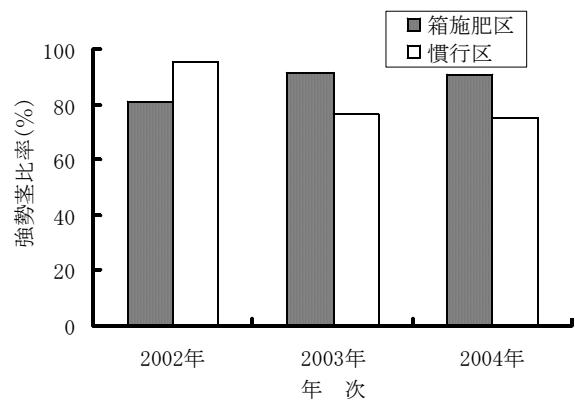
第 6-1-6 図 主茎および次位・節位別有効穂の発生頻度 (2002-2004 年)。

図中のエラーバーは標準偏差を示す。

有効穂の発生頻度 = 有効穂の発生数 ÷ 調査個体数 × 100。



第 6-1-7 図 育苗箱全量施肥・密植栽培が有効茎歩合に及ぼす影響.



第 6-1-8 図 育苗箱全量施肥密植栽培が強勢茎比率に及ぼす影響.

$$\text{強勢茎比率} = (\text{強勢茎の穂数}) \div \text{全穂数} \times 100.$$

考 察

育苗箱全量施肥による水稻の移植栽培は、本田の追肥が不要であることから省力栽培技術として栽培面積が増加している。一方、施肥窒素の利用率が極めて高いことから、最大効率最少汚染農業 (MEMPA) の実践技術として環境負荷軽減の視点から注目されている (三枝 2005)。今後、環境に配慮した生産技術が生産現場に持続的に普及・定着するためには、経営的に合理性を有することが重要であり、環境負荷が少ないことに加え収量・品質・食味の向上により農家収入が向上する技術であることが不可欠である。しかし、これまで育苗箱全量施肥による水稻の移植栽培において、本論文で注目している分げつの発生次位・節位を明らかにした報告は無く、品質、食味および収量の視点で総合的に検討された事例は無い。

実証試験は、2002～2004年の3年間にかけて秋田県農業試験場で実施した。育苗箱全量施肥法に使用する肥料は、育苗期から分げつ発生始期にかけて窒素の溶出が極めて少ないことから、初期生育が慣行栽培に比べ劣ることが知られている (熊谷ら 1999)。しかし、これまで初期生育の不良について分げつの発生次位・節位の視点から検討した報告は見あたらない。本試験においても、最高分げつ期にあたる7月上旬までは、慣行区に比べ箱施肥区は生育量が少なく葉色が同等か低い傾向にあった (第 6-1-2 図, 第 6-1-3 図, 第 6-1-4 図)。また、箱施肥区は慣行区に比べ初期に発生する T3, T4 の発生頻度が低く (第 6-1-5 図)、初期茎数の不足はこれら低次・低節位分げつの発生が少なかったためであった。さらに有効茎決定期以降に発生する T4', T5', T6' の発生頻度が低いことも明らかになった (第 6-1-5 図)。そして、有効化した穂の次位・節位についても分げつの発生頻度と同様に、箱施肥区は慣

行区に比べ T3, T4, T4', T5', T6' の発生頻度が低く、M, T5～T7 の発生頻度は差が無く高かった (第 6-1-6 図)。このため、慣行栽培と同じ 1 株 4 本植え、栽植密度が坪当たり 70 株の耕種条件では、第 2 章で示した目標収量 5.70 t ha^{-1} を得るために必要な穂数 415～450 本 m^2 を強勢茎主体に確保することが困難であると考えられた。そこで、本試験では 1 株 4 本植え、坪当たり 80 株の栽植密度で試験を実施した。その結果、気象変動の大きい年次での実証となったが、密植することにより熊谷ら (1999) が指摘したように穂数の不足が解消され、年次による変動が少なく目標収量である 5.70 t ha^{-1} レベルの収量が安定して確保された。

一方、本試験の結果から、箱施肥区は慣行区に比べ第 2 章で明らかにした有効茎歩合低下の要因である T4', T5', T6' の発生が少なかったことから各年次とも有効茎歩合が高い傾向にあった (第 6-1-7 図)。2 次分げつの発生頻度が低かったのは、密植によって高次分げつの発生が抑制されたこと (佐藤・清水 1958)、T4 の発生が少なかったことが原因と考えられた。また、2002 年を除いて箱施肥区の強勢茎比率が慣行区に比べ高い傾向にあった (第 6-1-8 図)。2002 年の強勢茎比率が慣行区に比べ箱施肥区で低かったのは、慣行区で有効茎歩合が低く、強勢茎以外の分げつの多くが無効化したためと考えられた。

前章までにおいて、中苗「あきたこまち」の移植栽培では、強勢茎主体に穂数を確保し、弱勢茎の発生を抑制して有効茎歩合を高めることが高品質・良食味米安定生産のポイントであることを指摘した。本試験の結果から、育苗箱全量施肥・密植栽培は慣行栽培に比べ、強勢茎主体に穂数が確保され、有効茎歩合が高まったことから、安定して高い整粒歩合と低い精玄米タンパク質含有率、そして 5.70 t ha^{-1} の収量が確保されたものと考えられた。

結 論

育苗箱全量施肥と密植栽培を組合わせた育苗箱全量施肥・密植栽培法により、強勢茎主体に穂数が確保され有効茎歩合が向上した。その結果、異なる気象年においても安定して高い整粒歩合と低い精玄米タンパク質含有率、そして 5.70 t ha^{-1} レベルの収量が確保された。

2. 深水栽培による高品質・良食味米安定生産技術の実証

はじめに

これまで、水稻栽培において通常の水管理より深く湛水する深水処理は冷害の回避（酒井 1949, 小林・佐竹 1979）や雑草防除（荒井・宮原 1956）を目的として行われてきた。一方、分けつ発生期間の深水処理によって分けつ発生が抑制されることが報告されている（酒井 1949, 荒井・宮原 1956, 錦ら 1987, 古谷ら 1991, 大江ら 1994, 菅井ら 1999）。大江ら（1994）は主茎のすべての完全展開葉の葉鞘が水面下に沈むよ

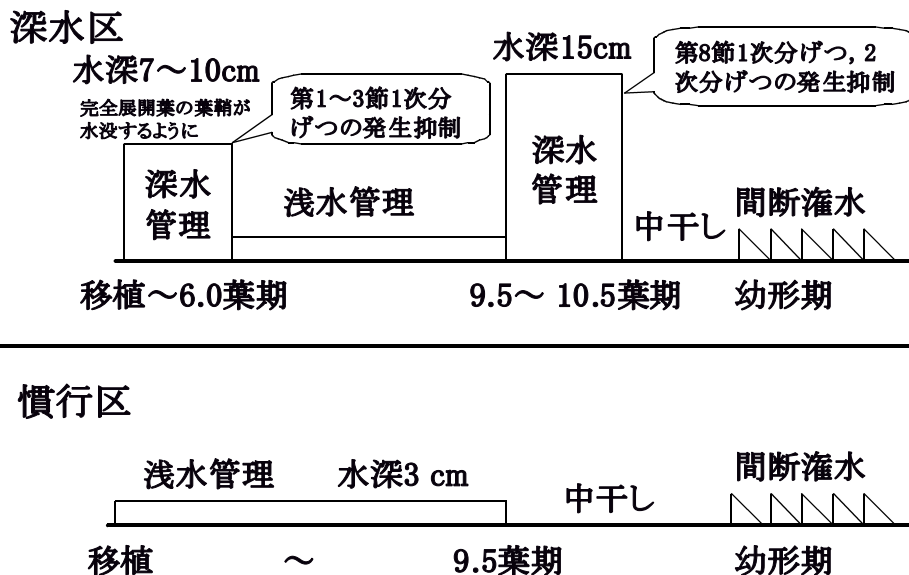
うに深水処理することにより、葉鞘から出現直前の分けつ芽の生長が抑制されることを明らかにした。また、古谷ら（1991）は水深 $8 \sim 12 \text{ cm}$ で生育中期の分けつ制御が可能であることを報告している。

そこで、本試験では深水処理によって弱勢茎の発生を抑制し、強勢茎主体に穂数を確保し、あわせて有効茎歩合を高めることにより高品質・良食味米安定生産技術を実証するため本試験を実施した。

材料と方法

1) 実験圃場および栽培方法

試験は、2002～2003年の2カ年に秋田県農業試験場内水田圃場（細粒強グライ土）で実施した。試験区は、強勢茎を主体に穂数を確保するため、移植直後から主稈葉齢で6.0葉までと、9.5～10.5葉の2期間を深水管理した深水区、および慣行の水管理を行った慣行区の2区を設置した。各試験区の水管理の詳細を第6-2-1図に示した。2002年は深水区、慣行区それぞれ 500 m^2 の2筆（2002a）、およびそれぞれ 50 m^2 の2筆（2002b）の2反復で試験を実施した。2003年は深水区、慣行区それぞれ 500 m^2 の2筆の反復無しで試験を実施した。



第6-2-1図 深水区および慣行区の水管理の詳細。

各区共通で、供試品種は「あきたこまち」を使用した。内寸 $28 \text{ cm} \times 58 \text{ cm}$ の育苗箱に乾籾重で 100 g を播種し、35日間育苗した4.3～4.5葉期（不完全葉を第1葉とした）の中苗を、2002年は5月15日、2003年は5月16日に6条植えの乗用田植機で1株平均4本植えとなるように調節し坪当たり70株の栽植密度で移植した。基肥は高度化成肥料を用いて窒素、リン

酸、カリをそれぞれ 50 kg ha^{-1} 耕起時に全層に施肥した。また、減数分裂期に窒素 20 kg ha^{-1} を追肥した。

2) 生育・収量調査および整粒歩合、精玄米タンパク質含有率

各試験区の生育調査は、それぞれ試験区中央部の20株について定期的に草丈、茎数、葉色（ミノルタ社製

の葉緑素計 SPAD-502 で測定), 主稈葉齢を調査した. 部分刈り収量は, 成熟期に各試験区で無作為に 1 カ所を選び 96 株を採取し, 粒厚 1.9 mm 以上の精玄米の重さを測定し水分 15 % に換算して算出した. 収量構成要素は, 成熟期に各試験区の平均穂数に近い株を 5 株採取して常法 (注:秋田県農林水産部 2004. 平成 16 年度稲作指導指針. 342-344) により求めた. 精玄米タンパク質含有率は, 各試験区の精玄米についてケルダール法で求めた窒素含有率にタンパク質換算係数 5.95 を乗じ水分 15 % に換算して算出した. 整粒歩合は, 各試験区の精玄米を東北農政局秋田農政事務所に依頼して調査した.

3) 主茎と次位・節位分げつ・穂の発生頻度および有効茎歩合, 強勢茎比率

分げつの次位・節位を識別するため, 移植時に 10 株について (2003 年は 20 株) 1 株当たり 4 本を手植えし, 株内の 1 個体, 計 10 個体 (2003 年は 20 個体) の分げつの発生次位・節位を成熟期まで定期的に調査した. 調査は分げつ発生後, 順次節位別に色の違うリングをはめて区別して行った. 分げつ茎の呼称は, 第 1 葉の基部から発生した分げつを第 1 節からの分げつとし, 主茎を M, 主茎の第 3 ~ 8 節から出現した 1 次分げつを T3 ~ T8, そして T4, T5, T6 から出現したすべての 2 次分げつをそれぞれ T4', T5', T6' とした. 分げつ調査個体の最高茎数と穂数から有効茎歩合 (全茎数のうち穂へ有効化した茎数の比率) と強勢茎比率 (全穂数に占める強勢茎の比率) を求めた.

4) 穂揃後 20 日間の乾物増加量および穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量

穂揃期および穂揃 20 日後に各試験区から平均穂数に近い株をそれぞれ 3 株採取し, 80 °C で 2 日間乾燥後乾物重を測定し, 穂揃後 20 日間の乾物増加量を算出した. 穂揃期に採取した乾物の稈・葉鞘中の非構造性炭水化物 (NSC) 量は大西・堀江 (1999) の方法に

より比色定量しグルコース量に換算した.

5) 主茎および次位節位別分げつの穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量

2003 年には, 穂揃期に各試験区の分げつ調査株 5 株を採取し主茎および次位・節位別分げつごとに穂, 葉, 稈・葉鞘に切り分け 80 °C で 2 日間乾燥した後, 稈・葉鞘中の NSC 量を大西・堀江 (1999) の方法により比色定量しグルコース量に換算した. また, 採取した穂の 1 穂初数を調査した.

結 果

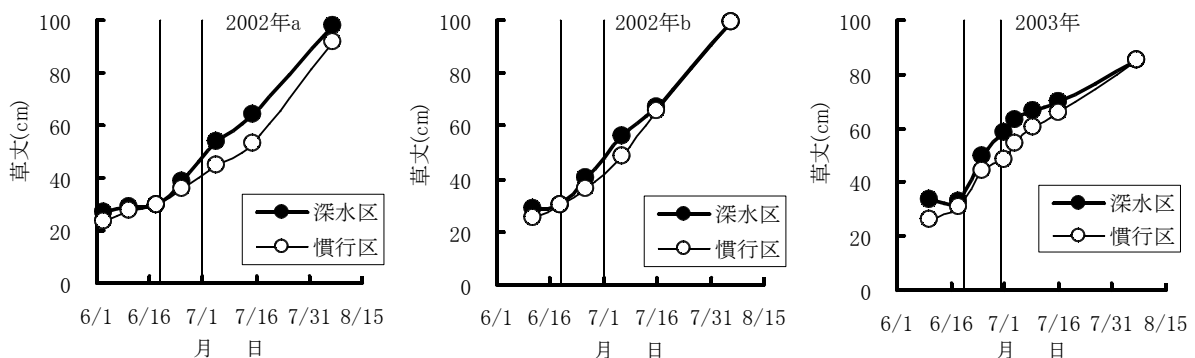
1) 生育・収量調査および整粒歩合, 精玄米タンパク質含有率

第 6-2-2 図に, 各年次の草丈の推移を示した. 深水区の草丈は慣行区に比べて深水処理開始後に一時的に伸長する傾向が認められ, 全生育期間にわたって同等かやや長い傾向にあった.

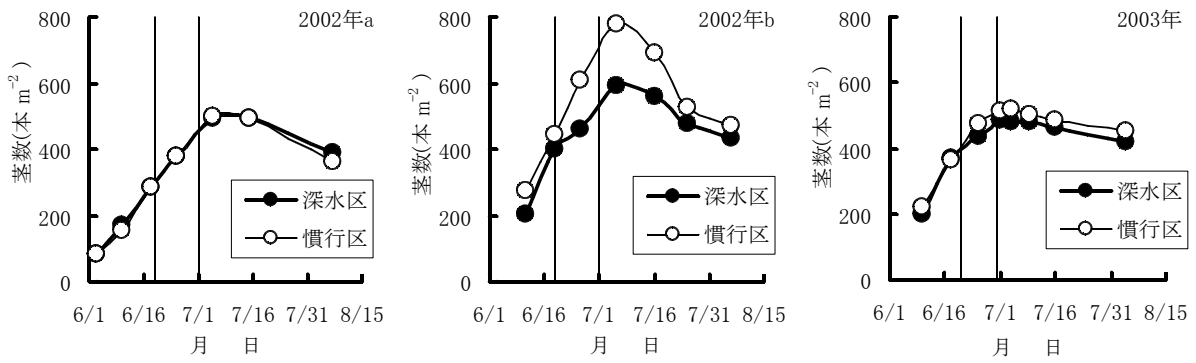
第 6-2-3 図に, 各年次の茎数の推移を示した. 2002 年 a は, 深水区は慣行区と同じような茎数の推移を示した. 2002 年 b, 2003 年は, 深水区が慣行区に比べ深水処理によって茎数は少なく推移した.

第 6-2-4 図に, 各年次の葉色の推移を示した. 各年次とも, 6 月下旬から幼穂形成期にあたる 7 月中旬まで深水区が慣行区に比べ高く推移した.

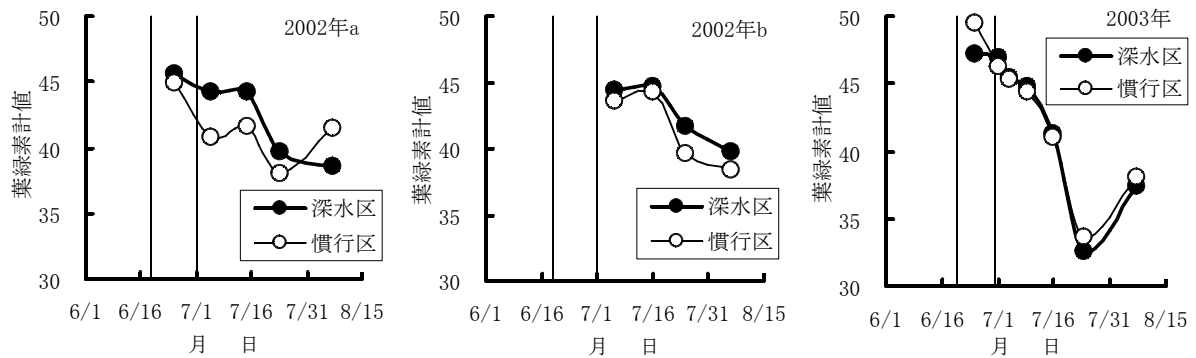
第 6-2-1 表に, 各年次における稈長, 収量, 収量構成要素および整粒歩合, 精玄米タンパク質含有率を示した. 稈長は, 深水区が慣行区に比べ各年次とも長い傾向にあったが有意な差は無く, いずれの年次も倒伏は認められなかった. 収量は, 深水区が慣行区に比べ有意に多く, いずれの年次も目標収量である 5.70 t ha⁻¹ より多かった. 収量構成要素では, 深水区と慣行区の間で有意な差は認められなかった. また, 整粒歩合は深水区が慣行区に比べ有意に高く, 精玄米タンパク質含有率は有意に低かった. そして, 変動係数は深



第 6-2-2 図 深水処理が草丈の推移に及ぼす影響.
図中の 2 本細実線は 2 回目の深水処理の期間を示す.



第6-2-3 図 深水処理が茎数の推移に及ぼす影響。
 図中の2本細実線は2回目の深水処理の期間を示す。



第6-2-4 図 深水処理が葉色（葉緑素計値）の推移に及ぼす影響。
 図中の2本細実線は2回目の深水処理の期間を示す。

第6-2-1 表 稈長，収量，収量構成要素および整粒歩合，精玄米タンパク質含有率。

年次	試験区	稈長	収量	穂数	1穂	㎡当たり	登熟	千粒重	整粒	精玄米タンパク
		cm	t ha ⁻¹	本 m ⁻²	初数 粒	初数 千粒	歩合 %	g	歩合 %	質含有率 %
2002年a	深水区	83.4	5.89	388	74.6	29.0	91.7	23.9	72.0	6.4
	慣行区	75.1	5.43	364	69.1	25.2	93.4	23.9	64.0	7.1
2002年b	深水区	79.2	6.43	432	71.4	30.8	87.4	24.0	73.0	6.4
	慣行区	75.6	6.11	473	66.0	31.2	83.0	23.6	68.0	7.0
2003年	深水区	81.1	6.57	419	76.2	31.9	92.6	22.0	81.0	6.8
	慣行区	79.2	5.95	451	72.9	32.9	87.0	21.6	77.0	7.3
平均値	深水区	81.2	6.30	413	74.1	30.6	90.6	23.3	75.3	6.5
	慣行区	76.6	5.83	429	69.3	29.8	87.8	23.0	69.7	7.1
変動係数	深水区	2.6	6	5	3	5	3	5	7	4
	慣行区	3.0	6	14	5	14	6	5	9	2
		N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	**

表中の*, **は2元配置の分散分析においてそれぞれ5%, 1%水準で各試験区間に有意差のあることを示す。
 表中のN.S.は2元配置の分散分析において試験区間に有意差の無いことを示す。

水区が慣行区に比べ、いずれの項目も同等か低い傾向にあった。

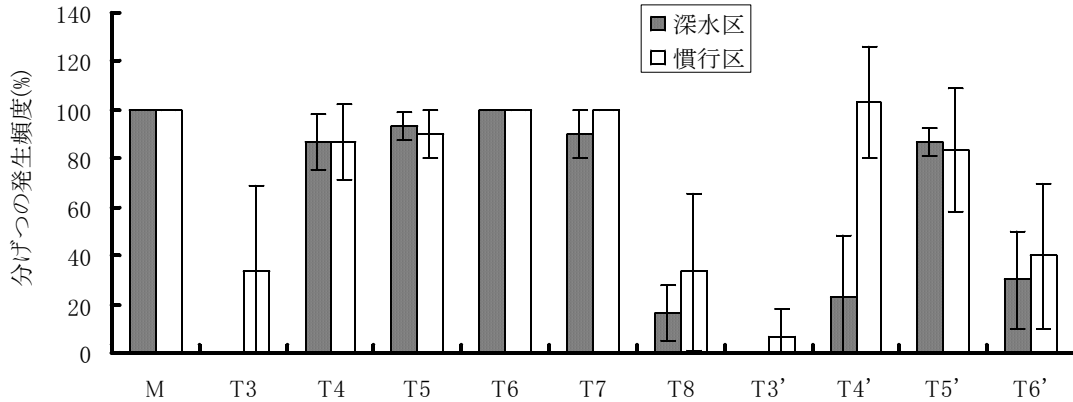
2) 主茎と次位・節位分けつ・有効穂の発生頻度および有効茎歩合，強勢茎比率

第6-2-5 図に、主茎および次位・節位別分けつの発

生頻度を示した。M および T4, T5, T6, T7 の発生頻度は両試験区で高かった。深水処理によって発生抑制をねらった T3, T3', T4'は慣行区に比べ発生頻度が低く抑制された。しかし、深水処理終了後に発生した T8, T5', T6'は抑制されず、慣行区と同等の発生頻度であった。

第 6-2-6 図に、主茎および次位・節位別有効穂の発生頻度を示した。M および T4、T5、T6、T7 は両試験区で発生頻度が高かった。T3'、T6'は両試験区で発生頻度は 0 %であった。T3、T8、T4'は慣行区に比べ深水区で発生頻度が低かった。T5'は、深水区と慣行区に明らかな差は認められなかった。

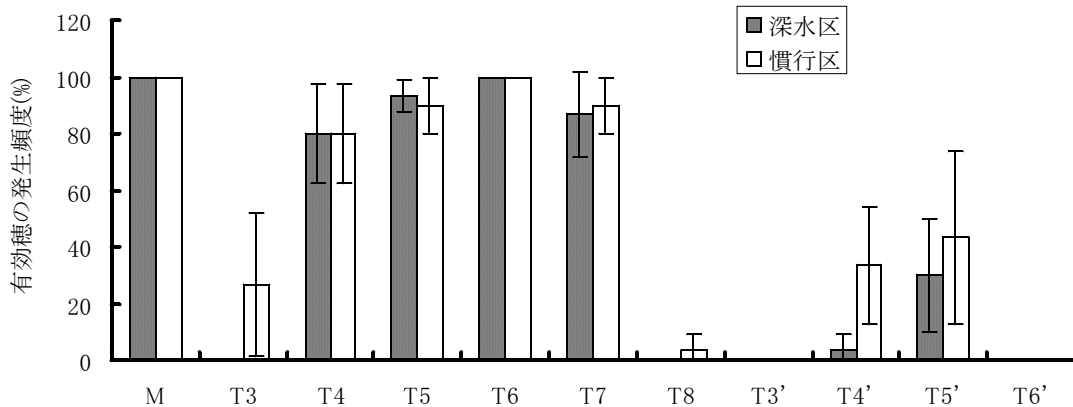
生頻度は 0 %であった。T3、T8、T4'は慣行区に比べ深水区で発生頻度が低かった。T5'は、深水区と慣行区に明らかな差は認められなかった。



第 6-2-5 図 主茎および次位・節位別分けつの発生頻度 (2002-2003 年).

図中のエラーバーは標準偏差を示す.

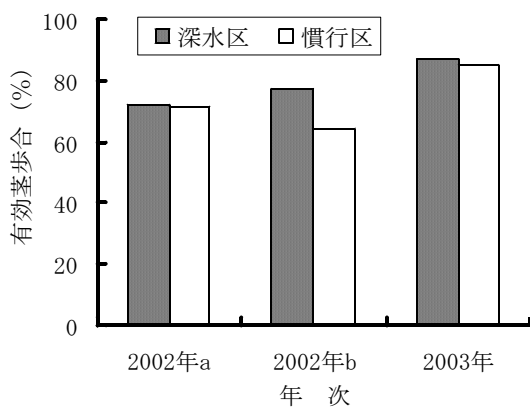
分けつの発生頻度 = 分けつの発生数 ÷ 調査個体数 × 100.



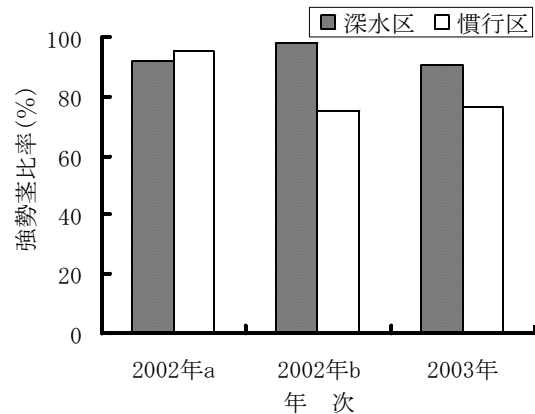
第 6-2-6 図 主茎および次位・節位別有効穂の発生頻度 (2002-2003 年).

図中のエラーバーは標準偏差を示す.

穂の発生頻度 = 穂の発生数 ÷ 調査個体数 × 100.



第 6-2-7 図 深水処理が有効茎歩合に及ぼす影響.



第 6-2-8 図 深水処理が強勢茎比率に及ぼす影響.

強勢茎比率 = (強勢茎の穂数) ÷ 全穂数 × 100.

第 6-2-7 図に、各年次の有効茎歩合を示した。有効茎歩合は各年次とも深水区が慣行区に比べ高い傾向にあったが、2002 年 a, 2003 年でその差は小さかった。

第 6-2-8 図に、各年次の強勢茎比率を示した。強勢茎比率は、2002 年 a は深水区が慣行区に比べやや低かったが 2002 年 b, 2003 年は深水区が慣行区に比べ高かった。

3) 穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量および穂揃後 20 日間の乾物増加量

第 6-2-2 表に、穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量および穂揃後 20 日間の乾物増加量を示した。穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量は、慣行区に比べ深水区で有意に多く、変動係数も小さかった。穂揃後 20 日間の乾物

増加量も、慣行区に比べ深水区で有意に多かったが変動係数の差は小さかった。

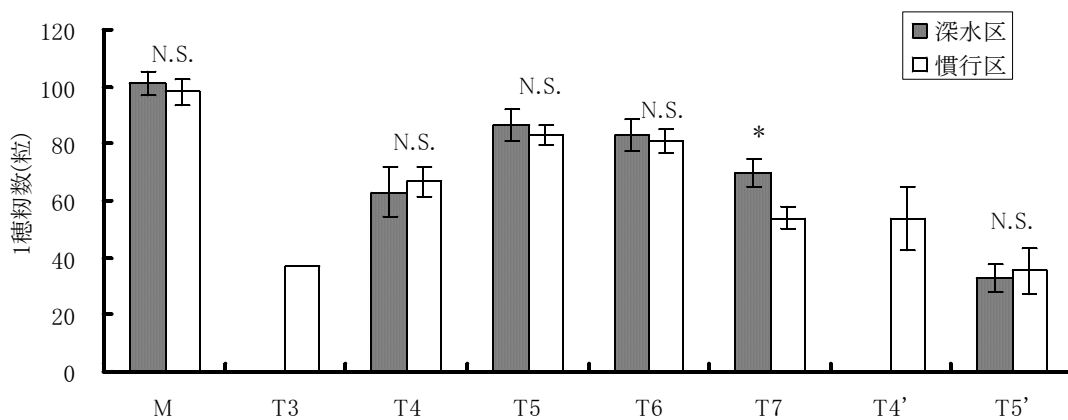
4) 主茎および次位節位別分けつの穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量

第 6-2-9 図、6-2-10 図に、それぞれ 2003 年の穂揃期の主茎および次位・節位別分けつの 1 穂朶数、稈・葉鞘中の NSC 量を示した。1 穂朶数は、T7 で慣行区に比べ深水区が有意に多かったが、それ以外の主茎や分けつでは有意な差は認められなかった。稈・葉鞘中の NSC 量は、M, T5, T6, T7 で慣行区に比べ深水区が有意に多く、T4, T5' で両試験区に有意な差は認められなかった。

第 6-2-2 表 穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量、穂揃後 20 日間の乾物増加量。

年次	試験区	穂揃期	穂揃後20日間
		NSC量	の乾物増加量
		$g\ m^{-2}$	$g\ m^{-2}$
2002年a	深水区	126	309
	慣行区	81	262
2002年b	深水区	129	486
	慣行区	102	382
2003年	深水区	120	346
	慣行区	78	278
平均値	深水区	125	380
	慣行区	87	307
変動係数	深水区	4	19
	慣行区	15	20
		*	*

表中の*は 2 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を示す。

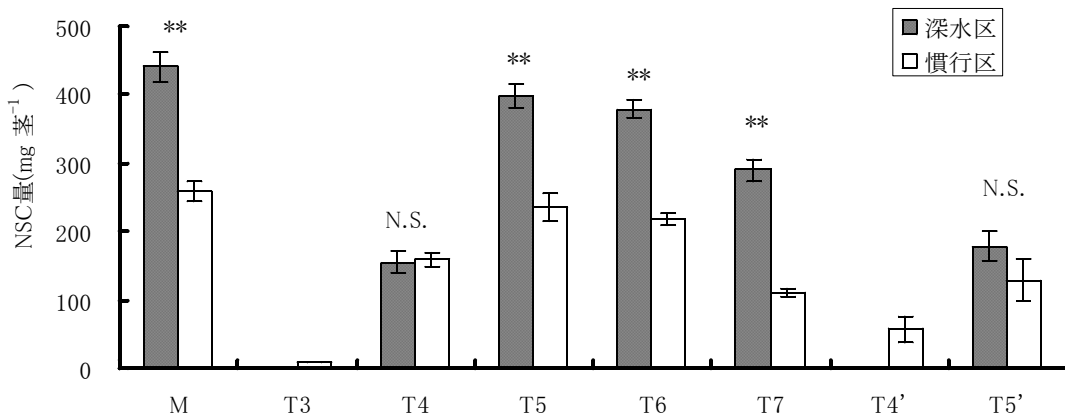


第 6-2-9 図 主茎および次位・節位別分けつの 1 穂朶数 (2003 年)。

図中のエラーバーは標準誤差を示す。

図中の*は 5%水準で試験区間に有意差のあることを示す。

図中の N. S. は試験区間に有意差の無いことを示す。



第 6-2-10 図 主茎および次位・節位別分げつの穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量 (2003 年)。

図中のエラーバーは標準誤差を示す。

図中の**は 1%水準で試験区間に有意差のあることを示す。

図中の N. S. は試験区間に有意差の無いことを示す。

考 察

近年、分げつ発生期間の深水処理により無効分げつの発生を抑制し、有効茎歩合を向上させることにより収量が高まることが報告されている(錦ら 1987, 古谷ら 1991, 大江・三本 2002)。しかし、各報告で深水処理時期は異なっており、特定の分げつの制御を目的として深水処理を実施し、高品質・良食味米安定生産を実証した例は無い。そこで、本試験では深水処理によって強勢茎以外の分げつを抑制し、強勢茎主体に穂数を確保し、あわせて有効茎歩合を高めることにより高品質・良食味米安定生産技術を実証するため試験を実施した。

深水処理の時期と水深は、大江ら(1994)や古谷ら(1991)の報告を参考にして決定した。すなわち、T4より低節位の1次分げつの発生を抑制するため、移植直後から主稈葉齢で6.0葉まで主茎のすべての完全展開葉の葉鞘が水没するように深水処理を実施した。さらに、T8および2次分げつの発生を抑制するため主稈葉齢で9.5～10.5葉の期間水深15cmで深水処理を実施した(第6-2-1図)。この2回の深水処理の組み合わせにより、強勢茎主体に穂数が確保され有効茎歩合が向上するものと考えられた。主稈葉齢10.5葉で深水処理を終了したのは、それ以上深水を継続した場合下位節間の伸長による倒伏が懸念されたためである。

本試験の結果から、深水区は慣行区に比べ、T3の発生は無く、T8やT3'、T4'の発生頻度は低い傾向にあった(第6-2-5図)。しかし、主稈葉齢10.5葉で深水処理を終了したことにより、それ以降に発生したT5'およびT6'の発生頻度は慣行区と差が無く、これらの分げつの発生は抑制できなかった(第6-2-5図)。こ

のため、有効茎歩合は各年次とも深水区が慣行区に比べ高かったものの2002年b以外の年次は差が小さい傾向にあった(第6-2-7図)。また、強勢茎比率は各年次とも90%を越えて安定して高く強勢茎を主体に目標穂数が確保された(第6-2-8図)。草丈は、錦ら(1987)や古谷ら(1991)が指摘したように本試験においても慣行区に比べ深水区で深水処理期間に伸長した(第6-2-2図)。しかし、稈長は深水区が慣行区に比べ各年次とも長い傾向にあったが有意な差は認められず(第6-2-1表)、両試験区で倒伏は無かった。

前章までにおいて、中苗「あきたこまち」の移植栽培では、強勢茎を主体に穂数を確保し、それ以外の分げつの発生を抑制して有効茎歩合を高めることが高品質・良食味米安定生産のポイントであることを指摘した。本試験の結果から、深水区は慣行区に比べ、強勢茎主体に穂数を確保し強勢茎比率が高く、有効茎歩合が高まったことから、整粒歩合が向上し、精玄米タンパク質含有率が低かったものと考えられた。

一方、深水区は慣行区に比べ施肥量や施肥時期が同じにもかかわらず収量が有意に多かった(第6-2-1表)。出穂期から収穫期までの穂重増加量は、出穂期までに稈・葉鞘中に蓄積されたNSC量と出穂後の乾物増加量との間に密接な関係のあることが報告されている(翁ら1982)。そこで、両試験区の穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量と穂揃後の乾物増加量を調査した。古谷ら(1991)が指摘したように深水区は慣行区に比べ穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量が有意に多かった(第6-2-2表)。また、深水区は慣行区に比べ穂揃後20日間の乾物増加量が有意に多かった(第6-2-2表)。さらに、穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量について主茎および次位・節位別分げつごとに深水区と慣行区で比較したところ、丹野(1992a)が指摘したように主茎

および次位・節位別分けつ間で異なり、両区とも強勢茎である M, T5, T6, T7 が他の分けつに比べ多い傾向にあった(第 6-2-10 図)。そして、深水区が慣行区に比べ M, T5, T6, T7 で穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量がそれぞれ有意に多いことを明らかにした(第 6-2-10 図)。すなわち、深水区が慣行区に比べ穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量が多かったのは、深水処理によって強勢茎比率が高まり、さらに M, T5, T6, T7 の NSC 量が慣行区に比べ増加したためと考えられた。本試験において、出穂期以降の葉枯れや葉身の光合成については未検討であるが、深水区が慣行区に比べ施肥量や施肥時期が同じにもかかわらず収量が有意に多かったのは、古谷ら(1991)が指摘したように、深水区は穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量が多く、出穂後の葉枯れが抑制され光合成の増進等の登熟体勢が良好になったことによって穂揃後の乾物生産量が多かったためと考えられた。

なお、本章における深水栽培は 2 回目の深水処理を主稈葉齢 10.5 葉で終了した。この時期は、最高分け

つ期よりも早い時期であったため、深水処理終了後に T5', T6' が発生し、一部が穂へ有効化した。今後、さらに有効茎歩合、強勢茎比率をとともに高めるため、2 回目の深水処理の終了時期について検討する必要がある。

結 論

移植直後から主稈葉齢で 6.0 葉まで、主茎のすべての完全展開葉の葉鞘が水没するように深水処理を実施し、さらに主稈葉齢で 9.5 ~ 10.5 葉の期間水深 15 cm で深水処理を実施する深水栽培法を検討した。この深水栽培法により、強勢茎主体に穂数が確保され有効茎歩合が向上した。その結果、異なる気象年においても安定して整粒歩合が向上し、精玄米タンパク質含有率が低下した。さらに、深水処理によって穂揃期の稈・葉鞘中の NSC 量が増加し、穂揃後 20 日間の乾物増加量が多かったことから収量が向上した。

第 7 章 分けつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産マニュアルの策定

1. 既往の栽培マニュアル(秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針)の特徴と問題点

秋田県は、平成 13 年に栽培適地を明確にし秋田米ブランドによる有利販売を確固たるものにするために「秋田県水稲作付け品種ガイドライン」(注:秋田県農政部 2001. 平成 13 年度稲作指導指針. 5-12)を策定した。ガイドラインの中で、「あきたこまち」の栽培適地は鎌田・福田(1983)が策定した稲作地帯区分と土壌群によって示されている。すなわち、秋田県の水田面積の 96 % を占める A1, A2, B1 地域、さらに秋田県の水田面積の 24 % を占める灰色低地土、41 % を占めるグライ土、19 % を占める強グライ土の各土壌群を「あきたこまち」の栽培適地としている(第 7-1 図)。また、これまでの稲作指導指針では、高品質・良食味米の安定生産を図るため、基本技術と対応技術を栽培技術の 2 本柱として農家への普及を図っている(注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 14-16)。

基本技術は、移植された稲を健全に生育させ、6 月下旬までに目標とする分けつ数を確保するための技術であり、健苗の育成、適期田植え、密植、地力増強から構成される。

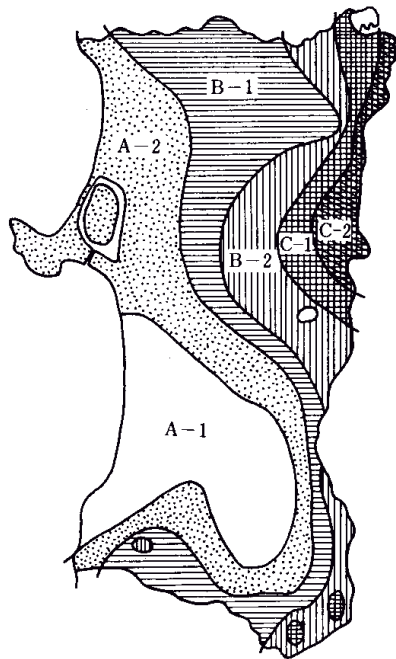
対応技術は、気象や水稲生育の変動に応じて目標とする生育相に誘導するための技術であり、施肥、水管

理、生育調整、防除から構成される。対応技術の中の生育調整技術では、宮川ら(1998)の報告を基に目標収量 5.70 t ha⁻¹ を安定確保するため、地域別に目標収量に対応した収量構成要素として穂数、1 穂粒数、m² 当たり粒数、登熟歩合、千粒重が明らかにされている。さらに、地域別・生育時期別の理想生育量として草丈、茎数、葉数、葉緑素計値、生育量(草丈×茎数)、栄養診断値(草丈×茎数×葉緑素計値)、窒素濃度、窒素吸収量が提示されている。また、地域別に適正な粒数の確保、倒伏防止を目的として幼穂形成期における生育量と葉緑素計値に基づく栄養診断図が策定され、診断結果に基づく幼穂形成期、減数分裂期の追肥量が決められている(注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 90-101)。その他、登熟向上や品質低下防止を目的として、登熟期間の水管理や適期刈り取りなどが情報化されている(注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 120-123)。

他県においても、高品質・良食味米の安定生産を目的として同様の生育・栄養診断が提示されている(神保ら 1982, 丹野 1992c, 北田ら 1995)。しかし、これらはいずれも水稲の生育量や窒素吸収量に着目して収量や玄米窒素濃度を制御するもので、いわば量的指標による理想生育・診断技術と言える。筆者は、第 2 章において、中苗「あきたこまち」の移植栽培では、主茎と第 4 ~ 7 節 1 次分けつ(強勢茎)を主体に穂数

を確保することが高品質・良食味米の安定生産のポイントであること、第4節1次分げつ(T4)や第8節1次分げつ(T8)および2次分げつ(T)の発生が収量変動に大きな影響を及ぼすことを指摘した。また、前章までの結果から、同じ茎数や穂数であっても気象や土壌などの環境要因および栽培方法の違いによって構

成する分げつの次位・節位が異なることが明らかであり、高次・高節位分げつの比率が高ければ収量、品質、食味の低下が懸念される。このため、これまでの量的指標のみの生育・栄養診断基準に、質的な指標である分げつの次位・節位を組合わせた生育・栄養診断技術を組み立てる必要があるものと考えた。



「あきたこまち」の栽培適地

稲作地帯区分における

A1, A2, B1地域(96%)の中の適土壌群

灰色低地土 (24%)

グライ土 (41%)

強グライ土 (19%)

()内の数字は秋田県の水田面積に占める比率

「秋田県水稲作付け品種ガイドライン」

第7-1図 「秋田県水稲作付け品種ガイドライン」における「あきたこまち」の栽培適地。

2. 分げつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産マニュアル(新栽培マニュアル)の手法と考え方

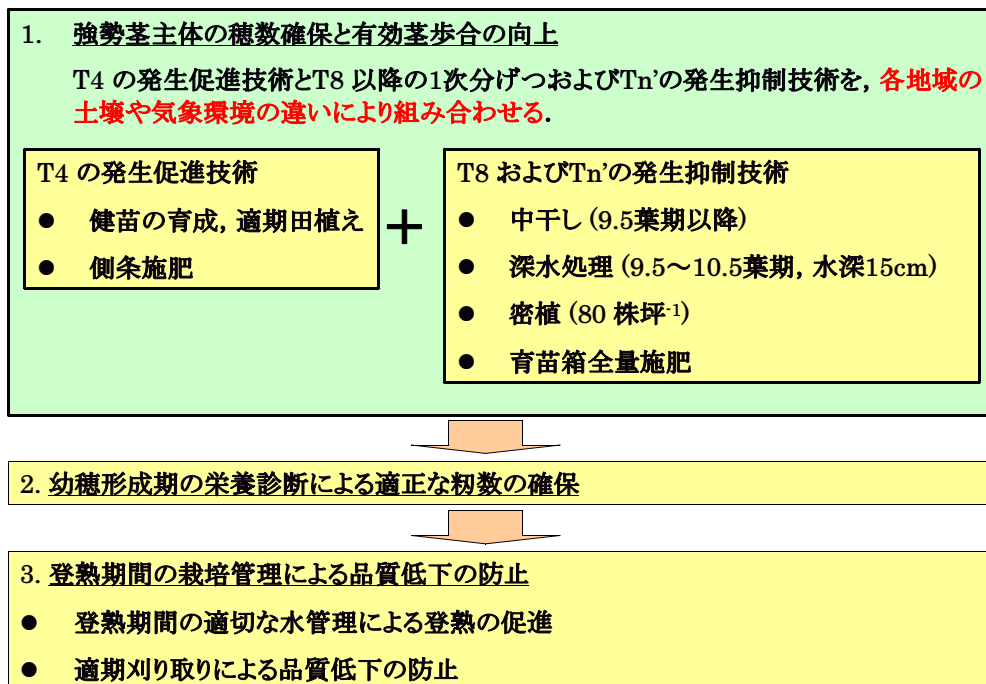
新栽培マニュアルは、量的指標を主体とした従来の栽培マニュアルにこれまで明らかにした分げつ発生次位・節位の制御などの質的指標を加えて策定した。すなわち、前章までに明らかにした中苗「あきたこまち」の移植栽培における高品質・良食味米安定生産に重要な強勢茎主体に穂数を確保すること、有効茎歩合を高めることの2点をポイントとして加えた新たな栽培マニュアルを提案する(第7-2図)。

1) 強勢茎主体の穂数確保と有効茎歩合の高い稲の作成。

第2章で明らかにしたように、本県の「あきたこまち」の中苗移植栽培においては、強勢茎の中でT5~T7は発生頻度や穂への有効化率が安定して高い。しかし、T4は地域や年次によって発生頻度が変動し、穂数に

占める強勢茎比率変動の一因となっている。また、T8やTは地域や年次によって発生頻度の変動が大きく穂への有効化率が低いことから、それらの発生頻度が高い場合に有効茎歩合が低下する。したがって、強勢茎主体に穂数を確保し有効茎歩合を高めるためには、T4の安定確保技術とT8やTの効率的な発生抑制技術が重要となる。

一方、T8やTの発生抑制によって生ずる有効茎歩合の高い群落は低い群落に比べ、下位節間の伸長時期にあたる主稈葉齢で10葉期から幼穂形成期の期間に、分げつ数が少ないことから群落の光環境が向上し稈基部の受光量が多くなることが推察される。同期間における稈基部の日射量と下位節間長の間に負の相関関係を認めた上地ら(1993)の報告から、有効茎歩合の向上は下位節間の伸長を抑え倒伏を防止する効果も期待できる。第5章において、有効茎歩合100%区の稈長が対照区に比べ短かったことも、このことが一因として考えられる。



第7-2図 分けつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産マニュアル。

(1) T4 の発生促進技術

ア 健苗の育成, 適期田植え

田植え後の活着が遅延するほど分けつの出現節位が上昇すること (山本 1991) から, 従来の基本技術である健苗の育成, 適期田植えは, 活着を促進し T4 を安定的に確保するために重要な技術と考えられる。

イ 側条施肥技術

本論文では未検討であるが, 肥料を稲株に沿って横 2~3 cm, 深さ 3~4 cm の位置に作条施用する側条施肥栽培は, 初期茎数の確保が容易であり (大山 1985, 結城ら 1988, 金田ら 1989) 下位節位からの分けつ発生が多いことが知られている (結城ら 1988)。このため, 中苗の移植栽培において側条施肥技術は T4 発生の促進技術として有効であると考えられる。本県では, 稲作地帯区分において低温で初期生育が不良な B1 地域や, 気象的には問題の少ない A1, A2 地域の中で初期生育が不良な強グライ土壌で側条施肥技術の導入を指導している (注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 78-81)。

(2) T8 や T' の発生抑制技術

ア 中干しによる分けつ発生抑制

土壌水分の低下が分けつ発生を抑制することは古くから知られている (植田 1935, 関谷 1952b)。これまで, 有効茎確保後の分けつ発生抑制は主として中干しによって行われ, 目標穂数と同数の茎数を確保した時期を中干し開始の目安としていた。この時期は 1 次分けつの発生に加え同時に 2 次分けつが発生するため日

々茎数が増加し, 中干しの開始時期の判断が困難となっている。さらに, 発生した分けつの次位・節位を考慮せず茎数という量的指標で中干しの開始時期を判断しているため, T8 などの高節位の 1 次分けつや T' が発生した後で中干しを開始する場合があります。強勢茎比率が低下することが懸念される。そこで, 新栽培マニュアルでは, 中干しは主稈葉齢を開始適期の判断基準とし, 9.5 葉期から開始することを提案する。現在, 有効積算気温を用いた主稈葉齢予測モデルが開発されている (神田ら 2000)。今後は, 各圃場で葉齢調査を実施しなくても, アメダスの気象データから主稈葉齢の推定が可能となり, より簡易に中干しの開始適期が判断できるものと期待される。

イ 深水処理による分けつ発生抑制

第 6-2 章で明らかにしたように, 主稈葉齢で 9.5 ~ 10.5 葉の期間水深 15 cm で深水処理を実施することにより T8 や T' の発生を抑制することができる。特に, 強グライ土水田では, 地下水位が高く排水が不良な圃場が多い。また, 中干しの開始適期とする主稈葉齢で 9.5 葉の時期は梅雨の時期と重なる。このため, 強グライ土水田では圃場が乾きにくく, 分けつ発生抑制技術としては中干しに比べ深水処理が適している (古谷ら 1991)。

ウ 密植による分けつ発生抑制

栽植密度を増すことによって, 高次分けつの発生が抑制されることが知られている (佐藤・清水 1958)。第 6-1 章で明らかにしたように, 栽植密度を坪当たり

80 株で移植した育苗箱全量施肥・密植栽培区は、坪当たり 70 株で移植した慣行栽培区に比べ T'の発生が少なく、栽植密度の増加がその一因であると考えられた。

エ 育苗箱全量施肥栽培による分げつ発生抑制

第 6-1 章で供試した育苗箱全量施肥栽培は、慣行栽培に比べ有効茎歩合が高いことが知られている（佐藤・渋谷 1991, 熊谷ら 1999, 金木ら 2000）。また、分げつの発生次位・節位を、同じ坪当たり 70 株の栽植密度で比較すると育苗箱全量施肥栽培区は慣行栽培区に比べ T'の発生数が少ない（三浦ら 2005）。これらのことから、育苗箱全量施肥栽培は、T'の発生が抑制されることによって有効茎歩合が向上するものと考えられ、T8 や T'の発生抑制技術として有効であると考えられる。

以上のように、T4 の発生促進や T8, T'の発生抑制にはそれぞれいくつかの技術が考えられる。各地域の土壌や気象環境の違いにより、これらの技術の最適な組み合わせを選択することにより、効率的に強勢茎主体の穂数を確保し有効茎歩合を高めることが可能と考えられる。

2) 幼穂形成期の栄養診断に基づく追肥や水管理の対応による適正な籾数の確保。

「あきたこまち」において、目標収量を 5.70 t ha^{-1} とした場合に必要な m^2 当たり籾数は $30.3 \sim 31.5$ 千粒 m^2 である（注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 95）。一方、整粒歩合は m^2 当たり籾数と高い負の相関関係にあること（神保ら 1982）、米粒中の窒素含有率は m^2 当たり籾数が多いほど高まること（北田ら 1995）が知られている。そして、宮川ら（1998）は、幼穂形成期の栄養診断値（草丈 $\times \text{m}^2$ 当たり茎数 \times 葉緑素計値）と m^2 当たり籾数の間には高い正の相関関係が認められ、作成した幼穂形成期の栄養診断図に基づく追肥の対応で m^2 当たり籾数が制御できることを報告している。これらのことから、「あきたこまち」の高品質・良食味米安定生産を図るためには、既往の栽培マニュアルに示されている幼穂形成期の栄養診断に基づき、穂肥（窒素追肥）を施用することにより目標とする籾数を確保し（注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 90-96）、籾数の過剰による整粒歩合の低下や精玄米タンパク質含有率の上昇を防止することが重要である。

3) 登熟期間の水管理等による登熟の促進と適期刈り取りによる品質低下の防止。

既往のマニュアルに示されているように、稲体の健

全性を維持し、登熟の促進、品質向上を図るため、出穂期間は湛水、その後は間断灌水とし、落水は出穂後 30 日以降とする（注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 104）。また、「あきたこまち」は、出穂後の積算気温で $950 \text{ }^\circ\text{C}$ 以前に刈り取ると青未熟粒の混入割合が多く、 $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 以降で刈り取ると胴割れ粒の混入割合が多くなり（児玉ら 1993）整粒歩合が低下する。品質低下防止のため、「あきたこまち」は出穂後の積算気温で $950 \sim 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ で刈り取ることが重要である（注:秋田県農林水産部 2005. 平成 17 年度稲作指導指針. 120-123）。

3. 地域別新栽培マニュアルの提案

新栽培マニュアルにおける「あきたこまち」の適用範囲は、従来の「秋田県水稻作付け品種ガイドライン」（注:秋田県農政部 2001. 平成 13 年度稲作指導指針. 5-12）に基づき鎌田・福田（1983）らが策定した稲作地帯区分で秋田県の水田面積の 96 %を占める A1, A2, B1 地域と、秋田県の水田面積の 24 %を占める灰色低地土, 41 %を占めるグライ土, 19 %を占める強グライ土の各土壌群を適地とする。A1 地域は、秋田市以南の沿岸および県南内陸平坦地で、4 月～10 月の平均気温が $17.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上と冷害の危険性が低い地域である。A2 地域は、秋田市より北に位置する県北沿岸部および県南中山間地で、4 月～10 月の平均気温が $17.0 \sim 17.3 \text{ }^\circ\text{C}$ と冷害の危険性が低い地域である。B1 地域は、県北内陸平坦部および県南高冷地で、4 月～10 月の平均気温が $16.5 \sim 17.0 \text{ }^\circ\text{C}$ と冷害の危険性がやや高い地域である。

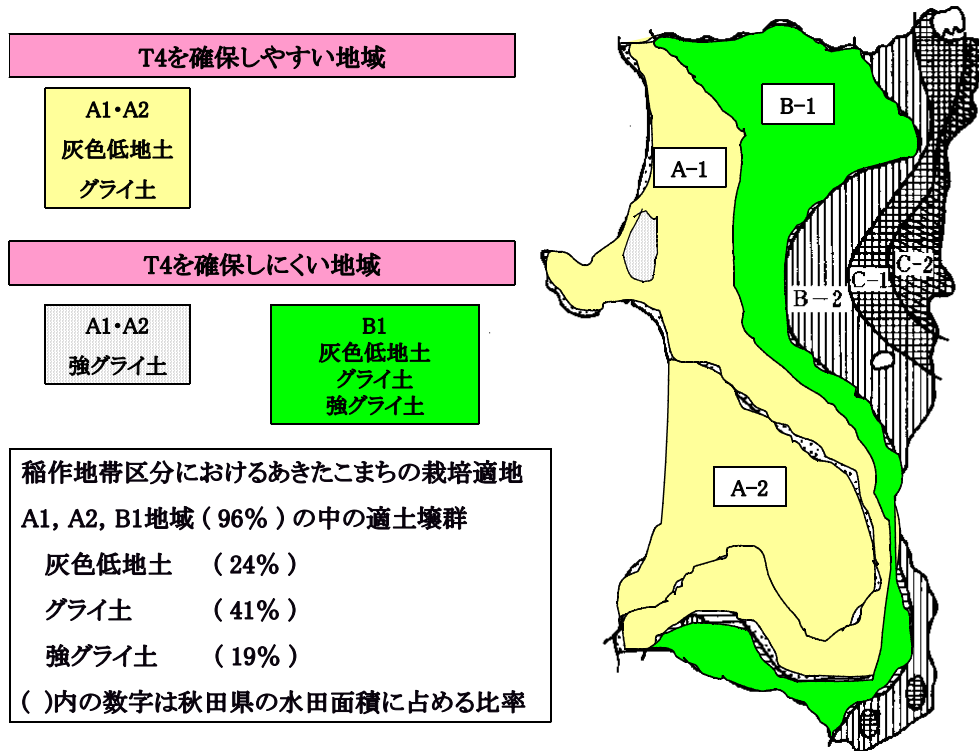
さらに、「あきたこまち」の栽培適地を、T4 の確保のしやすさから大きく 2 つに分け（第 7-3 図）、各地域の特徴と実践的な栽培マニュアルを示した。なお、既往の栽培マニュアルで示されている基本技術、幼穂形成期の栄養診断に基づく追肥や水管理の対応による適正な籾数の確保、登熟期間の水管理等による登熟の促進と適期刈り取りによる品質低下の防止は、新栽培マニュアルにそのまま活用するものとする。このため、以下には主として強勢茎主体の穂数確保と有効茎歩合の高い稲の作成について記載する。

1) 稲作地帯区分で、A1, A2 地域の灰色低地土およびグライ土

(1) 地域の特徴

A1, A2 地域の灰色低地土およびグライ土は、沿岸部および県南内陸平坦地・中山間地の全域に分布する。冷害の危険性は低く、強グライ土に比べ排水性は良く水稻の初期生育が良好な地域である。

この地域では、T4 の安定確保が容易であることから、T8 や T'の発生抑制が最優先と考えられる。



第7-3図 新栽培マニュアルにおける「あきたこまち」の栽培適地区分。

(2) 栽培マニュアル

ア 育苗箱全量施肥・密植栽培

当地域全域で適用可能である。施肥量は慣行栽培における速効性の基肥窒素量と追肥窒素量を加えた全施肥窒素量の70～80%とし、カリとリン酸は土壤診断に基づき施用する。田植え時には、栽植密度を80株坪¹、1株4本植えに調整し移植する。中干しは主稈葉齢で9.5葉期から実施する。以後の水管理は慣行栽培と同様に行う。育苗箱全量施肥は、肥効調節型肥料による基肥1回施肥であることから原則として追肥は行わない。

イ 深水栽培

深水処理は、水深を15cmに保つ畦畔を造成して、灌水が可能な圃場で適用できる。基肥および追肥は慣行栽培と同様に実施する。田植え時には、栽植密度を70株坪¹、1株4本植えに田植機を調整し移植する。深水処理は、移植直後から主稈葉齢で6.0葉まで主茎のすべての完全展開葉の葉鞘が水没するように実施し、その後水深3cm程度の浅水管理とし、さらに主稈葉齢で9.5～10.5葉の期間水深15cmで再度深水処理を実施する。その後は慣行栽培と同様に水管理を実施する。そして、幼穂形成期の栄養診断に基づき追肥を実施する。また、深水栽培は育苗箱全量施肥・密植栽培との組み合わせも可能である。深水栽培を行う場合は、暗渠などを整備し収穫作業に支障をきたさないようにすることが重要である。

ウ 慣行栽培

育苗箱全量施肥・密植栽培や深水栽培ができない圃場では、次の点に留意して慣行栽培を行う。基本技術に加え、田植え時に坪当たり70～80株の栽植密度で1株4本植えに田植機を調整し移植する。中干しは、T7の発生を確認した後、主稈葉齢で9.5葉期に開始する。また、幼穂形成期の追肥は生育栄養診断値に基づき実施する。

2) 稲作地帯区分でA1, A2地域の強グライ土壌およびB1地域の灰色低地土、グライ土、強グライ土

(1) 地域の特徴

A1, A2地域の強グライ土壌は、沿岸部に多く分布し、気象的に問題は少ないものの土壌は地下水位が高く、排水不良のため地温の上昇が遅れ土壌窒素の発現時期が遅れることから水稻の初期生育が不良な地域である。また、B1地域の灰色低地土、グライ土、強グライ土は、冷害の危険性がやや高く、初期生育が不良な地域である。これらの地域では、T4の安定確保が最優先と考えられる。

(2) 栽培マニュアル

基本技術である健苗の育成、適期田植え、密植に加え側条施肥を導入する。

ア 側条施肥栽培

基肥窒素は、慣行の速効性基肥窒素量の20%減と

する。田植え時に坪当たり 70～80 株の栽植密度で 1 株 4 本植えに田植機を調整し移植する。また、基肥窒素の消失する生育中期以降に急激に葉身の窒素栄養が凋落することから、主稈葉齢で 9 葉期に窒素成分で 15 kg ha^{-1} の中間追肥を実施する。中干しは主稈葉齢で 9.5 葉期に開始し、その後は慣行栽培と同様に水管理を実施する。そして、幼穂形成期の栄養診断に基づき追肥を実施する。側条に肥効調節型肥料を使用した場合は原則として追肥は不要である。

なお、A1, A2 地域の強グライ土水田では、古谷ら (1991) が指摘したように中干しの期間が梅雨の時期と重なり圃場が乾きにくいことから、分げつ発生抑制技術としては中干しに比べ深水処理が適していると考えられる。深水栽培を行う場合は、暗渠などを整備し収穫作業に支障をきたさないようにすることが重要である。

イ 育苗箱全量施肥・密植栽培

この地域は T4 の発生頻度が不安定で低い。このため、側条施肥を組み合わせることが望ましい。側条施肥栽培は、基肥窒素の消失する生育中期以降急激に葉身の窒素栄養が凋落することから、急激な窒素栄養の凋

落防止と中間追肥省略のため育苗箱全量施肥を行う。この組み合わせによって、安定して T4 が確保され、生育中期の窒素栄養の凋落が回避され、有効茎歩合が高く強勢茎主体に穂数が確保され、高品質・良食味米安定生産が期待できる。

A1, A2 地域の強グライ土水田として代表的な八郎潟干拓地では、育苗箱全量施肥と側条施肥を組み合わせ初期茎数を確保する栽培例が見られる。

これらの組み合わせに加え、水深を 15 cm に保つ畦畔を造成し、灌水が可能な圃場では分げつの発生抑制技術として主稈葉齢で 9.5～10.5 葉の期間に水深を 15 cm に保つ深水処理を併用することも可能である。深水栽培を行う場合は、暗渠などを整備し収穫作業に支障をきたさないようにすることが重要である。

今後は、本論文において提案した分げつの発生次位・節位理論に基づく新栽培マニュアルにより、現地圃場において高品質・良食味安定収量を実証しながら各地域に適した栽培技術体系の普及定着を図る。さらに、実証試験の結果から、新たな地域別時期別理想生育量の作成、生育栄養診断基準と対応技術を確認することが重要である。

第 8 章 総 括

2001 年から 2005 年に、秋田県立農業試験場および秋田県内の現地圃場で、分げつの発生次位・節位理論による中苗「あきたこまち」の高品質・良食味米安定生産技術の確立に関する研究を行った。得られた結果は以下のとおりである。

1. 高品質・良食味米安定生産に適する分げつの次位・節位の解明

中苗「あきたこまち」の移植栽培において、分げつの発生頻度、穂への有効化率、穂重、整粒歩合、タンパク質含有率の相互の関係を総合的に検討し、高品質・良食味米安定生産に適した分げつの次位・節位を検討した。

- 1) M および T4～T7 (強勢茎) は、それ以外の分げつ (弱勢茎) に比べて安定して分げつの発生頻度や穂への有効化率が高く 1 穂精玄米重が重い傾向にあった。
- 2) 栽植密度 21.2 株 m^{-2} で 1 株 4 本植えの慣行栽培を想定すると、強勢茎により確保できる穂数は 424 本 m^{-2} で目標収量を 5.70 t ha^{-1} とした場合に必要な穂数はほぼ確保できる。
- 3) 強勢茎は、弱勢茎に比べ着生粒の整粒歩合が高く、

精米タンパク質含有率が低い傾向にあった。

これらのことから、強勢茎は高品質・良食味米安定生産に適していることを明らかにした。

2. 生育初期における根域や土壌溶液中アンモニア態窒素濃度の違いが次位・節位別分げつの発生に及ぼす影響

「あきたこまち」の中苗移植栽培において、生育初期の根域や土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度の違いが水稻の次位・節位別分げつの発生に及ぼす影響について検討した。

- 1) 初期茎数の変動は主に最初に発生する T3, T4 の発生頻度の変動によるものであった。
- 2) T3 や T4 の発生頻度は、土壌溶液中アンモニア態窒素濃度との関係は判然としなかったが、根域の制限によって低下した。
- 3) その後発生する T5 は、土壌溶液中アンモニア態窒素濃度や根域制限の有無に関係なく安定して発生頻度が高かった。

これらのことから、初期の茎数は通常の基肥施用条件では根域の大小、すなわち根が接触する土量の多少に影響を受けるものと考えられた。

3. 水稻群落において次位・節位別分けつの1穂精玄米重が異なる要因の解明

水稻群落において、強勢茎は1穂粒数が多いにもかかわらず、精玄米歩合が高く精玄米千粒重が重い傾向にあり、1穂精玄米重が重かった。ここでは、その要因を解明するために群落内の光環境と葉身窒素、出液速度による根活性などを検討した。その結果要因として次の2点を明らかにした。

- 1) 1穂精玄米重の重い主茎や分けつは、穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量が多かった。
- 2) 1穂精玄米重の重い主茎や分けつは、穂揃期以降に群落空間において相対照度の高い群落上層に葉面積当たりの窒素量の多い葉身が多く分布し、水稻根の活性が高い傾向にあったことから乾物生産量が多かった。

4. 穂の次位・節位構成が同一である群落における有効茎歩合の違いが収量、品質、食味に及ぼす影響

弱勢茎を発生次第切除することによって、有効茎歩合が高く強勢茎のみで構成される水稻群落を作成し、有効茎歩合の違いが収量、整粒歩合、精玄米タンパク質含有率に及ぼす影響について検討した。

- 1) 有効茎歩合の高い稲は低い稲に比べて、穂揃期以降の出液速度の低下が小さく、穂揃期から成熟期にかけての乾物増加量が多かった。
- 2) 有効茎歩合の高い稲は低い稲に比べて、1穂精玄米重が重く、同時に整粒歩合が高く、精玄米タンパク質含有率が低い傾向にあった。
これらのことから、高品質・良食味米の安定生産において強勢茎を主体に穂数を確保することに加えさらに有効茎歩合を高めることの重要性が示唆された。

5. 分けつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産技術の実証

前章までに「あきたこまち」の中苗移植栽培で、高品質・良食味米安定生産を図る上で強勢茎を主体に穂数を確保し、有効茎歩合を高めることが重要であることを明らかにした。そこで、有効茎歩合が高い強勢茎

を安定的に確保するための栽培法を実証した。

1) はじめに、育苗箱全量施肥と密植(80株坪¹の栽植密度)を組合わせた育苗箱全量施肥・密植栽培法を検討した。

(1) 育苗箱全量施肥・密植栽培法は、慣行栽培に比べ強勢茎主体に穂数が確保され有効茎歩合が高まり、高い整粒歩合と低い精玄米タンパク質含有率、そして異なる気象年において5.70 t ha⁻¹レベルの安定収量が確保された。

2) 次に、移植直後から主稈葉齢で6.0葉まで主茎のすべての完全展開葉の葉鞘が水没するように深水処理を実施し、さらに主稈葉齢で9.5～10.5葉の期間水深15 cmで深水処理を実施する深水栽培法を検討した。

(1) 深水栽培法により、慣行栽培に比べ強勢茎主体に穂数が確保され有効茎歩合が向上した。

(2) 深水栽培により、慣行栽培に比べ穂揃期の稈・葉鞘中のNSC量が増加した。

(3) 深水栽培により、慣行栽培に比べ穂揃後20日間の乾物増加量が多かった。

(4) 深水栽培は、慣行栽培に比べ異なる気象年においても安定して収量、整粒歩合が向上し、精玄米タンパク質含有率が低下した。

6. 分けつ発生次位・節位理論による高品質・良食味米安定生産マニュアルの策定

従来の、収量や玄米窒素濃度を制御するための生育量や窒素吸収量などの量的指標に加えて、分けつの発生次位・節位という質的指標を組み入れた新たな高品質・良食味米安定生産マニュアルを策定した。対象地域は、稲作地帯区分において「あきたこまち」の栽培適地とされるA1, A2, B1地域内の灰色低地土、グライ土、および強グライ土とした。そして、対象地域をT4の確保のしやすいA1, A2地域の灰色低地土およびグライ土とT4の確保しにくいA1, A2地域の強グライ土およびB1地域の灰色低地土、グライ土、強グライ土の2つに区分し、各地域ごとに強勢茎主体に穂数を確保し有効茎歩合を高めるための栽培技術内容を提案した。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり，秋田県立大学生物資源科学部教授佐藤敦博士，同教授松本聰博士，同准教授金田吉弘博士からは終始懇切な御指導と御助言ならびに御校閲を賜った。

また，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吉永悟志博士，秋田県立大学生物資源科学部助教佐藤孝博士からは多くの御助言と本論文の御校閲を賜った。Dr. Kent S. McKenzie (Director of Rice Experiment Station, California Cooperative Rice Research Foundation) からは英文要旨の御校閲を賜った。前秋田県立大学生物資源科学部依頼研究員末継淳博士からは土壌の粘土鉱物に関して御指導を戴いた。

前秋田県農業試験場長鳥越洋一博士，前秋田県農業試験場長藤田佳克博士からは研究の遂行にあたって特段の御配慮と御鞭撻を賜った。前秋田県農業試験場次

長飯塚文男博士，秋田県農業試験場長児玉徹氏，同作物部長眞崎聡氏からは暖かい激励とこの研究の計画，実施にあたり適切な御指示と有益な御指導を賜った。

本研究は，秋田県農業試験場職員や現地試験協力農家の御協力を得て行われた。特に，作物部の柴田智主任研究員，三浦恒子研究員，田口奈穂子技師（現北秋田地域振興局），林雅史技師，原種生産部の佐藤馨研究員，管理室の村上章主任研究員，佐藤信和技能主任，畠山京誠技能主任，佐々木博勝技能主任，佐々木景司技能主任，齊藤健悦技能主任，佐々木正信技能技師，佐藤敬亮技能技師，川井渉技能技師からは絶大な御協力を戴いた。また，現地試験協力農家の中田正男氏，藤原直文氏からは有益な御助言と絶大な御協力を戴いた。

以上の方々から感謝を申し上げる。

引用文献

- 安藤豊・安達研・南忠・西田直樹 1988. 水稻生育初期の茎数と土壌アンモニア態窒素の関係. 日作紀 57 : 678 - 684.
- 荒井正雄・宮原益次 1956. 水稻の本田初期深水灌漑による雑草防除の研究. 第1報：雑草の群落構造及び雑草量に及ぼす影響. 第2報：水稻の生育収量に及ぼす影響. 日作紀 24 : 163 - 165.
- 荒木雅登・兼子明・井上恵子・末信真二 1999. 暖地の普通期水稻における被覆尿素による育苗箱全量施肥の実用性. 福岡農総試研報 18 : 17 - 20.
- 馬場尅 1957. 水稻の窒素及び珪酸の栄養生理に関する研究. IV. 溢泌液及び溢液中の珪酸について. 日作紀 25. 139 - 140.
- Cock, J. H. and S. Yoshida 1972. Accumulation of ¹⁴C-labelled carbohydrate before flowering and its subsequent redistribution and respiration in the rice plant. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 41 : 226 - 234.
- Denison, R. R., J. M. Fedders and C. B. S. Tong 1990. Amyloglucosidase hydrolysis can overestimate starch concentration of plants. Agron. J. 82 : 361 - 364.
- 古谷勝司・椛木信幸・児嶋清 1991. 水稻栽培における生育中期の水管理が生育・収量に及ぼす影響 - 深水管理を中心にして - . 北陸農試報 33 : 29 - 53.
- 花田毅一 1974. 作物の分枝性に関する研究. 第8報 異なる照度および温度条件下における水稻品種の分げつ性の差異について. 日作紀 43 : 88 - 98.
- 速水と彦 1983. 水稻多肥多収性品種の生理生態的特性の解明 第3報 根群分布・活性と養分吸収能からみた多肥多収品種の特性. 東北農試研報 68 : 45 - 68.
- 日高伸・藪島雅之 2000. 水稻の育苗箱全量施肥技術. 埼玉農試研報 52 : 13 - 25.
- 平沼洋司 2000. ヤマセが社会・経済活動に及ぼす影響. 気候影響・利用研究会会報 17 : 51 - 55.
- 本田強 1977. 水稻の分けつに関する研究，とくに物質生産と生長および配分の関係. 東北大学農研報. 28 : 171 - 312.
- 本谷耕一 1961. 東北における火山灰水田の稲作改良に関する土壌肥料学的研究. 東北農試研報 21 : 1 - 143.
- 星川清親 1975. 解剖図説 イネの生長. 農文協，東京. 167 - 177.
- 池田彰弘・今井克彦・日置雅之 1995. 愛知県における水稻の育苗箱全量基肥栽培の適応性. 愛知農総試研報 27 : 77 - 84.
- 稲津脩 1988. 北海道産米の食味向上による品質改善に関する研究. 北海道立農試報 66 : 1 - 89.
- 石間紀男・平宏和・平春枝・御子柴穆・吉川誠次 1974. 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響. 食総研報 29 : 9 - 15.
- 石塚喜明・田中明 1969. 増訂改版. 水稻の栄養生理. 養賢堂，東京. 235 - 237.

- 伊藤正志 2001. 新技術の周辺地域への波及効果. 庄司貞雄監, 一大潟村で実践する—新しい水田農法 OLISA 研究会 10 周年記念誌. 新しい水田農法編集委員会, 仙台. 244 — 246.
- 伊藤純雄 1992. 水稲根周辺における窒素移動のモデル的解析. 土肥誌 63 : 652 — 657.
- 神保恵志郎・芳賀静雄・吉田富雄・板垣賢一・吉田浩・原田康信・東海林寛 1982. 水稲生育中期における窒素栄養と生育診断, 予測に関する研究. 山形農試研報 16 : 79 — 90.
- 柿崎洋生 1979. 水稲の分けつに関する研究—日夜の温度較差と分けつ—. 日作東北支部報 22 : 25 — 31.
- 鎌田金英治・福田兼四郎 1983. 農業気象的にみた秋田県における水稲の地帯区分と冷害危険度、安定作期. 秋田農試研報 25 : 33 — 57.
- 上地由朗・林茂一・堀江武 1993. 水稲の下位節間長に及ぼす窒素と稈基部光環境の影響. 日作紀 62 : 164 — 171.
- 神田英司・鳥越洋一・小林隆 2000. 水稲における葉の形成過程を考慮した主稈葉齢予測モデル. 日作紀 64 : 540 — 546.
- 金木亮一・久馬一剛・白岩立彦・泉泰弘 2000. 無代かきおよび育苗箱全量施肥栽培水田における水稲の生育, 収量, 食味と窒素, リンの収支. 土肥誌 71 : 689 — 694.
- 金田吉弘・児玉徹・長野間宏 1989. 八郎潟干拓地の輪換水田における側条施肥の効果. 土肥誌 60 : 172 — 174.
- 金田吉弘・栗崎弘利・村井隆 1994. 肥効調節型肥料を用いた育苗箱全量施肥による水稲不耕起移植栽培. 土肥誌 65 : 385 — 391.
- 片山 佃 1951. 稲・麦の分蘖研究—稲麦の分蘖秩序に関する研究—. 養賢堂, 東京.
- 川田信一郎・山崎耕宇・石原邦・芝山秀次郎・頼光隆 1963. 水稲における根群の形態形成について. とくにその生育段階に着目した場合の一例. 日作紀 32 : 163 — 180.
- 北田敬宇・塩口直樹・森正克英 1995. システム施肥法による良食味米・高位安定生産 生育・栄養診断基準の策定. 土肥誌 66 : 107 — 115.
- 木内知美・大向信平・宇佐見昭宜・高橋紅 1961. 水稲の収量形成過程と土壤中の窒素, 加里条件との関係. 土肥誌 32 : 300 — 304.
- 小林正男・佐竹徹夫 1979. イネ穂ばらみ期冷害による不稔を防止するために有効な灌漑水の深さ. 日作紀 48 : 243 — 248.
- 児玉徹・宮川英雄・伊藤征樹 1993. 登熟期の積算気温が米の窒素・アミロース及び無機成分の集積様式に及ぼす影響と刈取り適期の判定. 東北農業研究 46 : 49 — 50.
- 小松良行 1959. 水稲の出葉及び節間伸長と根の発育との関係. 日作紀 28 : 20 — 21.
- 熊谷勝巳・今野陽一・黒田潤・上野正夫 1999. 水稲の育苗箱全量施肥法. 山形農試研報 33 : 29 — 43.
- 玖村敦彦 1956. 水稲に於ける葉身の窒素濃度が収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 24 : 177 — 180.
- 李鐘薫・太田保夫 1973. 水稲根の形態および機能と地上部諸形質との関連について. 農技研報 D 24 : 61 — 105.
- 李忠烈・津野幸人・中野淳一・山口武視 1994. ダイズの耐乾性に関する生態生理学的研究. 第2報 土壤水分不足による葉の萎れ現象と再吸水による光合成速度の回復ならびに切断茎からの出液速度の変化. 日作紀 63 : 223 — 229.
- Lever, M. 1972. A new reaction for colorimetric determination of carbohydrates. Anal. Biochem. 47 : 273 — 279.
- 松田裕之 2002. 精米中のタンパク質含有率からみた米の食味向上に関する研究. 山形農試特別研究報告 24 : 1 — 29.
- Makino, A. 2003. Rubisco and nitrogen relationships in rice : Leaf photosynthesis and plant growth. Soil Sci. Plant Nutr. 49 : 319 — 327.
- Matsue, Y., K. Odahara and M. Hiramatsu 1995. Differences in amylose content, amylographic characteristics and storage proteins of grains on primary and secondary rachis branches in rice. Jpn. J. Crop Sci. 64 : 601 — 606.
- Matsue, Y., T. Ogata and K. Odahara 1996. Differences in protein contents and amylose contents of tillers within a hill in rice plant. 2nd International Crop Science Congress Abstract : 33.
- 松江勇次・小田原孝治・比良松道一 1996. 北部九州産米の食味に関する研究. 第7報 食味の産地間差とその要因. 日作紀 65 : 245 — 252.
- 松本顕 1989. III 玄米の形状・形質と品質. 農業技術大系, 作物編, イネの基本技術②. 農文協, 東京. 技 599.
- 松野宏治 1999. 水稲「コガネマサリ」の育苗箱全量基肥栽培. 香川農試研報 51 : 11 — 16.
- 松島省三 1957. 水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報 A 5 : 1 — 271.
- 松島省三・田中孝幸・星野孝文 1966. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第75報 茎葉部・茎基部・根部の各部に対する温度処理が分けつ発生に及ぼす影響. 日作紀 34 : 478 — 483.
- 三本弘乗・山崎季好・小田桐竹吉 1971. 生育調節のための水稲の分けつ切除が, その後の生育に及ぼす影響. 日作東北支報 13 : 26 — 27.

- 三浦恒子・金和裕・佐藤馨・柴田智 2005. 育苗箱全量施肥栽培によるあきたこまちの高品質・良食味米安定生産. 日作紀 74 (別2) : 42 - 43.
- 宮川英雄・児玉徹・佐藤福男・村上章・加納英子 1998. 良質米生産のための水稲簡易生育診断及び土壌窒素無機化予測を組み入れた水稲生育栄養診断システム. 秋田農試研報 39 : 1 - 35.
- 森田茂紀・岩淵輝・山崎耕宇 1987. 水稲茎葉部の生育と1次根の伸長方向との関係. 日作紀 56 : 530 - 535.
- 森田茂紀・阿部淳 2002. 水田で栽培した水稲の出液速度の日変化および生育に伴う推移. 日作紀 71 : 383 - 388.
- 村山登・吉野実・大島正男 1955. 水稲の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究. 農技研報 B4 : 123 - 166.
- 中村公則 1963. 水稲分げつの独立性並びに無効分げつに関する生理的研究. 東北農試研報 28 : 53 - 141.
- 錦斗美夫・長谷川愿・芳賀静雄・神保恵志郎 1987. 水稲生育相に及ぼす深水管理の影響. 山形農試研報 22 : 31 - 54.
- 岡島秀夫・今井弘樹 1973. 土壌養分供給能に関する研究. (第2報) 水田圃場における土壌溶液濃度と養分供給. 土肥誌 44 : 296 - 300.
- 大江真道・後藤雄佐・星川清親 1994. 深水処理が水稲分げつの出現に及ぼす影響. 日作紀 63 : 576 - 581.
- 大江真道・恵木真紀子 1997. 無効分げつの出現抑制が水稲の生長と群落構造に及ぼす影響. 日作紀 66 (別2) : 19 - 20.
- 大江真道・三本弘乗 2002. 水稲の生育制御を目的とした深水処理適期の検討. 日作紀 71 : 335 - 342.
- 大泉賢吾 1998. 米のマーケティング特性と産地戦略の展開方向. 農業経営研究 36(1) : 32 - 42.
- 大西政夫・堀江武 1999. 重量法による水稲各器官中の非構造的炭水化物の簡易定量法. 日作紀 68 : 126 - 136.
- 大坪研一 1996. 米の美味しさを測る. 榊渕欽也監, 美味しい米 第2巻 米の美味しさの科学. 農林水産技術情報協会, 東京. 43.
- 大山信雄 1985. 東北地方の水稲栽培における側条施肥法. 土肥誌 56 : 343 - 346.
- 三枝正彦 2005. 生物系廃棄物と循環型農業, 最大効率最少汚染農業. 日作東北支部報 48 : 87 - 90.
- 酒井寛一 1949. 稲の冷害と深水灌漑. 農及園 24 : 405 - 408.
- Sasaki, Y., H. Ando and K. Kakuda 2002. Relationship between ammonium nitrogen in soil solution and tiller number at early growth stage of rice. Soil Sci. Plant Nutr. 48 : 57 - 63.
- 佐藤庚 1961. 稲の組織内澱粉に関する研究. 第8報 澱粉消長よりみた分けつ相互の関係. 日作紀 30 : 23 - 26.
- 佐藤孝・清水清隆 1958. 栽植密度が水稲の分蘖構成に及ぼす影響. 日作紀 27 : 179 - 181.
- 佐藤徳雄・渋谷暁一 1991. 全量床土施肥による水稲の省力施肥栽培について. 日作東北支部報 34 : 15 - 16.
- 関谷福司 1951. 水稲幼作物の分蘖原基及び分蘖芽に関する研究. (第1報) 水深が分蘖原基及び分蘖芽の発育に及ぼす影響. 日作紀 20 : 63 - 66.
- 関谷福司 1952a. 水稲幼作物の分蘖原基及び分蘖芽に関する研究. (第2報) 光が分蘖原基及び分蘖芽の発育に及ぼす影響 予報. 日作紀 20 : 247 - 249.
- 関谷福司 1952b. 水稲幼作物の分蘖原基及び分蘖芽に関する研究. (第3報) 土壌水分が分蘖原基及び分蘖芽の発育に及ぼす影響 予報. 日作紀 21 : 20 - 21.
- 関谷福司 1963a. 水稲幼作物の分けつ原基および分けつ芽に関する研究. 第8報 窒素欠乏が分けつ芽の発育に及ぼす影響. 日作紀 32 : 53 - 56.
- 関谷福司 1963b. 水稲幼作物の分けつ原基および分けつ芽に関する研究. 第9報 磷酸窒素欠乏が分けつ芽の発育に及ぼす影響. 日作紀 32 : 57 - 59.
- Shoji, S., T. Nogi and K. Suzuki 1974. Absorption of fertilizer and soil nitrogen by rice plants under the various cultural conditions of different paddy fields. 1. Relationships between the rate of basal nitrogen and nitrogen absorption by rice plants. Tohoku J. Agric. Res. 25 : 113 - 124.
- 菅井恵介・後藤雄佐・斉藤満保・西山岩男 1999. 段階的な水位上昇処理が水稲の茎数増加に及ぼす影響. 日作紀 68 : 390 - 395.
- 高橋成人・岡島秀夫・高城成一・本田強 1956. 水稲分蘖の発生機構に関する一知見 I, 要素欠如下に栽培した水稲の分蘖発生について. 日作紀 25 : 73-74.
- 武田友四郎・玖村敦彦 1957. 水稲に於ける収量成立過程の解析. (I) 窒素条件が葉面積, 同化能率及び呼吸能率に及ぼす影響. (II) 受光態勢並びに物質生産経過に及ぼす窒素条件の影響について. 日作紀 26 : 165 - 175.
- 田中明 1958. 葉位別に見た水稲葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第11報 [完]). 各葉位葉の同化作用力及び同化産物の移動. 土肥誌 29 : 327 - 333.
- Tanaka, A. and C. V. Garcia 1965. Studies of the relationship between tillering and nitrogen uptake of the rice plant. 2. Relation between tillering and nitrogen

- metabolism of the plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 11 : 129 - 135.
- 田中孝幸・松島省三・富田豊雄 1968. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第84報 昼夜水温の変化が水稻苗の生育反応に及ぼす影響. 日作紀 37 : 187 - 194.
- 田中孝幸 1972. 水稻の光-同化曲線に関する作物学的研究-特に受光態勢制御との関係-. 農技研報 A19 : 1 - 100.
- 丹野文雄・米山忠克・河内宏 1990. 多収性日印交雑稲と日本稲の生育時期別に同化された炭素の分配と分けつ生産力の差異. 土肥誌 61 : 361 - 368.
- 丹野文雄・飯島正光 1991. 水稻の栄養診断と予測技術に関する研究. 第6報 粒厚および分けつ別の玄米への窒素集積特性と玄米窒素濃度の予測法. 福島農試研報 30 : 1 - 10.
- 丹野文雄 1992a. 水稻の栄養診断と予測技術に関する研究. 第7報 コシヒカリ, ササニシキの分けつの子実生産能力と養分吸収特性. 福島農試研報 31 : 1 - 8.
- 丹野文雄 1992b. 分けつのかた・質と登熟および食味. 農業技術大系, 作物編, イネの基本技術②. 農文協, 東京. 技240の89の8-技240の89の14.
- 丹野文雄 1992c. 福島県における良食味品種安定生産のための総合計量化方式による水稻の生育、窒素栄養診断、予測法. 福島農試特別研報 6 : 1 - 62.
- 鳥山和伸 1994. 水田の土壤窒素無機化量の年次変動予測とそれに基づく水稻の施肥管理モデル. 北陸農試研報 36 : 147 - 198.
- 塚口直史・堀江武・大西政夫 1996. 水稻の登熟に及ぼす登熟初期の非構造性炭水化物の影響. 日作紀 65 : 445 - 452.
- 津野幸人・佐藤亨・宮本広志・原田典正 1975. 作物体各部位におけるCO₂収支に関する研究. 第2報 水稻の葉鞘および穂の光合成速度. 日作紀 44 : 287 - 292.
- 津野幸人・王余龍 1988. 水稻の登熟過程にみられた品種間差異とその原因の解析 - 籾あたり葉面積の意義について -. 日作紀 57 : 119 - 131.
- 上野直人・山田勝・藤井潔 2000. 卸売業者の愛知県産米米評価と消費者の持つ米ニーズの分析. 愛知農試研報 32 : 31 - 38.
- 植田幸輔 1935. 水田状態並びに土壤水分を異にする畑状態に於ける水稻生育の比較観察 第二報 本田期における観察. 日作紀 7 : 19 - 38.
- 和田源七 1969. 水稻収量成立におよぼす窒素栄養の影響 とくに出穂期以後の窒素の重要性について. 農技研報 A16 : 27 - 167.
- 王永琴・花田毅一 1982. 水稻の主茎および分けつ間における¹⁴C同化産物の移動. 日作紀 51 : 483 - 491.
- 翁仁憲・武田友四郎・縣和一・箱山晋 1982. 水稻の子実生産に関する物質生産的研究. 第1報 出穂期前に貯蔵された炭水化物および出穂後の乾物生産が子実生産に及ぼす影響. 日作紀 51 : 500 - 509.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・三木幸次 1995a. 水稻の登熟前半の粒重に及ぼす葉身窒素濃度の影響ならびに根部呼吸速度と籾当たり葉面積との関係. 日作紀 64 : 251 - 258.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995b. 水稻の基部からの出液速度に関与する要因の解析. 日作紀 64 : 703 - 708.
- 山本由徳・池内浩樹 1990. 水稻の主稈における節位別分けつの子実生産力. 第1報 分けつ出現節数と出現節位の影響. 日作紀 59 : 8 - 18.
- 山本由徳 1991. 水稻の移植における植傷みとその意義に関する研究. 高知大農紀要 54 : 1 - 167.
- 山本由徳 1997. 作物にとって移植とはなにか. 苗の活着生態と生育相. 農文協, 東京. 152 - 181.
- Yoshida, S. and Y. Hayakawa 1970. Effects of mineral nutrition on tillering of rice. *Soil Sci. Plant Nutr.* 16 : 186 - 191.
- Yoshida, S. and J. H. Cock 1971. Growth performance of an improved rice variety in the tropics. *Int. Rice Comm. Newsl* 20 : 1 - 15.
- 吉田昌一 1986. 稲作科学の基礎. 村山登ら訳. 博友社, 東京. 271 - 273.
- 結城和博・渡辺幸一郎・小南力・田中信幸・上野正夫・梅津敏彦・中山芳明・田中順一・渡辺昭 1988. 山形県における水稻の側条施肥技術. 山形農試研報 23 : 17 - 45.

Summary

Stable production of rice with high grain quality and good eating quality by focusing on the nodal positions and orders of tillers in rice cultivar 'Akitakomachi' transplanted at the 4th leaf stage in Akita prefecture

Kazuhiro KON

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

Numerous researchers have reported that the main stem and other tillers differ in the percentage of tiller production (number of tillers) and in the percentage of bearing tillers. In addition, the panicles formed on the main stem and on other bearing tillers differ in grain yield (weight of brown rice), the percentage of whole grains, and the protein content of the grains.

Therefore, to establish stable rice production techniques that provide high grain quality and good eating quality, it is important to investigate the effects of the nodal position and order of the tillers by integrating the effects of five components: the percentage of tiller production, the percentage of bearing tillers, the weight of brown rice, the percentage of whole grains, and the protein content of the grains.

1. Identifying the nodal positions and orders of tillers suitable for the stable production of rice with high grain quality and good eating quality

Field experiments were conducted to clarify the nodal positions and orders of tillers in rice cultivar 'Akitakomachi' transplanted at the 4th leaf stage. The following results were obtained :

- 1) The percentage of tiller production and the percentage of bearing tillers of the main stem (M) and of primary tillers at nodal positions 4 through 7 (T4 to T7) were consistently higher than those of other tillers.
- 2) The weight of brown rice per panicle was consistently heavier on M and T4 to T7 than on other tillers.
- 3) The percentage of whole grains was higher on M, T4, and T7 than on other tillers.
- 4) The protein content of milled grains was lowest on M, T4, and T5, followed by T6 and the other tillers.
- 5) At a planting density of 21.2 hills per m² with four seedlings per hill, the number of bearing tillers consisting solely of M and T4 to T7 were enough to produce 5.70 t per ha of brown rice.
- 6) These results suggest that M and T4 to T7 (defined as strong-tillers) are more suitable for the stable production of rice with high grain quality and good eating quality than other tillers (defined as weak-tillers) in rice cultivar "Akitakomachi" transplanted at the 4th leaf stage.

2. Influence of root area and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in soil solution on the percentage of tiller production of the various nodal positions and orders of the tillers during the early growth of rice

Field and pot experiments were conducted to clarify the influence of root area and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ availability on the percentage of tiller production of the nodal positions and the nodal orders of tillers during early growth of rice. The following results were obtained :

- 1) The number of tillers during early growth of rice depended on the percentage of tiller production of T3 and T4, which were generated first in most cases at 'Akitakomachi' transplanted at the 4th leaf stage.
- 2) There was no relationship between the percentage of tiller production of T3 or T4 and the amount of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in the soil solution, but the percentage of tiller production of T3 and T4 was reduced probably as a result of restricting the root area.
- 3) The percentage of tiller production of T5 was 100 %, and it was not influenced by the amount of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in the soil solution or by root area.
- 4) These results suggest that the number of tillers produced during the early growth of rice is influenced by the root area (i. e. , by the amount of soil the roots can exploit).

3. Factors influencing the weight of brown rice per panicle of tillers at different nodal positions and orders

Tillers bearing the highest weight of brown rice had many spikelets per panicle and had no reduction in the percentage by number of brown rice having a thickness of over 1.9 mm to unhulled rice or in thousand-grain weight. Results of the field experiments clarified two additional factors :

- 1) Tillers with a high weight of brown rice accumulated more non-structural carbohydrate (NSC) in the leaf sheath and culm than in the others at the full heading stage.
- 2) Tillers with a high weight of brown rice produced more dry matter than the others during the ripening period, because they had more leaves with a high nitrogen content per leaf area in the upper layer of rice plant canopy where the relative irradiance was high at full heading stage, and because the value of bleeding rate of them was higher than that of the others.

4. Influence of the percentage of bearing tillers (PBT) on grain yield, grain quality, and eating quality in a plant canopy consisting solely of strong tillers

In a plant canopy consisting solely of strong tillers (which was created by manually removing weak tillers), PBT differs by the number of weak tillers at the maximum tiller number stage. Field experiments were conducted to clarify the influence of PBT on grain yield, grain quality, and eating quality in a plant canopy consisting solely of strong tillers created by pruning away any weak tillers. The following results were obtained :

- 1) During the ripening period, rice plants with high PBT maintained a higher bleeding rate than those with low PBT.

- 2) Rice plants with high PBT produced more dry matter than those with low PBT during the ripening stage.
- 3) Rice plants with high PBT bore a greater weight of brown rice per panicle, had a higher whole grain percentage, and had a lower protein content than those with low PBT.
- 4) These results suggest that both the percentage of strong tillers in bearing tillers (PSTBT) and PBT are important in the stable production of rice with high grain quality and good eating quality.

5. Stable production of rice with high grain quality and good eating quality by focusing on the nodal positions and orders of the tillers

Field experiments were conducted to verify techniques for stable production of rice with high grain quality and good eating quality based on the results of trials 1 through 4. The following results were obtained :

1) The first field experiments were conducted to compare the results of conventional fertilizer application (CFA) with the results of a single basal nursery application (SBNA) of fertilizer using a sigmoid elution type of controlled-release (ca. 100 days) coated urea fertilizer and close planting (24.2 hills per m²).

- (1) The PBT and PSTBT were higher in the SBNA plots than in the CFA plots.
- (2) The percentage of whole grains was higher in the SBNA plots than in the CFA plots.
- (3) The protein content of brown rice was lower in the SBNA plots than in the CFA plots.
- (4) There were no significant differences in grain yield between SBNA and CFA.

2) The second field experiments were conducted to test the effects of deep irrigation. The deep-irrigation treatment maintained the water level sufficiently high to submerge the leaf sheaths of the fully expanded leaves of the main stem from transplanting to 6.0 in the leaf number. After ordinary water management, a second treatment was done again at the same water depth of 15 cm from 9.5 to 10.5 in the leaf number.

- (1) PBT and PSTBT were higher in the deep-irrigation plots than in the conventional irrigation plots.
- (2) At the full heading stage, NSC accumulated in the leaf sheaths and culms was higher in the deep-irrigation plots than in the conventional irrigation plots.
- (3) The dry matter production during the ripening period was higher in the deep-irrigation plots than in the conventional irrigation plots.
- (4) The grain yield and percentage of whole grains were higher in the deep-irrigation plots than in the conventional irrigation plots, and the protein content of brown rice in the deep-irrigation plots was lower than in the conventional irrigation plots.

6. Development of a cultivation manual for the stable production of rice with high grain quality and good eating quality based on the nodal positions and orders of the tillers

A new cultivation manual was developed that focused on qualitative indices (nodal positions and orders of the tillers) and on quantitative indices (including the amount of growth and nitrogen absorption).

- 1) Areas suitable for the cultivation of 'Akitakomachi' were Gley soils and Strong Gley soils in the A1, A2, and B1 zones defined in Akita prefecture. These areas were divided into two groups based on the percentage of tiller production.
- 2) Areas with a high percentage of tiller production of T4 were Gray Lowland soils and Gley soils in zones A1 and A2. Areas with a low percentage of tiller production of T4 were Gray Lowland soils, Gley soils, and Strong Gley soils in zone B1, and Strong Gley soils in zones A1 and A2.
- 3) The manual proposes several cultivation techniques for each area that would promote the stable production of rice with high grain quality and good eating quality based on increasing the PBT and PSTBT of 'Akitakomachi'.

(Bull. AKITA Agric. Exp. Stn., 47, 1-60, 2007)