

温暖地早期栽培における水稻品種「ひとめぼれ」の窒素施用条件並びに 栽植密度が籾数及び登熟歩合に及ぼす影響—玄米品質低下要因の解明—

太田和也・小山豊・在原克之

(千葉県農林総合研究センター)

要旨：温暖地において水稻の早期栽培が行われている千葉県において、熟期及び草型の異なる「ひとめぼれ」及び「コシヒカリ」を、栽植密度、窒素施用量及び穂肥施用時期を変えることによって幅広い条件で栽培し、玄米品質（千粒重、乳白粒等の未熟粒割合、及び玄米中粗タンパク質含有率）の品種間差とその低下要因を、特に籾数と登熟歩合の変動に着目して検討した。2000年及び2001年に試験を行ったが、両品種ともに出穂期は7月15～20日頃で、登熟期間は一年のうちで気温が最も高くなる条件であった。両品種ともに著しい倒伏は認められなかった。「ひとめぼれ」は「コシヒカリ」と比較して籾数が多くなり、籾数の増加に伴って、登熟歩合が大きく低下して、玄米品質も著しく低下した。また、籾数が等しくても、「ひとめぼれ」の方が「コシヒカリ」と比較して登熟歩合が低かった。2001年のみの結果ではあるが、一次枝梗着生玄米と二次枝梗着生玄米それぞれの平均粒厚の分布範囲が「コシヒカリ」では重ならなかったが、「ひとめぼれ」では1.95～2.10 mmの間に重なっており、かつ籾数に対する平均粒厚の変化が大きかった。以上のことから、「ひとめぼれ」では一次枝梗着生玄米と二次枝梗着生玄米との間で炭水化物の競合が大きいことが推察され、千葉県をはじめとする温暖地早期栽培において「ひとめぼれ」を栽培する場合、単位面積当たりの籾数を適正な範囲内とするとともに、二次枝梗籾数の増加による一穂籾数の過剰を避ける必要があると考えられた。

キーワード：玄米品質、水稻、生育、千粒重、タンパク質、二次枝梗籾、品種、未熟粒。

米の産地では、「売れる米づくり」のために、高い品質を持った玄米の生産が現在、求められている。米の品質は、外観品質及び物理的性状といった「外観及び形状」と、食味に関する「化学的成分」とに大別され（大坪 1996）、それぞれで多くの評価基準が設けられている。玄米の品質を評価する項目のうち、千粒重と、背白粒、基白粒、腹白粒、乳白粒、死米等の未熟粒（以下、総称して「未熟粒」とする）の割合、及び玄米中粗タンパク質含有率（以下、略して「粗タンパク質含有率」とする）は品種や栽培管理の影響が大きい（堀末・丸山 1996）。

これらの玄米の品質を評価する項目の中で、登熟期が高温傾向にある近年、特に外観品質の低下及び小粒化が全国的に問題となっている。温暖地において水稻の早期栽培が行われている千葉県では、出穂期が7月中、下旬に集中し、一年のうちで気温の最も高い時期に登熟期となる。このような気象条件の場合、高温により千粒重が小さくなりやすい（長戸・江幡 1960, 佐藤・稲葉 1973）。また、未熟粒の発生も登熟期間が高温の場合に多くなり（長戸・江幡 1960）、出穂後20日間の日平均気温が27～28℃以上の条件で発生が多くなると言われている（寺島ら 2001a）。一方、粗タンパク質含有率は、一穎果あたりに蓄積する窒素量と、精米一粒重の双方が関与して決定されることから（松田ら 2000）、一穎果あたりに蓄積する窒素量が一定であれば、登熟期間の高温によって千粒重が低下すると粗タンパク質

含有率は高くなる。

このような状況の中で千葉県では、登熟や千粒重の向上、未熟粒割合の低下を図る栽培技術を確立してきた（斎藤ら 1987, 斎藤・深山 1988, 斎藤ら 1992, 斎藤・深山 1996）。また新品種の育成についても、高温条件における登熟向上や玄米外観品質、食味の向上に重点を置いた選抜が行われ、良質米の生産に効果を上げてきた（渡部ら 1996, 2000, 寺島ら 2001a）。しかしながら、これまで確立してきた栽培技術の普及や新しく育成された品種をもってしても、未熟粒の発生には年次間差があり、また、地域間差や圃場間差も見い出されている。

千葉県における未熟粒割合の年次間差を推定する項目として米の検査等級割合の年次間差を見ると、登熟期間の気温が高い年次に、必ずしも下位等級の割合が高くなるわけではない（太田・小山 2003）。また、水田地帯の標高差が小さく、生育ステージの差が小さいにもかかわらず、下位等級の割合には地域間差や圃場間差が見られることから、未熟粒の発生要因は気象条件だけとは考えにくい。

未熟粒の発生程度には品種間差があり（西村ら 2000, 森田 2000, 寺島ら 2001a, b）、品種を同じくした場合、未熟粒の発生に影響する要因は登熟期間の高温だけではなく（長戸・江幡 1965, 飯田ら 2002）、籾数や稲体の栄養状態が影響していることが明らかにされている（斎藤・深山 1988, 寺島ら 2001a）。また、登熟期間が高温の条件におい

て、未熟粒や被害粒を除いた整粒の割合は、穂における粒の着粒位置によって異なることも報告されている（森田2000）。これらのことから、未熟粒の発生については、気象条件だけではなく、品種や栽培管理の違いに起因する水稻の生育の観点から検討する必要がある。

このような品種や栽培管理の要因については、未熟粒の発生に関する品種間差及び倒伏や施肥といった各種の栽培要因の影響に関する研究が全国的に進められている。しかし、未熟粒の発生に対して、品種間差を栽培管理の違いに起因する水稻の生育反応の差異に注目して調査、検討した知見は乏しい。登熟期が一年のうちで気温が最も高い時期に当たる温暖地の早期栽培において、品種や栽培条件の違いが水稻の生育と未熟粒の発生に及ぼす影響や、未熟粒の発生と千粒重及び粗タンパク質含有率との相互関係を総合的に検討することは、現在、千葉県をはじめとする温暖地早期栽培の生産現場において求められている高品質米の安定生産を図る上で必須である。

そこで、千葉県の奨励品種のうち、熟期及び草型の異なる品種「ひとめぼれ」及び「コシヒカリ」を供試し、それぞれの品種について栽植密度、基肥窒素施用量、穂肥窒素施用量と施用時期を変えて栽培し、幅広い精玄米重及び収量構成要素をもつ水稻を用いて、千粒重、未熟粒割合及び粗タンパク質含有率の品種間差異を特に粒数と登熟歩合の変動に着目して検討したので報告する。

なお、ここでは、玄米の品質を水稻の生育との関係から論じるために、千粒重、未熟粒割合及び粗タンパク質含有率の3項目を「玄米品質」とした。

材料と方法

1. 試験圃場と試験区

試験は千葉県農業総合研究センター（現在、千葉県農林総合研究センター）水田作研究室の水田圃場（河成沖積、中粗粒強グライ土滝尾統）で、千葉県における中生で偏穂数型品種の「ひとめぼれ」と、晩生で中間型品種の「コシヒカリ」を供試して、2000年及び2001年に行った。試験区は第1表に示したとおり、各品種ともに2000年では9区、2001年では8区を設定した。すなわち、品種ごとに設定されている標準的な基肥窒素施用量として、「ひとめぼれ」においては4~5 kg/10 a、「コシヒカリ」においては3~4 kg/10 aを上限に種々の施用量を設け、これに栽植密度を標準的な18.5株/m²を中心として11.3~25.3株/m²の範囲で設定し、さらに、穂肥窒素施用時期及び施用量を組み合わせた。以下、「ひとめぼれ」では2000年の7~9区、2001年の6~8区、「コシヒカリ」では2000年の7~9区、2001年の6~8区を標準的な基肥窒素施用量試験区という。1区の大きさは60~95 m²とし、反復は設けなかった。

2. 栽培の概要

施肥は、基肥として速効性の化成肥料（高度化成 C822 号、

第1表 各試験区における窒素施用量と栽植密度。

品種	年次	試験区	基肥窒素 施用量 (kg /10 a)	穂肥窒素の時期別施用 量 (kg/10 a)			栽植密度 (株/m ²)
				35 日	25 日	18 日	
ひとめ ぼれ	2000	1	0	1	0	2	13.6
		2	0	1	2	0	16.9
		3	0	1	2	0	23.6
		4	2	0	0	3	12.9
		5	2	0	3	0	17.5
		6	2	0	3	0	24.5
		7	4	0	0	3	12.9
		8	4	0	3	0	16.5
	2001	9	4	0	3	0	24.1
		1	0	0	0	3	11.3
		2	0	0	0	3	16.6
		3	2	0	0	3	11.8
		4	2	0	0	3	16.5
		5	2	0	0	3	23.1
		6	4	0	0	3	11.8
		7	4	0	0	3	17.1
8	4	0	0	3	23.4		
コシヒ カリ	2000	1	0	0	0	3	12.2
		2	0	0	3	0	18.5
		3	0	0	3	0	22.1
		4	2	0	0	3	12.2
		5	2	0	3	0	18.2
		6	2	0	3	0	22.4
		7	4	0	0	3	12.1
		8	4	0	3	0	18.3
	2001	9	4	0	3	0	22.0
		1	0	0	0	3	11.6
		2	0	0	0	3	17.1
		3	2	0	0	3	11.9
		4	2	0	0	3	17.9
		5	2	0	0	3	23.1
		6	3	0	0	3	11.4
		7	3	0	0	3	17.0
8	3	0	0	3	25.3		

穂肥窒素の時期別施用量の欄の日数は、穂肥を施用した出穂前日数の目安を示す。

窒素 8%, リン酸 22%, 加里 12%, 三井東圧肥料株式会社) を基本とし、試験区による窒素施用量の違いに伴うリン酸と加里施用量の違いについてはそれぞれ、苦土重焼燐と塩化加里を加えることにより、いずれの試験区ともリン酸は 5.5 kg/10 a, 加里は 3.0 kg/10 a となるように代かき時に全面全層施用した。穂肥は速効性の化成肥料（窒素加里化成 C6 号、窒素 17%, 加里 17%, 日本合同肥料株式会社）を、窒素、加里ともに 3.0 kg/10 a を表面施用した。移植は葉令が約 3.3（不完全葉を第 1 葉とする）の稚苗を機械

移植した。両品種で出穂期が大きく異ならないように移植日を設定し、「ひとめぼれ」、「コシヒカリ」の移植日をそれぞれ、2000年は4月26日、4月17日、2001年は4月25日、4月17日とした。水管理及び病害虫防除は慣行にしたがった。

3. 調査内容及び方法

成熟期に20株の穂数を計測して一株当たりの平均穂数を求め、この平均穂数に近い6株を抜き取って平均一穂粒数を調査し、これに穂数を乗じて単位面積当たりの粒数を求めた。そのうちの3株については、一次枝梗着生粒と二次枝梗着生粒とに分別して一穂当たり、あるいは単位面積当たりの一次枝梗粒数、及び二次枝梗粒数を求めた。さらに、一次枝梗、二次枝梗それぞれに着生する粒について比重1.06の塩水で登熟粒を選別し、枝梗別の登熟歩合を求めた。選別した粒は水洗いを行い、枝梗ごとに再度あわせて風乾した後、粒摺りを行い、得られた全玄米の未熟粒割合と平均粒厚を求めた。粒厚は、1.6～2.2 mmの範囲内で0.1 mmごとに篩分し、各粒厚の重量割合に粒厚の中央値（例えば、1.8 mm以上1.9 mm未満の場合は1.85 mm）を乗じた加重平均値を平均粒厚とした。

残る3株の粒は枝梗別に分けずに比重1.06の塩水で選別し、登熟歩合を求めた。これと前述の3株の登熟歩合を併せた平均値を各試験区の登熟歩合とした。なお、2000年は、枝梗別の登熟歩合及び平均粒厚の調査は行わなかった。

精玄米重は、1試験区について3.3 m²を2か所刈り取り、得られた玄米のうち粒厚1.8 mm以上を精玄米として求めた。

精玄米については千粒重を測定した後に、同一試料を粒質判定機（ケット製、RN-500）によって判定項目ごとに分画し、さらに玄米品質検査基準（財団法人全国食糧検査協会2001）に基づいて目視による補正を行って、乳白粒、背白粒、腹白粒及び死米を未熟粒とした。また、精玄米を粉碎し、NCアナライザ（住化分析センター製、SUMIGRAPH NC-900）で測定した全窒素含有率に定数5.95を乗じて粗タンパク質含有率を求め、乾物当たりの値で示した。

また、出穂期と成熟期に茎数または穂数がほぼ平均値の株3株を抜き取り、80℃で72時間乾燥し、部位別の乾物重を測定した。

結 果

1. 気象条件

アメダス（千葉市）の値から、出穂期前約1か月間に相当する6月下旬から7月中旬の日平均気温の平均値と日別日照時間の平均値は、2000年はそれぞれ25.0℃、5.0時間、2001年はそれぞれ26.4℃、7.9時間であった。なお、平年値は23.0℃、4.0時間、及び1990年から1999年の直前10年間の平均値は23.5℃、4.0時間であった。

登熟初、中期に相当する出穂期の翌日から20日間の日

平均気温の平均値と日別日照時間の平均値は、2000年の「ひとめぼれ」はそれぞれ、27.8℃、7.6時間、「コシヒカリ」はそれぞれ、27.8℃、8.0時間であり、2001年の「ひとめぼれ」は、27.5℃、6.3時間、「コシヒカリ」は、26.6℃、4.6時間であった。なお、7月下旬から8月上旬の平年値は、26.3℃、6.2時間、及び1990年から1999年の直前10年間では、26.8℃、6.3時間であった。

6月下旬から7月中旬、7月下旬から8月上旬ともに、平年値と比較して直前10年間の値では、日別日照時間はほぼ同じであったが、日平均気温が0.5℃高かった。

2. 生育ステージ

2000年における「ひとめぼれ」、「コシヒカリ」の幼穂形成期（幼穂長1 mm）はそれぞれ6月21日、6月22日、出穂期はそれぞれ7月17日、7月19日、成熟期はそれぞれ8月23日、8月25日で、生育はほぼ等しい暦日に進行した。

2001年における「ひとめぼれ」、「コシヒカリ」の幼穂形成期はそれぞれ6月22日、6月29日、出穂期はそれぞれ7月15日、7月20日、成熟期はそれぞれ8月20日、8月28日であり、「コシヒカリ」は「ひとめぼれ」と比較して生育ステージは5～8日遅く進行した。

なお、各年、各品種ともに、出穂期は試験区間での違いは無かったが、基肥窒素を施用しなかった試験区では、他の試験区と比較して成熟期が2日程度早かった。

3. 品種及び年次ごとの精玄米重、収量構成要素及び玄米品質

各品種について、試験区による精玄米重及び収量構成要素の平均値とその変動幅を年次ごとに整理した（第2表）。精玄米重は、2000年では「ひとめぼれ」の方が高く、2001年は同程度の傾向であった。穂数と粒数は両年ともに「ひとめぼれ」の方が多い傾向であり、一方、一穂粒数と登熟歩合は「コシヒカリ」の方が多く、高い傾向であった。

また、同様に各品種について、玄米品質を年次ごとに整理した（第3表）。千粒重は両年ともに同程度の傾向であった。未熟粒割合は、「ひとめぼれ」は両年ともに15%前後であった。「コシヒカリ」は2000年で16.8%と高く、「ひとめぼれ」と同程度であり、2001年は9.2%で「ひとめぼれ」と比較して低い傾向であった。粗タンパク質含有率は両年ともに「ひとめぼれ」の方が高い傾向であった。

試験区による収量構成要素の値は、54～60 kg/aの精玄米重を得るために必要な、千葉県における標準的な収量構成要素の値と比較して、「ひとめぼれ」では同等から上回る程度、「コシヒカリ」では下回る範囲から上回る程度となり、栽培条件により幅広い変動幅が得られた。

4. 玄米品質相互間の単相関係数

全ての年次及び試験区を込みにして求めた玄米品質相互

間の単相関係数 (r) を第4表に示した。千粒重と未熟粒割合の関係は「ひとめぼれ」が $r=-0.49$, 「コシヒカリ」が $r=-0.60$ であり、いずれも5%水準で有意な負の相関関係が認められた。未熟粒割合と粗タンパク質含有率は、「ひとめぼれ」が $r=0.76$, 「コシヒカリ」が $r=0.68$ であり、いずれも1%水準で有意な正の相関関係が認められた。千粒重と粗タンパク質含有率との関係は、「ひとめぼれ」が $r=-0.29$, 「コシヒカリ」が $r=-0.05$ であり、いずれも有意な相関関係は認められなかったが、「ひとめぼれ」は年次ごとでは千粒重の増加に伴い粗タンパク質含有率が低下する傾向が見られた (図表略)。

5. 粗数と登熟歩合との関係

粗数と登熟歩合との関係を第1図に示した。粗数の分布範囲は、「ひとめぼれ」では27000~47300粒/m², 「コシヒカリ」では25500~39400粒/m²であり、「ひとめぼれ」の方が分布範囲が広く、粗数の最大値も大きかった。登熟歩合は、「ひとめぼれ」では48~79%, 「コシヒカリ」では74~86%であり、「ひとめぼれ」の方が分布範囲が広く、数値が低かった。

また、両品種ともに粗数の増加に伴い登熟歩合が低下し、「ひとめぼれ」は $r=-0.86$, 「コシヒカリ」は $r=-0.57$ で、それぞれ1%水準、5%水準で有意な負の相関関係が認められた。粗数が25000~40000粒/m²の範囲で両品種の登熟歩合を比較すると、「ひとめぼれ」は「コシヒカリ」と比較して、粗数が等しくても登熟歩合は低く、また、粗数の増加に伴う登熟歩合の低下の程度も大きかった。

6. 登熟歩合と玄米品質との関係

「ひとめぼれ」では、登熟歩合と千粒重との関係は、有意な相関関係は認められなかったものの、登熟歩合の増加に伴い千粒重が大きくなる傾向が見られた (第2図)。また、登熟歩合の増加に伴い未熟粒割合は低くなり、 $r=-0.76$ の1%水準で有意な負の相関関係が認められた (第3図)。さらに、登熟歩合の増加に伴い粗タンパク質含有率が低下し、 $r=-0.67$ の1%水準で有意な負の相関関係が認められた (第4図)。

一方、「コシヒカリ」における登熟歩合と千粒重、未熟粒割合及び粗タンパク質含有率とのそれぞれの関係は、「ひとめぼれ」と比較して登熟歩合の分布範囲が狭く、いずれの関係ともに有意な相関関係は認められなかった (第2~4図)。

7. 出穂期の一穂当たり茎+葉鞘乾物重、及び出穂期~成熟期の一穂当たり乾物増加量

粗数が40000粒/m²以下の試験区について平均した、「出穂期の一穂当たり茎+葉鞘乾物重」と「出穂期~成熟期の一穂当たり乾物増加量」を第5表に示した。出穂期の一穂当たり茎+葉鞘乾物重は、「ひとめぼれ」が15.2g/粒、「コ

第2表 年次及び品種ごとの精玄米重及び収量構成要素

年次	品種		精玄米重 (kg/a)	収量構成要素			
				穂数 (本/m ²)	一穂粒数 (粒)	粗数 (粒/m ²)	登熟歩合 (%)
2000	ひとめぼれ	平均値	69.3	565	71	39582	62
		最大値	74.1	688	77	43663	73
		最小値	65.0	491	63	34540	48
	コシヒカリ	平均値	62.2	418	85	35560	78
		最大値	65.5	514	94	39438	82
		最小値	57.6	373	77	33155	74
2001	ひとめぼれ	平均値	57.2	480	81	39140	65
		最大値	61.8	567	95	47291	79
		最小値	49.7	389	67	27040	55
	コシヒカリ	平均値	56.1	327	98	31886	80
		最大値	65.2	394	105	36434	86
		最小値	49.2	241	92	25461	77

2000年は1~9区、2001年は1~8区について、項目ごとの平均値、最大値及び最小値を示した。収量構成要素のうち千粒重は第3表に示した。

第3表 年次及び品種ごとの玄米品質

年次	品種		千粒重	未熟粒	粗タンパク質
			(g)	割合 (%)	含有率 (%)
2000	ひとめぼれ	平均値	22.2	15.8	8.5
		最大値	22.8	19.1	9.1
		最小値	21.7	12.6	7.9
	コシヒカリ	平均値	21.7	16.8	7.9
		最大値	22.3	20.1	8.2
		最小値	21.1	13.7	7.6
2001	ひとめぼれ	平均値	21.7	13.9	8.1
		最大値	22.4	17.9	8.5
		最小値	21.3	8.9	7.7
	コシヒカリ	平均値	21.9	9.2	7.5
		最大値	22.1	11.9	7.8
		最小値	21.6	5.6	7.1

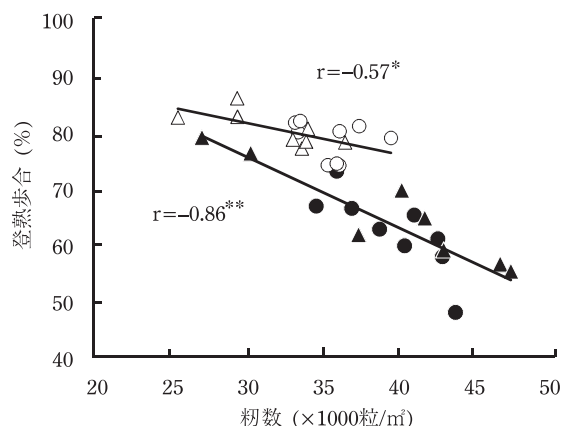
数値の記述方法は、第2表と同様とした。

第4表 玄米品質相互間の単相関係数

		未熟粒割合	粗タンパク質含有率
ひとめぼれ	千粒重	-0.49*	-0.29
	未熟粒	-	0.76**
コシヒカリ	千粒重	-0.60*	-0.05
	未熟粒	-	0.68**

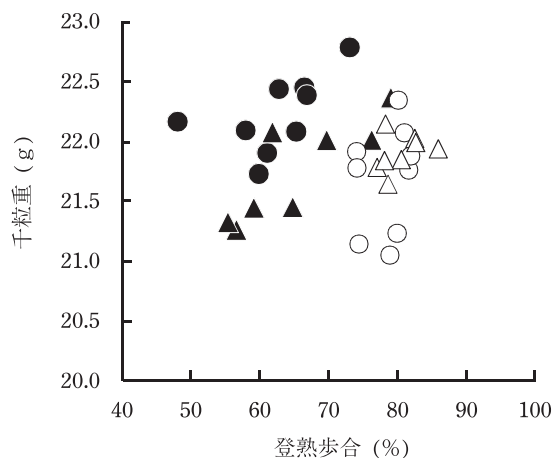
年次及び試験区を込みにして求めた。**, * はそれぞれ、1%, 5%水準で有意であることを示す。

シヒカリ」が16.3g/粒であった。出穂期~成熟期の一穂当たり乾物増加量は、「ひとめぼれ」が17.5g/粒、「コシヒカリ」が16.9g/粒であった。



第1図 粒数と登熟歩合との関係。

●は2000年ひとめぼれ、▲は2001年ひとめぼれ、○は2000年コシヒカリ、△は2001年コシヒカリを示す。rは単相関係数を示す。**, *はそれぞれ1%, 5%水準で有意。


 第2図 登熟歩合と千粒重との関係。
凡例は第1図と同じ。

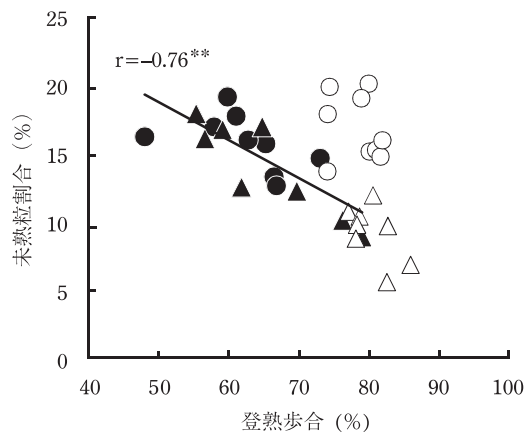
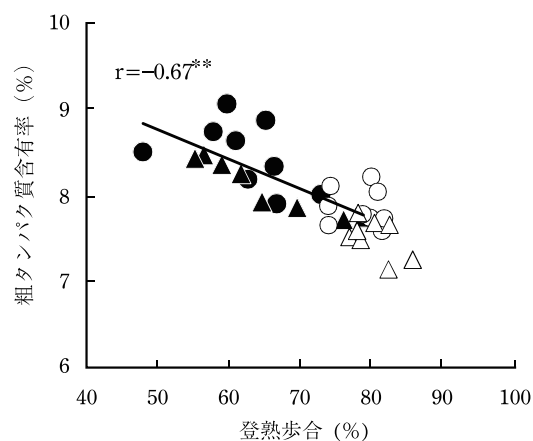
8. 枝梗別の粒数、登熟歩合及び平均粒厚

粒数が40000粒/m²以下の試験区について、枝梗別の粒数と各枝梗に着生する籾の登熟歩合との関係を第5図に示した。一次枝梗、二次枝梗ごとに見ると、登熟歩合は「コシヒカリ」と比較して「ひとめぼれ」の方が全体として低い傾向があった。また、両品種ともに、粒数の増加に伴って一次枝梗と二次枝梗のいずれに着生する籾も登熟歩合が低下する傾向があったが、特に「ひとめぼれ」の二次枝梗では粒数の増加に伴う登熟歩合の低下が著しく、粒数が18000粒/m²前後では登熟歩合は40~50%と大きく低下した。

枝梗ごとの、粒数と玄米の平均粒厚との関係を第6図に示した。一次枝梗、二次枝梗のいずれに着生した玄米も、「コシヒカリ」と比較して「ひとめぼれ」は平均粒厚が大きい範囲に分布した。

「ひとめぼれ」では両枝梗ともに、粒数の減少に伴い平均粒厚が大きくなる傾向が認められ、粒数が少ない場合の二次枝梗着生玄米の平均粒厚が、粒数が多い場合の一次枝梗着生玄米の平均粒厚を上回った。

一方、「コシヒカリ」では、枝梗ごとに見ると粒数に関係なく平均粒厚はほぼ一定であった。そのため、一次枝梗着生玄米の平均粒厚と二次枝梗着生玄米の平均粒厚の分布範囲は1.95mmを境にして分離しており、一次枝梗着生玄米で安定して高かった。


 第3図 登熟歩合と未熟粒割合との関係。
凡例、表記方法は第1図と同じ。

 第4図 登熟歩合と粗タンパク質含有率との関係。
凡例、表記方法は第1図と同じ。

9. 標準的な基肥窒素施用量試験区における栽植密度ごとの穂数及び一穂粒数

標準的な基肥窒素施用量試験区における両品種の栽植密度ごとの穂数、一穂粒数及び粒数を第7図に示した。約12株/m²、約18株/m²、約22株/m²のそれぞれの栽植密度ごとに比較すると、両年ともに、「ひとめぼれ」の方が穂数は多く、一穂粒数は少なく、粒数は多い傾向であった。

また、栽植密度の変化に伴って、穂数、一穂粒数が増減する範囲は、「ひとめぼれ」の方が大きい傾向であり、栽植密度が低下した場合、穂数が減少し一穂粒数が増加する傾向は、両年を通して共通していた。

第5表 一穂当たり乾物重の品種間比較.

品種	出穂期の一穂 当たり茎 + 葉鞘 乾物重 (mg/粒)	出穂期～成熟期 の一穂当たり 乾物増加量 (mg/粒)
ひとめぼれ	15.2 ± 1.22	17.5 ± 1.50
コシヒカリ	16.3 ± 0.95	16.9 ± 1.28

籾数が40000粒/m²以下の「ひとめぼれ」は9試験区,「コシヒカリ」は全17試験区について示した.

考 察

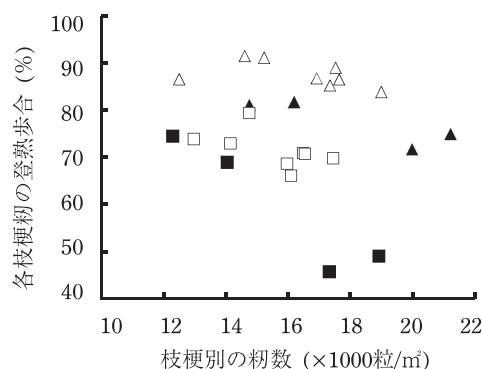
1. 玄米品質と収量構成要素との関係の品種間差

本試験において発生した未熟粒の内訳は両品種ともに乳白粒が多く,背白粒,基白粒は少なかった.背白粒,基白粒は気象条件による影響が大きい(飯田ら2002).乳白粒の発生は出穂後の気象条件とともに(長戸・江幡1965,飯田ら2002),水稻の生育状態にも影響される(斎藤・深山1988,寺島ら2001a).本試験では,同一年次の同品種の試験区の間では,出穂期に違いが無かったことから,主として窒素施用量や栽植密度が水稻の生育状態に影響を及ぼし,試験区による未熟粒の発生割合に差が生じたと考えられる(第3図).

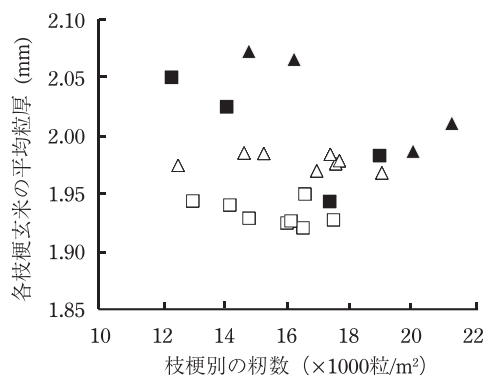
なお,2001年の「コシヒカリ」における未熟粒割合の平均値は9.2%であり,同年の「ひとめぼれ」や2000年の両品種と比較してやや低かった.2001年の「コシヒカリ」のみ,出穂後20日間の日平均気温の平均値が平年値及び直前10年間の平均値と比較してやや低いために,乳白粒の発生が少なくなった可能性もある.

玄米品質項目の相互関係をみると,両品種ともに,千粒重と未熟粒割合との間には負の相関関係,未熟粒割合と粗タンパク質含有率との間には密接な正の相関関係があり(第4表),また,籾数の増加に伴って登熟歩合が低下し,登熟歩合の低下に伴って千粒重が小さくなる傾向があった.さらに,登熟歩合の低下に伴って未熟粒割合と粗タンパク質含有率が増加したことから(第1~4図),登熟歩合の良否が玄米品質の各項目に共通して関与していると推測された.そして,この傾向は,「コシヒカリ」と比較して「ひとめぼれ」の方が著しかった.「ひとめぼれ」では,「コシヒカリ」と比較して籾数の増加に対する登熟歩合の低下が大きく,これが玄米品質の低下に大きな影響を及ぼしたものと考えられる.

両品種ともに窒素施用量は,千葉県での標準的な施用量の範囲内であり,倒伏も登熟に大きく影響しない中程度3以下(0~5の6段階)であったことから,本試験における登熟歩合の低下は倒伏によって受光態勢の悪化や転流の障害を受けた可能性は低いと考えられる.寺島ら(2001b)は,「ひとめぼれ」は,籾数が多い場合に白未熟粒の発生が多くなる場合があるとしており,本試験においても,「ひ



第5図 枝梗別の籾数と各枝梗における登熟歩合との関係(2001年). 籾数が40000粒/m²以下の試験区について図示した. ▲はひとめぼれ一次枝梗籾, ■はひとめぼれ二次枝梗籾, △はコシヒカリ一次枝梗籾, □はコシヒカリ二次枝梗籾を示す.



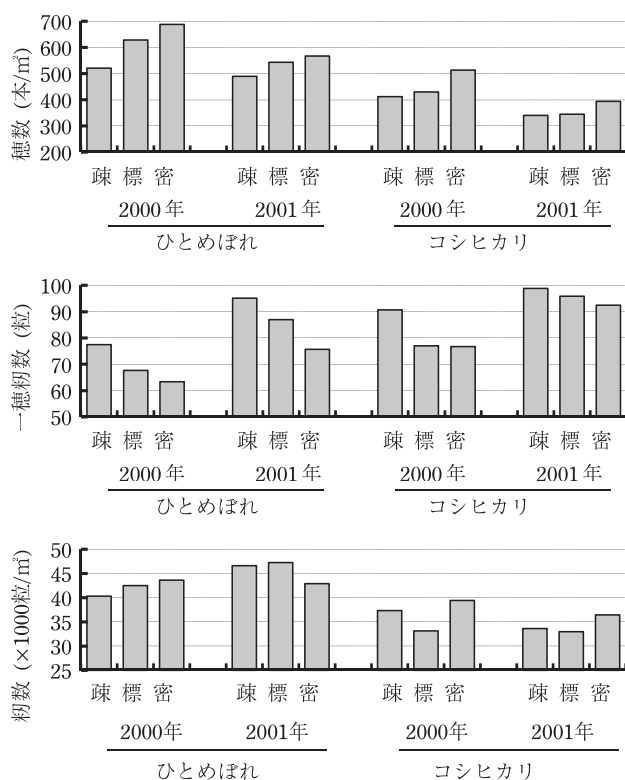
第6図 枝梗別の籾数と各枝梗着生玄米の平均粒厚との関係(2001年). 試験区, 凡例は第5図と同じ.

とめぼれ」は倒伏せずに籾数を多く確保できることが多収に寄与する可能性がある反面,登熟歩合や玄米品質が低下しやすい性質があるものと考えられる.

2. 籾数が等しい条件における登熟歩合の品種間差の要因

同等の籾数条件で比較すると,「コシヒカリ」と比較して「ひとめぼれ」は登熟歩合が低く,その差は籾数の増加に伴って大きくなったことから,「ひとめぼれ」における登熟歩合の低下要因は,籾数過多によるものだけではないことになる.そこで,籾数が40000粒/m²以下の試験区について,ソースとシンクの双方から「ひとめぼれ」の登熟歩合が低下する要因を検討した.

まず,ソース側の要因を検討する.出穂後の同化量の目安となる「出穂期から成熟期の一穂当たり乾物増加量」は小さかったが,出穂期における茎葉の炭水化物蓄積量の目安となり登熟の高低に影響を及ぼす「出穂期の一穂当たり茎+葉鞘乾物重」(松島・和田1959)は,「ひとめぼれ」の方が少ない傾向であった(第5表).このことから,同等の籾数条件で「ひとめぼれ」の方が登熟歩合が低いのは,出穂期における茎葉の炭水化物蓄積量が籾数に対して少な



第7図 標準的な基肥窒素施用量試験区における栽植密度ごとの穂数、一穂粒数及び粒重。

疎、標、密はそれぞれ、栽植密度約12株/m²、約18株/m²、約22株/m²を示す。

いことが一つの要因となる可能性が考えられる。しかし、本試験は品種により施肥条件や出穂期が異なるために、さらなる検討を要する。

次に、シンク側の要因を検討する。2001年のみの結果ではあるが、一穂に着生する粒を、一次枝梗粒と二次枝梗粒に分けて、それぞれの登熟歩合を比較すると、両品種ともに、二次枝梗粒で低かった。さらに、それぞれの枝梗粒数の増加に伴って登熟歩合が低下するなかで、「ひとめぼれ」では二次枝梗粒における登熟歩合が著しく低下した（第5図）。森田（2000）は、高温による玄米一粒重の低下程度は、品種によっては、弱勢穎果である下位の一次枝梗粒や、本試験において二次枝梗粒と分類した粒の一部に相当する三次粒で大きいとしている。また、Wangら（1997）は、最近育成された多収品種との比較において、「ひとめぼれ」は二次枝梗粒の登熟歩合が低い傾向があるとしており、本研究と傾向が一致した。

早期栽培では、玄米が肥大する期間が短縮し、粒のソース受け入れ能力が早期に低くなるとされており（佐藤・稲葉1976）、本試験では登熟期間が7月中旬以降と気温が一年のうちで最も高い時期にあることから、玄米が肥大する期間は短縮することが考えられる。この条件に加えて、玄米の肥大は開花順序と密接な関係があり（中元ら1988）、このため、一穂粒数が少ない「ひとめぼれ」は「コシヒカリ」と比較して（第2表）、一穂内で一次枝梗粒と二次枝

梗粒の登熟が同時期に並行して進む現象が著しいと考えられる。さらに、「ひとめぼれ」は、平均粒厚が「コシヒカリ」と比較して大きく、一次枝梗着生玄米と二次枝梗着生玄米の平均粒厚の分布範囲が1.95～2.10 mmの間に重なっており、かつ、粒数に対する変動が大きいこと（第6図）を合わせて考えると、「ひとめぼれ」では一次枝梗粒と二次枝梗粒との間で炭水化物の競合が大きく、競合が生じた時には弱勢穎果である二次枝梗粒において登熟歩合や粒の充実が著しく低下する可能性が推察される。

また、「ひとめぼれ」は玄米の粒が厚い品種特性を持つことから、粗玄米を一定の網目で篩別した場合、登熟程度の低い粒に由来する玄米、すなわち炭水化物の蓄積が相対的に劣る品質の低い玄米が、篩別されずに精玄米として混入する割合が高くなることも、玄米品質が低下しやすい要因の一つと考えられる。

玄米の粒が厚く、大きいことは千粒重の大きさにつながり、それ自体が高い玄米品質の指標となる。しかし、その内容が炭水化物で満たされなければ、登熟歩合の低下により玄米品質は低下することになる。小葉田ら（2004）は、登熟期間の気温と炭水化物の粒への供給の要因を別けて解析した結果、乳白粒の発生に対する直接的な要因は主として炭水化物の供給不足にあるとし、高温では粒の乾物重増加速度が高くなるために炭水化物の供給量が不足し、この結果、乳白粒が多くなるとしている。

以上のように、「ひとめぼれ」では、粒数が多くなりやすく、また、粒数の変動に対して登熟歩合や粒厚の変動が大きかった。登熟歩合を高め、高品質米を生産するためには、単位面積当たりの粒数を適正な範囲内とするとともに、一穂粒数を過剰にせず、二次枝梗粒を多くしないよう栽培管理を行う必要があると考えられる。

水稻では、穂首分化期や穎花分化期における稲体の窒素栄養条件の影響を受け、二次枝梗粒数や一穂粒数が変動する（小林・堀江1994）ことから、粒数の制御に関しては、適正な基肥窒素量の施用とともに、生育診断に基づいた適切な穂肥施用等の生育制御を行うことが重要と考えられる。

また、栽植密度でも単位面積当たりの粒数や一穂粒数は変動しやすい。本試験では、「ひとめぼれ」は、標準的な基肥窒素量を施用した場合、標準技術に示された栽植密度約18株/m²よりも疎植にすると、穂数が少なく、一穂粒数が多くなり、密植では一穂粒数が少なくなる傾向にあったため、適正な栽植密度の確保も重要と考えられる。

謝辞：本原稿は、東京農工大学の平沢正教授に御校閲いただいた。ここに記して深く感謝申し上げます。

引用文献

- 小葉田亨・植向直哉・稲村達也・加賀田恒 2004. 子実への同化産物供給不足による高温下の乳白米発生. 日作紀 73: 315-322.
- 小林和広・堀江武 1994. 水稻の穎花ならびに枝梗分化に及ぼす生殖

- 生長期の体内窒素の影響. 日作紀 63: 193–199.
- 堀末登・丸山幸夫 1996. 米の美味しさを測る. 櫛渕欽也監修, 美味しい米 第2巻 米の美味しさの科学 第3章 品種・産地・栽培法と食味. 農林水産技術情報協会, 東京. 127–173.
- 飯田幸彦・横田国夫・桐原俊明・須賀立夫 2002. 温室と高温年の圃場で栽培した水稻における玄米品質低下程度の比較. 日作紀 71: 174–177.
- 松田裕之・藤井弘志・安藤豊・柴田康志・横山克至・森静香・小南力 2000. 精米一粒当たり窒素量および穎花一粒当たり窒素量と精米一粒重が精米中のタンパク質含有率に与える影響. 土肥誌 71: 41–46.
- 松島省三・和田源七 1959. 水稻収量成立原理とその応用に関する作物学的研究 XLVIII 水稻登熟機構の研究(9). 出穂前貯蔵炭水化物・出穂後蓄積炭水化物及び出穂時窒素含量が水稻の登熟歩合並びに収量に及ぼす影響. 日作紀 27: 201–203.
- 森田敏 2000. 高温が水稻の登熟に及ぼす影響—人工気象室における温度処理実験による解析—. 日作紀 69: 391–399.
- 長戸一雄・江幡守衛 1960. 登熟期の気温が水稻の稔実に及ぼす影響. 日作紀 28: 275–278.
- 長戸一雄・江幡守衛 1965. 登熟期の高温が穎果の発育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34: 59–66.
- 中元朋実・町田寛康・松崎昭夫 1988. イネ穎花の開花時期と粒重の関係. 日作紀 57: 627–630.
- 西村実・梶亮太・小川紹文 2000. 水稻の玄米品質に関する登熟期高温ストレス耐性の品種間差異. 育種学研究 2: 17–22.
- 太田和也・小山豊 2003. 2002年千葉県における水稻「コシヒカリ」の外観品質低下要因. 日作関東支報 18: 56–57.
- 大坪研一 1996. 米の美味しさを測る. 櫛渕欽也監修, 美味しい米 第2巻 米の美味しさの科学 第2章 米の美味しさを測る. 農林水産技術情報協会, 東京. 31–126.
- 斎藤幸一・深山政治・武市義雄 1987. 千葉県における稚苗移植による早期栽培水稻の安定多収に関する研究 第1報 早期栽培水稻の登熟向上について. 千葉農試研報 28: 87–96.
- 斎藤幸一・深山政治 1988. 千葉県における稚苗移植による早期栽培水稻の安定多収に関する研究 第2報 乳白米発生程度の品種間差違について. 千葉農試研報 29: 1–8.
- 斎藤幸一・小山豊・斎藤研二・深山政治 1992. コシヒカリの安定多収栽培法. 千葉農試研報 33: 1–8.
- 斎藤研二・深山政治 1996. 千葉県産米の千粒重と粒厚分布の実態およびその向上対策. 千葉農試研報 37: 95–106.
- 佐藤庚・稲葉健五 1973. 高温による水稻の稔実障害に関する研究 第2報 穂と茎葉を別々の温度環境下においた場合の稔実. 日作紀 42: 214–219.
- 佐藤庚・稲葉健五 1976. 水稻の高温稔実障害に関する研究 第5報 稔実期の高温による初め炭水化物受け入れ能力の早期減退について. 日作紀 45: 156–161.
- 寺島一男・斎藤裕幸・酒井長雄・渡部富男・尾形武文・秋田重誠 2001a. 1999年の夏期高温が水稻の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀 70: 449–458.
- 寺島一男・梅本貴之・荻原均 2001b. 東北地域における夏期高温と米品質. 生物と気象 1: 91–98.
- Wang, Y., E. Kuroda, M. Hirano and T. Murata 1997. Analysis of high yielding mechanism of rice varieties belonging to different plant type. Jpn. J. Crop Sci. 66: 293–299.
- 渡部富男・和田潔志・西川康之・長島正・林玲子・伊東靖之・小原麻里・藤家梓 1996. 葯培養による早期栽培向け良質・良食味水稻品種「ふさおとめ」の育成. 育種 46(別2): 300.
- 渡部富男・在原克之・西川康之 2000. 水稻新品種「ふさおとめ」の品種特性を考慮した栽培法. 日作紀 69: 500–507.
- 財団法人全国食糧検査協会 2001. 平成十三年度農産物検査手帖. 糧友社, 東京. 116–117.

Effects of Nitrogen Application and Planting Density on the Number of Unhulled Rice and the Percentage of Ripened Grains in Rice Cultivar Hitomebore, Cultured in Early Season in Warm Regions—Elucidation of the Factors Deteriorating the Quality of Rice—: Kazuya Ota, Yutaka Koyama and Katsuyuki Arihara (*Chiba Pref. Agr. and Forest. Res. Cent., Sanmu 289-1326, Japan*)

Abstract : In Chiba Prefecture, we cultivated rice cv. Koshihikari and Hitomebore under the conditions with wide levels of planting density and amount of nitrogen fertilizer applied, and investigated the rice quality-deteriorating factors and the varietal difference in the quality of rice (1000 grain weight, immature grain including milky white rice kernel and protein content of rice). In 2000 and 2001, the heading times were around July 15 to 20, and ripening periods were the season with a high temperature. Neither variety was lodged markedly. In cv. Hitomebore the number of unhulled rice was larger on equal fertilization, the percentage of ripened grains was lower, the quality of rice was lower, and the number of unhulled rice was higher than cv. Koshihikari. In addition, the percentage of ripened grain was lower in cv. Hitomebore than in cv. Koshihikari on equal number of unhulled rice. This is, because in 2001, the range of the grain thickness on the two branches overlapped in the range of 1.95–2.10 mm in Hitomebore, and the grain thickness fluctuated largely in the latter. We estimated that the decrease in the percentage of ripened grains in cv. Hitomebore was caused by the competition for carbohydrate between the spikelets on primary and secondary rachis branches. It is important to keep a proper number of unhulled rice per square meter, and avoid the excess in the number of grains per head, in early season culture in warm regions such as Chiba Prefecture.

Key words : Growth, Immature grain, Paddy rice, Protein, Quality of rice, Spikelets on secondary rachis branch, 1000 grain weight, Variety.