

水稻品質食味要因の安定性に関する解析的研究

第2報 疎植条件が水稻の物質生産と収量品質に及ぼす影響

井上 健一**・林 恒夫**・湯浅 佳織***・笈田 豊彦****

Analytical Studies on the Stability of the Factors Affecting the Appearance of the Grain and Eating Quality in Rice

2. Effects of Low Planting Density on the Dry Matter Production, Yield and Grain Appearance

Ken-ichi INOUE**, Tsuneo HAYASHI**, Kaoru YUASA*** and Toyohiko OIDA****

イネの省力的生産と品質向上の観点から、コシヒカリとハナエチゼンの疎植条件における生育および物質生産特性と収量品質について調査検討した。疎植条件では生育初期の発育や物質生産は緩慢であるが、生育中期以降の乾物増加速度は大きくなる傾向にある。また、幼穂形成期以降の葉身窒素濃度が高く維持され、1 籾重増加速度は登熟前半ではやや小さいが登熟後半は大きい。コシヒカリ、ハナエチゼンともに、14 株/m²程度までの疎植条件では成熟期の乾物重やm²あたり籾数は21 株/m²と大差なく、登熟も維持されるため収量低下はほとんど見られない。また、登熟前半の遮光によっても収量や品質の低下程度は小さい。さらに、穂肥の早期施用によっても倒伏が少なく、収量が高まる。疎植条件では葉身機能の維持による登熟の継続により、コシヒカリでは乳白米の、ハナエチゼンでは背白・基白米の比率がやや低下するため、品質向上の面からも有効と考えられる。

キーワード： 栽植密度、収量、水稻、品質、物質生産

Key Words: Dry matter production, Grain appearance, Planting density, Rice, Yield

I. 緒 言

近年の気象の温暖化はさまざまな方面に影響を及ぼしているが、水稻の生育に関しても発育の早まりや品質の低下など生産面への影響が指摘されている^{1), 2), 3)}。このうち、苗に関しては細植えが推奨され、稚苗育苗の播種量を減少させることによる苗質向上と植え付け本数を減らす指導⁴⁾、さらに本田基肥施肥量の漸減により、幼穂形成期以降のコシヒカリの草型が良くなり、倒伏が軽減されてきている^{5), 6)}。しかしながら、長期間にわたる作況試験のコシヒカリの初期生育を比較すると、薄播きにより苗質は向上して活着が良くなっているが、初期の茎数増加が急速になり、生育中期にラグ期に似た生育停滞が見られるようになるなど、健苗育成だけが高温下でのイネの生育改善手法ではなくなっていることがわかる。一方、米生産費や労力の低減の観点から、米の低コス

ト生産の必要性が指摘され、直播をはじめとする省力化を目的とした研究が推進されている。直播栽培では育苗のコストや労力が軽減される利点は大きいですが、苗立ちの安定化や雑草のコントロール、生育制御、収量向上などの課題が多いことがさまざまな方面から指摘され、安定化のための研究開発とともに現地での実証が求められている⁷⁾。これに対して、疎植栽培では使用苗箱数を減らすことができ、直播ほど大きくはないが容易に資材や労働時間を減少できる。

1950～60年代の栽植密度に関する研究⁸⁾では、「深耕多肥密植」の言葉で簡潔に表すことができるように、資材多投による多収を目的とした研究が大部分で、密植による生育初期からの物質生産量と籾数の増加と、窒素吸収量の増大による穂数や籾数増加で多収をあげる研究に代表されてきた。このような研究では、数多い籾数の

* 本報告の一部は日本作物学会第204, 209回講演会で発表した。

** 福井県農業試験場企画経営部

*** 現福井県嶺南振興局農業普及部

**** 現福井県農業技術経営課

登熟と1粒重をいかにして高めるか、また登熟後半の根の活力をどう維持するかが課題であった^{23, 25)}。

一方で、理論面からの栽植密度研究により、吉良ら^{18, 19)}が指摘する「最終収量一定の法則」に代表されるように、他の要因が一定であれば生物学的収量は密度に関係なく時間の経過とともに一定になることが論じられている。また、橋川ら⁴⁾も新たな視点から個体密度に関する研究を進めた。晩生品種日本晴を用いて栽植密度が10株/m²以下でも収量低下は標準栽植密度の数%程度にとどまり、登熟歩合が高まることを明らかにするとともに、生育の安定性の観点から得るものが大きいことを指摘している。さらに、中国でも過去の反省と橋川らと同様な視点から、「稀少平栽培」(疎植、小さい苗の移植、平均的な肥効)の有用性が脚光を浴び、登熟を重視した栽培法により従来と同等以上の収量を得ていることが報告されている¹⁰⁾。このように、疎植条件でも収量低下は小さく、実際面では単位面積当たりの必要苗数を減らすことができ、田植機を調整するだけでほぼ目標とする栽植密度が得られるなど、直播栽培よりも農家を取り組みやすいことも利点である。

しかしながら、品種の早晚や草型の違いに加えて、栽植密度以外の施肥量など栽培法の違いも群落の物質生産や収量に影響しているため、異なる品種や地域の結果をそのまま各地に適用できるとは限らない。また、年次や気象条件まで考慮して栽植密度の優劣の違いを論じた報告は少なく、さらに品質にまで言及した事例も極めて少ない。そこで、疎植に重点を置き、品質向上および食味評価の視点も交えて、栽植密度を変えて栽培した早生品種ハナエチゼンおよび倒伏しやすい中生品種コシヒカリの生育、収量、品質を、生育中後期を中心に物質生産の面から調査、解析した。さらに実験的に穂肥施用時期を変更したり、遮光など不良登熟環境を与えた場合の反応などを解析して、生育と品質の安定性の観点から疎植イネを論議したので報告する。

II. 試験方法

試験は、1996年から1999年の4年間にわたり福井農業試験場(細粒強グライ土)において実施した。供試品種として早生品種のハナエチゼン、中生品種のコシヒカリを用い、各年次で第1表に示す試験区を設定した。栽植密度条件は21株/m²(植付け間隔27cm×18cm)を標準とし、疎植よりの試験区として各年次で11, 14, 16株/m²等の栽植密度の試験区を設定した。また、比較のための密植試験区として28, 31株/m²の区を設定した。各試験区とも条間はいずれの栽植密度も27cmで一定とし、株間を変更して栽植密度を設定した。1株当たり植え付け本数は3本とし、葉令2.0~2.5の稚苗を手で移植した。遮光処理区は出穂期後5~7日より開始し、出穂期後18~22日頃までを登熟前半、それ以降成熟期までを登熟後半の処理とした。遮光区は4~6m²を寒冷紗で被覆し、遮光率は試験年次によりやや異なるが、35~38%とした。1区面積は30~35m²とし、2区制で実施した。

施肥量は各栽植密度ともに当場の標準量を施用した。すなわち、化成肥料を用いて、基肥として窒素成分でコシヒカリで0.3kg/a、ハナエチゼンで0.6kg/a全層に混和し、穂肥として両品種とも0.3kg/aを0.2kgと0.1kgに分施した。第1回目穂肥施用時期は、コシヒカリでは出穂前18日、ハナエチゼンで出穂前24日を目安とし、第2回目施用時期は両品種ともに止葉の葉耳が抽出した出穂前10日頃を目安とした。試験区により幼穂の発育はやや変動したが、標準栽植密度にあわせて施用した。水管理や除草、病害虫防除などの栽培管理は年次や試験区にかかわらず一律とし、サンプリング時期や収穫時期のみを試験区の発育状態に応じて変更した。

生育状態の調査は幼穂形成期以降を中心に実施した。基本となる試験区では、幼穂形成期、穂揃期、登熟中期(出穂期後15~20日)、成熟期の4回、茎数や穂数が

第1表 試験区の構成

品 種	年 次	栽 植 密 度 (株/m ²)	その他の処理
ハナエチゼン	1996	14, 21	各密度区に基肥および穂肥重点区(N成分6+2+1kg/10a, 3+3+3kg/10a), 第1回目穂肥時期(出穂前30日, 20日)の組合わせ
	1997	14, 21, 28	14および21株/m ² 区に登熟前半遮光処理*
	1998	14, 21, 28	各処理区に登熟前半遮光処理*
	1999	11, 14*, 21, 28	—
コシヒカリ	1996	11, 14, 21	各密度区に登熟前半、後半の遮光処理
	1997	11, 16, 21, 31	各密度区に登熟前半、後半の遮光処理*
	1998	14, 21, 28	各密度区に穂肥施用時期(出穂前20, 11日と同32, 15日)を組み合わせ
	1999	11, 14*, 21, 28	—

注) * の試験区では生育期間中の個体サンプリングを実施していない。

平均的な株3～5株を根を除いてサンプリングし、部位別に分別して葉面積および乾物重を測定した。また、粉碎した部位別乾物サンプルをケルダール法にて全窒素分析に供試した。試験区によっては穂揃期後約7日おきに穂をサンプリングし、1穂重や1粒重を測定した。

成熟期には各区3～4.5 m²を坪刈りし、架干し乾燥、脱穀調製後常法により収量および収量構成要素を算出した。収量は、粒厚1.8mm以上の玄米から算出した。粒厚選別後の玄米各区1,000粒を目視により品質調査に供試するとともに、近赤外分光分析(NIRsystem社製model6500)により玄米中の窒素濃度を測定した。さらに、竹生ら³⁾の方法により食味官能試験を実施した。

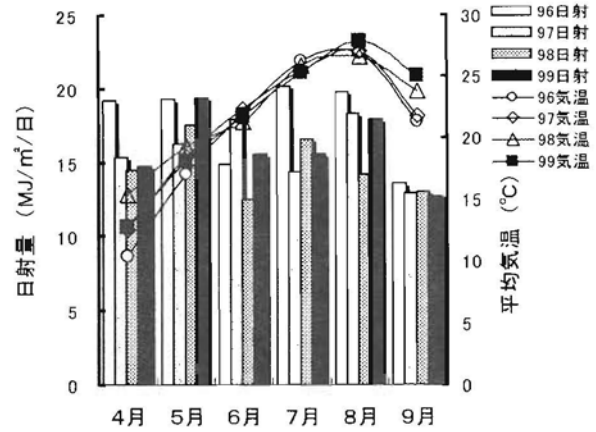
Ⅲ. 試験結果

1. 試験年次の気象条件と作柄概要

試験を実施した4年間では、稲作期間の気象条件の違いは大きかった。1996年は、5月上中旬と8月下旬以降を除いて高温多照年で、幼穂形成期間や登熟前半の気象条件はイネにとって好適であった。作柄面では収量品質ともに良好であった。1997年は寒暖の変動が大きく、5月下旬および7月中旬にやや低温となり日射量も少なかった。作柄は、収量は平年並み、品質は良好であった。1998年は育苗期間の気温が高く、苗質が低下した。また、6月下旬以降登熟期間の日射量が少なく、収量品質ともにやや低下した。1999年は特徴的で、7月上中旬は低温寡照、7月下～8月上旬は著しく高温であった。このため、収量はやや良好であったが品質はハナエチゼンを中心に著しく低下した(第1図)。

以上のように、イネの登熟にとって1996、1997年の気象は概ね好適であったが、1998年は寡照の影響を、1999年は出穂から登熟初期に高温の影響をそれぞれ強く受け、特に品質が大きく変動した。

標準栽植密度の地上部乾物重の増加過程を年次間で比較すると、コシヒカリでは1996、1997年で初期生育が

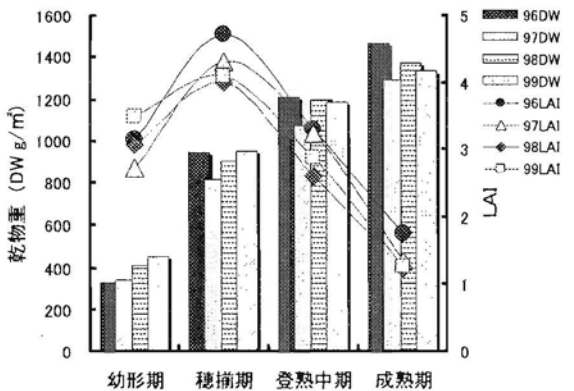


第1図 平均気温と日射量の年次間比較

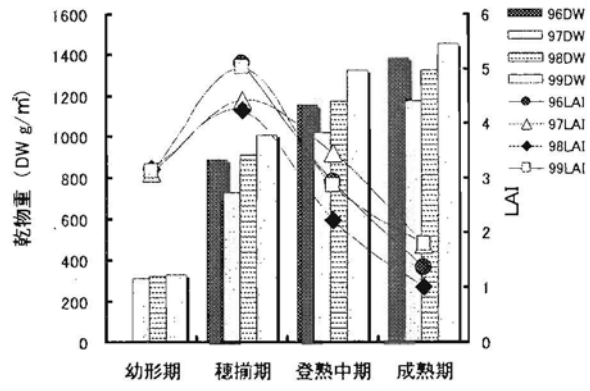
小さく、1999年は旺盛であった。穂揃期には差がやや縮小したが、1997年のみ他の年次より小さかった。成熟期の乾物重は、1996 > 1998 > 1999 > 1997の順となり1996年の生育中後期の乾物増加量は大きかった。ハナエチゼンでも類似した傾向が認められ、穂揃期の乾物重は1997年のみ小さかった。しかし、成熟期の乾物重は1999 > 1996 > 1998 > 1997の順となり、コシヒカリとやや傾向を異にした(第2、3図)。これは、生育状態と気象条件の違いに基づく差と考えられる。葉面積指数(以下LAIと記す)も乾物重とほぼ同様に推移した。穂揃期の最大LAIは、標準密度のコシヒカリで4.0～4.6、同ハナエチゼンで4.2～5.1で、年次間差はやや大きかったがどの年次も過繁茂な生育状態ではなかった。成熟期のLAIは両品種ともに1.0～1.8で、最大LAI同様にやや年次間差が大きかった(第2、3図)。

2. 栽植密度が物質生産に及ぼす影響

栽植密度の低下により、明らかに幼穂形成期の乾物生産量は小さくなった。コシヒカリの幼穂形成期の乾物重は、11株/m²の密度(以下疎植I区と記す)では、標



第2図 コシヒカリの乾物重とLAIの年次間比較



第3図 ハナエチゼン標準区の乾物重とLAI
 (1996年の幼形期データは欠測)

第2表 時期別乾物重 (DW: g/m²) と LAI の比較 (1996~99)

品 種	栽植密度	年数	幼穂形成期		穂 揃 期		登 熟 中 期		成 熟 期	
			DW	LAI	DW	LAI	DW	LAI	DW	LAI
コシカ	疎植 I	3	74	76	90	83	89	87	94	91
	疎植 II	3	91	94	96	94	98	98	98	91
	標 準	4	383	3.1	901	4.3	1167	3.0	1365	1.4
	密 植	3	107	107	103	105	102	105	100	100
ハナエチゼン	疎植 II	3	83*	86*	95	98	100	103	100	100
	標 準	4	323*	3.1*	883	4.7	1167	3.8	1332	1.5
	密 植	3	110	113	102	102	103	106	100	115

注) 標準区は4年平均の実数. その他の密度は試験年次の標準区比の平均値.

ハナエチゼンの幼穂形成期データは、密植区を除き1年少ない.

準より約 20 ~ 33 %, 14 ~ 16 株/m²の密度 (以下疎植 II 区と記す) では約 2 ~ 13 %それぞれ少なく, 初期生育が停滞した年次で差が拡大した. この時期の密植条件 (以下密植区と記す) では, 標準比-1 ~ +18 %と同等か大きく, 栽植密度の差が顕著に現れた. 穂揃期においても, 疎植条件で乾物重が小さい傾向は変わらないが, 幼穂形成期間の乾物増加量が疎植条件ほど大きいため, 栽植密度間の差は小さくなった. 登熟中期および成熟期の3年間平均値と比較すると, 疎植 I 区では登熟中期に標準比 89 %, 成熟期は 94 %, 疎植 II 区では登熟中期, 成熟期ともに 98 %であった. 密植区では登熟中期 102 %, 成熟期は 100 %とほぼ標準密度と同等の乾物重にとどまった (第2表).

ハナエチゼンでは疎植 II 区を中心に調査した. 幼穂形成期の乾物重は標準比-7 ~ -25 %と明らかに小さかったが, 幼穂形成期間や登熟期間の乾物増加速度は大きく, 穂揃期, 登熟中期, 成熟期の3年間平均標準比はそれぞれ 95, 100, 100 %とほぼ標準栽植密度に匹敵する乾物重が得られた. 密植区では, 年次は異なるが3年間平均で標準比それぞれ 102, 103, 100 %とコシヒカリ同様にほぼ標準密度と同等かわずかに上まわった (第2表).

疎植条件の部位別乾物重の特徴は, 幼穂形成期では葉身重の占める比率がやや高く, 登熟期間では穂重の占め

る比率が高い点である. 登熟中期以降には葉身重の占める比率がやや低下する年次もある. それは, 特に両品種ともに登熟良好年次で顕著であり, 登熟がやや緩慢となる寡照条件や高温条件では判然としなかった.

LAI は年次間差が大きかった. 両品種ともに, 疎植条件では概ね幼穂形成期頃までは地上部乾物重より大きな標準比を示した. しかし, 登熟期間の傾向は品種や年次によって異なり, ハナエチゼンでは成熟期まで乾物重より高い標準比を示すが, コシヒカリでは好適登熟条件であった 1996, 1997 年では葉身の枯れ上がりが大きく標準比が低下し, 不良登熟条件の 1998, 1999 年ではむしろ高まった. また, ハナエチゼンの疎植 II 区や密植区では, 登熟期間の葉身の枯れ上がりが少なく, 成熟期まで標準区と同等あるいは高い LAI が維持されていた (第2表).

乾物重増加速度 (Crop Growth Rate : 以下 CGR と記す) は, ある時点の生育量が相対的に小さく, その後の窒素吸収同化量が大きいほど高まる傾向がある. 施肥量が同一であれば, 日射量が多い条件では CGR は大きい. 幼穂形成期間の CGR は, コシヒカリ, ハナエチゼンともに日射量が多い 1996 年, 1999 年で大きかった. しかし, ハナエチゼンでは疎植条件でこの期間の CGR は高かったが, コシヒカリでは栽植密度間でほとんど差が認

第3表 時期別 CGR と EGR, GGR の比較 (1996~99)

品 種	栽植密度	年数	幼穂形成期間			登 熟 前 半			登 熟 後 半		
			CGR			CGR			CGR		
			(g/m ² /日)	(g/m ² /日)	(g/m ² /日)	(g/m ² /日)	EGR	GGR	(g/m ² /日)	EGR	GGR
コシカ	疎植 I	3	99	89	91	97	112	101	108		
	疎植 II	3	99	104	101	102	95	95	96		
	標 準	4	20.4	17.7	26.7	0.88	9.0	8.3	0.27		
	密 植	3	100	99	103	102	94	96	94		
ハナエチゼン	疎植 II	3	109*	116	97	97	99	104	101		
	標 準	4	19.6*	19.1	30.8	1.04	9.9	8.8	0.30		
	密 植	3	98*	104	104	101	77	77	75		

注) 標準区は4年平均の実数. その他の密度は試験年次の標準区比の平均値. * 印は1997~99年の平均値.

第4表 時期別葉身窒素濃度と地上部窒素吸収量の比較 (1996~99)

品 種	栽植密度 (株/m ²)	年数	幼穂形成期		穂 揃 期		登 熟 中 期		成 熟 期	
			葉身N%	Nabs	葉身N%	Nabs	葉身N%	Nabs	葉身N%	Nabs
コシヒカリ	疎植 I	3	113*	84*	104	91	108	94	105	97
	疎植 II	3	101*	95*	103	98	103	98	105	104
	標 準	4	2.34*	5.49*	2.33	9.09	1.64	9.79	1.24	10.65
	密 植	3	95*	101*	93	94	94	99	102	100
ハナエチゼン	疎植 II	2	110	94	106	109	108	104	109	104
	標 準	3	2.81	5.63	2.41	9.14	1.46	9.80	1.19	10.55
	密 植	3	96	105	101	106	101	107	106	105

注) 標準区は4年平均の実数、その他の密度は試験年次の標準区比の平均値。

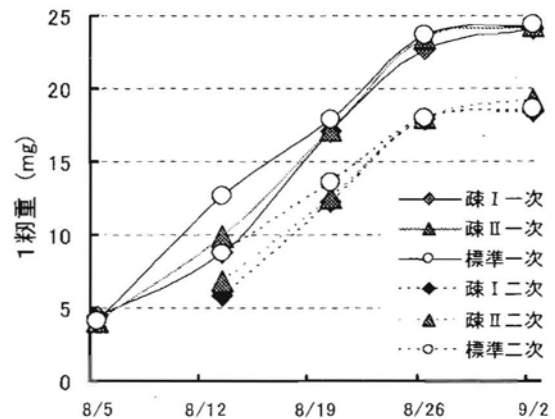
* 印は1997~99年の平均値で、各区ともに1年少ない。

められなかった。登熟期間を二分すると、コシヒカリの場合登熟前半のCGRは疎植I区では小さく、疎植II区や密植区では標準区と大差なかった。穂重増加速度(Ear Growth Rate: 以下EGRと記す)や1籾重の増加速度(Grain Growth Rate: 以下GGRと記す)も同様な傾向を示した。反面、登熟後半では登熟前半と逆の傾向を示し、疎植I区でCGR, EGR, GGRともに大きかった。一方、ハナエチゼンでは疎植II区で標準区をかなり上回る登熟前半のCGRを示し、登熟後半のCGRは低下した。しかし、GGRは登熟前半で低く、登熟後半にはやや上昇した。密植区では登熟前半のCGR, EGRが高いが、登熟後半にはいずれも著しく低下した(第3表)。

標準区のCGRは、幼穂形成期間を除いてコシヒカリよりもハナエチゼンで大きかった。また、EGR, GGRも同様な傾向を示した。この理由として、ハナエチゼンの登熟気温が高く発育速度が早いこと、m²あたり籾数がコシヒカリより少ないこと、穂揃い期の葉身窒素濃度が高いことなどが考えられた。

登熟良好であった1996年コシヒカリの1籾あたりの粒重増加の推移を見ても、第3表のGGRとほぼ同様な傾向が示された。すなわち、疎植区の登熟初期の1籾重の増加はやや緩慢であるが、出穂後20日頃より標準区の1籾重に近づき、成熟期には栽植密度の差はきわめて小さくなった。着生枝梗別に見ても、一次枝梗、二次枝梗にかかわらず疎植条件では着生籾の登熟初期の粒重増加が緩慢であり、二次枝梗着生籾のほうが標準区に近づくのに日数を要した(第4図)。通常、疎植条件では穂数が少なく一穂籾数が多いため二次枝梗着生籾の比率が高い。したがって、同化産物の配分の視点から見て、1日あたりの二次枝梗着生籾への同化産物供給量が少なくなり、反面葉身窒素濃度が高く維持されることから登熟後半まで粒重増加が継続すると考えられる。

次に、窒素濃度の推移を比較すると、疎植条件では両品種ともに葉身窒素濃度が常に高く推移した。密植区では品種によってやや傾向が異なり、コシヒカリでは登熟中期までは低く、ハナエチゼンでは幼穂形成期では低い



第4図 枝梗別1籾重の推移 (1996 コシヒカリ)

が登熟期間にはほぼ同等であった。疎植条件の成熟期の葉身窒素保有量は登熟良好年次では低く、登熟不良年次では逆に高くなり、気象や登熟条件によって変動した。また、穂揃期まではコシヒカリよりハナエチゼンで葉身窒素濃度が高く、登熟中期以降には逆転した。この違いは、ハナエチゼンの幼穂形成期から登熟中期の高いCGRと関連していると見られる。

成熟期の地上部窒素吸収量は、登熟期間の多照年次や幼穂形成期の乾物重が小さい年次で大きく、年次によって9.2~11.8kg/10aと2.6kg/10aの差が認められた。標準区の品種間差はどの時期でも小さかった。コシヒカリでは疎植条件ほど少ないが、発育に伴い標準区との差は小さくなった。密植区では標準区とほぼ大差なく推移した。ハナエチゼンでは疎植、密植ともに標準区よりやや高めに推移し、特に登熟期間の密度効果は判然とせずコシヒカリと傾向を異にした。この結果は、コシヒカリにおいては疎植条件ほど登熟期間の窒素吸収量が多く、ハナエチゼンでは栽植密度間差が比較的小さいことを示している(第4表)。したがって、コシヒカリのほうが疎植条件で秋まき型(秋まき型)の生育パターンとなりやすいと考えられる。

3. 栽植密度が収量および品質に及ぼす影響

試験年次の標準密度の収量は、コシヒカリの場合 1996 年が 65.4kg / a と最も多収であり、以下 1999, 97, 98 年の順となった。多収年次と低収年次の収量差は 9.3kg / a と大きかった。ハナエチゼンでも同様に 1996 年が 65.0kg / a と最も多収となり、以下 1998, 99, 97 年の順となり、年次間の最大収量差は 11.8kg / a とコシヒカリ以上に大きかった。本試験の収量の年次間差は、概ね福井県全体の作柄の傾向と一致していた。コシヒカリでは m^2 あたり籾数も収量と同様な傾向を示し、登熟環境が良好であった年次で収量が高かった。ハナエチゼンでは初期生育が不良であった年次の収量が最も低くなり、その他の年次の差は小さかった。低収の 1997 年は籾数も最も少なく、高温登熟となった 1999 年は m^2 籾数は最も多かったが登熟歩合と千粒重の低下により収量はやや低下した。

栽植密度と収量の関係を比較すると、コシヒカリでは疎植 I 区で標準比 91 ~ 96 %、疎植 II 区で 96 ~ 101 %、密植区で 98 ~ 103 % となり、密植ほど収量が高まった。ハナエチゼンではやや傾向が異なり、疎植 II 区で標準比 98 ~ 105 %、密植区で 101 ~ 103 % とわずかではあるが標準密度が低収であった (第 5 表)。

収量構成要素では、穂数については両品種ともに密植ほど明らかに増加したが、一穂籾数は疎植条件ほど増加

し、 m^2 あたり籾数はコシヒカリの疎植 I 区で標準比 90 ~ 98 %、疎植 II 区で 94 ~ 100 %、密植区で 97 ~ 103 %、ハナエチゼンの疎植 II 区で標準比 96 ~ 106 %、密植区で 99 ~ 106 % で収量とよく似た傾向を示した。登熟歩合は日射良好な年次では疎植条件でわずかに高まったが、その他の年次は大差なく、千粒重も含めた登熟関連の要素に大きな差は認められなかった。試験年次で平均すると、わずかに疎植条件で登熟歩合が高まり、千粒重が低下した (第 5 表)。

以上の結果より、両品種ともに同一施肥条件で栽植密度の増加により m^2 あたり籾数が増加し、わずかではあるが収量も高まることが明らかとなった。しかし、その収量差は 10 % 以下と小さく、21 株 / m^2 より 20 ~ 30 % 程度の疎植条件では有意差があるほど減収しなかった。特にハナエチゼンではコシヒカリより m^2 あたり籾数は少ないが登熟歩合が高く、疎植でも標準区に匹敵する収量が得られており、品種によって栽植密度に対する反応が異なっていると考えられる。

玄米の見かけの品質は、登熟期間の多照年次では良好で、コシヒカリでは寡照年次の 1998 年で、ハナエチゼンでは高温年次の 1999 年で著しく低下した。4 年間の平均値で見ると、コシヒカリよりハナエチゼンの完全米比率が高く、品質に影響する被害粒としては、コシヒカリでは乳白米の、ハナエチゼンではそれに加えて背白・

第 5 表 収量及び収量構成要素の比較 (1996-99)

品 種	栽植密度 (株/ m^2)	年数	穂 数 (本/ m^2)	一穂籾数 (粒)	m^2 籾数 (百粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a)
コシカリ	疎植 I	3	81	117	94	101	99	93
	疎植 II	4	94	105	99	100	99	98
	標 準	4	361	84.4	305	89.0	22.1	59.8
	密 植	3	109	93	101	99	100	100
ハナエチゼン	疎植 II	4	92	110	101	101	99	102
	標 準	4	418	70.0	296	93.0	22.2	60.6
	密 植	3	106	96	102	99	101	102

注) 標準区は 4 年平均の実数。その他の密度は試験年次の標準区比の平均値。

第 6 表 見かけの品質と玄米窒素濃度の比較 (1996-99)

品 種	栽植密度 (株/ m^2)	年数	完全米 (%)	乳白米 (%)	心白米 (%)	腹白米 (%)	背白・基白米 (%)	茶 米 (%)	青 米 (%)	玄米窒素 濃度 (%)	食味* 官能値
コシカリ	疎植 I	3	105	72	78	86	60	116	96	99	+0.10(3)
	疎植 II	4	101	90	62	113	87	98	120	100	+0.13(2)
	標 準	4	78.8	10.0	1.0	2.8	1.0	3.0	3.1	1.29	0
	密 植	3	96	125	111	81	134	89	112	101	+0.26(3)
ハナエチゼン	疎植 II	4	102	107	79	89	65	139	141	101	-0.03(3)
	標 準	4	82.5	6.0	0.8	3.3	4.1	1.6	1.4	1.31	0
	密 植	3	100	131	90	117	99	142	177	99	+0.08(3)

注) 標準区は 4 年平均の実数。その他の密度は試験年次の標準区比の平均値。

* 食味官能値は標準区を 0 とした場合の差の平均値。() 内は調査年数。

第7表 ハナエチゼンの施肥法の影響 (1996)

栽植密度	施肥法	穂肥時期	穂揃期DW (g/m ²)	登熟期間 CGR (g/m ² /日)	m ² 籾数 (百粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a)	完全米 (%)	乳白米 (%)	玄米窒素濃度 (%)
疎植Ⅱ	基重	-30	828	15.9	334	91.8	21.2	66.4	88.3	1.8	1.28
		-20	791	18.1	315	93.9	22.0	67.2	88.7	2.2	1.29
	穂重	-30	813	15.3	320	92.5	22.3	66.1	90.2	1.1	1.34
		-20	743	17.1	297	92.2	23.1	62.5	85.4	0.9	1.35
標準	基重	-30	921	13.5	329	92.9	21.2	64.6	87.7	1.4	1.18
		-20	884	14.6	317	93.1	22.3	65.0	86.8	2.4	1.25
	穂重	-30	927	14.2	348	89.2	22.0	69.2	87.2	3.2	1.35
		-20	829	16.7	319	91.9	23.2	68.3	85.7	2.2	1.42

第8表 コシヒカリの穂肥早期施用の効果 (1998)

栽植密度	穂肥時期	倒伏程度	穂数 (本/m ²)	一穂籾数 (粒)	m ² 籾数 (百粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a)	完全米 (%)	乳白米 (%)	玄米窒素濃度 (%)
疎植Ⅱ	標	1.8	327	88.5	289	88.0	22.1	55.3	68.0	13.5	1.28
	早	3.9	100	108	107	101	95	102	108	86	98
標準	標	1.8	344	84.0	290	88.5	22.2	56.1	72.3	13.9	1.22
	早	4.2	109	101	109	100	94	102	99	114	96
密植	標	2.1	371	80.6	299	87.2	22.1	57.7	64.4	21.8	1.28
	早	4.8	101	107	108	96	95	96	111	74	98

注) 標区は実数. 早区は倒伏程度を除いて同じ栽植密度の標区比.

基白米の比率が高かった。コシヒカリでは籾数と千粒重がやや減少する疎植条件で完全米の比率が高まり、乳白米、心白米、背白・基白米などが減少し、栽植密度が低いほどその効果が大きかった。密植区ではその逆の傾向を示した。ハナエチゼンでは、疎植でやや完全米の比率が高まり、腹白米や背白・基白米などが減少したが、乳白米はわずかに増加した。

玄米窒素濃度はコシヒカリよりハナエチゼンでわずかに高く、コシヒカリでは疎植で、ハナエチゼンでは密植でわずかに低下したが顕著な差ではなかった。各試験区の玄米を食味官能試験に供試したところ、コシヒカリ、ハナエチゼンともにわずかであるが密植区で官能評価値が高まり、疎植区では標準区とほぼ同程度の食味評価であった (第6表)。

4. 施肥および遮光条件の影響

1) 施肥時期および施肥配分の影響

1996年のハナエチゼンでは、栽植密度に基肥重点施肥と穂肥重点施肥を組み合わせ、さらに第1回目穂肥施用時期を出穂前30日と20日で比較した。1998年のコシヒカリでも、穂肥の早期化について比較検討した (第1表)。

疎植条件や穂肥重点施肥法によりハナエチゼンの穂揃期乾物重はやや減少し、LAIも小さかった。一方、穂肥の早期施用により栽植密度にかかわらず乾物重、LAIは増加した。登熟期間のCGRは、穂揃期の乾物重が

小さい穂肥時期の遅い区で大きくなり、標準栽植密度では穂肥重点施肥で大きいものに対して、疎植条件では基肥重点施肥条件が大きくなった。

収量は、標準栽植密度では基肥重点より穂肥重点施肥法で、さらに穂肥の早期施用により高まった。しかし、疎植条件では基肥重点施肥および穂肥の標準時期の施用により最も高まった。多収となった要因は、基本的に穂数とm²あたり籾数の増加であったが、標準密度の穂肥重点では千粒重の増加が、疎植では基肥重点施肥による穂数増加に加えて登熟向上効果も大きかった (第7表)。

この年次は登熟が良好で、品質の栽植密度間差は小さかった。基肥重点施肥では背白・基白米が、穂肥重点施肥では腹白米がやや増加した。また、穂肥重点では明らかに玄米窒素濃度が高まった。疎植Ⅱ各区では、完全米比率がやや高く、乳白米は少なかった。腹白米は栽植密度間で大差なく、背白・基白米は特に基肥重点施肥で疎植Ⅱ区が少なかった。玄米窒素濃度の栽植密度間差も小さかった (第7表)。

コシヒカリの穂肥早期化の効果は、物質生産面からは試験年次の幼穂形成期以降の日射量不足によりそれほど大きく現れなかった。密植条件ほど施肥効果が早い時期より現れ、施肥時期間の乾物重の差も早く現れたが、成熟期の差はほとんどみられなかった。むしろ疎植条件の方が登熟期間に乾物重がゆっくりと増加し、施肥時期による成熟期乾物重の差はほとんど見られなかった。

穂肥の早期化により倒伏程度が大きくなった。また、

いずれの栽植密度でも㎡あたり粒数は標準施肥区に比べ7～9%増加した。登熟歩合は密植以外は大差ないものの、穂肥の早期化により千粒重が1g以上低下し、収量の試験区間差も最大4%と小さかった。疎植では穂肥の早期化により収量が2%向上したが、密植では倒伏による登熟歩合の低下により標準施肥より低収となった。穂肥早期化により千粒重が小さくなったこともあり、この年の登熟期間の寡照下でも乳白米、心白米、腹白米などの発生率はやや低下し、玄米窒素濃度もわずかに低下した。各試験区の中で、疎植で穂肥を早期施用した区の品質が最も良好であった(第8表)。

2) 登熟前半、後半の遮光の影響

1996、1997年にはコシヒカリの各栽植密度で登熟前半、後半の遮光の影響を比較し、1997、1998年にはハナエチゼンで登熟前半の遮光の影響を調査した(第1表)。

コシヒカリの場合、登熟期間の遮光により地上部乾物重の増加速度がやや低下するが、それ以上に変化が大きかったのは同化産物の転流で、特に登熟前半の遮光により葉身重の減少が少なく穂重の増加が緩慢となった。無遮光区と遮光区の成熟期の乾物重を比較すると、栽植密

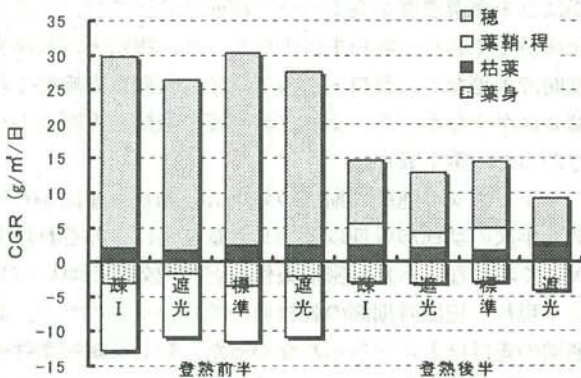
度が小さいほど遮光による低下率が少なく、登熟前半の遮光の影響が登熟後半よりも大きかった(第5図)。これは、疎植条件ほど登熟前半のCGRが小さく、反面後半のCGRが高いことと関連していると考えられる。

各試験区を込みにした遮光による減収程度は、1996年で無遮光区比10～20%、1997年で同0～5%で、1997年の減収程度は小さかった。登熟前、後半の減収程度を比較すると、1996年では疎植I区を除いて登熟前半の減収程度が大きく、1997年では時期の差は顕著でなかった。これは、粒数レベルが1996年では3.0～3.3万粒/㎡ととやや多いのに対して、1997年では2.7～3.0万粒/㎡と少なく、無遮光条件の収量にも10kg/a近い差が生じていたことによると考えられる。つまり、粒数が多く登熟歩合や千粒重が高かった1996年のイネは、遮光の影響をより強く受けたと見ることができる。2年間を平均すると、㎡あたり粒数が少ない疎植I区では登熟前半の遮光による減収程度が5%少なく、日射量不足条件での登熟が安定していると考えられた(第9表)。

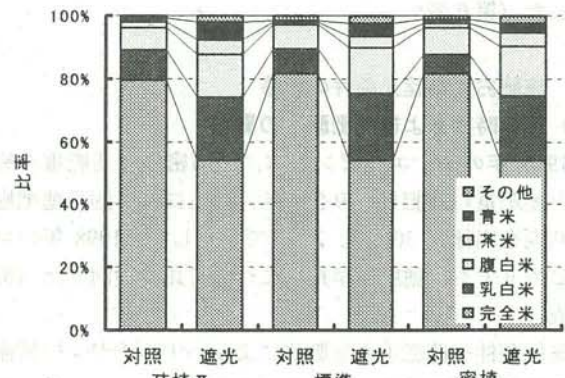
ハナエチゼンの場合はやや傾向が異なり、1997、1998年ともに疎植II区の減収率は標準区と同等かそれ以上で、特に1998年は登熟歩合が大きく低下して減収率が大きくなった。両年次の粒数レベルを比較すると、1997

第9表 登熟期間の遮光処理と収量構成要素、見かけの品質(1996、97平均:コシヒカリ)

栽植密度	遮光処理	㎡粒数(百粒)	登熟歩合(%)	千粒重(g)	精玄米重(kg/a)	対照比(%)	完全米(%)	乳白米(%)	標準対照比(%)	玄米窒素濃度(%)
疎植I	対照	287	91.0	22.1	57.8	100	85.4	5.7	70	1.28
	前半	293	83.8	21.5	53.0	92	69.6	13.6	166	1.40
	後半	278	85.4	21.8	52.1	90	75.3	10.7	130	1.36
疎植II	対照	306	90.6	22.1	61.2	100	84.3	7.6	93	1.29
	前半	302	83.3	21.3	54.0	88	67.8	17.5	213	1.41
	後半	309	85.0	21.4	55.7	91	80.7	9.1	111	1.36
標準	対照	312	89.3	22.1	61.7	100	81.0	8.2	100	1.32
	前半	300	82.7	21.4	53.5	87	67.3	19.0	232	1.44
	後半	311	84.6	21.4	56.2	91	79.5	10.4	127	1.34



第5図 登熟前半の遮光とCGR (1996 コシヒカリ)



第6図 登熟前半の遮光と品質 (1998 ハナエチゼン)

年は2.5万粒/m²前後、1998年は2.9～3.1万粒/m²で1998年のほうが多く、しかも寡照年次で栽植密度間の粒数にほとんど差が認められなかったために、コシヒカリと異なって登熟歩合の低下程度が20%程度と高く、減収率が大きくなった可能性がある。

遮光により各試験区の見かけの品質は低下し、コシヒカリでは登熟前半の処理および粒数が多かった1996年の処理で顕著に完全米比率が低下した。品質低下が大きかった1996年の登熟前半処理では、完全米の比率は13～20%低下し、乳白米比率が6～11%、腹白米比率が2～5%それぞれ増加した。反面、1997年の登熟後半処理では品質低下は数%程度と小さかった。疎植条件では、特に登熟前半処理で乳白米発生率がやや小さかったが、疎植I区では登熟後半処理でかえって増加し、腹白米比率も高まった。年次間で栽植密度や遮光処理の効果が異なったのは、粒数の多少の影響が大きかったためと考えられる。玄米窒素濃度も遮光処理により高まり、登熟前半の処理で顕著であった(第9表)。

遮光によるハナエチゼンの品質低下はコシヒカリ以上に大きく、完全米比率は25～28%低下し、乳白米比率は10～22%も増加した。腹白米比率も粒数が多かった1998年の処理で6～7%増加した。栽植密度の影響はほとんど認められず、疎植でも密植でも品質低下は大きかった。玄米窒素濃度も遮光により高まり、コシヒカリ同様に遮光や密植条件など品質低下の大きい条件で増加率が大きかった(第6図)。

松中ら²⁴⁾は登熟初期の遮光による弱勢顕花の生長停滞は、強勢顕花を優先的に登熟させる自己防衛的戦略の意義があると示唆している。しかし、m²あたり粒数がやや少なく、しかも粒重増加速度がやや小さい疎植条件では、弱勢顕花に及ぼす遮光の影響がやや緩和されると考えられる。

IV. 考 察

1. 物質生産と収量に及ぼす影響

栽植密度に関する試験は、これまでさまざまな地域、品種、栽培法で実施されたデータの蓄積があるが、疎植に着目して実施された研究例は少ない。これは、疎植条件では移植時の面積あたり植え付け本数が少なく、乾物生産量も小さいため多収を目的とする物質生産面からは不利であるためである。しかし、必ずしも密植条件で多収となる報告例ばかりではない。

栽植密度の範囲を広くとって試験を行うと、一定の密度で収量がほとんど変わらないことが確認されている。武田ら²⁵⁾は、1株2本植えて栽植密度を2～300株/m²と大きく変えて物質生産と収量を調査し、収量は10～100株/m²でほぼ一定であり、CGRは密植区では生育

前期に、疎植区では生育中期に最大値を示したと報告している。また、白岩ら²⁶⁾は日本晴を用いて、1株2本植、11.1～44.4株/m²の栽植密度で、大平ら²⁷⁾もキヌヒカリを用いて13.3株/m²と22.2株/m²で生育を比較し、いずれも栽植密度間の収量差が小さいことを報告している。これらの報告の収量水準はそれぞれ異なるが、概ね10～30株/m²の栽植密度では収量差は小さいと見ることができ。

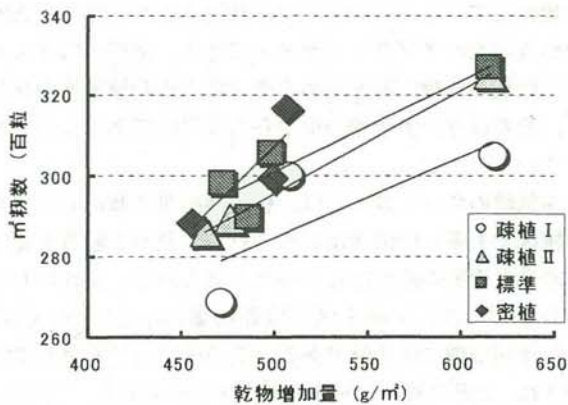
一方、宮坂ら²⁸⁾は登熟期間のNAR、RGRと収量の高いに高い正の相関を認めるとともに、多収の必要条件として葉面積と葉身窒素含量の維持、小さい吸光係数および下葉の枯れ上がりが少ないことを指摘し、密植には後期重点施肥の組合せが必要としている。さらに、松浦ら²⁹⁾も22.2株/m²と29.7株/m²を比較し、密植と穂首分化期の深層施肥を組み合わることにより増収することを示している。Yamadaら³⁰⁾は、9.1～36.4株/m²の範囲で試験を行い、密植により茎葉乾重中で葉身の占める割合が減り、同化部分に対する非同化部分の比が高まる。また、出穂期以前の乾物生産に対する出穂期以降の乾物生産が低下するとしている。これらの報告は、密植条件の登熟期間の物質生産の低下を指摘して、増収のための改善策として後期重点施肥が重要であることを示している。また、村田ら²⁷⁾も18.5株/m²と44.4株/m²を比較して同様な傾向を明らかにするとともに、日射が少ない場合は密植多肥栽培は不利であるとしている。Hayashi³¹⁾が11.6～34.7株/m²の3密度で試験し、繁茂度の低い生育前期の乾物生産は主として受光効率に決定され、繁茂度の高い生育後期はエネルギー変換効率により決定されることを示したように、過度の密植など生育過剰となる条件では登熟期間の物質生産が停滞するとの結果はほとんどの報告に共通している。

さらに高い栽植密度での研究例として、天野ら³²⁾はジャポニカハイブリッドライス楡雑29号を用いて、慣行のm²あたり78.5株(1株2本植)と疎植とした42.7株(1株3本植)を比較し、疎植条件のほうが高い粒数生産特性と出穂後の乾物増加量を示し、多収となることを報告している。このことは、初期生育が旺盛で受光態勢が良好なハイブリッドライスでさえ、過度の密植よりも出穂後の乾物生産を高めるやや低めの栽植密度が存在し、そのほうが多収の面からも効果的であることを示している。

本試験のコシヒカリでは、標準施肥量で栽培したため密植区でも著しい倒伏は認められず、登熟を阻害するほどの受光態勢の悪化はなかったと見られる。それにもかかわらず、特に疎植I区では乾物重は小さいが、CGRは生育初中期には緩慢であるが登熟後半まで安定して維持され、上記の報告と同様の傾向が認められた。これは、生育期間を通して葉身窒素濃度が高いため、生育が安定していることによると考えられる。しかし、収量に大き

く影響する m^2 あたり粒数は疎植条件でやや減少し、特に初期生育が不良となった1997年では栽植密度間の差が拡大した。コシヒカリの m^2 あたり粒数は、幼穂形成期間の窒素吸収量やCGRと高い正の相関関係があることが知られている²⁾。また、著者ら¹⁾は標準栽培されたコシヒカリ、ハナエチゼン、キヌヒカリの物質生産を年次間で比較し、コシヒカリの登熟は出穂前に蓄積された同化産物に依存する割合が高いことを明らかにしている。しかし、本試験では栽植密度間で幼穂形成期間のCGRにほとんど差が認められず、同期間の乾物増加量あたりの粒数は密植条件ほど多かった(第7図)。これは、栄養生長期間の生育量の大小がそのまま m^2 あたり粒数に反映することを示している。したがって、疎植条件では気象条件も考慮しながら穂肥をやや早期に施用する(第8表)などして粒数を確保することが生育診断上必要と思われる。疎植では葉身窒素濃度は高いが窒素吸収量は標準栽植密度より劣る。小林ら²⁾は、単位面積あたりの分化穎花数は穎花分化始期の地上部窒素保有量によって支配され、さらに穂首分化期から穎花分化始期の地上部窒素含有率の変化からも大きな影響を受けることを指摘している。本試験でも、コシヒカリの疎植Ⅰ区では m^2 あたり粒数が減少したが、コシヒカリ、ハナエチゼンともに20~30%程度の栽植密度の低下では窒素吸収量はほとんど影響を受けず、 m^2 あたり粒数も標準密度と大差なかった。この結果から、幼穂形成期間の窒素吸収が旺盛となる品種や栽培条件では、多少の疎植でも標準密度並みの粒数を形成することが可能と判断される。

一方、ハナエチゼンではコシヒカリよりも基肥窒素施肥量が多く、生育特性として登熟前半の物質生産能力が高く、それが寡照などの多少の不良環境下でも登熟能力を維持できる要因であることが明らかにされている³⁾。本試験でもハナエチゼンの登熟前半のCGRはコシヒカリより高く、それが疎植条件でやや助長されていた(第3表)。ただし、疎植では登熟前半のEGRは必ずしも高くなく、葉身や葉鞘・稈からの転流量も大きくない。つ



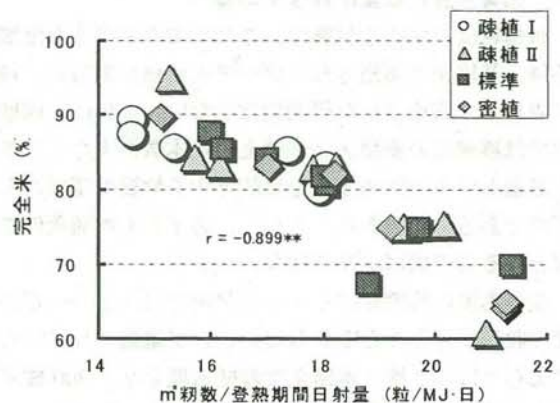
第7図 幼穂形成期間の乾物増加量と粒数の関係(1996-99 コシヒカリ)

まり、ハナエチゼンの疎植で稲体窒素濃度が高い条件では、全体の乾物増加量は大きいと穂以外の部分の生長も続くために、玄米の肥大がスムーズとならない、すなわち遅発げつが登熟前半の物質生産に影響している可能性も考えられる。

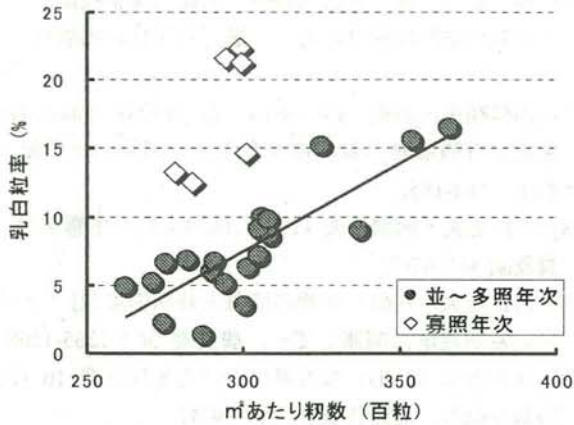
本試験では栽植密度の違いによる登熟歩合や千粒重の差は比較的小さかった。したがって、 m^2 あたり粒数の多少がそのまま収量差となって現れたとみることができ。その結果、コシヒカリ、ハナエチゼンともに14株/ m^2 から30株/ m^2 の栽植密度の範囲では収量差はきわめて小さかった。また、両品種ともに疎植Ⅱ区では穂肥時期が多少早まっても倒伏程度は小さく、 m^2 あたり粒数も増加して、コシヒカリでは密植よりも増収率が高かった。さらにコシヒカリでは登熟前半の遮光による収量低下程度も小さかった。これらの試験結果は、疎植では生育中期の生育調節のポテンシャルが高く、しかも登熟前半の日照不足にも強いことを示しており、収量面から見た安定性が高いと考えることができる。

2. 品質に及ぼす影響

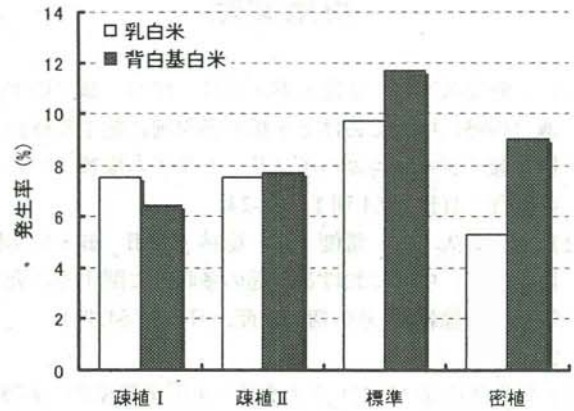
品質との関連性では、コシヒカリの m^2 あたり粒数と乳白米発生率には負の相関関係があることが報告されている³⁾。本試験でも、コシヒカリの疎植Ⅰ区など栽植密度を1/2とすると明らかに完全米の比率が高まり、乳白米や腹白米の発生率が低下した。これは、5%前後の m^2 あたり粒数の減少と登熟後半までの物質生産の維持が、登熟に好適な影響を及ぼしたためと考えることができる。しかし、疎植Ⅱ区では粒数が標準密度とほとんど変わらないため、品質向上効果はそれほど大きくなかった。また、密植区のように m^2 あたり粒数は標準区と大差ないにもかかわらず乳白米が増加する場合も認められた(第5, 6表)。この結果は、密植条件では登熟期間の葉身窒素濃度の低下がやや大きく、稲体の機能低下が大きかったためと判断され、過剰な粒数をつけないことに加えて、登熟期間の窒素栄養の維持が品質向上にとって重要



第8図 登熟期間の日射量を考慮した粒数と完全米の関係(1996-99 コシヒカリ)



第9図 m²あたり粒数と乳白粒発生率の関係 (1996-99:コシヒカリ)



第10図 高温登熟年の栽植密度と品質 (1999 ハナエチゼン)

であると考えられる。

一方、乳白米発生率は遮光条件など登熟期間の日射量とも関連が強い(第9表)ので、年次間の品質を比較するために、m²あたり粒数を登熟期間の日射量で除した値(日射量あたり粒数¹²⁾)を用いると、4年間の各試験区の完全米比率とこの値には高い負の相関が認められ、乳白米でもこの値との間に正の相関が確認された(第8図)。この結果からは、栽植密度の違いの影響はそれほど大きくなく、1998年のような寡照条件では疎植Ⅱ区でも完全米比率の低下が大きく、年次間の日射環境の違いを考慮すると栽植密度の違いによる品質向上効果は、粒数形成量の差程度とそれほど大きくないのかも知れない。川口ら¹⁷⁾も、コシヒカリを17.8株/m²から27.5株/m²の栽植密度で施肥法を変えて栽培し、多肥条件で栽植密度が高くなるほど完全粒歩合が低下することを示したが、同じ粒数水準では栽植密度による差はないとしている。なお、コシヒカリの疎植条件では玄米の肥大が登熟後半まで持続するため、わずかながら登熟歩合が向上する反面千粒重が低下する。このため、山口ら³³⁾が指摘するような、玄米の小粒化による乳白米発生軽減効果も含まれる可能性がある。

一方、ハナエチゼンではコシヒカリよりm²あたり粒数が少なく登熟が良好で、完全米比率が高く乳白米も少ない。しかし、登熟前半の気温が高いため、栽植密度を込みにした日射量あたり粒数と完全米比率の相関は $r = -0.42$ 、乳白米との相関は $r = +0.30$ 程度で、コシヒカリのように高くならなかった。これは、1999年の高温により背白・基白米の発生率が高く、品質低下の様相がコシヒカリと異なっているためと考えられる。この年次の背白・基白米の発生率は、疎植条件で明らかに少なく¹⁰⁾、その理由として葉身窒素濃度が登熟後半まで高く玄米の肥大が継続するためと推測される。

本試験の栽植密度の範囲では、コシヒカリ、ハナエチゼンともに玄米中の窒素濃度に大きな差は認められな

った。この結果は、キヌヒカリを用いて11.1株/m²程度までなら白米窒素濃度は標準密度と同程度であると報告²⁹⁾とほぼ同様であり、食味評価の面でも11～31株/m²間での差は小さいと判断される。

このような点より、品質向上を目的として疎植を行うなら、施肥量と組み合わせ適切な密度を選択する必要がある。本試験結果の範囲では、乳白米の発生率を約7%以下とするための適正粒数は、コシヒカリでは登熟期間の並から多照な日射条件で3.0万粒/m²が一つの目安となり、通常より20～30%栽植密度を少なくすることで目標が達成できると見られる。ただし寡照年次ではそれ以下の粒数でも乳白粒の発生率が高い(第9図)。ハナエチゼンでは、通常の栽培条件でもコシヒカリより粒数が少なく、乳白粒の発生率も低い。また、疎植条件でm²あたり粒数が少ない場合にはさらに乳白粒発生率が少なくなる。しかし、登熟期間の高温年次では窒素栄養の良否により背白・基白米の発生率が著しく変動するため¹⁰⁾、その発生軽減の一手段として疎植が有効であろうと考えられる(第6表、第10図)。しかし、これらはいずれも登熟期間の地力窒素の供給が安定しているグライ土での試験結果であるため、地力のない圃場ではより少ない粒数レベルが求められると見られる。

なお、松村ら²⁹⁾は水稲のSiO₂とNの含有率が栽植密度により変動し、疎植条件ではNが増加してSiO₂が減少し、その比が小さくなることを示している。この点より、登熟期間にフェーン現象などの強風に遭遇した場合には、被るストレスが増大し、疎植イネの特性が十分に発揮できない可能性がある。また、収量や品質に関しては、根系の拡大と登熟期間の機能や活力の維持が重要であることが報告されている^{14,15)}。根の形態や機能と栽植密度やその他の栽培条件の関連性について今後の研究が必要と思われる。

引用文献

- 1) 天野高久・師 常俊・秦 徳林・津田 誠・松本保博 (1995) 中国における水稻の多収糧に関する研究. 第2報 ジャポニカハイブリッドライス楡雑 29 号の多収性. 日作紀 64 別 1 : 22-23.
- 2) 天野高久・師 常俊・秦 徳林・津田 誠・松本保博 (1995) 中国における水稻の多収糧に関する研究. 第3報 楡雑 29 号の籾数生産. 日作紀 64 別 1 : 24-25.
- 3) 竹生新治郎 (1987) 米の食味. 全国米穀協会 : 9-75.
- 4) 橋川 潮編著 (1996) 低投入稲作は可能. 富民協会 : 14-234.
- 5) K. Hayashi (1966) Efficiencies of Solar Energy Conversion in Rice Varieties as Affected by Planting Density. 日作紀 35 : 205-211.
- 6) 井上健一 (1995) コシヒカリの物質生産と多収糧. コシヒカリ. 第5章-第1節-3. 日本作物学会北陸支部・北陸育種談話会編 : 202-206.
- 7) 井上健一・佐藤 勉・岩田忠寿・尾嶋 勉・酒井 究 (1995) 低温・寡照条件におけるハナエチゼンの生育の物質生産的解析. 福井農試研報 32 : 1-12.
- 8) 井上健一 (1996) 北陸地域における最近の気象変動と水稻生産. I-1-5) 福井県における水稻作概況, IV-1-4) 福井県における技術的対策. 北陸農業研究資料 34 : 23-28, 112-118.
- 9) 井上健一・林 恒夫・湯浅佳織・笈田豊彦 (1997) 水稻良質良食味品種の収量・品質から見た物質生産の解析. 1. コシヒカリの登熟期間の物質生産が品質食味要因に及ぼす影響. 日作紀 66 別 2 : 109-110.
- 10) 井上健一・湯浅佳織・笈田豊彦 (2000) 水稻良質良食味品種の収量・品質から見た物質生産の解析. 4. 福井県における 1999 年産水稻の物質生産と見かけの品質の関係. 日作紀 69 別 1 : 36-37.
- 11) 井上健一・湯浅佳織 (2001) 水稻品質食味要因の安定性に関する解析的研究. 第1報 苗質がコシヒカリの初期生育と収量品質に及ぼす影響. 福井農試研報 38 : 1-10.
- 12) 井上健一・湯浅佳織 (2001) 水稻良質良食味品種の収量・品質から見た物質生産の解析. 5. 施肥量と登熟期間の日射量が早生品種の品質食味要因に及ぼす影響. 日作紀 70 別 2 : 99-100.
- 13) 井上健一 (2003) 高温のイネ生産への影響と技術的対策. 一福井県の場合. 日作紀 73 別 2 : 440-445.
- 14) 井上健一・山口泰弘・高橋正樹 (2004) コシヒカリの根の発育経過の解析. 日作紀 74 別 1 : 130-131.
- 15) 岩田忠寿 (1986) 福井県における稲作技術の現状と収量の変動要因. 北陸農業研究資料 15 : 23-38.
- 16) 蔣 彭炎・姚 長溪 (1988) 水稻高産新技術 一稀少平栽培法の原理と応用一. 浙江科学技術出版社 : 1-319.
- 17) 川口祐男・高橋 渉・南山 恵 (1996) 水稻の栽植密度と外観品質, 蛋白質含有率との関係. 日作紀 65 別 1 : 184-185.
- 18) 吉良竜夫・穂積和夫 (1958) 植物生長の生態学 {3}. 農及園 34 : 67-72.
- 19) 吉良竜夫 (1961) 作物の収量と栽植密度 {2} 一イネの密植栽培に関連して一. 農及園 36 : 1265-1268.
- 20) 北倉芳忠 (2003) 福井県における水稻直播 10 年間の取り組み. 北陸作報 39 別 : 34-37.
- 21) 小林和弘・堀江 武 (1994) 水稻の穎花ならびに枝梗分化に及ぼす生殖成長期の体内窒素の影響. 日作紀 63 : 193-199.
- 22) 近藤頼巳・渡部直吉・下田博之・武田英之 (1962) 深耕多肥条件における水稻栽植疎密の試験成績. 日作紀 30 : 232-236.
- 23) 松村 修・山口弘道・八百板正則・福田直子 (1998) 水稻の栽植密度が SiO_2 , N 含有率ならびに SiO_2 / N 比に及ぼす影響. 日作紀 67 別 2 : 92-93.
- 24) 松中 仁・中村貞二・西山岩男 (1998) 遮光処理がイネの登熟に及ぼす影響. 日作紀 67 別 1 : 190-191.
- 25) 松浦欣哉・岩田忠寿・長谷川毅 (1969) 水稻の深層施肥の効果に関する研究. 第1報 増収機構について. 日作紀 38 : 215-221.
- 26) 宮坂 昭・石倉教光 (1964) 湿田水稻の収量性に関する後期生育相の解析. 日作紀 33 : 107-110.
- 27) 村田吉男・猪山純一郎 (1958) 水稻の光合成に関する研究. 第9報 密植多肥条件下の水稻の光合成作用と乾物生産. 日作紀 27 : 9-11.
- 28) 大平陽一・木村秀也・白土宏之・高梨純一 (2000) 栽植密度, 施肥法の違いが水稻の生育及び窒素の動態に与える影響. 日作紀 69 別 1 : 96-97.
- 29) 大平陽一・白土宏之・竹田博之・高梨純一 (2002) 白米窒素濃度に及ぼす栽植密度, 施肥法の影響の解析. 日作紀 71 別 1 : 136-137.
- 30) 白岩立彦・橋川 潮・劉 雲開 (1997) 窒素の利用とその効率からみた水稻品種の生産力. 1. 品種日本晴における窒素蓄積量と収量の関係. 日作紀 66 別 2 : 31-32.
- 31) 鈴木 守 (1993) 農民に学ぶ技術の総合化. 昭和農業技術発達史 水田作編 第3章 第3節 : 124-135.
- 32) 武田友四郎・広田 修 (1971) 水稻の栽植密度と子実収量との関係. 日作紀 40 : 381-385.
- 33) 月森 弘 (2003) 島根県における高温のイネ生産への影響と技術的対策. 日作紀 72 別 2 : 434-439.
- 34) Y. Yamada, Y. Ota and H. Nakamura (1961) Ecological Effects of Planting Density on Growth of

Rice Plant. 日作紀 29 : 329-333.

- 35) 山口泰弘・郡寄裕次・徳井公一・佐々木知子・古田秀雄 (2002) 福井県二州地域における水稲乳白粒発生軽減技術の検討. 北陸作報 37 : 54-56.
- 36) 横山克至・高取 寛・藤井弘志・渡部幸一郎・安藤正・小南 力・松田裕之・柴田康志・長谷川愿 (2002) 庄内地域における登熟期の高温条件が米粒品質に及ぼす影響. 山形農試研報 36 : 51-66.
- 37) 湯浅佳織・井上健一・笈田豊彦 (1999) コシヒカリにおける幼穂形成期から出穂期の物質生産と収量の関係. 北陸作報 34 : 71-72.

Analytical Studies on the Stability of the Factors Affecting the Appearance of the Grain and Eating Quality in Rice

2. Effects of Low Planting Density on the Dry Matter Production, Yield and Grain Appearance

Ken-ichi INOUE, Tsuneo HAYASHI, Kaoru YUASA and Toyohiko OIDA

Summary

Growth and dry matter production characteristics along with grain yield and qualities were studied for four years under different planting density conditions on the rice cultivars Koshihikari and Hanaechizen with the goal of stable rice production.

In sparse planting density conditions in Koshihikari, the crop growth and dry matter production were lower than normal or high planting density in the early growth stage. But the crop growth rate became higher after the heading stage. And the nitrogen content of the leaf blade was maintained a higher level during the ripening period. The grain growth rate in the former ripening period was lower in sparse planting density. On the other hand, that in the latter ripening period was higher.

The grain yield was almost the same in planting density 14 hills per square meter as normal 21 hills per square meter in both cultivars, because the dry weight at maturity and the number of spikelets per square meter were similar in both densities. In sparse planting density, the decrease of yield and grain appearance was lower under shading treatment during the former ripening period, and with 10 days early application of topdressing, the increase of the lodging index was lower and the yield became higher.

In Koshihikari, the appearance of the grain was improved by the sparse planting density treatments because the percentage of perfect grain increased and the percentage of milky grain decreased. Also in Hanaechizen, the percentage of white back grain and white base grain decreased with the sparse density treatments. These results shows that maintaining high ripening ability through higher nitrogen content in the leaf blade is effective enough for high quality grain production.