

暖地の湛水直播栽培における晩播水稻の生育および収量・品質特性

古畑昌巳¹⁾・吉永悟志²⁾・梶亮太³⁾・田村克徳⁴⁾・鍋島弘明⁵⁾・森田弘彦⁶⁾・山下浩⁴⁾・
溝淵律子⁷⁾・岡本正弘²⁾・坂井真⁴⁾

(¹⁾ 中央農業総合研究センター北陸研究センター, (²⁾ 作物研究所, (³⁾ 東北農業研究センター, (⁴⁾ 九州沖縄農業研究センター,
⁵⁾ 富山県新川農業普及指導センター, (⁶⁾ 秋田県立大学生物資源科学部, (⁷⁾ 農業生物資源研究所)

要旨：暖地において晩播水稻栽培を確立することを目的として、晩播（6月下旬播種）水稻の生育および収量・品質特性について2001年と2002年の2ヶ年にわたって普通期播き（6月上旬播種）水稻と比較した。晩播水稻は、普通期播き水稻に比べて生育期間が短いため、茎葉の伸長量は小さいが、幼穂分化期～穂揃い期の個体群生長速度が大きく、穂揃い期以降の乾物生産特性は変わらなかった。また、分けつが旺盛で穂数が多くなり、ラグ期の窒素吸収特性に優れ、 m^2 当たり籾数が多くなった結果、増収しやすいことが示唆された。さらに、晩播適性指標により、晩播適性基準を策定し、この基準を用いて供試品種・系統を評価した結果、どんとこい、ふくいずみ、西海242号、西海244号の収量はいずれもヒノヒカリに比べて高かったが、全ての項目で基準を満たした品種・系統はふくいずみのみであった。

キーワード：乾物生産、収量、水稻、湛水直播、窒素吸収、点播、晩播、ふくいずみ。

近年、米のミニマムアクセス量の増加や関税化、米価の低迷や農業従事者の高齢化などに対応して稲作の大規模化、低コスト化および省力化の要請が高まるとともに、その対応技術として直播栽培技術の確立が望まれている。

散播や条播による湛水土中直播栽培は、従来行われていた移植栽培に比べて省力ではあったが、耐倒伏性が劣り、収量も減少しやすいという問題があった。しかし、その後新しく開発された打込み式代かき同時土中点播直播栽培（下坪・富樫1996a）では、株当たりの穂数が多くなり、他の播種様式で行う湛水直播栽培に比べて耐倒伏性が改善された（下坪・富樫1996b, 吉永ら2001）。一方、出芽・苗立ちの向上、安定化は直播栽培の技術確立を図る上で最も重要な課題の一つであるが、打込み式代かき同時土中点播栽培でも、従来の湛水土中直播栽培と同様、種子が土壤中に埋没して表面播種に比べて出芽率が低下しやすいという問題があった。これについて古畑ら（2005a）は、代かき同時打込み点播機によって土中に播種した過酸化カルシウム剤被覆種子は、播種直後の落水によって出芽・苗立ちを早め、出芽以降の初期生育が旺盛になることを確認した。また、播種後の落水条件と施肥の影響を解析して、栽培面から出芽・苗立ちをより向上させる技術について検討してきた（古畑ら2005b, 2005c, 2006）。

現在、暖地では稲-麦-大豆の組み合わせによる輪作体系の確立が急務であり、この中で普通期（6月上旬）播種に比べて播種時期を2週間ほど遅らせることで大豆跡の麦収穫～水稻播種までの作業競合が緩和されると考えられている。その一方、直播水稻は移植水稻に比べて最高分けつ期から幼穂分化期までの栄養生長停滞期間（ラグ期）が長くなるとともにこの期間の窒素吸収が低下すること（吉永

ら1995）、また、このような生育中期の窒素吸収量低下が籾数不足による減収に結びつくこと（吉永ら2002）が報告されており、小麦跡作としての直播栽培は移植栽培に比較して生育遅延による収量や食味品質の不安定化が懸念されている。一方、作期を変えて直播栽培を行った場合にはラグ期の日数も変化し、晩播（6月末播種）栽培は普通期播き（6月上旬播種）栽培に比べてラグ期日数が短縮することが報告されている（吉永ら1995）。このことは、暖地における湛水直播栽培では、晩播栽培を行うことによってラグ期が短縮され、窒素吸収量が低下しにくいために普通期播き栽培に比べて収量が高まる可能性を示唆している。そこで本研究では、暖地における晩播水稻栽培を確立するために、普通期播き水稻を比較対照として晩播水稻の生育および収量品質特性について解析を行い、暖地特有の問題点であるラグ期についても考察した。

材料と方法

1. 試験方法

本試験では、直播適性が高いどんとこい、温暖地・暖地の試験地における代表的な標準品種である日本晴、良食味で九州の主力品種でもあるヒノヒカリ、九州沖縄農業研究センターで育成され、直播適性も高いと考えられるふくいずみ（旧系統名西海238号）、西海242号および西海244号の2系統の計6品種・系統を供試した。

試験は2001年および2002年の2ヶ年において九州沖縄農業研究センター（福岡県筑後市）隣接の農家圃場（細粒灰色低地土）で行った。また、播種時期について、普通期播きは2001年6月12日および2002年6月14日、晩播は2001年6月27日および2002年6月28日とし、乾籾の2

第1表 月別気象概況.

	年次	6月	7月	8月			9月			10月
				上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
日平均気温 (°C)	2001	23.9	27.9	29.3	28.7	26.1	25.1	24.4	22.5	19.1
	2002	24.0	27.8	28.3	27.2	26.6	27.0	24.5	21.9	17.5
	平年値	23.1	27.1	28.1	27.9	27.1	25.4	22.9	22.0	18.1
日射量 (MJ/m ² /日)	2001	10.1	20.2	18.5	17.4	19.5	12.8	19.0	18.9	14.9
	2002	16.1	15.0	22.8	21.3	13.9	23.6	17.8	16.1	13.9
	平年値	12.2	15.4	18.6	16.5	15.9	15.2	14.4	12.7	14.9

日平均気温および日射量の平年値は1971~2000年までの平均値で表す.

倍重相当の過酸化カルシウム剤を被覆したハト胸催芽粉を用いた. 播種前日に入水, 施肥後に荒代かきを行い, 播種まで湛水状態とした. 翌日, 湛水深を3~4 cm程度とした圃場に打込み式土中点播機(トラクター:クボタ製KL41, 代かきロータリ:小橋工業製PS248, 播種ユニット:サン機工製SX6000)を用いて条間30 cm, 株間20 cm (16.7株/m²)として播種を行った. 1試験区の面積は約24 m² (2.4m×10m)で2反復とし, 播種後2~3週間を目安に苗立ち調整を行い, 1株4本立て(苗立ち密度約70本/m²)とした. 施肥は, 普通期播き, 晩播ともに窒素成分で速効性窒素肥料20%, 緩効性肥料のLPコート100を80%含むLP複合D-80を基肥として, 速効性肥料を穂肥(1回目:出穂前20日, 2回目:出穂前10日)として用いた. また, 施肥量(窒素成分)は, 普通期播きでは基肥6 g/m², 穂肥1回目2.5 g/m², 穂肥2回目1.5 g/m²施用した. 晩播では基肥5 g/m², 穂肥1回目2 g/m², 穂肥2回目1.5 g/m²施用した. 播種後の水管理は, 苗立ち確保のために播種から1週間前後を落水とした後, 入水して出穂後2週間前後の数日を倒伏調査のため一時的に落水としたほかは収穫直前まで常時浅水管理とし, 病虫害防除は適宜行った.

2. 生育および収量の調査方法

生育調査として, 1区当たり18株(1.08 m²)について分けつ盛期から成熟期まで5回の抜き取り調査を行った. 抜き取り株は分けつ数を調査した後, 代表株について器官別に分解し, 葉面積を測定後, 80°Cで3日乾燥し, 乾物重, 窒素含有率を測定した. なお, 窒素分析は乾式燃焼法(エレメンタル社製, rapid N)により行った. また, 出穂後2週間前後に穂数, 地際から15 cmの高さの押し倒し抵抗値を20個体調査し, 個体の地上部重, 稈長から地上部モーメント(稈長と1穂あたりの生体重の積)を求めて, さらにこれらの値から寺島ら(2002)の方法に準じて倒伏指数[(地上部モーメント/(測定高×1穂あたりの押し倒し抵抗値))]を算出した. 非構造化炭水化物(NSC)含有率は穂揃い期の葉鞘付稈を微粉碎して, 重量法(大西・堀江1999)によって求めた.

収量および収量構成要素の調査は以下の方法で行った.

1区当たり60株(3.6 m²)を成熟期に刈り取り, 刈り取り株の穂数を調査した後に天日乾燥を行った. 乾燥後, 脱穀を行う際にしいなを含めた粉を全て回収し, 均分したサンプルの粉数を計測してm²当たり粉数を算出した. 1穂粉数はm²当たり粉数をm²当たり穂数で除して算出し, 収量は粒厚1.7 mm以上の精玄米重で表し, 登熟歩合はm²当たり粉数と粒厚1.7 mm以上の精玄米数をもとに算出した. 千粒重は精玄米約20 gの粒数を2回計測することにより算出した. なお, 精玄米重と千粒重は水分含有率15%となるように値を補正した.

3. 品質の調査方法

食味品質に関連する形質として, 精玄米の窒素含有率, 白米のアミロース含有率, 食味官能値, 検査等級を調査した. 精玄米の窒素含有率は乾式燃焼法(エレメンタル社製, rapid N)により行い, 白米のアミロース含有率はBRAN LUEBBE オートアナライザーII型で測定した. 食味官能値は白米を炊飯した後, コシヒカリ普通期移植栽培を基準とし, 粘りは(-3~+3)の7段階, 総合は(-5~+5)の11段階で評価した. さらに検査等級は, 農政事務所の評価を1(1等上)~9(3等下)の指数で示した.

4. 晩播水稻の出芽特性の評価

乾粉の2倍重相当の過酸化カルシウム剤を被覆したハト胸催芽粉を用いて, 2003年7月1日に九州沖縄農業研究センター(福岡県筑後市)内の圃場(細粒灰色低地土)で打込み式土中点播機によって条間30 cm, 株間20 cm (16.7株/m²)で播種を行った. 播種量は, ヒノヒカリ2.5 kg/10 aを基準として設定し, 播種後3週間後に1区6 m²を2反復で各品種の苗立ち数を調査した.

結 果

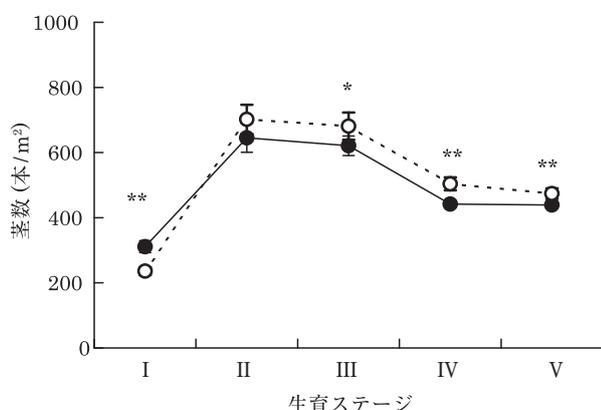
1. 試験年次の気象概況, 播種時期が分けつおよび葉身形質に及ぼす影響

試験を実施した2ヶ年の気象概況を第1表に示した. 気温について2001年では8月下旬から9月上旬, 2002年では8月中旬から下旬にかけて平年値を若干下回ったものの, 残りの期間では平年並みか若干高く推移した. また,

第2表 播種時期が分けつおよび葉身形質に及ぼす影響.

年次	播種時期	分けつ速度 (本/m ² /日)	最高分けつ数 (本/m ²)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	最高分けつ期		
						LAI (m ² /m ²)	SLA (cm ² /g)	LWR (g/g)
2001	普通期播き	16.2	666	407	61.1	4.2	240	0.38
	晩播	21.8	764	439	57.5	3.5	253	0.44
2002	普通期播き	16.4	624	470	75.3	2.2	296	0.49
	晩播	19.4	640	509	79.5	1.8	307	0.49
平均値	普通期播き	16.3	645	439	68.2	3.2	268	0.44
	晩播	20.6	702	474	68.5	2.7	280	0.47
	有意差	ns	ns	**	ns	**	ns	ns

各数値は供試6品種・系統の平均値. 分けつ速度は播種～最高分けつ期までの値. LAI: 葉面積指数. SLA: 比葉面積. LWR: 葉重比. 対応のあるt検定の結果, 普通期播きおよび晩播間において**は1%水準で有意差があることを示す. ns: 有意差なし. 有効茎歩合は逆正弦変換した値を有意差検定した.



第1図 播種時期が分けつの推移に及ぼす影響.

各数値は供試6品種・系統の2001年および2002年データの平均値. ●: 普通期播き, ○: 晩播. I: 分けつ盛期, II: 最高分けつ期, III: 幼穂分化期, IV: 穂揃い期, V: 成熟期 (第3～第5表も同様). 対応のあるt検定の結果, 普通期播きおよび晩播間において**は1%水準, *は5%水準で有意差があることを示す. 縦線は標準誤差.

日射量について2001年では6月と9月上旬, 2002年では8月下旬と10月を除き平年並みかそれ以上に多く, おおむね良好であった.

播種時期が分けつおよび葉身形質に及ぼす影響については第2表に供試6品種・系統の平均値で示した. 晩播は普通期播きに比べて有意ではないが分けつ速度は速く, 最高分けつ数も多くなる傾向があり, 有効茎歩合に差がない結果, 穂数が有意に多かった. また, 最高分けつ期の葉面積指数 (LAI) は晩播が普通期播きに比べて有意に小さく, 比葉面積 (SLA) および葉重比 (LWR) には播種時期による差は認められなかった.

播種時期が分けつの推移に及ぼす影響を第1図に供試6品種・系統の2001年および2002年の平均値で示した. 晩播の茎数は, 分けつ盛期では普通期播きに比べて有意に少ないが, 分けつ盛期から最高分けつ期にかけて大きく増加して, 幼穂分化期～成熟期までは普通期播きに比べて有意に多く推移した.

2. 播種時期が乾物重, 窒素吸収に及ぼす影響

播種時期が乾物生産に及ぼす影響については第3表に供

第3表 播種時期が乾物生産に及ぼす影響.

年次	播種時期	地上部乾物重 (g/m ²)					CGR (g m ⁻² d ⁻¹)			ΔW (g/m ²)	稈のNSC含有率 (%)
		I	II	III	IV	V	I-II	II-III	III-IV		
2001	普通期播き	35	272	453	1007	1539	14.8	21.9	22.5	532	42.5
	晩播	6	119	317	959	1462	8.1	17.4	23.2	504	41.2
2002	普通期播き	22	148	337	1029	1548	10.5	17.2	21.0	519	34.4
	晩播	14	121	369	1036	1586	7.6	16.6	25.6	550	32.9
平均値	普通期播き	28	210	395	1018	1544	12.7	19.5	21.8	526	38.5
	晩播	10	120	343	998	1524	7.9	17.0	24.4	527	37.0
	有意差	**	**	ns	ns	ns	**	*	**	ns	ns

各数値は供試6品種・系統の平均値. CGR: 個体群成長速度. ΔW: 登熟期間中の乾物重増加量. 稈のNSC含有率は穂揃い期の葉鞘付稈における値. 対応のあるt検定の結果, 普通期播きおよび晩播間において**は1%水準, *は5%水準で有意差があることを示す. ns: 有意差なし. 稈のNSC含有率は逆正弦変換した値を有意差検定した.

第4表 播種時期が地上部の窒素吸収に及ぼす影響.

年次	播種時期	窒素吸収量 (g/m ²)					窒素含有率 (%)				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
2001	普通期播き	1.4	5.7	6.5	11.1	—	4.0	2.1	1.4	1.1	—
	晩播	0.3	4.0	6.7	11.4	—	4.5	3.4	2.1	1.2	—
2002	普通期播き	0.7	4.7	7.1	12.9	13.2	3.4	3.2	2.1	1.3	0.9
	晩播	0.6	4.2	7.9	14.1	15.4	4.3	3.5	2.2	1.4	1.0
平均値	普通期播き	1.1	5.2	6.8	12.0	13.2	3.7	2.6	1.8	1.2	0.9
	晩播	0.5	4.1	7.3	12.8	15.4	4.4	3.5	2.1	1.3	1.0
	有意差	**	**	ns	*	**	**	**	**	**	ns

各数値は供試6品種・系統の平均値. 2001年の成熟期のNデータは欠測値. 対応のあるt検定の結果, 普通期播きおよび晩播間において**は1%水準, *は5%水準で有意差があることを示す. ns:有意差なし. 窒素含有率は逆正弦変換した値を有意差検定した.

試6品種・系統の平均値で示した. 乾物生産について, 晩播は普通期播きに比べて地上部乾物重が最高分けつ期まで, 個体群成長速度(CGR)は幼穂分化期まで小さかったが, 幼穂分化期~穂揃い期にかけての晩播のCGRは大きくなり, 登熟期間中の乾物重増加量(ΔW)には播種時期による差が認められなかった結果, 幼穂分化期以降の地上部乾物重について播種時期による差は見られなかった. さらに, 稈のNSC含有率について晩播と普通期播き間では差が認められなかった.

播種時期が地上部の窒素吸収に及ぼす影響については第4表に供試6品種・系統の平均値で示した. 晩播は普通期播きに比べて地上部の窒素吸収量が最高分けつ期まで小さく, 穂揃い期以降は逆に大きかった. また, 窒素含有率は穂揃い期まで晩播で高かったが, 成熟期には差が認められなくなった.

播種時期が乾物増加当たり窒素吸収量($\Delta N/\Delta W$)に及ぼす影響については第5表に供試6品種・系統の平均値で示した. 晩播は普通期播きに比べて $\Delta N/\Delta W$ が幼穂分化期まで高く, 幼穂分化期以降は差が認められなくなった.

3. 播種時期が収量, 収量構成要素と品質に及ぼす影響 播種時期が収量, 収量構成要素および耐倒伏性に及ぼす

第5表 播種時期が乾物増加当たり窒素吸収量($\Delta N/\Delta W$)に及ぼす影響.

年次	播種時期	$(\Delta N/\Delta W)$ (mg/g)		
		I-II	II-III	III-IV
2001	普通期播き	18.2	4.4	8.2
	晩播	33.1	13.7	6.9
2002	普通期播き	31.0	11.9	8.4
	晩播	34.2	15.3	9.2
平均値	普通期播き	24.6	8.2	8.3
	晩播	33.6	14.5	8.0
	有意差	**	**	ns

各数値は供試6品種・系統の平均値. 対応のあるt検定の結果, 普通期播きおよび晩播間において**は1%水準で有意差があることを示す. ns:有意差なし.

影響については第6表に供試6品種・系統の平均値で示した. 晩播は普通期播きに比べて穂数が多く, 1穂初数には播種時期による差が認められないものの, 両形質の積である総初数について有意に多くなった. また, 登熟歩合, 千粒重には播種時期による差が認められなかったが, 晩播の精玄米重は普通期播きに比べて有意に高かった. さらに, 晩播では稈長が普通期播きに比べて有意に短くなるものの, 倒伏指数には播種時期による差が認められなかった.

第6表 播種時期が収量, 収量構成要素および耐倒伏性に及ぼす影響.

年次	播種時期	出穂期 (月・日)	稈長 (cm)	精玄米重 (g/m ²)	穂数 (本/m ²)	1穂初数 (粒)	総初数 (\times 千/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	倒伏指数
	晩播	8.31~9.9	69.1	651	439	71	31.2	90.4	23.2	0.53
2002	普通期播き	8.20~9.2	72.8	631	470	70	32.8	86.1	22.5	0.53
	晩播	8.29~9.8	72.5	677	509	69	34.7	85.1	23.0	0.54
平均値	普通期播き	8.19~9.1	72.6	626	439	72	31.1	88.5	22.9	0.52
	晩播	8.30~9.8	70.8	664	474	70	33.0	87.8	23.1	0.54
	有意差		*	**	**	ns	*	ns	ns	ns

各数値は供試6品種・系統の平均値. 精玄米重は1.70mm以上, 水分15%換算. 対応のあるt検定の結果, 普通期播きおよび晩播間において**は1%水準, *は5%水準で有意差があることを示す. ns:有意差なし. 登熟歩合は逆正弦変換した値を有意差検定. 倒伏指数 = 地上部モーメント / (押し倒し抵抗値 \times 15).

第7表 播種時期が品質および食味官能値に及ぼす影響。

年次	播種時期	玄米窒素 (%)	白米アミロース (%)	食味官能値		検査等級 (1-9)
				粘り	総合値	
2001	普通期播き	1.26	17.3	-0.16	-0.20	3.0
	晩播	1.25	18.8	-0.35	-0.38	2.7
2002	普通期播き	1.40	16.9	-0.16	-0.18	3.3
	晩播	1.40	18.3	-0.31	-0.35	3.0
平均値	普通期播き	1.33	17.1	-0.16	-0.19	3.2
	晩播	1.33	18.6	-0.33	-0.36	2.9
	有意差	ns	**	*	*	ns

各数値は供試6品種・系統の平均値。玄米窒素は乾物換算。白米アミロースはBRAN LUEBBE オートアナライザー II型で測定。食味官能値はコシヒカリ普通期移植栽培を基準とし、粘りは(-3~+3)の7段階、総合値は(-5~+5)の11段階評価で行った。検査等級は1(1等上)~9(3等下)の指数。対応のあるt検定の結果、普通期播きおよび晩播間において**は1%水準、*は5%水準で有意差があることを示す。ns:有意差なし。玄米窒素、白米アミロースは逆正弦変換した値を有意差検定した。

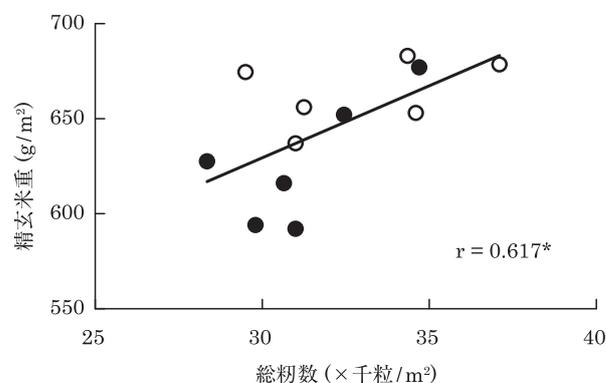
播種時期が品質および食味官能値に及ぼす影響については第7表に供試6品種・系統の平均値で示した。玄米窒素含有率には播種時期による差が認められなかったが、晩播は普通期播きに比べて白米のアミロース含有率が有意に高く、食味官能値の粘りおよび総合値は有意に低かった。また、検査等級については播種時期による差が認められなかった。

4. 窒素吸収特性と収量性との関係

収量構成要素である総粒数と収量を示す精玄米重との関係についてみると、総粒数と精玄米重との間には有意な正の相関関係が認められた(第2図)。さらに幼穂分化期の窒素吸収量、窒素含有率およびラグ期の乾物増加当たり窒素吸収量($\Delta N/\Delta W$)と総粒数との関係についてみると、 $\Delta N/\Delta W$ と総粒数との間にのみ有意な正の相関関係が認められた(第3図)。

5. 晩播適性指標の作成と晩播適性評価

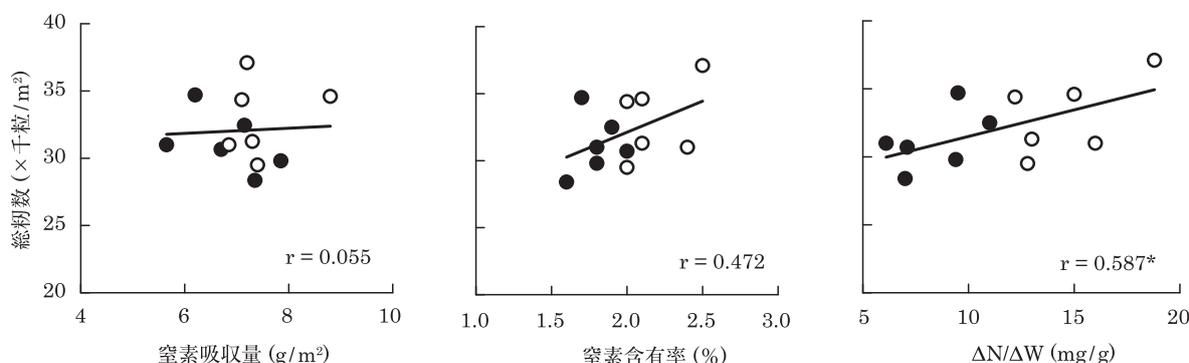
湛水直播水稻の課題である出芽特性および耐倒伏性、収量に寄与すると考えられるNSC(Horie 2004, 山口ら



第2図 総粒数と精玄米重との関係。

各数値は供試6品種・系統それぞれの2001年および2002年データの平均値。●:普通期播き, ○:晩播。*は5%水準で有意な相関関係があることを示す。

2005)含有率などの生育特性は日本晴以上、晩播による登熟性の低下を回避するために出穂期はヒノヒカリより早く、粒数は暖地において収量を確保する目安である30000粒/m²以上、収量、登熟歩合、アミロース含量、食味官能値はヒノヒカリ以上とする晩播適性指標を作成し(第8



第3図 幼穂分化期の窒素吸収量、窒素含有率およびラグ期の乾物増加当たり窒素吸収量と総粒数との関係。

各数値は供試6品種・系統それぞれの2001年および2002年データの平均値。●:普通期播き, ○:晩播。 $\Delta N/\Delta W$ は最高分けつ期から幼穂分化期(ラグ期)にかけての乾物増加当たりの窒素吸収量を表す。*は5%水準で有意な相関関係があることを示す。

第8表 暖地における晩播適性指標.

出穂期: ヒノヒカリより早い
収量: ヒノヒカリ以上
籾数: 30000 粒/m ² 以上確保
登熟歩合: ヒノヒカリ以上
アミロース含有率: ヒノヒカリ以下
食味官能値: ヒノヒカリと同等以上
出芽特性: 苗立ち数/m ² が日本晴以上
倒伏指数 (倒伏性): 日本晴以下
穂揃い期の稈の NSC 含有率: 日本晴以上

同時期播種, 同一栽培法で比較する.

表), 晩播適性基準を策定した. なお, アミロースと同様に食味品質に関与する精玄米の窒素含有率および検査等級(外観品質)には播種時期および品種・系統間ともに有意差が認められなかったため, 晩播適性指標には用いなかった. この基準を用いて供試品種・系統を評価した結果, どんとこい, ふくいずみ, 西海2系統の収量はいずれもヒノヒカリに比べて高かったが, 全ての項目で基準を満たした品種・系統はふくいずみのみであった(第9表).

考 察

1. 晩播水稻の生育および収量について

直播水稻では移植水稻に比べて分けつが旺盛で生育中期の過繁茂を助長すること(世古ら1983), 暖地水稻は分けつ速度が大きく, 最高分けつ期が早まってラグ期が長くなること(和田1981)が報告されている. これらのことは暖地の直播栽培では旺盛な初期生育により過繁茂を生じ, 生育中期のラグ期の長期化とあわせて減収要因となる可能性を示唆している. 本試験の晩播水稻は, 普通期播き水稻に比べて初期の LAI (第2表), 地上部乾物重(第3表)は小さいが, 幼穂分化期~穂揃い期にかけて CGR が大きく, 穂揃い期以降の乾物重増加量はほぼ同等となった. また, 最高分けつ期までの分けつ速度は大きく, 最高分けつ数も多くなる一方(第2表), 有効茎歩合は同程度であるため穂数は有意に多かった. さらに, 晩播水稻では普通期播き水稻に比べて総籾数が多かった結果, 精玄米収量が高かった(第6表, 第2図). これらの結果は, 晩播水稻で

は普通期播き水稻に比べて分けつは旺盛であるが, 生育期間が短いために茎葉の伸長量は小さくて過繁茂になりにくく, ラグ期以降の乾物生産がより増加することによって生育期間全体を通じた乾物生産性を高めていることを示唆している.

本試験では厳密なラグ期日数の調査を行っていないため, 晩播と普通期播きのラグ期日数の長短を直接比較できないが, 湛水直播栽培では晩播(6月末播種)栽培が普通期播き(6月上旬播種)栽培に比べてラグ期日数は明らかに短縮すること(吉永ら1995), 乾田直播栽培では晩播栽培が適期播き栽培に比べてラグ期日数は短く, 窒素吸収速度の低下は小さいことが報告されている(和田1981). 本試験の結果およびこれらの報告は, 晩播ではラグ期日数を短縮することによって窒素吸収の低下を抑制して粗生産効率を向上させる仕組みがあることを示唆している.

2. 晩播水稻の窒素吸収特性について

小林・堀江(1994)は, 暖地の水稻における穎花数(総籾数)の決定には穂体の地上部窒素保有量および地上部窒素含有率の影響が大きいことを報告している. また, 暖地水稻ではラグ期が長くなることによってこの時期の窒素吸収が抑制され, 籾数不足になりやすいこと(和田1981), 直播水稻は移植水稻に比べて同様の施肥を行ってもラグ期の窒素吸収が低下して総籾数の減少に伴う減収を生じたこと(吉永ら2002)から, 一般的に暖地における直播水稻では移植水稻に比べて窒素吸収が低下しやすく, 総籾数減少に伴う減収を生じやすいと考えられる. 一方, 本試験の晩播水稻では, 普通期播き水稻に比べて幼穂分化期の窒素吸収量は同程度であったが, 同時期の窒素含有率は高く(第4表), ラグ期の乾物増加当たり窒素吸収量($\Delta N/\Delta W$)も高かった(第5表). さらに, 精玄米収量と正の有意な相関関係が認められた総籾数とラグ期の $\Delta N/\Delta W$ の間にも有意な正の相関関係が認められた(第2図, 第3図). 総籾数は穂数と1穂籾数から構成されることから, 総籾数を確保するためには穂数を確保するとともに1穂籾数を低下させないことが重要となる. これまで, 穂数は最高分けつ期までに決定され, 最高分けつ期後10日以降は環境の影

第9表 晩播適性指標による晩播適性評価.

品種・系統	出穂期 (月・日)	精玄米重 (g/m ²)	総籾数 (×千/m ²)	登熟歩合 (%)	白米アミロース (%)	食味官能値 総合	苗立ち数 (本/m ²)	倒伏指数	NSC 含有率 (%)
どんとこい	8.30 [#]	679 [#]	37.1 [#]	82.4	17.4 [#]	-0.16 [#]	47.8 [#]	0.67	33.5 [#]
日本晴	9.1 [#]	637	31.0 [#]	88.3 [#]	19.5	-0.90	45.9	0.57	33.0
西海244号	9.4 [#]	656 [#]	31.3 [#]	90.5 [#]	18.1 [#]	-0.15 [#]	45.0	0.50 [#]	41.7 [#]
ふくいずみ	9.5 [#]	683 [#]	34.3 [#]	87.1 [#]	18.7 [#]	-0.37 [#]	46.9 [#]	0.52 [#]	35.6 [#]
西海242号	9.6 [#]	675 [#]	29.5	91.7 [#]	18.5 [#]	-0.16 [#]	-	0.38 [#]	43.0 [#]
ヒノヒカリ	9.8	653	34.6 [#]	86.4	19.1	-0.45	45.3	0.58	35.7 [#]

2001年および2002年の平均値で示し, 苗立ち数のみ2003年7月1日播種における値で示す. [#]は適性指標以上の値を示す. 第6表脚注参照.

響を受けないとされてきた(松島 1957)が、暖地ではラグ期が長く有効茎歩合の低下程度が大きいことからラグ期における環境の良否が重要であると考えられる。これについて穂数確保にはラグ期を含む分けつ終期以降、1穂粒数確保にはラグ期の窒素吸収が最も強い影響を与えることが報告されており(和田 1981)、暖地では晩播水稻が普通期播き水稻に比べてラグ期で窒素吸収が低下しにくいことにより穂数を確保するとともに1穂粒数を低下させずに総粒数を確保している可能性が考えられた。

3. 晩播水稻の品質について

本試験の晩播水稻の成熟期における窒素吸収量は、普通期播き水稻に比べて多かった(第4表)が、玄米の窒素含有率には差が認められなかった(第7表)。生育期間中の窒素吸収量や窒素含有率が晩播水稻で高かったにもかかわらず玄米窒素含有率が増加しなかった要因として、粒数の増加に伴って登熟歩合が低下せずに普通期播き水稻と同等に維持されていたこと、千粒重が低下しなかったこと(第6表)によってシンクサイズが増加したためであると考えられた。

一方、晩播水稻は、食味官能値の指標である粘り、総合値ともに低下して食味が有意に低下した(第7表)。その要因は、普通期播き水稻に比べて白米のアミロース含有率が有意に高いためと考えられた。白米のアミロース含有率は食味と高い相関を示すこと(竹生ら 1985)、品種によってアミロース含有率が大きく異なること(大村・佐藤 1981)が知られている。また、アミロース含有率には登熟気温が影響して(Resurreccionら 1977)、低温で増加しやすいこと(Asaokaら 1984)が知られている。アミロース含有率に最も影響を与える時期について、開花後15~20日間(Asaokaら 1984)、出穂後5~35日間(春原ら 1999)と具体的な時期は特定されていないが、単相関をとると出穂後30日間と高い相関があると報告されている(梶ら 2002)。そこで、本試験の出穂後30日間の日平均気温とアミロース含有率の変動を比較した。晩播水稻は普通期播き水稻に比べて出穂期および成熟期が一週間程度遅いため、日平均気温がより低い条件で登熟することとなり(第1表)、各品種・系統の2001年、2002年の出穂後30日間の日平均気温を計算した結果、普通期播き水稻で24.9℃、晩播水稻で23.7℃であり、晩播水稻は普通期播き水稻に比べて1.2℃低い気温で登熟が進行していた(データ省略)。また、アミロース含有率は普通期播き水稻で17.1%、晩播水稻で18.6%であったこと(第7表)から、出穂後30日間の日平均気温が0.8℃下がるのに伴ってアミロース含有率が1%増加した計算となった。アミロース含有率が1%変動するのに、2.3~2.8℃/日(稲津 1988)、2.7℃/日(武田・佐々木 1988)、1.5~1.8℃/日(松江ら 2003)の温度変化が必要であると報告されており、これらの報告に比べて本試験では0.8℃/日と小さい温度差で

変動した。登熟期間を恒温条件とした試験では、登熟気温1℃当たりのアミロース含有率の変動幅は0.8~1.1%となって本試験の結果とほぼ同等であったこと(館山ら 2005)から、品種・気象条件の組み合わせによっては本試験のようにアミロース含有率が1%変動するために要する温度差も小さくなる可能性も考えられたが、本試験と過去の報告間で差違が生じた理由は明らかでないため、これについてはより詳細な検討が必要である。

4. 暖地における晩播適性と西海系統の特性について

本試験で供試した西海3系統について、ふくいずみ(旧系統名西海238号)は、強程で良食味である西海199号を母とし、強程でころび型倒伏に強く安定多収などとこいを父として育成された結果、早生で良食味、直播で多収であり、耐倒伏性が強く、いもち病、白葉枯病に中程度以上の抵抗性を持っている。西海242号は、短程で中生の西海210号を母とし、早生で良食味の西海205号を父として育成された結果、中生で短強程、良食味の系統である。西海244号はいもち・白葉枯れ病に強い「ミヤコ95」と良食味の北陸155号のF1を母とし、早生で良食味の西海205号を父として育成された結果、早生で極良食味の系統である。本試験における晩播適性評価ではいずれの品種・系統もヒノヒカリに比べて多収であったが、全ての項目で基準を満たした品種・系統はふくいずみのみであった。西海242号はいもち病抵抗性が極弱であり、西海244号は収量性がやや低く、いもち病・白葉枯病抵抗性がやや弱のため、耐病性を含め総合的には西海238号に劣ると判断された。これらの結果から、ふくいずみは直播向き水稻品種として、2004年に水稻農林400号として登録された(梶ら 2006)。

以上の様に、暖地における晩播水稻は、普通期播き水稻に比べて幼穂分化期~穂揃い期のCGRが大きく、穂揃い期以降の乾物生産特性は変わらなかった。また、分けつが旺盛で穂数が多くなる一方、幼穂分化期前後の窒素吸収特性に優れるため、総粒数が多くなった。これらの特性により暖地における晩播水稻は、普通期播き水稻に比べて増収しやすくなることが明らかとなった。

謝辞：本研究の遂行に当たり、九州水田輪作研究チーム長の田坂幸平氏、九州沖縄農業研究センター(筑後)の技術専門職の後藤勝進氏および山口政義氏、水田作総合研究チームスタッフの堤妙子さん、村上米子さん、中村陽子さんにご協力いただいた。また、登熟温度とアミロース含有率との関係については福岡県農業総合試験場の松江勇次氏に適切な助言を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

引用文献

- Asaoka, M., K. Okuno, Y. Sugimoto, J. Kawakami and H. Fuwa 1984. Effect of environmental temperature during development of rice plants on some properties of endosperm starch. *Staerk* 36: 189-193.

- 古畑昌巳・楠田幸・福馬陽 2005a. 落水処理による土壌三相構造の変化が湛水直播水稻の萌芽と苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74 : 1-8.
- 古畑昌巳・楠田幸・福馬陽 2005b. 代かき程度が湛水直播した水稻の落水条件下における萌芽と苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74 : 9-16.
- 古畑昌巳・楠田幸・福馬陽 2005c. 水稻の湛水直播・落水栽培における落水時期が萌芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74 : 134-140.
- 古畑昌巳・岩城雄飛・野間貴文・有馬進 2006. 湛水土中点播水稻の初期生育に及ぼす打込み同時施肥と播種後落水の影響. 日作紀 75 : 7-12.
- Horie, T. 2004. Determination of the yield potential and associated traits in rice. *Gamma Field Symposia* 43 : 1-13.
- 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. 1-86.
- 梶亮太・岡本正弘・平林秀介・福岡律子・富松高治 2002. 「柔小町」の玄米白度およびアミロース含有率に対する登熟気温の影響. 九農研 64 : 11.
- 梶亮太・岡本正弘・八木忠之・平林秀介・溝淵律子・深浦壮一・田村克徳・西村実・山下浩・富松高治 2006. 直播向き水稻品種「ふくいずみ」の育成. 九沖農研報 47 : 63-81.
- 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.
- 松江勇次・尾形武文・佐藤大和・浜地勇次 2003. 登熟期間中の気温と米の食味および理化学的特性との関係. 日作紀 72(別 1) : 272-273.
- 松島省三 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報 A5 : 1-271.
- 大村武・佐藤光 1981. 米の成分育種の可能性. 育種学最近の進歩第 22 集. 日本育種学会編, 啓学出版, 東京, 10-19.
- 大西政夫・堀江武 1999. 重量法による水稻各器官中の非構造性炭水化物の簡易定量法. 日作紀 68 : 126-136.
- Resurreccion, A.P., T. Hara, B.O. Juliano and S. Yoshida 1977. Effect of temperature during ripening on grain quality of rice. *Soil Sci. Plant Nutr.* 23 : 1239-1247.
- 世古晴美・佐藤薫・越生博次 1983. 水稻湛水土中直播栽培の播種様式と生育収量. 近畿中国農研報 66 : 9-12.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996a. 水稻の代かき同時土中直播栽培に関する研究. 1 点播直播について (予報). 日作紀 65(別 1) : 12-13.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996b. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 2 点播水稻と条播水稻の押倒し抵抗の比較. 日作紀 65(別 1) : 14-15.
- 春原嘉弘・横山裕正・須藤充・前田一春・八島敏行 1999. 水稻低アミロース品種の環境による食味の変動. 日作東北支報 42 : 59-60.
- 武田和義・佐々木忠雄 1988. 北海道のイネ品種におけるアミロース含有率の温度反応. 育種 38 : 357-362.
- 館山元春・坂井真・須藤充 2005. イネ低アミロース系統の登熟気温による胚乳アミロース含有率変動の系統間差異. 育種学研究 7 : 1-7.
- 寺島一男・酒井究・柘木信幸 2002. 直播水稻における一株の生育量と耐ころび型倒伏性との関係. 日作紀 71 : 161-168.
- 竹生新治郎・渡辺正造・杉本貞造・真部尚武・酒井藤敏・谷口嘉廣 1985. 多重回帰分析による米の食味の判定式の設定. 澱粉科学 32 : 51-60.
- 和田学 1981. 暖地水稻のVegetative Lag Phaseに関する作物学的研究 - 特に窒素吸収パターンとの関係 -. 九州農試報 21 : 113-250.
- 山口泰弘・塚口直史・井上健一 2005. 登熟前半におけるコシヒカリの稈・葉鞘のNSC含有量が収量および品質へ及ぼす影響. 北陸作物学会報 41(別): 7.
- 吉永悟志・長田健二・高梨純一 1995. ラグ期における水稻の移植・直播栽培の生育特性の差違. 1. 窒素吸収と乾物生産特性. 日作紀 64(別 2) : 177-178.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001. 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上 - 播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響 -. 日作紀 70 : 186-193.
- 吉永悟志・竹牟礼穰・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・下坪訓次 2002. 暖地の湛水直播栽培における土中点播水稻の生育特性 - 後期重点施肥による生育特性の変化と収量性の向上 -. 日作紀 71 : 328-334.

Characteristics of Growth, Yield and Quality of Rice in Submerged Direct Seeding in the Late Season in Southern Japan : Masami FURUHATA¹⁾, Satoshi YOSHINAGA²⁾, Ryota KAJI³⁾, Katunori TAMURA⁴⁾, Hiroaki NABESHIMA⁵⁾, Hirohiko MORITA⁶⁾, Hiroshi YAMASHITA⁴⁾, Ritsuko MIZOBUCHI⁷⁾, Masahiro OKAMOTO²⁾ and Makoto SARAI⁴⁾ (¹⁾Natl. Agr. Res. Cent. Hokuriku Res. Cent., Joetsu 943-0193, Japan; ²⁾National Institute of Crop Science; ³⁾Natl. Agr. Res. Cent. for Tohoku Region; ⁴⁾Natl. Agr. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region; ⁵⁾Niikawa Agricultural Extension Center, Toyama Prefecture; ⁶⁾Faculty of Bioresource Science, Akita Prefectural University; ⁷⁾National Institute of Agrobiological Sciences)

Abstract : In 2001 and 2002, characteristics of growth, yield and quality of rice in submerged direct seeding in the late season were compared with those of rice direct seeded in the regular season to establish the method of late-seeding culture in southern Japan. Compared with the plants seeded in the regular season, late-seeded plants showed reduced elongation of stem and leaf, but grew rapidly from the panicle differentiation stage to full heading, and produced an equivalent amount of dry matter during the ripening period. The high yield was suggested to have resulted from the increased number of spikelets per m², which was caused by the increased panicle number due to vigorous tilleration and increased nitrogen uptake in the vegetative lag phase. According to the criteria we established for selecting varieties, the yield of Dontokoi, Fukuizumi, Saikai242 and Saikai244 was higher than that of the control variety Hinohikari. Among them, however, only Fukuizumi met the standard in all the indices.

Key words : Dry matter production, Fukuizumi, Hill-seeding, Late seeding, Nitrogen uptake, Rice, Submerged direct seeding, Yield.