

湛水直播水稻の生育、収量および耐倒伏性に及ぼす播種様式の影響

田口雄大¹・丸山幸夫^{2*}

¹大潟村干拓博物館

010-0445 秋田県南秋田郡大潟村西5-2

²筑波大学生命環境系

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

良食味水稻品種を異なる播種様式で湛水直播栽培を行い、耐倒伏性と収量を高め得る播種様式を明らかにしようとした。強稈で耐倒伏性がやや強いキヌヒカリを散播、条播、点播、広幅条播および広径点播の5種類の播種様式で播種したところ、条播と広径点播は登熟歩合が高く、広径点播は移植区とほぼ同等の収量が得られた。また、直播区の倒伏指数は移植区より小さく、条播と広径点播の倒伏指数がやや小さかった。次に、耐倒伏性が弱いコシヒカリを1箇所5粒の点播で播種直径を5段階に変えて播種したところ、直播区は移植区より玄米収量が明らかに少なく、収量に及ぼす播種直径の有意な影響はなかった。また、直播区は移植区より倒伏指数は小さかったが、倒伏指数に及ぼす播種直径の有意な影響もなかった。以上のことから、供試した播種様式の中では広径点播の耐倒伏性と収量が最も優れたが、最適な播種直径を明らかにすることはできなかった。

キーワード：収量、水稻、直播、点播、倒伏、播種様式

緒 言

わが国の稲作は、担い手の減少や農業者の高齢化に伴う労働力不足、国内の米の産地間競争や今後に予想される関税障壁の撤廃に伴う外国産米との価格競争などの問題があり、作業の省力化と生産コストの低減が求められている。

稲作の省力・低コスト化技術として不耕起や乳苗、ロングマット水耕苗を用いた移植技術が開発されている（丸山 1997）が、育苗および移植作業の一切が省略できる直播栽培は省力・低コスト化に最も有効な技術として期待がかけられている（丸山 2006）。

わが国で広く普及が期待される直播栽培技術は土壌条件や播種時の天候を選ばない湛水直播である。しかし、湛水土壤中に播種された水稻は土壌還元により出芽遅延や苗立ち不良となる

* Corresponding Author: maruyama.sachio.ge@u.tsukuba.ac.jp

ことが多く、このため土壌表面に播種されることもあって倒伏に弱い。苗立ち不良については、代かき後に落水する出芽苗立期の落水管理により改善がみられた（丸山 2006）ものの、依然として移植栽培より低収不安定であり、直播栽培の普及は作付面積の1%程度にとどまっており（農林水産省 2012）、耐倒伏性の改善による収量の向上が必要である。

湛水直播水稻の耐倒伏性には品種間差異が大きく（三王ら 2001, 坂田ら 2003）、これには株基部の直径（寺島ら 2002）や冠根の伸長方向が関与することが知られている。しかし、わが国の稲作では良食味品種が広く普及しており、倒伏に弱い良食味品種を用いた湛水直播栽培技術が必要とされている。

現在、湛水直播栽培の播種様式は散播、条播および点播の3つに大別される（丸山 2006）。吉永ら（2001a, 2001b）は苗立ち密度や播種深度を変えて散播と点播を比較し、同じ播種深度でも散播に比べて点播の耐倒伏性が高いことを認めた。また、尾形・松江（1998）は散播、条播、点播の順に耐倒伏性が高まることを報告しているが、いずれも点播形状や他の播種様式については検討していない。一方、直播栽培でも倒伏がなければ移植栽培より多収が得られることが報告されている（三王ら 2001）。そこで、本研究では、良食味品種の播種様式を変えて湛水直播栽培を行い、耐倒伏性と収量を高め得る播種様式を明らかにしようとした。

材料および方法

1. 湛水直播水稻の生育、収量および耐倒伏性に及ぼす播種様式の影響（実験1）

実験は2008年に筑波大学農林技術センター12号水田圃場で行った。2007年に採種された茨城県産キヌヒカリの種籾を種子消毒後に2日間浸種し、過酸化カルシウム粉粒剤（カルパー粉粒剤16, 保土谷 UPL 株式会社）を乾籾重量の2倍量被覆して直播栽培に供した。直播区は播種量を110粒/m²とし、種籾をばら撒く散播、条間30 cmで筋状に播種する条播と5 cmの播き幅で带状に播種する広幅条播、条間30 cm, 株間15 cmで5粒を株中央部に播種する点播と株中央部に1粒、直径5 cmの円状に等間隔に4粒播種する広径点播の5つの播種様式を用いた（図1）。代かき後に落水した水田圃場に5月11日に5つの播種様式で手播きし、条播、点播、広径点播は播種後に細い棒で種籾を土壌表面から約1 cmの深さに押し込み、散播と広幅条播は表面播種のままとした。播種後は5日間落水状態を保持した後3～5 cmの深さに湛水した。移植区は育苗箱で21日間育苗した3葉苗を5月12日に直播区に隣接した11号水田に条間30 cm, 株間15 cm, 1株3本手植えし、慣行に従って栽培した。施肥は直播区、移植区ともに基肥として高度化成肥料N:P₂O₅:K₂O = 5:12.5:12.5 g/m²を播種または移植前に施用し、硫酸N = 3 g/m²を出穂20日前に追肥した。実験は1区10 m²の3反復で実施した。

播種30日後に直播区の出芽率、苗立ち率を調査した。その後、出穂期まで1週間おきに各区5個体の草丈と茎数を調査した。

苗立期に各区5個体を抜き取り、葉齢、草丈、茎数および地上部乾物重を調査した。また、出穂期と成熟期に点播区、広径点播区および移植区から各区6個体、条播区から各区1列90 cm内に含まれる個体、散播区および広幅条播区から各区50 cm×50 cmの枠内の個体を抜き取り、草丈、穂数、稈長および部位別乾物重を調べた。

出穂20～30日後に各区から平均的に生育している箇所の穂数が中庸な5株を選び、測定に支障ないように周囲の株を押倒し、地上15 cmの株基部にデジタルフォースゲージ（HF-2, 日

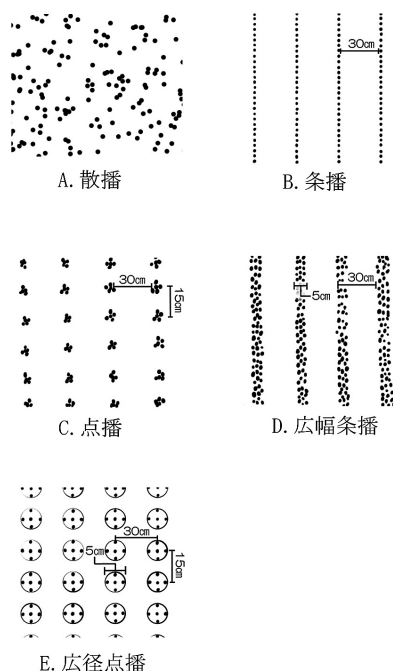


図1 播種様式の模式図（実験1）.

本計測システム）を押し当て，地表面と株とのなす角度が45°になるまで押し倒した際の応力を押し倒し抵抗として測定した。その後に測定株を抜き取り，草丈と地上部乾物重を測定し，次式により倒伏モーメントと倒伏指数を算出した。

$$\text{倒伏モーメント (g cm)} = (\text{乾物重}) \times (\text{草丈}) \quad (1)$$

$$\text{倒伏指数 (\%)} = (\text{倒伏モーメント}) \div (\text{押し倒し抵抗} \times 15) \times 100 \quad (2)$$

なお，散播区と広幅条播区は苗立ち調査時に平均的な苗立率の箇所に50 cm×50 cmの枠を設置し，その中で穂数が中庸な株を選んで測定した。

成熟期に乾物重調査用に抜き取った試料の穂を乾燥，脱穀し，収量および収量構成要素を調査した。

2. 湛水点播水稻の生育，収量および耐倒伏性に及ぼす播種直径の影響（実験2）

実験は2009，2010年に筑波大学農林技術センター 12号水田圃場で行った。それぞれ2008，2009年に採種された茨城県産のコシヒカリの種籾を種子消毒後に2日間浸種し，過酸化カルシウム粉粒剤を乾籾重量の2倍量被覆して直播栽培に供した。直播区は条間30 cm，株間15 cmで1株当たり5粒播種とし，5粒を株中央部に播種する区をH0区，株中央部に1粒と直径3 cmの円周上に等間隔に4粒播種する区をH3区，同様な方法で株中央部と直径5，7，10 cmの円周上に播種する区をそれぞれH5，H7，H10区とした（図2）。代かき後に落水した水田圃場に2009年は5月12日，2010年は5月13日に手播きし，播種後に細い棒で種籾を土壌表面から約1 cmの深さに押し込んだ。播種後は6日間落水状態を保持した後に約3 cmの深さに湛水した。移植区は育苗箱で20～23日間育苗した3葉苗を2009，2010年ともに5月13日に直播区に隣

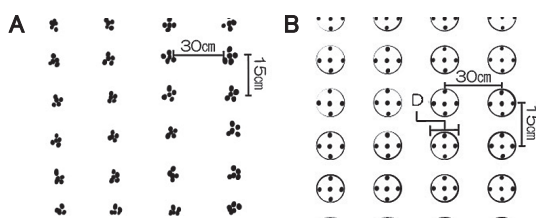


図2 H0区(A)およびH10区(B)の播種様式の模式図(実験2).
条間30 cm, 株間15 cm, 1株5粒播種とし, H0区は5粒を1箇所に播種した. H10区は播種直径(D)を10 cmとし, 5粒の内1粒を中心に, 残りの4粒を円周上に播種した. H3区, H5区, H7区は播種直径を変えてH10区と同様に播種した.

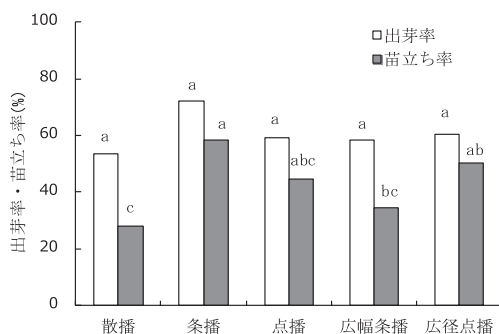


図3 出芽率および苗立ち率に及ぼす播種様式の影響(実験1).
図中の同一項目の同一文字は Tukey 法により 5 %水準で有意差がないことを示す.

接した11号水田圃場に条間30 cm, 株間15 cm, 1株3本手植えし慣行に従って栽培した。施肥は直播区, 移植区ともに基肥として高度化成肥料 $N:P_2O_5:K_2O = 5:12.5:12.5 \text{ g/m}^2$ を播種または移植前に施用し, 硫安 $N = 3 \text{ g/m}^2$ を出穂20日前に追肥した。実験は1区10 m^2 の3反復で実施した。

播種28~30日後に直播区の出芽率, 苗立ち率を調査した。苗立ち期から出穂期まで葉齢, 草丈, 茎数を調査するとともに, 苗立ち期, 最高分げつ期, 出穂期および成熟期に各区6株を抜き取り, 葉面積と器官別乾物重を調べた。

出穂20日後に圃場で各区6株の押し倒し抵抗を実験1と同様にデジタルプッシュゲージ (Model RX-2, アイコーエンジニアリング) を用いて測定した。成熟期に乾物重測定用に抜き取った株の穂部を乾燥脱穀し, 収量および収量構成要素を調査した。

2010年は, 最高分げつ期, 出穂期, 成熟期に抜き取った試料を乾燥してウィレー型粉碎機 (W型, 池田理化) で粉碎し, CN コーダー (MT-600, ヤナコ) で窒素含量を調べた。

結 果

1. 湛水直播水稻の生育, 収量および耐倒伏性に及ぼす播種様式の影響(実験1)

出芽率は約60%で播種様式間に有意差はなかったが, 表面播種となった散播と広幅条播は浮

き苗や転び苗が多発し，条播より苗立率が有意に低下した（図3）。苗立期の植物体の生育は条播と広径点播が旺盛で，苗立率の低かった散播と広幅条播は草丈が低く，茎数が少なく，乾物重は小さかった（表1）。

苗立ち後は広径点播の分けつ増加が早かったが，最高分けつ数は散播，広幅条播，広径点播が多く（図4），出穂期の乾物重は点播と広径点播が移植区並みに大きかった（表2）。

直播区の倒伏モーメント，押し倒し抵抗，倒伏指数は移植区より小さい傾向がみられた。ま

表1 苗立期の生育に及ぼす播種様式の影響（実験1）。

区	葉齢	草丈 (cm)	茎数 (本/個体)	乾物重 (mg/個体)
散播	5.2 c	16.8 c	1.0 b	46.8 c
条播	5.6 bc	23.4 a	1.4 ab	93.8 ab
点播	6.0 ab	19.6 bc	1.3 ab	63.7 abc
広幅条播	6.2 a	18.0 c	1.0 b	59.6 bc
広径点播	6.6 a	22.3 ab	1.9 a	96.9 a

調査は播種33日後（6月13日）に行った。同一項目の同一文字間には Tukey 法の5%水準で有意差がないことを示す。

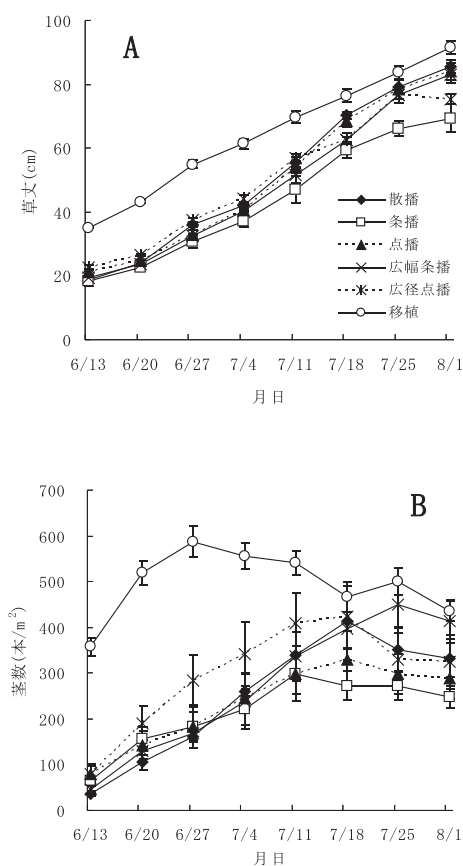


図4 草丈(A)および茎数(B)の推移（実験1）。図中の縦線は標準誤差を表す。

た、播種様式間では、条播区の倒伏指数が移植区より有意に小さかった（表3）。なお、直播区および移植区ともに倒伏は観察されなかった。

m²当り籾数、玄米収量は播種様式間に有意な差異はなかったが、条播と広径点播は登熟歩合が高く、広径点播の収量は移植区と同等であった（表4）。

2. 湛水点播水稻の生育、収量および耐倒伏性に及ぼす播種直径の影響（実験2）

2009、2010年の結果はほぼ同様であったので、2010年の結果について述べる。

2010年の出芽は良好でいずれの区も苗立率は80%以上であった。

播種直径が大きいほど苗立期の生育は旺盛であったが、苗立ち後はH3、H5区の分けつ増加

表2 出穂期の生育に及ぼす播種様式の影響（実験1）。

区	出穂日	草丈 (cm)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	乾物重 (g/m ²)
散播	8月12日	91.3 b	70.3 d	162 d	427 c
条播	8月10日	92.0 b	75.1 bc	240 bc	682 b
点播	8月10日	98.0 a	78.7 ab	314 a	952 a
広幅条播	8月12日	92.0 b	71.4 cd	197 cd	439 c
広径点播	8月10日	100.3 a	82.3 a	291 ab	994 a
移植	8月4日	104.1 a	82.0 a	343 a	1009 a

同一項目の同一文字間には Tukey 法の5%水準で有意差がないことを示す。

表3 押し倒し倒伏抵抗に及ぼす播種様式の影響（実験1）。

区	草丈 (cm)	乾物重 (g/株)	倒伏モーメント (kg cm)	押し倒し抵抗 (kg/株)	倒伏指数 (%)
散播	96.3 bc	34.9 cd	3.44 cd	0.67 bc	37 ab
条播	93.2 c	21.2 d	2.00 d	0.48 c	29 b
点播	96.8 bc	45.8 bc	4.51 bc	0.94 ab	35 ab
広幅条播	96.4 bc	34.2 cd	3.34 cd	0.64 bc	35 ab
広径点播	99.3 b	57.4 ab	5.75 ab	1.25 a	32 ab
移植	106.6 a	65.3 a	6.97 a	1.17 a	40 a

出穂20～30日後に測定した。倒伏モーメントは草丈と乾物重の積、倒伏指数は倒伏モーメントを押し倒し抵抗と地上高15 cmの積で除した値を百分率で表示した。同一項目の同一文字間には Tukey 法の5%水準で有意差がないことを示す。

表4 収量および収量構成要素に及ぼす播種様式の影響（実験1）。

区	穂数 (m ²)	1穂籾数	m ² 当たり籾数	登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g)	玄米収量 (g/m ²)
散播	298 ab	88.7 a	27039 a	77.3 b	22.1 b	468 a
条播	356 ab	74.2 a	26654 a	87.0 a	23.4 ab	541 a
点播	314 ab	84.4 a	26405 a	81.3 ab	23.4 ab	503 a
広幅条播	276 b	77.3 a	21449 a	81.7 ab	23.4 ab	414 a
広径点播	353 ab	77.4 a	27425 a	84.0 ab	24.4 a	557 a
移植	378 a	77.2 a	29230 a	81.8 ab	23.1 ab	550 a

同一項目の同一文字間には Tukey 法の5%水準で有意差がないことを示す。

が早く（図5）、出穂期の生育や乾物重に及ぼす播種直径の影響は小さくなった（表5）。

直播区の分けつ期の個体群生長速度（CGR）は移植区と同等であったが、幼穂發育期と登熟期のCGRは移植区より低く、純同化率（NAR）と葉面積指数（LAI）も小さかった（図6）。また、直播区は有意ではないが葉身窒素含量が低い傾向がみられた（表6）。

直播区は移植区より倒伏モーメントが小さく、押し倒し抵抗は大きく、倒伏指数は小さかった。しかし、倒伏指数に及ぼす播種直径の有意な影響は認められなかった（表7）。なお、直

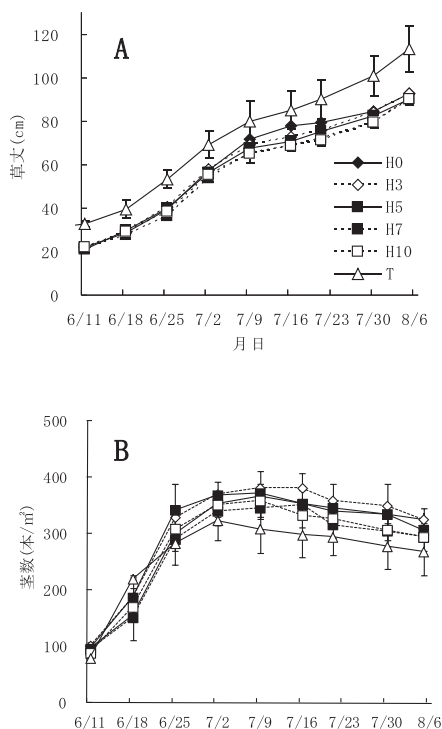


図5 草丈（A）および茎数（B）の推移に及ぼす播種直径の影響（実験2，2010年）。H0, H3, H5, H7, H10：播種直径それぞれ0, 3, 5, 7, 10 cm。詳細は材料および方法を参照。T：移植区。図中の縦線は標準誤差を示す。

表5 出穂期の生育に及ぼす播種直径の影響（実験2，2010年）。

区出穂日	草丈	(cm)	穂数 (本/m ²)	LAI	地上部乾物重 (g/m ²)
H0	8月10日	103 b	267 a	3.98 a	693 b
H3	8月10日	105 b	269 a	4.09 a	703 b
H5	8月9日	103 b	279 a	4.26 a	713 ab
H7	8月9日	105 b	269 a	4.41 a	722 ab
H10	8月9日	102 b	257 a	4.16 a	711 ab
T	7月31日	122 a	284 a	4.48 a	911 a

H0, H3, H5, H7, H10：播種直径それぞれ0, 3, 5, 7, 10 cm。詳細は材料および方法を参照。T：移植区。LAI：葉面積指数。同一項目の同一文字間にはTukey法の5%水準で有意差がないことを示す。

播区、移植区ともに軽度の倒伏が観察されたが、有意な区間差は認められなかった。

直播区は移植区より m^2 当たり粗数が少なく、登熟歩合がやや低く、玄米収量が明らかに少なかった。H5, H7区の1穂粗数が少なく、H0, H3区の玄米千粒重が小さかったが、その他の収量、収量構成要素に及ぼす播種直径の有意な影響はなかった（表8）。

考 察

湛水直播栽培の播種様式は散播、条播、点播に分類される（丸山 2006）。2001～2003年に行われた農林水産省の水稲直播栽培実証事業（農林水産省生産局農産振興課 2012）から推定すると、高精度条播機などによる条播が最も普及面積が広く、代かき同時点播機による点播がそれに次ぎ、ヘリコプターや背負い動散による散播の普及面積は少ない。なお、代かき同時点播機による点播はスポット状に播種されるので、本研究の広径点播に近い播種様式である（以下、代かき同時点播機による点播を広径点播とする）。また、本研究の点播および広幅条播が可能な播種技術は開発されているが（森田ら 1999, 帖佐ら 2007）、広く普及するまでに

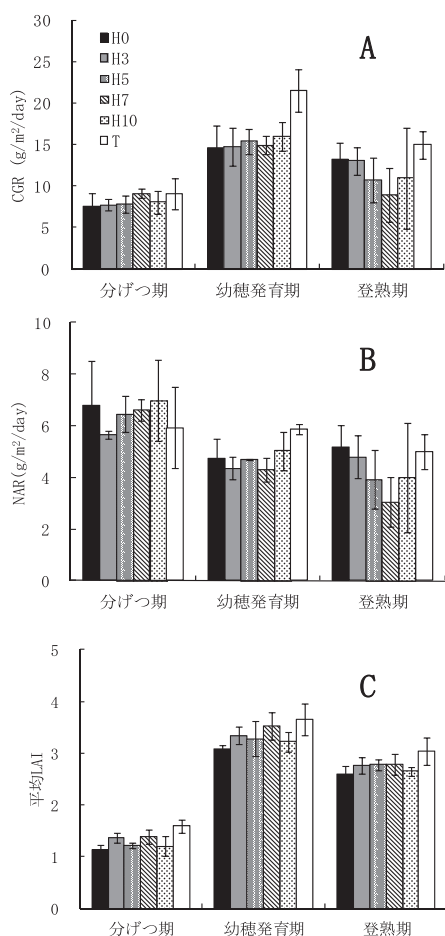


図6 CGR (A), NAR (B) および平均 LAI (C) に及ぼす播種直径の影響 (実験2, 2010年). H0, H3, H5, H7, H10: 播種直径それぞれ0, 3, 5, 7, 10 cm. 詳細は材料および方法を参照. T: 移植区. 図中の縦線は標準誤差を表す.

表6 部位別の窒素含有率および窒素含有量に及ぼす直播栽培の影響（実験2，2010年）.

生育時期	区	窒素含有率（％）			窒素含有量（g/m ² ）			合計
		葉身	葉鞘+稈	穂	葉身	葉鞘+稈	穂	
最高分けつ期	H 5	2.0 a	0.9 a	—	1.6 a	1.2 a	—	2.9 a
	T	3.3 a	1.4 a	—	2.3 a	1.4 a	—	3.8 a
出穂期	H 5	1.9 a	0.5 a	1.1 a	3.1 a	2.4 a	1.0 a	6.5 a
	T	2.1 a	0.5 a	1.1 a	4.2 a	2.8 a	1.2 a	8.2 a
成熟期	H 5	0.9 b	0.4 a	1.0 a	0.6 a	1.7 a	4.3 a	6.7 a
	T	1.2 a	0.4 a	0.9 a	1.2 a	1.9 a	5.9 a	9.1 a

H 5：播種直径5 cm. 詳細は材料および方法を参照. T：移植区. 同一時期，同一項目における同一文字を記した平均値間にはt 検定の5％水準で有意差がないことを示す.

表7 押し倒し抵抗に及ぼす播種直径の影響（実験2，2010年）.

区	草丈（cm）	乾物重（g/株）	倒伏モーメント（kg cm）	押し倒し抵抗（kg/株）	倒伏指数（％）
H0	106 b	45.8 a	4.87 b	1.24 bc	27.7 b
H3	108 b	47.5 a	5.14 b	1.43 ab	25.3 b
H5	104 b	43.8 a	4.57 b	1.27 bc	24.9 b
H7	106 b	44.5 a	4.77 b	1.50 ab	21.9 b
H10	104 b	48.1 a	5.03 b	1.62 a	21.1 b
T	122 a	54.3 a	6.65 a	0.96 c	50.0 a

H0, H3, H5, H7, H10：播種直径それぞれ0, 3, 5, 7, 10 cm. 詳細は材料および方法を参照. T：移植区. 調査は出穂20 日後に行った. 倒伏モーメントは草丈と乾物重の積，倒伏指数は倒伏モーメントを押し倒し抵抗と地上高15 cm の積で除した値を百分率で表示した. 同一項目の同一文字間にはTukey 法の5％水準で有意差がないことを示す.

表8 収量および収量構成要素に及ぼす播種直径の影響（実験2，2010年）.

区	穂数（/m ² ）	1 穂初数	m ² 当たり初数（/m ² ）	登熟歩合（％）	玄米千粒重（g）	玄米収量（g/m ² ）
H0	289 a	74 b	21341 b	78.3 a	19.4 b	323 b
H3	294 a	68 bc	19904 b	82.6 a	19.5 b	320 b
H5	309 a	61 c	18647 b	80.5 a	20.0 ab	302 b
H7	286 a	63 c	18183 b	77.1 a	19.9 ab	280 b
H10	289 a	66 b	19210 b	77.8 a	20.5 a	310 b
T	284 a	104 a	29612 a	84.7 a	19.8 b	494 a

H0, H3, H5, H7, H10：播種直径それぞれ0, 3, 5, 7, 10 cm. 詳細は材料および方法を参照. T：移植区. 同一項目の同一文字間にはTukey 法により5％水準で有意差がないことを示す.

至っていない。

実験1では強程で比較的倒伏に強い良食味品種キヌヒカリを用い，散播，条播，点播，広幅条播および広径点播の5種類の播種法で直播栽培を行い，生育，収量および耐倒伏性を移植栽培と比較した。直播区の生育は移植区よりやや劣ったが（表2），直播区と移植区の収量に有意差はなかった（表3）。直播区の中では条播区と広径点播区の収量が高い傾向がみられ，広径点播区は移植区とほぼ同等の値を示した（表3）。しかし，表面播きとなった散播と広幅条

播は、浮き苗や転び苗の発生により苗立率が低下し、苗立期の生育が他の播種様式より劣った（図3、表1）。その後の茎数増加は旺盛であった（図4）が、出穂期の生育や穂数、玄米収量が他の播種様式より劣る傾向が認められた（表2、4）。これらのことから、散播と広幅条播の生育や収量が他の播種様式より劣ったのは表面播種による生育抑制の可能性が高い（Sato and Maruyama 2002, 周ら 2003）。今後、播種様式を比較する場合には播種深度を揃える必要がある。また、湛水直播水稻の生育安定と収量向上のためには土中播種による苗立ちの向上が必要と判断した。

実験1ではいずれの区も倒伏は観察されなかった。直播区では草丈と地上部乾物重の積で示される倒伏モーメントを押し倒し抵抗で除した倒伏指数が移植区より小さいが、とくに広径点播は移植区より株当たりの押し倒し抵抗が大きく、耐倒伏性が高い播種様式であると推察された（表3）。一方、条播も倒伏指数は高いものの押し倒し抵抗は5つの播種様式の中で最も小さく（表3）、風雨などにより倒伏モーメントが増大した場合には倒伏しやすいことが予測された。また、散播、点播および広幅条播は有意ではないが条播や広径点播より倒伏指数がやや大きく、広径点播や移植区より押し倒し抵抗が小さく（表3）、耐倒伏性は劣ると判断した。尾形・松江（1998）は湛水直播水稻の耐倒伏性は広径点播が最も高く、条播がそれに次ぎ、散播が最も低いことを報告し、吉永ら（2001a）も散播より広径点播の方が倒伏に強いことを報告している。本研究の結果はこれらの先行研究の結果を確認するとともに、点播と広幅条播の耐倒伏性が散播と同程度であることを認めた。

以上のことから、広径点播は耐倒伏性と収量が高いことが認められ、点播の播種直径を上げることによって直播栽培の耐倒伏性と収量を高め得ると考えた。

そこで、実験2では耐倒伏性が弱い極良食味品種のコシヒカリを用い、点播の播種直径を0～10 cmに変えて生育、収量および耐倒伏性を移植栽培と比較した。しかし、直播区の生育や収量は移植区より劣り、播種直径が異なる場合の生育や収量、耐倒伏性にも一定の傾向は認められなかった（表5、7、8）。直播区の穂数は移植区と同等以上であったが、1穂粒数が少なく、 m^2 当たり粒数が顕著に減少していた（表8）。また、幼穂発育期以後の直播区のCGRは移植区より低く、それには幼穂発育期はNARの低いことが、登熟期はLAIが小さいことが関係していた（図6）。また、最高分げつ期以後の直播区の葉身窒素含有率や地上部窒素含量は移植区より低く（表6）、このことには予備的調査で判明した直播区の根群の浅いことが関係すると推察した。

湛水直播栽培における播種後の落水管理は苗立率を向上させるが、土壌中のアンモニウム態窒素を減少させることにより幼穂発育期までの窒素吸収量を低下させることが報告されている（吉永ら 2000）。また、吉永ら（2001c）は広径点播では最高分げつ期から幼穂分化期までの地上部窒素含有率の低下が大きく、粒数が増加しない可能性があることを認めた。したがって、実験2では、播種後の落水管理による土壌中のアンモニア態窒素の減少と直播水稻の浅い根群分布が相まって直播区の窒素吸収が抑制され、葉身窒素含有率が低下してNARおよびCGRが低下するとともに、幼穂発育期の窒素含有量が減少して1穂粒数が減少し、生育と収量が低下したものと推察する。すでに吉永ら（2000）は暖地において落水管理を伴う湛水直播で緩効性肥料の有効性を報告しているが、関東などの温暖地においても、播種後の落水管理でも施肥窒素の効率が低下しない施肥法を適用する必要がある。

以上のことから、湛水直播の5種類の播種様式の中では、耐倒伏性と収量からみると広径点

播が最も優れると判断した。しかし，湛水点播水稻の生育が移植水稻より劣ったため，耐倒伏性や収量を最大にする最適な播種直径を明らかにすることはできなかった。湛水点播栽培の幼穂発育期以降の生育を促進する施肥法を再検討する必要があると考えた。

謝 辞

過酸化カルシウム粉粒剤の種子被覆に農業・食品産業総合技術研究機構作物研究所の吉永悟志博士，実験遂行に筑波大学生命環境系の加藤盛夫博士，ホクレン農業総合研究所の牧野光伸氏および筑波大学大学院生命環境研究科の下河邊裕二氏のご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- 帖佐 直・大嶺政朗・古畑昌巳・松村 修 2007. 水稻直播の高速条播技術に関する研究. (第1報) 播種機の概要と条形成の評価. 農作業研究 42 (別1) : 87-88.
- 丸山幸夫 1997. 稲作低コスト化技術の現状と課題. 農及園. 72 : 108-112.
- 丸山幸夫 2006. 直播栽培技術の開発状況と技術的問題点. 農業技術 61 : 488-492.
- 森田 敏・関矢博幸・富樫辰志・木村勝一・金 忠男・矢治幸夫 1999. 複粒化種子を用いた点播水稻の現地圃場における収量および生育特性. 日作紀 68 (別1) : 6-7.
- 農林水産省 2012. “最新の直播の状況 (21年産速報値)”. 農林水産省. http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/pdf/zikamaki_h20.pdf, (参照2012-01-15).
- 農林水産省生産局農産振興課 2012. “水稻直播栽培の現状について”. 農林水産省. http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/pdf/all.pdf, (参照2012-01-15).
- 尾形武文・松江勇次 1998. 北部九州における水稻湛水直播栽培に関する研究—苗立ち密度ならびに播種様式が水稻の生育，収量および米の食味特性に及ぼす影響—. 日作紀 67 : 485-491.
- 坂田 勲・坂井 真・井辺時雄 2003. 水稻品種における耐ころび型倒伏性と幼植物の冠根の伸長角度，直径および破断強度との関係. 日作紀 72 : 56-61.
- 三王裕見子・大川泰一郎・相沢奈美江・平沢 正 2001. 湛水直播栽培した水稻の生育と倒伏およびこれに関係する性質の品種間差—苗立ち密度に着目して—. 日作紀 70 : 515-524.
- Sato, T. and S. Maruyama 2002. Seedling emergence and establishment under drained conditions in rice direct-sown into puddled and leveled soil. -Effect of calcium peroxide seed coating and sowing depth- Plant Prod. Sci. 5 : 71-76.
- 寺島一男・酒井 究・梶木信幸 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.
- 吉永悟志・西田瑞彦・脇本賢三・田坂幸平 2000. 湛水直播栽培における播種後の落水管理が施肥窒素の動態および水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 69 : 481-486.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001a. 打ち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・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001b. 打ち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—耐倒伏性向上および安定化のための点播条件—. 日作紀 70 : 194-201.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001c. 暖地の湛水直播栽培における土中点播水稻の生育特性—散播水稻との生育特性の差異—. 日作紀 70 : 541-547.
- 周 紅・森田 脩・江原 宏 2003. 湛水土壌中散播イネにおける苗立ち型別の生育と収量の特徴. 日作紀 72 : 177-184.

Effect of Planting Pattern on Growth, Yield and Lodging Resistance in Rice Direct-Sown in Flooded Paddy Field

Yudai TAGUCHI¹ and Sachio MARUYAMA^{2*}

¹ Polder Museum of Ogata-Mura, Ogata, Akita 010-0445, Japan

² Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

Abstract

The experiments were conducted to clarify suitable planting pattern for lodging-resistant and high-yielding cultivation of rice direct-sown in flooded paddy fields. When a lodging resistant cultivar, Kinuhikari, were sown by broadcasting (B), row sowing (R), row sowing with wide strips (RW), hill sowing (H), hill sowing with wide diameters (HW), ripening ratio and grain yield of R and HW was higher than the other planting patterns, and yield of HW was comparable to that of transplanting. Lodging index of direct sowing was lower than that of transplanting, and that of R and HW was slightly lower than the other planting patterns. When a lodging susceptible rice cultivar, Koshihikari, was seeded by hill sowing with 5 levels of diameter, grain yield of hill sowing was apparently lower than that of transplanting, and there was no clear difference among 5 levels of diameter. Lodging index of direct sowing was lower than that of transplanting, and there was no significant difference among the 5 levels of diameter. The results indicate that lodging tolerance and yield of HW are higher than those of the other planting patterns, but the present experiments failed to clarify an optimum diameter for hill sowing.

Key words: Direct sowing, Hill sowing, Lodging, Planting pattern, Rice, Yield.

* Corresponding Author: maruyama.sachio.ge@u.tsukuba.ac.jp