

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

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	吉永, 悟志 脇本, 賢三 田坂, 幸平 ほか3名,
巻/号	70巻2号
掲載ページ	p. 186-193
発行年月	2001年6月

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—

吉永悟志*・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次
(農業技術研究機構)

要旨: 打込み式代かき同時土中点播機を用いた安定的湛水直播栽培法の確立のため、異なる苗立ち密度 (40, 80 および 160 本 m^{-2}) における耐倒伏性を散播水稻と比較して点播水稻の耐倒伏性に関する特性解明を行った。その結果、点播水稻は散播水稻と比較して稈が長くなるために稈基部にかかる力が大きくなるが、有効茎歩合が高いために耐倒伏性に関連した稈の形質が優れること、押し倒し抵抗値が顕著に大きいことにより稲株の耐倒伏性が強化され、倒伏を生じにくいことが明らかとなった。また、このような播種様式間差は苗立ち密度の高い条件で顕著となった。押し倒し抵抗値の変動要因を検討した結果、散播水稻において1株穂数が10本以下の株は押し倒し抵抗値の変動が大きく、1株穂数の減少により抵抗値が顕著に低下するのに対し、1株穂数が10本以上の株は押し倒し抵抗が安定して高かった。このことから、散播水稻では苗立ち密度 40 本 m^{-2} 以上の条件では1株穂数が10本以下となるために、苗立ち密度の変動により1株穂数が変動するのに対し、点播水稻は標準的な播種条件 (条間 30 cm, 株間 20 cm) では苗立ち密度が 40~160 本 m^{-2} (1株苗本数が 2~10 本) の間で変動しても1株穂数が 20~26 本と安定して多いことにより、苗立ち密度が変動しても点播水稻の耐倒伏性が安定して高いものと推察された。湛水直播栽培では苗立ち密度の変動が避けられないため、このような特性を有する点播栽培は湛水直播栽培の安定化に有効であると考えられる。

キーワード: 水稻, 耐倒伏性, 湛水直播, 点播, 苗立ち密度, 播種様式。

我が国における水稻栽培の大部分は機械移植により行われているが、近年の米の輸入関税化措置などに対応して稲作の大規模化、低コスト化の要請が強まるにつれ、湛水直播栽培等の省力栽培技術の確立が求められている。しかしながら、直播栽培では苗立ち率の低下や登熟期の倒伏により移植栽培に比較して減収する事例が多く、その普及面積は徐々に増加しているが水稻作付面積全体の約 0.5% と非常に低い水準にとどまっている。このため、安定的な直播栽培法の確立が望まれている。こうしたなかで、近年九州農業試験場において「打込み式代かき同時土中点播機」(以下打込み点播機と略)が開発された(下坪・富樫 1996 a)。本機は、代かきハロー後部に装着され、播種ロールから間欠的に供給される複数の種子を高速回転 (500~1500 rpm) する鋸歯形ディスクの外縁部で打撃し、代かきハロー整地板後部の代かき土面に打ち込む機構を有する。このような機構により本機は、複数種子で株を形成させることを目的とした点播状の播種と、5~20 mm 程度の深さの土中播種が可能となっている。

ところで、湛水直播栽培は播種様式として散播、条播および点播の3種類に分類されているが、播種様式と耐倒伏性との関係については世古ら (1983)、下坪・富樫 (1996 b) および尾形・松江 (1998 b) により点播水稻の耐倒伏性が最も強く、散播水稻の耐倒伏性が弱いことが示されている。しかしながら、これまで実用的な点播用播種機がなかったために点播水稻の耐倒伏性向上要因については十分な検討がなされていない。また、湛水直播栽培で避けられない苗立ち密度の変動が耐倒伏性におよぼす影響についても

点播栽培では詳細な検討が行われていない。

そこで、本研究では打込み点播機を用いた安定的湛水直播栽培法の確立のため、異なる苗立ち密度における耐倒伏性を散播水稻と比較して点播水稻の耐倒伏性に関する特性解明を行った。

材料と方法

1. 栽培条件

試験は 1997~1999 年の 3 ヶ年にわたって、九州農業試験場 (筑後市) 内の細粒灰色低地土水田において行った。供試品種は九州地域で最も栽培面積の大きい良食味品種のヒノヒカリを用い、ハト胸状に催芽して乾籾の 2 倍重相当の酸素発生剤 (カルパー粉粒剤 16) を被覆した。播種は 3 ヶ年とも 6 月 9 日に行った。播種様式は散播および点播の 2 様式とし、散播区は代かき直後の土壤に手播きを行い、点播区は打込み点播機を用いて播種した。両区ともに播種量は目標苗立ち密度の 1.5 倍量とし、苗立ち後に m^2 当たり苗立ち数がそれぞれ 40 (低密度区)、80 (標準区) および 160 本 m^{-2} (高密度区) になるように間引き補正した。なお、点播区は条間 30 cm, 株間 20 cm (16.7 株 m^{-2}) の設定で、1 株播種量を変えることで苗立ち密度を変化させたため、点播区の 1 株苗数の平均は 2.4 本 (低密度区)、4.8 本 (標準区) および 9.6 本 (高密度区) とした。また、播種深度の影響を小さくするために両播種様式の目標播種深度は 10 mm に統一し、散播区で播種深度の浅くなった地点では覆土を行った。これにより、出芽深度は散播区では 8.0~9.2 mm, 点播区では 9.1~11.0 mm

となった。さらに、土壌硬度の影響を小さくするために、中干しおよび出穂後の間断かんがいにより表面土壌硬度を 1.2 kg cm^{-2} 以上 (寺島ら 1997) に高めた。

基肥は、速効性窒素肥料 20% と緩効性窒素肥料の LP コート 100 (チッソ旭肥料(株)製、以下 LP 100 と略) を 80% 含む LP 複合 D-80 (クミアイ化学社製) を窒素成分で 6 g m^{-2} 施用した。なお、LP 100 は 25°C 水温下で 100 日間に窒素成分を約 80% 溶出する特性を有する被覆尿素肥料である。また、出穂の約 20 日および 10 日前に窒素成分で 3 および 2 g m^{-2} の硫酸を穂肥として施用した。試験区配置は分割区法、3 反復とした。

2. 稈の形質調査

耐倒伏性に関連した稈の形質として有効茎歩合と稈長を調査するとともに出穂後約 30 日目に主稈の第 IV 節間の挫折重および断面積の測定を行った。挫折重の測定は瀬古 (1962) の方法に従い葉鞘を 1 枚残した主稈の第 IV 節間について支点間距離 50 mm で、1 区当たり 12 本測定した。測定器はデジタルフォースゲージ (日本電産シンボ社製、FGC-2) を取り付けた電動式試験スタンド (日本電産シンボ社製、FGS-50 V-L) を用い、 3 mm s^{-1} で降下するフォースゲージの先端が節間を挫折させるときの極大値を測定した。さらに成熟期に抜き取って風乾させた主稈の節位別の節間長を調査するとともに 80°C で 3 日間乾燥後の節間重を測定した。

3. 押し倒し抵抗の測定

押し倒し抵抗の測定は冨樫ら (1997) の方法に準じ、デジタルフォースゲージ (日本電産シンボ社製、FGC-5) を取り付けた架台を回転支点が稲株の地際になるように設置し、稲株の地際 15 cm の高さを 45 度の角度まで押し倒す際の応力の極大値を測定した。測定時期は出穂 15~20 日後とし、点播区では 1 区当たり 15 株、散播区では 20 株について測定した。また、調査株の稈長および地上部重を測定し、次式より倒伏指数を算出した (瀬古 1962, 寺島ら 1992)。倒伏指数算出式: 倒伏指数 = (地上部重 × 稈長) / (押し倒し抵抗値 × 押し倒し高さ)。

4. 倒伏程度

強風に対する耐倒伏性を調査するため、鉄棒を土壤に打ち込んで 1 区当たり 3ヶ所から掘りあげた稲株に風速 16 m s^{-1} の風を 5 分間当てる試験を行った (風圧試験)。調査時期は出穂約 25 日後とし、鉄棒の大きさは長さ 30 cm 、幅 20 cm 、深さ 20 cm とした。倒伏程度は風を当てた後の株の傾きを 0 (無倒伏)~4 (完全倒伏) の 5 段階で判定した。また、圃場における倒伏程度も同様の 5 段階で成熟期頃に達観調査した。

結 果

1. 各年次の気象概況、作況指数および出穂期

1997 年は 7 月 2, 3 半旬と 8 月 1~3 半旬の寡照により籾数不足を生じ、当該地域の作況指数は 95 となった。また、登熟中期の 9 月 16 日に台風が接近したが最大瞬間風速は 11 m s^{-1} と弱かったため試験圃場において顕著な被害は生じなかった。1998 年は全般に高温、多照で推移するとともに目立った気象災害もなく当該地域の作況指数は 103 となった。1999 年は 6 月 6 半旬以降の日照不足により穂数および籾数が減少するとともに、9 月 24 日に接近した台風 (最大瞬間風速 27 m s^{-1} 、日積算雨量 66 mm) の影響により当該地域の作況指数は 88 と低下した。この台風により試験圃場においても顕著な倒伏を生じた。なお、3ヶ年の出穂期は 8 月 26~30 日の間となった。

2. 稈の形質に及ぼす播種様式および苗立ち密度の影響

播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に関連した稈の形質に及ぼす影響については第 1 表に示した。年次により有意差の有無には差があるが各形質の処理間差は年次間で類似の傾向を示した。また、播種様式と苗立ち密度の交互作用は認められなかった。有効茎歩合は苗立ち密度が高い条件下で低下したが、点播区の有効茎歩合は 3ヶ年とも散播区に比較して高かった。稈長は 3ヶ年とも点播区で長く、3~7 cm の差を生じたが、第 IV 節間長の播種様式間差は小さく、1999 年に差を生じたのみであった。また、第 IV 節間の長さ当たりの節間重は、播種様式間で節間長に差を生じなかった 1997 および 1998 年は点播区で有意に大きくなった。最も平年に近い気象条件であった 1998 年の標準区で散播水稻と点播水稻の各節位の長さ当たり節間重について比較すると穂首節間である第 I 節間以外は点播区で大きく、下位節間ほど差が大きかった (第 1 図)。一方、主稈第 IV 節間の断面積および同挫折重は密度間差が認められ、高密度条件で稈が細くなり挫折重が小さくなった。播種様式については有意差が認められなかったが、高密度条件における点播区と散播区の差が顕著で、点播区は散播区に比較して断面積が大きく挫折重も大きかった。

分げつ特性と稈の形質との関係性をみるために処理区全体の有効茎歩合と稈の形質との間の相関係数を第 2 表に示した。その結果、第 IV 節間長では 2ヶ年、主稈断面積および挫折重で 3ヶ年について有効茎歩合との有意な正の相関関係が認められた。

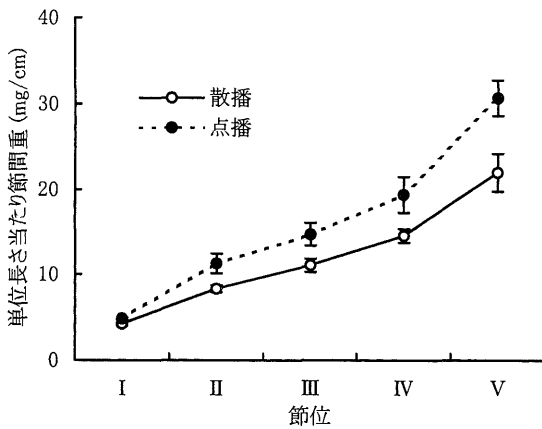
3. 押し倒し抵抗値および倒伏程度に及ぼす播種様式および苗立ち密度の影響

押し倒し抵抗値および倒伏程度に関連した形質の調査結果は第 3 表に示した。各年次ともほぼすべての形質に播種様式間差、密度間差および両処理間の交互作用が認められた。この交互作用は点播区における苗立ち密度の影響が散

第1表 播種様式および苗立ち密度が分けつおよび稈の形質に及ぼす影響。

年次	苗立ち 密度 本/m ²	有効茎歩合 %		稈長 cm		第IV節間長 mm		節間重/長さ mg/cm		主稈断面積 mm ²		挫折重 g	
		散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播
		1997	40	60.6	64.8	80.5	83.9	83	81	18.4	23.3	12.0	12.3
	80	45.6	56.7	78.5	83.6	79	77	20.5	24.1	10.3	10.5	635	633
	160	40.3	48.6	76.4	82.1	70	76	19.6	23.0	9.6	9.8	576	615
	平均値	48.8	56.7	78.4	83.2	77	78	19.5	23.5	10.6	10.9	659	657
分散分析	播種様式	*		**		ns		*		ns		ns	
	密度	*		*		*		ns		**		*	
	交互作用	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
1998	40	63.7	63.7	81.9	84.2	87	82	16.7	18.5	9.9	10.7	709	758
	80	42.5	61.8	81.4	82.9	85	83	14.6	19.4	9.5	9.9	678	712
	160	41.2	48.4	79.1	83.1	79	77	14.8	18.8	8.3	8.9	629	666
	平均値	49.1	58.0	80.8	83.4	84	81	15.4	18.9	9.2	9.8	672	712
分散分析	播種様式	*		*		ns		*		ns		ns	
	密度	*		ns		ns		*		*		*	
	交互作用	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
1999	40	63.8	72.6	82.2	90.3	89	96	15.0	14.2	9.6	9.5	665	639
	80	53.5	57.5	82.9	90.8	80	93	13.5	14.6	8.8	9.3	538	606
	160	43.8	53.9	82.7	88.5	63	87	12.1	12.0	7.5	8.6	515	580
	平均値	53.7	61.3	82.6	89.9	77	92	13.6	13.6	8.6	9.1	573	609
分散分析	播種様式	*		*		*		ns		ns		ns	
	密度	**		ns		*		ns		**		*	
	交互作用	ns		ns		ns		ns		ns		ns	

節間長, 節間重/長さ, 主稈断面積および挫折重は主稈第IV節間の測定値。挫折重の測定は葉鞘を1枚残した稈を支点間距離5cmで測定。有効茎歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。*, **: 5および1%水準で有意, ns: 有意差無し。



第1図 長さ当たり節間重の播種様式間差。

1998年の苗立ち密度80本/m²におけるデータ。垂直線は標準誤差を示す。

播区に比較して小さいことを示している。散播区の1株穂数は苗立ち密度の変化により変動し、低密度区では平均9本程度であったが高密度区では平均2.5本と少なくなった。これに対し、点播区の1株穂数は苗立ち密度が変動しても20~26本と安定して多かった。押し倒し抵抗値は、株当たりおよび稈当たりの両値について、散播区に比較して点播区で顕著に大きかった。また、散播区では特に高密度区での押し倒し抵抗値の低下が顕著であったが、点播区

第2表 有効茎歩合と稈の形質との相関係数。

稈形質	有効茎歩合		
	1997	1998	1999
稈長	0.80	0.69	0.45
第IV節間長	0.82 *	0.47	0.85 *
主稈断面積	0.92 **	0.84 *	0.88 *
節間重/長さ	0.29	0.68	0.70
挫折重	0.86 *	0.87 *	0.87 *

*, **: 5%および1%水準で有意。

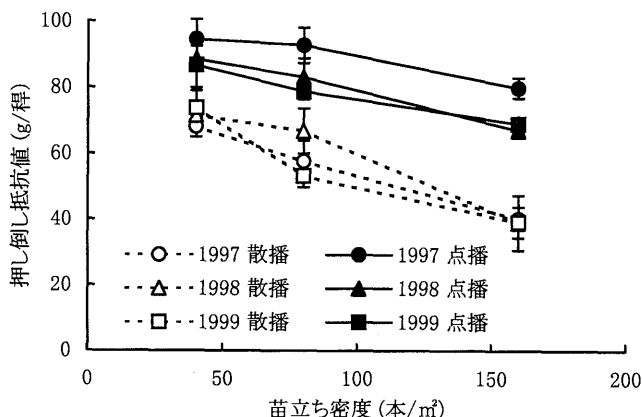
では苗立ち密度が高くて抵抗値の低下程度は小さかった(第2図)。押し倒し抵抗値、稈長および地上部重から算出した倒伏指数は第3図に示した。点播区の倒伏指数は3ヶ年とも散播区に比較して顕著に小さく、0.63~0.81の間の値を示した。また、散播区では苗立ち密度による影響が大きく、特に高密度区での倒伏指数の増大程度が大きかったのに対し、点播区では苗立ち密度が変動しても倒伏指数は安定して低い値を示した。

次に、風圧試験や圃場における倒伏程度と倒伏指数との関係を第4図および第5図に示した。倒伏指数は風圧試験や圃場における倒伏程度と類似の傾向を示し、倒伏指数の変動が大きく指数が大きかった散播区では風圧試験や圃場の倒伏程度が大きかった。これに対し、倒伏指数が0.81

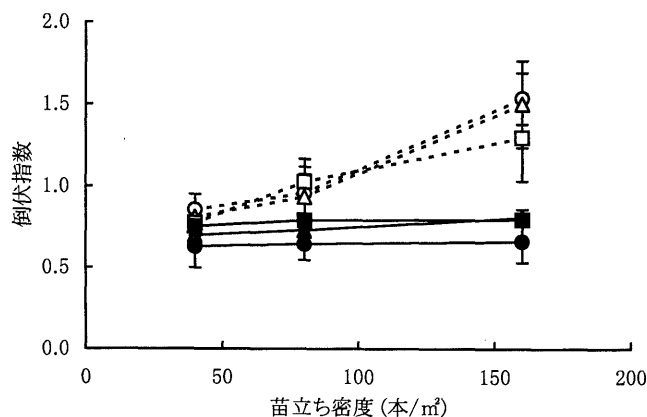
第3表 播種様式および苗立ち密度が1株穂数および耐倒伏性に及ぼす影響。

年次	苗立ち密度 本/m ²	1株穂数 本/株		押し倒し抵抗 g/株		押し倒し抵抗 g/稈		倒伏指数		風圧試験 (0-4)		倒伏程度 (0-4)	
		散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播
		1997	40	8.6	20.9	581	1975	68.0	94.6	0.85	0.63	0.77	0.17
	80	4.3	21.5	246	1992	57.5	92.7	0.96	0.64	1.50	0.27	0.80	0.00
	160	2.4	23.1	95	1844	40.2	79.9	1.54	0.66	1.83	0.33	1.20	0.00
	平均値	5.1	21.8	307	1937	55.3	89.0	1.11	0.64	1.37	0.26	0.78	0.00
分散分析	播種様式	**		**		*		**		*		*	
	密度	**		*		**		**		*		*	
	交互作用	**		*		*		*		*		**	
1998	40	9.5	22.4	688	1977	71.5	88.5	0.81	0.70	1.13	0.27	0.60	0.00
	80	5.0	24.4	335	2030	66.8	82.9	0.93	0.73	1.33	0.17	1.17	0.00
	160	2.9	26.0	114	1743	39.0	67.0	1.50	0.81	1.90	0.57	1.40	0.17
	平均値	5.8	24.3	379	1917	59.1	79.5	1.08	0.74	1.46	0.33	1.06	0.06
分散分析	播種様式	**		**		*		*		*		*	
	密度	*		*		**		**		*		ns	
	交互作用	**		*		*		**		*		ns	
1999	40	8.0	21.7	591	1879	73.7	86.7	0.77	0.75	1.33	0.50	1.93	1.43
	80	4.9	23.8	263	1872	53.2	78.6	1.02	0.79	2.03	0.60	2.67	2.07
	160	2.7	25.9	106	1783	39.1	68.9	1.30	0.79	2.30	0.77	3.00	1.83
	平均値	5.2	23.8	320	1845	55.4	78.1	1.03	0.78	1.89	0.62	2.53	1.78
分散分析	播種様式	**		**		*		*		*		*	
	密度	ns		ns		**		*		*		*	
	交互作用	**		*		*		*		*		*	

押し倒し抵抗：押し倒し角度 45 度，押し倒し高さ 15 cm，倒伏指数：稈長×地上部重/(押し倒し抵抗値×15)，*，**：5 および 1%水準で有意，ns：有意差無し。



第2図 押し倒し抵抗値の苗立ち密度による変動。垂直線は標準誤差を示す。



第3図 倒伏指数の苗立ち密度による変動。凡例は第2図参照。垂直線は標準誤差を示す。

以下であった点播区の風圧試験における倒伏程度は1以下と小さく、圃場においても登熟後期に台風の影響を受けた1999年を除くとほとんど倒伏を生じなかった。

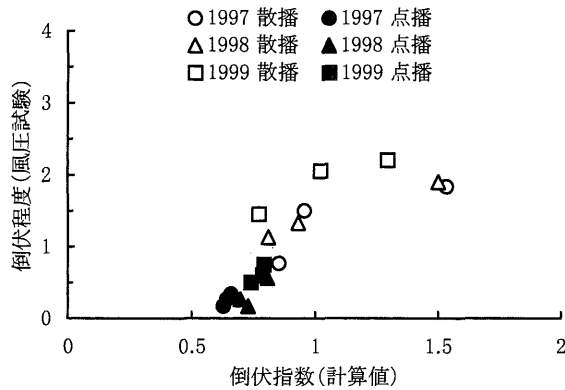
考 察

耐倒伏性に影響を及ぼす要因として、品種(伊藤ら1976, 寺島ら1992, 尾形・松江1998a, 吉永ら1997), 播種深度(伊藤ら1976, 上村ら1985, 寺島ら1992), 土壌硬度(上村ら1985, 寺島ら1997), 苗立ち密度(坂井ら1975, 三王ら2000), 播種様式(世古ら1983, 下坪・富樫1996b, 尾形・松江1998b)などがあげられる。本

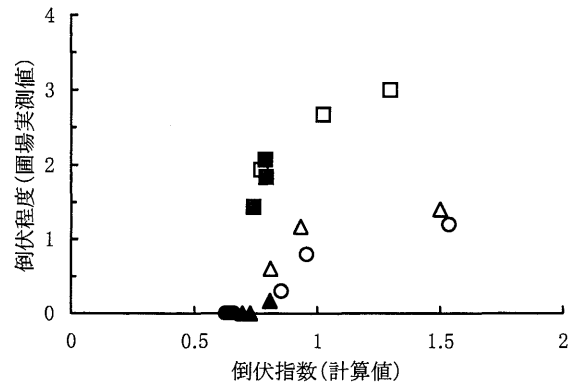
試験では品種、播種深度および土壌硬度を可能な限り揃えた条件とすることで、播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響について検討するとともに、点播水稻の耐倒伏性向上要因について明らかにしようとした。

1. 点播水稻の稈の形質および苗立ち密度による変動

稈長は、3ヶ年とも散播区に比較して点播区で長くなったため、稈長の増大による地上部モーメントの増大が点播水稻の耐倒伏性を低下させる要因となると考えられた。しかしながら、耐倒伏性と関連の強い第IV節間長の播種様式間差は天候不順で稈の伸長が顕著となった1999年に生



第4図 倒伏指数と風圧試験の倒伏程度との関係。



第5図 倒伏指数と圃場における倒伏程度との関係。凡例は第4図参照。

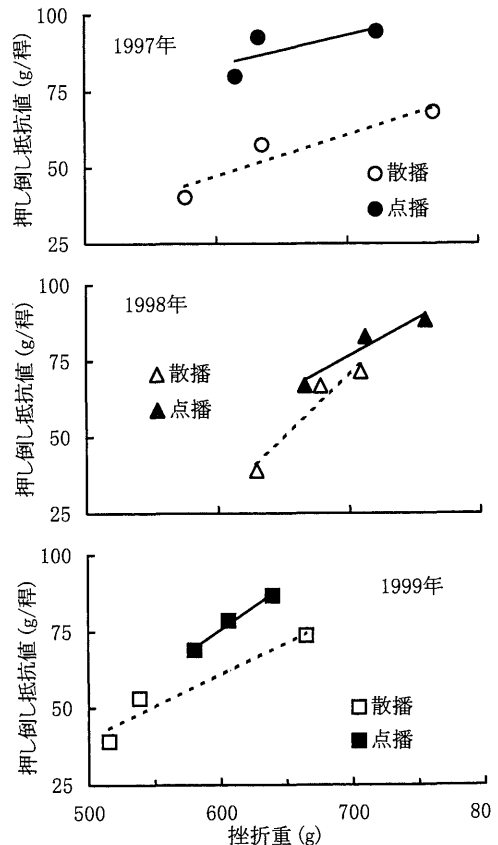
じたのみであった。上地ら (1993) は稈基部における日射量が多い方が下位節間の伸長が抑制されることを示しているが、点播水稻では株間と条間の確保により稈基部への入射光の光量が散播水稻に比較して多くなるために下位節間の伸長程度が小さいことが推察される。

次に、稈断面積と挫折重については、散播水稻、点播水稻ともに高密度条件で稈が細くなり挫折重の低下を生じたが、点播水稻ではその程度が小さかった。稈断面積および挫折重ともに有効茎歩合との相関関係が認められたことから、点播水稻では散播水稻に比較して有効茎歩合が高いため高密度条件でも稈の細くなる程度が小さく、挫折重が大きい傾向を示したと推察される。さらに、渡辺 (1985) および瀬古 (1962) が耐倒伏性と関連する形質としている下位節間の長さ当たりの節間重も点播水稻で高い傾向が示された。このような差を生じた要因としては、点播水稻は登熟期間の光合成が旺盛である (吉永ら 1999) ため、稈における炭水化物の蓄積により長さ当たりの節間重が高まった可能性が考えられる。

2. 点播水稻の押し倒し抵抗および倒伏程度の苗立ち密度による変動

押し倒し抵抗値は散播水稻に比較して点播水稻で顕著に高く、既報 (尾形・松江 1998 b) の結果と一致した。苗立ち密度との関係では、散播水稻で密度が高くなると押し倒し抵抗値が顕著に低下したのに対し、点播水稻は苗立ち密度の変化にともなう押し倒し抵抗値の変化は小さく、倒伏指数も低い値で安定し、実際の倒伏程度も小さかった。なお、既報 (瀬古 1962, 寺島ら 1992) が示しているように倒伏指数と実際の倒伏程度が密接に関連していることが再確認されるとともに、倒伏指数が0.8以上になると倒伏の危険性が顕著に高まることが明らかとなった。

点播水稻の倒伏指数が約0.8以下と安定して低かった要因として、点播水稻の稈長が散播水稻に比較して長くなったものの押し倒し抵抗値が顕著に高かったことが関係すると考えられる。そこで、押し倒し抵抗値に播種様式間差を生じた要因を検討するために挫折重と押し倒し抵抗値との



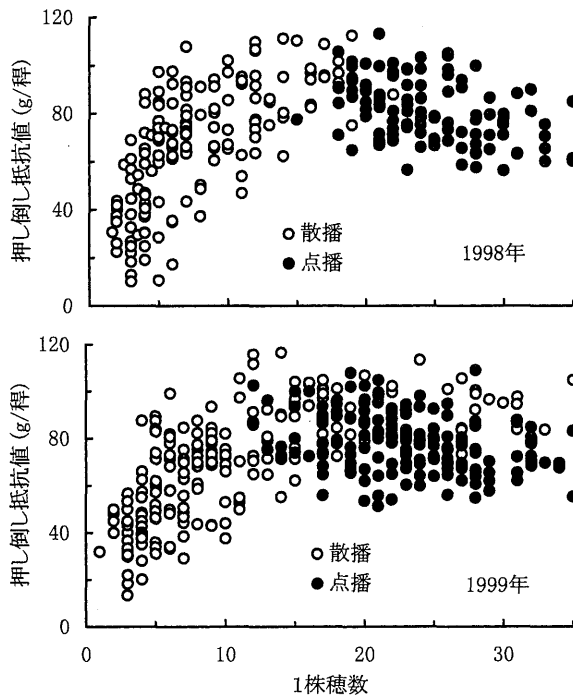
第6図 挫折重と押し倒し抵抗値との関係。

図中の破線および実線は散播および点播区の回帰直線を示す。

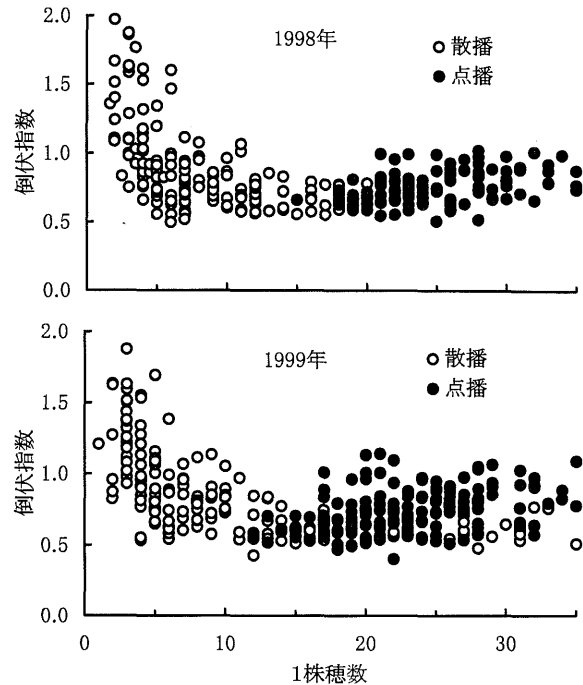
関係を第6図に示した。両播種様式ともに高密度条件で挫折重が低下した区で押し倒し抵抗値も低下したため、押し倒し抵抗値の密度間差には稈の形質が影響していることが示唆されたが、同程度の挫折重であっても点播水稻は散播水稻に比較して押し倒し抵抗値が高いことから播種様式間差を生じた主要因は稈の形質以外にあると推察された。

3. 点播水稻の押し倒し抵抗値の増大要因

ここでは、上述のような播種様式間差を生じた主要因に



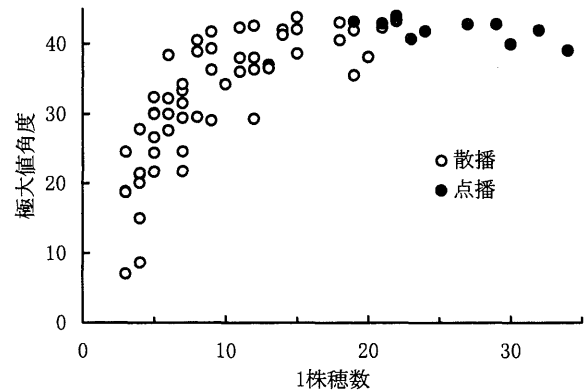
第7図 1株穂数と押し倒し抵抗値との関係。



第8図 1株穂数と倒伏指数との関係。

ついて考察を行う。

点播水稻は移植水稻のような株を形成することが散播水稻との大きな違いと考えられるが、株の大きさと耐倒伏性との関係について1株穂数が増加すると耐倒伏性が向上することを坂井ら(1975)および上村ら(1985)が示している。そこで、本試験における1998年および1999年の1株穂数と押し倒し抵抗値および倒伏指数との関係を第7図および第8図に示した。なお、1株穂数の変動幅を大きくするために、ここで検討している苗立ち密度40、80および160本 m^{-2} のデータに、1998年の散播水稻は苗立ち密度20本 m^{-2} 、1999年の散播水稻は同10および20本 m^{-2} 、1999年の点播水稻は苗立ち密度を80本 m^{-2} とした株間15cmおよび30cmのデータをそれぞれ加えた。第7図において散播水稻の稈当たりの押し倒し抵抗値は10~120gの間で変動しているが、このような顕著な変動は1株穂数が10本以下の株について認められている。これに対し、1株穂数が10本以上の株では60~120gの間の安定して高い抵抗値を示した。第8図における倒伏指数についても1株穂数が10本以下の散播水稻で倒伏指数の高い株が急増し、その変動幅が増大している。このように、1株穂数が耐倒伏性に及ぼす影響が大きいことが示唆された。一方、点播水稻では株間が15~30cm(苗立ち密度80本 m^{-2})、苗立ち密度が40~160本 m^{-2} (株間20cm)の間で変動しても1株穂数が10本以下の株を生じず、1株穂数が10本以上の散播水稻の耐倒伏性とほぼ一致し、安定して高い押し倒し抵抗値および安定して低い倒伏指数を示した。このことから、点播水稻の耐倒伏性の向上には稈の形質以外に、1株穂数が散播水稻に比べて安定して多く確



第9図 1株穂数が押し倒し抵抗値の極大値を示す角度に及ぼす影響。
極大値角度の最大値は45度。

保できることが関与していると考えられる。なお、点播水稻では1株穂数の増加により押し倒し抵抗値が低下する傾向を示し、これを反映して倒伏指数も僅かながら増大する傾向を示した。これは、高密度区における1株穂数の増加に伴い稈の挫折重が低下したことによると推察される。

坂井ら(1975)および上村ら(1985)は耐倒伏性の安定する1株穂数については言及していないが、本試験の結果から10本以上の1株穂数が散播水稻の耐倒伏性安定化のために必要になると考えられる。また、押し倒し抵抗測定用架台に傾斜計を装着し、抵抗値測定時に極大値を示す押し倒し角度(最大45度)を調査した結果を第9図に示した。この結果においても1株穂数が10本以下に減少すると極大値を示す角度が急激に低下した。極大値を示す角度

は株を押し倒す力が株の応力よりも大きくなる時の角度であるため、倒伏が始まる角度として捉えられる。したがって、1株穂数の増大は倒伏を生じ始める株の傾斜角度を増大させることも耐倒伏性の向上に関与していると考えられる。

4. まとめ

水稻栽培における登熟期の倒伏は、受光態勢悪化にともなう光合成量の低下による減収 (Setterら 1997) や米粒中のタンパク質やアミロース含有率を増大させることによる食味品質の低下 (松江ら 1991) を生じるとともに、機械収穫に支障をきたすなど大きな問題となる。このため、移植栽培に比較して耐倒伏性が低いとされる湛水直播栽培では倒伏の回避のために移植栽培に比較して減肥を行っている事例が多く、このことが直播栽培の収量が移植栽培に比較して低下している要因の一つとして考えられる。本試験では、打込み点播機による点播水稻は散播水稻に比較して、稈が長くなるために稈基部にかかる力が大きくなるが稈の形質に優れるとともに顕著に高い押し倒し抵抗を示すために稲株の耐倒伏性が強化されることが明らかとなった。また、点播水稻では苗立ち密度が変動しても1株穂数が10本以上の株を形成するために耐倒伏性の安定化が図られていると考えられた。このため、点播栽培では移植栽培に対する減肥の程度を小さくすることにより収量性を移植栽培に近づけることが可能であることが示唆された。また、直播栽培では播種密度や出芽率の不均一性により苗立ち密度が不均一となることは避けられないため、苗立ち密度が変動しても耐倒伏性が安定して高いことは重要な特性となる。本試験での風圧試験や圃場における倒伏程度についても、点播水稻は苗立ち密度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示した。特に、1999年のように寡照による稈の徒長を生じたうえで登熟期後半に台風の通過による強風を受けた状態でも圃場における倒伏程度が2程度であったことは、通常の栽培法および気象条件であれば点播条件で顕著な倒伏を生じる可能性は非常に低いことを示している。

一方、散播栽培においても1株穂数が10本以上の株を形成すると耐倒伏性が安定して高かった。しかしながら、穂数を400本 m^{-2} と仮定すると1株穂数を10本以上にするためには苗立ち密度を40本 m^{-2} 以下にする必要がある。このような低密度条件では、苗立ちの不均一により密度がさらに低下した部分での減収や品質低下が問題になることが予想される。なお、本試験では散播区と点播区の播種深度を約10mmに設定して出芽深度の差が小さい条件で耐倒伏性を比較したが、播種深度が浅くなると倒伏しやすくなることが示されている (上村ら 1985, 寺島ら 1992)。打込み点播機による点播栽培では代かき直後の土壤に種子を加速して打ち込むため、代かき水量、代かき程度および播種機の打込みディスク回転数を調節することに

より播種深度を深くすることは比較的容易である。これに対し、無人ヘリコプターや動力散布機を用いた散播栽培では自然落下による播種であるため本試験の条件よりも播種深度が浅くなる可能性が高く、本試験で示された散播区と点播区の耐倒伏性の差はさらに大きくなると考えられる。また、本試験では条播区の設定を行っていないが、条播水稻の耐倒伏性は散播水稻および点播水稻の中間的な値を示すこと (尾形・松江 1998b) および苗立ち密度による耐倒伏性の変動が小さいこと (寺島ら 1992) が示されている。

今後は点播水稻における稈長の制御のための施肥法や多様な播種条件における点播水稻の耐倒伏性について検討するとともに、現在解析中の点播水稻の生育および収量特性の結果をもとに、耐倒伏性が安定して高いという特長を生かした湛水直播栽培の安定・多収栽培技術の確立に向けた検討を総合的に行う必要があると考える。

謝辞：本研究の遂行にあたり鹿児島県農業試験場の竹牟禮穂氏には、1999年に九州農業試験場の依頼研究員としてご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- 伊藤延久・坂井定義・岡村康博 1976. 水稻湛水散播栽培の規模拡大に関する研究. 熊本農試研報 6: 35—48.
- 上地由朗・林茂一・堀江武 1993. 水稻の下部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.
- 松江勇次・水田一枝・古野久美・吉田智彦 1991. 北部九州産米の食味に関する研究. 第1報 移植時期, 倒伏の時期が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響. 日作紀 60: 490—496.
- 尾形武文・松江勇次 1998a. 水稻湛水直播栽培における耐倒伏性検定のための熟期群別指標品種の選定. 日作紀 67 (別1): 258—259.
- 尾形武文・松江勇次 1998b. 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.
- 坂井定義・伊藤延久 1975. 水稻湛水散播栽培に関する研究. 第1報 倒伏要因と栽培法について. 日作九支報 42: 89—91.
- 三王裕見子・大川泰一郎・相沢奈美江・平沢正 2000. 湛水直播栽培した水稻の倒伏程度と倒伏に係する性質の品種間差—苗立ち密度に着目して—. 日作紀 69 (別1): 360—368.
- 世古晴美・佐村薫・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 66: 9—12.
- 瀬古秀生 1962. 水稻の倒伏に関する研究. 九州農業試集報 7: 419—499.
- Setter, T.L., E.V. Laureles and A.M. Marazedo 1997. Lodging reduces yield of rice by self-shading and reductions in canopy photosynthesis. Field Crops Res. 49: 95—106.
- 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. 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に関する研究. 2. 点播水稻と条播水稻の押し倒し抵抗の比較. 日作紀 65 (別1): 14—15.
- 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄 1992. 直播水稻の耐倒伏性に関する生理生態的形質. 第1報 押し倒し抵抗測定による耐ころび型倒伏性の品種間比較. 日作紀 61: 380—387.

- 寺島一男・荻原均・梅本貴之・亀川健一 1997. 直播水稻の耐ころび型倒伏性に対する栽培条件の影響の定量的解析. 日作紀 66 (別1): 42—43.
- 富樫辰志・吉永悟志・下坪訓次 1997. 土中点播水稻の押倒し抵抗簡易測定法. 日作九支報 63:7—9.
- 上村幸正・松尾喜義・小松良行 1985. 湛水直播水稻の耐倒伏性について. 日作四支紀 22:25—31.
- 吉永悟志・長田健二・村上優浩・高梨純一 1997. 直播水稻の生育特性及びその品種間差異. 四国農試報 61:83—89.
- 吉永悟志・富樫辰志・田坂幸平・脇本賢三・下坪訓次 1999. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 7. 点播直播の窒素吸収及び乾物生産特性. 日作紀 68 (別2):230—231.
- 渡辺利通 1985. イネの倒伏抵抗性に関する育種学的研究. 第1報 倒伏抵抗性関連形質による品種の群別. 農技研報 D36:147—196.

Improvement of Lodging Resistance in Submerged Direct Seeding Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivation Using a Newly Developed 'Shooting hill-seeder'—Effects of seedling density on the lodging resistance of hill-seeded rice as compared with that of broadcast-seeded rice— : Satoshi YOSHINAGA*, Kenzo WAKIMOTO, Kohei TASAKA, Ken-ichi MATSUSHIMA, Tatsushi TOGASHI and Kunji SHIMOTSUBO (*Natl. Agr. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region, Chikugo 833-0041, Japan*)

Abstract: The characteristics of lodging resistance in hill-seeded rice were compared with those in broadcast-seeded rice at three different plant densities (40, 80 and 160 plants m^{-2}) to establish the submerged direct seeding rice cultivation using a newly developed 'Shooting hill-seeder'. In the hill-seeded rice, the culm was longer than in broadcast-seeded rice, applying a strong force to the basal part of the hill. However, they did not lodge easily because the percentage of productive tillers was high resulting in superior characteristics of the culm related to the lodging resistance, and they had extremely high pushing resistance. Such differences in the lodging resistance between hill- and broadcast-seeded rice plants were remarkable at a high plant density. In the broadcast-seeded rice, the number of panicles per hill is fewer than 10 when they are cultivated at a density higher than 40 plants m^{-2} , and the lodging resistance decreased with decreasing number of panicles per hill. On the other hand, in the hill-seeded rice (40—160 plants m^{-2} , 30cm inter-row and 20cm intra-row spacing), the number of panicles per hill is 20—25 even when the seedling density fluctuates within the range of 40—160 seedlings m^{-2} (2—10 seedlings per hill), and lodging resistance is stable. Because the fluctuation of seedling density is inevitable, the hill-seeding cultivation with the above characteristics is favorable for the stabilization of submerged direct seeding cultivation.

Key words: Hill-seeding, Lodging resistance, Rice, Seedling density, Seeding method, Submerged direct seeding.