

研究論文

栽培

水管理条件が湛水直播水稻の耐ころび型倒伏性と収量に及ぼす影響

寺島一男^{*1)}・谷口岳志²⁾・荻原均³⁾・梅本貴之³⁾

(¹⁾農林水産省農林水産技術会議・²⁾長野県農事試験場・³⁾農業技術研究機構)

要旨：水稻の湛水直播栽培における耐ころび型倒伏性を改善し、生産性の安定化に役立つ水管理法を明らかにする目的で、落水管理の処理回数、期間等の異なる水管理条件で栽培した直播水稻を対象に、押し倒し抵抗、倒伏程度、収量および品質を比較調査した。押し倒し抵抗は、落水管理の処理回数が多く、処理期間の長い区でより高い値を示した。こうした落水管理の押し倒し抵抗に対する向上効果は、播種深度が異なってもほぼ同様で、播種深度が1 mm以下の表面播種区においても落水管理を行うことによって押し倒し抵抗が高まる傾向が認められた。地表面に播種された散播栽培における倒伏は常時湛水区でもっとも顕著に発生し、以下、落水1回区、2回区と落水管理の処理回数が多く、処理期間のより長い区で倒伏程度が軽減される傾向がみられた。収量については、倒伏の発生程度の著しかった常時湛水区では収量の低下がみられたが、7日程度の落水管理を3回まで実施しても収量や品質に悪影響は認められなかった。

キーワード：押し倒し抵抗、ころび型倒伏、水稻、直播、水管理。

水稻の湛水直播栽培ではころび型倒伏が生じやすく、出穂後早期に倒伏するとしばしば収量・品質が著しく低下し、このことが同栽培技術における不安定な生産性の一要因となっている。このため、倒伏軽減技術の開発は、直播栽培の普及を図る上で重要な課題である。特に、省力的な湛水散播栽培は、点播や条播に比較しても耐倒伏性に劣り(西尾ら 1966, 田守・竹島 1970, 下坪・富樫 1996, 吉永ら 2001a, b), 安定した生産を図る上で倒伏軽減技術の重要度はより高い。耐ころび型倒伏性には品種間で顕著な違いのあることが知られており(芳賀ら 1977, 滝田・柳瀬 1983, 寺島ら 1992), 耐倒伏性品種の育成は重要であるが、銘柄米志向の強い今日の米の流通と消費状況を考えると、栽培技術によって倒伏を制御する方法も開発される必要がある。特に施肥法, 水管理法については, 安定多収に向けて各栽培条件に応じた具体的基準の確立が求められている(鷲尾 1989)。

移植栽培では倒伏を防止する技術として中干しが重要と考えられてきた。これには窒素の一時的な吸収抑制やそれに伴う生育の抑制と稈の強度の向上が関連することが明らかにされている(瀬古 1962, 宮坂 1970)。しかし、湛水直播栽培での耐ころび型倒伏性に対し、中干し等水管理がどのような影響を及ぼすのかについては十分な検討が行われていない。湛水直播栽培における水管理法の研究についてみると、狩野ら(1994)は穂首分化期までの中干しを含む落水管理について検討し、落水管理によって倒伏程度が軽減され、収量が増したという結果を報告している。安原ら(1992)も中干しの倒伏軽減効果を指摘している。しかし、西尾ら(1966)は地表面に播種された湛水直播では中干しによって根の強度が低下し、倒伏が生じやすくなる可

能性を指摘した。上村ら(1985)も、表面播種の場合は中干しによる耐倒伏性の向上は、ほとんどみられなかったと述べている。このように湛水直播における水管理法の耐倒伏性への影響については、結果が報告によって異なっている。これは、従来の報告では耐倒伏性が稈の形質で評価されたものが多く、耐ころび型倒伏性に関わる株支持力の測定に基づいたものが少ないこと、また、湛水直播では播種方法により播種深度が異なり、そのことの影響が十分に検討されていないことによる可能性が考えられる。特に播種深度の浅い直播条件での水管理の影響について、株支持力の測定と圃場栽培条件下での倒伏程度の両者の比較に基づいた検討が必要である。

株支持力の測定については、押し倒し抵抗を用いた評価方法が開発され(上村ら 1985), 耐倒伏性の品種間比較を行った研究では、押し倒し抵抗が実際のころび型倒伏の発生程度と密接な関連性を示すことが明らかにされている(寺島ら 1992)。本研究ではこの手法を用い、落水管理の処理回数、処理期間の長さを異にする各種水管理条件によって、押し倒し抵抗で示される株支持力がどのように変動するかを定量的に評価した。特に異なる播種深度で栽培した場合について調査を行い、播種方法と水管理条件の耐倒伏性に及ぼす相互の影響を比較検討した。また、ころび型倒伏が生じやすい地表面への散播栽培を対象に、水管理条件が倒伏程度、収量および品質に及ぼす影響を調査し、これらより、湛水直播水稻の生産性の安定化につながる水管理法の確立に必要な知見を得ようとした。

材料と方法

試験Ⅰ 水管理条件が播種深度の異なる直播水稻の押し倒し抵抗に及ぼす影響。

試験は1996年と1997年に秋田県大曲市に所在する農業技術研究機構東北農業研究センター水田利用部試験圃場(灰色低地土)で実施した。供試品種は、1996年が「どまんなか」で、1997年は「まいひめ」を用いた。移植栽培における耐倒伏性は「どまんなか」がやや強、「まいひめ」が強で、これらは熟期からみても東北地域における直播に適応性が高い水稻品種である(寺島 未発表)。1996年は、過酸化カルシウムを主成分とする酸素発生剤(カルパー粉粒剤)を被覆した「どまんなか」の催芽種子を、5月13~14日に、代かきを行った後に落水した圃場へ30 cm×7.5 cmの間隔で一株4粒ずつ点播した。播種深度については0 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm区の4区を設けた。0 mm区は土壌表面に播種し、播種深度5 mm区および10 mm区は、木製の棒(長さ約20 cm, 太さ約5 mm)に5 mmないし10 mmの厚さのゴム栓を差し込んだ器具を用い、種子を所定の深さまで土壌中に押し込み、覆土した。さらに10 mm区については2葉期に10 mmの厚さのゴム栓を取り付けた上記器具でさらに10 mm程度個体を土壌中に押し込んで20 mm区とした。1997年は「まいひめ」を対象に同様の方法で播種を行い、播種深度0 mm区, 5 mm区, 10 mm区および20 mm区を設けた。播種日は5月12~13日であった。施肥はいずれの年次も10 a当たりのN, P₂O₅, K₂Oの成分量で、基肥各5 kg, 分けつ期に各2 kg, 幼穂形成期(幼穂長2 mm期, 以下同じ)に各3 kgずつ施用した。

水管理条件については、いずれの年次、処理区も播種後3日間の落水管理を実施した後湛水し、1996年の場合は、常時湛水区(D0区)の他、幼穂形成期前に約7日間落水管理とした落水1回区(D1区)、D1区と同様の落水管理を行った後、幼穂形成期以降の生殖生長期にさらに約6日間落水した落水2回区(D2区)、D1区と同様の落水管理を行った後、生殖生長期に約15日間落水した長期落水区(D3区)を設けた。なお各区とも落水管理以外の時期は8月22日までは湛水とし、それ以降はほぼ4日おきに入水する間断灌漑とした。1997年は、常時湛水区(D0区)、幼穂形成期前に約9日間落水管理とした落水1回区(D1区)、これに併せて生殖生長期にさらに約6日間落水管理とした落水2回区(D2区)、D1区と同様の落水管理を行った後、生殖生長期に約11日間落水管理とし、さらに登熟初期の約8日間落水した長期落水区(D3区)の4区を設けた。以上の処理時期以外はいずれの区も9月5日まで湛水し、それ以降は落水条件とした。各処理区の概要と落水管理期間中の降水量と平均気温は第1表に示した通りである。1試験区は、各畦1.5 mの長さとする6畦で構成され(1.5 m×1.8 m)、各処理区とも3反復とし、水管理を

一次因子とする分割区法によりこれらを配置して試験を行った。

押し倒し抵抗の測定は、穂揃い期に倒伏試験器(大起理化社製)を用いて行った。稲株の地表面上10 cmの茎部に倒伏試験器をあて、株が約45度に傾いた段階での最大抵抗を記録した。1区10株を対象に測定を行い、調査株はただちに地上部を採取して発根最上位部における株直径をノギスで計測し、通風乾燥機に搬入して70℃3日間の通風乾燥後、乾物重を測定した。押し倒し抵抗の評価については、地上部生育量の大小の影響を除くため、押し倒し抵抗が地上部乾物重と発根最上位部における株直径の積に比例するとした寺島ら(2002)の解析に基づき、地上部乾物重と発根最上位部株直径の積値に対する押し倒し抵抗モーメント(押し倒し抵抗値と測定位置の高さの積値)の比を抵抗係数[(押し倒し抵抗×測定高)/(地上部乾物重×発根最上位部株直径)]として比較に供した。

試験Ⅱ 水管理条件が表面散播栽培における倒伏と収量に及ぼす影響。

試験は1996, 1997および1998年の3カ年に渡って秋田県大曲市に所在する農業技術研究機構東北農業研究センター水田利用部試験圃場(灰色低地土)で実施した。供試品種は1996年が「どまんなか」と「まいひめ」、1997年と1998年は「どまんなか」とアメリカ品種で耐倒伏性に優れる「S-201」を用いた。「S-201」を供試したのは、各水管理条件の収量に及ぼす影響について、倒伏の生じない条件での検討を行うためである。播種日は1996年が5月13~14日、1997年が5月12~13日、1998年が5月11~12日で、過酸化カルシウムを主成分とする酸素発生剤(カルパー粉粒剤)を被覆した催芽種子を、m²当たり150粒の播種密度として、代かき後落水した圃場表面に手播きで散播した。施肥はいずれの年次も10 a当たりのN, P₂O₅, K₂Oの成分量で、基肥各5 kg, 分けつ期各2 kg, 幼穂形成期各3 kgずつ施用した。水管理条件に関する各処理区の内容は第1表に示した通りで、1996年と1997年は試験Ⅰと同様の手法に従って実施した。1998年のD0区, D1区, D2区については1997年とほぼ同様であるが、D3区については2回目の落水管理をD2区と同様にし、さらに登熟初期に約8日間の落水管理を実施した。

各試験区の面積は1996年が約15 m²、1997と1998は約25 m²で、水管理条件を一次因子とする分割区法により試験区を配置し、各処理区とも3反復を設けて試験を行った。

収量と穎果数の調査は、3 m²の区画に生育した株を対象に行った。刈り取った全株を脱穀して粳をすべて回収し、均分器にてこれを二分した。うち一方は粳すり後1.85 mmの間隔に設定した縦目線篩にて精玄米を選別、秤量後、水分15%換算にて精玄米収量を算出した。他方

第1表 各処理区における落水管理の期間。

処理区	落水管理の期間		
	1996	1997	1998
常時湛水区 (D0)	—	—	—
落水1回区 (D1)	7/8 - 7/14 (3, 21.1)	7/11- 7/19 (37, 21.9)	7/11- 7/17 (2, 20.9)
落水2回区 (D2)	7/8 - 7/14 (3, 21.1)	7/11- 7/19 (37, 21.9)	7/11- 7/17 (2, 20.9)
	8/3 - 8/8 (26, 22.7)	8/3 - 8/8 (31, 24.4)	8/3 - 8/11 (147, 22.7)
長期落水区 (D3)	7/8 - 7/14 (3, 21.1)	7/11- 7/19 (37, 21.9)	7/11- 7/17 (2, 20.9)
	7/25- 8/8 (31, 24.4)	7/29- 8/8 (33, 25.0)	8/3 - 8/11 (147, 22.7)
		8/20- 8/27 (19, 23.4)	8/13- 8/20 (88, 23.4)

()内の数値は左が落水管理期間中の総降水量 (mm), 右が平均気温 (°C)である。

出穂期 1996 どまんなか, 8/13; まいひめ, 8/9。

1997 どまんなか, 8/10; まいひめ, 8/5; S-201, 8/10。

1998 どまんなか, 8/8; S-201, 8/10。

第2表 各処理区の播種深度と苗立ち数 (試験 I)。

区	1996 (どまんなか)		1997 (まいひめ)	
	播種深度	苗立ち数	播種深度	苗立ち数
0 mm	1.0 a	3.2 a	0.8 a	3.1 ab
5 mm	4.1 b	3.3 a	3.6 b	3.4 b
10mm	6.9 c	3.1 a	7.6 c	2.8 a
20mm	16.9 d	3.1 a	17.6 d	2.8 a

播種深度は鞘葉基部の白色部を計測した。

20 mm 区の播種深度は 10 mm 区の播種深度 + 10 mm とした。

表中の各数値に付記されたアルファベットが同一の場合は, Tukey の多重検定において 5%水準で処理区間に有意差のないことを示す (第4~7表も同じ)。

は水選により精粒としいなを選別した後, それぞれについて一定量を対象に粒数を測定し, 重量換算にて m^2 当たり顕果数を算出した。また, 各処理区の倒伏程度は出穂後 30 日目の株の傾斜角程度に従い, 0 (無) ~ 4 (甚) の 5 段階 (渡辺 1995) で観察調査した。稈長は, 成熟期に 1 区 15 株を対象に最長稈の稈長を測定した。

玄米の外観品質については, 1997 年と 1998 年における「どまんなか」を対象に各試験区の精玄米より 10 g ずつ採取し, 米穀検査基準に基づいて観察により玄米を分類した。なお, 比較として移植栽培での「どまんなか」を対象に, 玄米の外観品質を調査した。移植は, 約 30 日の育苗期間で育成した中苗を用いて, 1997 年, 1998 年とも 5 月 20 日にそれぞれ 30 cm × 15 cm の栽植密度で手植えで行った。施肥は直播の試験区と同様に施用し, 水管理条件は約 1 週間の中干し以外は常時湛水とした。外観品質の調査は, 収穫期に 60 株を刈り取り, 直播栽培の場合と同様の手法にて得られる精玄米 10 g を対象に 3 反復で行った。

結 果

試験 I 水管理条件が播種深度の異なる直播水稻の押し倒し抵抗に及ぼす影響。

鞘葉基部の白色部でみた播種深度は, 0 mm 区が 1 mm

第3表 水管理と播種深度が押し倒し抵抗 (R) と抵抗係数 (k) に及ぼす影響の分散分析 (F 値)。

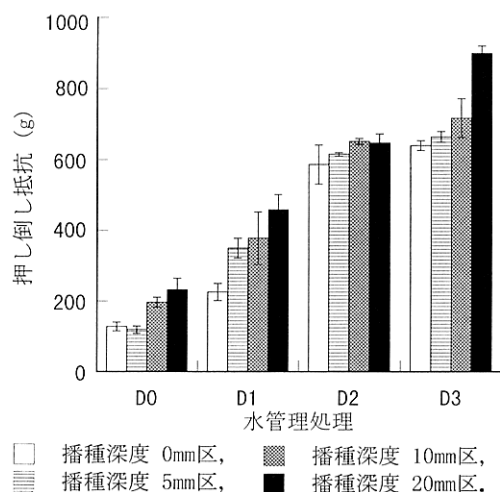
	どまんなか		まいひめ	
	R ¹⁾	k ²⁾	R	k
水管理 (a)	138.5**	116.8**	105.7**	213.7**
播種深度 (b)	20.9**	24.9**	6.0**	3.8*
a × b	2.5*	1.0	1.7	0.5

1) R: 押し倒し抵抗 (g)。

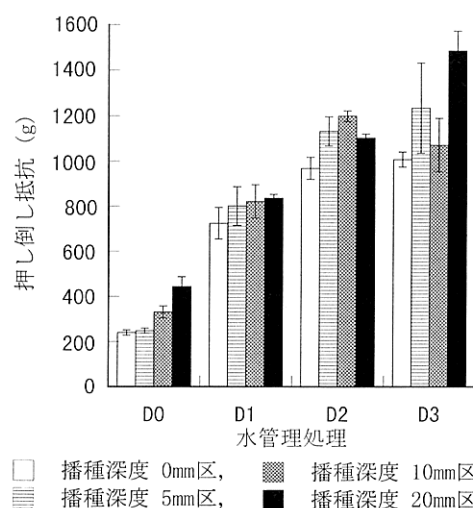
2) k: $[\text{押し倒し抵抗 (g)} \times \text{測定高 (cm)}] / [\text{地上部乾物重 (g)} \times \text{発根最上位部株直径 (cm)}]$ 。

*, **: それぞれ 5%, 1% 水準での有意性を示す (第4~6表も同じ)。

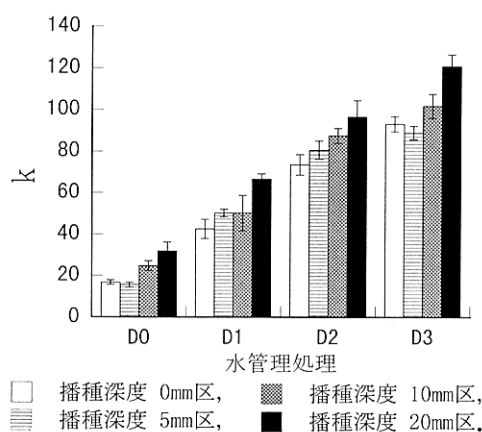
以下で, 5 mm 区は約 4 mm 程度, 10 mm 区は 7 mm 程度となり, 想定した深度よりやや浅めではあったが, 区間に明らかな違いがあった (第2表)。苗立ちについては, 播種深度 5 mm 区でやや苗立ち数が多かったが, 区間の差は最大でも株当たり 0.6 個体にとどまり, 大きな差は認められなかった (第2表)。播種深度と水管理が株支持力に及ぼす影響についてみると, 押し倒し抵抗と, 地上部生育量の違いの影響を除くために算出した抵抗係数のいずれも, 水管理条件, 播種深度によって有意な変動を示した (第3表)。しかし, 分散分析における F 値は, 播種深度に比較して水管理で明らかに高い値となり, 水管理が押し倒し抵抗および抵抗係数へ及ぼす影響は播種深度の影響より統計的な有意性が高かった (第3表, 第1~4図)。すなわち, 1996 年に試験した「どまんなか」についてみると, 播種深度が深くなると押し倒し抵抗も大きくなり, D1 区では 0 mm 区が 225.4 g であるのに対し, 10 mm 区は 337.9 g と 68% 高まった。一方, 水管理条件の影響については, 播種深度 0 mm 区の場合, D2 区で 586.7 g と同じ播種深度の D1 区の約 2.6 倍にまで顕著に高まる傾向が認められた (第1図)。こうした水管理条件に伴う押し倒し抵抗の変動傾向は, いずれの播種深度でもほぼ同様で, 1 mm 以下から約 17 mm の播種深度の違いにかかわらず, 落水管理の処理回数や処理期間が長くなるにつれ高まる傾向が認められた (第1図)。以上の結果は生育量の大小の



第1図 押し倒し抵抗に及ぼす播種深度および水管理の影響
(試験I: どもんなか).
図中のエラーバーは標準誤差を示す。

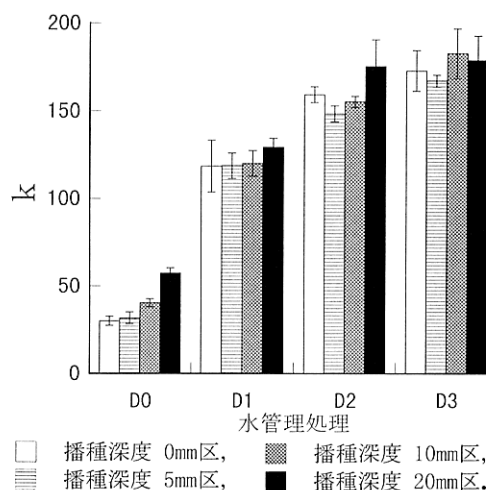


第3図 押し倒し抵抗に及ぼす播種深度および水管理の影響
(試験I: まいひめ).
図中のエラーバーは標準誤差を示す。



第2図 抵抗係数 (k)¹⁾ に及ぼす播種深度および水管理の影響
(試験I: どもんなか).
図中のエラーバーは標準誤差を示す。

1) $k = (\text{押し倒し抵抗} \times \text{測定高}) / (\text{地上部乾物重} \times \text{発根最上位部株直径})$ 。



第4図 抵抗係数 (k)¹⁾ に及ぼす播種深度および水管理の影響
(試験II: まいひめ).
図中のエラーバーは標準誤差を示す。

1) $k = (\text{押し倒し抵抗} \times \text{測定高}) / (\text{地上部乾物重} \times \text{発根最上位部株直径})$ 。

影響を除くために算出した抵抗係数で比較した場合においても同様であった (第2図)。年次を変えて比較検討した「まいひめ」では播種深度の効果はやや不明確であったが、水管理条件の影響はほぼ同様で、落水管理に伴って押し倒し抵抗、抵抗係数のいずれも高まった (第3, 4図)。

試験II 水管理条件が表面散播栽培における倒伏と収量に及ぼす影響。

3カ年に渡る散播栽培における出穂後30日目の倒伏程度と収量に及ぼす水管理条件の影響を、年次および供試品種ごとにみたものが第4~6表である。1996年の結果では「どもんなか」で各処理区の間で倒伏程度に有意差が認められ、D0区で2.3の倒伏程度が認められたのに対し、落水管理を行ったD1, D2およびD3区では倒伏程度が軽微であった (第4表)。「まいひめ」では倒伏程度に区間で有

意差が認められなかったが、落水管理の処理回数や処理期間を長く設けた区で倒伏程度が軽微となる傾向がみられた (第4表)。これに対し、穎果数、収量については、いずれの品種においても区間で差はほとんどみられなかった (第4表)。1997年の「どもんなか」については倒伏程度の処理区間差が大きく、常時湛水としたD0区でほとんど全面倒伏となったが、落水管理を1回行ったD1区では2.3、D2区およびD3区で0.3と落水管理の処理回数が多く、また処理期間が長くなるに従って倒伏程度も有意に軽減される傾向が示された (第5表)。なお、稈長についてみると、D0区に比較して落水管理を行った区でむしろやや長かった (第5表)。収量については、著しい倒伏がみられた常時湛水区で低く、落水管理を行ったD2区およびD3

第4表 稈長、倒伏程度および収量の比較 (試験II:1996).

処理区	どまんなか				まいひめ			
	稈長 (cm)	倒伏程度 (0~4)	穎果数 (/m ²)	収量 (g/m ²)	稈長 (cm)	倒伏程度 (0~4)	穎果数 (/m ²)	収量 (g/m ²)
D0	79.9a	2.3a	34838a	626a	75.4a	1.5a	38267a	656a
D1	77.7a	0.0b	29857a	653a	77.7a	1.3a	36990a	705a
D2	77.1a	0.2b	31112a	676a	75.9a	0.7a	35873a	675a
D3	78.3a	0.0b	30585a	676a	75.9a	0.7a	33916a	664a
F値	0.62	10.60**	3.61	1.68	0.39	0.61	1.11	1.13

第5表 稈長、倒伏程度および収量の比較 (試験II:1997).

処理区	どまんなか				S-201			
	稈長 (cm)	倒伏程度 (0~4)	穎果数 (/m ²)	収量 (g/m ²)	稈長 (cm)	倒伏程度 (0~4)	穎果数 (/m ²)	収量 (g/m ²)
D0	77.7a	3.5a	32729a	588a	77.7ab	0.8a	35353a	661a
D1	79.4ab	2.3b	33857a	659ab	75.0a	0.0a	32686a	670a
D2	84.1bc	0.3c	34731a	724b	80.5b	0.0a	33758a	642a
D3	85.7c	0.3c	35437a	720b	80.7b	0.0a	34437a	670a
F値	11.51**	70.7**	0.74	19.28**	9.83**	6.28*	0.31	0.28

第6表 稈長、倒伏程度および収量の比較 (試験II:1998).

処理区	どまんなか				S-201			
	稈長 (cm)	倒伏程度 (0~4)	穎果数 (/m ²)	収量 (g/m ²)	稈長 (cm)	倒伏程度 (0~4)	穎果数 (/m ²)	収量 (g/m ²)
D0	80.4a	3.5a	30306a	491a	73.6a	0a	30123a	676a
D1	80.4a	2.2b	29669a	568ab	72.2a	0a	27796a	643a
D2	78.7a	1.0c	30404a	627b	70.4a	0a	28557a	643a
D3	83.1a	0.8c	33548a	653b	73.5a	0a	30748a	652a
F値	3.21	38.8**	3.54	7.17*	0.92	-	1.37	0.81

第7表 各処理区における玄米の外観品質 (試験II).

処理区	1997				1998			
	整粒(%)	乳白(%)	腹白(%)	青米(%)	整粒(%)	乳白(%)	腹白(%)	青米(%)
D0	78.5a	6.0a	8.4b	5.8b	75.7a	7.5b	10.0a	5.4a
D1	81.2ab	6.9a	5.5ab	5.7b	79.9a	4.6ab	6.4a	8.1a
D2	87.2b	4.7a	5.6ab	1.1a	82.6a	3.1a	7.1a	5.7a
D3	83.7ab	5.4a	7.0ab	2.6ab	79.3a	3.0a	7.6a	9.6a
移植	86.4ab	4.8a	3.0a	2.6ab	81.5a	3.2a	9.2a	2.9a

供試品種はいずれも「どまんなか」である。

統計解析は、逆正弦変換した値を用いて行った。

区において高い収量が得られた。一方、耐ころび型倒伏性の強い「S-201」では常時湛水としたD0区でも倒伏程度は1以下であった。m²当たりの収量については区間で有意差はなく、D0区で661g、落水管理を3回処理したD3区でも670gであった。1998年の結果も1997年とほぼ同様で、「どまんなか」では倒伏程度が落水管理を実施した区で顕著に軽減され、収量も増大する傾向を示し、「S-201」ではD0区でも倒伏はみられず、収量に有意差は認

められなかった(第6表)。外観品質に及ぼす水管理条件の影響を調査した結果は第7表に示した通りである。対照とした移植栽培における品質に比べ、倒伏が顕著に発生したD0区で1997年の場合は腹白粒、1998年は乳白粒の比率が高まる傾向がみられたが、倒伏程度の軽微であったD2、D3区では整粒比率、乳白粒、腹白粒のいずれも移植栽培との間に有意な差はみられなかった。

考 察

試験Ⅰでは落水管理を繰り返すことにより、押し倒し抵抗で示される株支持力が顕著に増大することが明らかとなった。しかもこうした効果は、播種深度 10 mm 以上で栽培した場合だけでなく、播種深度が 1 mm 以下の表面播きにおいてもほぼ同様であった。落水管理による耐倒伏性の向上は、3 年に渡る表面散播の試験（試験Ⅱ）においても認められ、落水管理を繰り返して実施することにより倒伏程度は有意に軽微となり、倒伏による収量低下も軽減された。試験Ⅱでは押し倒し抵抗の測定は実施していないが、落水管理を行った区の稈長は常時湛水区に比較して短縮する傾向は見られず、また穎果数からみて生育量の低下もなかったと考えられることから、試験Ⅰと同様に落水管理に伴う株支持力の改善を通じ、倒伏軽減が得られたものと推察された。

こうした本研究の結果は、上村ら（1985）の報告で示された結果とは異なっている。上村ら（1985）は中干しの耐倒伏性への影響を播種深度との関係から検討し、播種深度が 0 mm となる表面播種では、押し倒し抵抗に対する中干しの影響がほとんどみられないと報告している。上村ら（1985）の場合、中干しの期間が 6 日間と比較的短く、また押し倒し抵抗が、中干しを実施した時期から約 50 日以上経過した乳熟期の 9 月 20 日に測定されている。一方、本研究における押し倒し抵抗の測定は穂揃い期に実施しており、落水管理の終了後から測定までの日数は、D1 区の場合では約 30 日後、D2 区や D3 区の場合は 2 日ないし 5 日後と比較的短い間隔の後に測定を行った。こうした測定時期の違いが水管理条件の影響の評価に違いを生じた要因の一つと考えられる。また、上村ら（1985）は播種深度の浅い処理区では変動係数が大きいことを示しており、表面播きで水管理の影響が明確でなかったのは、測定株間のばらつきが大きかったことによる可能性もある。本研究では 2 年間に渡り水管理の押し倒し抵抗への影響を検討した結果、いずれの年次においても統計的に有意な差が認められ、また 3 年間に渡って実施した表面散播栽培においても、落水管理は出穂後 30 日目の倒伏程度に対して軽減効果を示した。したがって、穂揃い期における押し倒し抵抗で示された落水管理による株の支持力の改善は、その後の登熟期間における耐倒伏性に対しても影響したとみられ、中干し等の落水管理は表面散播栽培を含む播種深度の浅い直播栽培においても有効であると判断された。

以上のような落水管理の株支持力に及ぼす影響の要因については、本研究の範囲では解析を行うに十分な調査を行っていないが、二つの可能性が考えられる。一つは落水管理に伴う根の発達である。宮坂（1970）は、排水処理により根の発達域が深くなる傾向にあることを指摘し、特に生殖生長期に排水した場合でその傾向がより顕著であることを明らかにした。また、狩野ら（1994）も同様の傾向を観

察している。一方、寺島ら（1994）は、アメリカ品種等耐ころび型倒伏性の強い品種で土壌の深層に根をより多く分布させる傾向にあることを明らかにしている。中干し等落水管理によって根の深層への発達が進められるのであれば、これに伴って株支持力も向上した可能性がある。もう一点は土壌の硬度の変化である。寺島ら（1995）は土壌の硬度を人為的に変えた処理を行い、土壌の硬度が高まるに伴い根の単位重量当たりの押し倒し抵抗が高まることを明らかにしている。中干しにより、土壌の物理的条件が変化し、硬度が高まると推察され、このことが株支持力を高める結果につながったのではないかと考えられる。こうした水管理条件の影響要因を明らかにするには、さらに水管理条件に伴う根の発達面と土壌硬度の変化を株支持力との間で相互に比較検討する研究の実施が必要であろう。

本研究では倒伏軽減のための落水管理が収量形質に及ぼす影響を検討した。特に、倒伏が生じない場合の効果をみるため、耐ころび型倒伏性にすぐれるアメリカ品種を用いてその影響を表面散播栽培で比較検討した。その結果、約 1 週間程度の落水管理を中干し期以降、生殖生長期、登熟初期を含め 3 回実施した区においても、収量の有意な低下は認められなかった。移植水稻と比較した玄米の外観品質にも落水管理の影響はみられなかった。本研究の場合、落水期間中も適度の降雨や温度条件が確保され、生育に影響を及ぼす極度の乾燥や低温等が生じなかった（第 1 表）。このことが倒伏の有無にかかわらず落水管理で収量や品質の低下がみられなかった一因と考えられる。寒冷地ではこうした生殖生長期の落水は幼穂の保温に問題を生じ、冷温条件下では不稔の発生を助長する。また、登熟初期の落水は高温条件での品質低下につながる可能性も指摘されており（佐々木ら 1984）、十分な注意を必要とする。しかし、こうした不良気象条件でなければ、生育中期以降の落水管理による減収は生じないとみて良いであろう。例えば、瀬古（1962）は移植水稻を対象に出穂前 37～28 日、もしくは 27～18 日の間の中干しが収量に及ぼす影響を検討しているが、これらの処理によっても収量に標準区と差のないことを明らかにしている。久保田（1990）は移植水稻に関する中干しの収量形質に及ぼす影響を検討し、中干しを含め落水処理はいずれも窒素吸収量が低下し、有効穂数が少なくなるが、受光態勢の向上によって登熟歩合や稈実粒数を高め、増収している例が多いとしている。飯田ら（1990）は移植水稻を対象に落水管理の試験を行い、分けつ終期、穂首分化期、減数分裂期前期の 3 回にわたって数日間排水を行った区で減数分裂期前期のみ排水を行った区より高い収量が得られたことを報告した。以上の点から、気象条件に留意した上で実施すれば、生育後期に反復して落水管理を行うことは、直播水稻の倒伏を軽減して収量、品質を安定化させるのに有効と判断された。特に、従来より直播の倒伏軽減対策として重視されてきた播種深度に比較し、中干し等水管理条件の方が押し倒し抵抗に対してよ

り顕著な向上効果を示した事は、安定度の高い湛水直播栽培法の確立を図る上で重要な示唆を与えるものと考え、

引用文献

- 芳賀光司・香村敏郎・高松美智則・朱宮昭男・釈一郎 1977. 水稻直播用品種の育成に関する研究. 第1報 湛水直播における稲品種の耐ころび型倒伏性. 愛知県農総試研報 A9:13-23.
- 飯田周治・新村善男・上森晃・久津那浩三 1990. 生育中期の水管理が水稻生育収量に及ぼす影響. 日作紀 59:413-418.
- 久保田勝 1990. 生育調整と水管理. 稲作大百科 III 基本技術, 生育診断. 農山漁村文化協会, 東京. 281-285.
- 狩野幹夫・北野順一・中澤伸夫 1994. 関東東海地域の水稲湛水土壤中散播栽培における水管理法. 関東東海農業の新技术 10号. 関東東海農業試験研究推進会議・農業研究センター, つくば. 87-91.
- 宮坂昭 1970. 北陸地方の湿田における排水の効果について. 北陸農業試験場報告 12:1-79.
- 西尾隆雄・石脇勇・柳沢建彦 1966. 水稻湛水直播栽培の倒伏防止に関する二, 三の考察. 鳥取農試研報 7:1-8.
- 佐々木康之・今井良衛・細川平太郎 1984. 高温下で登熟する玄米品質の劣化防止技術. 新潟県農試研報 33:45-54.
- 瀬古秀生 1962. 水稻の倒伏に関する研究. 九州農誌彙報 7:419-499.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996. 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し倒し抵抗の比較. 日作紀 65(別1):14-15.
- 滝田正・榊渕欽也 1983. 直播栽培適応型水稻品種育成における根の太さの選抜の意義と選抜法. 農研センター研報 1:1-8.
- 田守健夫・竹島修二 1970. 湛水散播直播水稻の倒伏に関する研究. 富山農試研報 4:1-6.
- 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・尾形武文・秋田重誠 1994. 直播水稻の耐倒伏性に関する生理生態的形質. 第2報 耐ころび型倒伏性品種の根の生育特性. 日作紀 63:34-41.
- 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄 1995. 直播水稻の耐倒伏性に関する生理生態的形質. 第3報 根の土層別分布と耐ころび型倒伏性との関係. 日作紀 64:243-250.
- 寺島一男・酒井究・梶本信幸 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.
- 上村幸正・松尾喜義・小松良行 1985. 湛水直播水稻の倒伏抵抗性について. 日作四国支紀 22:25-31.
- 鷲尾養 1989. 水稻湛水土壤中直播栽培における最近の動向 (1)—栽培技術の成立経過と現状—. 農業技術 44:150-153.
- 渡辺利通 1995. 倒伏抵抗性. 山本隆一・堀末登・池田良一編, イネ育種マニュアル. 農研センター研資 30:109-113.
- 安原宏宣・神田正治・角治夫・伊藤淳次・山根忠昭・中島幸次・永瀬勝正・藤原建比古・出川正幸 1992. 山陰地方における水稻湛水土中直播栽培適用条件の解明. 島根県農試研報 26:1-24.
- 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.

Effects of Irrigation Management on Lodging Tolerance and Yield of Directly Seeded Rice: Kazuo TERASHIMA^{*,(1)}, Takeshi TANIGUCHI⁽²⁾, Hitoshi OGIWARA⁽³⁾ and Takayuki UMEMOTO⁽³⁾ ⁽¹⁾MAFF Agr. For. Fis. Res. Coun. Sec., Tokyo 100-8950, Japan; ⁽²⁾Nagano Pref. Agric. Exp. Stn.; ⁽³⁾Natl. Agr. Res. Organ.)

Abstract: To elucidate the effects of irrigation management on the lodging tolerance of directly seeded rice, pushing resistance, lodging degree and yield were compared among rice plants grown under several irrigation management conditions differing in the frequency and length of drainage treatment. A higher value of pushing resistance was found in the field plot drained more frequently and for a longer duration. This tendency was approximately similar among rice plants seeded at different seeding depths including rice plants seeded in shallow layers less than 1 mm depth from the soil surface. The field lodging degree of broadcasted rice to the soil surface was significantly improved by drainage. Although serious lodging occurred in the field plot submerged continuously, less lodging was found in the field plot with more frequent and longer drainage treatment without a significant decrease in grain yield and quality.

Key words: Direct seeding, Irrigation management, Pushing resistance, Rice, Root lodging.