

研究・技術ノート

水稻コシヒカリ同質遺伝子品種ヒカリ新世紀の耐倒伏性

伊田黎之輔¹⁾・富田因則²⁾

(¹⁾ 鳥取県八頭農業改良普及所, (²⁾ 鳥取大学農学部)

要旨：十石に由来する半矮性遺伝子 *sd1* を持つコシヒカリ同質遺伝子品種であるヒカリ新世紀の倒伏関連形質について、堆肥施用条件下において検討した。ヒカリ新世紀の最長稈長や平均稈長はコシヒカリに比べていずれも短く、短稈品種であった。出穂期後 26～30 日に測定したヒカリ新世紀の第 4 節間（穂首節間を第 1 節間とする）の挫折荷重はコシヒカリと同等の強度を示した。このときのヒカリ新世紀の曲げモーメント（挫折荷重を測定した節間以上の長さ×重さの積）はコシヒカリに比べて小さく、これは短稈化による地上部長の短縮による影響が大きかった。このため、ヒカリ新世紀の倒伏指数（曲げモーメント・挫折荷重⁻¹・100）は 127～100 で、コシヒカリの 173～148 に比べて小さかった。倒伏のみられた年次の収穫期におけるヒカリ新世紀の倒伏程度（0：倒伏無～4：倒伏程度甚の 5 段階表示）は 1.1 で、コシヒカリの 2.6 に比べて小さく、倒伏指数の小さいことと対応した関係がみられた。以上のことから、ヒカリ新世紀の耐倒伏性が優れた要因は、倒伏関連形質からみると、曲げモーメントの低下による影響が大きく、第 4 節間の強度には影響されないと判断された。

キーワード：挫折荷重、倒伏指数、倒伏程度、同質遺伝子品種、半矮性遺伝子 *sd1*、ヒカリ新世紀、曲げモーメント。

水稻品種コシヒカリは消費需要が多い一方、倒伏しやすいことが栽培上の難点として挙げられている。2004 年に農林水産省において品種登録されたヒカリ新世紀は、コシヒカリに半矮性遺伝子 *sd1* を全国で初めて導入したコシヒカリ短稈同質遺伝子品種である（富田 2006）。ヒカリ新世紀の食味や品質はコシヒカリと同等であり、2003 年以来、秋田県から大分県まで 16 県において個人レベルで作付けが進んでいる（富田 2006）。

鳥取県東部に位置する八頭農業改良普及所管内において、現在、地元の畜産農家から産出される堆肥の有効活用を図り、循環型農業への取組みの手段として、コシヒカリに比べて耐倒伏性の勝るヒカリ新世紀を集団的に導入しようとする機運が芽生えつつある。従来からヒカリ新世紀は短稈のため倒伏に強いことはよく知られていたが、耐倒伏性に関する解析的研究は皆無である。普及現場への科学的な知識の提供は重要であり、このため、2006 年および 2007 年に鳥取県八頭郡八頭町の現地圃場において、ヒカリ新世紀の倒伏関連形質について二、三の調査を行い、ヒカリ新世紀の耐倒伏性に関与する要因を明らかにしたので報告する。

材料と方法

1. 実験計画

第 1 表 a に示したように、2006 年は鳥取県八頭郡八頭町池田の現地農家圃場において、コシヒカリ、ヒカリ新世紀、ゆめそらをを用いて 3 ブロック乱塊法実験を実施した。移植（手植え）は 6 月 4 日に不完全葉を第 1 葉とするコシヒ

カリ 3.9 葉苗、ヒカリ新世紀 3.9 葉苗、ゆめそら 3.8 葉苗を用い、いずれも 16.7 株 m⁻² (30 cm×20 cm)、1 株 2 本植とした。

2007 年は鳥取県八頭郡八頭町米岡の現地農家圃場において、コシヒカリ、ヒカリ新世紀を用いて 3 ブロック乱塊法実験を実施した（第 1 表 b）。移植（手植え）は 6 月 3 日に不完全葉を第 1 葉とするコシヒカリ 3.5 葉苗、ヒカリ新世紀 3.6 葉苗を用い、いずれも 20.8 株 m⁻² (30 cm×16 cm)、1 株 3 本植とした。

2006 年および 2007 年に供試したヒカリ新世紀は、コシヒカリの早生突然変異体である「関東 79 号」と半矮性遺伝子 *sd1* を持つ「十石」の雑種第 4 代選抜個体を 1 回親、「コシヒカリ」を反復親として戻し交配を 8 回行い育成された固定品種であり、農林水産省において 2004 年に「ヒカリ新世紀」として品種登録された（品種登録番号第 12273 号、

第 1 表 因子と水準。

a 2006 年				
因子	記号	1 水準	2 水準	3 水準
ブロック	<i>R</i>	<i>R</i> ₁	<i>R</i> ₂	<i>R</i> ₃
品種	<i>V</i>	コシヒカリ	ヒカリ新世紀	ゆめそら
圃場：中粗粒灰色低地土、1 区面積：3.6 m ² (1.2 m×3.0 m)。				
b 2007 年				
因子	記号	1 水準	2 水準	3 水準
ブロック	<i>R</i>	<i>R</i> ₁	<i>R</i> ₂	<i>R</i> ₃
品種	<i>V</i>	コシヒカリ	ヒカリ新世紀	
圃場：中粗粒灰色低地土、1 区面積：5.8 m ² (1.8 m×3.2 m)。				

2004年). 一方, 2006年に供試した「ゆめそらら (旧系統名: 鳥系 IL1 号)」は, 半矮性遺伝子 *sd1* を持つ短稈品種「アキヒカリ」を1回親, 「コシヒカリ」を反復親として戻し交配を6回行い育成された固定品種で, 農林水産省において2007年に出願公表された. ヒカリ新世紀とともにゆめそららは半矮性遺伝子 *sd1* を持つコシヒカリの短稈同質遺伝子品種として有望と考えられたので, 比較検討に加えた. ヒカリ新世紀, ゆめそららはコシヒカリに比べていずれも短稈, 同熟期, 食味もほぼ同等の評価がなされている (富田 2006, 注: 鳥取県農業試験場平成18年度試験研究成績概要集, 2007).

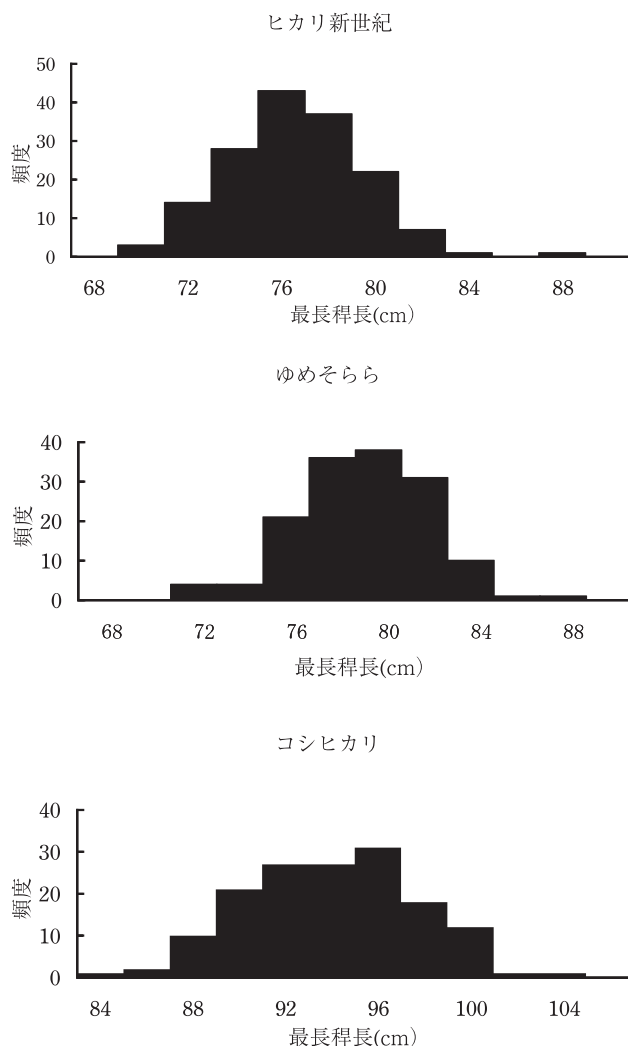
本県のコシヒカリ栽培における堆肥の基準的な施用量の上限は 2 kg m^{-2} であるが, 倒伏の懸念から堆肥が施用されている事例は極めて少ない. 2006年における試験では品種の耐倒伏性を明らかにする目的で, 前年に堆肥 4 kg m^{-2} を施用した飼料用水稲が栽培された圃場を選定し, 堆肥 2 kg m^{-2} を基肥施用した. 化成肥料は移植後14日にN成分 2 g m^{-2} のみ施用した. 2007年は前年に堆肥 2 kg m^{-2} を施用した圃場に同量の堆肥を基肥施用し, 堆肥のみで栽培を行った.

2. 稈長および節間長調査

稈長および節間長の調査は2006年に行い, 平均穂数に近似した穂数株群から穂高が中位にある1株 (稈長測定株と称する) を選別し, 全稈について節間長を測定した. 各節間長の平均値を求めて平均節間長とし, これらの合計を平均稈長として示した. 節間の呼称は, 穂首節から下向きに第1節間 (N_1), 第2節間 (N_2), …とし, 節間長の測定は2 mm以上の伸長節間を対象にした. なお, 稈長測定株の1株当たり穂数は, コシヒカリ16~17本, ヒカリ新世紀19~20本, ゆめそらら16~19本であった.

3. 倒伏関連形質調査

倒伏に関連した形質の調査は瀬古 (1962) の方法に準じて行った. すなわち, 地上部長は $N_4 \leq$ の節間長 + 穂長, 地上部重は $N_4 \leq$ の茎葉重 + 穂重, 曲げモーメントは地上部長 \times 地上部重, 挫折荷重は藁稈強度測定機 (ホルデフライス式, 木屋製作所) を用い, 支点間距離5 cmにおける N_4 節間 (葉鞘付き) の中央部において測定した. 倒伏指数はモーメント \cdot 挫折荷重 $^{-1} \cdot 100$ で示した. この方法は測定に熟練を要するのが欠点であるが, 倒伏に関与する要因を分解的に把握できる点においては優れている. 本報における調査個体は, 観察により1区から生育中庸な5株を掘取り, 各株から下位の一次分げつを2本, 合計10本を選別し, 新鮮な状態で調査に供した. 測定対象個体の乾燥を防ぎ, 測定値の均質性を保つために, ブロック単位でのサンプリング直後に測定を実施した. 2006年は9月8日および9日 (出穂期後28~30日に当たる) に, 2007年は9月9日 (出穂期後26~27日に当たる) に調査を行った.



第1図 最長稈長の度数分布.

ヒカリ新世紀: $75.6 \pm 2.9 \text{ cm}$, ゆめそらら: $78.4 \pm 2.8 \text{ cm}$, コシヒカリ: $93.1 \pm 3.7 \text{ cm}$. いずれも平均値 \pm 標準偏差で示す.

4. 倒伏程度調査

稲体の倒伏程度は, 株基部から穂首節までの傾斜角度に基づいて無 (0), 少 (1), 中 (2), 多 (3), 甚 (4) に5分級した. あわせて観察によってそれぞれの倒伏程度を示した圃場部分の面積比率を求めた. 圃場の倒伏程度は倒伏分級値に面積比率を乗じた値を積算して求めた.

2006年の調査は9月8日 (出穂期後28~29日に当たる) および9月20日 (出穂期後40~41日に当たる) に行った. 2007年は全区とも倒伏はみられなかった.

5. データの解析法

品種ごとにみた最長稈長の母集団分布の正規性の検定は, 累積率 (k -統計量) を用いて歪度, 尖度を求め, これらが零とみなせるときに正規分布であるとする Fisher の方法 (石川 1985) に従った. その他のデータの解析は *post hoc* な立場をとり, 分散分析により処理効果の有意性を検

第2表 稈形質データ, 分散分析.

水 準	平 均 値 (cm)									
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	上部節間 (N ₁ ~N ₃)	下部節間 (N ₄ ≥)	平均稈長	最長稈長
V ₁	37.8	20.3	15.1	7.8	1.9	0.6	73.2	10.0	83.3	93.1
V ₂	35.0	17.0	11.3	5.3	1.2	0.0	63.3	6.5	69.8	75.6
V ₃	36.4	17.4	11.6	5.6	1.2	0.0	65.3	6.8	72.2	78.4

要 因	d.f.	平 均 平 方									
		N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	上部節間 (N ₁ ~N ₃)	下部節間 (N ₄ ≥)	平均稈長	最長稈長
R: ブロック	2	1.85	0.06	0.33	0.10	0.05	0.36	4.54	0.14	6.23	6.10
V: 品 種	2	5.74*	10.49**	13.12**	5.19**	0.51	0.36	82.81**	11.16**	155.61**	318.89**
誤 差	4	0.77	0.19	0.37	0.26	0.17	0.36	3.03	0.41	4.27	6.17

水 準	p 値									
	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	上部節間 (N ₁ ~N ₃)	下部節間 (N ₄ ≥)	平均稈長	最長稈長
V ₁ - V ₂	0.1	0.01>	0.01>	0.01>	0.1	0.8	0.01>	0.01>	0.01>	0.01>
V ₁ - V ₃	0.3	0.01>	0.01>	0.01>	0.1	0.8	0.01>	0.01>	0.01>	0.01>
V ₂ - V ₃	0.3	0.2	0.7	0.5	0.9	1.0	0.2	0.6	0.2	0.2

V₁: コシヒカリ, V₂: ヒカリ新世紀, V₃: ゆめそらら.

d.f. は自由度, 平均平方に付した *, ** は分散比 F がそれぞれ 5%, 1% 水準で有意であることを示す.

N₁~N₆ は節間を示す (穂首節間を N₁ とする).

多重比較は Holm の方法 (永田・吉田 2004) により, 表中の数値は検定統計量の値を 0~1 に変換した p 値で示した.

定し, その後に Bonferroni の方法の改良版である Holm の方法 (永田・吉田 2004) による多重比較を行った. 分散分析および多重比較の R プログラムは三中 (2007), 統計言語 R (Ver. 2.5.1) は R Development Core Team (2007) によった.

結果と考察

1. 最長稈長, 平均稈長, 平均節間長の特徴

第1図は第1表aに示したコシヒカリ, ヒカリ新世紀およびゆめそららの成熟期に全栽植株を掘り上げ, 株ごとの最長稈長を測定して品種別に度数分布を作成したものである. これらの母集団分布はいずれも正規とみなされた (データ省略). 最長稈長はコシヒカリが最も長く (93.1 ± 3.7 cm, 平均値 \pm 標準偏差, 以下同様), ヒカリ新世紀 (75.6 ± 2.9 cm) およびゆめそらら (78.4 ± 2.8 cm) はこれに比べて短稈であることがわかる. 最長稈長の変動係数 (標準偏差 \div 平均値 $\times 100$) はコシヒカリが 4.0%, ヒカリ新世紀が 3.8%, ゆめそららが 3.5% であり, 成熟期における日本晴の最長稈長の変動係数は 3.4 (機械移植)~4.0% (手植え) を示すとする楠田 (1994) の結果と一致した.

第2表には 2006 年における最長稈長, 平均稈長および平均節間長の分散分析の結果を示した. N₁~N₄ の平均節間長, 平均上部節間 (N₁~N₃) 長, 平均下部節間 (N₄≥) 長, 平均稈長および最長稈長においてはいずれも品種に有意性が認められた. 品種間の差について Holm の方法により検定した結果, いずれの形質においてもヒカリ新世紀≒ゆ

めそらら<コシヒカリであり, ヒカリ新世紀とゆめそららはコシヒカリに対してそれぞれ有意に短くなった.

以上のように, ヒカリ新世紀はコシヒカリに比べて上部節間 (N₁~N₃) および下部節間 (N₄≥) のいずれも短く, 平均稈長および最長稈長が短稈化しており, ゆめそららについても同様であることがわかった.

2. 倒伏関連形質の特徴

第3表aおよびbには倒伏関連形質についての分散分析結果と水準間の有意差について, Holm の方法 (永田・吉田 2004) による多重比較結果を示した. 2006 年における倒伏指数はヒカリ新世紀 127 ≒ ゆめそらら 138 < コシヒカリ 173 であり, ヒカリ新世紀およびゆめそららのいずれもコシヒカリに対して有意に低下した. 2007 年における倒伏指数はいずれの品種においても低下したが, ヒカリ新世紀 100 < コシヒカリ 148 であり, 前年と同様な傾向を示した. 挫折荷重 (N₄, g) はいずれの年次においても品種間に差はなく, 同等の強度と判断された. 2006 年における曲げモーメント (g・cm) はゆめそらら 1270 ≒ ヒカリ新世紀 1279 < コシヒカリ 1789 であり, 倒伏指数と同様な傾向がみられた. 2007 年の曲げモーメント (g・cm) はいずれの品種においても低下したが, ヒカリ新世紀 628 < コシヒカリ 801 であり, 前年と同様な傾向を示した.

2007 年の倒伏指数はいずれの品種においても前年に比べて小さくなった. これは, 前年に比べると挫折荷重はコシヒカリで 48%, ヒカリ新世紀で 37% といずれも減少した

第3表 倒伏関連形質の分散分析.

a 2006 年

水 準		平 均 値				
		地上部長 (cm)	地上部重 (g)	曲げモーメント (g・cm)	挫折荷重 (g)	倒伏指数
V_1		108.8	16.4	1789.1	1051.2	173
V_2		87.3	14.1	1278.6	1012.1	127
V_3		92.9	13.7	1269.7	934.5	138
要 因		平 均 平 方				
		地上部長	地上部重	曲げモーメント	挫折荷重	倒伏指数
R : ブロック	2	8.50	0.22	8304	1799	28.8
V : 品 種	2	293.31***	6.66*	265267**	10572	1683.4*
誤 差	4	1.24	0.61	8866	4292	189.1
水 準		p 値				
		地上部長	地上部重	曲げモーメント	挫折荷重	倒伏指数
$V_1 - V_2$		0.01>	0.05>	0.01>	0.5	0.01
$V_1 - V_3$		0.01>	0.01>	0.01>	0.2	0.02
$V_2 - V_3$		0.2	0.5	0.9	0.3	0.4

 V_1 : コシヒカリ, V_2 : ヒカリ新世紀, V_3 : ゆめそらら.*d.f.* は自由度, 平均平方に付した *, **, *** は分散比 F がそれぞれ 5%, 1%, 0.1% 水準で有意であることを示す. 多重比較は Holm の方法 (永田・吉田 2004) により, 表中の数値は検定統計量の値を 0~1 に変換した *p* 値で示した.

b 2007 年

水 準		平 均 値				
		地上部長 (cm)	地上部重 (g)	曲げモーメント (g・cm)	挫折荷重 (g)	倒伏指数
V_1		92.8	8.6	800.8	547.4	148
V_2		78.3	8.0	627.7	635.2	100
要 因		平 均 平 方				
		地上部長	地上部重	曲げモーメント	挫折荷重	倒伏指数
R : ブロック	2	2.84	2.56	22841	7426	28.7
V : 品 種	1	301.04**	0.67	44980 [†]	11580	3504.2*
誤 差	2	1.12	0.48	3990	5995	132.7
水 準		p 値				
		地上部長	地上部重	曲げモーメント	挫折荷重	倒伏指数
$V_1 - V_2$		0.01>	0.54	0.14	0.26	0.01>

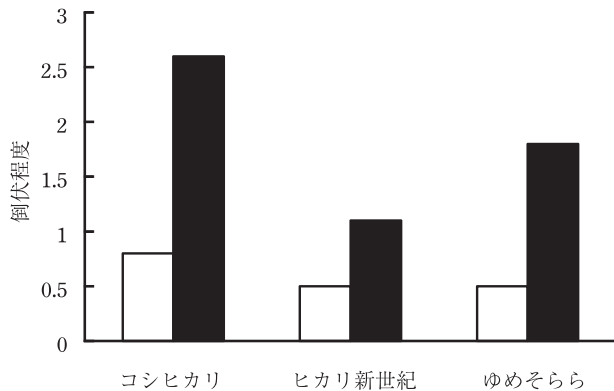
 V_1 : コシヒカリ, V_2 : ヒカリ新世紀.*d.f.* は自由度, 平均平方に付した[†], *, ** は分散比 F がそれぞれ 10%, 5%, 1% 水準で有意であることを示す.多重比較は Holm の方法 (永田・吉田 2004) により, 表中の数値は検定統計量の値を 0~1 に変換した *p* 値で示した.

が, 同様に曲げモーメントはコシヒカリで 55%, ヒカリ新世紀で 51% とそれぞれ減少したためである. 曲げモーメントを構成する地上部長および地上部重や挫折荷重の値から, 堆肥 2 kg m⁻² のみを 2 年間連年施用した栽培条件は栄養面において不十分であったことが伺われる.

以上から, 曲げモーメントおよび挫折荷重の測定値, 両者から算出される倒伏指数はいずれも年次による変動の大きいことが認められた. しかし, いずれの年次においても, コシヒカリとヒカリ新世紀の倒伏指数の違いは曲げモーメントの大小に左右され, 節間 (N_4) の強度には左右されないことがわかった.

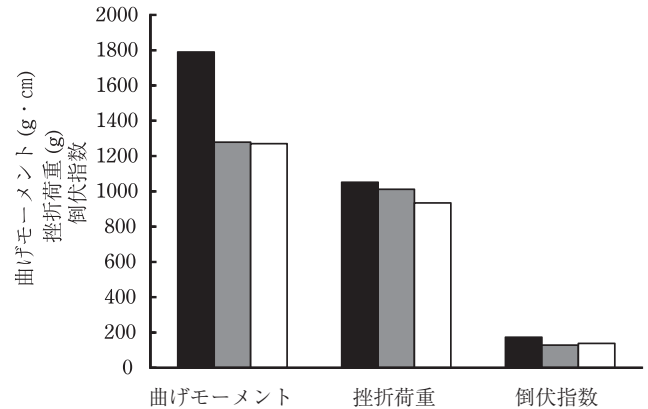
3. 圃場における倒伏程度

第2図は 2006 年における倒伏程度の推移について, 第4表は倒伏程度についての分散分析結果と水準間の有意差について, Holm の方法 (永田・吉田 2004) による多重比較結果を示したものである. これによると, 9月8日 (出穂期後 28~29 日に当たる) には品種間差は明瞭でなかったが, 9月20日 (出穂期後 40~41 日に当たる) になると歴然とした差が認められた. すなわち, コシヒカリの倒伏程度が 2.6 と最も大きく, ヒカリ新世紀 (1.1) およびゆめそらら (1.8) のいずれに対しても有意な差がみられた. しかし, ヒカリ新世紀とゆめそららとの間には有意な差はなかった. 第3図は第3表 a の倒伏関連形質を図示したも



第2図 倒伏程度の推移。

□：9月8日，■：9月20日



第3図 倒伏関連形質の相違。

■：コシヒカリ，■：ヒカリ新世紀，□：ゆめそらら

第4表 倒伏程度の分散分析および多重比較。

要 因	d.f.	分散分析		水準間	多重比較	
		9月8日	9月20日		9月8日	9月20日
R：ブロック	2	0.014	0.274	$V_1 - V_2$	0.1	0.05
V：品 種	2	0.071 [†]	1.408*	$V_1 - V_3$	0.1	0.05
誤 差	4	0.014	0.179	$V_2 - V_3$	1.0	0.8

 V_1 ：コシヒカリ， V_2 ：ヒカリ新世紀， V_3 ：ゆめそらら。d.f. は自由度，平均平方に付した[†]，* は分散比 F がそれぞれ 10%，5% 水準で有意であることを示す。多重比較は Holm の方法（永田・吉田 2004）により，検定統計量の値を 0～1 に変換した p 値で示した。

のであるが，倒伏指数の大小は第2図に示した倒伏程度の大小とよく対応していることがわかる。瀬古（1962）は倒伏の起こりやすい時期は出穂期後30日ころで，倒伏指数（支点間距離5cm）が200を越すと倒伏する危険性が生じることを指摘している。2006年は9月5日から6日の降雨によりコシヒカリ，ヒカリ新世紀，ゆめそらのいずれの品種も倒伏がみられ始め，その後9月10日，13日，16日の降雨，18日の台風13号（強風）の影響により倒伏が助長された。一方，2007年は登熟期間の大半が高温・多照，記録的な少雨で経過し，倒伏を特に助長する気象条件はなかった。これに加えて，堆肥2kg m⁻²のみを2年間連年施用した栽培条件によって稲体の生長量が小さく，このことが穂重や茎葉重の減少をもたらし，倒伏し難い稲体になっていたことが推察される。

謝辞：本実験に際し，ゆめそらら（旧鳥系IL1号）の種子は鳥取県農業試験場作物研究室から分譲していただいた。ここに記してお礼を申し上げます。

引用文献

- 石川栄助 1985. 実務家のための新統計学. 槇書店, 東京. 196-201.
- 楠田幸 1994. 水稻の圃場試験調査法の改善に関する基礎的研究. 中国農試報 13: 5-20.
- 三中宏 2007. 租界Rの門前について.
<http://cse.niaes.affrc.go.jp/minaka/R/R-top.html> (2008/4/1閲覧).
- 永田靖・吉田道弘 2004. 統計的多重比較法の基礎. サイエンティスト社, 東京. 81-103.
- 農林水産省品種登録ホームページ <http://www.hinsyu.maff.go.jp> (2008/4/1閲覧).
- R Development Core Team 2007. A language and environment for statistical computing R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria. ISBN3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>. (2007/10/30閲覧).
- 瀬古秀生 1962. 水稻の倒伏に関する研究. 九州農試彙報 7: 480-484.
- 富田因則 2006. 短稈コシヒカリ型的水稻新品種『ヒカリ新世紀』の開発. 育種学研究 8 (別1): 238

Lodging-related Characteristics of Hikari-Shinseiki, an Isogenic Variety of Koshihikari : Reinosuke IDA¹⁾ and Motonori TOMITA²⁾

(¹⁾Yazu Agric. Ext. Off., Yazu, Tottori 680-0461, Japan; ²⁾Fac. Agr., Tottori Univ.)

Abstract : Hikari-Shinseiki, a variety registered in 2004, is an isogenic variety of Koshihikari which has the semidwarfing gene *sd1* derived from variety Jikkoku. In this study, we examined lodging-related characteristics of Hikari-Shinseiki, which is presumed to be hard to lodge because of its short culm, under conditions of compost application. Hikari-Shinseiki is a short-culm variety with longest culm length 19 cm shorter, and average culm length 14 cm shorter than Koshihikari. The breaking load of the fourth internode of Hikari-Shinseiki at 26–30 days after heading was comparable to that of Koshihikari. At the same time, the bending moment (length · weight above the internode where the breaking load is measured) of Hikari-Shinseiki was smaller than that of Koshihikari, showing the impact of the reduction in the top length attributable to the shorter culm. Consequently, the lodging index (bending moment · breaking load⁻¹ · 100) of Hikari-Shinseiki was 127–100, which was smaller than that of Koshihikari 173–148. The degree of lodging on a scale of 0 (none) to 4 (severe) of Hikari-Shinseiki in the field at the time of harvest was 1 . 1, which was smaller than that of Koshihikari 2 . 6 and well consistent with the breaking load values. These results revealed that the lodging resistance of Hikari-Shinseiki is primarily attributable to the reduced bending moment, and to the strength of the fourth internode counted from the first panicle neck internode.

Keywords : Bending moment, Breaking load, Degree of lodging, Hikari-Shinseiki, Isogenic variety, Lodging index, Semidwarfing gene *sd1*.
