

高冷地における水稲の生育中期深水処理の倒伏軽減効果

Lodging Reduction Effect at Middle of Growth Rice by Deep Water Treatment in High Altitude Cool

森元信行・中村洋一*・春口真一**・三ツ川昌洋・上野育夫***・坂梨二郎

Nobuyuki MORIMOTO, Youichi NAKAMURA, Shinichi HARUGUCHI, Masahiro MITSUKAWA, Ikuo UENO and Jiro SAKANASHI

要 約

高冷地における水稲の中干しの代替となる生育制御技術である生育中期深水処理について、倒伏軽減効果および収量・品質への影響を‘コシヒカリ’および‘ヒノヒカリ’を用いて調査した。その結果、両品種とも有効分げつ決定期前にあたる9葉期に連続10日間の深水処理（水深10～12cm）を行うことで、無効分げつが抑制され、稈基重が重くなり、茎が充実したことによって倒伏が軽減する効果が認められた。また、深水処理により穂数が減少するが一穂粒数の増加によって粒数が確保され、さらに登熟が向上することで増収することが判明した。

キーワード：高冷地水稲，深水，倒伏軽減，コシヒカリ，ヒノヒカリ

I 緒言

水稲の倒伏は作業性を著しく困難にするとともに登熟が低下し、収量・品質に大きな影響を及ぼす。倒伏は曲げモーメント、風雨などの外力と下位節間（第Ⅳ、Ⅴ節間）の挫折抵抗との相互関係で説明される¹⁾。また、下位節間の挫折抵抗には節間の長さや太さが大きく影響することから²⁾、下位節間の過剰な伸長は倒伏のリスクが増大すると言える。このため、特に倒伏しやすい長稈品種は移植後から間断灌漑を行い、生育中期に強めの中干しにより、節間伸長を抑制する管理が必要とされる。しかし、高冷地の普通期早植え栽培では中干しの時期（6月下旬から7月中旬頃）が梅雨盛期と重なるため、年次によっては降雨の影響で中干し管理が徹底できず、倒伏による収量・品質低下が多発する現状にあり、生産現場からは中干しに代わる倒伏軽減技術が求められている。特に、阿蘇地域の一部および当試験地のある山都町は県内でも有数の採種地であり、種子の安定供給の面からも倒伏軽減技術の確立は極めて重要である。

水稲の深水管理については、従来から東北を中心とした寒冷地における幼穂保護や雑草の抑制技術として認識・実践されてきた。しかし、九州地域の高冷地では深水管理の知見はなく、気象的要因で中干しが実施できない場合の代替となる生育制御を目的とした事例はない。そこで、本県高冷地における主力品種である極早生で長稈の‘コシヒカリ’および中生でやや長稈の‘ヒノヒカリ’について、倒伏軽減に有効な深水処理の時期と継続期間を明らかにするとともに、深水処理による倒伏軽減が両品種の収量・品質へ与える影響を調べ、中期深水処

理の中干しに替わる生育制御技術としての有効性を検討した。

II 材料および方法

試験は上益城郡山都町上寺の農産園芸研究所作物研究室矢部試験地（標高460m、北緯32°41'29"、東経130°58'51"）の水田（厚層腐植黒ボク土）において当該地域の主力品種である極早生‘コシヒカリ’および中生‘ヒノヒカリ’を用いて2008年および2009年に実施した。両年ともに移植は5月26日に行った。試験ほ場は過去に堆肥を連用し、乾土100g当たりの可給態窒素が20mg以上と地力が高い状態にあったため、‘コシヒカリ’は無肥料とし、‘ヒノヒカリ’には窒素成分で0.2kg/aの基肥および0.2kg/aの穂肥を施した。

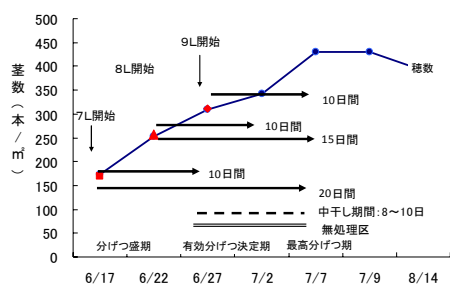
播種量100g（乾粒）/箱の中苗（30日苗）を用い、栽植密度18.5株/m²（30cm×18cm）として、1株当たり4本を手植えた。

試験区は深水処理の時期と期間の組合せに関する5水準に慣行（中干し）区および無処理（浅水）区を加えた7区で構成した（第1図）。1区面積は約26m²とし、2反復を配置した。深水処理の水深は当該試験ほ場で実施可能な最大の湛水深（10cm～12cm）とした。

深水処理の開始は、分げつ盛期から有効分げつ期間内である7葉期、8葉期、9葉期にそれぞれ達した日に実施した。なお、2008年は両種の葉齢の進展が同じであったため、深水処理時期は同日となったが、2009年は両品種の葉齢の進展が2日異なったため、深水開始時期がこれに応じて異なった。深水処理期間は処理開始時期別に定め、7葉期では20日および10日間、8葉期では15

*：宇城地域振興局農業普及・振興課 **：宇城地域振興局農業普及・振興課 ***：農業研究センター茶業研究所

日間および10日間、9葉期では10日間とした(第1図)。
 処理開始時期により、処理期間が異なる理由は、全ての
 処理を節間伸長期前に終了するためである。慣行区は有
 効分げつ決定期から最高分げつ期の間(2008年:6月28
 日~7月6日,2009年:6月28日~7月8日)に中干
 しを実施し、無処理区では慣行区の中干しと同じ期間に
 常時5cmの浅水管理を実施した。全ての試験区において
 各処理期間以外は常時間断かん水を行った。



第1図 深水処理の開始時期と茎数の推移
 注1)2008年、2009年の‘コシヒカリ’茎数の推移を表す。
 注2)グラフ中の——は深水処理期間、- - -は慣行区の中
 干し期間、——は無処理区の浅水期間を表す。
 注3)葉齢に不完全葉は含まない。

各調査項目のうち、倒伏程度は、成熟期に無、微、小、
 中、大、甚の6段階で判定した。稈質(稈長、主稈の各
 節間長、稈基重および茎径)は成熟期に採取し、風乾し
 た平均穂数サンプル5株を調査した。稈質のうち、節間
 長に関しては穂首節から次の節の間を第I節間と定め、
 以下、上位から順に節間番号を割り当て、それぞれの節
 間の長さを測定した。さらに、株から全ての稈を単離後、
 葉鞘を除去し、目視できる最下の節から10cmの位置で
 切断して測定した重量を稈基重とした。主稈の第IV節間
 の中央部について楕円の最も長い部分を長径、最も短い
 部分を短径とし、その積を茎径の積とした。収量は、1
 区につき90株(約4.9㎡)の坪刈りサンプルを用い、
 1.8mmの篩目で選別した玄米を精玄米としてその重量
 (収量)、千粒重、玄米品質を調査した。さらに、別途
 採取した各区の平均穂数サンプル5株を用いて、1穂粒
 数および登熟歩合(比重1.06の塩水選による)を調査し
 た。また、玄米品質調査(等級各付け)は有資格者に依
 頼し、農産物検査(主食用粳)に準じて実施した。

III 結果

1. 処理期間の中干し処理の実施状況

中干し期間の降水量は、2008年では平年比48%と少な
 く、中干しは十分に実施できた。2009年は平年並の降
 水量であったため、中干しはやや不十分であった。

2. 深水処理開始時期の生育

‘コシヒカリ’および‘ヒノヒカリ’の深水処理開始時
 期の茎数とその時の有効茎数の比率を第1表に示した。
 深水処理開始時の有効茎数の比率は両品種ともに7葉期

では40%程度、8葉期では60%程度であった。また、9
 葉期処理開始時の同比率は‘コシヒカリ’では80%程度、
 ‘ヒノヒカリ’では90%程度であった。

第1表 深水処理開始時の茎数および有効茎の比率

品種	7葉期処理 8葉期処理 9葉期処理		
	茎数 (本)	有効茎の比率 (%)	穂数
コシヒカリ	173	41	318
	253	61	76
ヒノヒカリ	183	46	363
	257	65	92

注1) 茎数は2008年、2009年の平均値、茎数の単位は本/㎡。

注2) 有効茎の比率=茎数/穂数×100

3. 倒伏程度および稈質

‘コシヒカリ’の倒伏程度と稈質に及ぼす深水処理の影
 響を第2表に示した。倒伏程度は、無処理区に比べ、慣
 行区および深水処理が明らかに小さかった。深水各区に
 おける10日間処理の倒伏程度では7葉期に比べ、8葉期
 および9葉期が小さかった。稈長と下位節間長(第IV節
 間長とV節間長の合計)は、深水処理に比べ慣行区が有
 意に短かったが、深水処理と無処理区の間にはほとんど
 差がなかった。7葉期の10日間処理を除き、深水処理
 区は、いずれも無処理区より稈基重が重く、茎径の積も
 大きかった。とくに8葉期処理と9葉期処理は顕著であ
 った。また、慣行区も稈基重および茎径の積は無処理区
 より増加傾向にあった。

第2表 ‘コシヒカリ’の倒伏程度と稈質に及ぼす深水処理の影響

試験区名	倒伏 程度 (0-5)	稈長 (cm)	第IV+V 節間長		稈基重 (g/株)	茎径 の積 (mm ²)	
			(cm)	比率 (%)			
慣行区	2.7	88 b	8.4 b	(78)	251	6.4 b	
無処理区	3.9	93 a	10.7 a	(100)	236	5.9 b	
7葉期	20日間	2.4	92 a	11.4 a	(106)	271	7.3 ab
	10日間	3.0	92 a	11.4 a	(106)	238	6.6 b
8葉期	15日間	2.9	92 a	10.4 a	(97)	284	7.8 a
	10日間	2.4	90 ab	9.3 b	(87)	264	7.2 ab
9葉期	10日間	2.5	90 ab	10.5 a	(98)	259	7.7 a

分散分析: 深水処理

*

**

ns

**

注) 分散分析により**は1%、*は5%水準で有意な差があることを示す。表中の異なる英文字間にはそれぞれ多重比較(LSD)において有意な差があることを示す。

‘ヒノヒカリ’の倒伏程度と稈質に及ぼす深水処理の
 影響を第3表に示した。‘ヒノヒカリ’の倒伏程度は、‘コ
 シヒカリ’のそれより全般的に小さかった。その中で、
 8~9葉期に深水処理区を実施した各区はほとんど倒伏
 しなかったが、無処理区および慣行区はなびき程度に倒
 伏した。稈長および下位節間長(第IV節間長とV節間長
 の合計)は、深水処理区に比べ慣行区が短かったが、そ
 の程度は‘コシヒカリ’より小さかった。深水処理区の
 稈長と下位節間長は7葉期20日間処理区を除いて‘コシ

ヒカリ’と同様に全試験区間で、明確な傾向は認められなかった。稈基重では、8および9葉期の深水処理は無処理区より重かったが、茎径の積は同程度であり、深水処理による増加は認められなかった。慣行区は深水処理を実施した各区より稈基重が軽く、茎径の積が大きかった。

第3表 ‘ヒノヒカリ’の倒伏程度と稈質に及ぼす深水処理の影響

試験区名	倒伏程度 (0-5)	稈長 (cm)	第IV+V節間長		稈基重 (g/株)	茎径の積 (mm ²)		
			(cm)	比率(%)				
慣行区	1.7	93	b	12.7 (98)	437	b	9.19	
無処理区	1.4	93	b	13.0 (100)	491	ab	8.90	
7葉期	20日間	1.1	96	a	14.1 (108)	485	ab	8.46
	10日間	0.5	93	b	13.6 (104)	467	b	8.39
8葉期	15日間	0.2	95	ab	13.0 (100)	527	a	9.05
	10日間	0.0	94	ab	13.3 (102)	505	ab	8.86
9葉期	10日間	0.2	94	b	13.6 (104)	498	ab	8.69
分散分析：深水処理		*		ns	*		ns	

注) 分散分析により**は1%、*は5%水準で有意な差があることを示す。表中の異なる英文字間にはそれぞれ多重比較(LSD)において有意な差があることを示す。

4. 収量、収量構成要素および品質

深水処理が‘コシヒカリ’の収量構成要素および検査等級に及ぼす影響を第4表に示した。慣行区は無処理区と比較して最高茎数および穂数はほぼ同等であったものの一穂粒数が少なかったため、m²当たり粒数はやや少なかった。また、登熟歩合は向上したが、収量への効果は明確ではなかった。これに対し、深水処理を実施した各区は、無処理区と比較して最高茎数および穂数はやや少なかったが、一穂粒数が増加したためm²当たり粒数はほぼ同等となり、登熟歩合は高く、玄米千粒重も重くなり、収量は増加した。

なお、各処理時期および深水処理期間には明確な傾向は認められなかったものの、品質は8葉期および9葉期で良好となった。

第4表 深水処理が‘コシヒカリ’の収量・収量構成要素および検査等級に及ぼす影響

試験区名	最高茎数 (本/m ²)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	一穂粒数 (粒)	m ² 当たり粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (kg/a)	検査等級 (1-10)		
慣行区	430	396	92	88	c	348	75.5	21.9	55.4	4.8	
無処理区	442	386	87	93	b	359	67.7	21.7	58.8	5.0	
7葉期	20日間	403	375	93	95	ab	356	79.0	22.0	62.6	5.3
	10日間	409	381	93	93	b	354	76.4	22.0	59.2	5.3
8葉期	15日間	399	355	89	99	a	351	77.8	22.1	61.7	4.5
	10日間	416	385	93	92	bc	354	77.2	22.0	62.1	4.5
9葉期	10日間	426	377	88	94	b	354	79.6	21.8	65.3	4.5
分散分析：深水処理		ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

注1) 分散分析により**は1%、*は5%水準で有意な差があることを示す。表中の異なる英文字間にはそれぞれ多重比較(LSD)において有意な差があることを示す。

注2) 検査等級は1等上～3等下および等外をそれぞれ1～9および10に数値化した。

‘ヒノヒカリ’の収量・収量構成要素および検査等級に及ぼす深水処理の影響を第5表に示した。慣行区は無処理区と比較して穂数および一穂粒数は同等であったものの、登熟歩合が低く千粒重もやや軽く、収量はわずかに少なかった。深水処理を実施した各区は、全般的に‘コシヒカリ’と同様に穂数が少なく、1穂粒数が多い傾向にあり、各区とも登熟歩合が慣行区よりも高かった。そのため、玄米千粒重は重く、収量および品質が向上する傾向にあった。

なお、処理時期および処理期間には明確な傾向は認められなかった。

第5表 深水処理が‘ヒノヒカリ’の収量構成要素および検査等級に及ぼす影響

試験区名	最高茎数 (本/m ²)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	一穂粒数	m ² 当たり粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (kg/a)	検査等級 (1-10)						
慣行区	467	a	393	a	84	98	ab	384	80.3	b	22.1	60.8	b	4.3	
無処理区	470	a	399	a	85	95	ab	379	84.6	a	22.4	62.3	b	4.3	
7葉期	21日間	420	bc	382	ab	91	102	a	391	84.5	a	22.5	74.3	a	3.8
	10日間	431	b	382	ab	89	100	a	382	84.4	a	22.4	72.3	a	3.3
8葉期	15日間	380	c	363	b	95	107	a	390	81.5	b	22.2	75.0	a	4.3
	10日間	393	c	367	b	93	100	ab	366	84.2	a	22.3	74.0	a	3.8
9葉期	10日間	462	ab	395	a	85	93	b	366	83.4	ab	22.3	72.2	a	3.5
分散分析：深水処理		**	*	*	ns	**	ns	**	ns	**					

注1) 分散分析により**は1%、*は5%水準で有意な差があることを示す。表中の異なる英文字間にはそれぞれ多重比較(LSD)において有意な差があることを示す。

注2) 検査等級は1等上～3等下および等外をそれぞれ1～9および10に数値化した。

IV 考察

1. 深水処理が稈質、倒伏および収量・収量構成要素に与える影響

有効分けつ期の深水処理は稈基部の伸長節間における稈径を増加させ、挫折重を高めるのに有利であるとされている^{2) 3)}。本試験においても深水処理によって‘コシヒカリ’では茎径が増大し、倒伏程度は両品種ともに小さくなった(第2表)。つまり、深水処理により最高茎数および穂数が減少し、稈基重および茎径が増大して茎が充実したのは、茎数抑制およびこれに充当されるべき同化養分が既成茎へ振り分けられたものと推察される。同様に大江ら⁴⁾もその関係性を述べている。‘ヒノヒカリ’では茎径が増大が認められなかった。しかし、深水処理による茎数抑制と稈基重の増加は‘コシヒカリ’と同様であったことから、深水処理が稈質と倒伏に与える影響は本質的には両品種とも同じであると考えられる。稈長が伸びやすい穂数型品種の‘コシヒカリ’は、深水により茎数増加が抑制され、生育の態勢が整うため⁵⁾、草型によって深水処理の反応は異なることが考えられる。一方、穂数型品種より穂重型品種が深水処理により挫折抵抗力が高まりやすい⁵⁾という例もあることから、深水処理が品種に及ぼす影響については、今後の検討が必要であろう。

挫折抵抗力には下位節間の長さが大きく影響する¹⁾が、両品種とも下位節間の長さは、深水処理区と無処理区の間には顕著な伸長差が認められなかった。大江ら³⁾によると下位節間は、節間伸長期からの深水処理では伸長し、有効分げつ決定期まえの短期間(20日)の深水処理では伸長が小さい³⁾とされている。本試験で下位節間の伸長程度が小さかったのは、深水処理が有効分げつ決定期まえの短期間であったためと考えられる。深水処理および慣行処理は、両品種の倒伏程度を同等に軽減した(第2, 3表)。しかし、稈質に関する数値変動の大きさから、そのメカニズムは異なり、慣行処理の倒伏軽減効果は主に下位節間長の短縮と稈基重の増加によるものであり、深水処理の効果は下位節間の短縮がないため、稈基重および茎径の増加によるものと考えられた。

古谷ら⁵⁾は‘コシヒカリ’の有効分げつ中期に深水処理すると穂数は減少するものの1穂初数は増加し、登熟歩合が高まり収量も増加すると報告している。本試験の‘コシヒカリ’および‘ヒノヒカリ’とも同様の結果であった。この要因として古谷ら⁵⁾は、深水処理により出穂後の葉身の葉色が維持され、光合成速度が高まり、登熟中期までそれが維持されること、出穂期の稲体澱粉含有率が高くなるなどをあげている。本試験において登熟歩合が高まり、千粒重が増加したことは古谷らと同様のことが言えるものと推察された。また、本試験で供試した‘コシヒカリ’では、倒伏軽減の効果も登熟歩合の向上に寄与したと類推される。

2. 深水処理の時期および期間の影響

有効分げつ期における深水処理は、無効分げつを抑制し、茎が肥大して挫折強度が高まる^{2) 3)}。大江ら⁶⁾は深水処理の効果をもつには無効分げつを効率的に抑えることが重要であり、最も効果的な深水処理の期間は有効分げつ盛期から最高分げつ期頃までとしている。本試験で行った深水処理開始時期の生育ステージは、いずれも穂数が決定される前の有効分げつ期間内であり、このうち9葉期処理は有効分げつ決定期直前であったと推定された。本試験で行った深水処理の各処理時期による茎の充実と倒伏軽減の効果の差異は、処理時点における茎数確保の状態に起因し、有効茎が確保されている8葉期および9葉期の処理は、無効茎を効率的に抑制し既成茎の充実が向上したと推察される。有効茎が確保されていない7葉期の深水処理では、低位の分げつを抑制し、処理後に高位の分げつが増えて茎の充実が劣ったものであろう。

本試験における深水処理の期間は、10日間での効果が得られたが、9葉期処理では有効茎歩合が高まらず、処理後の分げつが発生した。大江ら⁶⁾は補償的な分げつ

の出現や遅延して出現する分げつを防ぐためには、分げつ期間終了時期(最高分げつ期頃)まで16日間程度、深水処理を継続することが必要であるとしていることから、今後、10日間以上の深水処理も検討する必要があると思われる。

‘コシヒカリ’、‘ヒノヒカリ’ともに7葉期および8葉期処理では、処理期間が長くなるほど、最高分げつ期の茎数が抑制され、穂数がやや減少したことから、中山間地において穂数を安定的に確保するためには有効分げつ決定期に近い9葉期を深水処理の開始時期とすべきである。また、分げつが少ない状況下では、生育状況を確認しながら極端な穂数減少にならないよう深水処理の判断をすべきであろう。

V 引用文献

- 1) 「作物学用語辞典」 日本作物学会編、農林漁村文化協会、P22
- 2) 大江真道・田村晶・三本弘乗(1996): 日本作物学会記事、65(2),238-244
- 3) 大江真道・三本弘乗(1998): 日本作物学会記事、67(2),153-158
- 4) 大江真道(2009): 「農家が教えるイネづくりのコツ・深水栽培イネの仕組みと特徴」 農林漁村文化協会、82-88
- 5) 古谷勝司・児嶋清(1991): 北陸農試報、33,29-53
- 6) 大江真道(2002): 日本作物学会記事、71(3), 335-342

Summary

Lodging Reduction Effect at Middle of Growth Rice by Deep Water Treatment in High Altitude Cool

Nobuyuki MORIMOTO, Youichi NAKAMURA, Shinichi HARUGUCHI, Masahiro MITSUKAWA, Ikuo UENO and Jiro SAKANASHI

About the middle of growth rice by deep-water treatment which is the growth control technology used as substitution of midseason drainage of paddy rice in the cool altitudes, the influence on a lodging reduction effect, and a yield and quality was investigated using 'Koshihikari' and 'Hinohikari'. As a result, both variety which productive tiller number determining stage before 9 leaves from successive 10 days at depth 10 by 12cm deep-water treatment, because of non-productive tillers were suppressed, stem base weight was heavy and thickening ,and this led to reduce the lodging was observed. Deep-water treatment decreased ear number,make up number of grains per head,so ripening was improved and yield increased.