

水稻品種‘ヒノヒカリ’，‘アケボノ’の 発酵粗飼料生産における実肥窒素の施用効果

渡邊 丈洋・大家 理哉・長尾伸一郎*

Effects of the Nitrogen Top Dressing at Full Heading Stage
on the Whole Crop Silage Production with Rice Cultivars ‘Hinohikari’ and ‘Akebono’

Takehiro Watanabe, Masaya Ooya and Shinichiro Nagao

緒言

本県における発酵粗飼料（ホールクロップサイレージ，以下WCS）用水稻の生産は2000年代から本格化し，作付面積は，2010年に284ha，2011年に346haと増加したが，2012年は364haと増加が鈍化しており（農林水産省，2013），県が掲げた2013年の目標の518ha（岡山県農林水産部，2009）には達していない．今後，更にWCS用水稻を推進していくためには，畜産農家の需要がより高まるような，飼料価値の向上技術を検討していく必要がある．

近年では‘たちすずか’等，高い飼料価値が期待できる専用品種が育成されている（松下ら，2012）が，生産現場では飼料用品種の作付に対して，周辺の食用米生産圃場への花粉飛散による交雑や，圃場に落下した種子の漏生等に根強い懸念がある．特に県南部では，飼料用品種と開花期が重なる中生及び晩生の主食用品種が作付けされ，移植栽培に比べて落下種子が漏生しやすい乾田直播栽培が広く普及していることから，主食用として一般に作付けされる品種をWCS用水稻の生産に用いている地域も多い（横溝，2010）．

これまで，筆者らは，県南部における主要な主食用品種‘ヒノヒカリ’と‘アケボノ’のWCS用水稻としての特性について報告したが（渡邊ら，2013b），それとともに，飼料価値向上につながるWCS用水稻に適した栽培方法を，様々な施肥試験から模索してきた．その結果，実肥窒素施用がWCSの粗蛋白質含有率を増

加させる効果について明らかとなったので報告する．

試験方法

1. 耕種概要

試験は，2011年と2012年に，岡山県農林水産総合センター農業研究所（赤磐市）内の水田圃場（細粒質普通灰色低地土，粘質，2012年3月の土壤可給態窒素量は乾土100g当たり10.7～11.5mg）で行った．供試品種には，‘ヒノヒカリ’と‘アケボノ’を用いた．両年次とも，5月21日から5月23日に播種し，6月15日から6月16日に稚苗を栽植密度18.5株/m²（条間30cm×株間18cm），1株3本で手植えた．移植後の水管理は浅水管理とし，7月下旬に落水して圃場にヒビが入る程度まで中干しした後は間断灌漑を行い，9月末に完全に落水した．

2. 実肥窒素の施用効果（試験1）

実肥窒素の施用が，WCS用水稻の生育，収量及びWCSの飼料成分含有率に及ぼす影響を明らかにするため，基肥，分けつ肥及び穂肥の合計で窒素施用量10g/m²の対照区と，これに同4g/m²を実肥で追加施用（合計で同14g/m²）した実肥追加区を設けた（表1）．両年とも，1区面積は7.2m²とし，3反復で乱塊法により処理区を配置した．

調査は黄熟期に行い，倒伏程度を0（無倒伏）から4（全倒伏）の範囲で判定し，止葉葉身の葉色値を葉緑素計（コニカミノルタ社，SPAD-502）で測定した．また，各反復において生育が中庸な4株を，機械収穫における一般的な刈取高さである地際10cmで刈り取り，枯死

2013年12月20日受理

*岡山県農林水産総合センター畜産研究所

した茎葉を除去して穂、葉（葉身）、茎（葉鞘及び稈）に分割し、これらを80℃で72時間乾燥し、部位別の乾物重を測定した。

飼料成分を分析するため、田中・大桃（1995）が開発したパウチ法を参考に、WCSを作成した。すなわち、黄熟期に地際10cmで刈り取り、2~3cm程度に鋏で細断した植物体150gを、ポリエチレンとナイロンの積層フィルムのパウチ（旭化成パックス社、飛竜KN-210）に入れ、真空包装機で吸引密封した。培養は25℃の人工気象器内で40日間行った。飼料成分の分析は常法（自給飼料品質評価研究会，2009；日本土壌協会，2001）にて行った。

3. 施肥方法と粗蛋白質含有率及び倒伏との関係（試験2）

WCSの粗蛋白質含有率の増加に関しては、実肥窒

素の施用以外にも、穂肥までの時期における多肥栽培等の方法も考えられる。また、WCS用水稲の生産現場では、茎葉収量の確保を目的として、従来の穂肥よりも早期に追肥を行うことがある。このため、試験2では、穂肥より早期の中間追肥施用後の実肥施用や、穂肥までの時期における多肥栽培についての試験区を加えた。

すなわち、対照区である処理区①（合計窒素施用量10g/m²）に実肥を追加した処理区②（同14g/m²）、②の穂肥施用を中間追肥施用に早めた③（同14g/m²）、施肥時期が①~③とそれぞれ同じで穂肥までの施肥量を増やした④~⑥（同18~22g/m²）の6処理区を設けた（表2）。両年とも、1区面積は7.2m²とし、3反復で乱塊法により処理区を配置した。

表1 試験1における各処理区の窒素施用量^z (g/m²)

処理区	基肥 ^y	分けつ肥 ^x	穂肥 ^w	実肥 ^v	合計
実肥追加区	4	2	4	4	14
対照区	4	2	4		10

^z 2011年は全時期で硫酸を用い（基肥にはPK化成も追加し、リン酸とカリウムを各6g/m²施用）、2012年は基肥と分けつ肥で燐加安44号（N:P₂O₅:K₂O=14:17:13、窒素成分は硫酸と燐安）、穂肥と実肥で尿素を使用

^y 2011年は移植後の6月22日、2012年は代播前の6月11日に施用

^x 2011年は7月6日、2012年は7月5日に施用

^w 2011年は‘ヒノヒカリ’が8月5日と15日、‘アケボノ’が8月11日と20日の2回分施、2012年は‘ヒノヒカリ’が8月8日、‘アケボノ’が8月16日に1回施用

^v 2011年は‘ヒノヒカリ’が9月1日、‘アケボノ’が9月7日、2012年は‘ヒノヒカリ’が8月31日、‘アケボノ’が9月7日に施用

表2 試験2における各処理区の窒素施用量^z (g/m²)

処理区	試験年次		基肥 ^y	分けつ肥 ^x	中間追肥 ^w	穂肥 ^v	実肥 ^u	合計
	2011年	2012年						
① 対照区	○	○	4	2		4		10
② 穂肥+実肥	○	○	4	2		4	4	14
③ 中間追肥+実肥	○	○	4	2	4		4	14
④ ①の多肥	○		6	4		8		18
⑤ ②の多肥	○		6	4		8	4	22
⑥ ③の多肥	○		6	4	8		4	22

^z 2011年は、全時期で硫酸を用い（基肥にはPK化成も追加し、リン酸とカリウムを各6g/m²施用）、2012年は、基肥と分けつ肥で燐加安44号（N:P₂O₅:K₂O=14:17:13、窒素成分は硫酸と燐安）、中間追肥と穂肥及び実肥で尿素を使用

^y 2011年は移植後の6月22日、2012年は代播前の6月11日に施用

^x 2011年は7月6日、2012年は7月5日に施用

^w 2011年は、‘ヒノヒカリ’が7月15日と25日、‘アケボノ’が7月20日と30日の2回分施、2012年は‘ヒノヒカリ’が7月18日、‘アケボノ’が7月25日に1回施用

^v 2011年は‘ヒノヒカリ’が8月5日と15日、‘アケボノ’が8月10日又は11日と20日の2回分施、2012年は‘ヒノヒカリ’が8月8日、‘アケボノ’が8月16日に1回施用

^u 2011年は‘ヒノヒカリ’が9月1日、‘アケボノ’が9月7日、2012年は‘ヒノヒカリ’が8月31日、‘アケボノ’が9月7日に施用

黄熟期において、倒伏程度及び止葉葉身の葉色値を試験1と同様に調査し、草丈と稈長を測定した。また、試験1と同様にWCSを作成し、飼料成分を分析して粗蛋白質含有率を求めた。

結果及び考察

1. 実肥窒素の施用効果（試験1）

‘ヒノヒカリ’、‘アケボノ’ともに、実肥追加区は対照区に比べて黄熟期における葉色が濃く、葉色値が有意に高かった（表3）。葉緑素計が示す葉色値は、葉身に含まれる窒素濃度と極めて相関が高いことが知られている（中鉢ら，1986；宮下ら，1986）。本試験において、実肥の追加によって黄熟期の葉色が濃かったことは、水稲の窒素吸収量が増加したことを示すと考えられる。

両品種ともに倒伏は、対照区及び実肥追加区のいずれも、黄熟期まで全く発生しなかった（表3）。実肥施用と倒伏との関係については、瀬古（1961）が水稲の倒伏に関する総合的研究から、出穂期以降の窒素肥効が倒伏に及ぼす影響は小さいと結論しており、松崎ら（1972）は実肥施用が葉鞘の維持や稈内部の充実を通じ、倒伏を抑制する効果を持つことを指摘している。これらのことから少なくとも、実肥施用は倒伏を助長しない施肥技術であり（松島，1977）、本試験で用いた‘ヒノヒカリ’、‘アケボノ’にも当てはまると考えられる。

黄熟期における部位別乾物重は、穂については有意差が認められなかったが、‘ヒノヒカリ’は葉、‘アケボノ’は葉と茎について、実肥追加区が対照区をやや上回った（表3）。実肥施用時期以降に新しい茎葉の発生は観察されなかったことから、これらの茎葉乾物重の差は、登熟期間中に枯死した茎葉の量の差、あるいは

茎葉内部に蓄積された同化産物量の差を示すと考えられる。松崎ら（1972）は、実肥施用によって葉の枯れあがり量が少なくなることを示しており、本庄ら（1979）も実肥施用が出穂期以降の葉身や葉鞘の乾物重の減少を防ぐ効果があることを認めている。また、山口・松村（2004）は、下位葉の枯死を少なくすることが、牛にとって消化性の良い茎葉へのデンプン蓄積を促進する上で重要であることを指摘している。本研究でも遠観ではあるが、実肥追加区の生葉数が対照区に比べてやや多い傾向を確認しており、実肥の追加施用がWCSの収量や栄養価の向上につながる可能性を示唆している。これらのことについては今後、実肥の施用量も含め、更に検討する必要があると考えられる。

両品種ともに、WCSの飼料成分のうち、実肥追加区と対照区で有意差が認められた項目は粗蛋白質含有率のみであり、窒素成分4g/m²の実肥の施用で1%程度、粗蛋白質含有率が高まった（表4）。水稲から作られたWCSは一般に、他の粗飼料や濃厚飼料等と混ぜて給与されており、特に乳用牛では他の飼料の使用割合が大きいが、肉用牛（繁殖和牛）では、WCSの使用割合を高めることができるとされており（岡山県畜産協会，2012）、WCSの粗蛋白質含有率の向上は、他飼料の使用量の大幅な削減やWCS単独の給与にもつながると考えられ、WCSがより有用な飼料になることが期待される。筆者らは、実際の収穫機械で収穫調製を行う試験においても、窒素成分約4g/m²の実肥の追加施用を行っており、実肥を施用しても優れた発酵品質のロールバールサイレージが得られ、繁殖和牛の飼養にも問題がないことを確認している（渡邊ら，2013a）。今後は、実肥の適正な施用量についても検討すべきと考えられる。

表3 実肥の追加施用が黄熟期の倒伏程度、葉色値及び部位別乾物重に及ぼした影響（試験1 2011年と2012年の平均）

品種	処理区	出穂期 (月/日)	黄熟期 (月/日)	倒伏程度 ^z	葉色値 ^y (SPAD値)	乾物重(g/m ²)			
						穂	葉	茎	合計
ヒノヒカリ	実肥追加区	8/26	9/29	0	32	676	205	357	1238
	対照区	8/26	9/29	0	28	695	178	339	1213
	t検定 ^x				*	ns	*	ns	ns
アケボノ	実肥追加区	9/2	10/7	0	35	716	173	340	1229
	対照区	9/2	10/7	0	30	682	140	305	1127
	t検定 ^x				*	ns	**	*	*

^z 0(無倒伏)から4(全倒伏)の範囲で示す

^y 止葉葉身の葉色値を示す

^x **は1%水準，*は5%水準で有意差があることを示す

2. 施肥方法と粗蛋白質含有率及び倒伏との関係(試験2)

葉色値と粗蛋白質含有率との関係を図1に示した。本試験で得られた粗蛋白質含有率の値は‘ヒノヒカリ’で5.7から7.4%、‘アケボノ’で5.6から8.2%の範囲であり、黄熟期葉色値と粗蛋白質含有率との間に高い正の相関関係が認められた。

各処理区の黄熟期における葉色値及び粗蛋白質含有率、草丈、稈長及び倒伏程度を表5に示した。穂肥施用後に実肥を追加した処理区②は、対照区の①に比べて葉色値が高く、粗蛋白質含有率は‘ヒノヒカリ’で1.0~1.2%、‘アケボノ’で0.9~1.4%増加した。また、施肥時期が①と同じで穂肥までの施肥量を増やした④も、①に比べて葉色値は高く、粗蛋白質含有率は‘ヒノヒカリ’で1.2%、‘アケボノ’で0.9%増加した。さらに、④に実肥を追加した⑤は葉色値が最も高くなり、粗蛋白質含有率は①に比べて‘ヒノヒカリ’で1.7%、‘アケボノ’で1.9%と大きく増加した。一方、中間追

肥施用後に実肥を追加した③は、①に比べて葉色値は同じかやや高い程度であり、粗蛋白質含有率の増加は‘ヒノヒカリ’で0.5~0.6%、‘アケボノ’で0.1~0.5%にとどまった。また、③の中間追肥までの施肥量を増やした⑥でも、粗蛋白質含有率は①と比べて‘ヒノヒカリ’で0.9%、‘アケボノ’で0.3%増加するにとどまった。

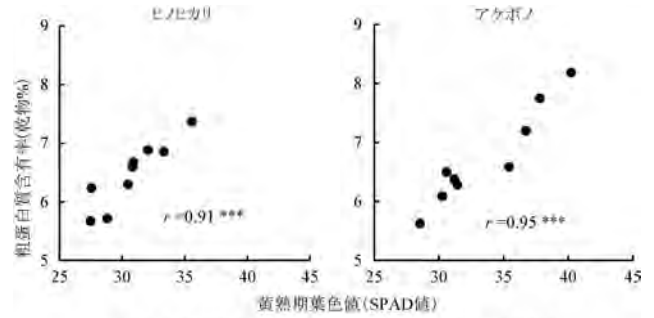


図1 黄熟期葉色値と粗蛋白質含有率との関係(試験2)
図中の***は0.1%水準で有意であることを示す

表4 実肥の追加施用が飼料成分²含有率(乾物%)に及ぼした影響(試験1 2011年と2012年の平均)

品種	処理区	一般成分					繊維		無機成分				
		CP	EE	NFE	CFI	CA	ADF	NDF	P	K	Ca	Mg	SiO ₂
ヒノヒカリ	実肥追加区	6.8	3.4	57.1	20.9	11.7	31.8	45.7	0.2	1.3	0.2	0.1	8.0
	対照区	5.7	3.3	60.2	18.8	12.0	32.2	50.0	0.2	1.3	0.2	0.1	8.1
	t検定 ^y	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
アケボノ	実肥追加区	7.1	3.3	58.4	20.0	11.2	31.6	49.5	0.2	1.4	0.2	0.1	6.9
	対照区	6.0	3.3	59.6	19.9	11.3	32.0	49.0	0.2	1.3	0.3	0.1	7.2
	t検定 ^y	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

² CP;粗蛋白質, EE;粗脂肪, NFE;可溶性無窒素分, CFI;粗繊維, CA;粗灰分, ADF;酸性デタージェント繊維, NDF;中性デタージェント繊維を示す

^y **は1%水準, *は5%水準で有意差があることを示す

表5 黄熟期における葉色値、粗蛋白質含有率、草丈、稈長及び倒伏程度(試験2)

処理区	年次	ヒノヒカリ					アケボノ				
		葉色値	粗蛋白質含有率 ^z	草丈	稈長	倒伏程度 ^y	葉色値	粗蛋白質含有率 ^z	草丈	稈長	倒伏程度 ^y
		(SPAD値)	(乾物%)	(cm)	(cm)		(SPAD値)	(乾物%)	(cm)	(cm)	
① 対照区	2011年	27	5.7	105	83	0	31	6.3	111	90	0
	2012年	29	5.7	103	81	0	29	5.6	116	96	0
② 穂肥+実肥	2011年	31	6.7 (+1.0)	104	82	0	38	7.7 (+1.4)	112	91	0
	2012年	32	6.9 (+1.2)	103	81	0	31	6.5 (+0.9)	114	95	0
③ 中間追肥+実肥	2011年	28	6.2 (+0.5)	106	86	0	31	6.4 (+0.1)	112	92	0
	2012年	30	6.3 (+0.6)	104	82	0	30	6.1 (+0.5)	118	97	0
④ ①の多肥	2011年	33	6.9 (+1.2)	109	87	0	37	7.2 (+0.9)	116	92	0
⑤ ②の多肥	2011年	36	7.4 (+1.7)	109	88	0	40	8.2 (+1.9)	115	93	0
⑥ ③の多肥	2011年	31	6.6 (+0.9)	117	95	0	35	6.6 (+0.3)	125	103	1.5

^z ()内の数字は同年次における処理区①との差を示す

^y 0(無倒伏)から4(全倒伏)の範囲で示す

両品種とも、穂肥施用後に実肥を追加した②の草丈と稈長は①とほぼ同じであったのに対し、中間追肥施用後に実肥を追加した③は①に比べやや長くなる傾向がみられた。また、穂肥までの施肥量を増やした④と⑤は、①に比べて草丈が長くなる傾向がみられた。さらに、中間追肥までの施肥量を増やした⑥は、①に比べて草丈と稈長が10cm以上長くなり、‘アケボノ’では倒伏が発生した。

これらの結果から、粗蛋白質含有率を増加させるためには、実肥施用だけでなく、黄熟期の葉色値が高まるような多肥栽培が有効であることが確認された。すなわち、処理区④のように穂肥までの施肥量を増やせば、実肥を施用しなくても粗蛋白質含有率の増加が見込め、さらに実肥を追加すれば、処理区⑤のような大幅な増加も期待できる。しかし、穂肥までの時期における施肥には草丈や稈長を伸長させる効果があるため、特に多肥栽培条件では倒伏を助長する恐れが大きい。処理区④と⑤では、倒伏は発生しなかったものの、草丈は対照区に比べ伸長しており、倒伏の危険性は高まったと言える。また、処理区⑥のように、従来の穂肥時期よりも早期に追肥を施用する場合には、倒伏の危険性が一層高まる。一方、前述のとおり、実肥施用自体には倒伏を助長する恐れがないため、処理区②のような標準的な施肥量で穂肥を施用する従来の施肥体系に実肥を追加する方法は、倒伏を助長せず効果的に粗蛋白質含有率を増加させる技術として有用であると考えられる。実肥の施用は、食用米栽培における食味低下の問題もあり、近年、積極的には推進していないが（岡山県農林水産部，2007）、WCS用水稲の生産では今後、積極的な活用を検討すべき技術であると考えられる。

摘要

発酵粗飼料（WCS）用の‘ヒノヒカリ’、‘アケボノ’の生産における実肥窒素施用が、生育、部位別乾物重、WCSの飼料成分含有率に及ぼす影響を検討した。その結果、両品種とも、窒素成分4g/m²の実肥の追加施用は倒伏を助長せず、黄熟期まで葉色を濃く保ち、葉の乾物重を増加させ、WCSの粗蛋白質含有率を1%程度高めることが確認された。以上から、実肥窒素の施用は飼料価値向上に寄与すると考えられた。

引用文献

中鉢富夫・浅野岩夫・及川勉（1986）葉緑素計による水稲（ササニシキ）の窒素栄養診断。土肥誌，

57(2)：190-193.

本庄一雄・平野貢（1979）米のタンパク含量に関する研究 第3報 登熟に伴う体内窒素及び穂揃期追肥窒素の穂への移行。日作紀，48(4)：517-524.

自給飼料品質評価研究会（2009）三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック。

松島省三（1977）稲作診断と増収技術。農文協，東京，222p.

松下景・飯田修一・出田収・春原嘉弘・前田英郎・田村泰章（2012）茎葉多収で消化性に優れ高糖分含量の飼料用水稲品種「たちすずか」の育成。近中四農研報，11：1-13.

松崎昭夫・松島省三・富田豊雄・勝木依正（1972）水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第109報 穂揃期窒素追肥が倒伏抵抗性・根の活力・収量および品質におよぼす影響。日作紀，41：139-146.

宮下慶一郎・新毛晴夫・遠藤征彦・高橋政夫（1986）水稲の生育診断と予測 第1報 SPAD葉緑素計の適応性。東北農業研究，39：53-54.

日本土壤協会（2001）土壤機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法。

農林水産省（2013）農林水産統計。

岡山県畜産協会（2012）稲発酵粗飼料（イネWCS）生産・利用の手引き。

岡山県農林水産部（2007）稲作技術指針。

岡山県農林水産部（2009）21おかやま農林水産プラン。

瀬古秀生（1961）水稲の倒伏に関する研究。九州農試彙報，7(4)：419-499.

田中治・大桃定洋（1995）プラスチックフィルムを用いた小規模サイレージ発酵試験法（パウチ法）の開発。Grassland Science，41(1)：55-59.

渡邊丈洋・大家理哉・長尾伸一郎・前田周平（2013a）アケボノの発酵粗飼料生産における堆肥連用による省力・低コスト栽培。岡山農総セ平成24年度試験研究主要成果，水田作部門7.

渡邊丈洋・大家理哉・長尾伸一郎（2013b）発酵粗飼料用としての水稲品種‘ヒノヒカリ’、‘アケボノ’の特性。岡山県農業研報，4：9-18.

山口弘道・松村修（2004）登熟期間のシンク，ソース関係からみた飼料向け水稲品種特性としての茎部デンプンの再蓄積。日作紀，73(4)：402-409.

横溝功（2010）稲WCSの生産利用と耕畜連携システムについての一考察 -岡山県を事例に-。畜産の研究，64(7)：693-698.