

コシヒカリの全量基肥一括施肥栽培における 胴割粒発生抑制技術

細川幸一*

Reduction Method of Cracked Rice “Koshihikari” Grain by Using Basal Fertilizer Application of Controlled – Release Coated Urea.

Kouichi HOSOKAWA*

コシヒカリでは登熟期間の高温による胴割粒の発生が問題となっている。福井県は基肥一括施肥栽培が広く普及しているため、基肥一括肥料を用いた発生抑制技術が求められる。基肥一括肥料の穂肥にあたる緩効性窒素を増施すると、高温年で胴割粒が減少し、発生率は出穂期の稲体窒素含有量と負の相関関係が認められた。緩効性窒素の増施は玄米タンパク質含有率を高め食味を低下させるため、玄米タンパク質含有率を目安とした施用量の設定が必要である。

キーワード：コシヒカリ，胴割粒，基肥一括施肥，稲体窒素含有量

I. 緒言

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次報告書では、地球の平均気温は過去100年間に約1℃上昇したとされる⁴⁾。我が国においても環境省が1970年代から20年間で平均気温が0.8℃上昇したと報告しており³⁾、農業分野にも様々な影響が現れ始めている。水稻では登熟期間の高温による乳白粒や胴割粒の発生が全国各地で問題となっている。胴割粒については登熟初期の高温で増加し、登熟期間の葉色が淡いと発生しやすくなることが報告されている⁷⁾。

近年、増収を目的とする施肥から良食味や環境に配慮した施肥への転換が進み、全国的に施肥窒素量は減少傾向にある¹⁰⁾。福井県は側条施肥田植機による基肥一括肥料の施用割合が80%以上と推測され、全国で最も普及している。コシヒカリでは倒伏回避のため基肥一括肥料の施用量を減らすと、必要な穂肥量を確保できず登熟期間の窒素栄養不足による胴割粒の発生が懸念される。しかし、基肥一括施肥栽培で胴割粒の発生程度を調査した事例がない。そこで、本研究では基肥一括肥料の穂肥にあたる緩効性窒素の施用量と収量や胴割粒などの品質との関係を明らかにした。また、登熟能力が向上するとされるケイ酸資材について、ケイ酸供給量が異なる圃場で施用効果を検証したため併せて報告する。

* 福井県農業試験場生産環境部土壌・環境研究グループ

II. 試験方法

1. 緩効性窒素の施用量と収量・品質

1) 稲体窒素含量と収量および外観品質

試験は2009年および2010年に福井県農業試験場内の圃場で行った。土壌は細粒強グライ土で、30℃4週間湛水密栓培養での可給態窒素は4.3 mg/100gと地力の中庸な圃場であった。

2009年は移植時期を4月30日とし、栽植密度19.1株/m²で機械移植した。基肥として尿素を窒素成分で2 kg/10a施用した。2010年は移植時期を4月28日および5月20日とし、栽植密度18.8株/m²で機械移植した。4月30日移植は基肥として尿素を窒素成分で3 kg/10a、5月20日移植は2 kg/10a施用した。両年とも穂肥として100日溶出タイプSS型被覆尿素（以下、緩効性窒素）を3、4、5 kg/10aと段階的に施用した区を1区あたり15 m²で2反復設置した。なお、側条施肥田植機では正確な施肥が困難なため、園芸用のシーダーテープに肥料を入れ、移植直後に条の横5cm、深さ5cmを目安に土中に埋設した。また、緩効性窒素1gをポリエステル製の袋に入れたものを圃場に埋設後、定期的に回収してケルダール法⁸⁾により残存窒素量を計測し、差し引きで溶出率を算出した。生育調査は出穂期前後の葉色を葉緑素計（コニカミノルタ社 SPAD-502）で測定した。また、生育ステージ毎に平均的な茎数または穂数を有する稲株を2株採取し、70℃で1週間通風乾燥後、乾物重を測定し、ケルダ

ール法で窒素濃度を求め、10aあたりの窒素吸収量を算出した。2010年の出穂期のサンプルについては大西らの方法¹¹⁾に準じ、 α -アマラーゼおよびアミログルコシターゼでデンプンを加水分解後、重量法で非構造化炭水化物量(以下、NSC)を求めた。収量調査は60株刈とし、粒厚1.9mmで篩選別して収量を算出するとともに外観品質を穀粒判別機(静岡製機社ES-1000)で測定した。

2) 玄米タンパク質への影響

1)で得られた玄米サンプルの窒素濃度をケルダール法で求めた後、5.95を乗じ水分15%に換算して玄米タンパク質含有率とした。2009年の玄米サンプルについては2.0~2.1mmに篩選別後、大平らの方法に準じ²⁾、SDS-Urea溶液(4%SDS, 4MUrea, 5%メルカプトエタノール, 125mMTris-HCl(pH6.8)緩衝液, 20%グリセリン)でタンパク質を抽出し、SDS-PAGE(Agilent Technologies社バイオアナライザ)により玄米タンパク質の組成割合を求めた。

2. ケイ酸資材の施用効果

試験は2009年から2010年にかけて福井県嶺北地方の5地点(あわら市北潟, 福井市寮, 鯖江市中野, 鯖江市落井, 越前町岩開)の水田圃場で行った。試験区は無施用区を対照とし、溶融ケイ酸燐肥(SiO₂保証成分30%)80kg/10aを田植1ヵ月以内に施用した区を1区あたり100m²で3反復設置した。ケイ酸資材以外の施肥や病害虫防除, 水管理などの肥培管理は農家慣行によった。供試土壌の可給態ケイ酸は0.02M pH7.0リン酸緩衝液で80°C30分間抽出後、モリブデンブルー法で求めた⁸⁾。また、成熟期に平均的な穂数を有する稲株を3株採取し70°Cで1週間通風乾燥後、乾物重を測定し、塩酸分解後に稲体中のケイ酸を重量法で求めた⁸⁾。収量調査は60株刈とし、粒厚1.9mmで篩選別して収量を算出するとともに穀粒判別機(静岡製機社ES-1000)で外観品質を測定した。

Ⅲ. 結果および考察

1 調査年次の気象条件

調査年の登熟期間の平均気温と平均日射量(福井地方気象台データ)は第1, 2表のとおりである。2009年は低温寡日照(以下、低温年), 2010年は高温多日照年(以下、高温年)であり対照的であった。胴割粒は出穂後10日間の平均気温が28°Cを超えると発生しやすくなるため, 2009年は胴割粒が発生しにくく, 2010年は発生しやすい年であった。2010年は出穂後10日間の平均気温は4月28日移植より5月20日移植で高かった。

第1表 出穂後の平均気温

		平均気温(°C)		
		10日間	20日間	30日間
2009年(低温年)	4/30移植	25.2	25.9	26.0
2010年(高温年)	4/28移植	28.8	29.6	29.3
	5/20移植	30.4	29.5	29.7
平年値 ¹⁾		27.2	27.1	26.9

1)1971~2000年の平均値

第2表 出穂後の平均日射量

		平均日射量(MJ/m ² /日)		
		10日間	20日間	30日間
2009年(低温年)	4/30移植	13.2	13.7	15.8
2010年(高温年)	4/28移植	20.5	20.8	19.8
	5/20移植	21.0	19.5	20.2
平年値 ¹⁾		18.6	18.3	17.9

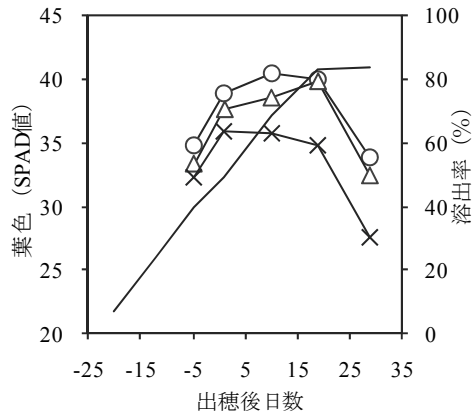
1)1971~2000年の平均値

2 緩効性窒素の施用量と収量・品質

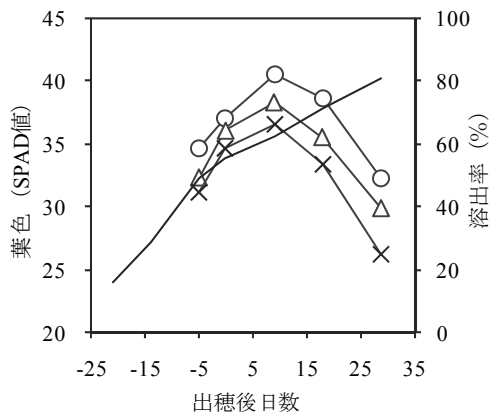
1) 稲体窒素含量と収量および外観品質

緩効性窒素は幼穂形成期から成熟期にかけて緩やかに溶出した。幼穂形成期における溶出率は, 2009年(低温年)は7%, 2010年(高温年)の4月28日移植が15.8%, 5月20日移植が19.6%と気温の年次間差を反映したが, 何れの年も施用量が多い程, 登熟期間の葉色は濃く, 稲体窒素含有量が多く推移した(第1, 2図, 第3表)。

緩効性窒素を3kg/10aから5kg/10aに増施すると, 登熟期間の葉色が濃く推移し, 高温年において胴割粒, 乳白粒が減少した(第3表)。葉色と胴割粒の関係は長田らの報告⁷⁾と一致するところであり, 緩効性窒素を用いても同様の結果が得られた。このとき, 胴割粒と出穂期の稲体窒素含有量には負の相関関係が認められた(第3図)。胴割などの高温障害はスクロース代謝の阻害が要因であり, 高窒素条件で緩和されることが報告されている⁵⁾。本試験においても稲体窒素含量が高まることで, 稲体の穎果中の酵素活性が維持され乳白粒や胴割粒が減少したと考えられた。また, 緩効性窒素の増施で総粒数, 千粒重, 収量は高温年, 低温年にかかわらず増加した(第3表)。一般に穂肥の増施は粒数が増加し千粒重が低下するが, 緩効性窒素は穎果分化期頃の肥効が緩やかで, 増施しても粒数の増加が限定的であると考えられた。千粒重が増加したことから緩効性窒素は粒数増加より, 出穂期以降の同化能力に強く影響したのと考えられる。これは, 緩効性窒素は慣行の窒素追肥と比較して一穂総粒数, 不稔率, 乳白粒が減少し良質粒が増加するとして西端らの報告⁹⁾と一致する。



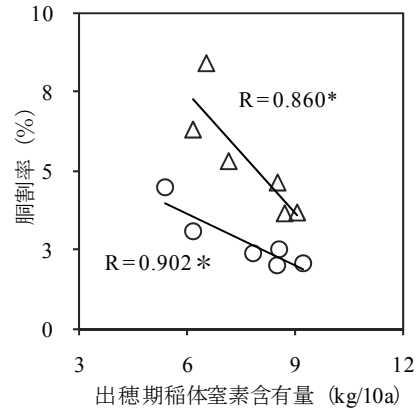
第1図 緩効性窒素の溶出率と施用量別葉色
2009年（低温年）4月30日移植
○5kg/10a 施用 △4kg/10a 施用
×3kg/10a 施用 —緩効性窒素溶出率



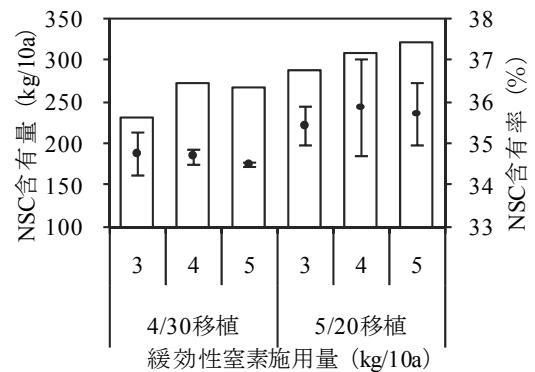
第2図 緩効性窒素の溶出率と施用量別葉色
2010年（高温年）4月28日移植
○5kg/10a 施用 △4kg/10a 施用
×3kg/10a 施用 —緩効性窒素溶出率

NSCは収量の20~40%を占め、蓄積量は出穂期に最大化する¹⁾。登熟初期の同化能力に影響を与えられるため、施肥窒素量とNSCの関係を調査した。その結果、緩効性窒素の増施によりNSC含有量は増加したが、

NSC含有率は何れも35%程度と処理区間で差はなかった(第4図)。このことから、穂肥に緩効性窒素を用いた場合は、NSCと胴割粒との関連はないものと思われる。なお、高温年において、4月28日移植より5月20日移植で胴割粒の発生が多いのは(第3図)、前述のとおり出穂後10日間の平均気温が5月20日の方が高いためと考えられる。



第3図 高温年における緩効性窒素の施用量と胴割率(2010年)
○4月28日移植 △5月20日移植
*は5%水準で有意であることを示す

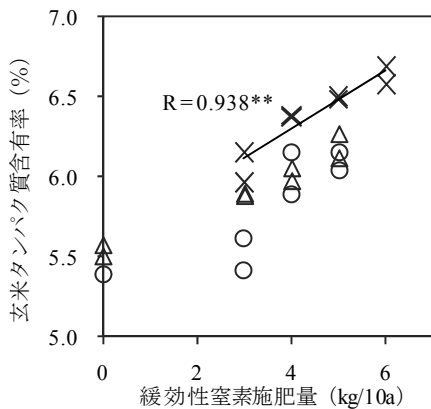


第4図 緩効性窒素の施用量とNSC(2010年)
□NSC含有量 ●NSC含有率

第3表 緩効性窒素の施用量と収量および品質

移植日	緩効性窒素施用量 (kg/10a)	出穂期窒素吸収量 (kg/11a)	収量 (kg/12a)	収量構成要素			外観品質 (粒数比)				
				総粒数 (粒/m ²)	千粒重 (g)	整粒 (%)	胴割粒 (%)	乳白粒 (%)	基白 (%)	腹白 (%)	
2009年 (低温年)	4月30日	3	486	271	21.8	74.8	1.5	2.5	0.7	0.1	
	4	6.1	502	281	22.0	75.9	0.9	2.2	0.4	0.1	
	5	7.3	536	282	22.2	75.0	1.3	2.3	0.4	0.0	
2010年 (高温年)	4月28日	3	503	284	20.9	68.5	3.8	12.3	2.9	0.5	
		4	8.2	550	310	21.3	74.8	2.2	9.7	2.0	0.5
		5	8.9	564	304	21.7	73.7	2.3	10.9	1.9	0.6
	5月20日	3	7.5	511	268	21.3	64.7	6.5	5.8	3.7	0.9
		4	8.1	513	285	21.7	68.0	5.8	5.5	3.1	0.9
		5	9.1	556	312	21.6	68.8	3.7	4.1	2.8	0.8

緩効性窒素の増施で収量、品質が攻城する一方で玄米タンパク質含有率も増加した。福井県のコシヒカリにおける玄米タンパク質含有率の目標値は6.5%以下であり、良食味米生産の観点から6.5%を超えないことが重要である。一般に低温年は玄米タンパク質含有率が高くなるため、低温年の施肥量と玄米タンパク含有率の関係から施用基準を設定することが妥当である。低温年の2009年は緩効性窒素の施肥量が5 kg/10a以下のときに目標値の範囲内であったことから、施肥窒素量は5 kg/10aまでとする(第5図)。



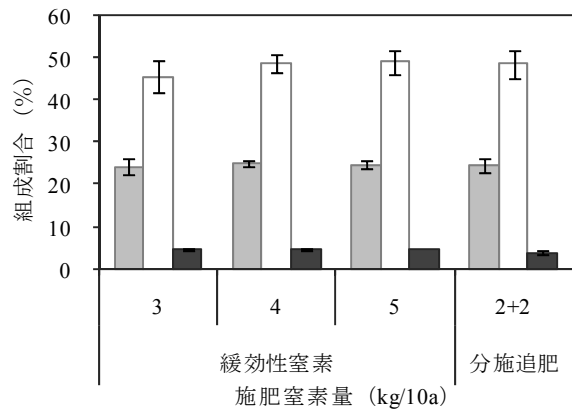
第5図 緩効性窒素の施肥量と玄米タンパク質含有率

○高温年4月28日移植 △高温年5月20日移植

×低温年4月30日移植

**は1%水準で有意であることを示す

玄米中には複数のタンパク質(プロラミン、グルテリン、グロブリン)が存在することが溶媒分画法によって明らかになっているが、このうち疎水性の強いプロラミンは食味を低下させるとされている。また、プロラミンは蓄積の開始時期が遅いため、出穂期以降の窒素施用でプロラミン含有率が増加することも報告されている¹²⁾。緩効性窒素は出穂期以降も溶出することからプロラミン含有率の増加が懸念された。そこで、緩効性窒素の施肥量と玄米タンパク質の組成を求めたところ、何れの区においてもプロラミンの割合は約25%、グルテリンは約48%、グロブリンは約5%と、緩効性窒素の増施でタンパク質の組成割合への影響は認められなかった(第6図)。また、速効性窒素を追肥した慣行栽培(出穂前18日前、11日前に各2 kg/10a施用)とも差がなかったことから、緩効性窒素の出穂期以降の肥効はプロラミン含量に影響しないと考えられる。ただし、プロラミン含量は年次変動することから研究の余地が残された。



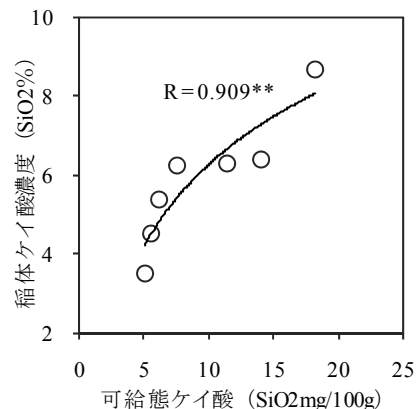
第6図 穂肥窒素の施肥量と玄米タンパク質の組成割合(2009年)

■プロラミン □グルテリン ■グロブリン

試験2 ケイ酸資材の施用効果

試験圃場の可給態ケイ酸は5.6~14.4 mg/100gの範囲にあり、可吸態ケイ酸と成熟期の稲体ケイ酸濃度に正の相関関係が認められた(第7図)。ケイ酸資材の効果として光合成能力が向上することが指摘されているため¹⁰⁾、ケイ酸資材の施用による収量、登熟歩合、千粒重を比較したが、資材の効果は判然としなかった。また、胴割などの外観品質への影響も判然としなかった(第4表)。

ただし、可給態ケイ酸が6 mg/100g未満の低い圃場では資材の施用で稲体ケイ酸濃度が高まった(第4表)。ケイ酸は土壌の主要な構成成分であり、水稻の生育に必要なケイ酸成分の大部分は土壌や灌漑水から供給される。しかし、ケイ酸供給量が低い土壌では資材由来のケイ酸成分の一部が利用されたと推測される。ケイ酸資材に胴割粒を抑制する効果はないと考えられるが、福井県ではケイ酸資材の明確な施用基準を設けておらず、本試験により可給態ケイ酸値を基準とした施用基準策定の可能性が示唆された。



第7図 可給態ケイ酸と成熟期稲体ケイ酸濃度

**は1%水準で有意であることを示す

第4表 ケイ酸資材の施用効果

	可給態 ケイ酸 (mg/100g)	成熱期稲体 ケイ酸濃度 (%)	収量 (kg/10a)	精玄 米率 (%)	登熟 歩合 (%)	千粒 重 (g)	外観品質 (粒数比)						
							(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
2009年 (低温年)	鯖江市	14.4	Si	7.5	512	90.2	88.1	21.6	75.7	0.2	3.9	1.0	0.2
	落井		無施用	7.7	524	88.8	86.7	21.9	74.4	0.5	5.4	0.9	0.3
	福井市	14.0	Si	6.3	566	93.9	91.4	22.6	72.9	0.7	4.5	1.1	0.8
	寮		無施用	5.7	581	94.4	89.5	22.6	71.4	1.1	4.4	1.4	0.7
	越前町	6.2	Si	4.7	564	95.3 *	88.6	21.8	75.8	0.2	3.9	0.7	0.3
	岩開		無施用	4.8	558	93.1	88.6	21.7	74.4	0.2	5.0	0.8	0.7
	あわら市	5.1	Si	3.7 *	527	91.0 *	77.8	22.5	72.1	0.2	3.0	0.7	0.3
	北潟		無施用	3.1	511	87.3	81.7	22.2	70.7	0.2	3.4	0.9	0.3
2010年 (高温年)	福井市	11.4	Si	7.2	551	94.0	85.3	21.2	67.6	2.9	7.5	3.5	0.9
	寮		無施用	6.3	565	94.8	86.8	21.2	66.0	3.1	8.1	4.0	0.8
	鯖江市	7.6	Si	6.5	489	89.2	82.1	20.0	73.4	2.2	7.4	1.7	0.7
	中野		無施用	6.3	518	92.3	83.1	20.4	73.5	1.8	7.2	2.4	0.7
	あわら市	5.6	Si	5.0 **	588	96.4	88.1	22.0	72.3	1.7	6.1	2.5	1.1
	北潟		無施用	4.5	567	96.4	89.4	22.3	71.8	1.7	6.3	2.7	0.9

**は1%水準, *は5%水準で有意であることを示す

以上の結果から、コシヒカリの基肥一括施肥栽培における胴割抑制技術は次のようにまとめられる。

緩効性窒素は幼穂形成期頃から主たる溶出を開始し、施用量は葉色と出穂期の窒素含有量に反映される。

緩効性窒素を増施すると、高温年において胴割粒が減少し、さらに乳白粒も減少する。このとき、胴割率は出穂期の稲体窒素含有量と負の相関関係にある。

緩効性窒素の増施により玄米タンパク質含有率が高まるが、施肥窒素量を5 kg/10a までとすることで玄米タンパク質含有率を福井県の目標値である6.5%以下にすることができる。

IV. 引用文献

- 1) 天野高久 (1998) 寒地環境での生育相と生理反応. 業技術体系 作物編 第1巻 : 基 175-181
- 2) 大平陽一, 竹田博之, 佐々木良治 (2009) タンパク質変異米水稻品種の米粒内における種子貯蔵タンパク質の分布. 日作紀 78 (1) : 58-65
- 3) 環境省 (2007) IPCC 第4次評価報告書 第2作業部会報告書
- 4) 気候変動に関する政府間パネル (2007) Climate Change 2007 WG I The Physical Science Basis

- 5) 近藤始彦, 田中福代, 梅本貴之, 岩澤紀生 (2010) 登熟期の高温および窒素条件がイネ穎果内の同化炭素動態に及ぼす影響. 日本作物学会講演会要旨集 229 : 158-159
- 6) 森静香, 藤井弘志, 安藤豊 (2008) 水稻の時期別ケイ酸吸収速度に及ぼす土壌のケイ酸供給量. 土肥誌 79 (4) : 387-391
- 7) 長田健二, 滝田正, 吉永悟志, 寺島一男, 福田あかり (2004) 登熟初期の気温が米粒の胴割れ発生におよぼす影響. 日作紀 73 (3) : 336-342
- 8) 日本土壤肥料学会 (2001) 土壌水質および植物体分析法
- 9) 西端善丸, 牧田康弘, 伊森博志 (2001) 福井農試場報告 38 : 41-46
- 10) 農林水産省統計資料 米及び麦の生産費
- 11) 大西政夫, 堀江武 (1999) 重量法による水稻各器官中の非構造化炭水化合物の簡易定量法. 日作紀 68 (1) : 126-136
- 12) 建部雅子, 増村威宏, 田中國介 (2007) コメの品質, 食味向上のための窒素管理技術 [2-3], 農業および園芸 82 (1) : 35-48

Reduction Method of Cracked Rice “Koshihikari” Grain by Using Basal Fertilizer Application of Controlled – Release Coated Urea.

Kouichi HOSOKAWA*

Summary

Slow release nitrogen fertilizer of basal application of controlled – release coated urea begins to work gradually at about the panicle formation stage. Amount of slow release nitrogen fertilizer is reflected in the color of leaves and content of nitrogen of the ear emergence period.

When amounts of slow release nitrogen fertilizer increased, number of crack grain decreased in year of the high temperature and the protein content of brown rice increases. At this time, the crack rate was negatively correlated with the rice plant body nitrogen of the ear emergence period.