

# 登熟期の高温による水稻中生種‘ヒノヒカリ’の白未熟粒発生と管理技術の改善 (第1報)

## Improvement of Crop Management to Decrease the Incidence of White-immature Kernels of a Medium-maturing Rice Cultivar ‘Hinohikari’ Induced by High Temperature During Ripening Period ( I )

坂梨二郎・井手眞一\*・上野育夫

Jiro SAKANASHI, Sinichi IDE, and Ikuo UENO

### 要 約

熊本県では、近年の気候温暖化の影響により、特に登熟前半に高温に遭遇しやすい中生群品種を中心に白未熟粒が発生し、上位等級率の低下が著しい状況にある。そこで、中生良食味品種‘ヒノヒカリ’の白未熟粒発生に係る気象要素の解析と白未熟粒の発生を抑制する技術を検討した。

その結果、登熟期の最低気温の上昇が登熟及び品質の低下に影響を及ぼしていることが示唆された。また、白未熟粒の発生を軽減する方法として、移植時期を遅らせること、6月上中旬移植では、基肥、穂肥及び晩期穂肥（出穂約10日前）の施肥体系で、かつ、登熟期の水管理は落水時期を出穂後35日以降まで延長することが有効であった。

さらに、6月下旬移植での生育量と白未熟粒の発生の関係を検討した結果、1等米格付けには白未熟粒割合を5%以下にすることが必要であり、その場合の $m^2$ 当たり粒数の上限は33,000粒と考えられた。

キーワード：水稻、中生種、高温、白未熟粒、移植時期、穂肥、水管理、1等米、生育量

### I 緒言

県産米の評価を高めるためには、食味とともに品質向上が重要であり、関係機関一体となり、1等米比率90%以上を目指した取り組みが行われている。本県では、水稻の主力品種である‘ヒノヒカリ’を中心とした普通期中生種の作付けが全面積の約65%を占めている。しかし、近年の高温年において、乳白粒等の発生で品質低下が著しく、過去4カ年の1等米比率の平均は約23%とかなり低い水準となっている。等級格下げの理由は、白未熟粒、及び充実不足の発生によるものであり、発生要因として高温・日照不足等気象に起因するもの、少肥・水管理等栽培に起因するもの等が考えられている。

水稻の登熟適温は日平均気温で20℃～25℃付近にあり、これを上回ると、高温で整粒歩合が低下する、いわゆる高温登熟障害が発生することが明らかになっている<sup>1)2)3)</sup>。生産現場では、移植時期の繰り下げにより出穂期を遅延させ、高温遭遇による白未熟粒の発生を軽減させるよう努力がなされている。

一方、温暖化により2081～2100年の日本の平均気温は、1981～2000年の平均値に比べて、2～3℃（北海道の一部で4℃）程度の昇温の予測もある。<sup>4)</sup>

このまま高温化の傾向が続けば、今後とも玄米品質の劣化は避けられない状況にあり、気候温暖化の中で品質向上を図るためには、早急な対応技術を検討することが重要である。本報告は、中生良食味品種の白未熟粒に係る気象要素の検討と、白未熟粒の発生を抑制する技術を明らかにすることを目的として検討し、その結果を取りまとめたものである。

### II 材料及び方法

#### 1. 気象と白未熟粒の発生

試験は、1987年から2007年において、熊本県農業研究センター農産園芸研究所（灰色低地土壌）内水田で実施した。供試品種は‘ヒノヒカリ’であり、6月21日中苗移植を行い、収量・収量構成要素と登熟期間の気温との関係を検討した。

#### 2. 白未熟粒発生抑止技術の検討

##### 1) 移植時期

試験は、‘ヒノヒカリ’を用い、熊本県農業研究センター農産園芸研究所（黒ボク土壌）内水田において2005年及び2006年に行った。試験の規模は約25 $m^2$ で2反復とした。移植時期は、2005年は6月9日及び6月30日、2006年には6月19日及び6月28日とした。

\* 天草地域振興局普及指導課

いずれも中苗を用い、栽植密度は㎡当たり18.5株で、1株3本の手植えとした。窒素施肥量はa当たり基肥0.5kg、穂肥は出穂前20日前後に0.3kg、その7日後に0.2kgを施用した。玄米品質は1.8mmで篩った玄米500粒について旧食糧庁の調査基準に基づいて目視判定を行った。以下、他の試験においても玄米品質の調査は同様に行った。

2) 追肥

2005年及び2006年に‘ヒノヒカリ’を供試し、晩期穂肥の有無が白未熟粒割合に及ぼす影響について検討した。栽植密度(株/㎡)は18.5株で、2005年6月9日・28日移植、及び2006年6月19日・28日移植において2水準の2反復とした。試験規模は、約25㎡で、窒素の施用時期及び量については前記のとおりある。

3) 登熟期の水管理

2006年、温室内において、‘ヒノヒカリ’を供試し、6月28日移植で、落水時期(出穂後から落水までの日数)が品質に及ぼす影響を検討した。落水時期は出穂後20日、25日、30日、35日及び40日の4時期とし、試験規模は4.8㎡で2反復とした。窒素施肥量はa当たり基肥0.5kg、穂肥は出穂前18日に0.2kg、その10日後に0.2kgを施用した。

3. 白未熟粒の発生を少なくするための生育指標の検討

試験(1)

2005年に、‘ヒノヒカリ’を供試し、a当たり窒素施肥量は、基肥0.5kgに追肥0.5kgとし、追肥時期を出穂前の30日、20日、10日の3時期で行った。試験規模は25.6㎡の2反復で実施した。対照区のa当たり窒素施肥量は基肥0.5kg、穂肥は出穂前20日前後に0.3kg、その10日後に0.2kgを施用した。栽植密度は㎡当たり18.5株で6月9日に1株3本の手植移植を行った。

試験(2)

2007年6月22日移植及び29日移植において、‘ヒノヒカリ’を供試し、第5表に示す施肥区を設置した。

緩効性肥料は全量基肥施用で、LPコート100(リニア溶出100日)、LPコート140(リニア溶出140日)及びLPコートSS100(抑制45日、溶出55日)、LPコートS120(抑制60日、溶出60日)の特性を持つ肥効調節型肥料を用いた。

試験では、慣行型に加え、生育後期の窒素肥効を考慮し、LPコートS120を配合した肥料及びリニア型の配合肥料を検討した。

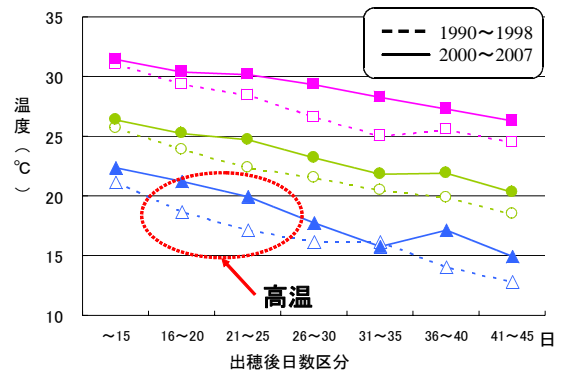
施肥時期は、移植3日前の代かき時としたが、生産現場では、施肥時期が早い場合もあることから、6月22日移植区で移植10日前に施用し、6月29日移植区で移植11日前に施用した。

III 結果及び考察

1. 気象と白未熟粒の発生

第1図は、試験期間を前期及び後期に区分した場合の10年毎に分けて、登熟期間気温について示したが、直近の8年において、登熟期間を通じ、気温は高めに推移しており、特に登熟前半の最低気温の上昇が顕著であった。また、日照についても、第1表に示すように、登熟初期に寡照であった。生育及び品質では、㎡当たり粒数は、37000粒程度で大きな差はないが、直近の8年で登熟歩合が低下し、検査等級も著しく低下していることが窺えた。

このことから、長戸ら<sup>5)</sup>及び森田ら<sup>6)</sup>の報告にもあるように、特に、登熟期の最低気温の上昇が、登熟及び品質に影響を及ぼしていることが示唆された。



第1図 登熟期間の気温の推移(出穂後45日間)

第1表 試験区間別収量構成要素・品質及び気象要素の比較

年次	㎡当たり 粒数 (*100粒)	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	検査 等級	出穂後20日間の 気象要素	
					平均気温 (°C)	日照時間 (積算hr)
1990~1998	370	74.3	22.3	1等下	25.3	132
2000~2007	373	69.4	22.4	2等中	26.2	123

注)台風遭遇年次1991、1999、2004年を除く

2. 白未熟粒発生抑制技術の検討

1) 移植時期

‘ヒノヒカリ’の6月上中旬の早植及び6月下旬の遅植において、移植時期の違いが品質に及ぼす影響を検討した。

生育量、日照時間及び日射量の差が白未熟粒の発生に年次間変動をもたらしたと考えられるが、その発生割合は、第2表及び第3表に示すように、遅植により2005年及び2006年で、6%~10%程度減少した。また、2005年は早植より遅植の方が登熟気温がやや高く推移したにもかかわらず、白未熟粒の発生は遅植で低減の傾向がみられた。遅植の効果は、高温の影響を少なくするのみに終

わらず、遅植によるラグ期の短縮や出穂期前後の非構造的炭水化物の増大<sup>7)</sup>等、稲体の生理活性の維持向上に何らかの要因が影響していると考えられる。このことから、稲作中期以降の非構造的炭水化物の割合を高める肥培管理法についての検討が、今後、重要と考えられる。

2) 追肥 (晩期穂肥の効果)

2005年6月上旬及び下旬移植の‘ヒノヒカリ’において、a 当たり窒素施肥量で基肥0.5kg・出穂約20日前穂肥0.3kgの施肥体系で晩期穂肥(出穂約10日前)0.2kgの施用効果について検討した。

第2表に示すように、試験区の㎡当たり粒数は31,000~34,000粒の範囲であり、晩期穂肥を施用することにより、6月上旬移植において白未熟粒割合は2%程度減少した。白未熟粒の中では、乳白粒の割合が減少した。

一方、2006年6月中旬移植試験では、粒数の総数同一水準で、第3表に示すように、同様に、晩期穂肥施用により白未熟粒割合は5%程度と大幅に減少した。

6月下旬移植では、2005年及び2006年とも、穂肥施用による白未熟割合の差違はなかった。

また、晩期穂肥の施用により、玄米のタンパク質含有率は上昇するが、許容の範囲内であると考えられた。

窒素追肥時期について、楠田ら<sup>8)</sup>は、低窒素米(良食味質米)生産のための穂肥の減量が稲体の窒素栄養条件を劣化させ、白未熟粒の発生を助長していることを指摘している。現在、本県では、緩効性肥料の普及率は、40%程度を占めるに至っているが<sup>9)</sup>、生育期間の高温の影響で、窒素溶出が前進化し、生育後期に肥効切れを呈し、品質を低下させる一要因と考えられる。

本試験では、晩期穂肥の効果が認められたが、今後、さらに、気象条件、稲体の栄養状態、並びに生育量(粒数)に相応した穂肥の施用効果について検討が必要である。

3) 登熟期の水管理

各試験区は8月28日に出穂し、出穂期後の各区の灌水・落水処理を行った。出穂後20日間の日平均気温は26.3℃と高温条件であった。コンクリート枠内の水田は、それぞれの落水時期まで間断かんがいを実施した。

第4表に示すとおり、落水時期の延長は、心白粒、腹白粒、及び背白粒の発生抑制の効果は認められないが、落水時期を出穂後25日以降に延長することにより、乳白粒及び基白粒の発生は減少し、検査等級も良好となった。

落水時期は、収穫作業が可能な地耐力を考慮すると、

第2表 移植時期と施肥が白未熟粒割合に及ぼす影響(2005年)

移植時期	施肥法	一穂 粒数	穂数	㎡当 り 粒数	登熟 歩合%	白未熟粒割合(%)					玄米タン パク質含 有率(%)	検査 等級 (1~9)	
						白未熟粒 割合の計	乳白	背白	基白	心白			腹白
6/上	5-3-2	110.2	287	316	70.4	20.2	12.8	0.7	3.3	2.3	1.2	7.6	8.0
	5-3-0	108.6	305	331	69.4	22.8	17.2	0.9	2.1	1.7	0.9	7.4	9.5
6/下	5-3-2	107.1	385	412	63.6	12.0	3.2	0.3	1.3	6.8	0.5	-	6.5
	5-3-0	94.8	379	359	68.0	12.1	5.3	0.5	1.8	4.4	0.1	-	6.0
分散分析	移植時期	-	-	-	-	**	**	*	*	**	*	-	-
	施肥	-	-	-	-	*	**	ns	*	ns	ns	-	-

注1) 施肥法は10a当たり窒素量kgを基肥一穂肥一晩期穂肥の順に表記。  
 注2) 白未熟粒は、500粒、2反復の旧食糧庁方式による目視調査。  
 注3) 玄米タンパク質含有率は、玄米水分15%時の値。第3表も同様に示した。  
 注4) 検査等級は、1(1等上)~9(3等下)の9段階で示した。  
 注5) 出穂後20日間の平均気温 6月上旬移植 26.1℃、6月下旬移植 26.3℃。

第3表 移植時期と施肥が白未熟粒割合に及ぼす影響(2006年)

移植時期	施肥法	一穂 粒数	穂数	㎡当 り 粒数	登熟 歩合%	白未熟粒割合(%)					玄米タン パク質含 有率(%)	検査 等級 (1~9)
						白未熟粒 割合の計	乳白	背白・基白	心白	腹白		
6/中	5-3-2	90.7	381	344	61.3	4.1	2.8	1.0	0.4	0.0	7.9	8.0
	5-3-0	94.1	373	350	63.0	9.9	6.6	2.5	0.7	0.2	7.6	8.0
6/下	5-3-2	67.3	461	310	77.6	4.0	2.9	0.2	0.6	0.2	7.9	5.5
	5-3-0	62.8	486	304	73.5	4.2	3.2	0.1	0.5	0.4	8.0	5.5
分散分析	移植時期	**	**	*	**	**	*	*	**	ns	-	-
	施肥	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	-	-

注) 出穂後20日間の平均気温 6月中旬移植 25.2℃、6月下旬移植 24.7℃。

第4表 登熟期の落水時期が玄米品質に及ぼす影響(2006年、温室内試験)

落水時期 (出穂後日数)	土壌水分 (%)	収量 kg/a	白未熟粒の発生粒数						検査等級 (1~9)
			心白	腹白	乳白	背白	基白	計	
20日	23.1	29.9	1.3	0.0	11.5	1.0	9.3	22.3	5.5
25日	28.6	28.5	2.0	0.5	11.8	0.5	10.0	24.3	5.5
30日	39.3	28.1	2.0	1.0	9.5	1.5	7.0	20.5	5.0
35日	35.2	28.5	2.5	0.5	7.8	1.0	6.8	18.5	5.0
40日	43.7	27.6	1.0	0.3	4.5	0.0	4.3	10.0	5.0

注1) 玄米品質は500粒調査。  
 注2) 出穂期は8月28日、成熟期は、10月10日。出穂後20日間の平均気温は26.3℃。  
 注3) 検査等級は1(1等上)~9(3等下)の9段階で示した。  
 注4) 試験は、かんしよ後作、2.0m×2.4mコンクリート枠内で実施した。日減水深1.5cm。

第5表 施肥方法に関する試験区の構成

基肥 施肥時期	試験区	施肥 (配合割合)	窒素成分量 (k g /10 a)						計	
			速効性	基肥				穂肥		晩期穂肥
				LPコート	LPコート	LPコート	LPコート			
	無肥料								0	
標	減肥 I	300	3					0	3	
標	減肥 II	332	3					3	8	
標	標肥	532	5					3	10	
(早)	緩効性肥料 (慣行型)	5:5:0	4		4				8	
標	緩効性肥料 (慣行型)	5:5:0	4		4				8	
標	緩効性肥料 (新配合型)	5:2.5:2.5	4		2	2			8	
標	緩効性肥料 (新配合型)	5:0:5	4			4			8	
標	緩効性肥料 (慣行型+カコート)	5:5:0	4		4				8	
標	緩効性肥料 (リニアタイプ)	4:1	1.6	5.1	1.3				8	

注1) 施肥は、基肥-穂肥-晩期穂肥、配合の数字は配合割合を示す。

注2) 基肥施用時期：標は移植3日前施用。

(早)は、6月22日移植区で移植10日前、6月29日移植区で移植11日前に施用。

注3) 穂肥、晩期穂肥の施用時期は、6月22日移植区を上段\*、6月29日移植区を下段\*\*に示した。

出穂後35日(本試験では成熟期の8日前にあたる)まで延長することで、乳白粒及び基白粒の発生を抑制することができると考えられた。

なお、登熟期間の掛け流し灌漑法については四国及び北陸地域における早期水稻‘コシヒカリ’の報告があるが<sup>10)11)</sup>、本県における普通期水稻の掛け流し灌漑法の効果検証は重要検討事項である。

### 3. 白未熟粒の発生を少なくするための生育指標の検討試験(1)

第6表に2005年の追肥時期の籾数と品質との関係を示した。晩期穂肥重点施用で㎡当たり籾数が制御され、白未熟粒の発生が軽減された。出穂前10日の施用区は、㎡当たり籾数29,000粒程度であったが、31,000粒を超えた他の施肥区に比較すると、白未熟粒割合が約半数に減少した。

このことから、白未熟粒の発生は、生育量(籾数)の影響が大きいことが示唆された。

#### 試験(2)

2007年6月下旬移植‘ヒノヒカリ’について、施肥法の検討を行った。

第2図では、検査等級について1等格付けを確保するためには、白未熟粒割合を5%以下に抑える必要がある

第6表 施肥による籾数制御と品質向上の事例(2005)

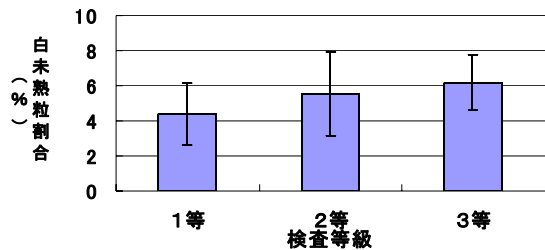
施肥条件	㎡当たり 粒数	収量 比率	検査等級	白未熟粒 率(%)
-20(0.3)+10(0.2)分施	31,600	(100)	3等中	27.8
-30のみ追肥(0.5)	34,800	99	3等下	27.8
-20のみ追肥(0.5)	32,600	96	3等下~外	36.2
-10のみ追肥(0.5)	28,800	92	3等上	14.0

注) 施肥条件の-数値は出穂前日数、( )は施肥量(N kg/a)

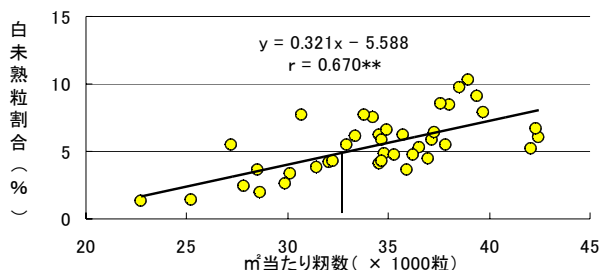
と考えられた。また、第3図では、白未熟粒割合と㎡当たり籾数には正の相関があり、白未熟粒割合を5%以下に抑えるための㎡当たり籾数の上限は33,000粒であった。第4図に示すとおり、㎡当たり籾数が33,000粒を超えると、収量は60kg/a以上に増加するが、白未熟粒割合も増加し外観品質が低下した。

2007年の試験から得られた籾数の上限値は、登熟期間が多照条件で経過した結果であり、寡照等の不良条件下においては、この値はさらに低くなることが考えられる。

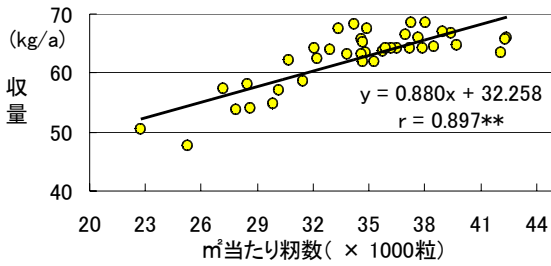
今後は、品質向上のための最適な籾数を把握する必要があり、最適籾数を確保するための中期生育量の指標化及びそのための管理技術の検討が必要である。



第2図 検査等級と白未熟粒割合(2007)



第3図 ㎡当たり粒数と白未熟粒割合との関係(2007)



第4図 m<sup>2</sup>当たり籾数と収量との関係(2007)

#### IV 引用文献

- 1) 松島省三, 真中多喜夫, 日本作物学会紀事 25, 203-204, 1957.
- 2) 佐々木康之, 今井良衛, 細川平太郎, 新潟県農業試験場研究報告第33号, 45~54, 1983.
- 3) 寺島一男, 齋藤祐幸, 酒井長男雄, 渡部富男, 尾形武文, 秋田重誠, 日本作物学会紀事 70, 449-458, 2001.
- 4) 気象庁, 地球温暖化予測情報, IPCC の SRES A2シナリオを用いた地域気候モデルおよび都市気候モデルによる気候予測, 2005.
- 5) 長戸一雄, 江幡守衛 日本作物学会紀事 28, 275-278, 1959.
- 6) 森田敏, 白土宏之, 高梨純一, 藤田耕之輔, 日本作物学会紀事 71, 102-109, 2002.
- 7) 塚口直史, 堀江武, 大西政夫, 日本作物学会紀事 65, 445-452, 1996.
- 8) 楠田宰, 福島陽, 中野洋, 日本作物学会九州支部会報 70, 1-3, 2004.
- 9) 緩効性肥料普及状況に関する調査 熊本県農林水産部農産課調べ, 2007
- 10) 坂田雅正 平成17年度作物試験研究推進会議稲部会「水稻の高温登熟研究手法に関する研究会」資料 24-28, 2005.
- 11) 永島秀樹・中村啓二・猪野雅哉・黒田晃・橋本良一 高温登熟条件下における乳白粒及び胴割粒の発生軽減技術 石川県農業総合研究センター研究報告第26号, 2005.

#### Summary

### Improvement of Crop Management to Decrease the Incidence of White-immature Kernels of a Medium-maturing Rice Cultivar 'Hinohikari' Induced by High Temperature During Ripening Period ( I )

Jiro SAKANASHI, Sinichi IDE, and Ikuo UENO

In Kumamoto Prefecture, white-immature kernels is occurred by the influence of the climate warming in recent years around the medium-maturing rice cultivar that especially encounters the high temperature easily in the beginning of ripening period, and it exists in the situation with a remarkable decline at the rate of high grade rice in inspection.

The main reason to demote the inspection grade is due to the occurrence of white-immature kernels and lack of enhancement of brown rice. It is thought that these matters originates in meteorological conditions such as the high temperature and sunny shortage at the ripening period and the cultivation conditions of low input fertilizer and the water management, etc.

Therefore, analysis of meteorological element that lies the white-immature kernels of a medium-maturing rice cultivar 'Hinohikari' and the occurrence factor of the white-immature kernels of rice, and techniques that decreased them was clarified.

As a result, It was suggested that the rise of the lowest temperature of during the ripening period influence the decrease in grain filling and the quality. and for decreasing the occurrence of the white-immature kernels, delaying the transplant time, and topdressing for ripening 10 days before heading adding to usual fertilizer application in the middle on June, and also drainage since then on the 35th of the heading was effective.

In addition, about the relation between the growth quantity and occurrence of the white-immature kernels in rice cultivar 'Hinohikari', the inspection grade ranking was improved as the 1st grade by decreasing the white-immature kernels to equal to or less than 5%. In that case, upper bounds of the number of spikelets per square meter were guessed to be 33,000 for improving quality.

key word : rice cultivar, medium-maturing, high temperature, white-immature kernels, transplant time, topdressing, water management, 1st grade, growth quantity