

## 研究・技術ノート

# 高知県の水稻早期栽培用品種における白未熟粒割合の 年次、地域間差に関与する要因の解析

高田聖<sup>1,2)</sup>・坂田雅正<sup>1)</sup>・亀島雅史<sup>1)</sup>・山本由徳<sup>3)</sup>・宮崎彰<sup>3)</sup>

(<sup>1)</sup> 高知県農業技術センター, (<sup>2)</sup> 愛媛大学大学院連合農学研究科, (<sup>3)</sup> 高知大学農学部)

**要旨：**高知県の水稻早期栽培の主要品種コシヒカリ、ナツヒカリの2品種について、白未熟粒割合の年次、地域間差に関与する要因を解析した。白未熟粒割合には品種間差が認められ、年次に関わらずコシヒカリではナツヒカリに比べ白未熟粒割合が有意に高かった。また、年次間の白未熟粒割合にはコシヒカリでは有意差が認められ、ナツヒカリでは有意差は認められなかった。コシヒカリでは、登熟前・中期の日最低気温が23℃以上で、登熟中期の日照時間が6 hr/日以下でそれぞれ基白粒割合、乳白粒割合が高い試験地が認められ、登熟前・中期の日最低気温が高い年には基白粒、登熟中期の日照時間が短い年には乳白粒が多発したことが年次間差を生じさせた要因と考えられた。さらに、品種、年次に関わらず白未熟粒割合には大きな地域間差が認められた。白未熟粒割合の地域間差には登熟期間の気象条件の違いのみならず、出穂期における生育の違いも関与していることが指摘され、コシヒカリでは登熟前・中期の日最低気温が高い年には少肥栽培により基白粒の発生が、登熟中期の日照時間が短い年には多肥栽培により乳白粒の発生が助長されることが地域間差を生じさせた要因と考えられた。一方、ナツヒカリでは登熟期間の気象条件に関わらず穂長が長く、m<sup>2</sup>当たり粒数が多かった場合に白未熟割合が高まると推察された。

**キーワード：**玄米品質、高温登熟性、白未熟粒、水稻、早期栽培、品種間差異。

近年、登熟期間の高温に起因する玄米品質（検査等級）の低下が顕著となり、全国的に大きな問題となっている（寺島ら 2001, 高橋 2004, 森田 2005, 寺島 2005, 松村 2006）。全国でも屈指の早場米生産地帯である高知県においても、4月上旬に移植し、8月上旬に収穫する早期栽培で背白粒、基白粒、乳白粒、腹白粒、心白粒（本報では、これら玄米に白濁部が認められる粒を総称して白未熟粒とし、それぞれを白未熟粒のタイプと定義した）が多発し、玄米品質が大きく低下している。特に、2006年、2007年には早期水稻全体の1等米比率はそれぞれ7.5%、3.7%と極めて低い数値を示すとともに、白未熟粒の発生により検査等級が低下した割合〔検査等級2等以下に格付けされた主たる理由（2等以下格付け理由）が白未熟粒であった割合〕は45.1%、32.8%にも上り、生産現場からは早急な対策の確立が求められている。

白未熟粒が発生する主要因は登熟期間の高温であり（松村 2006）、白未熟粒の発生する登熟期間の温度に関する報告はすでに多数認められている（松島ら 1957, 松島・和田 1959, 森田 2000 a, b, 2005, 井上 2005, 寺島 2005, 月森 2005, 松村 2006, 若松ら 2007）。一方で、登熟期間の寡照、過剰な粒数および少肥化傾向による生育後期の窒素栄養不足等が白未熟粒の発生を助長しているとする多くの報告もみられる（津森 1987, 金田・進藤 2000, 寺島ら 2001, 小葉田ら 2004, 井上 2005, 月森 2005, 松村 2006）。こうした報告からは、白未熟粒の発生には多くの要因が関与して

いることが指摘され、効果的な対策を確立するためには、白未熟粒の発生実態を調査し、白未熟粒の発生に関与している気象的、栽培的要因を明らかにすることが重要である。

全国的にみて特異な作型といえる西南暖地の早期栽培において、若松ら（2007）は、鹿児島県農業開発総合センターにおける作期移動試験の結果から背白粒、基白粒は出穂後20日間の日平均気温の平均値が27～28℃以上で多発することを報告している。また、坂田・高田（2006）は、高知県早期栽培における年次ごとの1等米比率と登熟期間の気象条件との関係から、白未熟粒発生の主要因として登熟期間の高温および寡照を指摘している。しかしながら、西南暖地の早期栽培において、複数の年次、地域における白未熟粒の発生実態をもとに、白未熟粒割合と登熟期間の気象条件、栽培方法および生育との関係について詳細に検討された事例は見あたらない。

そこで、高知県水稻早期栽培の主要品種であるコシヒカリ、ナツヒカリの2品種について、県内各地から複数年にわたり収集したサンプルを用い、白未熟粒割合の品種、年次および地域間差を調査するとともに、それらに影響を与える気象的、栽培的要因について解析した。

## 材料と方法

### 1. 材料

解析には2005～2007年に高知県農業技術センター（以下、農技セと記す）および奨励品種決定調査現地調査（高知県

第1表 供試サンプルの栽培法 (2005~2007年).

試験地	移植日 (月 / 日)			栽植密度 (株 / m <sup>2</sup> )			窒素施肥量 (g/m <sup>2</sup> )		
	05年	06年	07年	05年	06年	07年	05年	06年	07年
安芸市	4/15	4/14	4/16	13.9	15.2	15.2	4.1	2.0	4.0
香南市	4/15	4/13	4/13	15.2	20.8	16.7	6.6	6.6	6.8
南国市	4/ 6	4/ 6	4/ 6	15.2	15.2	15.2	6.8	6.0	6.0
農技セ1	4/15	4/10	4/ 9	20.8	20.8	20.8	9.0	9.0	9.0
農技セ2	4/15	4/10	4/ 9	20.8	20.8	20.8	12.7	12.7	12.7
農技セ3	4/15	4/10	4/ 9	20.8	20.8	20.8	9.0	9.0	9.0
農技セ4	4/28	4/25	4/27	20.8	20.8	20.8	6.0	6.0	6.0
高知市	4/13	4/ 6	4/11	15.2	15.2	15.2	6.0	6.0	6.0
春野町	4/23	4/14	4/15	18.5	15.2	15.2	7.6	10.2	6.0
四万十市	4/15	4/13	4/12	22.2	22.2	22.2	6.0	7.7	7.5

05年:2005年, 06年:2006年, 07年:2007年. 試験地の「農技セ」は高知県農業技術センター (南国市). 供試品種は安芸市ではコシヒカリのみ, 他の試験地ではコシヒカリ, ナツヒカリの2品種. いずれも稚苗を移植し, 植付本数は3~5本/株.

内の6地点, 以下, 現地調査と記す) の7試験地, 10試験区から収集した計48サンプル[コシヒカリ:30点 (2005~2007年, 各年10点), ナツヒカリ:18点 (2005年, 2006年, 安芸市を除く各年9点)]を用いた (第1表). 供試サンプルの移植日は4月6~28日であり, 南国市で最も早く農技セ4で最も遅かった. 栽植密度は13.9~22.2株/m<sup>2</sup>であり, 四万十市, 農技セでやや密植であった. 窒素施肥量は2.0~12.7g/m<sup>2</sup>であり, 農技セ2で最も多く安芸市で最も少なかった. また, いずれの試験地においても3カ年とも同じ水田ではほぼ同じ栽培方法で栽培されており, 栽培方法の年次間差は農技セ1~3, 高知市, 春野町の移植日 (農技セ, 春野町では2005年がやや遅植え, 高知市では2006年がやや早植え), 香南市の栽植密度 (2006年でやや密植), 春野町の窒素施肥量 (2006年で多肥) を除いて小さかった.

## 2. 調査法

調査項目は生育, 収量構成要素, 精玄米重, 白未熟粒割合および登熟期間の気象条件とした. 成熟期に, 欠株が無く生育の揃った地点において30株の稈長, 穂長および穂数を測定し, m<sup>2</sup>当たり穂数を算出した. また, その中から穂数が平均的な3株を株ごとに収穫し, 1穂およびm<sup>2</sup>当たり籾数を調査するとともに, 粒厚1.8mm以上の玄米を精玄米として登熟歩合 (精玄米粒数÷全籾数), 玄米千粒重, 精玄米重 (いずれも水分15%換算値) を求めた. さらに, 得られた精玄米から無作為に抽出した約1000粒を供試して, 穀粒判別器 (RGQI10 A, SATAKE 社製) を用いて白未熟粒のタイプ別割合 (乳白粒割合, 基白粒割合および腹白粒割合) を求めた. 穀粒判別器では, 乳白粒と心白粒の合計が乳白粒割合として, 背白粒と腹白粒の合計が腹白粒割合として算出されるが, 本研究では心白粒の発生はみられず, また, 腹白粒とカウントされた粒の全てが背白粒であったため, 腹白粒割合を背白粒割合と表記し, 乳

第2表 品種, 年次別の白未熟粒割合の平均値と分散分析結果.

品種	年・要因	割合 (%)			
		白未熟粒	乳白粒	基白粒	背白粒
コシヒカリ	2005	25.2	11.4	10.8	1.6
	2006	48.0	25.4	18.7	3.9
ナツヒカリ	2005	11.9	4.4	5.0	2.5
	2006	14.2	6.1	6.4	1.7
	品種 (A)	**	**	**	ns
	年次 (B)	**	*	**	ns
	試験地 (C)	ns	ns	*	ns
	(A) × (B)	**	*	*	*
	(A) × (C)	ns	ns	ns	ns
	(B) × (C)	ns	ns	ns	ns

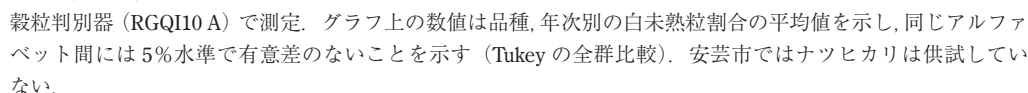
穀粒判別器 (RGQI10 A) で測定. 安芸市を除く9試験地の平均値を示す. \*, \*\* はそれぞれ5%, 1%水準で有意差および有意な効果のあることを, nsは有意差および有意な効果のないことを示す.

白粒割合, 基白粒割合および背白粒割合の合計を白未熟粒割合とした. なお, 現地調査における出穂期および成熟期は普及指導員からの聞き取り調査によるもので, 現地調査および農技セ3では1穂およびm<sup>2</sup>当たり籾数, 登熟歩合は調査しなかった. また, 気象データ (気温, 日照時間) には各試験地に最も近いAMeDAS観測値を用い, 登熟期間を前期 (出穂期~同10日後), 中期 (同11~20日後), 後期 (同21日後~成熟期) の3時期に分けた場合の各時期の気象条件を求めた.

## 結 果

### 1. 品種, 年次別の白未熟粒割合

第2表に2品種に共通の2カ年, 9試験地における白未熟粒割合と分散分析結果を示した. 白未熟粒割合, 乳白粒割合および基白粒割合に有意な品種間差, 年次間差が認められ, ナツヒカリに比べてコシヒカリで, 2005年に比べ2006年で割合が高かった. また, 基白粒割合を除き有意な



品種	年・要因	日平均気温 (℃)				日最高气温 (℃)				日最低气温 (℃)				日照時間 (hr/ 日)			
		全期	前期	中期	後期	全期	前期	中期	後期	全期	前期	中期	後期	全期	前期	中期	後期
コシヒカリ	2005	26.7	24.9	27.3	27.6	30.4	28.1	31.2	31.7	23.2	22.3	23.3	23.7	5.0	2.3	7.5	5.3
	2006	27.2	26.7	26.6	27.8	30.8	29.8	29.2	32.4	24.1	24.3	24.4	23.9	5.7	3.2	3.6	8.6
ナツヒカリ	2005	26.3	25.3	25.5	27.7	29.9	28.6	29.0	31.7	22.9	22.6	22.4	23.6	4.6	2.3	3.8	7.2
	2006	26.5	25.5	27.1	26.9	29.7	28.6	30.2	30.2	23.9	23.0	24.6	24.2	3.9	2.2	3.8	5.3
試験地	品種 (A)	**	*	*	**	**	ns	ns	**	**	**	**	ns	**	ns	*	ns
	年次 (B)	**	**	ns	*	ns	*	ns	ns	**	**	**	**	ns	ns	**	ns
	試験地 (C)	**	*	*	**	**	*	*	**	**	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
	(A) × (B)	*	**	**	**	**	*	**	**	ns	**	**	**	**	ns	**	**
	(A) × (C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	(B) × (C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

第3表には2品種に共通の2カ年、9試験地における登熟時期別の気象条件と分散分析結果を示した。登熟前・中期の日最高気温、登熟後期の最低気温および登熟前期、後期の日照時間を除いて有意な品種間差が認められ、コシヒ

第4表 品種、年次別の出穂期、成熟期、生育、穂数、玄米千粒重および収量の平均値と分散分析結果.

品種	年・要因	出穂期 (月/日)	成熟期 (月/日)	穂長 (cm)	穂長 (mm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	玄米 千粒重 (g)	精玄 米重 (g/m <sup>2</sup> )
コシヒカリ	2005	7/ 3	8/ 7	85.9	179	455	21.83	533
	2006	7/ 7	8/13	86.4	182	429	21.10	467
ナツヒカリ	2005	6/26	7/29	68.1	165	501	22.95	436
	2006	6/29	8/ 1	71.3	173	472	21.81	451
	品種 (A)	**	**	**	**	**	**	**
	年次 (B)	**	**	ns	*	*	**	ns
	試験地 (C)	**	**	**	ns	**	ns	*
	(A) × (B)	*	ns	ns	ns	ns	ns	*
	(A) × (C)	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	(B) × (C)	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

玄米千粒重は精玄米を対象とした水分 15%換算値。安芸市を除く 9 試験地の平均値を示す。\*, \*\* はそれぞれ 5%, 1%水準で有意差および有意な効果のあることを, ns は有意差および有意な効果のないことを示す。

カリではナツヒカリに比べて気温が高くて日照時間が長かった。また、日最低気温においては時期に関わらず有意な年次間差が認められ、2006 年では 2005 年に比べて日最低気温が高かった。登熟中期の日照時間にも有意な年次間差が認められ、2006 年では 2005 年に比べて登熟中期の日照時間が短かった。さらに、登熟前～後期の日最低気温および日照時間を除き有意な試験地間差が認められ、交互作用では品種×年次間で登熟全期の日最低気温および登熟前期の日照時間を除いて有意な効果が認められた。

### 3. 品種、年次別の生育、収量構成要素

第4表には2品種に共通の2カ年、9試験地における出穂期、成熟期、生育、穂数および玄米千粒重と分散分析結果を示した。全ての項目において有意な品種間差が認められ、コシヒカリではナツヒカリに比べて出穂期、成熟期が遅く、穂数が少なくて玄米千粒重が軽かった。また、出穂期、成熟期、穂長、穂数および玄米千粒重において有意な年次間差が認められ、2006 年では 2005 年に比べて出穂期、成熟期が遅く、穂数が少なくて玄米千粒重が軽かった。さらに、穂長、玄米千粒重を除く項目において有意な試験地間差が認められ、交互作用においては有意な効果はほとんど認められなかった。第5表には3試験地のみで調査した1穂およびm<sup>2</sup>当たり初数、登熟歩合の平均値と分散分析結果を示した。1穂およびm<sup>2</sup>当たり初数に有意な品種間差、試験地間差が認められ、コシヒカリではナツヒカリに比べて、1穂およびm<sup>2</sup>当たり初数が多かった。

### 4. シヒカリの白未熟粒割合の年次間差と気象、生育、収量構成要素との関係

年次間の白未熟粒割合に有意差の認められたコシヒカリについて、第6表に2007年を含む3カ年、10試験地による白未熟粒割合と登熟時期別の気象条件との相関関係を示

第5表 品種、年次別の初数および登熟歩合の平均値と分散分析結果.

品種	年・要因	初数		登熟 歩合 (%)
		1穂 (粒)	m <sup>2</sup> 当 (千粒)	
コシヒカリ	2005	73.3	31.5	73.8
	2006	74.1	32.8	73.0
ナツヒカリ	2005	50.2	26.6	72.8
	2006	52.4	26.3	84.2
	品種 (A)	**	**	ns
	年次 (B)	ns	ns	ns
	試験地 (C)	*	**	ns
	(A) × (B)	ns	ns	ns
	(A) × (C)	ns	ns	ns
	(B) × (C)	ns	ns	ns

登熟歩合は粒厚 1.8 mm 以上の精玄米粒数÷全初数。3 試験地（農技セ1, 2 および 4）の平均値を示す。\*, \*\* はそれぞれ 5%, 1%水準で有意差のあることを, ns は有意差および有意な効果のないことを示す。

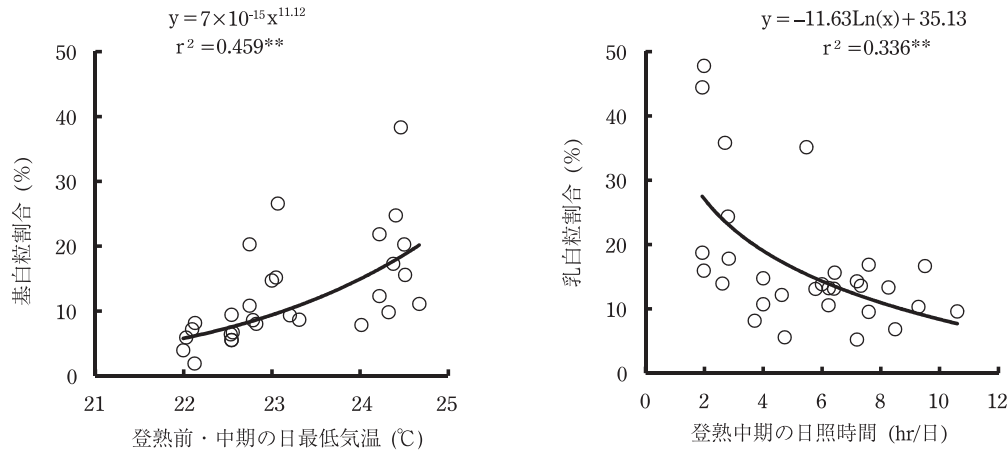
した。白未熟粒割合と登熟全期の日平均気温および日最低気温との間には有意な正の相関関係が認められ、日最低気温との間により密接な相関関係が示された。また、日最低気温との相関係数は登熟前・中期で特に大きく、白未熟粒のタイプ別では乳白粒割合に比べ基白粒割合との間で相関係数が大きかった。さらに、白未熟粒割合と登熟中・後期の日照時間との間にも有意なそれぞれ負、正の相関関係が認められ、白未熟粒のタイプ別では乳白粒割合との間で相関係数が大きかった。第2図にはコシヒカリにおける登熟前・中期の日最低気温と基白粒割合、登熟中期の日照時間と乳白粒割合との相関関係を示した。登熟前・中期の日最低気温が 23℃ 以上、登熟中期の日照時間が 6 hr/ 日以下でそれぞれ基白粒割合、乳白粒割合が高い試験地が認められた。なお、3カ年の白未熟粒割合と栽培方法、生育および



第6表 コシヒカリの白未熟粒割合と登熟時期別の気象条件との相関関係 (2005~2007年)。

割合	日平均気温 (°C)				日最高気温 (°C)				日最低気温 (°C)				日照時間 (hr/日)		
	全期	前期	中期	後期	全期	前期	中期	後期	全期	前期	中期	後期	前期	中期	後期
白未熟粒	0.44*	0.61**	-0.10	0.45*	0.19	0.49**	-0.41*	0.34	0.68**	0.69**	0.66**	0.30	0.27	-0.50**	0.70**
乳白粒	0.17	0.34	-0.25	0.24	-0.04	0.22	-0.44*	0.11	0.42*	0.43*	0.38*	0.17	0.12	-0.52**	0.60**
基白粒	0.56**	0.58**	0.27	0.49**	0.45*	0.55**	-0.00	0.47**	0.58**	0.58**	0.62**	0.32	0.33	-0.06	0.29

気温、日照時間は試験地に最も近い AMeDAS 観測値を使用。全期：登熟期間（出穂期～成熟期）、前期：出穂期～同10日後、中期：同11～20日後、後期：同21日後～成熟期。白未熟粒割合は穀粒判別器（RGQI10A）で測定。発生が少ない背白粒との相関関係は示していない。  
\*、\*\* はそれぞれ5%、1%水準で有意であることを示す（n=30）。



第2図 コシヒカリにおける登熟前・中期（出穂期後20日間）の日最低気温と基白粒割合、登熟中期（出穂期後11～20日）の日照時間と乳白粒割合との相関関係（2005～2007年）。  
基白粒および乳白粒割合は穀粒判別器（RGQI10A）で測定。\*\* は1%水準で有意であることを示す。

収量構成要素との相関関係をみたところ、玄米千粒重との間にのみ有意な負の相関関係（ $r = -0.45^*$ ）が認められただけであった（データ省略）。

##### 5. 白未熟粒割合の試験地間差と生育、収量構成要素との関係

第7表には品種、年次別の白未熟粒割合と登熟期間の気象条件、栽培方法、生育および収量構成要素との相関関係を示した。コシヒカリの3カ年のデータからは各年次の白未熟粒割合と気象条件、諸形質との間に一定の傾向は認められなかったが、基白粒の発生が多かった2005年は窒素施肥量が少なく $m^2$ 当たり穂数が少なく、1穂粒数が多くて登熟歩合が高い（登熟歩合のみ有意）試験地ほど白未熟粒割合が高い傾向にあった。また、乳白粒の発生が多かった2006年、2007年は窒素施肥量が多く、 $m^2$ 当たり粒数が多くて登熟歩合が低い試験地ほど白未熟粒割合が高い傾向にあった。一方、ナツヒカリの2カ年のデータでは年次に関わらず穂長が長くて $m^2$ 当たり粒数が多く、登熟歩合が低い試験地ほど白未熟粒割合が高い傾向にあった。

## 考 察

### 1. 白未熟粒割合の品種間差とその要因

高知県早期栽培の主要品種であるコシヒカリ、ナツヒカリの2005年、2006年の白未熟粒割合を比較した結果、白未熟粒割合には品種間差が認められ、年次に関わらずナツヒカリに比べてコシヒカリで有意に高かった（第2表、第1図）。両品種では出穂期が異なり登熟期間の温度はナツヒカリに比べてコシヒカリで高くなっており（第3表）、このことが白未熟粒割合の品種間差に関係していることは否定できない。しかし、品種間の温度差が小さかった2005年においても、白未熟粒割合には大きな品種間差が認められたことから、ナツヒカリはコシヒカリに比べ高温登熟性が優れることが指摘され、このことが品種間差の主要因であると考えられた。高田ら（2005）は、高知県農業技術センターにおける品種比較試験の結果から、ナツヒカリの高温登熟条件下での玄米品質がコシヒカリより優れることを報告しているが、生産現場における白未熟粒の発生実態からも、ナツヒカリはコシヒカリに比べ高温登熟性が優れることが確認された。なお、乳白粒は1穂および $m^2$ 当たり粒数と正の相関関係を示し、その発生には養分分配量の低下が影響していることが報告されている（角田1987、津森

第7表 品種、年次別の白未熟粒割合と登熟期間の気象条件、栽培方法、生育および収量構成要素との相関関係。

品種	年	登熟前・中期	登熟中期	窒素	稈長 (cm)	穂長 (mm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	粒数		登熟 歩合 (%)
		日最低気温 (°C)	日照時間 (hr/日)	施肥量 (g/m <sup>2</sup> )				1穂 (粒)	m <sup>2</sup> 当 (千粒)	
コシヒカリ	2005	0.36	-0.04	-0.49	-0.01	0.39	-0.51	0.99	-0.33	1.00**
	2006	0.27	-0.32	0.61	0.49	0.35	0.28	-1.00	0.55	-0.68
	2007	0.00	-0.09	0.34	0.18	-0.03	0.23	-0.20	0.47	-0.48
ナツヒカリ	2005	-0.34	-0.33	0.47	0.22	0.71*	0.43	0.19	1.00	-0.86
	2006	0.05	-0.24	0.03	0.18	0.54	-0.14	-0.73	0.62	-0.60

登熟歩合は粒厚1.8mm以上の精玄米粒数÷全粒数。白未熟粒割合は穀粒判別器(RGQ110A)で測定。\*, \*\*はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す。年次に関わらずコシヒカリ:n=10, ナツヒカリ:n=9(粒数, 登熟歩合についてはn=3)。

1987, 井上 2005, 月森 2005)。ナツヒカリはコシヒカリに比べ1穂粒数が少ない特性を示しており(第5表), このことが高温登熟性に関与している可能性も示唆される。ナツヒカリの高温登熟性が優れる要因については今後も検討する必要がある。

## 2. 白未熟粒割合の年次間差とその要因

白未熟粒割合の年次間差はコシヒカリで認められ, ナツヒカリでは認められなかった(第1図)。コシヒカリの登熟時期別の気象条件には有意な年次間差が認められ(第3表), コシヒカリの白未熟粒のタイプ別割合と登熟時期別の気象条件との関係を解析した結果, 基白粒割合と登熟前・中期(出穂期後20日間)の日最低気温との間には正, 乳白粒割合と登熟中期(出穂期後11~20日)の日照時間との間には負の, それぞれ有意な相関関係が認められた(第6表)。また, 登熟前・中期の日最低気温が23℃以上, 登熟中期の日照時間が6hr/日以下でそれぞれ基白粒割合, 乳白粒割合の高い試験地が認められた(第2図)。白未熟粒を多発させる登熟期間の高温遭遇時期としては, 出穂期後20日間を指摘する多くの報告(松島ら 1957, 長戸・江幡 1960, 1965, 森田 2000 a, 2005, 井上 2005, 寺島 2005, 月森 2005, 松村 2006, 若松ら 2007)があり, 松島ら(1957), 長戸・江幡(1960), 森田ら(2002), 森田(2005), 月森(2005)は最も影響が大きいのは同期間の日最低気温(夜温)であると述べ, 寺島(2005)は出穂期後2~3週間の日最低気温が23~24℃以上で白未熟粒の発生が顕著となると指摘している。また, 長戸・江幡(1965), 飯田ら(2002), 飯田・田畑(2005), 若松ら(2007)はその発生に対する高温の影響が大きい障害粒として背白粒, 基白粒を挙げている。さらに, 長戸(1952), 津森(1987), 寺島ら(2001), 小葉田ら(2004)は白未熟粒の発生には登熟期間の寡照も影響し, 登熟期間が高温寡照となった場合には特に乳白粒が多発することを報告している。高知県の早期栽培コシヒカリにおける広域にわたる生産現場を含む本研究の結果はこれらの報告とよく一致するものであった。

次に, コシヒカリの白未熟粒割合と栽培方法, 生育および収量構成要素との相関関係をみたところ, 白未熟粒割合

と玄米千粒重との間にのみ有意な負の相関関係が認められた( $r=-0.45^*$ )。長戸・江幡(1960), 鈴木・中村(1978), 森田(2000 a, b, 2005), 寺島ら(2001), 森田ら(2002), 松村(2006)は登熟期間の高温は玄米品質だけでなく粒重も低下させることを報告し, 若松ら(2007)は乳白粒は完全粒に比べて粒重が軽いことを指摘している。本研究においてもこれらの報告と同様の結果が得られた。

以上のことから, 高知県の広域にわたる生産現場を含む早期栽培コシヒカリにおける白未熟粒の発生には登熟期間の気象条件, 特に登熟前・中期の日最低気温および登熟中期の日照時間が深く関与し, 高温のみならず寡照の影響も大きいことが明らかとなった。登熟前・中期が高温であった場合には基白粒, 登熟中期が寡照であった場合には乳白粒が主として発生するのに対し, 登熟前・中期が高温かつ登熟中期が寡照であった場合には基白粒, 乳白粒ともに多発することが年次間差を生じさせた主要因と考えられた。白未熟粒割合と玄米千粒重との間にみられた負の相関関係については, 白未熟粒割合が特に高かった2006年には乳白粒が多発し, 乳白粒は粒重の低下を伴っていたために, 結果的に白未熟粒割合と玄米千粒重との間に有意な負の相関関係が認められたものと考えられた。なお, 登熟後期の日照時間と白未熟粒割合との間には有意な正の相関関係が認められた。同時期における日照時間と気温との間には有意な正の相関関係が認められ, これには温度の影響が関係しているものと推察されるが, 若松ら(2007)は登熟期間の日射量が多い場合には背白粒が多発するとも報告している。白未熟粒割合と日射量, 日照時間との関係は今後もさらに検討する必要がある。

一方, ナツヒカリでは白未熟粒割合の年次間差が認められなかったことについては, 同品種で白未熟粒が増加する温度は日平均気温で29~30℃以上であると推察され(高田ら 未発表), 本研究で用いたナツヒカリの登熟期間の日平均気温がいずれもその温度域を下回っていたことが関係しているものと考えられた。

## 3. 白未熟粒割合の地域間差とその要因

品種に関わらず白未熟粒割合には大きな試験地間差が認

められた(第1図)。試験地間の傾向はナツヒカリでは年次に関わらずほぼ同様であったのに対し、コシヒカリでは年次によって異なり、2005年では基白粒が多発した試験地で、2006年、2007年では乳白粒が多発した試験地で白未熟粒割合が高かった。また、コシヒカリの年次ごとの白未熟粒割合と栽培方法、生育および収量構成要素との間にも一定の傾向は認められず、2005年は窒素施肥量が少ない試験地ほど、2006年、2007年は窒素施肥量が多い試験地ほど白未熟粒割合が高い傾向にあった(第7表)。白未熟粒の発生と栽培方法および生育との関係については、少肥化による生育後期の窒素栄養不足が背白粒、基白粒を多発させているとする報告(金田・進藤 2000, 寺島ら 2001, 松村 2006)と、施肥量増による過繁茂、1穂および $\text{m}^2$ 当たり籾数の過剰が乳白粒を多発させているとする報告(津森 1987, 寺島ら 2001, 小葉田ら 2004, 月森 2005)とがある。コシヒカリにおいては、2005年は少肥栽培により $\text{m}^2$ 当たり籾数が少なかった試験地で基白粒の発生が助長され、2006年、2007年は多肥栽培により $\text{m}^2$ 当たり籾数が多かった試験地で乳白粒の発生が助長されたことが、白未熟粒割合の地域間差を生じさせた要因であると考えられた。

一方、ナツヒカリでは年次に関わらず白未熟粒割合と穂長、 $\text{m}^2$ 当たり籾数との間に正の相関関係が認められた。このことから、ナツヒカリの白未熟粒割合の地域間差には出穂期における生育の違いが影響し、登熟期間の気象条件に関わらず穂長が長くて $\text{m}^2$ 当たり籾数が多かった試験地において白未熟粒の発生が助長されたことが地域間差を生じさせた要因と考えられた。

#### 4. 高知県の早期栽培コシヒカリにおける白未熟粒の発生回避、軽減対策

本研究結果からは、高知県早期栽培の生産現場において品質低下が特に問題となっているのはコシヒカリであり、同品種における高温障害軽減技術の確立が喫緊の課題であることが確認された。白未熟粒の軽減対策としては、高温登熟を回避する作期移動(寺島ら 2001, 農林水産省 2003, 井上 2005, 寺島 2005, 月森 2005)が各地で効果をあげている。しかしながら、高知県の早期栽培コシヒカリでは移植時期を遅くすれば登熟期間の温度はむしろ高くなり、作期を早進化すれば移植期、穂孕期における冷害および登熟初・中期が寡照に遭遇する危険性が高まるため、作期移動による対応は困難であると考えられる(坂田・高田 2006)。したがって、今後は窒素施肥法の改善等による軽減技術の確立がその対策の中心となると推察される。一方で、本研究においては、高知県の早期栽培コシヒカリにおける白未熟粒の発生には登熟期間の高温のみならず、同期間の寡照も大きく関与していることが示され、多肥栽培により穂揃期の生育量が大きく登熟期間が高温寡照で経過した場合に乳白粒が問題となる年次、少肥栽培により登熟期間の窒素栄養状態が劣り登熟期間が高温で経過した場合に基白粒が

問題となる年次の双方が認められていることから、基肥による予防的な対策のみで白未熟粒の発生を抑制することは難しいと考えられる。坂田ら(2008)は、白未熟粒の発生軽減に対する肥効調節型肥料(リニア 40 日型)の穂揃期施用の効果を指摘している様に、出穂期における生育量および短期の気象予報をもとに実施できる有効な治療的施肥技術の確立が求められる。さらに、白未熟粒の発生回避、軽減に対する栽培対策がこのように限定される高知県早期栽培においては、コシヒカリに代わる高温登熟条件下における玄米品質が優れる品種を早急に育成する必要性は高く、その場合、高温寡照条件下での玄米品質も着目すべき特性であろうと考えられた。

#### 引用文献

- 飯田幸彦・横田国夫・桐原俊明・須賀立夫 2002. 温室と高温年の圃場で栽培した水稲における玄米品質低下程度の比較. 日作紀 71: 174-177.
- 飯田幸彦・田畑美奈子 2005. 水稲品質の高温耐性育種の可能性-茨城県における取り組み-. 日作紀 74: 89-91.
- 井上健一 2005. 高温のイネ生産への影響と技術的対策-福井県の場合-. 日作紀 74: 82-86.
- 金田吉弘・進藤勇人 2000. 高温条件下における水稲窒素吸収パターンが白粒発生に及ぼす影響. 日作東北支報 43: 73-75.
- 小葉田亨・植向直哉・稲村達也・加賀田恒 2004. 子実への同化産物供給不足による高温下の乳白米発生. 日作紀 73: 315-322.
- 松村修 2006. 高温登熟性を向上する. 農及園 81: 96-101.
- 松島省三・真中多喜夫・角田公正 1957. 水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究. 日作紀 25: 203-206.
- 松島省三・和田源七 1959. 水稲収量成立原理とその応用に関する作物学的研究. 日作紀 28: 44-45.
- 森田敏 2000a. 高温が水稲の登熟に及ぼす影響-人工気象室における温度処理実験による解析-. 日作紀 69: 391-399.
- 森田敏 2000b. 高温が水稲の登熟に及ぼす影響-作期移動実験と標高の異なる地点へのポット移動実験による解析-. 日作紀 69: 400-405.
- 森田敏・白土宏之・高梨純一・藤田耕之輔 2002. 高温が水稲の登熟に及ぼす影響-高夜温と高昼温の影響の違いの解析-. 日作紀 71: 102-109.
- 森田敏 2005. 水稲の登熟期の高温によって発生する白未熟粒、充実不足および粒重低下. 農業技術 60: 442-446.
- 長戸一雄 1952. 心白・乳白米及び腹白の発生に関する研究. 日作紀 21: 26-28.
- 長戸一雄・江幡守衛 1960. 登熟期の気温が水稲の稔実に及ぼす影響. 日作紀 28: 275-278.
- 長戸一雄・江幡守衛 1965. 登熟期の高温が穎果の発育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34: 59-66.
- 農林水産省 2003. 気象変動に適応した水稲生産技術に関する検討会(平成15年2月4日開催). 1-342.
- 坂田雅正・高田聖 2006. 高知県における高温登熟による品質低下に対応する品種と技術開発. 農及園 81: 102-109.
- 坂田雅正・高田聖・亀島雅史・山本由徳 2008. 被覆尿素肥料の穂揃期施用が高温登熟下における水稲品種コシヒカリの玄米収量および品質に及ぼす影響. 日作紀 77(別2): 16-17.



- 角田和美 1987. 乳白米等の発生機作. 農及園 62 : 831–835.
- 鈴木守・中村公則 1978. 暖地水稻の収量成立過程における気象要因の影響に関する二・三の解析. 日作紀 47 : 529–535.
- 高橋渉 2004. 気候温暖化条件下におけるコシヒカリの白未熟粒発生軽減技術. 農及園 79 : 1012–1018.
- 高田聖・坂田雅正・亀島雅史・山本由徳 2005. 水稻登熟期の高温条件下で発生する白未熟粒と高温登熟性の品種間差異. 日作紀 74(別 1) : 50–51.
- 寺島一男・齋藤祐幸・酒井長雄・渡部富男・尾形武文・秋田重誠 2001. 1999年の夏期高温が水稻の登熟と米品質に及ぼした影響. 日作紀 70 : 449–458.
- 寺島一男 2005. 全国的な高温化が米品質に及ぼす影響とその要因の解析. 日作紀 74 : 86–89.
- 月森弘 2005. 島根県における高温のイネ生産への影響と技術的対策. 日作紀 74 : 80–82.
- 津森重邦 1987. 乳白米の発生要因と対策. 農及園 62 : 1161–1165.
- 若松謙一・佐々木修・上蘭一郎・田中明男 2007. 暖地水稻の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響. 日作紀 76 : 71–78.

**Analysis of Factors Relating to Yearly and Regional Differences in Percentage of White Immature Kernels in Rice Varieties for Early-Season Culture in Kochi Prefecture** : Sei TAKATA<sup>1,2)</sup>, Mototaka SAKATA<sup>1)</sup>, Masashi KAMESHIMA<sup>1)</sup>, Yoshinori YAMAMOTO<sup>3)</sup> and Akira MIYAZAKI<sup>3)</sup> (<sup>1)</sup>*Kochi Pref. Agr. Res. Cent., Nankoku 783-0023, Japan;* <sup>2)</sup>*Unit. Grad. Sch. of Agr. Sci., Ehime Univ.;* <sup>3)</sup>*Fac. of Agr., Kochi Univ.*)

**Abstract** : The factors relating to yearly and regional differences in the percentage of white immature kernels (WIK) were analyzed in Koshihikari and Natsuhikari cultured in the early-season in Kochi Prefecture. The percentage of WIK was consistently higher in Koshihikari than in Natsuhikari regardless of the year. The yearly difference in the percentage of WIK was larger in Koshihikari than in Natsuhikari. In Koshihikari, the percentage of white-based kernels (WBK) was high in the district where the daily minimum temperature at the early and middle stages of the ripening period (RP) was 23°C or higher, and the percentage of milky-white kernels (MWK) was high in the district where the daily sunshine hours at the middle stage of the RP were shorter than 6 hours. It was suggested that the yearly difference in the percentage of WIK was caused by the frequent occurrence of WBK in the year of higher daily minimum temperature at the early and middle stages of the RP and by the frequent occurrence of MWK in the year with shorter sunshine hours at the middle stage of the RP. In addition, marked regional differences in the percentage of WIK were observed regardless of the variety and the year, and it was closely associated with the growth state at heading as well as the meteorological conditions during the RP. In Koshihikari, it was suggested that the light manure application in the year of higher daily minimum temperature at the early and middle stages of the RP and heavy manure application in the year with lower sunshine hours at the middle stage of the RP tended to increase the percentages of WBK and MWK, respectively. On the other hand, in Natsuhikari the percentage of WIK tended to increase with increasing panicle length and the number of spikelets per m<sup>2</sup> regardless of the meteorological condition during the RP.

**Key words** : Early-season culture, Husked rice quality, Rice plant, Ripening capability under high temperature condition, Varietal difference, White immature kernel.