

水稻品種‘あきたこまち’における登熟期の気温及び施肥法が白未熟粒発生に及ぼす影響

松本 一信・妹尾 知憲*・宮武 直子・中島 映信**
大久保和男・杉本 真一

Effects of Temperature during the Ripening Period, Method of Fertilizer Application on Occurrence of Chalky Grains in Rice Cultivar ‘Akitakomachi’

Kazunobu Matsumoto, Tomonori Senoo, Naoko Miyatake,
Akinobu Nakajima, Kazuo Okubo and Shinichi Sugimoto

緒 言

近年、温暖化や異常気象の影響により胚乳が白濁する白未熟粒が発生し、全国的に米の外観品質低下が問題となっている。岡山県中北部の主要品種である‘あきたこまち’においても近年、登熟期の高温が主原因とみられる白未熟粒が発生し、これによる検査等級格下げが問題となっており、その早急な対策が望まれている。

白未熟粒は胚乳に白濁がみられる未熟粒の総称であり、その原因は胚乳内のデンプン粒の蓄積が不十分になり、デンプン粒間に生じた空隙により光が乱反射するためである(田代・江幡, 1975)。白濁部の位置や形状によって乳白粒、心白粒、背白粒、腹白粒、基部未熟粒などに分類される。高温による白未熟粒の発生回避技術の考え方は大きく二つに分けられ、一つは登熟期を高温に遭遇させない技術で、もう一つは高温下でも白未熟粒発生を抑制する栽培技術である(森田, 2008)。前者においては、作期移動により高温期を避けて登熟させることが挙げられる。しかしながら、高温下での白未熟粒の発生には品種間差がある(飯田ら, 2002)ことから、作期を設定するには品種ごとに気温と外観品質の関係を調査する必要がある。

後者の高温下でも白未熟粒の発生を抑制する技術としては、白未熟粒発生の一因がシンクとソースのアンバラ

ンスであると考えられることから、シンク・ソースバランスを改善させる窒素施肥法が挙げられる。この点に関して、‘コシヒカリ’については坂田(2006)、月森(2003)、高橋(2006)などが検討しているが、‘あきたこまち’については報告例が少なく、十分に解析されていない。

そこで、本研究では、‘あきたこまち’における登熟期の気温及び施肥法が白未熟粒発生に及ぼす影響について検討し、白未熟粒が発生しにくい登熟期の気温条件、肥培管理法を明らかにした。

なお、本試験に当たり、現地調査にご協力いただいたJA岡山、岡山農業普及指導センター、真庭農業普及指導センター実証班、各位に厚くお礼申し上げる。

試験方法

1. 登熟期の気温が玄米品質に及ぼす影響

2004～2005年に農試本場(赤磐市)、北部支場(津山市宮部下)、真庭農業普及指導センター実証班(真庭市蒜山)、岡山市藤田の4か所で作期移動試験を行った。移植時期は、農試本場では4月下旬～7月下旬で8～9作期、北部支場では5月上旬～6月中旬で4作期、真庭農業普及指導センター実証班では5月中～下旬と6月上旬の2作期、岡山市藤田では6月中旬と7月中～下旬の2作期とした。また、2006年には、農試本場において5月10日、5月25

* 岡山県農業総合センター総合調整部企画調整課

** 岡山県美作県民局農林水産事業部真庭農業普及指導センター

日、6月12日移植の3作期で栽培し、各作期とも群落の半分で穂揃期から成熟期にビニルトンネルで覆う高温処理を行った。以上の地点における出穂後気温、白未熟粒発生率データを用いて出穂後の気温と白未熟粒発生率の関係を解析した。

2. 施肥法が白未熟粒の発生に及ぼす影響

北部支場（2004、2006年）、農試本場（2006年）において、栽植密度、基肥、追肥、中間追肥の組み合わせにより生育状態が異なる群落を養成し、それぞれに穂肥施用法を組み合わせさせた（表1）。追肥は移植10～12日後、中間追肥は移植33日後、1回目の穂肥は出穂16～18日前、2回目の穂肥は1回目の8～10日後に施用した。これらの試験から各生育指標と白未熟粒発生率の関係を解析した。

また、2006年に農試本場において、基肥の窒素施肥量を2水準設け（0、3g/m²）、それぞれに出穂25日前から3、4日おきに窒素成分3g/m²の穂肥を1回施肥し、穂肥施用時期と白未熟粒発生率の関係を解析した。

3. 調査方法

各試験ともに圃場にサーモレコーダー（タバイエスベック社製、RT-30S）を地上100cm高に設置し、毎正時の気温を記録した。水稲移植後は草丈、莖数、葉色を定期的に調査し、成熟期に稈長、穂長、倒伏程度を調査した。なお、葉色（SPAD）はミノルタ社製で測定

した。成熟期に1区当たり3.14m²を刈り取り、収量、収量構成要素を調査した後、粒厚1.80mm以上の玄米について米粒判別器（Kett社製、RN-500）を用い未熟粒を分別し、この中から検査基準に準じて、目視により乳白粒、心白粒、背白粒、基部未熟粒、腹白粒に分類してカウントした。全測定粒数に占めるこれらの割合を白未熟粒発生率とした。未熟粒率は、白未熟粒発生率とその他未熟粒の発生率を合計した値とした。玄米タンパク含有率は、粉碎した玄米をニレコ近赤外分光光度計で測定した。

結 果

1. 作期、出穂後の気温が玄米品質に及ぼす影響

県下4カ所の作期移動試験及び高温処理試験における出穂後の気温と白未熟粒発生率の関係を表2に示した。白未熟粒発生率は出穂後の気温が高いほど高くなり、年次によって発生した白未熟粒のタイプの頻度は異なったものの、腹白粒はほとんど発生がみられなかった。また、3か年を通じ乳白粒と心白粒、背白粒と基部未熟粒及びこれらを合わせた白未熟粒発生率は日最高気温平均値と密接な関係が見られ、中でも出穂10～20日後及び10～30日後の日最高気温平均値と最も高い正の相関（ $r=0.90$ ）が認められた。そして、気温と白未熟粒発生率の関係では出穂10～30日後の日最高気温平均値が31.0℃までの場合、白未熟粒の発生率は平均1.8%と低かった。し

表1 栽植密度と施肥法試験の概要

年次場所	水準 ²					
	栽植密度 (株/m ²)	基肥+追肥	中間追肥	穂肥施用法		
				1回目	2回目	穂揃期
2004年北部支場	17.8 27.6	2.0	0	1.5	1.5	0
		3.0		1.5	2.5	0
		4.0		1.5	1.0	1.0
		5.0		3.0	0	0
		0		0	1.5	0
2004年北部支場	17.8 27.6	0	1.0 2.0	1.5	1.5	0
		2.0				
		4.0				
2006年北部支場	15.7 20.7	0	0	1.5	1.5	0
		2.0		1.0	2.5	0
		4.0		2.5	1.0	0
		0		1.0	1.0	0
		0		0	0	0
2006年農試本場	13.3	1.5	0	1.5	1.5	0
		3.0		1.0	2.5	0
		0		2.5	1.0	0
		0		1.0	1.0	0
		0		0	0	0

² 栽植密度、基肥+追肥、中間追肥、穂肥施用法を組み合わせで実施

かし、この気温が31℃を超えると白未熟粒発生率は増加し、32℃を超えると白未熟粒の発生が急激に増加した(図1)。

2. 施肥法が白未熟粒の発生に及ぼす影響

2006年における生育、収量構成要素と玄米品質の関係を表3に示した。白未熟粒発生率は、幼穂形成期以降の葉色値と負の相関が認められた。白未熟粒のうち乳白粒+心白粒率は穂数と正の相関が認められ、一方、背白粒+基部未熟粒率は、幼穂形成期～出穂20日後の葉色と負の相関が認められた(表3)。

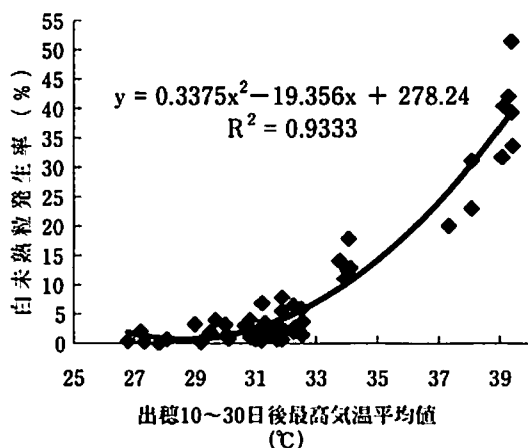


図1 ‘あきたこまち’における出穂後気温と白未熟粒発生率の関係

乳白粒と心白粒については、これらの発生が多かった2004年の試験では、栽植密度が高い、または基肥、中間追肥など生育初中期の施肥量が多いほど穂数が増加し、それに伴って乳白粒、心白粒の発生率が増加した(図2, 3)。

背白粒と基部未熟粒については、穂肥施用法によって発生率が異なり、穂肥を無施用または減量すると背白粒、基部未熟粒発生率が増加した。玄米タンパク質含有率は穂肥施用量が多く、特に2回目の穂肥施用(出穂4日前)により高くなる傾向であった(表4)。また、穂肥の施用時期について、出穂25日前から8日前の範囲で1回施用したところ、幼穂長0.2~0.6mm(出穂25~22日前)の時期に穂肥を施用すると、背白粒、基部未熟粒が多発した。出穂18日前以降は穂肥施用時期が遅いほど背白粒、基部未熟粒発生率は減少したが、出穂15日前より遅い穂肥施用は玄米タンパク質含有率を増加させた(図4)。

考 察

県内4か所作期移動試験により登熟期の気温が異なる条件下では、‘あきたこまち’において登熟期の高温が白未熟粒の発生を増加させることが示された。登熟期間の高温が水稲の品質に及ぼす影響についてはこれまで多くの研究が行われ、森田(2005)は‘コシヒカリ’において白未熟粒の発生は出穂後20日間の日平均気温が最も強く影響すると報告している。本試験の‘あきたこ

表2 出穂後の気温^zと白未熟粒発生率の相関係数^y

玄米品質	日最高気温				日平均気温				日最低気温			
	期間(出穂後日数)				期間(出穂後日数)				期間(出穂後日数)			
	0~10	0~20	10~20	10~30	0~10	0~20	10~20	10~30	0~10	0~20	10~20	10~30
乳白粒+心白粒率	0.55**	0.73**	0.79**	0.80**	0.36*	0.53**	0.61**	0.64**	0.24	0.33*	0.25	0.34*
基部未熟粒+背白粒率	0.52**	0.73**	0.82**	0.82**	0.40**	0.63**	0.74**	0.73**	0.29*	0.45**	0.43**	0.47**
白未熟粒率	0.60**	0.82**	0.90**	0.90**	0.42**	0.64**	0.74**	0.76**	0.30*	0.43**	0.37**	0.44**

^z 2004~2006年農試本場, 2004~2005年北部支場, 真庭市藤山, 岡山市藤田

^y *は5%水準, **は1%水準で有意な相関関係があることを示す(n=51)

表3 あきたこまちの品質と生育、収量構成要素の単相関係数^z(2006年, 北部支場)

玄米品質	葉色値(SPAD)			穂期LAI	穂数	一穂着粒数	千粒重
	幼穂形成期	穂期	出穂+20日				
整粒歩合	0.38*	0.40*	0.45*	-0.45*	-0.64**	-0.05	0.52**
未熟粒発生率	-0.37*	-0.43*	-0.48**	0.37*	0.56**	0.00	-0.50**
白未熟粒発生率	-0.46**	-0.38*	-0.61**	-0.03	0.02	-0.26	-0.17
乳白粒+心白粒率	-0.18	0.01	-0.06	0.30	0.46**	-0.17	0.15
背白粒+基部未熟粒率	-0.37*	-0.40*	-0.61**	-0.18	-0.22	-0.17	-0.25
タンパク質含量	0.18	0.20	0.35*	-0.03	0.20	-0.15	0.30

^z *は5%水準, **は1%水準で有意な相関関係があることを示す(n=32)

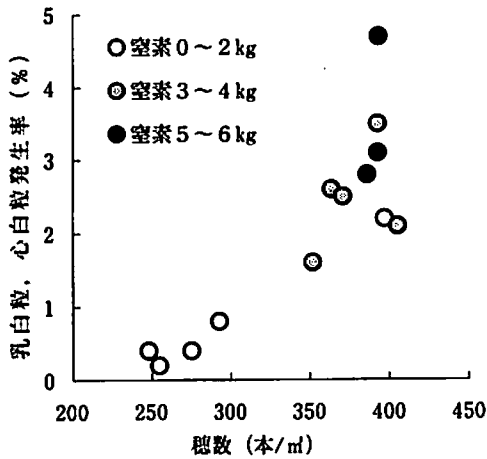


図2 基肥、中間追肥施用量が‘あきたこまち’の穂数と乳白粒、心白粒発生率に及ぼす影響 (2004年, 北部支場)
窒素は基肥と中間追肥の合計量

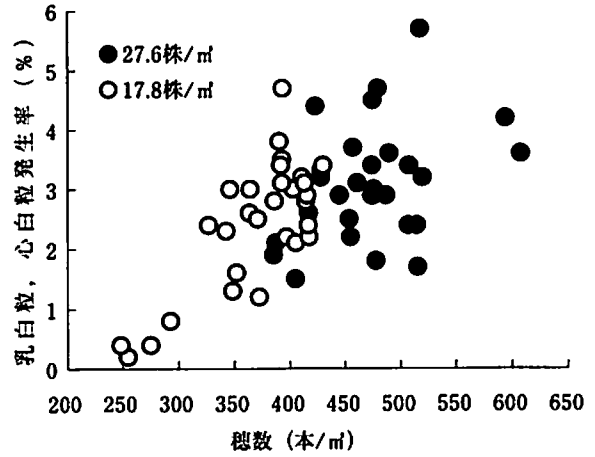


図3 栽植密度が‘あきたこまち’の穂数および乳白粒、心白粒発生率に及ぼす影響 (2004年, 北部支場)

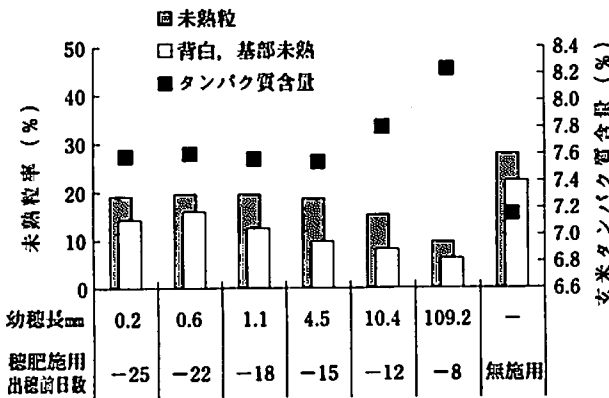


図4 穂肥施用時期が未熟粒と背白粒+基部未熟粒発生率に及ぼす影響 (2006年, 農試本場)

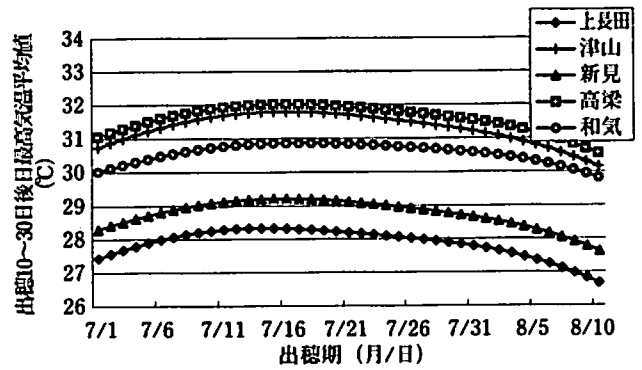


図5 岡山県中北部における出穂期と出穂10~30日後最高気温平均値の関係
出穂10~30日後日最高気温平均値はアメダス平年値から算出した

表4 穂肥施用法と収量ならびに玄米品質^z (2006年, 農試本場)

穂肥窒素施用量 (g/m ²)	出穂20日後 葉色値 (SPAD)	穂数 (本/m ²)	一穂 着粒数 (粒/穂)	m当たり 穂数 (×100)	精玄 米重 (g/m ²)	千粒 重 (g)	整粒 歩合 (%)	背白+ 基部未熟 (%)	玄米タン パク含有率 (%)
1.5-1.5	39.1	257	94	239	499	23.0	72.9	3.1	8.1
1.0-2.5	40.7	254	91	231	482	23.1	74.0	3.0	8.1
2.5-1.0	37.0	250	96	241	467	23.0	68.3	3.0	7.8
1.0-1.0	35.5	256	88	225	442	22.8	67.8	8.5	7.5
無施用	32.7	242	90	217	350	22.1	64.0	10.0	7.0

^z 基肥1.5kg/10aと3.0kg/10aの平均値

^y 穂肥1回目は出穂14日前, 2回目は4日前にそれぞれ施用した

まち’では最高気温の影響が大きく、その最も影響する時期は出穂10～20または10～30日後であると考えられ、‘コシヒカリ’とやや異なった。‘あきたこまち’では、登熟中後期の要因によって発生するとされる背白粒や基部未熟粒（長戸・江幡，1965）が発生しやすいため、やや遅い時期の高温が白未熟粒発生に影響を及ぼしたのではないかと考えられた。また、近藤ら（2006）は最高気温や平均気温よりも最低気温が白未熟粒の発生と相関が高いと報告している。森田ら（2002）は人工気象室において高夜温区と高昼温区のいずれも登熟適温区より玄米の透明度は低下したと報告している。本試験では日最高気温すなわち昼温が白未熟粒の発生に大きく影響した。これは、本試験における最低気温が全般にそれほど高くなく、試験地点間および作期間であまり差がなかったことが影響していると考えられた。

本県で‘あきたこまち’が作付けされている中北部では、5月中旬～同下旬に移植が行われており、出穂期は7月下旬～8月上旬となる。出穂期と出穂10～30日後の日最高気温（平年値から算出）の関係から、津山市など中北部の標高の低い地域では出穂期が7月下旬の場合、出穂10～30日後の日最高気温平均値が31.0℃を超え、白未熟粒による品質低下の危険性が高まると推察された（図5）。

次に、施肥法と白未熟粒発生の関係について、白未熟粒のタイプによって発生原因が異なることが明らかになった。月森（2003）は‘コシヒカリ’で㎡当たり初数の過剰が乳白粒の発生を助長させると報告している。それに対して、背白粒、基部未熟粒については出穂期以降の葉色や稲体の窒素含有率が低い場合に増加することが示されている（坂田，2006；高橋，2006）。本試験の‘あきたこまち’では、乳白粒、心白粒については穂数と高い正の相関を示した。その要因として、小葉田ら（2004）が指摘したように、ソースの同化産物供給能力に対してシンク（面積当たり初数）が過剰であることが考えられた。本試験では、面積当たり初数の構成要素のうち一穂着粒数と乳白粒、心白粒発生率の関連は認められなかった。穂数と乳白粒、心白粒発生率の関係からは、穂数350～370本/㎡以下に制限することで乳白粒、心白粒発生率を低減できると推察され、そのためには基肥や生育初中期の追肥および栽植密度による対策技術が重要と考えられた（図2，3）。一方、背白粒と基部未熟粒については幼穂形成期～出穂20日後の葉色と負の相関が認められたことから、窒素分施肥体系では穂肥の施用によって幼穂形成期から登熟中後期まで葉色を維持することが重要であると考えられる。しかし、背白粒、基部未

熟粒の発生を抑制できる葉色の指標値は、遭遇する高温の程度によって異なると考えられ、本試験では明確にすることはできなかった。また、穂肥の多量施用および後期施用は玄米タンパク含有率を上昇させ食味の低下を招くが、食味と玄米品質を両立させる生育診断指標および施肥技術については今後検討が必要である。

摘 要

水稲品種‘あきたこまち’における登熟期の気温及び施肥法が白未熟粒発生に及ぼす影響について検討した。

1. 白未熟粒発生率は出穂10～30日後の日最高気温平均値と高い正の相関が示され、この気温が31.0℃を超えると白未熟粒が増加した。
2. 乳白粒、心白粒は穂数と正の相関が認められ、基肥、追肥、栽植密度により穂数を制限することが有効と考えられた。
3. 背白粒、基部未熟粒は幼穂形成期以降の葉色と負の相関がそれぞれ認められたことから、出穂20日後頃まで葉色を維持できるように穂肥を施用する必要があった。

引用文献

- 飯田幸彦・横田国夫・桐原俊明・須賀立夫（2002）高温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
- 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
- 近藤始彦・森田敏・長田健二・小山豊・上野直也・細井淳・石田義樹・山川智大・中山幸則・吉岡ゆう・大橋善之・岩井正志・大平陽一・中津紗弥香・勝場善之助・羽嶋正恭・森芳史・木村浩・坂田雅正（2006）水稲の乳白粒・基白粒発生と登熟気温および玄米タンパク含有率との関係。日作紀，75（別2）：14-15
- 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
- 森田敏（2008）イネの高温登熟障害の克服に向けて。日作紀，77（1）：1-12
- 長戸一雄・江幡守衛（1965）登熟期の高温が穎果の發育ならびに米質に及ぼす影響。日作紀，34：59-66
- 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。農園，81：

102-109

高橋渉 (2006) 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. 農園, 81 : 1012-1018

田代亨・江幡守衛 (1975) 腹白米に関する研究 第4報
白色不透明部の胚乳細胞の形態的特徴. 日作紀, 44 :
205-214

月森弘 (2003) 島根県における高温のイネ生産への影響
と技術対策. 日作紀, 72 (別2) : 434-439