

水稻登熟期間中の高温処理時期および玄米タンパク質含有率が背白米の発生に及ぼす影響

若松 謙一^{1)*}・田中 明男¹⁾・佐々木 修²⁾・上園 一郎³⁾

(¹⁾鹿児島県農業開発総合センター・²⁾鹿児島大学・³⁾中央農業総合研究センター)

Effects of the high air temperature treatments during the ripening period and the protein content
of brown rice on the white-back kernel of rice.

Ken-ichi WAKAMATSU¹⁾, Akio TANAKA¹⁾, Osamu SASAKI²⁾ and Ichiro UEZONO³⁾

(¹⁾Kagoshima Pref. Inst. Agr. Dev., ²⁾Kagoshima Univ., ³⁾Natl. Agric. Res. Cent.)

南九州において、登熟期間中の高温に起因する背白米が多発生しており、充実不足と併せて品質低下の大きい要因となっている。前報で出穂後20日間の平均気温27～28℃以上において背白米、基白米の発生が多くみられること、その発生程度に品種間差異がみられることを報告した(若松ら 2004, 2005)。さらに、窒素施肥量の増加により、玄米タンパク質含有率が増加し、背白米の発生が軽減されることを報告した(若松ら2007b)。

これまで背白米の発生については、登熟期の高温の影響が大きいことが、長戸・江幡(1965)、岩下ら(1973)、安庭・江畑(1978)によって報告されている。背白米の発生と窒素施肥量との関係については、安庭ら(1979)、中川ら(2005)が穂揃期の窒素追肥によって背白米発現率が低下することを報告している。しかし、背白米発生に及ぼす登熟期間中の時期別高温処理の影響や背白米と玄米タンパク質含有率との関係などについての報告は少ない。

そこで、高温障害による外観品質低下の原因を明らかにするため、登熟期間中の高温処理時期と背白米の発生との関係について人工気象室で検討するとともに、登熟期間中の気温と玄米タンパク質含有率の違いが背白米の発生に及ぼす影響についても検討した。

材料と方法

試験は鹿児島県農業開発総合センター内(南さつま市)で実施し、供試品種にヒノヒカリを用いた。前報(若松ら2005)で、登熟期間中の高温耐性の強弱を(以下、高温登熟性)背白米、基白米の発生割合で判定した結果、ヒノヒカリは「弱」に相当した。

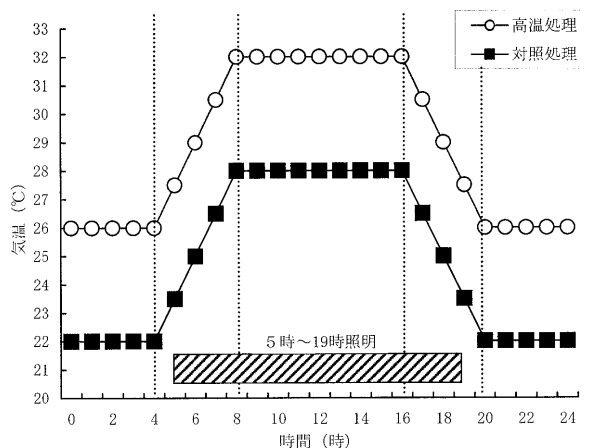
試験1: 2006～2007年に1/2000aワグネルポットにポット当たり3株(3本/株)を移植し、出穂まで湛水条件とした。移植時期は2006年6月23日、2007年5月18日とし、その後、約8～9割出穂した穂揃期に人工気象室(小糸工業製)に入れて高温処理と対照処理を行った。なお、入室日は、2006年8月25日、2007年8月10日であった。高温処理による温度条件は、第1図に示すとおり、昼間

(8時～16時)を32℃、夜間(20時～翌朝4時)を26℃とし、対照処理については、登熟適温になるように平均気温約25℃とし、昼間(8時～16時)を28℃、夜間(20時～翌朝4時)を22℃とした。また、4時から8時と16時から20時の各4時間は、直線的に温度変化するように設定した。光条件は5時から19時までの昼間に照射し、穂の位置の照度計の値が6万ルクス(11.4MJ/m²/日)になるように設定した。試験区は前期高温区、中期高温区、後期高温区、全期間高温区、対照区の5試験区を設け、30日間処理を行った。全期間高温区は30日間高温処理を示す。前期高温区は穂揃期後1～10日、中期高温区は11～20日、後期高温区は21～30日に高温処理、残りの20日間は対照区と同様の処理とした。処理終了後からは湛水条件とし、2006年は10月2日、2007年は9月18日に収穫した。相対湿度は2006年が60%、2007年が80%に設定した。なお、2007年は上記の試験区に加えて、湿度の影響をみるため前期高温低湿区(相対湿度40%で前期のみ高温処理)を設けた。試験区は各室に3ポット(3株/ポット)ずつ置き、それぞれのポットについて調査した。肥料は、基肥としてN:12%、P₂O₅:18%、K₂O:14%を用い、ポット当たり5.0g与えた。穂肥としてN:16%、K₂O:16%の化成肥料を、出穂前20日頃にポット当たり2.0g与えた。背白米をはじめ外観品質は、玄米粒厚1.8mm以上の玄米を用い、1区約200粒について肉眼で調査し2反復で行った。

試験2: 2006年に登熟期の気温が異なる条件下における窒素施肥量と背白米の発生との関係をみるために移植時期と窒素施肥量を変えて水田で試験を行った。移植時期を4月25日、5月19日、6月7日、6月20日、7月4日とする試験区を設定した。窒素施肥量は、基肥として4g/m²、5g/m²の2水準、穂肥として無追肥、2g/m²(出穂20日前)、4g/m²(出穂20日前に2g、10日前に2gの2回追肥)の3水準を設けた。但し、7月4日は栄養成長期間が短いため穂肥4g/m²区は設けなかった。収穫後、玄米中のタンパク質含有率は、全窒素をケルダール法で測定し、これにタンパク質換算係数5.95を乗じて求め水分15%換算値で示した。前報同様に収穫後20日間の平均気温を登熟温度と

* 連絡責任者: wakamatu@kiad.pref.kagoshima.jp

キーワード: 玄米品質, 高温, 背白米, タンパク質, 窒素施肥量



第1図 人工気象室の気温設定.

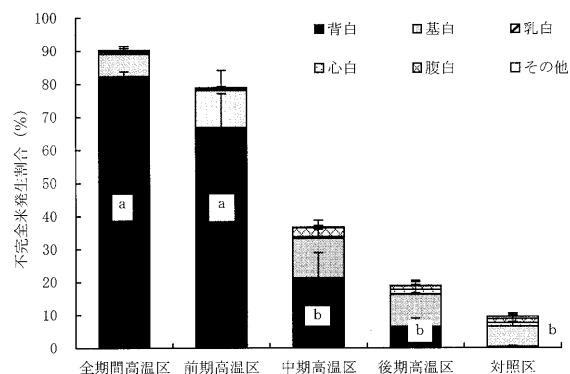
した. 背白米発生割合は試験1と同様に調査した.

結果と考察

1. 登熟期間中における高温処理時期が背白米の発生に及ぼす影響 (試験1)

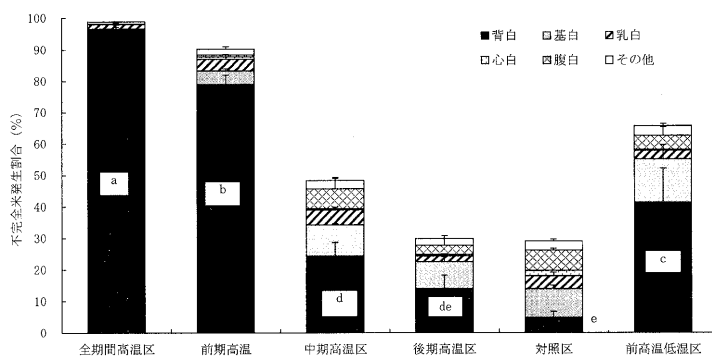
2006と2007年における前期高温区, 中期高温区, 後期高温区, 全期間高温区, 対照区の試験結果を第2図, 第3図に示した. 2006年に比べて2007年は背白米発生割合が多かったものの, 2カ年ともほぼ同様の傾向を示し, 背白米は, 全期間高温区が最も多く発生し, 次いで前期高温区, 中期高温区の順で, 後期高温区で発生が少なく, 対照区ではほとんど発生が認められなかった. また, 乳白米および心白米については今回の試験ではほとんど発生が認められなかった. これらのことから, 背白米は, 登熟期間初・中期, 特に初期の高温の影響が大きいことが認められた. これまで背白米の発生については, 登熟後期の発育並びに養分集積が抑えられた場合や(長戸・江幡 1965), 高温登熟下の呼吸および炭水化物の代謝関連酵素の活性の早期低下による初炭水化物受け入れ能力(シンク機能)の早期減退で(佐藤・稲葉 1976a,b)発生することが報告されている. 本試験の結果からも, 登熟初期の高温の影響が大きかったことから, 背白米発生要因としてシンク機能の早期低下が最も大きいことが推察される. 一方で, Tashiro and Wardlaw (1991)は背白米の発生を招く高温(36/31°C)の時期は出穂後16~24日(登熟期間44日間)の登熟中期であることを報告しており, 本試験と異なる結果が得られている. このことについては, Tashiro and Wardlawの試験設定温度が非常に高い(36/31°C)ことから, 登熟初期で不稔, 発育停止粒のほか, 死米, 乳白米が多く発生し, 背白米の割合が相対的に低くなったためと考えられる.

今回, 上記の試験区に加えて背白米に及ぼす湿度の違いの影響について前期高温区において比較検討した結果, 前期高温低湿度区は前期高温区に比べて明らかに背白米発生割合が少なかった. 丸山ら(2000)は湿度の低い場合より高い場合の方が穂の表面温度が高くなることを報告してお



第2図 高温の処理時期が背白米発生割合に及ぼす影響(2006年).

注) 人工気象室で高温区: 32/26°C, 対照区: 28/22°Cに設定した. 処理終了後の9月25日からは湛水条件とし, 10月2日に収穫した. 背白米の発生割合について Tukey の多重比較により異なる小文字間に有意差有り.



第3図 高温の処理時期が背白米発生割合に及ぼす影響(2007年).

注) 人工気象室で高温区: 32/26°C, 対照区: 28/22°C, 湿度80%に設定した. 参考区として前高温低湿度区(前期のみ高温, 湿度40%)を設けた. 背白米の発生割合について Tukey の多重比較により異なる小文字間に有意差有り.

り, 今回も前期高温低湿度区において表面温度の低下が背白米の発生を抑制したためと考えられる. このことが, 2007年(湿度80%)に比べて2006年(湿度60%)の各区の背白米発生割合が少なくなった一因と考えられる.

2. 登熟期の気温と玄米タンパク質含有率の違いが背白米の発生に及ぼす影響 (試験2)

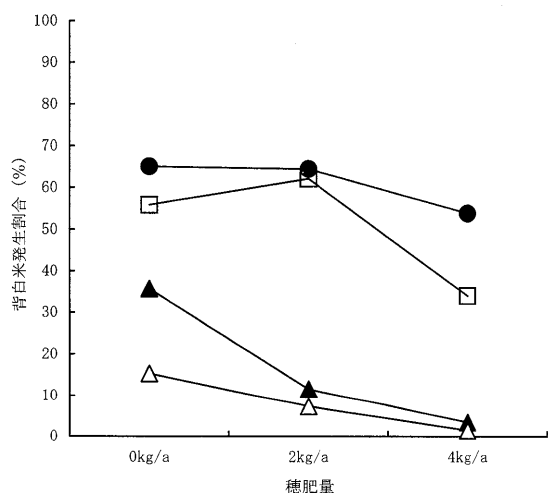
登熟温度と窒素施肥量の違いが背白米発生割合に及ぼす影響について第1表に示した. 登熟温度は, 4月下旬植が28.7°C, 5月中旬植が28.6°C, 6月上旬植27.9°C, 6月下旬植が27.5°C, 7月上旬植が26.2°Cであった. 背白米発生割合は, 登熟温度が27°C以上となる6月下旬植より早い移植時期において発生が認められ, 特に28°C以上となる4月下旬植, 5月中旬植で多く発生した. このことは, 背白米の発生が登熟期間の高温の影響が大きく登熟温度27°C以上で発生することを報告した前報(2004)と同様の結果を示した. さらに, 窒素施肥量の違いによって背白米発生割合が異なり, 背白米は穂肥量が少なくなるほど発生が多くなる傾向が認められた. 第2表に分散分析表, 第4図に登熟温度と穂肥量の関係を示した. 登熟温度と穂肥量の交互作用に有意差がみられることから, 背白米の発生は, 登熟温度が高いほど増加するものの, 増加の傾向は穂肥量によって異なることが認められた.

第5図に背白米発生割合と玄米タンパク質含有率との関

第1表 登熟温度と窒素施肥量が背白米発生割合に及ぼす影響。

登熟温度 ℃	基肥量 Ng/m ²	穂肥量 Ng/m ²	移植時期 月日	出穂期 月日	成熟期 月日	出穂後20 日間平均 日射量 MJ/m ² /日	背白米発 生割合 %
28.7	4	0	4月25日	7月22日	8月29日	21.6	73.3
	4	2					64.5
	4	4					52.7
	5	0					56.9
	5	2					64.5
28.6	4	4	5月19日	8月7日	9月15日	18.1	55.1
	4	0					65.1
	4	2					65.5
	4	4					27.0
	5	0					46.6
27.9	4	2	6月7日	8月17日	9月25日	16.7	58.8
	4	4					41.2
	5	0					39.9
	5	2					19.5
	5	4					4.3
27.5	4	0	6月20日	8月22日	10月2日	14.9	31.7
	4	2					3.6
	4	4					2.5
	5	0					13.9
	5	2					8.5
26.2	4	4	7月4日	9月2日	10月12日	10.4	0.8
	5	0					16.7
	5	2					6.0
	5	4					2.1
	5	0					2.2

注) 登熟温度は出穂後20日間の日平均気温 (℃)



第4図 登熟温度と穂肥量が背白米発生割合に及ぼす影響。

●: 登熟温度28.7℃ □: 同28.6℃ ▲: 同27.9℃ ▴: 同27.5℃

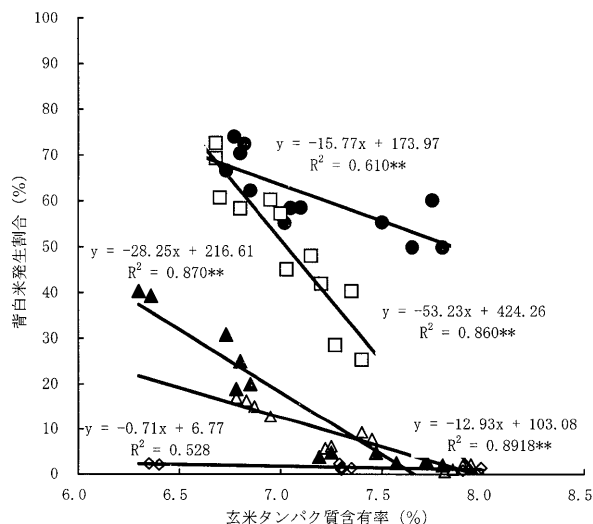
係について示した。登熟温度27℃以上では玄米タンパク質含有率と背白米発生割合との間に有意な負の相関関係が認められ、玄米タンパク質含有率が高いほど背白米発生割合が低くなり、前報(2007b)と同様の結果が得られた。一方で、登熟温度が28℃以上では、玄米タンパク質含有率7%においても背白米の発生が50%以上と多く確認された。このことから、登熟温度が28℃以上の高温条件下において、外観品質と食味を両立させることが可能な玄米タンパク質含有率の目標値の設定は困難であると考えられる。28℃を超える高温条件下では高温登熟性の優れた品種の導入利用の検討が必要である。

また、4月下旬植(登熟温度28.7℃)は5月中旬植(同28.6℃)とほぼ登熟温度が同じであったにもかかわらず、背白米の発生程度が異なり、玄米タンパク質含有率7.5%以上の高タンパク条件では、背白米発生割合が約50%と5

第2表 背白米の分散分析表(2006年)。

要因	自由度	平方和	平均平方	F値	寄与率%	
登熟温度	3	23820.1	7940.0	288.2	**	79.0
基肥	1	203.4	203.4	7.4	**	0.6
穂肥	2	3248.1	1624.0	59.0	**	10.6
ブロック	1	6.9	6.9	0.3		0.0
登熟温度×穂肥	6	1458.3	243.0	8.8	**	4.3
基肥×穂肥	2	428.0	214.0	7.8	**	1.2
誤差	32	881.6	27.6			4.3
全体	47	30046.3				100.0

注) **は1%水準で有意であることを示す。



第5図 玄米タンパク質と背白米発生割合の関係(2006年)。

●: 登熟温度28.7℃ (4/下植) □: 同28.6℃ (5/中植)
 ▲: 同27.9℃ (6/上植) ▴: 同27.5℃ (6/中植) ◇: 同26.2℃ (7/上植)
 品種はヒノヒカリ。

月中旬植に比べて多く発生がみられた。4月下旬植の背白米が多発した理由として、4月植の登熟期間中の日射量が5月植より多いことが、背白米発生割合の違いに影響していることが考えられる。背白米の発生は、高温条件下では日射量が多くなると助長されることから(若松ら 2007a), 本試験においても日射量が背白米の発生に関与することが示唆された。

摘 要

人工気象室において高温条件の処理時期を変えた結果、前期高温区が全期間高温区同様に背白米が多く発生し、次いで中期高温区が少発生し、後期高温区では発生が極めて少なくなった。これらのことから、背白米は登熟期間前・中期、特に前期の高温の影響が大きいことが認められた。

さらに、前期高温区において湿度の違いが背白米発生に及ぼす影響を検討した結果、高湿度区が低湿度区に比べて発生が多くなった。また、窒素施肥量が背白米に及ぼす影響について検討した結果、登熟温度28℃以下においては、玄米タンパク質含有率（玄米窒素量）と背白米発生割合との間に負の相関関係が認められた。一方、登熟温度28℃を超える条件下では、いずれの区も背白米が多発し、玄米タンパク質含有率の増加による背白米発生軽減効果が小さいことから、高温登熟性の優れる品種の利用と組み合わせた検討が必要であると考えられた。

引用文献

- 岩下友記・新屋 明・山川恵久・土井修・上原裕美・鳥山国士 1973. 水稻の高温登熟について－品質の変化と品種間差異－. 日作九支報 39: 48-57.
- 丸山篤志・大場和彦・黒瀬義孝・菅田綾 2000. 湿度と風速の差異が水稻高温不稔に与える影響. 九州の農業気象 9: 37-38.
- 長戸一男・江幡守衛 1965. 登熟期の高温が穎花の發育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34: 59-66.
- 中川博視・井田智也・田中大克・田野信博・永島秀樹 2005. 穂揃期の葉身・穂切除および窒素施肥がイネの各種白未熟粒の発生に及ぼす影響. 日作紀74 別2号: 6-7.
- 佐藤 庚・稲葉健五 1976a. 水稻の高温稔実障害に関する研究. 第5報. 稔実期の高温による籾の炭水化物受入れ能力の早期減退について. 日作紀 45: 156-161.
- 佐藤 庚・稲葉健五 1976b. 水稻の高温稔実障害に関する研究. 第6報. 登熟期の高温が穎花の酵素活性に及ぼす影響. 日作紀 45: 162-167.
- Tashiro, T. and I.F. Wardlaw 1991. The effect of high temperature on kernel dimensions and the type and occurrence of kernel damage in rice. Aust. J. Agri. Res. 42: 485-496.
- 若松謙一・田之頭拓・竹牟禮稜・森清文 2004. 鹿児島県における水稻登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響. 日作九支報 70: 10-12.
- 若松謙一・田之頭拓・小牧有三・東孝行 2005. 暖地における水稻登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響と品種間差異. 日作九支報 71: 6-9.
- 若松謙一・佐々木修・上蘭一郎・田中明男 2007a. 暖地水稻の登熟期間の日射量が背白米の発生に及ぼす影響. 日作紀76 別1号: 208-209.
- 若松謙一・田中明男・上蘭一郎・佐々木修・下西恵 2007b. 暖地水稻における窒素施肥量が背白米の発生に及ぼす影響. 日作九支報 73: 1-4.
- 安庭 誠・江畑正之 1978. 西南暖地における早期水稻の米質に関する研究. 第4報. 背白米の特性と発現の穂上位置について. 日作九支報 45: 31-33.
- 安庭 誠・湯田保彦・江畑正之 1979. 西南暖地における早期水稻の品質に関する研究. 第5報. 穂揃期窒素追肥が背白米の発現に及ぼす影響. 日作紀48 別2号: 55-56.