

水稻の登熟期の高温が玄米品質に及ぼす影響 ～背白米の発生について～

鹿児島県農業開発総合センター 若松謙一

1. はじめに

暖地水稻は登熟期に台風被害を受けやすく、特に、主要品種のコシヒカリやヒノヒカリは倒伏に弱いため、乳白米・心白米等の不完全米の発生により玄米品質が不安定である。また近年、九州では1等米比率が低下しており、その要因として温暖化に伴う登熟期間の高温による登熟障害米の発生ならびに早期落水による充実不足粒の増加が指摘されている。さらに南九州では、高温年において背白米や基白米が増える傾向にあり、外観品質の低下と玄米の充実不足による2等以下の格付米が増えており、大きな問題となっている。

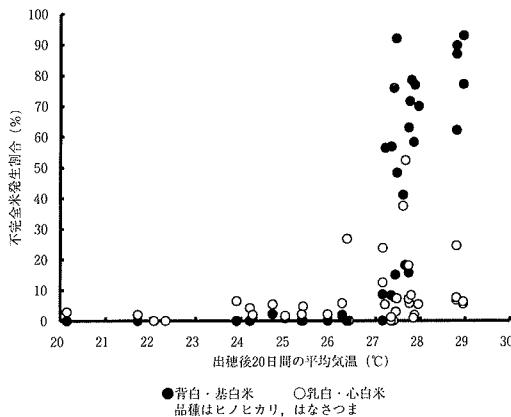
そこで本稿では、気象要因と品種間差異、窒素施肥量との関係を解析することによって、登熟期間における高温が玄米外観品質に及ぼす影響について、背白米の発生要因を中心に紹介する。

2. 登熟期の気温と不完全米の発生

南九州の早期栽培では、登熟期に当たる7月の高温の影響を受けて背白米の発生がみられ、玄米品質が低下することが報告されてきた^{1,2)}。しかし近年、植付けの早進化に加えて4～5月が高温で経過する頻度が高くなってきたことから出穂の早まる傾向があり、従前と異なり登熟期間の初・中期の気温が比較的低温で推移するため背白米の発生がほとんどみられなくなってい

る。一方、鹿児島県の普通期栽培面積の約9割を占める主要品種のヒノヒカリではこれまでみられなかった背白米の発生が散見されるようになり、充実不足と併せて品質低下の大きい要因となっている。この背景として、ヒノヒカリが高温条件で背白米・基白米が発生しやすいことや、作期分散を図るため移植時期が早まり、登熟期が高温に遭遇しやすくなっていることが考えられる。乳白米、背白米等を含む不完全米の発生要因はそれぞれ異なり、乳白米や心白米の発生については、気象要因に限れば登熟期の高温条件よりむしろ低日射条件の影響が大きいこと^{3,4)}、さらに、台風も発生要因であること⁵⁾が報告されている。一方、背白米の発生については登熟期の高温の影響が大きく、その発生程度に品種間差異が認められている^{1,6)}。このように、高温障害程度を示す指標としては、背白米割合が最適で、背白米の発生が軽微な場合には基白米割合が適当であることが報告されている⁶⁾。

著者らは水稻の登熟期間の高温が玄米品質に及ぼす影響について検討した結果、出穂後20日間の平均気温27℃以上の高温条件で背白米、基白米が発生し、それ以下の温度ではいずれもほとんど発生が認められないことを明らかにした⁷⁾(図-1)。但し、背白米は乳白米に比べて粒厚が厚く、タンパク質含有率も低いため、食味低下への影響は乳白米に比べて小さいものと考えられた。

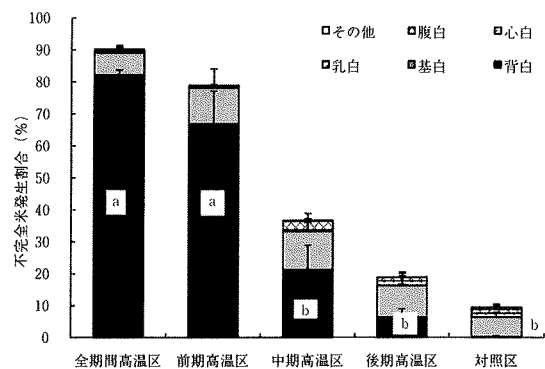


図－１ 登熟期の気温と不完全米発生割合の関係(2002～2004年)。

登熟期における高温の時期別影響は、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の発生が多く、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(図-2)。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。高温が登熟に及ぼす影響については、粒重増加速度が低下する低日射条件の場合と異なり、粒重増加速度は促進されるものの比較的早期に同化産物の受入れ能力が減退し、登熟期間が短縮されることが報告されている⁹⁾。このことから、背白米は初期の高温の影響で粒の充実が登熟の早い時期に偏って進行し、穂への同化産物の供給は十分に行われるものの、粒の背側の充実期である登熟後期¹⁰⁾に同化産物の蓄積が不十分である場合に発生することが考えられる。

3. 高温登熟性と品種間差異

高温登熟条件下における不完全米発生割合には品種間差異がみられ、その発生様相、程度が異なることが認められた(図-3)。中でも背白・



図－２ 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℃, 対照区: 28/22℃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。

基白米発生割合の品種間の違いが顕著であったが、早期栽培品種に比べて、普通期栽培品種は背白・基白米発生割合の他、乳白・心白米発生割合や腹白米の発生もかなり認められた。このように、普通期栽培品種で不完全米の種類が多くなった一因は、暖地の普通期栽培品種の登熟期間が9月～10月の比較的良好な気象条件にあるために、これまでの育種において早期栽培品種に比べて高温条件や梅雨期の影響下での選抜が加わっていないことによるものかもしれないと考えられた。

熟期の異なる品種群の背白・基白米発生割合について、高温登熟性の強弱を5段階で判定した。その結果、ヒノヒカリを中心にした遺伝的系譜をもとに、高温登熟性を分類したところ(図-4)、背白・基白米の発生割合が最も少ないふさおとめが「強」、ハナエチゼンが「やや強」、コシヒカリが「中」、イクヒカリが「やや弱」、初星、ヒノヒカリが「弱」と判定された。ヒノヒカリは高温登熟性が劣るが、ヒノヒカリの親の黄金晴、黄金晴の親の喜峰、喜峰の親の秋晴はいずれも背白米の発生が著しく、高温登熟性が劣る

とが推察された。したがって、高温登熟性の優れる品種との交配に加えて、玄米品質に関して高温条件下での選抜を行うことによって、ヒノヒカリに替わる高温登熟性の優れた良食味品種育成の可能性が示唆された。

4. 窒素施肥量が玄米窒素量および背白米発生割合に及ぼす影響

玄米外観品質低下の要因としては、1990年代以降の食味重視傾向により、食味が低下する玄米タンパク質7%以上を避けるために窒素施肥量の低下も関与していることが指摘されている¹¹⁾。特に、南九州ではヒノヒカリが倒伏に弱い品種であり、地理的に台風被害を受けやすいことから、施肥レベルは全国の中でも低位にある。

窒素施肥量が玄米タンパク質含有率(玄米窒素量)および背白米発生割合に及ぼす影響について検討した結果、窒素施肥量が多くなるにしたがい、穂揃期のSPAD値(葉緑素計値)および玄米タンパク質含有率が高くなり、背白米の発生割合が減少し、玄米タンパク質含有率とSPAD値並びに背白米発生割合との間にそれぞれ高い負の相関関係が認められた(図-5, 図-6)。登熟温度28℃以下においては、玄米タンパク質含有率が約6.0%以下になると背白米の発生割合が増加し、その傾向はコシヒカリに比べてイクヒカリで顕著であった。この差の要因として、高温登熟性の違いが考えられた。基肥の増量または追肥によって穂揃期の葉色を高めることが玄米タンパク質含有率向上を促し、さらには背白米発生の抑制につながることが示唆された。このように高温登熟条件下で背白米の発生を抑制するには、肥効調節型肥料の利用など穂揃期以降の葉色を一定レベル以上に維持する必要があると考えられた。一方で、食味については玄米

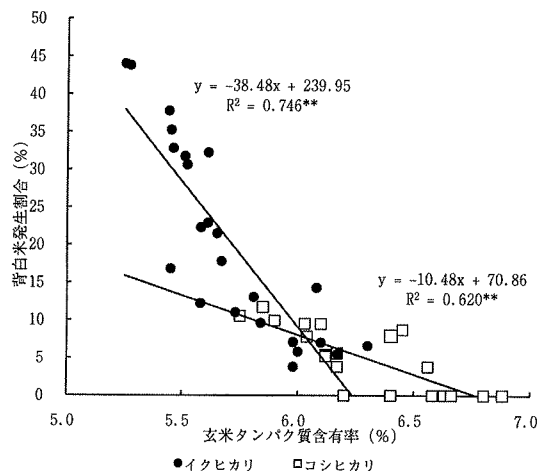


図-5 玄米タンパク質含有率と背白米発生割合との関係(2004～2005年)。

登熟温度は2004年：イクヒカリ27.0℃、コシヒカリ26.7℃、2005年：両品種ともに27.4℃。

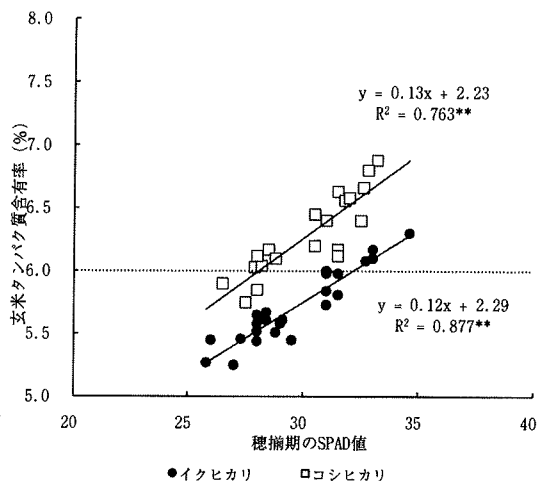


図-6 穂揃期のSPAD値と玄米タンパク質含有率との関係(2004～2005年)。

タンパク質含有率7.0%を超えると食味が低下する¹²⁾ことから、玄米の外観品質と食味の両立を考慮した場合での玄米タンパク質含有率の目標値は、登熟温度28℃以下では6.0～7.0%の間が望ましいと考えられた。

一方で、登熟温度28℃以上の高温登熟条件下において、初星、ヒノヒカリなどの高温登熟性

「弱」品種では、窒素施肥量増加による背白米発生の軽減効果が小さいことが認められ(図-7)、これらの品種では玄米の外観品質と食味を両立させる玄米タンパク質含有率の目標値の設定が困難であると考えられた。「やや弱」品種についても玄米タンパク質含有率7%以下で高品質化は「弱」品種と同様に困難であると考えられた。「中」品種のコシヒカリにおいては、窒素施肥量の増加に伴い、背白米の減少が大きく、玄米タンパク質含有率7%以下で高品質化が可能であると考えられた。「強」品種ふさおとめは、いずれの施肥条件でも他の品種に比べて背白米発生割合が明らかに低かった。したがって、28℃を超える高温条件下では窒素施肥量の増加だけで背白米を軽減することは困難と考えられ、高温登熟性「中」以上の強い品種の導入とともに、その品種に応じた適正施肥量の検討が必要である。

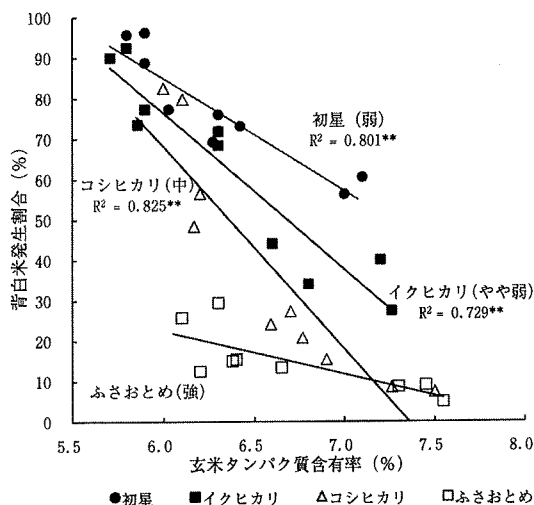


図-7 品種別にみた玄米タンパク質含有率と背白米発生割合との関係(2006年)。

出穂期は7月16～18日。登熟温度は28.4℃。

5. 登熟期の日射量および湿度が背白米発生割合に及ぼす影響

高温条件下の日射量の違いが不完全米に及ぼす影響については、背白米は高温条件で多発したが、遮光処理によって減少し、逆に乳白米の増加傾向が認められた。(第3.1図)。乳白米の発生は高温よりむしろ低日射の影響が大きく、さらに籾数が多い場合に助長され、籾間における同化産物の競合が乳白米発生の要因と考えられる。登熟において、高温条件より遮光条件の影響が大きく、穂への同化産物の供給量が抑制されたことが、結果として背白米の発生を抑制し、逆に乳白米の増加につながったと考えられる。

同一の高温条件下における日射量と湿度の違いが背白米発生割合に及ぼす影響については、日射量が多いほど、また湿度が高いほど、背白米発生割合が高くなった(図-8)。これまで不完全米に關与する高温の感受部位については、茎葉ではなく穂であること^{13,14)}が報告されている。また、同一高温条件下における穂の表面温度は、

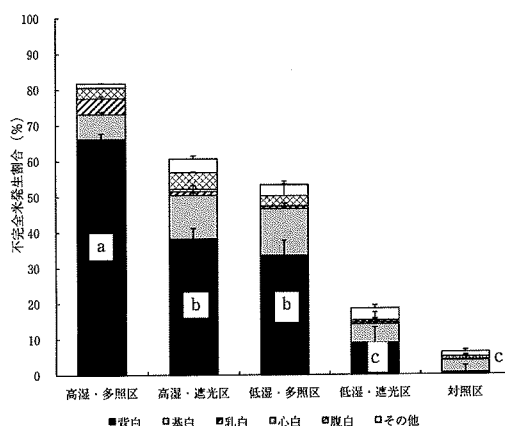
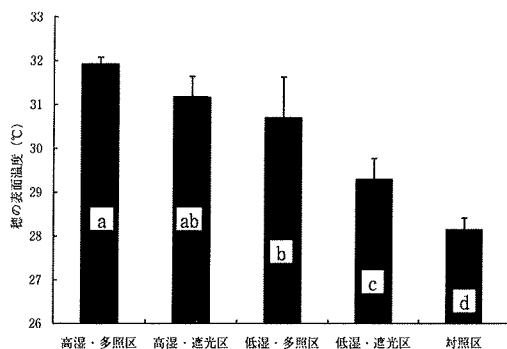


図-8 高温条件下における湿度と日射の違いが不完全米発生割合に及ぼす影響。

温度条件は昼温32/夜温26℃。高温区：相対湿度70%，低温区：相対湿度35%，多照区：11.4MJm⁻²day⁻¹，遮光区：多照区の60%に遮光。対照区は28/22℃，相対湿度70%，遮光無し。Tukeyの多重検定により、同じ英小文字間には1%水準で背白米の発生割合に有意差がないことを示す。



図－9 湿度と日射の違いが穂の表面温度に及ぼす影響。

値は放射温度計による穂温の測定値（2007年11月1日 10:00～10:30）。Tukeyの多重検定により、同じ英小文字間には1%水準で有意差がないことを示す。

高湿・多照区が最も高く、次いで高湿・遮光区、低湿・多照区の順で、低湿・遮光区が最も低い値を示し、背白米発生割合もこれと同様の傾向を示した（図－9）。湿度と稲体の表面温度との関係については、湿度が低く大気中の飽差が大きいことで蒸散（潜熱交換）が活発になり、葉面あるいは穂面の表面温度が低くなること¹⁵⁾が報告されている。このように日射量と湿度は穂の表面温度と密接に関係しており、同じ高温条件下においても高日射や高湿度条件の場合に穂の表面温度が高くなり、結果として背白米発生割合が高まることが明らかとなった。

6. 今後の対策

暖地の早期栽培では、かつては登熟期間が7月の高温・多日射・高湿度条件にあり、背白米の発生がみられ、玄米品質の低下が問題となっていた。しかしながら、1980年代後半以降は植付けの早進化により出穂が6月に早まり、現在では早期栽培での背白米発生はほとんどみられなくなっている。すなわち、登熟期間が梅雨期と重なることから、従前と異なり登熟期間の初・中期の気温および日射量が比較的低く推移するよ

うになったことが背白米の発生が減少した原因と考えられる。一方で、普通期栽培においては、8月下旬に出穂する主要品種ヒノヒカリで、これまで発生がみられなかった背白米が散見されるようになり、品質低下の大きい要因となっている。この背景として、ヒノヒカリの栽培割合が高くなり労力分散を図るため移植時期が早まり、登熟期が高温・多照に遭遇しやすくなっていることが考えられる。このように背白米の発生は、登熟期初・中期の気温のうち、とりわけ初期における高温の影響が大きいいため、今後、背白米の発生を軽減することによる品質低下軽減技術としては、登熟期後半の気温が低下する普通期栽培においては、移植時期を遅らせることや晩生品種を導入することが有効であると考えられる。

また、近年は食味重視の観点から、穂肥量についても減らす傾向にあり、以前に比べて窒素施肥量が大きく減少している。このことが、暖地での背白米の発生を助長していると考えられる。この点について、前述のとおり、窒素施肥量を多くすることにより、穂揃期の葉色を高めることが玄米タンパク質含有率の増加を促し、背白米発生の抑制につながるが示された。今後は品質低下軽減対策として、窒素施肥量増加が有効であると考えられる。高品質化を図る観点から、食味低下を招く玄米タンパク質含有率7.0%以上になるのを避けながら、穂揃期以降も一定以上の葉色を維持していく必要がある。そのためには、今後は肥効調節型肥料の穂肥への利用の検討も必要である。

引用文献

- 1) 岩下友記・新屋明・山川恵久・土井修・上原裕美・鳥山国土 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.
- 2) 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.
- 3) 長戸一男・江幡守衛 1959. 心白米に関する研究. 第1報 心白米の発生. 日作紀 27:49－51.
- 4) 斉藤満保 1987. 登熟期の遮光程度が水稻の収量と玄米品質に及ぼす影響. 日作東北支報 30: 48－49.
- 5) 船場貢・泉省吾・西村勝久 1992. 長崎県における平成3年大型台風による水稻被害の実態と解析. 第2報 台風17,19号の襲来時生育ステージと品質・収量の被害. 日作九支報 59:6－8.
- 6) 長戸一男・江幡守衛 1965. 登熟期の高温が穎花の発育ならびに米質に及ぼす影響. 日作紀 34:59－66.
- 7) 若松謙一・佐々木修・上藺一郎・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.
- 8) 江幡守衛ら 1973. 腹白米に関する研究. 第1報 腹白米の発現の品種間差異. 日作紀42:370－376.
- 9) 佐藤庚・稲葉健五 1976. 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.
- 10) 星川清親 1968. 米の胚乳発達に関する組織形態学的研究. 第11報胚乳組織における澱粉粒の蓄積と発達について. 日作紀 37:207－216.
- 11) 近藤始彦 2007. コメの品質, 食味向上のための窒素管理技術－水稻の高温登熟障害軽減のための栽培技術開発の現状と課題－. 農及園 82:31－34.
- 12) 若松謙一・田之頭拓・重水剛・竹牟禮稜 2004. 鹿児島県早期栽培コシヒカリの収量構成要素および食味に及ぼす栽植密度の影響. 日作九支報 70:7－9.
- 13) 森田敏・白土宏之・高橋純一・藤田耕之輔 2004. 高温が水稻の登熟に及ぼす影響－穂・茎葉別の高夜温・高昼温処理による解析－. 日作紀 73:77－83.
- 14) 佐藤庚・稲葉健五 1973. 水稻の高温稔実障害に関する研究. 第2報 穂と茎葉を別々の温度環境下においた場合の稔実. 日作紀 42:214－219.
- 15) 丸山篤志・石井健太郎・大場和彦・脇山恭行 2007. 登熟期における湿度の違いが水稻の白未熟粒発生に及ぼす影響. 九州の農業気象 16: 52－53.