

[成果情報名]高温に伴った背白粒の発生と窒素施与による白濁抑制の細胞生理学的要因

[要約]高温下の玄米背側外胚乳では、タンパク質合成が阻害されデンプン・貯蔵タンパク質集積の低下とともに、細胞質に液胞様構造が残存することで空隙を形成し白濁する。追肥により、高温下でもタンパク質合成が維持され、デンプン・貯蔵タンパク質が集積するため、白濁発生が抑制される。

[キーワード]イネ、高温、背白米、タンパク質合成、タンパク質貯蔵型液胞

[担当]九州沖縄農業研究センター・水田作研究領域・水田栽培グループ

[代表連絡先]電話 096-242-1150

[分類]研究成果情報

[背景・ねらい]

近年、水稻登熟期の極端な高温により、玄米の背側部分が白濁した背白粒の多発による玄米外観品質の低下が問題となっている。これまでに、背白粒の発生は窒素追肥することで低減されることが知られており、この知見を利用して、穂肥時における出穂後の気象予報と葉色診断の結果から穂肥量を調節する気象対応型追肥法の開発・改良が進められている。高温にさらされた玄米胚乳ではデンプン集積が不良となり、登熟後半の脱水後にデンプン粒間に空隙が形成される。白濁は光がその隙間を通過するとき、乱反射することで起こる。しかし、なぜタンパク質顆粒 (PB) の多く分布する背側の外胚乳に限定的に白濁が発生するのか、また、細胞質の何が空隙の要因であるかは明らかではない。さらに、追肥による玄米品質向上のメカニズムも依然として不明である。そこで、人工気象室で高温環境を再現し、玄米の背側外胚乳を対象に透過型電子顕微鏡解析、1 細胞代謝産物分析、タンパク質分析により、細胞生理学的に明らかにする。

[成果の内容・特徴]

1. 出穂後 5 日目からの 10 日間の高温処理により背白粒発生歩合は約 66%に達するが、窒素施与後の高温処理区の背白粒発生歩合は約 8%まで抑制される (表 1)。
2. 成熟期の高温区の背側白濁部位ではデンプン粒・PB の集積が低下し (図 1G, H)、細胞当たり面積比率 25%相当のギャップ領域が観察される (図 1E)。高温処理前に窒素施与すると、デンプン粒及びPB の形成が回復し (図 1G, H)、ギャップ領域が縮小する (図 1I)。
3. 出穂後 12 日目時点の背側外胚乳ではギャップ領域の細胞内微細構造に処理間差は認められない (図 2A-C)。対照区・窒素施与後高温区とも、成熟期にかけて、タンパク質貯蔵型液胞 (PSV) 中に貯蔵タンパク質が集積し、II 型 PB (PBII) が形成され、グルテリン・グロブリンを蓄積する (図 2D, G, F, I)。一方、高温区ではデンプン・貯蔵タンパク質の合成が阻害されるとともに、細胞質中では拡大した PSV を中心とする液胞様構造が占有し続ける (図 2E, H)。外胚乳 1 細胞代謝産物分析・タンパク質分析からも、高温に対する応答の処理間差とともに、高温でのタンパク質合成阻害を裏付けるデータが得られた。
4. 以上から、高温下の玄米背側外胚乳ではタンパク質合成が阻害された結果、デンプン粒・PB 集積が低下し、主として液胞や PSV が細胞内に残存する。これが空隙の主要因となり、白濁する (図 3)。追肥により窒素レベルを上げると、タンパク質の合成促進によって、デンプン・貯蔵タンパク質が正常に集積するため、高温下でもギャップ形成が回避され、背白粒発生が抑制される (図 3)。

[成果の活用面・留意点]

1. 本知見は、高温登熟耐性の品種育成のための基礎資料として活用できる。
2. 表 1 の外観品質は農林水産省の玄米被害粒等限界基準に準じ、「コシヒカリ」穂の上位の強勢穎果を対象に得られたものである。
3. 本研究は「コシヒカリ」玄米背側で認められた結果であり、外胚乳細胞中の PSV・タンパク質顆

粒の数・分布には品種間差がある可能性がある。

[具体的データ]

表 1 高温および窒素施与後高温処理が登熟歩合および玄米外観品質に及ぼす影響

処理区	登熟歩合	玄米外観品質		
		整粒	背白粒	その他
%				
26°C	97.9	100.0a	0.0b	0.0a
34°C	94.4	11.4c	66.4a	22.2a
N+34°C	94.7	52.1b	7.6b	40.4b

注1) 26°C区(対照区, 気温昼26/夜22°C), 34°C区(高温区, 昼34/夜28°C), N+34°C(窒素施与後高温区, 昼34/28°C). 窒素追肥(1/5000a ワグネルポット当たり尿素 0.45g)は出穂後4日目に, 高温処理は出穂後5日目から10日間行った.
 注2) 玄米外観品質は(n=3-5)の平均値を示す. アルファベットはp<0.05の有意差を示す(Tukey-Kramer検定).

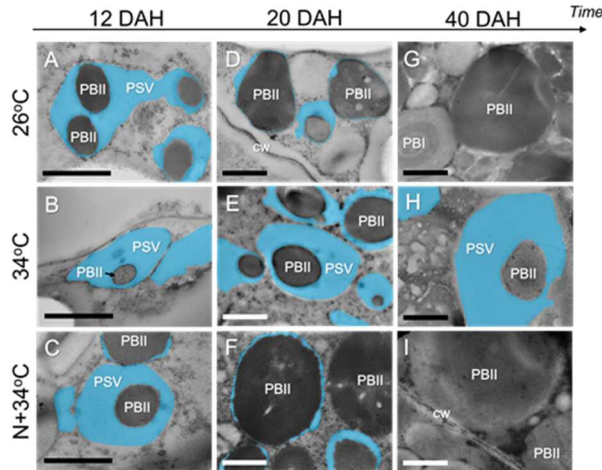


図2 出穂後12, 20, 40日目の26°C区, 34°C区, N+34°C区の玄米背側外胚乳のギャップエリアの電子顕微鏡画像

注) 図中のPBI, PBII, PSV, cwはそれぞれI型タンパク質顆粒, II型タンパク質顆粒, タンパク質貯蔵型液胞, 細胞壁を示す. 青色部分は液胞様構造のマトリックスを示す. バーは1μm.

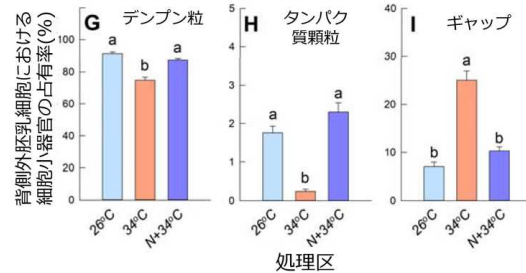
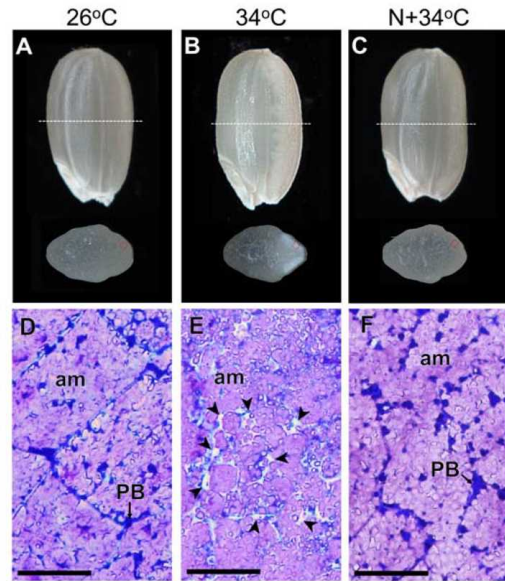


図1 出穂後40日目の対照区整粒(26°C), 高温区背白粒(34°C), 窒素施与後高温区整粒(N+34°C)の玄米(A-C), 背側外胚乳の光学顕微鏡画像(D-F). G-Iは細胞内のデンプン粒, タンパク質顆粒, ギャップの占有率を示す.

注) アルファベットはp<0.05での有意差を示す. D-F中のam, PB, 矢じりはそれぞれアミロプラスト(デンプン粒含む), タンパク質顆粒(I型+II型), ギャップ領域を示す. バーは50μm.

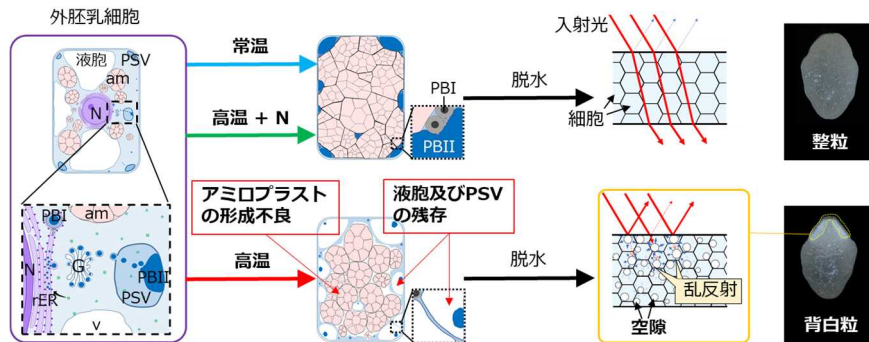


図3 高温に伴った背白粒の発生・窒素施与による白濁抑制機構の概念図

高温下では, タンパク質顆粒が多く分布する背側の外胚乳細胞において, タンパク質合成が阻害されることで, デンプン合成が滞る一方, 細胞質で液胞及びPSVが残存することにより, 細胞質に空隙(白濁)が形成される. v: 液胞, PSV: タンパク質貯蔵型液胞, rER: 粗面小胞体, G: ゴルジ体.

(和田博史)

[その他]

予算区分: 競争的資金(科研費)

研究期間: 2016~2018年度

研究担当者：和田博史、畠山友翔、恩田弥生（愛媛大農）、野並浩（愛媛大農）、中島大賢（北海道大農）、Erra-Balsells R（ブエノスアイレス大）、森田敏、平岡賢三（山梨大工）、田中福代、中野洋

発表論文等：Wada H. et al. (2019) *Journal of Experimental Botany* 70(4):1299-1311

<https://doi.org/10.1093/jxb/ery427>