

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450023

研究課題名(和文) 日本型およびインド型水稻品種における米粒の肥大と脱水に伴う白未熟粒発生要因の解明

研究課題名(英文) Analysis of occurrence factors in white immature kernels with development and dehydration in japonica and indica type rice cultivars

研究代表者

宮崎 彰 (MIYAZAKI, AKIRA)

高知大学・自然科学系・准教授

研究者番号：00304668

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：温暖化に伴う水稻の登熟不良は玄米の白未熟粒割合を高め農家収入の減少を招いている。本研究では白未熟粒の発生要因を、収量関連形質、胚乳細胞の内部形態および穂の水分生理との関係から解析した。その結果、(1)白未熟粒割合は日本型品種で粒厚が厚い品種ほど高く、インド型品種で粒幅が広い品種ほど高いことが示された。(2)乳白粒は完全粒に比べ、下位籾は上・中位籾に比べ、高温登熟耐性の低い品種は高い品種に比べ、胚乳細胞の数が少なく、細胞1個当たりの面積が大きいことが示された。(3)日中は葉より穂で有意な水ポテンシャルの低下が生じること、温度の上昇は脱水による穂の水ポテンシャルの低下を伴うことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：High temperatures in summer have degraded the quality of rice kernels in various regions in Japan. This is caused by a decrease in perfect kernels with an increase in white immature kernels. The percentage of white immature kernels was analyzed in association with yield-related factors, endosperm cell morphology and panicle dehydration. These results suggested: 1) Higher percentage of white immature kernels was observed in japonica cultivars with thick kernels and in indica cultivars with wide kernels. 2) Less number of cells and larger cell size in endosperm was observed in white immature kernels than in perfect kernels, in inferior spikelets than in superior spikelets, and in high-temperature sensitive cultivars than in high-temperature tolerant cultivars. 3) Water potential in panicles was lower than that in leaves during the day, and decreased with an increase in temperature due to dehydration.

研究分野：作物学

キーワード：白未熟粒 粒形 胚乳細胞 穂の水ポテンシャル 水稻

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴う水稻の登熟不良により白未熟粒の多発が農家収入の減少を招いている。白未熟粒の発生には著しい品種間差異が認められ、粒形(長さ、幅、厚さ)が関与することが明らかとなっている。粒形は胚乳細胞の内部形態(面積、数)や粒の肥大過程(肥大の速度、期間)の構成成分から成る。また、白未熟粒の発生には、登熟期間中の穂および籾の水分状態が影響を及ぼすことが示唆されるが、穂の水分状態およびその関連要因の変化を検討した報告はほとんどない。

2. 研究の目的

本研究では、白未熟粒発生の品種間差異を、登熟に伴う粒の肥大および脱水との関係から解析することを目的とした。以下、課題は3つに分けられる。

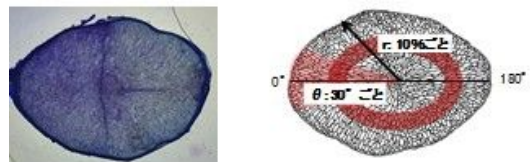
- (1)日本型およびインド型の日本産・中国産水稻品種の玄米品質を 作期および 温度条件を変えて調査し、各品種の温度反応性および白未熟粒の発生に関する収量関連形質を明らかにした。
- (2)白未熟粒割合と胚乳細胞の面積および数との関係を調査・解析し、白未熟粒の発生メカニズムを解析した。
- (3)穂の温度および水ポテンシャルについて日変化を観測するとともに、これらに及ぼす登熟期の温度上昇の影響を明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 中国産水稻 32 品種および日本産水稻 10 品種の計 42 品種 (日本型 32, インド型 10) を供試し、2010~2012 年に高知大学農学部附属暖地フィールドサイエンスセンター (FSC) の水田において実験を行った。各年に 3 作期 (第 1, 2, 3 期) を設け、2010, 2011, 2012 年の移植日をそれぞれ第 1 期については 5 月 20 日, 4 月 25 日, 4 月 28 日, 第 2 期については 6 月 9 日, 5 月 24 日, 22 日, 第 3 期については 6 月 30 日, 25 日, 25 日として栽植密度 22.2 株/m², 1 株 1 本で手植えた。各品種の出穂期, 出穂後 15 日および成熟期に 10 株の SPAD 値を測定した。また、成熟期に 10 株の稈長, 穂長および穂数を調査し、穂数が平均値に近い 3 株を収穫し、収量構成要素, 粒形および白未熟粒割合を測定した。中国産水稻 14-16 品種および日本産水稻 6 品種の計 20-22 品種 (日本型 14-15, インド型 5-8) を供試し、2011 年および 2013 年に実験を行った。各年 5 月下旬に水田に移植し、止葉抽出期に各品種 12-15 株を、1/5000a ワグネルポットに 1 株/ポットで鉢上げし、穂揃期まで外気温で生育させた。穂揃期に登熟温度条件を低温区 (昼温 23 /夜温 19), 中温区 (同 28 /同 23), 高温区 (同 34 /同 26) とした自然光ファイトトロンに搬入し、成熟期まで生育させた。出穂期と成熟期に収量構成要素, 乾物重, 粒形および白未熟粒割合を求めた。

(2) コシヒカリの玄米を穀粒判別機で完全粒と乳白粒に分類し、各 30 粒について粒形を測定した。FAA で 2 週間固定し、再度粒形を測定した。粒の幅・厚さについて FAA による膨張率に完全粒と乳白粒の間で有意差がないことを確認し、玄米各 7 粒を任意に選抜した。玄米の中央部について厚さ 15~20 μm の横断切片を作成し、玄米横断面の中心点から距離別, 角度別の胚乳細胞の面積および数を Morita and Yonemaru (2005) のプログラムにより解析した。高育 70 号を供試し、成熟期に穂数が平均値に近い 3 株について、稈長+穂長が最も長い強勢茎から 3 穂 (合計 9 穂) を採取し、各穂の 1 次枝梗を上・中・下位に分け、上・中位の一次枝梗籾を 15~20 粒, 下位の二次枝梗籾を 10~15 粒採取した。

と同様に玄米の粒形および白未熟粒のタイプ別割合を調査し、FAA に固定後、幅・厚さの膨張率が全粒の平均値 ± 0.2% 以内の玄米各 6 粒を選抜し、胚乳細胞の面積および数を解析した。早期水稻 7 品種、ふさおとめ (高温登熟性強), 高育 70 号 (強), 高育 76 号 (強), あきたこまち (中), コシヒカリ (中), おきにいり (弱), 初星 (弱) を水田圃場で栽培した。成熟期に 20 株の穂数を計測し、穂数の平均値に近い 5 株を収穫し、その穂を 40 で 2 日間乾燥した。脱穀し、塩水 (比重 1.06) で沈んだ精籾を籾摺りし、精玄米の粒形および白未熟粒のタイプ別割合を穀粒判別機により調査した。また、同様に選定した 3 株から 1 株当たり強勢茎の 3 穂を採取し、中位に位置する一次枝梗について先端から 3~5 番目の一次枝梗籾を、3 穂から 20 粒ずつ計 60 粒採取した。籾を籾摺りし、1 粒ずつ粒形および白未熟粒のタイプ別割合を穀粒判別機により調査した。FAA に 2 週間固定し、玄米の中央部について厚さ 15~20 μm の横断切片を作成し、玄米横断面の中心点から距離別, 角度別の胚乳細胞の面積および数を Morita and Yonemaru (2005) のプログラムにより解析した。



玄米の横断切片および画像解析による距離別・角度別の解析。

(3) 高知大学附属暖地 FSC で栽培された水稻品種を供試し、穂揃後 2 日目 (2013 年 7 月 17 日) および 8 日目 (同 7 月 23 日) に穂および止葉の温度および水ポテンシャルの日変化 (6:00-18:00) を測定した。穂および止葉の温度を測定するために、それぞれの中央部分を両面から赤外線サーモグラフィ (i7, FLIR) で撮影した。これらの穂および止葉を切り取り、水ポテンシャルをポンプアップ式

プレッシャーチャンバー (PMS Instrument) により測定した。同時に 7 月 17 日には切り取った穂および葉の新鮮重、飽水重、乾物重を測定し、含水率を算出した。各反復 5 反復とした。また、気温および相対湿度をデータロガーおよび気象観測システムにより記録した。FSC で栽培した水稻品種を止葉抽出期に 1/5000a ワグネルポットに鉢上げし、屋外で生育させ、穂揃後 17 日目 (2013 年 8 月 30 日) の 7:00 にファイトトロンに搬入した。ファイトトロンの温度は低温 (23 °C)、中温 (28 °C)、高温 (34 °C) に設定した。穂の温度、水ポテンシャルおよび室温を 8:00-9:00、11:00-12:00、13:30-14:30 に と同様に測定した。

4. 研究成果

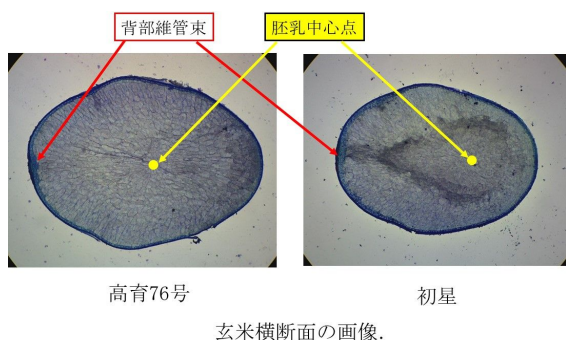
(1) 日本型品種の白未熟粒割合は江蘇省産品種 > 天津市産品種 > 日本産品種であり、日本産品種に比べ中国産品種で有意に高く、これは主に乳白粒割合の差異によるものであった。インド型品種の白未熟粒割合には有意な産地間差異は認められなかった。白未熟粒割合は亜種に関わらず中国産の多くの品種で登熟温度の上昇に伴い増加する傾向があり、温度反応性が高かった。しかし、このような傾向は日本産の多くの品種で認められず、温度反応性が低かった。白未熟粒割合は日本型品種では玄米千粒重、粒着密度、粒幅および粒厚との間で有意な正の相関関係を示し、穂長および登熟歩合との間で有意な負の相関関係を示した。インド型品種では m^2 当たり穂数、登熟歩合、精玄米重および粒幅との間で有意な正の相関関係を示し、粒長との間で有意な負の相関関係を示した。両亜種とも白未熟粒割合は粒形に関する形質との相関係数が高く、日本型品種では粒の幅が広く厚い品種で、インド型品種では粒が短く幅が広い品種で白未熟粒割合が高いことが示された。白未熟粒割合は両亜種において温度の上昇により有意に増加したが、これは主に乳白粒割合の増加によるものであった。日本型品種は高温では低温および中温より粒幅が有意に狭く、低温および高温では中温より粒厚が有意に薄かったが、インド型品種では粒形に温度の影響は認められなかった。また、両亜種において高温では低温および中温より登熟歩合および玄米千粒重が有意に低く、その結果、収量が減少または減少傾向にあった。白未熟粒割合と収量関連形質との関係を調べたところ、日本型品種の白未熟粒割合は低温および中温では粒厚が厚い品種で高かった。一方、インド型品種の白未熟粒割合は中温では粒長が短く粒幅が広い品種で高いことが示された。しかしながら、これらの相関関係は高温下で弱くなり、他の要因の影響が強くなるものと推察された。以上より、白未熟粒の発生を抑制するためには、日本型品種では粒厚による品種選抜が有効であり、インド型品種では粒長、粒幅による品種選抜

が有効であることが示された。しかし、著しい高温下ではこれらの影響力が低下し、他の複合的な要因の影響が強くなるものと考えられた。

(2) 乳白粒では完全粒より粒長および粒幅が有意に短かったが、粒厚には有意な差はなかった。胚乳中心点から 10% ごとに距離別にみた胚乳細胞の面積 (μm^2 /個) は乳白粒で完全粒より有意に大きく、その数は有意に少なかった。同様に胚乳中心点と背部維管束を結ぶ線を 0° とし 30° ごとに角度別にみた胚乳細胞の面積は乳白粒で完全粒より有意に大きかったが、その数には有意な差はなかった。しかしながら、粒の厚さを構成する 90° から腹側付近の 150° では数が 12~21% 有意に少なかった。白未熟粒割合は下位で上位および中位より有意に高く、これは主に乳白粒割合が高いことによるものであった。また下位では上位および中位より粒長および粒幅が有意に短かったが、粒厚には有意な差はみられなかった。胚乳中心点から距離別、角度別にみた胚乳細胞の面積は下位で上位および中位より有意に大きく、その数は有意に少なかった。下位は上位より面積が胚乳中心点付近の 5~35% の距離で有意に大きく、数が特に胚乳中心点寄りの 15~35% の距離で有意に少なかった。また、面積は粒の厚さを構成する 90~120° の角度で有意に大きく、数は腹側付近の 150~180° で有意に少なかった。数の減少は下位初めの粒幅が上・中位初より狭く丸みを帯びた形状であることを説明した。以上より、乳白粒では完全粒より、また下位初では上・中位初より胚乳細胞の数が少なくなるとともに、細胞 1 個当たりの面積が大きくなったものと推察された。胚乳細胞が大きく、デンプンの充足率が低いと白未熟粒が発生しやすくなるものと考えられる。

白未熟粒割合は初星、おきにいり > あきたこまち > 高育 76 号、ふさおとめ コシヒカリ 高育 70 号の順であった。粒長、粒幅および粒厚には 0.1% 水準で有意な品種間差があった。玄米横断面の総面積には有意な品種間差はなかったが、総数および細胞 1 個当たりの面積には 1% 水準で有意な品種間差が認められた。総数と細胞 1 個当たりの面積の間には 5% 水準で有意な負の相関関係があり、総数の少ない品種ほど細胞 1 個当たりの面積が大きかった。細胞 1 個当たりの面積は白未熟粒割合と 5% 水準で有意な正の相関関係を示し、細胞 1 個当たりの面積が大きい品種ほど白未熟粒割合が高かった。胚乳細胞の数および細胞 1 個当たりの面積 (以下、面積) を胚乳中心点から胚乳輪郭まで 10% ごとに距離別にみた場合、胚乳細胞の数および面積には 0.1% 水準で有意な品種間差がみられた。数が多く面積が最も小さかった高育 76 号に比べ数が少なく面積が最も大きかった初星では、胚乳中心点から距離別に全般的に数が少なく、面積が大きい傾向があった。同様に

背部維管束方向を0°とし30°ごとに角度別にみた場合、胚乳細胞の数および面積には0.1%水準で有意な品種間差がみられた。高育76号に比べ初星では数が腹側付近の120°~180°で有意に少なく、逆に背側付近の0°~30°で多い傾向がみられた。一方、初星の面積は高育76号より背側付近の0°~60°および腹側の180°で有意に大きかった。これらのことから初星では背側と腹側の細胞数に著しい差異があり、胚乳中心点が腹側にずれていることが示された。また、初星では背側付近の細胞1個当たりの面積が大きいことが示され、このことがデンプンの充足率を低下させ、白未熟粒の発生割合を高めたものと推察された。



(3) 穂温は日中の最小値 25.2 から最大値 31.8 まで有意に変化した。穂温と葉温の間に有意な差異はみられなかった。穂温および葉温は午前中に気温と差がなかったが、気温が高い午後の時間帯には気温より低かった。水ポテンシャルは穂で葉より低い傾向があり、時間帯によっては有意に低かった。穂の水ポテンシャルは穂の含水率と5%水準で密接な関係を示した。これらのことから穂の水ポテンシャルは水分状態を示す有効な指標になることが確認された。穂温は時刻による有意な差はなく、室温より低温区で2.0-3.0、中温区で1.5-1.8、高温区で0.9-2.2 高かった。穂の水ポテンシャルは設定温度の上昇に伴い有意に低下し、温度上昇によって穂において水ストレスが顕著になることが示された。また、時刻とともに低下する傾向がみられ、この傾向は低温区で顕著であった。これらのことから、温度上昇や日中の湿度の低下によって飽差 (VPD) が大きくなり、蒸散要求が大きくなることで穂の水ポテンシャルが低下したと推察された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Miyazaki, A., Y. Ishida, K. Masai, K. Tsuda, Y. Yamamoto, N. Tu, J. Ju, J. Cui: Kernel Quality and Ripening Ability in Japonica and Indica Type

Rice Cultivars Grown under Different Temperature Conditions, PROCEEDINGS OF 8th ASIAN CROP SCIENCE ASSOCIATION CONFERENCE, AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS, 7-13 (2015), 査読有。
http://www.cropsociety.jp/acsa/conference/ACSAC8_Proceedings.pdf

〔学会発表〕(計 8 件)

宮崎彰, 藤田南, 山本由徳, 米丸淳一, 森田敏: 水稲玄米における白未熟粒の発生と胚乳細胞形態の品種間差異, 日本作物学会講演会, 2016年3月28日(茨城県水戸市)。

宮崎彰, 藤田南, 山本由徳, 米丸淳一, 森田敏: 水稲玄米における胚乳細胞の形態と白未熟粒の発生との関係, 日本作物学会第239回講演会, 2015年3月27日(神奈川県藤沢市)

中西愛, 宮崎彰, 山本由徳: 低地温が異なる気温条件下で生育した水稲の玄米品質および収量に及ぼす影響, 日本作物学会四国支部第51回講演会, 2014年11月27日(香川県木田郡三木町)

藤田南, 宮崎彰, 山本由徳, 米丸淳一, 森田敏: 早期水稲品種の玄米における白未熟粒の発生と胚乳細胞サイズの関係, 日本作物学会四国支部第51回講演会, 2014年11月27日(香川県木田郡三木町)

Miyazaki, A., Y. Ishida, K. Masai, K. Tsuda, Y. Yamamoto, N. Tu, J. Ju, J. Cui: Kernel Quality and Ripening Ability in Japonica and Indica Type Rice Cultivars Grown under Different Temperature Conditions, The 8th ASIAN CROP SCIENCE ASSOCIATION CONFERENCE, 2014年9月24日(Hanoi, Vietnam)

宮崎彰, 山隅季尋, 山本由徳: 登熟期におけるイネの穂の温度および水ポテンシャルの変化, 日本作物学会四国支部第50回講演会, 2013年11月28日(善通寺市)

宮崎彰, 石田優, 政井広大, 山本由徳, 層乃美, 居静, 崔晶: 異なる温度条件下で生育した日本型およびインド型水稲品種の白未熟粒割合および登熟性に及ぼす収量関連形質および乾物生産の影響, 日本作物学会第236回講演会, 2013年9月11日(鹿児島市)

Akira Miyazaki: High temperature effect on ripening and kernel quality in rice cultivars, The 3rd SUIJI Seminar, 2013年8月29日(南国市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮崎 彰 (MIYAZAKI, Akira)
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号： 0 0 3 0 4 6 6 8

(2)研究分担者

山本 由徳 (YAMAMOTO, Yoshinori)
高知大学・教育研究部自然科学系・名誉教授
研究者番号： 0 0 9 3 9 5 6