

水稻高温登熟障害に関する生理生態学的研究と被害軽減技術の開発

森田敏 (九州沖縄農業研究センター)

近年、水稻の登熟期の高温による玄米外観品質や玄米1粒重の低下、すなわち高温登熟障害が西日本を中心に多発している。その発生程度は栽培条件や品種によって異なることが知られているが、発生機構については不明な点が多かった。森田敏氏は、高温登熟障害の発生に及ぼす気温、日射量、施肥量、品種の影響とその要因を解析し、温暖化で予想されている夜温の上昇が登熟に及ぼす影響とその生理的メカニズムを明らかにした。また、これらの知見に基づき、高温障害を軽減するための施肥法「気象対応型栽培法」を提示するとともに、乳心白粒の混入による販売価格の低下や被害補償に寄与する画期的な玄米断面の測定技術を開発した。成果の多くは日本作物学会紀事や英文の国際学術誌等に公表されている。また、新聞や農業関係誌に頻繁に報道され、農業現場で着目されるとともに、農業技術の普及誌や著書に公表して開発技術の迅速な普及が図られた。これら成果の内容は以下のように要約される。

1. 水稻高温登熟障害の発生に及ぼす気温と日射量の影響の解明

人工気象室の実験で、中国地方平坦部における1990年代の8月の平均気温32/23°C(昼温/夜温)に比べて、2060年代に予想される3°C高い気温にすると、玄米1粒重は約5%低下し、良質粒歩合が70%から20%に大幅に低下した。しかし、作期を移動したり、出穂期に標高の高い地域へポット栽培個体を移動して、気温だけでなく日射量も変化させた場合には、玄米1粒重は低下せず、玄米外観品質の低下程度も小さかった。そこで、粒重増加推移に及ぼす温度および日射量の影響を人工気象室で再度検討し、1) 粒重増加期間は日射量の多少に関わらず高温で短縮する、2) 粒重増加速度は、高日射条件では高温で増大するが、低日射条件では高温で増大しないことを示し、玄米1粒重が高温かつ低日射条件で大きく低下する要因を粒重増加の速度と期間の両面から明確にした。

また、西日本の米が落等する主因の一つである粒張りの低下を検討するために、玄米の輪郭形状の画像解析による数量的評価法を新たに開発し、高温登熟耐性に優れる新品種「にこまる」では高温登熟耐性に劣る「ヒノヒカリ」に比べて、高温・低日射による玄米の粒張りの低下程度が小さいことを定量的に明らかにした。さらに、「にこまる」が高温登熟耐性に優れる生理的な理由を検討するために3カ年の圃場試験を行い、「にこまる」は「ヒノヒカリ」に比べて穂揃い期の茎葉貯蔵炭水化物量が多く、これが登熟期に玄米に転流して高温登熟耐性を高めることを見出した(Crop. Sci. 誌カバー写真に採用)。

2. 高夜温と高昼温からみた水稻高温登熟障害の発生メカニズムの解明

玄米1粒重と玄米外観品質に及ぼす高昼温(34/22°C)と高夜温(22/34°C)の影響の違いを人工気象室実験で解析し、1) 玄米1粒重は夜の高温では明らかに低下するのに対して昼の高温ではほとんど低下しないこと、2) 玄米外観品質は昼夜いずれの高温でも低下することを明らかにした。また、高夜温あるいは高昼温を穂と茎葉に別々に与える処理を行ったところ、3) 稲体全体を高夜温とした場合と穂のみを高夜温とした場合にのみ玄米1粒重が低下した。さらに、4) 玄米1粒重の低下は、1茎当たり乾物重に占める穂重割合の低下によってもたらされ、1茎当たり乾物重の低下とは連動しなかった。これらの結果に基づき、高夜温による玄米1粒重低下の主因は、従来考えられていた茎葉での呼吸昂進による乾物不足ではなく、穂への乾物分配率の低下であることを指摘し、日本作物学会論文賞(平成18年度和文誌)を受賞した。

つぎに、高夜温では高昼温に比べて玄米1粒重の低下が大きい理由を粒重の増加速度と増加期間の両面から検討し、粒重増加速度の低下が主因であることを明らかにした。また、玄米断面画像を用いて胚乳内の位置別に胚乳細胞の数と1個当たりの大きさを解析し、高夜温は主に胚乳中心点から胚乳表層にかけてのほぼ中間の領域の細胞成長を抑制し、この結果として粒重増加速度が低下することを明らかにした。この成果はAnnals of Botany(95巻, 2005年)に掲載され、当号のContent selectに選定された。

さらに、粒重増加速度と玄米糖濃度の日変化との関係を¹³Cトレーサー実験で検討し、1) 粒重増加速度は高夜温区と高昼温区いずれにおいても高温の時間帯に大きいこと、2) 同じ高温の時間帯でも高昼温区の昼では高夜温区の夜より玄米へ炭素が多く移動すること、3) 高夜温区では高昼温区に比べて夜の玄米糖濃度が低下することを明らかにした。これらの結果に基づき、高夜温では、玄米1粒重が増加する高温の時間帯に茎葉からの糖の供給が少ないために胚乳細胞の成長が抑制され、粒重増加速度が低下し、最終的に玄米1粒重が低下することを指摘した。

3. 水稲高温登熟障害に関する被害軽減技術の開発

1) 高温登熟障害を軽減させる気象対応型栽培法の提示

出穂後 20 日間の気象条件が異なる 3 カ年の圃場試験の結果を解析し、平年より約 2°C 高い高温年で穂肥を増加させた場合に、玄米 1 粒重が増加するとともに基部未熟粒が減少することを見出した。また未熟粒歩合は、穂肥を出穂前後の 1 ヶ月間に 15 回に分施した場合には慣行の 2 回分施に比べて約 5% 低下し、また「にこまる」では「ヒノヒカリ」に比べて 10~15% 低下することを見出した。これらの結果に基づき、穂肥や品種によって穂揃い期の茎葉貯蔵炭水化物を増加させると高温登熟障害を軽減できることを指摘するとともに、年次の気象条件や品種に合わせて穂肥の量や回数を変化させる「気象対応型栽培法」を提示した。

2) 乳心白粒の発生割合を収穫前に推定する技術の開発

平成 19 年に宮崎県の早期水稲では乳心白粒が多発し、規格外米比率が 70% に達する大被害が起こったにもかかわらず、収穫前水稲の立毛状態では外観品質の良否を判断しにくいとため、多くの農家が収穫前の被害申告をせず、被害補償を受けられないという事態が発生した。このような経済的被害を軽減するために、収穫 10 日前に玄米断面の画像解析を迅速に行い、乳心白粒の発生割合を事前に推定する技術を開発した。この技術の特許出願するとともに、企業と共同で測定機器を開発して販売を開始した。この機器を利用すると、収穫前の段階で圃場別に外観品質の良否を推定でき、農家は農業共済制度の適用を的確に受けることが可能になるとともに、共同乾燥施設は被害米の混入を防止できるなど、生産現場での高度な品質管理が可能になると期待される。農林水産省農林水産技術会議事務局は乳心白粒の発生割合を収穫前に推定する技術を「2011 年農林水産研究成果 10 大トピックス」の一つに選定し、高く評価した。

以上のように、本研究は作物学上の新知見を得ているだけでなく、それを実際の生産現場で利用できる技術として実用化することに成功しており、日本の水稲栽培に貢献するところ大であり、作物学の発展に寄与する顕著な業績として高く評価でき、日本作物学会賞に値するものと判断した。

主要研究業績リスト

水稲高温登熟障害の発生に及ぼす気温と日射量の影響の解明

- 1) 森田敏 2000. 高温が水稲の登熟に及ぼす影響—人工気象室における温度処理実験による解析—. 日作紀 69 : 391-399.
- 2) 森田敏 2000. 高温が水稲の登熟に及ぼす影響—作期移動実験と標高の異なる地点へのポット移動実験による解析—. 日作紀 69 : 400-405.
- 3) 森田敏 2009. 水稲高温登熟障害の生理生態学的解析. 九州沖縄農研報告 52: 1-78.

高夜温と高昼温からみた水稲高温登熟障害の発生メカニズムの解明

- 1) 森田敏・藤田耕之輔・白土宏之・高梨純一 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.
- 2) 森田敏・白土宏之・高梨純一・藤田耕之輔 2004. 高温が水稲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.
- 3) Morita S., J. Yonemaru, and J. Takanashi 2005. Grain growth and endosperm cell size under high night temperatures in rice (*Oryza sativa* L.). Ann. of Bot. 95 : 695-701.

水稲高温登熟障害に関する被害軽減技術の開発

- 1) Morita S., O. Kusuda, J. Yonemaru, A. Fukushima, H. Nakano 2005. Effects of topdressing on grain shape and grain damage under high temperature during ripening of rice. Rice is life: scientific perspectives for the 21st century. Proceedings of the World Rice Research Conference, Tsukuba, Japan : 560-562.
- 2) Morita S. and H. Nakano 2011. Nonstructural Carbohydrate Content in the Stem at Full Heading Contributes to High Performance of Ripening in Heat-Tolerant Rice Cultivar Nikomaru. Crop Sci. 51 : 818-828.
- 3) Yonemaru J. and S. Morita 2012. Image analysis of grain shape to evaluate the effects of high temperatures on grain filling of rice, *Oryza sativa* L. Field Crops Res. 137 : 268-271

総説および著書

- 1) 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 : 6-10.
- 2) 森田敏 2008. イネの高温登熟障害の克服に向けて. 日作紀 77 : 1-12.
- 3) 森田敏 2008. 水稲の作柄・品質低下に及ぼす温暖化の影響と対策. 農林水産技術研究ジャーナル 31 : 14-19.
- 4) 森田敏 2011. イネの高温障害と対策—登熟不良の仕組みと防ぎ方—. 農文協. 1-143.
- 5) Morita S. 2011. Countermeasures to Alleviate the Effects of Climate Change on Rice Production in Japan. In:

NARO Crop Science Symposium 2011: Enhancement of Rice Productivity under Climate Change in East Asia, 21 September 2011. Fukuoka (Japan): NARO Kyushu Okinawa agricultural Research Center. 27-32.

- 6) 森田敏 2011. 水稻高温登熟障害の回避に向けた研究～近年の発生状況を踏まえた研究の方向性～. 農及園 86 : 391-399.
- 7) 森田敏・江原崇光 2012. 乳心白粒の多発を推定する装置－収穫前の玄米横断面内部の白濁から読み取る！－. 農林水産技術研究ジャーナル 35 : 57-60.

特許

- 1) 森田敏・小島弘道・岡野明裕 2010. 収穫予定米の断面撮像画像を用いた収穫時品質予測システム及び収穫時品質予測方法. 特願 2010-291563.