

学位論文題名

イネの高温登熟傷害に関する生理生態学的解析

学位論文内容の要旨

近年、イネ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多発している。気温の上昇は地球温暖化により今後さらに進むことが予想されているため、高温登熟障害を克服する技術を早急に確立する必要がある。これまでに、高温登熟障害の発生程度は日射量や施肥量などの栽培環境や品種によって異なることが知られているが、そのメカニズムは十分に解明されておらず、このことが効果的な対策技術を確立する上で隘路になっていた。そこで本研究では、高温登熟障害の発生に及ぼす日射量、施肥量、品種の影響とその要因を解析した。また、温暖化によって特に夜温が上昇すると予想されているため、高夜温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ようとした。以下に主要な研究成果を要約する。

1. 高温登熟障害の発生に及ぼす日射量の影響

玄米 1 粒重や玄米外観品質に及ぼす登熟期の高温の影響を人工気象室で検討した。中国地方平坦部における現在の 8 月の平年気温 32/23℃（昼温/夜温）に比べて、将来予想される 3℃高い 35/26℃の高温では、玄米 1 粒重が約 5%低下し、良質粒歩合（透明度の高い玄米の割合）が 70%から 20%に大幅に低下した。次に、移植期を変える処理と、標高が高い地点へ出穂期にポットを移動する処理により、開花後 4 日目から 20 日間（以下、登熟前半）の気温と日射量が共に増加する条件を作り、これらの処理が玄米 1 粒重や玄米外観品質に及ぼす影響を検討した。その結果、玄米 1 粒重はいずれの処理の影響も受けなかった。良質粒歩合は、標高の高い地点へのポットの移動処理により登熟前半の気温が約 4℃、日射量が 14~27%低下する条件で 6~16%増加したが、その増加程度は人工気象室で温度のみを下げた場合より小さかった。したがって、登熟前半に気温が上昇してもそれに伴い日射量が多くなる場合には玄米 1 粒重は低下せず、良質粒歩合の低下程度も小さくなることが示唆された。そこで、気温と日射量が玄米 1 粒重およびその増加推移と玄米外観品質に及ぼす影響を、高温登熟耐性を備えた新品種にこまると普及品種ヒノヒカリを用いて人工気象室での温度処理と遮光処理により解析した。その結果、特にヒノヒカリでは高温による玄米 1 粒重と玄米外観品質の低下は低日射条件で助長されることが明確になった。また、高温のみの処理により粒重増加速度が上昇するものの粒重増加期間の短縮を補償できずに成熟期の玄米 1 粒重が低下したが、低日射条件での高温処理によりヒノヒカリでは粒重増加速度が上昇せずむしろ小さくなり成熟期の玄米 1 粒重が大幅に低下した。にこまるでは、高温と低日射が重なっても粒重増加速度が高く維持されることで玄米 1 粒重の低下程度が小さくなった。また、高温での玄米外観品質低下の大きな要因となっている玄米の粒張りの低下、すなわち充実不足については、玄米輪郭像から抽出した指標値を用いることで、特にヒノヒカリでは高温による充実不足の発生が低日射条件で著しくなることを明らかにした。

2. 高温登熟障害の発生に及ぼす施肥量の影響

出穂後 20 日間の気象条件が異なる 3 カ年の圃場試験のデータを用いて穂肥が登熟に及ぼす影響を解析したところ、穂肥を増やすと、平年より約 2°C 高い高温年では玄米 1 粒重が増加するとともに基部未熟粒が減少した。また、平年より約 1°C 高いやや高温年で、施肥法と品種（前述のにこまるとヒノヒカリ）が登熟に及ぼす影響を解析したところ、穂肥を出穂前 16 日から出穂後 12 日まで 15 回に分けて与える少量継続的な施肥法では、出穂前 16 日と 6 日の 2 回に分けて与える慣行施肥法よりも未熟粒歩合が約 5% 低下した。また、にこまるではヒノヒカリよりも 10~15% 未熟粒歩合が低下した。いずれの場合でも前者は後者より穂揃期の茎葉における非構造化炭水化物が多かったことから、これらの施肥法と品種では貯蔵炭水化物の増加が玄米でのデンプン蓄積を促進して玄米の外観品質が向上したと考えられた。

3. イネの登熟に及ぼす高夜温と高昼温の影響の違いとその生理生態的要因

人工気象室で 1) 34/22°C の高昼温区、2) これと日平均気温が同じ 22/34°C の高夜温区、そして 3) 昼夜 22°C 一定の対照区を設定し、玄米 1 粒重と玄米外観品質に及ぼす昼温と夜温の影響を解析した。その結果、玄米 1 粒重は夜の高温で明らかに低下し昼の高温ではほとんど低下しないこと、玄米外観品質は昼夜いずれの高温でも低下することが明らかとなった。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、稲体全体を高夜温とした場合に 7~11%、穂のみを高夜温とした場合に 5~6%、それぞれ玄米 1 粒重が低下し、いずれの場合でも 1 茎当たり乾物重に占める穂重の割合が低下した。一方、茎葉のみを高夜温としても玄米 1 粒重は低下しなかった。また、玄米 1 粒重と 1 茎当たり乾物重との間に有意な相関関係は認められなかった。これらのことから、高夜温による玄米 1 粒重の低下の主因は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が推察された。さらに、高昼温に比べて高夜温では、粒重増加期間は低下せず増加速度が低下することが明らかとなった。次に、粒重増加速度と玄米糖濃度の日変化および ¹³C トレーサーの玄米への移動量の日変化を解析した。その結果、高昼温と高夜温のいずれでも主に高温の時間帯に炭水化物が玄米に移動し粒重増加速度が大きくなること、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多くの炭素が玄米へ移動することが示された。また、高夜温では高昼温に比べて特に夜に玄米糖濃度が低下することが示された。これらのことから、高夜温条件では、玄米 1 粒重が増加する高温の時間帯が光合成を行っていない夜に当たるため茎葉からの糖の供給が少なく、このことが粒重増加速度の低下に結びついていることが推察された。さらに、玄米含水量の推移の解析により、最大含水量が高夜温区で高昼温区より小さいことが示された。最大含水量は胚乳容量の指標と考えられるため、胚乳容量の構成要素である胚乳細胞の数と細胞 1 個当たりの大きさを胚乳内の位置別に解析したところ、高夜温区では高昼温区に比べて胚乳細胞の数は変わらず、個々の細胞が小さいこと、その差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で大きいことが明らかとなった。この位置の胚乳細胞の成長時期は、高夜温区と高昼温区の粒重増加速度に大きな差が現れる時期とほぼ一致しているとみられた。このため、高夜温は胚乳内の上記の位置の細胞成長を抑制することにより粒重増加速度を低くし、成熟期の玄米 1 粒重を低下させると考えられた。

以上、本研究では高温登熟障害の発生に及ぼす日射と施肥の影響を解析するとともに、高温低日射条件でも登熟が不良になりにくい品種の特性や少量継続施肥の効果を示した。また、高夜温は玄米への乾物分配率の低下、胚乳細胞の成長抑制、粒重増加速度の低下を介して成熟期の玄

米1粒重を低下させることを明確にし、これまで考えられてきた呼吸昂進説とは異なるメカニズムを提起した。これらの知見は高温登熟障害のさらなるメカニズム解明や対策を講じる上で活用されることが期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岩 間 和 人
副 査 教 授 幸 田 泰 則
副 査 教 授 佐 野 芳 雄

学 位 論 文 題 名

イネの高温登熟傷害に関する生理生態学的解析

本論文は図 37, 表 27 を含み, 7 章からなる総頁数 162 の和文論文である. 別に参考論文 5 編が添えられている.

近年, イネ登熟期の高温による玄米の外観品質や 1 粒重の低下などの高温登熟障害が本州中部以南で多発しており, 地球温暖化の進行との関係で, 発生機構の解明と対策の確立が緊急の課題になっている. 本研究では, 高温登熟障害の発生に及ぼす日射量, 施肥法および品種の影響を明らかにし, 発生を軽減する施肥法と品種育成の方向を提示するとともに, 従来不明な点の多かった高夜温の影響に関する生理的機構を明確にした.

1. 日射量と気温の複合条件が高温登熟障害に及ぼす影響

温暖化では気温の上昇とともに日射量の低下が懸念されている. そこで, 高温登熟障害に及ぼす気温と日射条件の複合的影響を検討した. まず, 中国地方平坦部での 8 月の平年気温 32/23°C (昼温/夜温) に比べて, 将来予想される 3°C 高い気温の影響を人工気象室で調査したところ, 玄米 1 粒重が約 5% 低下し, 良質粒歩合が 70% から 20% に低下した. 次に, 圃場での作期処理と出穂期に高標高地へポットを移動する処理を行い, 登熟前半の日射量が多い場合には高気温による玄米 1 粒重と良質粒歩合の低下が抑制されることを明らかにした. さらに, 気温と日射量が玄米 1 粒重の増加推移と玄米外観品質に及ぼす影響を人工気象室に栽培した普及品種「ヒノヒカリ」と高温登熟耐性を備えた新品種「にこまる」で比較した. 両品種ともに通常の日射条件では高温によって粒重の増加速度が高まるが増加期間が短縮するので玄米 1 粒重が低下した. しかし, 低日射条件の「ヒノヒカリ」では高温による粒重増加速度の上昇程度が小さく, 玄米 1 粒重が大幅に低下した. この結果, 玄米の粒張りが減少し, 外観品質が顕著に低下した. 一方, 「にこまる」では粒重増加速度

が高く維持されることで玄米 1 粒重の低下が抑制された。

2. 施肥法が高温登熟障害に及ぼす影響

登熟前半での粒重増加速度の低下を抑制するために、気象条件が異なる 3 カ年の圃場試験で施肥の影響を調査した。出穂後 20 日間の気温が平年より約 2℃高い高温年において、穂肥の増加によって玄米 1 粒重の低下と基部未熟粒の発生が抑制された。また、穂肥を出穂前 16 日から出穂後 12 日まで 15 回に分けて与える施肥法では、慣行の出穂前 16 日と 6 日の 2 回に分けて与える施肥法に比べて、未熟粒歩合が「ヒノヒカリ」では 10~15%、「にこまる」でも約 5%低下した。この理由として、穂揃い期の茎葉における貯蔵炭水化物の増加が登熟期の玄米でのデンプン蓄積を促し玄米外観品質の向上をもたらしたと推察した。

3. 高温登熟障害における高昼温と高夜温の比較

温暖化に伴い、特に夜温が上昇することが予想されている。そこで、高温登熟障害に及ぼす高昼温 (34/22℃) と高夜温 (22/34℃) の影響を低昼夜温 (22/22℃) を対照区として検討した。玄米外観品質は昼夜いずれの高温でも低下したが、玄米 1 粒重は高昼温ではほとんど低下せず高夜温では顕著に低下した。また、高夜温では粒重の増加期間は減少せず、増加速度が低下した。次に、高昼温と高夜温を穂と茎葉に別々に与えたところ、高夜温による玄米 1 粒重の低下は穂を高夜温にした場合にのみ認められ、1 茎重当たり穂重割合の低下と関係した。従って、高夜温による玄米 1 粒重低下の主因は、茎葉での呼吸昂進による同化物の不足ではなく、同化物の穂への分配率低下であると推察した。さらに、同化物の転流と玄米糖濃度の日変化を ^{13}C トレーサーで調査し、高夜温条件では玄米 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粒重増加速度が低下することを明らかにした。また、胚乳細胞の数と大きさを胚乳内の位置別に調査し、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に位置する細胞の成長を抑制し、粒重増加速度と玄米 1 粒重を低下させることを明らかにした。

以上のように、本研究は高温登熟障害が主として粒重増加速度の低下に起因し、特に高夜温による穂への同化物の転流阻害が影響し、低日射条件による同化物の不足によって助長されるとの生理的機構を明らかにした。また、高温登熟障害を軽減する品種特性や施肥法を提示した。これらの成果は学問的および応用的の両面から高く評価できる。よって審査員一同は、森田敏が博士 (農学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。