

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2010

課題番号：19580010

研究課題名（和文）穎果の登熟優先度調節系の解析による近未来超多収遺伝子型イネの登熟理想特性の提唱

研究課題名（英文）Propositions for ideal characteristics of grain filling in super high yielding rice genotype which will be developed in the near future by analyzing the mechanism of controlling the grain filling priority of spikelets within the panicle

研究代表者

中村 貞二（NAKAMURA TEIJI）

東北大学・大学院農学研究科・助手

研究者番号：70155844

研究成果の概要（和文）：イネには穂内の穎果の登熟優先度調節（SCP）系があり、その強さには遺伝的差異がある。最近育成された高 sink capacity（籾数/単位面積×玄米重）のイネを用いた実験では、穂の下部の弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくいイネつまり SCP が弱いイネが強いイネよりも高登熟であった。よって、高い sink capacity に加え、SCP が弱い特性を近未来超多収遺伝子型イネの登熟特性として提唱する。

研究成果の概要（英文）：It is known that there is the genetic difference in SCP (the strength to control the priority of spikelets within the panicle for grain filling) in rice. Data from the experiments using the genotype with high sink capacity recently released showed that the early growth and filling of grains at the lower positions within the panicle (inferior grains) often decrease in varieties with strong SCP, but such a decrease does not occur in varieties with strong SCP. Therefore, in addition to high sink capacity, weak SCP should be proposed as ideal characteristic of grain filling in super high yielding rice genotype which will be developed in the near future.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農学・作物学・雑草学

キーワード：イネ、穎果、登熟優先度、sink capacity、弱勢、source/sink 比、ABA

1. 研究開始当初の背景

同一花序の中で稔りやすい花と稔りにくい花が存在する。イネに関しては、穂の下部に着生する弱勢な穎果は上部に着生する強勢な穎果より登熟優先度が低く、登熟が低下

しやすい。この機構を中心に申請者は一連の研究を行ってきた。品種ササニシキを用いた結果では、登熟優先度が低い弱勢な穎果は、とくに低日射など source/sink 比が低い条件下では、そのデンプン蓄積期よりも、むしろ

胚乳発達の初期段階で成長の遅延を起こし易く、この初期成長の遅延は、胚乳細胞数の減少を通じて最終粒重の低下を伴う。さらに、この遅延は、穎果への光合成産物の供給不足によるのではなく、植物ホルモンのアブジン酸 (ABA) レベルの低下により生じる、つまりイネには ABA を介した登熟優先度調節系が存在し、とくに低 source/sink 比条件下において、弱勢な穎果の初期成長を遅延させ、強勢な穎果を優先的に登熟させる働きをしている。

一方、登熟優先度調節の強さには品種間差があり、弱い品種 (弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくい品種: アキニシキおよび 92133) の方が、強い品種 (弱勢な穎果の初期成長が遅延しやすい品種: ほとんどの品種) よりも、低 source/sink 比下で弱勢な穎果の胚乳細胞数の低下も少なく、1 穂当たりの収量低下も少ない。つまり、現在の品種では一穂内の穎果が一斉に登熟すると、競合のためにむしろ登熟が悪化するということはないようである。しかしながら、超多収を目的とし、sink capacity (穎花数/単位面積×千粒重) を極端に高めた遺伝子型イネでは一穂内の穎果が一斉に登熟する性質はむしろマイナス要因になる可能性も否定できない。

最近になって、sink capacity を高めた超多収の可能性のある品種 (系統) が最近数多く作り出された。国際イネ研究機関 (IRRI) は一穂穎花数を増加させることにより sink capacity を高めた品種「New Plant Type」を育成した。しかし、登熟が悪いために収量増加は少なかった。登熟期における稈への炭水化物再蓄積が多いことから、穎果の同化物受け入れ能力に問題があり、まだ実用化されていない。日本でも、秋田 63 号のように、穎花数ではなく千粒重を増加させることにより sink capacity を増加させ、超多収を目指した品種も作出された。秋田では、実際にかんりの高収量 (1t 弱/10a) も実現されている。しかし、登熟歩合は 79% 以下とやや低いのが問題である。このように、sink capacity が高く収量ポテンシャルが高いイネを育成することには成功しているが、登熟が悪いために超多収品種にならない場合が多い。おそらく、弱勢な穎果の登熟に問題があると思われるが、明らかになっていない。したがって、これら sink capacity が高く、収量ポテンシャルが高い遺伝子型イネの登熟特性を明らかにし、登熟優先度調節系の強さがこれら sink capacity が高いイネの登熟にどのように作用するかを明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、登熟優先度調節が強い品種と弱い品種を用い、様々な光合成産物供給条件を設定し、登熟優先度調節系がどのような場

合に登熟にプラスまたはマイナスに働くかを調査し、登熟優先度調節系の登熟における意義を明らかにする。次に、最近育成される sink capacity が高く超多収の可能性のある品種を主に選定し、その登熟優先度調節の強さを比較し、実際の登熟との関係を明らかにする。また、sink capacity が高いイネにおける登熟優先度調節の強さの違いを ABA を主とした植物ホルモンと光合成産物供給の面から明らかにする。そして、これらの結果から、イネ自身が持つ登熟優先度調節系が登熟に及ぼす影響を整理し、近未来に育成しなければならない超多収遺伝子型イネの理想的登熟特性およびそれに関与する特性や要因を提唱する。

3. 研究の方法

(1) 穎果の登熟優先度調節系がイネの登熟特性に及ぼす影響

登熟優先度調節の強さが異なる 2 品種 (系統) 群 (強: ササニシキ・コシヒカリ, 弱: アキニシキ・92133) を用い、様々な炭水化物供給条件下で登熟優先度調節系が登熟にどのように影響するかを調査した。

(2) 秋田 63 号および NPT の登熟優先度調節系と登熟特性について

秋田 63 号は千粒重の増加により、第 1 世代 New Plant Type (NPT, IR65600-129-1-1-2) は一穂穎花数の増加により sink capacity を高めた品種 (系統) で、両者とも高い収量ポテンシャルを持つが、登熟が劣る。そこで、この登熟が劣る原因を登熟優先度調節系の面から明らかにすることを試みた。なお、一穂粒数が多く比較的多収、さらに低 source/sink 比下でも弱勢な穎果のアブジン酸 (ABA) レベルが高く維持されるためにその初期成長が遅延しにくく、登熟も悪化しにくい系統 92133 (中国の江蘇省で育成) を比較に用いた。

(3) 高い sink capacity を持つイネにおける穎果の登熟優先度調節系と登熟特性

sink capacity が高い夢あおば、べこあおば、ふくひびき、第 2 世代 New Plant Type (NPT, IR-72967-12-2-3)、登熟優先度調節が強い (弱勢な穎果の初期成長が遅延しやすい) ササニシキ、反対に登熟優先度調節が弱い (弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくい) 92133 (中国江蘇省)、ほとんどの穎果が 1 次枝梗着生で 1 穂穎花数が少ない奥羽飼 403 号の計 7 品種 (系統) を用い、出穂前 7 日間の 75% 遮光処理と出穂後の 50% 遮光処理を組み合わせ計 4 処理区を設け、source/sink 比の低下 (遮光処理) による穎果の初期成長遅延および登熟悪化、さらにそれらの品種間差を調査した。

(4) 高い sink capacity を持つイネにおける穎果の登熟優先度調節系と内生 ABA の関係

遮光（低 source/sink 比）下でも、弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくく（登熟優先度調節が弱く）、穂全体の登熟も低下しにくいべこあおば（sink capacity 大）、92133（中国江蘇省）、奥羽飼 403 号（ほとんどの穎果が 1 次枝梗着生）と、遮光下で弱勢な穎果の初期成長が遅延しやすく（登熟優先度調節が強く）、登熟も低下しやすい夢あおば（sink capacity 大）、ササニシキを用い、穎果の初期成長期における ABA（アブシジン酸）と糖を分析した。

4. 研究成果

(1) 穎果の登熟優先度調節系がイネの登熟特性に及ぼす影響

出穂前遮光により、すべての品種（ササニシキ、コシヒカリ、アキニシキ、92133）で出穂前貯蔵炭水化物は減少した。また、出穂前貯蔵炭水化物含量に関係なく、登熟優先度調節の弱いアキニシキと 92133 が強いササニシキとコシヒカリよりも登熟歩合は高かった。一方、出穂 3 週後に剪葉により source/sink 比を低下させると、出穂前貯蔵炭水化物が多い場合には、登熟優先度調節の弱い品種が強い品種よりも登熟歩合は高かったが、貯蔵炭水化物が少ない場合には、反対の傾向が認められた。つまり、登熟期の炭水化物がある程度十分な場合は、登熟優先度調節が弱く、弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくいという特性は登熟にプラスに働くが、炭水化物供給が極端に制限された場合は、穎果間の競合が激しく登熟にはマイナスに働くことが示唆され、登熟優先度調節系は非常に悪い環境下で強勢な穎果だけを優先的に子孫として残すための戦略機構と考えられた。

(2) 秋田 63 号および NPT の低登熟特性と穎果の登熟優先度調節の関係

source/sink 比を穎果間引きにより増加、遮光により減少させても、全品種（系統）で強勢な穎果の初期成長は変化せず速いままであった。一方、とくに秋田 63 号と NPT では、弱勢な穎果の初期成長が遅延、その一部は発育停止し、穂全体の登熟歩合は低かった。遮光はこれを助長したが、穎果間引きにより弱勢な穎果の初期成長は強勢な穎果程度に速くなり、発育停止も減少した。各品種（系統）とも強勢な穎果では、発達初期の ABA 濃度には処理間差がなかったが、秋田 63 号や NPT の弱勢な穎果では、初期成長が遅延した対照区や遮光区で低く、穎果間引きで高い傾向が認められた。なお、穎果の発達初期における糖やサイトカイニンの濃度は穎果の初期成長とは関係なかった。また、穎果の直線的乾物重増加期におけるその増加速度は、強勢な穎果が弱勢な穎果よりも大きく、遮光処理で小さく、間引き処理で大きかったが、そ

の時の穎果の糖濃度とは関係がなかった。つまり増加速度はその時利用できる炭水化物に左右されるのではなく、穎果の初期成長の速さに関係していた。以上より、高い収量ポテンシャルを持つ秋田 63 号や NPT においても、他品種で明らかにされてきたように、弱勢な穎果の登熟不良には発達初期の低い ABA レベルによる胚乳細胞数の減少が関与していることが示唆された。

(3) 高い sink capacity を持つイネにおける穎果の登熟優先度調節系と登熟特性

出穂前遮光により全ての品種（系統）で茎葉の出穂前貯蔵炭水化物が低下し、登熟歩合も低下する傾向が認められたが、茎葉の出穂前貯蔵炭水化物が高い品種（系統）の登熟歩合が高くなる傾向は認められなかった。出穂後の遮光によりふくひびき、ササニシキ、夢あおばにおいて弱勢な穎果の Stage A（開花日）から Stage H（穎果の幅が籾殻の幅の半分に達した日）までの初期成長が遅延し、1 穂全体の登熟歩合は大きく低下したが、べこあおば、92133、奥羽飼 403 号ではその初期成長の遅延はごくわずかで、登熟歩合の低下もわずかであった。つまり、弱勢な穎果の初期成長が遅延しやすい品種（系統）ほど 1 穂全体の登熟歩合も低下しやすいことが示された。以上より、sink capacity の高いイネについても、とくに弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくい性質が登熟にとって非常に重要であり、べこあおばは sink capacity が高いうえに、弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくく、登熟も悪化しにくいすぐれた登熟特性を持つ品種であることが示された。(1) で述べたように、弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくい（登熟優先度調節が弱い）特性は sink capacity の高いイネについても、通常は登熟にプラスに働くことが示されたことになる。

(4) 高い sink capacity を持つイネにおける穎果の登熟優先度調節系と内生 ABA の関係

初期成長期の糖濃度は、全品種において初期成長が速い強勢な穎果よりも遅い弱勢な穎果で高かったが、両穎果において遮光の影響や品種間差はなかった。遮光により強勢な穎果の ABA 濃度は全品種で変化しなかったが、ササニシキ、夢あおば、べこあおばの弱勢な穎果では低下し、その初期成長も遅延した。一方、92133 と奥羽飼 403 号の弱勢な穎果では、遮光により ABA 濃度は低下せず、初期成長は遅延しなかった。また、べこあおばでは ABA の低下に伴う初期成長の遅延程度はササニシキ、夢あおばと比べ小さかった。したがって、sink capacity が高いイネの登熟には、92133 や奥羽飼 403 号のように弱勢な穎果の初期成長期における内生 ABA が低下しにくいために、またはべこあおばのように ABA が低下しても感受性が低いために初期成長が遅延しにくく登熟も低下しない特性が重要

である。また、ササニシキでは、主に初期成長期における低 source/sink 比により、弱勢な穎果の最終粒重が低下し、白未熟粒発生が増加したことから、穎果の初期成長の遅延は、後に起こるデンプン合成・蓄積の能力低下を通じて穎果の登熟・品質を低下させることが示され、穎果の初期成長の促進要因である ABA の重要性がさらに強調される結果となった。

研究成果(1)より、登熟優先度調節が弱く、弱勢な穎果の初期成長が遅延しにくく、穂の中の穎果が一斉にデンプン蓄積を行うと穎果間の競合が激しく、登熟が悪化することも考えられたが、通常想定できるような環境下ではむしろ登熟が悪化しにくい性質であることがわかった。一方、超多収のためには、まず高い sink capacity を持つイネを育成することが前提条件となるが、このようなイネは現在多数育成されてきている。本研究の成果(2)、(3)、(4)より、この高い sink capacity を持つイネにさらに登熟優先度調節の弱い性質を取り込むことが超多収遺伝子型イネの育成には非常に重要であることが明らかとなった。この理由としては、登熟優先度調節が弱いと穎果間の競合が激しくなると考えられるが、反対に登熟優先度が強く弱勢な穎果の初期成長が遅延すると競合は少ないものの胚乳細胞数が減少、さらに穎果のデンプン蓄積能力が低下するなどして、これらのことが前述した穎果間の競合以上に登熟にきわめて悪い影響をあたえるためと考えられた。以上の理由で、高い sink capacity に加え、登熟優先度調節が弱い特性を近未来超多収遺伝子型イネの特性として提唱する。なお、本研究の成果(4)より、sink capacity が高いイネにおいても、登熟優先度調節系の主体は植物ホルモンの ABA であることも明らかとなり、この面からの登熟向上に向かったイネの改良が今後期待される。

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)

[学会発表] (計5件)

1. 佐川日香理・中村貞二・中嶋孝幸・国分牧衛、イネ穎果における初期成長と乾物蓄積の関係について、日本作物学会第 230 回講演会、2010 年 9 月 5 日、北海道大学
2. 佐藤紘子・中村貞二・国分牧衛、イネ穎果における初期成長と品質の関係について、日本作物学会第 230 回講演会、2010 年 9 月 5 日、北海道大学
3. 成澤嘉明・中村貞二・国分牧衛、高い sink capacity を持つイネにおける穎果の初期成長と登熟、日本作物学会第 229 回講演会、2009 年 3 月 30 日、宇都宮大学

4. 成澤嘉明・中村貞二・国分牧衛、穂上位を異にする穎果の登熟優先度調節系がイネの登熟特性に及ぼす影響、日本作物学会第 226 回講演会、2008 年 9 月 25 日、神戸大学

5. Teiji Nakamura・Shusaku Uchida・Makie Kokubun、Exogenous cytokinin promotes the early growth of inferior grains through the increase of endogenous ABA in rice plants、5th International Crop Science Congress & Exhibition、April 17、2008、International Convention Center、Jeju、Korea

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 貞二 (NAKAMURA TEIJI)
東北大学・大学院農学研究科・助手
研究者番号：70155844

(2)研究分担者

後藤 雄佐 (GOTO YUSUKE)
東北大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号：80122919
中嶋 孝幸 (NAKAJIMA TAKAYUKI)
東北大学・大学院農学研究科・助手
研究者番号：80241553