

参考資料

開発の社会的背景

穂発芽は収穫前に穂に実った状態で種子が発芽してしまう現象で、これにより穀物の品質が大きく損なわれます(図1)。現在、日本で広く栽培されているコシヒカリは比較的強い穂発芽耐性^{*1}を有していますが、その他の品種の中には穂発芽耐性が十分でないものもあります。さらに小麦では、穂発芽は深刻な問題です。小麦の穂発芽は平成7年には北海道を中心に100億円以上の損害を与えたとされています(農林水産研究開発レポートNo.22(2007)による)。また、平成21年のコムギ生産高は前年比で23%も減少し、その要因として7月の低温、日照不足および長雨により登熟の抑制や穂発芽が多発したことが上げられています(平成21年度公表農林水産統計による)このように穂発芽耐性は農業上重要な形質であることから、その遺伝子特定と機能解析に取り組みました。

研究の経緯

これまでに、穂発芽耐性を持つインド稲であるカサラースから5つの遺伝子を見出してきました(図2)。その中から、イネ第7染色体に位置し、穂発芽耐性の効果が最も大きい *Sdr4* 遺伝子の特定に取り組みました。ゲノム塩基配列をもとに、遺伝学的手法により、候補遺伝子を絞り込んだ結果、2つの候補遺伝子に絞られ、それぞれの遺伝子を穂発芽耐性の弱い日本晴に導入した結果、そのうちの一つの候補遺伝子 (*Os07g0585700*) が穂発芽耐性を付与する遺伝子 *Sdr4* であることがわかりました(図3)。

研究の内容・意義

穂発芽耐性遺伝子 *Sdr4* は古くから報告されている種子の成熟を司る転写調節因子^{*2} *OsVP1* によって制御されていました。*OsVP1* は種子の大きな特徴である、種子休眠と乾いた状態で生存するための乾燥ストレス耐性の両方を制御していますが、*Sdr4* はこの中で種子休眠のみを制御していることが示唆されました。種子休眠性が強く穂発芽耐性であるカサラース型の *Sdr4* (以降 *Sdr4-k* と呼びます) はイネの先祖種である野生イネ (ルフィポゴン) にみられ、*Sdr4-k* が祖先型の遺伝子であることがわかりました。一方、日本稲は調べた範囲ではすべて日本晴型の *Sdr4* (以降 *Sdr4-n* と呼びます) を持ち、*Sdr4-n* が破壊された突然変異体では易穂発芽性を示すことから、*Sdr4-n* も機能は低下しているものの穂発芽を防いでいることが示されました。

Sdr4-n の塩基配列解析により、過去に野生型の *Sdr4-k* に切断と修復が起こり、機能が低下した *Sdr4-n* が生まれたと推定しています。*Sdr4-n* は、栽培化^{*3} の過程で生じた *Sdr4-k* の働きが適度に弱くなった遺伝子だと考えられ、その結果として、人が農業利用上都合が良い、良好な発芽性が得られると考えられます。ジャポニカよりも遅れて栽培化されたインディカには、農業利用上都合が良い、良好な発芽性を示す *Sdr4-n* と *Sdr4-k* の両方の遺伝子があることもわかりました。この原因として、栽培される環境の温度や湿度によって発芽性の良い *Sdr4-n* が適している場合もあれば、穂発芽耐性の *Sdr4-k* が適している場合もあると考えています。*Sdr4-n* をもつ日本のイネ品種の穂発芽耐性を *Sdr4-k* で強化することにより日本の環境がより温暖・湿潤になった場合でも穂発芽の発生を防ぐことができると考えています。

今後の予定・期待

現在主流となっているコシヒカリは穂発芽耐性が十分ですが、一部の日本稲、たとえば、キヌヒカリやあきたこまちは十分な穂発芽耐性を持つとは言えません。また、一般にモチ品種は穂発芽耐性が弱いことが知られています。今後、収穫期の温度が上昇すると、現時点では問題がない品種であっても、穂発芽耐性が十分ではなくなる可能性があります。このような穂発芽耐性の低い品種へ **Sdr4-k** を交配により導入することで穂発芽耐性を改良することができます。今までに DNA マーカー選抜により **Sdr4-k** をコシヒカリに導入した系統の作出に取り組み、穂発芽耐性を向上させることに成功しています。また、コムギは毎年低温下の降雨により程度の差は見られるものの穂発芽被害が発生しており、同じイネ科同士の類似性を利用して、コムギの穂発芽耐性を改良することが期待されます。

用語の解説

※¹穂発芽耐性と種子休眠性

種子は、発達の過程で胚が成長し、発芽する能力を獲得するに至った以降は、胚の発達を休止します。このような現象を生物学的には「種子休眠」と呼びます。種子休眠の獲得と同時に乾燥などに対するストレス耐性を獲得し種子は成熟に至ります。イネ種子はストレス耐性により低温・乾燥した冬を越し、種子休眠が時間と共に失われることで春を迎えて発芽するに至ります。収穫前に穂の上で発芽してしまう穂発芽を防ぐ能力を農学的な観点から「穂発芽耐性」とよびます。穂発芽は成熟した種子が収穫されるまでの間、前出の種子休眠が高いレベルで維持されることで防ぐことができます。そのため、種子休眠が強く、種子が強く眠らされることで、穂発芽耐性が付与されると考えることが出来ます。

種子休眠には上述の種子休眠、すなわち、一次休眠と呼ばれるもの他に、一次休眠が解けた後に、環境に適さない条件での発芽を防ぐために、再度休眠に入る現象である二次休眠が知られています。**Sdr4** は前者の一次休眠に係わる因子であると考えられます。

※²転写調節因子

遺伝子の働きを調節するタンパク質で、一般的にはタンパク質をコードする DNA の領域から少し離れた位置に存在する特定の配列に結合し、遺伝子の働きを調節しています。

※³栽培化

野生イネから栽培イネが生まれてきた過程を指します。日本稲はおよそ 9000 年前に中国揚子江流域で、インド稲はおよそ 5000 年前にインドで生まれたのではないかと考えられています。どちらも、野生イネであるルフィポゴン (*Oryza rufipogon*) に由来すると考えられています。

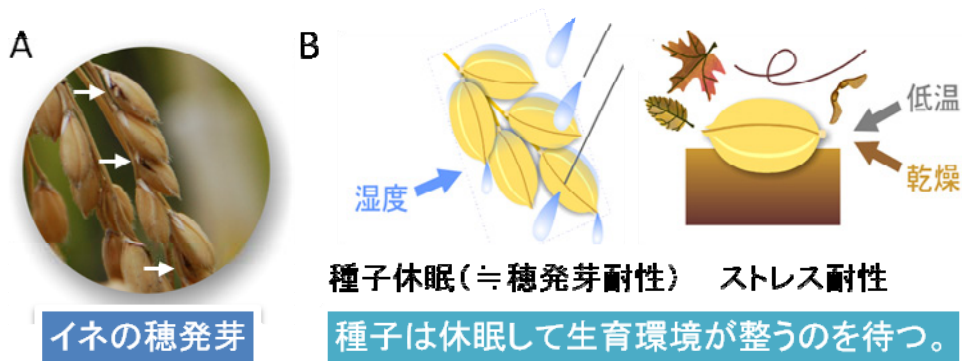


図1 穂発芽と種子休眠

A) 穂発芽は収穫前に穂に稔った状態で発芽してしまう現象で、これにより種子の品質が大きく損なわれます(矢印は穂発芽が発生し、根が出てきた種子を示す)。B) 一般に、適切なタイミングで発芽するために、種子は稔った直後に発芽しない種子休眠機構と低温乾燥した冬を越すためのストレス耐性機構を持っています。

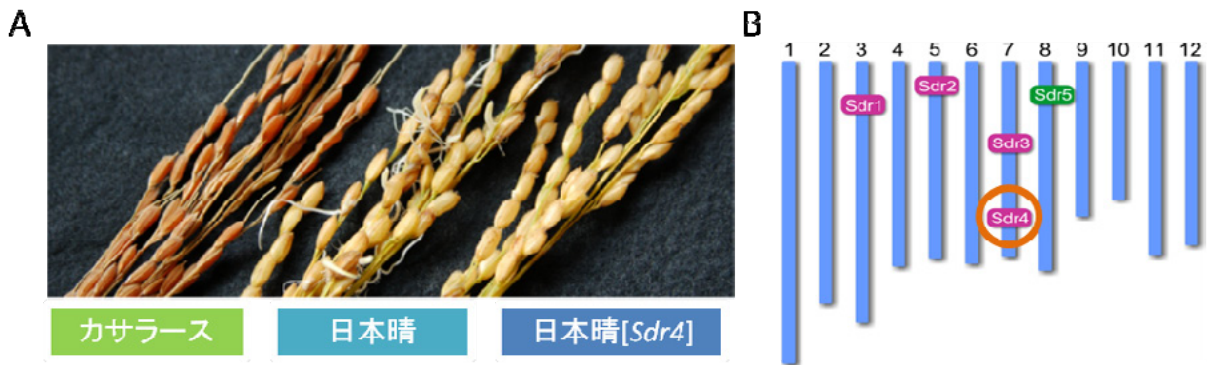


図2 穂発芽耐性遺伝子 *Sdr4* の効果とゲノム上の位置

A) 穂発芽耐性の強いカサラースと穂発芽耐性の弱い日本晴の発芽試験を行うと、カサラースは発芽しませんが、日本晴は発芽しました。また、日本晴にカサラース由来の *Sdr4* を導入した系統(日本晴[*Sdr4*])は穂発芽耐性を示し、発芽が抑制されました。B) カサラースから見出された 5 つの穂発芽耐性関連遺伝子の位置を示しました。その中で作用の強い *Sdr4* は第 7 染色体長腕部に位置しています(オレンジ色の丸を付けた部分)。

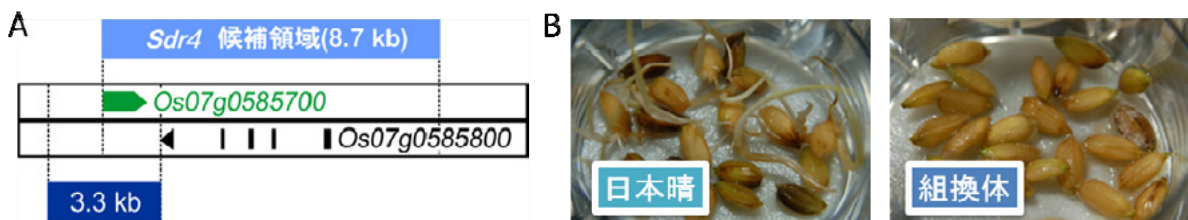


図3 穂発芽耐性遺伝子 *Sdr4* の同定

A) 遺伝地図法により遺伝子が存在する領域を 8.7k-bp まで絞り込んだところ、その領域には二つの遺伝子が存在すると考えられました。そこで、二つの候補遺伝子のうち Os07g0585700 を含むカサラース由来の 3.3k-bp の断片を遺伝子組換えにより日本晴に導入しました。B) その結果、日本晴(左)に比べて組換体(右)は発芽が抑制されました。これにより、Os07g0585700 が *Sdr4* であることが証明されました。