

摘要

1960年代以降の世界的なイネの単位面積当り収量の向上には、多肥条件下で倒伏抵抗性に優れる半矮性品種の育成と利用が大きく貢献した。近年、世界各国でそれぞれ育成された半矮性品種の多くが、半矮性遺伝子 sd-1 か複対立の半矮性遺伝子を持つことが明らかになり注目されている。半矮性品種の育成と利用は、今後ともイネの単位面積当り収量向上に重要な役割を果たすものであり、sd-1 遺伝子座の半矮性遺伝子の利用が半矮性育種の主流を占めると考えられる。このことから、より優れた半矮性・多収品種を効率的に育成するためには、半矮性遺伝子の形質発現や半矮性遺伝子と他の農業形質を支配する遺伝子との連鎖関係を明らかにする必要がある。

イネの草丈に関しては、古くから多くの遺伝・育種学的研究が行われてきた。しかしながら、sd-1 遺伝子座の半矮性遺伝子については、その重要性が明らかになったのが最近であるため詳細な研究は行われていない。半矮性育種に利用される半矮性遺伝子が sd-1 遺伝子座に限られるということは、半矮性品種の遺伝的多様性を拡大するのに不利である。したがって半矮性遺伝子の多様性を拡大するため、未同定の半矮性品種の持つ半矮性遺伝子について sd-1 との異同を検定し、また人為突然変異によって有用な半矮性遺伝子を誘発する必要がある。

そこで本研究では、半矮性育種を行ううえで重要な半矮性遺伝子である sd-1 を中心として、半矮性遺伝子源として有望であると考えられた半矮性品種・系統の有する半矮性遺伝子の遺伝子分析を行うとともに、半矮性遺伝子 sd-1 の形質発現、sd-1 と連鎖する遺伝子の同定および突然変異による半矮性遺伝子の誘発に関する研究を遺伝・育種学的観点

から行った。その結果、以下の知見を得た。

1. 半矮性遺伝子 sd-1 を研究するにあたり、連続戻し交雑によってインド型半矮性品種台中在来1号の半矮性遺伝子を日本型長稈品種農林29号の遺伝的背景に導入した半矮性準同質遺伝子系統SC2とSC-TN1を sd-1 の検定系統として実験に用いることにした。SC-TN1は、SC2にさらに連続戻し交雑を行うことによって育成された系統である。確実を期するために、半矮性遺伝子 sd-1 と疎穂遺伝子 lax が連鎖関係にあることを利用して、SC2の有する半矮性遺伝子が sd-1 であることを確認する実験を行った。その結果、SC2の半矮性遺伝子は lax と連鎖関係にあったことから、SC2とSC-TN1はともに半矮性遺伝子 sd-1 を有することが確かめられ、これら半矮性準同質遺伝子系統が有用な検定系統であることがわかった。

2. 中国の代表的な半矮性遺伝子源である矮脚南特とわが国で人為突然変異によって育成された半矮性品種・系統レイメイおよびX46の持つ半矮性遺伝子について、sd-1 との異同を明らかにするための実験を行った。その結果、これら3品種・系統が sd-1 遺伝子座に共通に半矮性遺伝子を持つことがわかった。

矮脚南特は中国の多くのインド型半矮性品種の半矮性遺伝子源となった品種であることから、中国で栽培される半矮性品種も sd-1 遺伝子座に半矮性遺伝子を有すると推測された。レイメイの半矮性遺伝子は、sd-1 と同一遺伝子座にあるにも関わらず sd-1 と比較して稈長の伸長抑制効果が小さい傾向が認められた。これは、レイメイの半矮性遺伝子が sd-1 と複対立であるか、もしくは sd-1 を有すると同時に sd-1 に密

接に連鎖する変異遺伝子を持つためと考えられた。一方、X46の半矮性遺伝子が示す稈長の伸長抑制効果は sd-1 と同程度であった。

3. 多肥条件下において半矮性遺伝子 sd-1 が稈の伸長過程に及ぼす遺伝子作用や穂長や穂の大きさなどの収量関連形質に及ぼす多面発現を明らかにする実験を行った。その結果、半矮性遺伝子 sd-1 は、下部伸長節間においては細胞分裂と細胞伸長を抑制し、また上部伸長節間では細胞分裂を抑制し稈長を短くすることがわかった。半矮性遺伝子が倒伏抵抗性を向上するのは、短稈化によって稈の曲げモーメントを小さくするとともに、多肥条件下での下部節間の伸長を抑制するためと考えられた。収量性と密接な関連のある穂長や穂の大きさに対しては、半矮性遺伝子 sd-1 の伸長抑制効果は小さく、遺伝的背景を変えることでこれら形質を改良することが可能であることがわかった。

また、節間伸長と関連の深いジベレリンに対する草丈や稈長の伸長反応を調べた。半矮性遺伝子 sd-1 を持つ品種・系統にジベレリン処理を行うと、草丈が著しく伸長し sd-1 を持たない長稈品種と同程度の反応を示した。ジベレリン処理によって著しく器官が伸長するのは、細胞の数と大きさが増加するためであった。これらのことから、半矮性遺伝子 sd-1 はジベレリンの生合成と関連し草丈を短くすると考えられた。

さらに、地上部乾物重に及ぼす半矮性遺伝子の効果を解析した結果、半矮性遺伝子は草丈を短くすることで半矮性系統の地上部乾物重を減少させることがわかった。しかしながら、生長過程での地上部乾物重の生産速度が最高となる時期は、半矮性系統とその遺伝的背景となった長稈品種の間でほぼ同じであった。日本型半矮性品種においては、幼穂形成期の地上部乾物重の小さいことが多収性を発揮するための限界要因になっ

ていることが指摘されている。半矮性遺伝子は地上部乾物重の増減時期に影響しないことから、遺伝的背景を改良することで半矮性品種の幼穂形成期における地上部乾物重の生産速度を高めるならば、より一層の多収性をもたらすことが可能であると推察された。

4. sd-1 遺伝子座の半矮性遺伝子が多くの半矮性品種に利用されたことから、sd-1 と密接に連鎖する遺伝子も sd-1 とともに多くの品種に遺伝したことが考えられる。このため、sd-1 と他の農業形質を支配する遺伝子との間の連鎖関係を明らかにし、またその連鎖遺伝子の形質発現を調べることは、半矮性遺伝子を利用した育種を行ううえで重要である。そこで本研究では、収穫作業能率に大きな影響を与える脱粒性と半矮性との連鎖関係を調べた。

低脚烏尖、台中在来1号、矮脚南特、十石ならびにシラヌイなどの半矮性品種は、インド型・日本型に関わらず半矮性遺伝子 sd-1 とともに sd-1 と約13%の組換え価で連鎖する劣性の脱粒性遺伝子を持つことが明らかになった。半矮性遺伝子 sd-1 は第III連鎖群に座乗することから、sd-1 と連鎖する脱粒性遺伝子は新しい脱粒性遺伝子であることがわかった。この脱粒性遺伝子に sh-2 の遺伝子記号が与えられた。脱粒性遺伝子 sh-2 は、半矮性育種において sd-1 とともに多くの半矮性品種に遺伝したことが推測された。

脱粒性測定装置を用い脱粒性程度を測定すると、sh-2 は穎を護穎基部から脱落させる不完全劣性遺伝子であることがわかった。脱粒性遺伝子 sh-2 は穂ばらみ期にすでに発現し護穎基部に離層を形成させていたが、脱粒し始める時期は出穂後33日目からであった。離層形成の点から見ると、sh-2 はヘテロ個体で離層を形成していたことから、この遺伝

子は離層形成に関しては優性であることが明らかになった。ともに護穎基部に離層を形成するにも関わらず、sh-2 に関してホモ接合とヘテロ接合の個体間で脱粒性程度に差が認められたのは、離層組織内の柔細胞の数や大きさなどの形態的差異や、もしくは離層形成に関与する酵素活性などの生理的差異に起因するのではないかと考えられた。

5. 半矮性育種に利用される半矮性遺伝子が sd-1 遺伝子座に限られるということは、半矮性品種の遺伝的多様性を狭める。そこで、半矮性品種の遺伝的多様性を拡大するには、sd-1 とは異なる半矮性遺伝子を同定し積極的に利用することが必要である。これには、人為突然変異による半矮性遺伝子の誘発が有効であると考えられる。また突然変異の利用は、遺伝的背景を変えことなく長稈品種を半矮性品種に短期間で改良可能である。そこで、突然変異による半矮性遺伝子の誘発に関する研究を行った。

長稈品種農林29号に ^{60}Co の γ 線をそれぞれ25.6kR、21.8kRならびに18.8kRの3つの総線量で幼苗期から結実期まで生体照射し、 M_3 世代に原品種より稈長が短い個体を選抜し系統とした。突然変異系統に原品種農林29号と sd-1 を有する農林29号の半矮性準同質遺伝子系統SC-TN1を交雑し、50の突然変異系統についてそれぞれ突然変異系統/農林29号と突然変異系統/SC-TN1の雑種 F_1 を得た。

遺伝子分析の結果、A1-48とC2-25の2系統が sd-1 遺伝子座に半矮性遺伝子を持つことが明らかになった。この両系統とSC-TN1については、農林29号を交雑した F_1 の稈長が農林29号よりやや短く、sd-1 遺伝子座の半矮性遺伝子は長稈に対して不完全劣性であった。一方、A1-48とC2-25を除く48の半矮性突然変異系統については、農林29号を交雑した F_1 の

稈長が農林29号とほぼ等しく、このことから sd-1 遺伝子座以外のほとんどの半矮性遺伝子は完全劣性であることが明らかになった。

農林29号、S C-TN1ならびに農林29号から作出された半矮性突然変異系統にジベレリン処理を行った結果、すべての品種・系統で草丈の伸長が認められた。特に農林29号と sd-1 遺伝子座に半矮性遺伝子を有するS C-TN1、A1-48ならびにC2-25の3系統は著しい伸長を示した。一方 sd-1 とは異なる遺伝子座に半矮性遺伝子を持つと考えられる多くの半矮性突然変異系統は、農林29号やS C-TN1と比較して草丈の伸長がやや小さかった。このことから、突然変異によって作出された半矮性系統にジベレリン処理を行い原品種よりもジベレリン反応の低い半矮性突然変異系統を選抜すれば、sd-1 とは異なる遺伝子座の半矮性遺伝子を効率的に同定することが可能であると考えられた。

また、農林29号に突然変異を誘発することによって sd-1 遺伝子座に半矮性遺伝子を持つ系統を2系統作出することができたことから、この遺伝子座は比較的半矮性遺伝子を誘発し易いことがわかった。

6. 以上の結果に基づき、sd-1 遺伝子座の半矮性遺伝子の特性、半矮性遺伝子を利用した今後の多収性育種の展開、ならびに半矮性品種の遺伝的脆弱化と多様性の拡大について考察を行った。

世界各地で sd-1 遺伝子座の半矮性遺伝子が利用されるのは、この遺伝子座が比較的半矮性遺伝子を誘発し易く、かつ他の遺伝子座の半矮性遺伝子と比較して穂長や籾の大きさなどの収量関連形質に対しては不利な多面発現を示さず半矮性・多収品種の育成に有利であるためと考えられた。

中国では雑種強勢を利用したハイブリッド稲が広く利用されている。

ハイブリッド稲の育成に際しては、雑種強勢によって生じる草丈の過剰な伸長を抑制するために、ハイブリッド稲の両親に sd-1 をともに持つ半矮性品種を選択することが必要である。中国では sd-1 遺伝子座に半矮性遺伝子を持つ品種が多数育成されていることが、ハイブリッド稲の育成に有利に働いているのではないかと考えられた。

半矮性品種は、熱帯から温帯までの幅広い環境条件下で栽培されている。熱帯では半矮性化による地上部の生育抑制が過繁茂を防ぐうえで重要であるが、気温の低い高緯度地帯においては半矮性化は地上部乾物量の増加を抑制し多収性に不利になる場合がある。わが国の東北地方を中心に利用されるレイメイの半矮性遺伝子は sd-1 遺伝子座に座乗するが、低緯度地帯を中心に利用される sd-1 と比較して稈長の伸長抑制作用が小さい。このため、作用力が小さいレイメイの半矮性遺伝子が、寒冷な東北地方においては収量性に不利にならない程度に半矮性化するのに有効であったと考えられる。したがって、半矮性品種の育成に当たっては、栽培環境に適した半矮性遺伝子を選択し利用することが重要である。

半矮性遺伝子 sd-1 が脱粒性遺伝子と連鎖関係にあることは、半矮性で脱粒難の品種を効率的に育成する際の障害となる。また、同様のことは sd-1 と連鎖する未知の農業形質支配遺伝子についても当てはまる。この問題を解決するには、半矮性品種の遺伝的多様性を拡大する必要がある。

7. 半矮性品種の多様性を拡大するためには、i) 稈長の伸長抑制に関与する微働遺伝子を集積し半矮性品種を育成する、ii) sd-1 とは異なる遺伝子座の半矮性遺伝子を積極的に利用する、iii) 遺伝的背景が大きく異なる品種に sd-1 遺伝子座の半矮性遺伝子を導入し sd-1 遺伝子

座近傍の連鎖遺伝子による遺伝的脆弱化を防ぐ、という3つの方法が考えられる。本研究によって明らかにされた半矮性遺伝子の種々の遺伝・育種学的知見を基礎として、集団育種法や突然変異育種法を利用すれば、半矮性品種の遺伝的多様性を拡大することが期待され、イネの収量性をさらに向上させることが可能である。