

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780014

研究課題名(和文) イネ倒伏抵抗性における上位部稈の湾曲に関する量的形質遺伝子座の研究

研究課題名(英文) Study on quantitative trait loci for resistance to bending-type lodging in rice

研究代表者

柏木 孝幸 (Kashiwagi, Takayuki)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：40595203

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：イネの湾曲型倒伏に対する抵抗性向上を目的として、上位部稈の物理強度に関する量的形質遺伝子座(QTLs)の研究を行った。2年間のQTL解析から、第11染色体上に上位3節間すべての挫折抵抗を増加し、節間伸長に関与しないQTL(bsuc11)を見出した。bsuc11について機能解析を行った結果、bsuc11は出穂後生じる上位部稈の挫折抵抗低下を抑制することが明らかになった。bsuc11の近似同質遺伝子系統作成のためにQTLの矮小化を行った結果、後代系統の遺伝型と表現型の比較から2つのQTLの存在が示唆され、それぞれ1.6Mb(bsuc11a)と2.6Mb(bsuc11b)の候補領域に絞り込んだ。

研究成果の概要(英文)：Toward the improvement in the resistance to bending-type lodging in rice, this study conducted mapping and characterization of the quantitative traits loci (QTLs) for breaking strengths, lengths and diameters in the upper culms with using the chromosome segment substitution lines (CSSLs) developed between Koshihikari and Kasalath. From the results of QTL analyses in two years, the QTL, bsuc11, which increased breaking strengths of top three internodes and did not affect internodes lengths, was detected on chromosome 11. Functional analysis showed that bsuc11 inhibited the reduction of bending strengths in the upper culms after heading. Additionally, narrowing the region of bsuc11 suggested that bsuc11 would consist of two QTLs, and allowed to map these regions to 1.6Mb (bsuc11a) and 2.6Mb (bsuc11b).

研究分野：農学

科研費の分科・細目：作物学・雑草学、食用作物

キーワード：イネ 倒伏抵抗性 QTL

1. 研究開始当初の背景

稲作における障害の1つである倒伏は、品質・収量の低下並びに労働力の増加を引き起こし、生産者へ大きな負担を与えている。コシヒカリ等の穂重型の品種では登熟が進むにつれ穂重による稈の湾曲が起きやすく、日本で発生する倒伏のほとんどが稈の湾曲から生じる湾曲型倒伏である。湾曲型倒伏に対する抵抗性は、短稈化、強稈化、下位部の支持力強化によって構成される。これまでの倒伏抵抗性の育種において、短稈化が大きな役割を果たしてきた。短稈化は倒伏の要因である上位部重量モーメントを小さくする効果がある。そして短稈化はシンクサイズの大きい穂重型品種の利用と窒素肥料の多施与を可能とし、1960年以降の新品種の作出によるイネ並びにコムギの収量を増加させた“緑の革命”を起こす要因となっている (Khush, Genome, 1999)。しかし、短稈化の方向だけの倒伏抵抗性改良にはいくつか問題がある。まず、極度な短稈化は光合成において不利な条件になり、収量を低下させる (Flintham et al., J. Agric. Sci., 1997)。また、短稈化に関与する遺伝子のほとんどが劣性遺伝子であり (Mackill and Rutger, J. Hered., 1979)、その中には粒形や収量に影響する遺伝子があることが報告されている (Ashikari et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1999)。さらに、近年イネを飼料やバイオエタノールへ利用することが行われている。この場合、重要となるのはバイオマス量であるが、草丈を下げる短稈化はバイオマス低下を起こす可能性がある。食糧用だけでなくバイオマス利用を含めた今後のイネ育種を考えた場合、倒伏抵抗性改良には短稈化以外にも着目し、効果的なターゲットを明らかにすることが重要である。

これまで行ってきた研究で短稈化以外のターゲットによる倒伏抵抗性改良に関する研究を行ってきた。その研究においてターゲットとしてきたのは下位部の支持力である。倒伏は上位部の重さと下位部の支持力のバランスが崩れた際に生じる (Mulder, Plant Soil, 1954) ことから、イネ下位部の支持力強化のための遺伝的要因を明らかにするため、下位部の支持力に関与する形質の量的形質遺伝子座 (QTL) の解析と準同質遺伝子系統 (NIL) を用いた QTL の機能解析を行った。上位部を切除し、残った下位部の押し倒し抵抗を測定することにより下位部の支持力を評価して QTL 解析を行った結果、第 5 染色体上に下位部の支持力を高める QTL (*pr15*) を見出した (Kashiwagi and Ishimaru, Plant Physiol. 2004)。他の QTL と染色体地図上の位置を比較すると、この *pr15* は台風通過後に観測した倒伏程度に関与する QTL と重複し、草丈に関与する QTL とは重複しない QTL であることが明らかになった。このことから草丈に関与せず倒伏抵抗性を高めることができる QTL であることが示唆された。さらに NIL

を用いた *pr15* の機能解析を行った結果、*pr15* は葉身の老化を遅らせて登熟期以降の稈への炭水化物再蓄積を高めていた (Kashiwagi et al., Plant Physiol. Biochem., 2006)。過去の研究において、収穫期の稈に多量の炭水化物を蓄積する品種が高い倒伏抵抗性を示すことが報告されている (佐藤, 日作紀, 1957; 高屋・宮坂, 日作紀, 1983)。*pr15* はこのような品種がもつ遺伝的要因の1つであると考えられた。

2. 研究の目的

上記のように下位部の支持力を遺伝学的に改良することは可能であり、下位部の支持力改良は短稈化以外の倒伏抵抗性育種への応用が期待できる。一方、湾曲型倒伏では下位部の支持力が強化されても穂重による上位部稈の湾曲から倒伏が生じることが起こる。そのため湾曲型倒伏に対する抵抗性を考える場合、上位部節間の強稈性も重要なターゲットである。現在、強稈性に関する遺伝学的研究がいくつか報告されている (宝田ら, 育種学雑誌, 2004; 三浦ら, 日作紀, 2007; Ishimaru et al., Planta, 2008)。しかしながらこれらの研究では特定の節間の物理的強度がターゲットとなっており、特に基部節間をターゲットとした研究は下位部の支持力に関係すると考えられる。倒伏抵抗性を考えた場合、節間の位置によって物理的強度が示す効果が異なることは重要である。本研究では湾曲型倒伏で問題となる上位部節間の強稈性を制御する遺伝的要因を解析し、その機能から湾曲型倒伏への抵抗性メカニズムを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 上位部稈の挫折抵抗及び形態学的特性に関与する量的形質遺伝子座 (QTL) の解析

イネゲノムリソースセンターで配布されているコシヒカリ×カサラス間の染色体断片置換系統群 (CSSL 39 系統) と両親品種を水田圃場で栽培した。表現型解析として、稈の湾曲が生じやすい上位部 3 節間について挫折抵抗、節間長、及び節間長径を出穂から 6 週目 (収穫期) に測定した。

(2) QTL の機能解析

a) 形態生理学的特性及び成分特性の解析
見出した QTL を有する CSSL を用いて、収穫期の上位節間の形態学的特性と成分 (非構造化炭水化物、無機元素) を分析した。

b) 出穂以降における挫折抵抗の経時的特性
QTL を有する CSSL について、出穂以降の各節間における挫折抵抗の経時変化を測定した。

(3) 近似同質遺伝子系統 (NIL) の作成

QTL の機能解析の結果から、湾曲型倒伏に対する抵抗性に関与する重要な QTL を選抜し、

このQTLについて詳細な機能解析を行うために CSSL に導入されている染色体断片について戻し交雑による矮小化を行い、NIL を作成した。

4. 研究成果

2年間の解析結果から、挫折抵抗増加に関与するQTLを9個、節間長増加に関与するQTLを4個、節間長減少に関与するQTLを4個、節間長径増加に関与するQTLを3個見出した(図1)。これらのQTLの中で第11染色体に位置するQTL (*bsuc11*) は上位3節間すべての挫折抵抗を増加し、倒伏抵抗性に影響を及ぼす節間伸長に関与するQTLとの重複が見られないことから、湾曲型倒伏抵抗性の改良に有用であると考えられた。

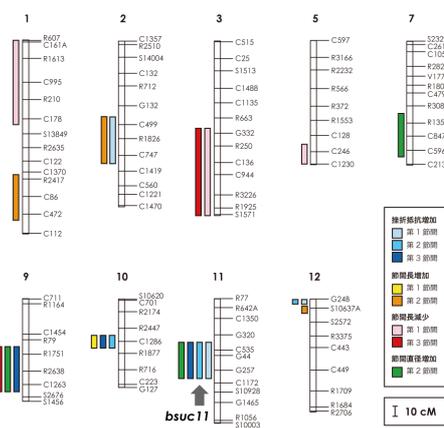


図1. 上位部稈の挫折抵抗、節間長、節間長径に関与するQTL

(2) *bsuc11*の機能解析

上位稈の形態生理学的特性及び成分特性
bsuc11 を有する CSSL 3 系統を用いて各節間の形態特性を解析した結果、外径と内径に有意な変化は確認されなかった。稈壁と皮層繊維組織の厚さについて解析すると第1節間の皮層繊維組織厚に有意な増加が確認された。CSSL 3 系統における上位3節間の乾物重をコシヒカリと比較した結果、有意な乾物重増加が確認された。上位3節間に含まれる非構造性炭水化物 (NSC) と灰分の含量を比べると、有意な変化は確認されなかった。さらに含まれる無機元素含量 (Mg, Si, P, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn) においても有意な変化は確認されなかった。2年間の解析において非構造性炭水化物と元素含量に有意な変化が確認されなかったことから、*bsuc11* を有する CSSL で確認された乾物重の増加はその他の構成成分である構造性炭水化物が影響していることが示唆された。さらに第1節間の挫折抵抗増加には皮層繊維組織厚が関与している可能性が示唆された。

出穂以降における挫折抵抗の経時的特性
コシヒカリの上位3節間の挫折抵抗は出穂

から2あるいは4週目以降低下していた(図2)。*bsuc11* を有する CSSL の挫折抵抗は出穂から2週目ではコシヒカリと同等であるが、その後の低下が抑制されて出穂から6週目では上位3節間すべてコシヒカリよりも有意に高くなった。この結果から *bsuc11* は出穂以降に生じる上位稈の物理強度低下抑制に関与していることが示唆された。

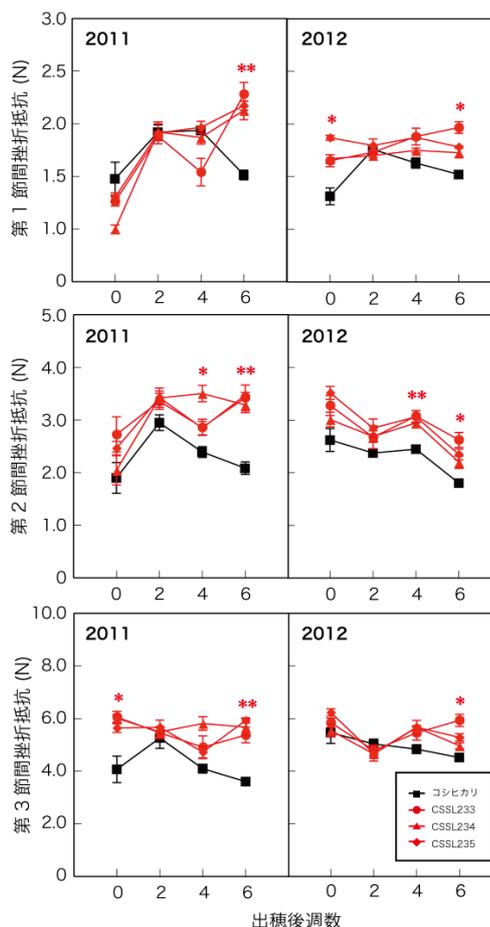


図2. *bsuc11* を有する CSSL とコシヒカリにおける上位3節間の挫折抵抗の経時変化

(3) NIL の作成

bsuc11 を有する CSSL234 を戻し交雑し、 F_1 から得られた後代系統 (BC_1F_2) を用いて *bsuc11* 領域の矮小化を行った。後代系統の遺伝型と表現型の比較から、2つのQTLの存在が示唆され、それぞれ1.6Mb (*bsuc11a*) と2.6Mb (*bsuc11b*) の候補領域を得た。各QTLを有するNIL候補として、*bsuc11a* を含む2.6Mbのヘテロ領域を有する系統と *bsuc11b* を含む6.5Mbのヘテロ領域を有する系統を選抜した。

本研究の結果から、収穫期における上位部稈の湾曲を抑制する遺伝的要因が明らかになった。上位部稈の挫折抵抗に関与するQTLには複数の節間に効果を示すものと節間特異的に機能するものがあることから、上位3

節間を改良する *bsuc11* の利用は効率的な品種改良を可能とする。本研究で見出した *bsuc11* は登熟後期に生じる上位部稈の挫折抵抗低下を抑えるが、倒伏抵抗性の1つである下位部の支持力へは関与しない。湾曲型倒伏に対してより優れた抵抗性を示す品種を育成するためには、下位部の支持力強化などの倒伏抵抗性の改良と同時に *bsuc11* の導入による上位部稈の物理性向上が効果的であると示唆された。

研究者番号：

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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Takayuki Kashiwagi, Identification of quantitative trait loci for resistance to bending-type lodging in rice (*Oryza sativa* L.), *Euphytica*, 査読有, in press,
DOI: 10.1007/s10681-014-1111-7

〔学会発表〕(計 2 件)

柏木孝幸・宗方淳, イネにおける上位部節間の挫折抵抗に関与する QTL とその物理特性, 日本作物学会第 237 回講演会, 平成 26 年 3 月 29 日、千葉大学

柏木孝幸・太田実佐子, イネにおける上位部節間の挫折抵抗に関与する量的形質遺伝子座の解析, 日本作物学会第 233 回講演会, 平成 24 年 3 月 29 日、東京農工大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://shigen.mine.utsunomiya-u.ac.jp/cropscience2/lodging/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柏木 孝幸 (KASHIWAGI TAKAYUKI)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：40595203

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()