

近年育成された品種を含む代表的なコムギ品種の倒伏抵抗性および強稈関連形質の相違とその要因

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者名	松山,宏美 岡村,夏海 大川,泰一郎
発行元	日本作物學會
巻/号	89巻2号
掲載ページ	p. 119-125
発行年月	2020年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



近年育成された品種を含む代表的なコムギ品種の倒伏抵抗性および強稈関連形質の相違とその要因

松山宏美¹⁾・岡村夏海¹⁾・大川泰一郎²⁾

(¹⁾ 農研機構中央農業研究センター, (²⁾ 東京農工大学大学院農学研究院)

要旨: 近年育成された品種を含む我が国の代表的なコムギ 18 品種を茨城県つくば市で栽培し, 倒伏指数および倒伏抵抗性に関する強稈関連形質の品種間差とその要因を解析した. 倒伏指数が 18 品種中で最も小さく倒伏抵抗性が高いと考えられたのは「ゆめちから」であった. 「ゆめちから」の稈基部の葉鞘付曲げ剛性と挫折時モーメントは, いずれも 18 品種中で最も大きかった. 稈基部の葉鞘付挫折時モーメントが大きかった品種のうち, 「ゆめちから」は曲げ応力と断面係数が共に大きく, 「ゆきちから」と「チクゴイズミ」は曲げ応力は大きく断面係数は中程度であった一方で, 「きぬの波」と「あやひかり」は曲げ応力は中程度で断面係数は大きかった. また本研究では, 稈基部横断面積と 1 穂小穂数に同じ傾向の育成地域間差が見られ, 北海道地域育成の品種群は九州地域育成の品種群より, 断面積と 1 穂小穂数が有意に大きく, 北海道および九州と並んでコムギの主産地である関東地域育成の品種群の断面積と 1 穂小穂数は中間的な範囲にあった. 以上のことから, 「ゆめちから」は湾曲型倒伏と挫折型倒伏の両方への抵抗性が高いことが示された. また, 挫折時モーメントが大きい品種の中には, 曲げ応力が大きいものと断面係数が大きいものがあることが明らかになり, このような異なった特徴を持つ強稈品種間で交配することによって, さらに倒伏抵抗性の大きい形質を作出できる可能性が考えられた. 加えて, 強稈関連形質は育成地域ごとに異なる傾向を持つことが示唆された.

キーワード: 1 穂小穂数, 強稈性, コムギ, 倒伏抵抗性.

コムギの倒伏は収量と品質の低下を招くため, 倒伏の防止は農家にとって非常に重要である. 多収栽培を行う先進的な農家は, 倒伏を防ぐために, 播種量や施肥量の制限による茎数の管理や(高橋 2017), 植物成長調節剤を用いた短稈化など, コストと労力をかけた栽培管理を行っている. コムギの倒伏は稈が折れたり曲がったりする stem lodging と, 真っ直ぐな稈が傾き根元から倒伏が起こる root lodging の二つに分類される (Pinthus 1973). 我が国の麦作では, 稈が折れる挫折型倒伏, 稈が曲がる湾曲型倒伏, 根系が関与し根元から倒伏が起こる転び型倒伏の三つに分類するのが一般的であり, 農家の圃場で多く見られるのは, 登熟期に穂が風雨にあたることにより重みを増し, 稈が曲がって戻らなくなる湾曲型倒伏である (江口 2001).

稈長が長いほど地上部モーメントが大きくなって倒伏しやすいため, 短稈化による倒伏抵抗性品種の育成は, これまでのコムギ育種の大きな目標の一つであった (田谷 1993). 関東から九州において長らく主要品種であった「農林 61 号」は稈長が 90 cm 以上になるが, 群馬県で近年育成された「さとのそら」の稈長は育成地における成績で 81 cm (高橋ら 2010), 愛知県で育成された「きぬあかり」は 80 cm (藤井ら 2009), 九州沖縄農業研究センターで育成された「ちくごまる」は 85 cm と (藤田ら 2015), 近年の育成品種のほとんどは短稈である. コムギは収量が増加すると倒伏程度が大きくなり (小柳ら 1988), 多肥栽培を行って収量が 60 kg a⁻¹ 程度になると「さとのそら」でも倒伏する場合がある. 従って, 従来以上の多収を狙った場合は,

短稈化による倒伏抵抗性の確保だけでは倒伏を回避できない可能性がある.

Atkins (1938) は稈基部の挫折時の荷重と圃場における倒伏の間に 0.3 から 0.6 の相関があることを示している. 小田ら (1966) は地上部モーメントを稈基部の挫折時の過重で除した値が麦類品種の倒伏抵抗性と関係することを明らかにし, さらに稈長, 地上部生体重, 稈乾物重, 稈基部の挫折時の荷重および挫折時の支点間距離より算出する指数を開発している. また, 著者らは前報において, 日本のコムギコアコレクションを用いた研究を行い, 稈長 93.4 cm 以下の短稈品種群では稈基部が脆弱な品種ほど早期に倒伏することを示しており (松山ら 2014), 稈基部の強度は短稈品種の倒伏抵抗性の強化に寄与することが明らかになっている.

水稻では近年, 業務用・加工用や飼料用の多収品種が数多く育成されており, その多くは穂重型である. また, 世界的なコムギの多収地域であるイギリス, ドイツおよびニュージーランドの多収コムギ品種も, 1 穂粒数と千粒重が大きく穂重型であり (松山 2013, 渡邊 2014), 我が国のコムギ品種も多収化が求められた際には穂重型の方向へ育成される可能性がある. 穂重型の品種は地上部モーメントが大きいため, 短稈化による高い倒伏抵抗性を付与する必要があると考えられる.

コムギの稈基部の強度に関わる形質のうち, 稈基部の挫折時の荷重は稈径および稈壁の厚さと関係し (池田 1939), 稈の横断面を中空楕円と仮定してその形状から算出する断

面二次モーメントが大きいほど挫折時モーメントも大きくなる(松山ら 2014)。また、稈を包み込んで補強している葉鞘は倒伏を防ぐ機能を持っているとされ(宮坂・高屋 1982, 高屋・宮坂 1983), イネにおいては葉鞘補強度が稈の挫折時モーメントを大きくし, 強稈性を増大させることが指摘されている(大川・石原 1992)。

我が国で近年育成されたコムギ品種の強稈性は注目されておらず, 近年の品種も含めた代表的なコムギ品種の強稈性に関する知見はほとんどない。本研究では, 北海道から九州の代表的なコムギ 18 品種を対象に, 倒伏指数と, 挫折型倒伏および湾曲型倒伏への抵抗性に関する強稈関連形質を比較し, 品種間の相違とその要因の解析を行った。また, 水稻の染色体断片置換系統群を用いて同定された強い稈の量的形質遺伝子座 *SCM2* は穂構造を制御することが報告されている遺伝子 *APO1* と同一であり, この遺伝子の多発現によって茎の強度が高まり, 初数も増加することが明らかになっている(Ookawaら 2010)。そこで, 各品種の 1 穂あたりの収量に関する形質を調査し, 稈の断面積との関係を検討した。

材料と方法

1. 供試品種と栽培概要

コムギ 18 品種 (北海道地域育成: 「ハルユタカ (1985 年 農林認定, 以下の供試材料についても同じ)」「ホクシン (1995 年)」「きたほなみ (2006 年)」「ゆめちから (2010 年)」, 東北地域育成: 「ナンプコムギ (1951 年)」「ゆきちから (2002 年)」, 北陸地域育成: 「シラネコムギ (1986 年)」「ゆめかおり (2010 年)」, 関東地域育成: 「あやひかり (2000 年)」「きぬの波 (2003 年)」「ユメシホウ (2008 年)」「さとのそら (2010 年)」, 東海地域育成: 「きぬあかり (2011 年)」, 九州地域育成: 「農林 61 号 (1944 年)」「シロガネコムギ (1974 年)」「チクゴイズミ (1994 年)」「イワイノダイチ (2000 年)」「ニシノカオリ (2000 年)」) を, 茨城県つくば市観音台にある中央農業研究センター畑試験圃場 (淡色黒ボク土) で, 2013 年 11 月 14 日と 2014 年 11 月 13 日に条間 70 cm, 株間 5 cm で 1 粒ずつ, 50 粒播種した。2 年とも各品種 3 反復設け, 2013 年と 2014 年で品種の配置を変えて栽培した。地力の高い圃場であったため窒素施肥は行わず, 基肥として P_2O_5 , K_2O を含む化成肥料を 10 a あたりそれぞれ成分で 4 kg 施用した。

2. 強稈関連形質と倒伏指数の調査

小麦調査基準 (農業研究センター 1986) に従って各品種の出穂期を調査し, 約 2 週間後に 20 個体をサンプリングし, そのうち葉数が中程度の 16 個体の主茎について, 上から 3 番目の節間を切り出し, 節間長の順に並べて上下 2 本ずつの節間を除いた 12 本の節間を用いて, 強稈関連形質を調査した。挫折型倒伏への抵抗性を示す形質として挫折時モーメント, 断面係数および曲げ応力を, 湾曲型倒伏への

抵抗性を示す形質として曲げ剛性, 断面二次モーメントおよびヤング率を, 大川・石原 (1992) の方法にならない以下のように調査した。テクスチャーアナライザー (Stable Micro System 社) の支点間距離 4 cm の支点上に, 切り出した節間を置き, 中央部に 8.3 mm 秒^{-1} の速度で荷重を加え, 得られた最大応力を挫折時モーメント, 応力-ひずみ曲線の傾きをヤング率 (kgf mm^{-2}) として読み取った。断面積 (mm^2), 断面係数 (mm^3) および断面二次モーメント (mm^4) は, 節間の横断面を中空楕円とみなして, 稈の短半径 (a_1) と長半径 (b_1), 横断面の中空楕円の短半径 (a_2) と長半径 (b_2) を測定し, 以下の式により算出した。

$$\text{断面積 (mm}^2\text{)} = \pi (a_1 b_1 - a_2 b_2)$$

$$\text{断面係数 (mm}^3\text{)} = \frac{\pi}{4} \times \frac{a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2}{a_1}$$

$$\text{断面二次モーメント (mm}^4\text{)} = \frac{\pi}{4} \times (a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2)$$

曲げ応力 (gf mm^{-2}) は挫折時モーメントを断面係数で除した値として, 曲げ剛性 (kgf mm^2) は, ヤング率と断面二次モーメントの積として求めた。

2014 年播種栽培においては, 選び出した 12 本の節間のうち 6 本については葉鞘付のまま, 残り 6 本については葉鞘を除いて測定を行い, 葉鞘付稈の測定値と稈のみの測定値の差 (葉鞘による補強分) を葉鞘付稈の測定値で除して, 挫折時モーメントと曲げ剛性が葉鞘によって補強される程度 (葉鞘補強度) (%) を算出した。加えて, 節間を切り出す前の主茎の稈長と株元から切り離れた 1 穂あたりの重量を測定し, それらの積として地上部モーメント (gf cm) を求めた。麦類品種の倒伏抵抗性と関係することが明らかになっている指数の計算方法にならない (小田ら 1966), 地上部モーメントを葉鞘付稈基部の挫折時モーメントで除した値として倒伏指数を求めた。

3. 1 穂あたりの収量に関する形質の調査

登熟の中頃から後半に各区から強勢茎 12 本をサンプリングし, 穂長の順に並べて上下 2 本ずつを除いた 8 本の 1 穂小穂数を調査した。また各品種の成熟期に, 1 区あたり 0.42 m^2 から 0.7 m^2 を収穫して穂数を計測し, 脱穀・篩選を行い子実重と千粒重を調査した。さらに, 子実重を穂数で除して 1 穂粒数を, 1 穂粒数を 1 穂小穂数で除して 1 小穂粒数を算出した。

結 果

1. 倒伏指数

最も早い「チクゴイズミ」の出穂期と最も遅い「ハルユタカ」の出穂期の間には, 約 15 日の差があったため (第 1 表), 倒伏指数と強稈関連形質の調査は品種ごとに, 出穂期から約 2 週間後にあたる異なった日に行った。

倒伏指数, 葉鞘付稈基部の挫折時モーメント, 地上部モー

第1表 つくば市で栽培したコムギ18品種の出穂期と成熟期

育成地域/ 品種	出穂期			成熟期		
	2013年 播種栽培	2014年 播種栽培	平均値	2013年 播種栽培	2014年 播種栽培	平均値
北海道						
ハルユタカ	5/11	5/9	5/10	6/20	6/16	6/18
ホクシン	5/8	5/6	5/7	6/13	6/16	6/14
きたほなみ	5/9	5/8	5/8	6/20	6/16	6/18
ゆめちから	5/4	5/3	5/3	6/20	6/16	6/18
東北						
ナンブコムギ	4/29	4/27	4/28	6/13	6/11	6/12
ゆきちから	4/29	4/27	4/28	6/13	6/11	6/12
北陸						
シラネコムギ	4/29	4/29	4/29	6/13	6/11	6/12
ゆめかおり	4/30	4/28	4/29	6/13	6/11	6/12
関東						
あやひかり	4/27	4/26	4/26	6/13	6/11	6/12
きぬの波	4/27	4/26	4/27	6/13	6/11	6/12
ユメシホウ	4/27	4/27	4/27	6/13	6/11	6/12
さとのそら	4/27	4/25	4/26	6/13	6/11	6/12
東海						
きぬあかり	4/27	4/24	4/25	6/13	6/11	6/12
九州						
農林61号	4/30	4/28	4/29	6/13	6/16	6/14
シロガネコムギ	4/26	4/25	4/25	6/13	6/16	6/14
チクゴイズミ	4/25	4/24	4/25	6/13	6/11	6/12
イワイノダイチ	4/26	4/25	4/25	6/13	6/11	6/12
ニシノカオリ	4/29	4/27	4/28	6/13	6/11	6/12

メントおよび稈長には有意な品種間差があった(第2表)。「ハルユタカ」「ナンブコムギ」「ゆめかおり」および「農林61号」は、倒伏指数が1以上と大きかった(第2表)。このうち「ハルユタカ」は、稈長と地上部モーメントが18品種の中で最も大きかった(第2表)。また、「ナンブコムギ」「農林61号」および「ゆめかおり」は葉鞘付挫折時モーメントが小さかった一方で、「ハルユタカ」は比較的大きかった(第2表)。倒伏指数が18品種の中で最も小さく倒伏抵抗性が高いと考えられたのは「ゆめちから」であり、「ゆめちから」は葉鞘付挫折時モーメントが18品種の中で最も大きかった(第2表)。

2. 倒伏抵抗性に関する強稈関連形質

葉鞘付稈基部の挫折時モーメントを構成する断面係数と曲げ応力の間には有意な関係はなかった(第1図)。「ゆめちから」「ゆきちから」「きぬの波」「あやひかり」および「チクゴイズミ」の5品種は、挫折時モーメントが2013年および2014年播種栽培の平均値で1200 g cm以上と大きかった(第1図)。このうち「ゆきちから」および「チクゴイズミ」は、曲げ応力は大きく断面係数は中程度であった一方で、「きぬの波」および「あやひかり」は曲げ応力は中程

度で断面係数は大きかった(第1図)。18品種中最大の葉鞘付挫折時モーメントを有していた「ゆめちから」は曲げ応力、断面係数共に大きかった(第1図)。

葉鞘付稈基部の曲げ剛性を構成する断面二次モーメントとヤング率の間には有意な正の関係があった(第2図)。「ゆめちから」「シラネコムギ」および「きぬの波」の3品種は曲げ剛性が2013年および2014年播種栽培の平均値で800 kg mm²以上と大きく、これらは断面二次モーメントとヤング率が共に大きかった(第2図)。

3. 稈基部の挫折時モーメントおよび曲げ剛性の葉鞘補強強度

葉鞘補強強度には有意な品種間差はなかった(第3表)。しかしながら、ある程度の差が見られ、挫折時モーメントの葉鞘補強強度は「ゆめちから」「ゆきちから」および「ゆめかおり」が、曲げ剛性の葉鞘補強強度は「きたほなみ」「ゆめちから」「ゆめかおり」「ユメシホウ」「きぬあかり」および「ニシノカオリ」が高かった(第3表)。

また、葉鞘補強強度は挫折時モーメントに対してより曲げ剛性に対する値が高かった(第3表)。

第2表 つくば市で2014年に播種して栽培したコムギ18品種の倒伏指数, 葉鞘付稈基部の挫折時モーメント, 地上部モーメントおよび稈長.

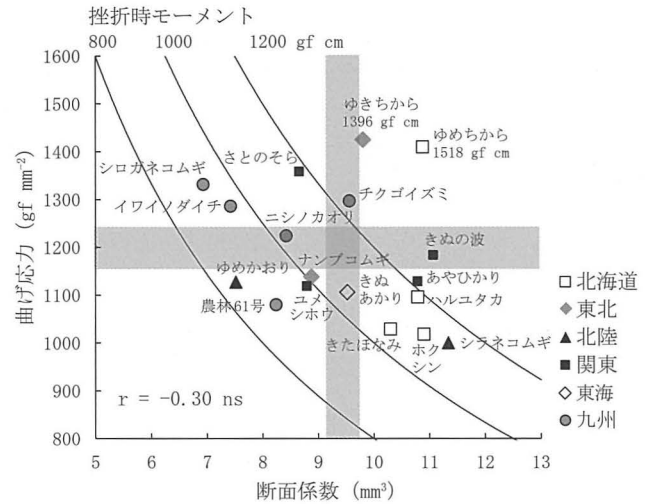
育成地域 / 品種	倒伏指数	葉鞘付挫折時モーメント (gf cm)	地上部モーメント (gf cm)	稈長 (cm)
北海道				
ハルユタカ	1.09 ^a	1183 ^{cd}	1289 ^a	86.8 ^a
ホクシン	0.68 ^{defg}	1212 ^{bcd}	806 ^{cde}	66.5 ^{hi}
きたほなみ	0.81 ^{cd}	1032 ^{efg}	829 ^{cde}	68.4 ^{ghi}
ゆめちから	0.51 ^{defgh}	1495 ^a	765 ^{defg}	65.8 ^{hi}
東北				
ナンブコムギ	1.04 ^{ab}	928 ^{gh}	966 ^b	81.4 ^{ab}
ゆきちから	0.66 ^{defgh}	1350 ^b	891 ^{bcd}	74.9 ^{cdef}
北陸				
シラネコムギ	0.80 ^{cde}	1110 ^{def}	882 ^{bcd}	73.9 ^{defg}
ゆめかおり	1.02 ^{ab}	806 ^h	818 ^{cde}	79.7 ^{bcd}
関東				
あやひかり	0.64 ^{fgh}	1257 ^{bc}	807 ^{cde}	70.2 ^{efgh}
きぬの波	0.66 ^{defgh}	1187 ^{cd}	786 ^{cdef}	65.3 ^{hi}
ユメシホウ	0.60 ^{gh}	926 ^{gh}	554 ^h	63.8 ⁱ
さとのそら	0.65 ^{efgh}	1142 ^{cde}	743 ^{efg}	70.4 ^{efgh}
東海				
きぬあかり	0.79 ^{cdef}	1010 ^{efg}	796 ^{cde}	68.5 ^{ghi}
九州				
農林61号	1.05 ^a	803 ^h	841 ^{bcde}	80.4 ^{abc}
シロガネコムギ	0.71 ^{defg}	936 ^{gh}	661 ^{fgh}	69.2 ^{fghi}
チクゴイズミ	0.77 ^{cdef}	1178 ^{cd}	903 ^{bc}	76.4 ^{bcde}
イワイノダイチ	0.65 ^{efgh}	995 ^{fg}	644 ^{gh}	68.1 ^{ghi}
ニシノカオリ	0.88 ^{bc}	924 ^{fg}	815 ^{cde}	75.3 ^{bcdef}
平均値	0.78	1082	822	72.5
変動係数	0.22	0.17	0.18	0.09

同一のアルファベットは Tukey 法により 5%水準で品種間に有意差がないことを示す。倒伏指数は地上部モーメントを葉鞘付稈基部の挫折時モーメントで除した値として, 地上部モーメントは稈長と株元から切り離れた1穂あたりの重量の積として求めた。

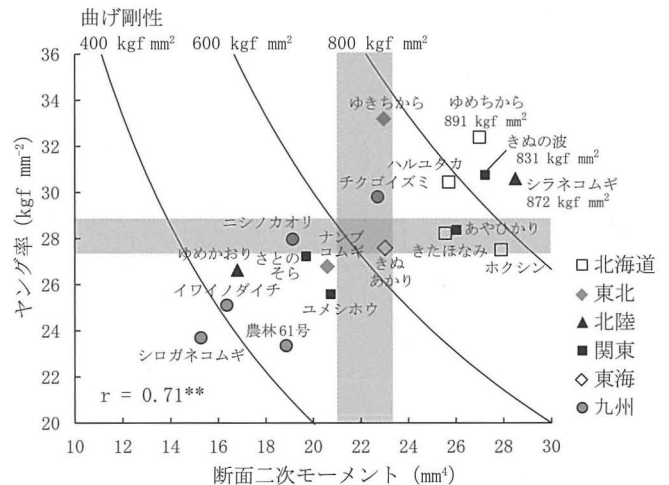
4. 稈基部横断面の断面積と1穂あたりの収量に関する形質

北海道地域育成の品種の成熟期は, 関東地域育成の品種より2日から6日遅かった(第1表)。1穂小穂数の調査は, 登熟の中頃から後半にあたる2014年6月4日と2015年5月27日に行った。

稈基部の横断面の断面積と1穂小穂数の間には有意な正の関係があり, 1穂小穂数および千粒重の間には有意な関係はなかった(第4表)。また, 断面積, 1穂小穂数および1小穂粒数には育成地域間で有意な差があった(第4表)。断面積と1穂小穂数の育成地域間差には同様の傾向が見られ, 北海道地域育成の品種群は九州地域育成の品種群より, 断面積と1穂小穂数が有意に大きく, 北海道および九州と



第1図 つくば市で栽培したコムギ18品種の葉鞘付稈基部の断面係数と曲げ応力の関係。値は2013年播種栽培と2014年播種栽培の平均値。灰色の範囲は18品種の平均値±標準誤差の範囲。本研究における曲げ応力は, 挫折時モーメントを断面係数で除した値として求めており, 図中の曲線は挫折時モーメントが800, 1000, 1200 gf cmとなる曲げ応力および断面係数の値を示す。nsは相関係数が有意でないことを示す。



第2図 つくば市で栽培したコムギ18品種の葉鞘付稈基部の断面二次モーメントとヤング率の関係。値は2013年播種栽培と2014年播種栽培の平均値。灰色の範囲は18品種の平均値±標準誤差の範囲。本研究における曲げ剛性は, ヤング率と断面二次モーメントの積として求めており, 図中の曲線は曲げ応力が400, 600, 800 kgf mm²となるヤング率および断面二次モーメントの値を示す。**は相関係数が1%水準で有意であることを示す。

並んでコムギの主産地である関東地域育成の品種群の断面積と1穂小穂数は中間的な範囲にあった(第4表)。

考 察

1. 挫折型および湾曲型倒伏抵抗性の品種間差

倒伏指数には有意な品種間差がみられ, 「ハルユタカ」「ナ

第3表 つくば市で2014年に播種して栽培したコムギ18品種の稈基部の挫折時モーメントと曲げ剛性の葉鞘補強度。

育成地域/ 品種	葉鞘補強度 (%)	
	挫折時 モーメント	曲げ剛性
北海道		
ハルユタカ	7.6	27.8
ホクシン	5.5	21.1
きたほなみ	9.3	37.1
ゆめちから	16.8	36.3
東北		
ナンブコムギ	1.8	21.8
ゆきちから	13.8	32.7
北陸		
シラネコムギ	6.0	30.2
ゆめかおり	13.0	41.3
関東		
あやひかり	7.9	20.5
きぬの波	10.0	25.6
ユメシホウ	9.6	35.9
さとのそら	9.2	26.0
東海		
きぬあかり	11.0	39.3
九州		
農林61号	7.6	27.3
シロガネコムギ	10.0	28.2
チクゴイズミ	5.2	33.6
イワイノダイチ	9.8	23.4
ニシノカオリ	7.3	36.1
平均値	9.0	30.2
変動係数	0.4	0.2
ANOVA	ns	ns

葉鞘付稈の測定値と稈のみの測定値の差(葉鞘による補強分)を葉鞘付稈の測定値で除して求めた。

nsは品種間に有意差がないことを示す。

ンブコムギ」「ゆめかおり」および「農林61号」は、倒伏指数が高く倒伏抵抗性が低いと考えられた(第2表)。このうち、「ナンブコムギ」「農林61号」および「ゆめかおり」は葉鞘付挫折時モーメントが小さく稈が弱いと示された一方で、「ハルユタカ」の葉鞘付挫折時モーメントは比較的大きかった(第2表)。「ハルユタカ」は稈長と地上部モーメントが18品種中最も大きかったため倒伏指数が高かったが(第2表)、稈自体は比較強いことが明らかになった。

倒伏指数が18品種中で最も小さく倒伏抵抗性が最も高かったのは北海道地域育成の「ゆめちから」であった(第2表)。「ゆめちから」の地上部モーメントは18品種の平均値より小さく、なおかつ葉鞘付挫折時モーメントが18品種の中で最も大きく強稈であった(第2表)。

第4表 つくば市で栽培したコムギ18品種の葉鞘付稈基部の横断面の断面積、1穂小穂数、1小穂粒数および千粒重。

育成地域/ 品種	断面積 (mm ²)	1穂小穂数	1小穂粒数	千粒重 (g)
北海道				
ハルユタカ	13.0	20.8	1.99	39.2
ホクシン	12.7	21.6	2.02	38.6
きたほなみ	11.8	20.5	2.30	40.1
ゆめちから	12.6	19.6	2.19	43.1
東北				
ナンブコムギ	10.8	19.1	2.03	49.6
ゆきちから	12.2	19.5	2.29	41.0
北陸				
シラネコムギ	13.0	19.0	2.38	41.7
ゆめかおり	9.2	15.7	2.33	48.9
関東				
あやひかり	12.6	18.6	2.37	45.9
きぬの波	12.9	19.7	2.62	39.0
ユメシホウ	10.6	17.5	2.76	39.7
さとのそら	10.7	16.9	2.40	39.9
東海				
きぬあかり	10.8	18.7	2.33	41.0
九州				
農林61号	10.1	18.0	2.31	41.7
シロガネコムギ	8.5	18.4	2.22	40.6
チクゴイズミ	11.4	16.7	2.58	44.1
イワイノダイチ	9.1	19.0	2.59	41.4
ニシノカオリ	10.2	19.5	2.17	44.8
断面積との相関係数		0.55**	-0.17ns	-0.26ns
育成地域ごとの平均値				
北海道	12.5 ^a	20.6 ^a	2.12 ^b	40.3
東北	11.5 ^{ab}	19.3 ^b	2.16 ^{ab}	45.3
北陸	11.1 ^b	17.3 ^d	2.36 ^{ab}	45.3
関東	11.7 ^{ab}	18.2 ^{cd}	2.54 ^a	41.1
東海	10.8 ^{bc}	18.7 ^{bc}	2.33 ^{ab}	41.0
九州	9.8 ^c	18.3 ^c	2.38 ^{ab}	42.5

値は2013年播種栽培と2014年播種栽培の平均値を示す。

同一のアルファベットはTukey法により5%水準で育成地域間に有意差がないことを示す。

**は相関係数が1%水準で有意であること、nsは有意でないことを示す。

2. 挫折型および湾曲型倒伏抵抗性の品種間差をもたらす強稈関連形質

稈基部の葉鞘付挫折時モーメントは、「ゆめちから」「ゆきちから」「きぬの波」「あやひかり」および「チクゴイズミ」の5品種が大きかった(第1図)。18品種中最大の葉鞘付挫折時モーメントを有していた「ゆめちから」は曲げ応力、断面係数共に大きく(第1図)、挫折型倒伏への抵抗性が高い形質を備えていることが明らかになった。残りの4品種のうち、「ゆきちから」および「チクゴイズミ」は曲

げ応力は大きく断面係数は中程度であった一方で、「きぬの波」および「あやひかり」は曲げ応力は中程度で断面係数は大きく(第1図)、挫折時モーメントが大きかった要因はそれぞれ異なった。極強稈の水稲多収品種「リーフスター」(加藤ら 2010)は、親である「中国 117 号」の断面係数が大きい形質と「コシヒカリ」の曲げ応力が大きい形質を引き継いでいるとされている(大川・石原 1997)。コムギにおいても、異なる要因で挫折時モーメントが大きい品種・系統を交配することで、さらに倒伏抵抗性の大きい形質を作出できる可能性が考えられた。また、葉鞘付挫折時モーメントが中間的な範囲にあった品種のうち、「ハルユタカ」「ホクシン」および「シラネコムギ」の断面係数は「ゆめちから」「きぬの波」「あやひかり」と同程度に大きく、「さとのそら」「シロガネコムギ」および「イワイノダイチ」の曲げ応力は「チクゴイズミ」と同程度に大きかった(第1図)。これらの品種も、交配組み合わせによっては倒伏抵抗性を高めるために有用であると考えられた。

一方で、葉鞘付曲げ剛性を構成する断面二次モーメントとヤング率の間には有意な正の関係があった(第2図)。従って、湾曲型倒伏への抵抗性については、稈の横断面の形状に由来する強度が大きい品種は稈の材質に由来する強度も大きいと示された。「ゆめちから」「シラネコムギ」および「きぬの波」の3品種は曲げ剛性が大きく(第2図)、我が国のコムギ作で多く見られる湾曲型倒伏への抵抗性が高い形質を備えていることが明らかになった。

稈の形質とともに品種間差をもたらす要因となる葉鞘補強度は、挫折時モーメントに対してより曲げ剛性に対する値が高く(第3表)、挫折型倒伏より湾曲型倒伏の方が葉鞘による補強の影響を大きく受ける可能性が示唆された。葉鞘補強度の品種間差は有意ではなかったが、ある程度の差が見られ、挫折時モーメントの葉鞘補強度は「ゆめちから」「ゆきちから」および「ゆめかおり」が、曲げ剛性の葉鞘補強度は「きたほなみ」「ゆめちから」「ゆめかおり」「ユメシホウ」「きぬあかり」および「ニシノカオリ」が高かった(第3表)。

3. 稈基部横断面の断面積と穂構造の関係および育成地域間差

稈基部の横断面の断面積と1穂小穂数の間には有意な正の関係があった(第4表)。水稲では、同一の遺伝子の多面発現によって茎の強度が高まり、籾数も増加することが明らかになっており(Ookawaら 2010)、コムギでも同様の制御が存在する可能性が考えられた。従って、コムギの品種育成におけるシンク能の強化と強稈化は相反しない可能性が示唆された。

また、断面積と1穂小穂数には同じ傾向の育成地域間差が見られ、北海道地域育成の品種群は九州地域育成の品種群より、断面積と1穂小穂数が有意に大きく、北海道および九州と並んでコムギの主産地である関東地域育成の品種

群の断面積と1穂小穂数は中間的な範囲にあった(第4表)。同じ環境で選抜され、共通の交配親を持つこともあるため、品種は育成地域によってある程度共通の特徴を持っている。例えば、北海道では株の開いた品種、九州では株の開いた品種が多いと言われており、実際に、本研究に供試した北海道育成の品種の株の開閉の程度は「やや閉」~「閉」、九州育成の品種は「中」~「開」である(吉田ら 1977, 尾関ら 1988, 氏原ら 1995, 柳沢ら 2000, 田谷ら 2003a, b, 柳沢ら 2007, 田引ら 2011)。水稲では、有効茎歩合が高い生育をした場合、押し倒し抵抗値が顕著に大きく、倒伏抵抗性に寄与する稈の形質が優れるという報告がある(吉永ら 2001)。加えて、株の開閉のような草型は分けつ消長と関係している。草型と関連した分けつ特性を介して、倒伏抵抗性に関する強稈関連形質が地域ごとに異なる傾向を持つ可能性が考えられた。

4. まとめ

以上のことから、代表的なコムギ品種の中でも倒伏抵抗性とその要因には品種間差があり、「ゆめちから」は稈基部の葉鞘付挫折時モーメントと曲げ剛性が大きく、倒伏抵抗性が高いと示された。また、挫折時モーメントが大きく強稈である品種のうち、「ゆきちから」および「チクゴイズミ」は曲げ応力は大きく断面係数は中程度であった一方で、「きぬの波」および「あやひかり」は曲げ応力は中程度で断面係数は大きい特徴を持つことが明らかになった。このような異なった特徴を持つ強稈品種間で交配することによって、さらに倒伏抵抗性の大きい形質を付与できる可能性があると考えられた。加えて、北海道地域育成の品種群は九州地域育成の品種群より、稈基部横断面積と1穂小穂数が有意に大きく、強稈関連形質は育成地域ごとに異なる特徴を持つことが示唆された。

引用文献

- Atkins, I.M. 1938. A simplified method for testing the lodging resistance of varieties and strains of wheat. *Agron. J.* 30: 309-313.
- 江口久夫 2001. 倒伏の原因と対策. 転作全書 第一巻 ムギ. 農文協, 東京. 295-299.
- 藤井潔・辻孝子・吉田朋史・井澤敏彦・船附稚子・池田達哉 2009. めんの食感, 色, 生地物性に優れる小麦新品種「東海 103 号」の育成. *愛知農総試研報* 41: 35-45.
- 藤田雅也・中村和弘・八田浩一・河田尚之・松中仁・久保堅司・小田俊介・関昌子・波多野哲也・田谷省三・平将人・堤忠宏・塔野岡卓司・谷口義則・佐々木昭博 2015. 製粉性が優れ, 障害抵抗性を有する通常アミロース軟質小麦新品種「ちくごまる」の育成. *九州農業研究センター報告* 65: 75-91.
- 池田利良 1939. 麦類の稈の強さに関する試験. *日作紀* 11: 26-39.
- 加藤浩・根本博・坂井真・安東郁男・大川泰一郎・平林秀介・出田収・竹内善信・平山正賢・太田久稔・佐藤宏之・井邊時雄・中川宣興・堀末登・高館正男・田村和彦・青木法明・石原邦・石井卓郎・飯田修一・前田英郎 2010. 稲発酵粗飼料向け茎葉多収型水稲品種「リーフスター」の育成. *作物研報* 11: 1-15.

- 松山宏美 2013. 麦類の収量性向上に向けた今後の研究展開 ニューランドにおける多収小麦の現状調査 各論：栽培. NARO 研究戦略レポート 4: 111-115.
- 松山宏美・島崎由美・大下泰生・渡邊好昭 2014. コムギの耐倒伏性の品種間差とその要因. 日作紀 83: 136-142.
- 宮坂昭・高屋武彦 1982. 乾田直播水稲における倒伏防止に関する研究 第1報 密播条件下での倒伏抵抗性の品種間差異. 日作紀 51: 360-368.
- 農業研究センター 1986. 小麦調査基準 第1版.
- 小田桂三郎・鈴木守・宇田川武俊 1966. 麦類の倒伏に関与する形質ならびに倒伏指数に関する研究. 農技研報 D15: 55-85.
- 大川泰一郎・石原邦 1992. 水稲の耐倒伏性に関与する稈の物理的性質の品種間差異. 日作紀 61: 419-425.
- 大川泰一郎・石原邦 1997. 水稲の稈基部の挫折強度形質の遺伝的特徴—コシヒカリと中国117号との交配 $F_1 \sim F_3$ を用いて—. 日作紀 66: 603-609.
- Ookawa, T., Hobo, T., Yano, M., Murata, K., Ando, T., Miura, H., Asano, K., Ochiai, Y., Ikeda, M., Nishitani, R., Ebitani, T., Ozaki, H., Angeles, E.R., Hirasawa, T. and Matsuoka, M. 2010. New approach for rice improvement using a pleiotropic QTL gene for lodging resistance and yield. *Nature Communications* 1: 132-143.
- 小柳敦史・佐藤暁子・江口久夫 1988. 関東以西におけるコムギ品種の収量水準からみた耐倒伏性. NARC 研究速報 5: 13-17.
- 尾関幸男・佐々木宏・天野洋一・土屋俊雄・前野真司・上野賢司 1988. 春播小麦新品種「ハルユタカ」の育成について. 北海道立農試集報 58: 41-45.
- Pinthus, M.J. 1973. Lodging in wheat, barley, and oats: The phenomenon, its causes, and preventive measures. *Adv. Agron.* 25: 209-263.
- 田引正・西尾善太・伊藤美環子・山内宏昭・高田兼則・桑原達雄・入来規雄・谷尾昌彦・池田達哉・船附稚子 2011. 超強力秋まき小麦新品種「ゆめちから」の育成. 北海道農研研報 195: 1-12.
- 高橋利和・大澤実・折茂佐重樹・成塚彰久・斎藤幸雄 2010. 小麦新品種「さとのそら」の育成. 群馬農技研報 7: 1-12.
- 高橋義雄 2017. 小麦1トンどり 薄まき・しっかり出芽 太茎でくす 麦をなくす. 農山漁村文化協会, 東京. 97-99.
- 高屋武彦・宮坂昭 1983. 乾田直播水稲における倒伏防止に関する研究 第2報 出穂後における稲体諸形質の推移と倒伏抵抗性との関係. 日作紀 52: 7-14.
- 田谷省三 1993. 暖地における早生コムギ品種の収量性に関する育種学的研究. 九州農試報 27: 333-393.
- 田谷省三・塔野岡卓司・関昌子・平将人・堤忠宏・氏原和人・佐々木昭博・吉川亮・藤田雅也・谷口義則・坂智広 2003a. 小麦新品種「イワイノダイチ」の育成. 九州沖縄農研センター報告 42: 1-18.
- 田谷省三・塔野岡卓司・関昌子・平将人・堤忠宏・野中舜二・氏原和人・佐々木昭博・山口勲夫・新本英二・吉川亮・藤田雅也・谷口義則・坂智広 2003b. 小麦新品種「ニシノカオリ」の育成. 州沖縄農研センター報告 42: 19-29.
- 氏原和人・藤田雅也・吉川亮・谷口義則 1995. 小麦新品種「チクゴイズミ」の育成. 九州農事試験場報告 28: 195-217.
- 渡邊和洋 2014. ヨーロッパにおける多収小麦の現状報告 4. 各論：栽培. NARO 研究戦略レポート 5: 23-33.
- 柳沢朗・谷藤健・荒木和哉・天野洋一・前野真司・田引正・佐々木宏・尾関幸男・牧田道夫・土屋俊雄 2000. 秋まき小麦新品種「ホクシン」の育成について. 北海道立農試集報 79: 1-12.
- 柳沢朗・吉村康弘・天野洋一・小林聡・西村努・中道浩司・荒木和哉・谷藤健・田引正・三上浩輝・池永充伸・佐藤奈奈 2007. 秋まきコムギ新品種「きたほなみ」の育成. 北海道立農試集報 91: 1-13.
- 吉田美夫・北原操一・鶴政夫・桐山毅・福岡寿夫・吉富研一・牛腸英夫・柏尾俊光・荒木均 1977. 小麦新品種「シロガネコムギ」について. 九州農事試験場報告 19: 1-12.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2001. 打ち込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稲の耐倒伏性向上—播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響—. 日作紀 70: 186-193.

The Characteristics Influencing Strong Culm Associated with Lodging Resistance of Main Wheat Cultivars in Japan : Hiromi MATSUYAMA¹⁾, Natsumi OKAMURA¹⁾ and Taiichiro OKAWA²⁾ (¹⁾Central Region Agricultural Research Center, 2-1-18, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, Japan, ²⁾Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology)

Abstract : We investigated culm strength associated with lodging resistance of 18 main wheat cultivars raised in each region of Japan. “Yumechikara” had the smallest lodging index and was considered to have the highest lodging resistance among 18 cultivars. “Yumechikara” which had the largest bending moment at the breaking point of the basal internode with leaf sheath exhibited large bending stress and section module. “Yukichikara”, “Kinunonami”, “Ayahikari” and “Chikugoizumi” also had a large bending moment at the breaking point. Among them, “Yukichikara” and “Chikugoizumi” had a large bending stress and medium section module, while “Kinunonami” and “Ayahikari” had medium bending stress and large section module. In this study, cultivars that were bred in Hokkaido region had larger cross sectional area and spikelet number per spike than cultivars that were bred in Kyushu region, while cultivars bred in Kanto region had intermediate values. It was suggested that “Yumechikara” had high resistance to both stem bending and breaking lodging, and the trait related with culm strength was different in each breeding area. Furthermore, among cultivars with a large bending moment at the breaking point, there were cultivars with large bending stress and medium section module, and cultivars with medium bending stress and large section module. It was considered possible to raise a greater cultivar with lodging resistance by crossing between cultivars with such different traits.

Key words : Lodging resistance, Spikelet number per spike, Strong culm, Wheat.