

日本麵用コムギにおける
高分子量グルテニンサブユニット構成，
タンパク質含有率が製麵適性に及ぼす影響

Effects of high molecular weight glutenin subunits
composition and protein content
on noodle quality in Japanese soft wheat

渡邊（谷中）美貴子

2017

緒言	- 1 -
第 1 章 日本麺用コムギにおける高分子量グルテニンサブユニット構成，タンパク質含有率がタンパク質組成に及ぼす影響	
第 1 節 緒言	- 10 -
第 2 節 材料及び方法	- 12 -
第 3 節 結果	- 19 -
第 4 節 考察	- 31 -
第 2 章 日本麺用コムギにおける高分子量グルテニンサブユニット構成，タンパク質含有率が製麺適性に及ぼす影響	
第 1 節 緒言	- 36 -
第 2 節 材料及び方法	- 38 -
第 3 節 結果	- 41 -
第 4 節 考察	- 48 -
総合考察	- 55 -
摘要	- 67 -
Summary	- 70 -
謝辞	- 74 -
引用文献	- 75 -
本研究の基礎となる論文目録	- 89 -

緒言

コムギは世界で最も多く作付されている穀物であり，その生産量は 2015/16 年度で 7 億 3 千万トンにのぼる (FAO 2017). コムギは製粉されて小麦粉となり，菓子，うどん，ラーメン，パン等の様々な製品に加工される．コムギが様々な用途へと加工されるのは，コムギがグルテンと呼ばれる粘弾性に富んだタンパク質を有するからである．小麦粉生地の物理性はグルテンを構成するタンパク質の“量”と“質”によって決まる (Finney and Barmore 1948, Branlard and Dardevet 1985, Payne ら 1987).

タンパク質の“量”は，小麦粉タンパク質含有率であり，小麦粉の加工適性を決める重要な因子である．子実タンパク質含有率は，農林水産省の経営所得安定対策の畑作物の直接支払交付金における品質評価基準 (農林水産省 2017) の評価項目の 1 つとなっており，用途別に子実タンパク質含有率の基準値と許容値が規定されている．基準値は日本麺用で 9.7%～11.3%，パン・中華麺用で 11.5%～14.0%となっている．西日本地域で生産されるコムギは水田裏作として栽培される場合が多く，水田で栽培されたコムギは畑で栽培されたコムギに比べて子実タンパク質含有率が低くなりがちであるため，その基準値を満たすための栽培方法が指導されている．子実タンパク質含有率は出穂期以降の窒素追肥により有効に高まり (江口

ら 1969), 出穂 10 日後 (開花期頃) に 10 a あたり窒素を 1 kg 追肥すると約 0.5 ポイント高まる (高山ら 2004). 子実タンパク質含有率が高まると, 生地物性が強くなり, その結果, 製パン性が向上することが報告されている (Finney and Barmore 1948, Tipple and Kilborn 1974, 岩淵ら 2007). 開花期の窒素追肥による高タンパク質化は, タンパク質の量的改善には有効であるが, 日本麵用コムギでは出穂期以降の窒素施肥により小麦粉生地の弱化度が増加し, 伸長抵抗が低下すること (江口ら 1969), 高タンパク質化するだけではパン用に適したものにはならないことから, 質的改善には効果がないことが示唆されている (高山ら 2004). また, 出穂後の窒素追肥による高タンパク質化では, グルテンを構成するグルテニンとグリアジンのうち, グルテンの伸展性に関与するグリアジンが大きく増加し, グルテンの弾性に関与するグルテニンのグリアジンに対する割合が減少する (木村ら 2001). 生地物性は, 開花期の窒素追肥, あるいは, 小麦粉タンパク質含有率の増加による向上程度が品種間で異なり (岩淵ら 2007, 谷中ら 2011), これに高分子量グルテニンサブユニット構成の違いが影響することが示唆されている (Takata ら 2002).

タンパク質の“質”はグルテンを構成するグルテニンやグリアジンなどの遺伝子型構成やその組成比により決定される (Branlard

and Dardevet 1985, Payne ら 1987). グルテニンは高分子量グルテニンサブユニットと低分子量グルテニンサブユニットに分けられ、高分子量グルテニンサブユニットは 1A, 1B, 1D 染色体の長腕に座乗する 3 つの *Glu-1* 座 (*Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1*) に、低分子量グルテニンサブユニットは 1A, 1B, 1D 染色体の短腕に座乗する 3 つの *Glu-3* 座 (*Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-D3*) にそれぞれ支配される。 *Glu-A1* 座に支配されるグルテニンサブユニット (以下, *Glu-A1* 座サブユニット) の中では、欠失型 (*Glu-A1c*) は生地物性が弱く、製パン性が低いことが知られている (Payne ら 1979, Moonen ら 1982)。 *Glu-B1* 座に支配されるグルテニンサブユニット (以下, *Glu-B1* 座サブユニット) の中では、サブユニット 7 の過剰発現型 (*Glu-B1a1*) やサブユニット 17+18 (*Glu-B1i*) は生地物性を強める効果を持つことが報告されている (Marchylo ら 1992, Takata ら 2000, Butow ら 2003)。 *Glu-D1* 座に支配されるグルテニンサブユニット (以下, *Glu-D1* 座サブユニット) の中では、サブユニット 5+10 (*Glu-D1d*) は生地物性を強め、製パン性を高める効果が高いことが報告されている (Payne ら 1979, Moonen ら 1982, Branlard and Dardevet 1985, Lawrence ら 1987, Payne ら 1987, Takata ら 2000, 2002)。 また、サブユニット 2.2+12 (*Glu-D1f*) は西日本の日本麺用コムギ品種が持つ世界的にまれなサブユニットであり (Payne and Lawrence

1983), サブユニット 5+10 (*Glu-D1d*), サブユニット 2+12 (*Glu-D1a*) より生地物性が弱いことが明らかにされている (Takata ら 2000, 2002). 低分子量グルテニンサブユニットの中では, *Glu-A3* 座の *Glu-A3b* や *Glu-A3d* が, *Glu-B3* 座の *Glu-B3g* や *Glu-B3b* が生地物性を強める効果が高いことが知られている (Gupta ら 1991, Gupta ら 1994, Tabiki ら 2006, Ito ら 2011, Zhang ら 2012).

日本におけるコムギの作付面積は平成 27 年産で 21 万 3100ha であり, 生産量は 100.4 万トンである (農林水産省 2016a). 一方, 平成 27 年度の海外からのコムギの輸入量は 566 万トンで, 自給率は 15% となっている (農林水産省 2016b). 日本では, コムギは畑作だけではなく, 水田における転作作物, 水田裏作として作付されており, 輪作体系の 1 作物として重要な役割を果たしている. 日本のコムギ品種の多くは日本麺用であり, 日本麺用における国産コムギの使用割合は約 7 割に達している一方, パン用における国産コムギの使用割合は 1 割未満である (農林水産省 2011). 近年, パン・中華麺用コムギの作付面積は, 温暖地でも栽培可能なパン用コムギ品種が育成されてきたことから, また, 農林水産省の経営所得安定対策の畑作物の直接支払交付金の数量払におけるパン・中華麺用品種加算 (2,300 円 / 60 kg) があることから (農林水産省 2017), 増加の一途にあり, パン・中華麺用における国産コムギの使用割合の向上

に貢献しつつある。

日本麺用のコムギは国産コムギの大部分を占めるが、日本麺用に輸入されているコムギ銘柄の ASW (オーストラリア産スタンダードホワイト) と比べて、製粉性だけでなく、色や食感、作業性などの製麺適性が劣ることから、その改良が求められてきた。ゆで麺の色相と食感は、日本麺の品質特性において、特に重要であり、色相は明るく冴えた黄色みがある“クリーミーホワイト”が良好とされ、食感は軟らかいものの表面のかたさがあり、粘弾性がある、滑らかな食感がよいとされている (Crosbie ら 1998, Hou 2001)。

ゆで麺の色相は小麦粉の色相だけでなく、製麺時の色相劣化の影響を受ける。小麦粉の色相は、キサントフィルなどのカロテノイド量が増えると黄色みが増し、製粉時にふすまの切れ込みが増えると、また、製粉歩留や灰分含量、タンパク質含有率が高くなると、明度が低下し、くすみが増加することが知られている (Miskelly 1984, Oh ら 1985, Kruger and Reed 1988, Crosbie ら 1990, Baik ら 1995, Yun ら 1997, 高山ら 2004)。また、生麺やゆで麺の色相は小麦粉中に含まれるポリフェノールオキシダーゼなどの酸化酵素により、明度が低下し、くすみが増加することが報告されている (Baik ら 1995, Hou 2001)。

ゆで麺の食感は主に澱粉とタンパク質の特性により決定される。

ゆで麺の粘弾性は、澱粉中のアミロース含有率が低くなると高まり (Oda ら 1980, Toyokawa ら 1989), アミロース合成に関わる Wx-B1 タンパク質が欠失してアミロース含有率がやや低くなった “やや低アミロース” が最適であると報告されている (Miura and Tanii 1994, Nakamura ら 2002). 近年, 日本麺用として育成された “やや低アミロース” の「ふくほのか」や「きたほなみ」, 「きぬあかり」などの品種は, ゆで麺の評価が高く, 製粉性や色相も改善されている (柳沢ら 2007, 藤井ら 2009, 石川ら 2011).

ゆで麺のかたさは, タンパク質の “量” を表す小麦粉タンパク質含有率と正の相関を示すことが報告されている (Oh ら 1985, Baik ら 1994a, Yun ら 1996, Park ら 2003, Hu ら 2007). 小麦粉タンパク質含有率が高まると, 製麺時の作業性も向上することが報告されているが (Park and Baik 2009), 日本麺用では色相が悪くなることを抑えるために中庸がよいとされている. ゆで麺のかたさやかみ応えの強さを表す数値は, タンパク質の “量” と “質” を反映した, SDS 沈降量やミキソグラフのミキシング時間, 不溶性グルテニンの量と正の相関を示すことが報告されている (Baik ら 1994b, Yun ら 1996, Hu ら 2007). 澱粉とグルテンの再構成粉を用いて作成した麺においても, ゆで麺はグルテンの物性が強くなるとかたくなったことが明らかにされている (谷藤ら 2003). タンパク質の “質” を

表すグルテニンサブユニット構成が、ゆで麵の食感に及ぼす影響はあまり報告されていない。ゆで麵のかたさは、*Glu-D1*座サブユニット 5+10 を持つとサブユニット 2.2+12 よりかたくなることや (Yanaka ら 2007), *Glu-B3* 座や *Glu-D3* 座サブユニットの違いで異なることが報告されている (Park ら 2011, Kang ら 2012)。

日本における日本麵用コムギ品種は、*Glu-A1* 座サブユニットでは 1 か、2*か、欠失のいずれか、*Glu-B1* 座サブユニットでは 7+8, *Glu-D1* 座サブユニットでは 2+12 か 2.2+12 のいずれかを持つ場合が多い (Nakamura ら 1999)。これらのサブユニットのうち、*Glu-A1* 座サブユニットの欠失は生地物性を弱め (Payne ら 1979, Moonen ら 1982), *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 はサブユニット 2+12 より生地物性が弱いことが明らかにされている (Takata ら 2000, 2002)。また、*Glu-A1* 座サブユニットが欠失し、かつ、*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つ場合、*Glu-A1* 座サブユニット 1 や *Glu-D1* サブユニット 2+12 と比べて、グルテニンが重合した不溶性ポリマータンパク質の割合が低く、生地物性が最も弱くなることが報告されている (高田ら 2008)。このように日本麵用品種が持つグルテニンサブユニット構成が生地物性に及ぼす影響については明らかにされているが、製麵適性に及ぼす影響についての報告は見当たらない。

子実タンパク質含有率は、西日本地域では低くなりがちであるため、パン・中華麺用だけでなく、日本麺用においても品質ランク区分の基準値を満たすため、開花期の窒素追肥により高める取り組みがなされている。しかし、生地物性は、品種によって、開花期の窒素追肥に対する向上程度が品種間で異なることや、小麦粉タンパク質含有率の増加に対する向上程度が異なることが報告されている(岩淵ら 2007, 谷中ら 2011)。さらに、高分子量グルテニンサブユニット構成の違いによって、小麦粉タンパク質含有率の増加に対する向上程度が異なることも報告されている (Takata ら 2002)。谷中ら (2011) は、4 品種の小麦粉タンパク質含有率の異なる試料を用いて、*Glu-A1* 座サブユニットが欠失した品種では、小麦粉タンパク質含有率の増加に対し、生地物性の向上程度が小さくなることを報告している。したがって、日本麺用コムギにおいて、グルテニンサブユニット構成が異なれば製麺適性が異なること、小麦粉タンパク質含有率を高めても生地物性や製麺適性が向上しない場合があることが考えられる。

本研究は、以上のような背景から、日本麺用コムギにおけるグルテニンサブユニット構成とタンパク質含有率の違いが、タンパク質組成や生地物性、そして最終的な加工品である製麺適性へ及ぼす影響を明らかにすることを目的として行った。本研究においては、生

地物性への効果が大きい高分子量グルテニンサブユニットに注目し、日本麵用コムギ品種でよくみられる構成である、*Glu-A1*座サブユニットのサブユニット1と欠失型、*Glu-D1*座サブユニットのサブユニット2+12とサブユニット2.2+12に注目し、これらのサブユニット以外の遺伝的要因による差異を排除するため、準同質遺伝子系統を用いた。また、子実タンパク質含有率を制御する方法として用いられている開花期の窒素追肥を、施用量を変えて栽培することにより、子実タンパク質含有率が異なる試料を得た。これらの試料を用いて、第1章では、生地物性や加工適性に大きな影響を及ぼす小麦粉中のタンパク質組成を解析し、グルテニンサブユニット構成やタンパク質含有率による差異を検討した。第2章では、生地物性の評価と製麺試験を行い、グルテニンサブユニット構成やタンパク質含有率による差異を検討した。

本研究では、遺伝的要因であるグルテニンサブユニット構成と、環境的要因である施肥条件によって大きく変動するタンパク質含有率が、タンパク質組成や生地物性、製麺適性に及ぼす影響を明らかにする。これら知見は、日本麵用コムギ品種の育成において選抜の指標を得る上で、また、品種とその用途に応じた適切な栽培方法を検討する上でも重要であり、育種的・栽培的に今後の国産コムギの品質向上につながることを期待される。

第 1 章 日本麵用コムギにおける高分子量グルテニンサブユニット構成，タンパク質含有率がタンパク質組成に及ぼす影響

第 1 節 緒言

本章では，日本麵用コムギにおける *Glu-A1* 座と *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット構成とタンパク質含有率の違いが，タンパク質組成に及ぼす影響を明らかにすることを目的として，*Glu-A1* 座と *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット構成の異なる準同質遺伝子系統を，開花期窒素追肥量を変えて栽培し，得られたタンパク質含有率の異なる小麦粉を用いて，そのタンパク質組成を 2 年にわたり評価した。

準同質遺伝子系統は，目的とする形質または遺伝子の選抜と戻し交配を繰り返すことによって開発された系統であり，目的とする形質または遺伝子以外は，遺伝的に反復親とほぼ同一とみなすことができる。この系統を用いることにより，目的とするグルテニンサブユニット以外の遺伝的要因による差異を排除した。

タンパク質組成は，Gupta ら（1993）の方法を一部変更した Yanaka ら（2007）の方法に従って行った。この方法は，小麦粉中のタンパク質を，界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウム（SDS）

に対する溶解性で可溶性と不溶性に分画し，その後，サイズ排除高速液体クロマトグラフィーにより分子量で分画し，定量する方法である（第1図）．小麦粉中のタンパク質は，SDSを含む緩衝液で抽出される可溶性タンパク質と，超音波処理による破碎・分散後に抽出される不溶性タンパク質に分けられる．抽出したタンパク質は，サイズ排除高速液体クロマトグラフィーにより分析され，得られたクロマトグラムから，分子量の大きいポリマータンパク質と分子量の小さいモノマータンパク質に分けられる．これにより，SDS可溶性と不溶性，ポリマーとモノマーの4種のタンパク質が得られる．コムギのグルテンを構成するグルテニンはジスルフィド結合を介して分子間で重合して巨大なポリマーを形成することにより，弾性を発揮し，グリアジンはモノマー同士の疎水結合により粘性を発揮する．4種のタンパク質のうち，可溶性モノマータンパク質は主にグリアジンを含み，不溶性ポリマータンパク質は重合度の高いグルテニンから構成される．不溶性ポリマータンパク質の量やその組成比は生地物性の強さを表す種々の数値と正の相関を示す（Guptaら1993）．

本章では，この方法を用いて，グルテニンサブユニット構成やタンパク質含有率の違いが，タンパク質組成に，特に，生地物性の強さと正の相関を示す不溶性ポリマータンパク質の割合やその組成比に，どのような影響を及ぼすのかを評価した．

第 2 節 材料及び方法

1. 供試材料および栽培方法

反復親を日本麺用コムギ品種「ふくさやか」（石川ら 2005）とする *Glu-A1* 座, *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニットに関する 4 種類の準同質遺伝子系統（高田ら 2008）を用いた. 供試した準同質遺伝子系統の高分子量グルテニンサブユニット構成を第 1 表に示す. 各系統の *Glu-A1* 座, *Glu-B1* 座, *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット構成は, 系統 A: 1, 7+8, 2+12, 系統 B: 1, 7+8, 2.2+12, 系統 C: null (欠失), 7+8, 2+12, 系統 D: null (欠失), 7+8, 2.2+12 である. なお, 「ふくさやか」は系統 D と同じ構成である.

これらを農研機構近畿中国四国農業研究センター（現：農研機構西日本農業研究センター, 広島県福山市）の圃場において, 2007 年播種年度と 2013 年播種年度で栽培した（以降, 年度は播種年度で記載）. 2007 年度は, 2007 年 11 月に 1 区面積 0.7 m²（畦幅 70 cm, 播幅 14 cm, 播長 1.0 m）, 播種量 100 粒 m⁻²として播種し, 2008 年 6 月に収穫した. 基肥として N, P₂O₅, K₂O をそれぞれ 1 m²あたり 5.0, 6.4, 5.0 g 施用し, 2008 年 2 月 25 日に N, P₂O₅, K₂O をそれぞれ 1 m²あたり 4.0, 2.9, 3.7 g 施用した. 異なる子実タンパク質含有率を得るため, 開花期に硫安を施用しない区と, 硫安を N として 1 m²あたり 2.0, 4.0, 8.0 g を施用した区を設け, 各試験

区は分割区法により 2~3 反復で配置した。2013 年度は、2013 年 11 月に 1 区面積 4.2 m^2 (畦幅 70 cm, 播幅 14 cm, 播長 6.0 m), 播種量 100 粒 m^{-2} として播種し、2014 年 6 月に収穫した。基肥として N, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ 1 m^2 あたり 6.5, 6.5, 6.5 g 施用し、2014 年 2 月 5 日と 3 月 12 日に N, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ 1 m^2 あたり 2.0, 1.4, 1.9 g 施用した。異なる子実タンパク質含有率を得るため、開花期に硫安を施用しない区と、硫安を N として 1 m^2 あたり 4.0, 8.0 g を施用した区を設け、各試験区は分割区法により 4 反復で配置した。

第 1 表 供試した準同質遺伝子系統の高分子量グルテニンサブユニット構成

系統名	高分子量グルテニンサブユニット		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>
系統A	1 (<i>a</i>)	7+8 (<i>b</i>)	2+12 (<i>a</i>)
系統B	1 (<i>a</i>)	7+8 (<i>b</i>)	2. 2+12 (<i>f</i>)
系統C	null (<i>c</i>)	7+8 (<i>b</i>)	2+12 (<i>a</i>)
系統D	null (<i>c</i>)	7+8 (<i>b</i>)	2. 2+12 (<i>f</i>)

高分子量グルテニンサブユニットの後の括弧内の英文字は遺伝子型を表す.

2. 小麦粉の調製およびタンパク質の分析

各試験区のそれぞれの収穫物に対し、以下の分析を行った。

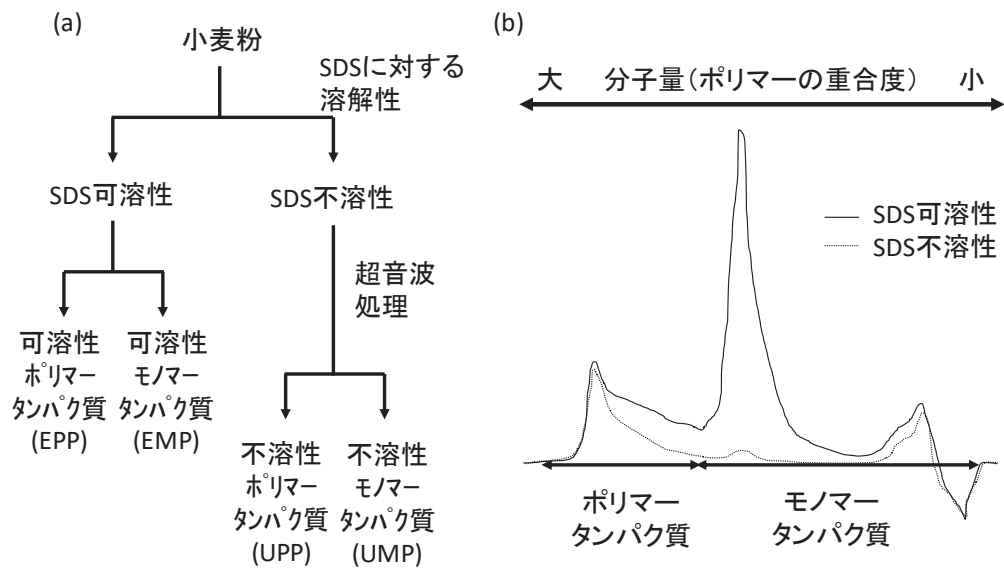
収穫物は、近赤外分析装置（2007年度は Infratec1275, 2013年度は Infratec1241, とともに FOSS 社）を用いて、子実水分、子実タンパク質含有率（タンパク質換算係数 5.70, 水分 13.5% 換算）を測定した。子実水分 14.5% にテンパリング後、2007年度は小型試験用製粉機（Quadrumat Jr., Brabender 社）で、2013年度はビューラーテストミル（MLU-202, Bühler 社）で製粉し、小麦粉（60% 粉）を調整した。小麦粉タンパク質含有率（タンパク質換算係数 5.70, 水分 13.5% 換算）は近赤外分析装置（2007年度は InfraAlyzer500, Bran+Luebbe 社, 2013年度は Infratec1241, FOSS 社）により測定した。小麦粉の SDS 沈降量は小麦粉 3.5 g を用いて、Takata ら（1999）の方法により測定した。

小麦粉のタンパク質組成は、Gupta ら（1993）の方法を一部変更した Yanaka ら（2007）の方法により抽出・分析した（第1図）。すなわち、小麦粉約 10 mg に 0.5%（w/v）ドデシル硫酸ナトリウム（SDS）を含む 50 mM リン酸ナトリウム緩衝液（pH6.9）1.0 mL を加え、10 秒間 vortex で攪拌した後、2000 rpm で 5 分間振とうした。12,000×g で 20 分間遠心した後、得られた上清を可溶性タンパク質とした。残った沈殿に再度緩衝液 1.0 mL を加えて懸濁し、超音波

分散機（2007年度は USP-600A，島津製作所，2013年度は VCX-130，Sonics&Materials 社）で，3 mm 径のプロープにより，40%の出力で 15 秒間処理した．遠心後，得られた上清を不溶性タンパク質とした．これらの抽出タンパク質を 80℃で 2 分間処理し，0.45 μm のフィルターで濾過後，サイズ排除高速液体クロマトグラフィー (SE-HPLC)に供試した．カラムは TSKgel G4000SW（東ソー株式会社）を用い，溶離液は 0.05%トリフルオロ酢酸を含む 50%アセトニトリル水溶液を使用した．溶離液の流速を 0.5 mL min⁻¹，カラム温度を 30℃とし，サンプル 20 μL をロードし，溶出したタンパク質を 214 nm における吸光度により測定した．得られたクロマトグラムを分子量により，主にグルテニンから構成される分子量の大きいポリマータンパク質と，主にグリアジンを含む分子量の小さいモノマータンパク質に分け，そのピーク面積を算出した．タンパク質は，可溶性ポリマータンパク質 (EPP)，可溶性モノマータンパク質 (EMP)，不溶性ポリマータンパク質 (UPP)，不溶性モノマータンパク質 (UMP) の 4 つに分類され，UMP は全タンパク質の 5% 以下と少ないため，解析から除外した．EPP と UPP の和を全ポリマータンパク質 (TPP) とし，EPP, EMP, UPP, UMP の和を全タンパク質とした．谷中ら (2011) の方法に従い，EPP, EMP, UPP, TPP の全タンパク質に占める割合は，各タンパク質の面積値を全タンパク質

の面積値で割って算出し、EPP (%) のように表記した。EPP, EMP, UPP, TPP の小麦粉中に占める割合は、小麦粉タンパク質含有率にそれぞれの全タンパク質に占める割合を乗して算出し、EPP 含有率のように表記した。

SDS 沈降量やタンパク質組成の各数値はタンパク質含有率に影響を受ける場合があるため、その影響を除く目的で共分散分析を行った。共分散分析の手順は以下のとおりである。まず共変量となる小麦粉タンパク質含有率と SDS 沈降量やタンパク質組成の各数値の相関分析を行った。すべての系統で有意な相関が認められた場合には、系統間で回帰直線の傾き（回帰係数）の異質性を検定した。傾きが異なる場合は対比較を行い、Holm の方法により有意水準の補正を行った。傾きが異なる場合は、タンパク質含有率を共変量とする共分散分析を行った。2ヶ年のデータで分散分析を行う際には 2007 年度の開花期窒素施用量 2 g m^{-2} 区を除いて行った。また、年次ごとに Tukey-Kramer 法による多重比較を行った。統計解析は StatView5.0 (SAS Institute Inc.) を用いて行った。



第 1 図 (a)小麦粉中のタンパク質の分画方法と, (b)抽出タンパク質のサイズ排除高速液体クロマトグラフィーにおける分子量分布.

第 3 節 結果

1. 開花期窒素施用量と子実タンパク質含有率

第 2 表は各準同質遺伝子系統および各開花期窒素施用量における子実タンパク質含有率，小麦粉タンパク質含有率，SDS 沈降量，SE-HPLC により分画されたタンパク質の割合を示した。子実タンパク質含有率は開花期窒素施用量が増加するにつれ，有意に増加し，開花期窒素施用量 1 g m^{-2} あたり 2007 年度で約 0.3 ポイント，2013 年度で約 0.5 ポイント増加した。子実タンパク質含有率は 2007 年度では系統 C で他の系統より有意に低かったが，2013 年度では系統間で有意な差はみられなかった。

2. 小麦粉タンパク質含有率，SDS 沈降量，SE-HPLC による分画タンパク質の全タンパク質に占める割合における準同質遺伝子系統間および開花期窒素施用量間差異

小麦粉タンパク質含有率，SDS 沈降量，SE-HPLC により分画されたタンパク質の全タンパク質に占める割合において，系統間で有意な差がみられた。小麦粉タンパク質含有率は 2007 年度では系統 C が他の 3 系統より有意に低く，2013 年度では系統 C が系統 D より有意に低かった。SDS 沈降量は 2 年とも系統 B で最も高く，系統 B に次いで，系統 A が高かった。小麦粉タンパク質含有率は系統 C が

系統 D より有意に低かったのにもかかわらず、SDS 沈降量は 2007 年度では系統 C、系統 D の間に有意な差はなかったが、2013 年度では系統 C が系統 D より有意に高かった。SDS 沈降量は *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 A、系統 B で *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C、系統 D より高かった。EPP (%) は 2 年とも系統 D、系統 C、系統 B、系統 A の順に高く、系統 D は 2 年とも系統 A、系統 B より有意に高かった。また、2013 年度では系統 D は系統 C より有意に高かった。EPP (%) は *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C、系統 D が *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 A、系統 B より高い傾向にあった。EMP (%) は 2 年とも系統 D、系統 A、系統 C、系統 B の順に高く、系統 D は系統 B、系統 C より有意に高かった。2013 年度では系統 A は系統 B より有意に高かった。UPP (%) は 2 年とも系統 D で他の 3 系統より有意に低かった。2013 年度では系統 B で最も高かった。TPP (%) は 2 年とも系統 B、系統 C、系統 A、系統 D の順に高く、系統 B は系統 D より有意に高かった。

開花期窒素施用量間で有意な差がみられたのは小麦粉タンパク質含有率、SDS 沈降量、EPP (%), EMP (%), TPP (%) であった。開花期窒素施用量が多くなると、小麦粉タンパク質含有率は有意に高くなり、SDS 沈降量も有意に高くなった。EPP (%), TPP (%) は開花期窒素施用量が多くなると低くなる傾向にあり、2 年とも開花期

窒素施用量 8 g m^{-2} 区では無施用区より有意に低かった。EMP (%) は 2007 年度では開花期窒素施用量間で有意な差はなかったが、2013 年度では開花期窒素施用区で無施用区より有意に高かった。UPP (%) は開花期窒素施用量間で有意な差はなかった。系統と開花期窒素施用量の交互作用はなかった。

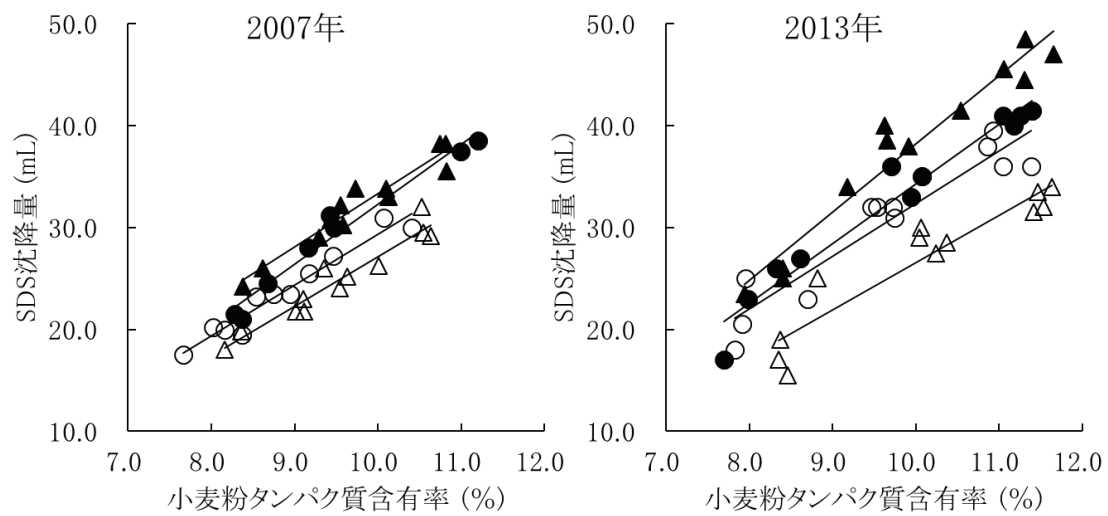
第2表 各準同質遺伝子系統及び各開花期窒素施用量における子実および小麦タンパク質含有率, SDS沈降量, SE-HPLCで分画されたタンパク質の割合.

年次	系統または開花期窒素施用量	子実タンパク質含有率		小麦タンパク質含有率		SDS沈降量 (mL)	SE-HPLC		
		(%)	(%)	(%)	(%)		EPP (%)	EMP (%)	UPP (%)
2007	A	10.7 ^a	9.4 ^a	29.0 ^b	24.8 ^c	52.1 ^{ab}	19.3 ^a	44.2 ^b	
	B	11.0 ^a	9.8 ^a	32.1 ^a	25.5 ^{bc}	51.3 ^b	19.5 ^a	44.9 ^a	
	C	10.2 ^b	8.9 ^b	23.7 ^c	26.2 ^{ab}	51.8 ^b	18.5 ^a	44.7 ^{ab}	
	D	10.7 ^a	9.5 ^a	24.7 ^c	26.6 ^a	53.0 ^a	16.9 ^b	43.5 ^{bc}	
2013	A	11.5 ^a	9.8 ^{ab}	33.0 ^b	26.5 ^b	51.1 ^{ab}	19.4 ^b	45.9 ^{ab}	
	B	11.5 ^a	9.9 ^{ab}	37.7 ^a	26.6 ^b	49.9 ^c	20.5 ^a	47.1 ^a	
	C	11.4 ^a	9.6 ^b	30.3 ^c	27.3 ^b	50.7 ^{bc}	19.2 ^b	46.5 ^{ab}	
	D	11.7 ^a	10.1 ^a	26.9 ^d	28.6 ^a	52.0 ^a	16.6 ^c	45.3 ^b	
2007	0	9.7 ^d	8.4 ^d	22.1 ^d	26.3 ^a	51.9 ^a	18.4 ^a	44.7 ^a	
	2	10.3 ^c	9.1 ^c	25.4 ^c	26.2 ^a	52.1 ^a	18.2 ^a	44.4 ^{ab}	
	4	10.8 ^b	9.6 ^b	28.7 ^b	25.7 ^{ab}	52.2 ^a	18.4 ^a	44.2 ^{ab}	
	8	12.1 ^a	10.7 ^a	34.0 ^a	25.1 ^b	52.0 ^a	18.9 ^a	44.0 ^b	
2013	0	9.6 ^c	8.3 ^c	22.8 ^c	27.8 ^a	50.1 ^b	19.2 ^a	47.1 ^a	
	4	11.6 ^b	9.9 ^b	33.7 ^b	27.0 ^b	51.2 ^a	18.8 ^a	45.9 ^b	
	8	13.3 ^a	11.3 ^a	39.3 ^a	26.9 ^b	51.5 ^a	18.7 ^a	45.6 ^b	
系統	*	**	**	**	**	**	**	**	
開花期窒素施用量	**	**	**	**	*	ns	ns	**	
系統×開花期窒素施用量	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

EPP (%), EMP (%), UPP (%), TPP (%) は, それぞれ SE-HPLC で分画された可溶性ポリマー, 可溶性モノマー, 不溶性ポリマー, 全ポリマーの全タンパク質に占める割合を示す. 各系統における平均値は全開花期窒素施用量区込みの, 各開花期窒素施用量における平均値は全系統込みの平均値. 英文字が同一であることは年次ごとの系統間または開花期窒素施用量間で 5%水準で有意差がないことを示す (Tukey-Kramer の多重比較). 2ヶ年込みの分散分析は 2007 年度の開花期窒素施用量 2 g m⁻² 区を除いて行った. **, *はそれぞれ 1%, 5%水準で有意であり, ns は有意でないことを示す.

3. 小麦粉タンパク質含有率と SDS 沈降量, 各分画タンパク質の含有率との関係

第 2 図は小麦粉タンパク質含有率と SDS 沈降量との関係を示した。2 年ともすべての系統において小麦粉タンパク質含有率と SDS 沈降量の間には有意な正の相関がみられた。系統間で回帰直線の傾き（回帰係数）の異質性を検定した結果, 2007 年度では系統間で回帰直線の傾きに有意な差はなかったが, 2013 年度では *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持ち, *Glu-A1* 座サブユニットの有無が異なる系統 B と系統 D の間で有意な差がみられ, *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 D は *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 B より有意に小さかった。回帰直線の傾きは 2 年とも *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C, 系統 D で *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 A, 系統 B より小さい傾向にあり, 系統 D で最も小さかった。



第 2 図 小麦粉タンパク質含有率と SDS 沈降量との関係.

● : 系統A, ▲ : 系統B, ○ : 系統C, △ : 系統D

系統A 2007年 $y = 5.86^a x - 26.4, r = 0.983^{**}$ 2013年 $y = 5.86^{ab} x - 24.3, r = 0.976^{**}$

系統B 2007年 $y = 5.21^a x - 18.8, r = 0.966^{**}$ 2013年 $y = 6.68^a x - 28.6, r = 0.970^{**}$

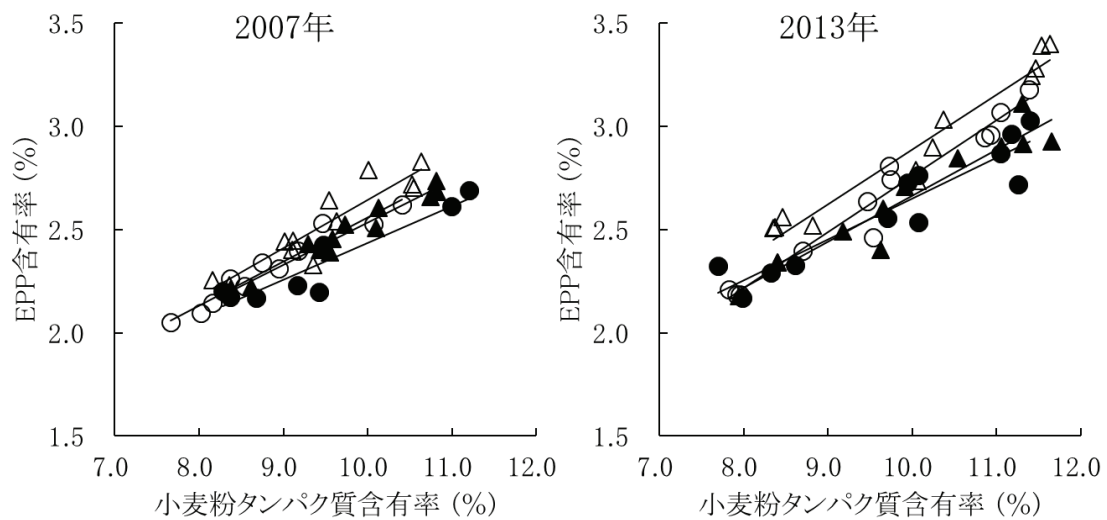
系統C 2007年 $y = 4.98^a x - 20.5, r = 0.975^{**}$ 2013年 $y = 5.16^{ab} x - 19.3, r = 0.942^{**}$

系統D 2007年 $y = 4.88^a x - 21.7, r = 0.963^{**}$ 2013年 $y = 4.64^b x - 19.8, r = 0.937^{**}$

** : 1%水準で有意.

英文字が同一であることは10%水準で回帰直線の傾きに差異がないことを示す.

第 3 図は小麦粉タンパク質含有率と EPP 含有率との関係を示した。2 年ともすべての系統において小麦粉タンパク質含有率と EPP 含有率の間に有意な正の相関がみられた。系統間で回帰直線の傾き（回帰係数）に有意な差はなかった。回帰直線の傾きは 2 年とも *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C, 系統 D で *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 A, 系統 B より大きい傾向にあった。



第3図 小麦粉タンパク質含有率と可溶性ポリマー（EPP）含有率との関係。

●：系統A, ▲：系統B, ○：系統C, △：系統D

系統A 2007年 $y = 0.179^a x + 0.650, r = 0.939^{**}$ 2013年 $y = 0.198^a x + 0.667, r = 0.935^{**}$

系統B 2007年 $y = 0.204^a x + 0.491, r = 0.977^{**}$ 2013年 $y = 0.224^a x + 0.430, r = 0.958^{**}$

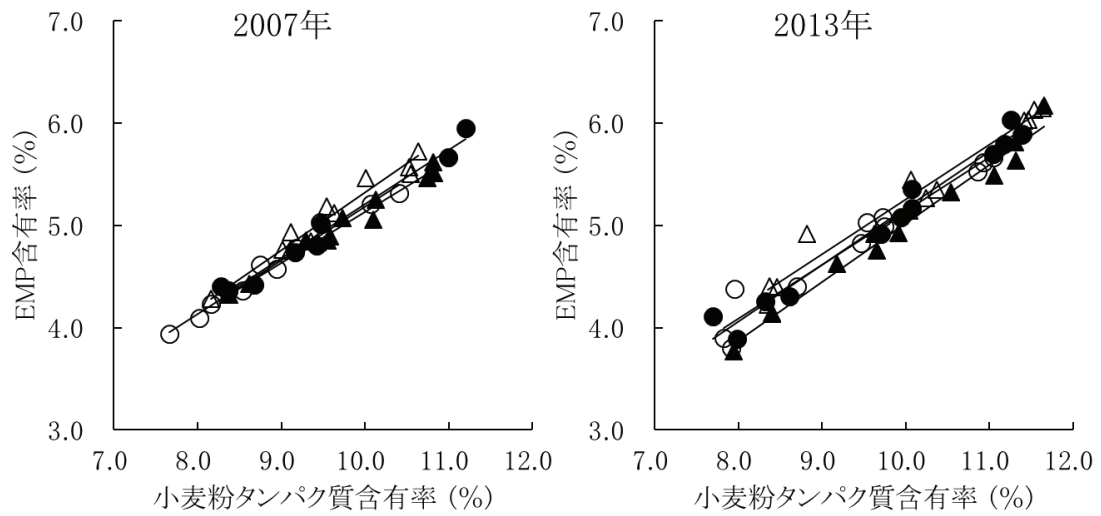
系統C 2007年 $y = 0.213^a x + 0.428, r = 0.973^{**}$ 2013年 $y = 0.272^a x + 0.041, r = 0.980^{**}$

系統D 2007年 $y = 0.246^a x + 0.198, r = 0.922^{**}$ 2013年 $y = 0.265^a x + 0.235, r = 0.971^{**}$

**：1%水準で有意。

英文字が同一であることは10%水準で回帰直線の傾きに差異がないことを示す。

第 4 図は小麦粉タンパク質含有率と EMP 含有率との関係を示した。2 年ともすべての系統において小麦粉タンパク質含有率と EMP 含有率の間に有意な正の相関がみられた。系統間で回帰直線の傾き(回帰係数)に有意な差はなかった。



第 4 図 小麦粉タンパク質含有率と可溶性モノマー (EMP) 含有率との関係.

● : 系統A, ▲ : 系統B, ○ : 系統C, △ : 系統D

系統A 2007年 $y = 0.530^a x + 0.070, r = 0.989^{**}$ 2013年 $y = 0.555^a x - 0.379, r = 0.988^{**}$

系統B 2007年 $y = 0.496^a x + 0.167, r = 0.988^{**}$ 2013年 $y = 0.573^a x - 0.709, r = 0.990^{**}$

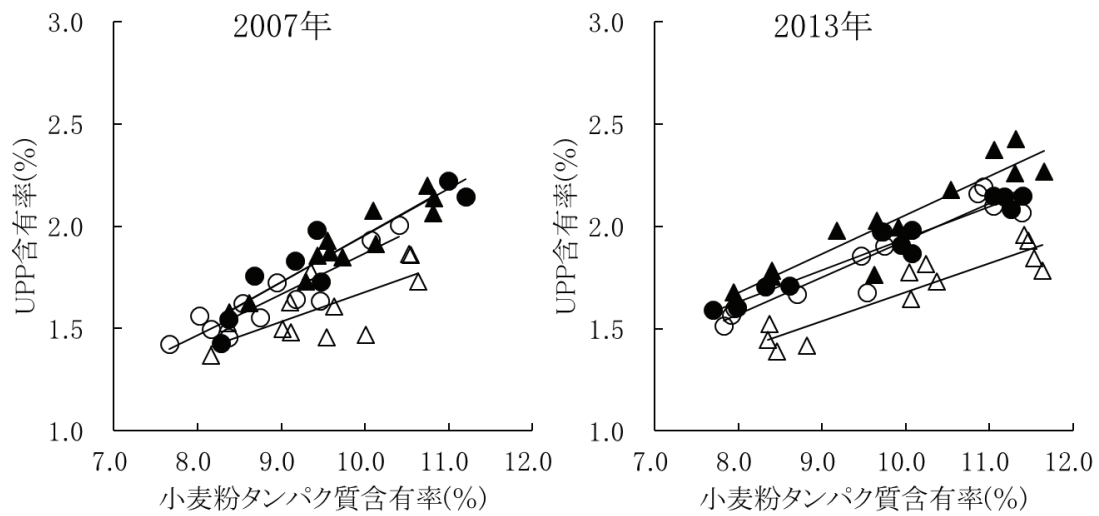
系統C 2007年 $y = 0.525^a x - 0.063, r = 0.990^{**}$ 2013年 $y = 0.527^a x - 0.123, r = 0.980^{**}$

系統D 2007年 $y = 0.567^a x - 0.348, r = 0.981^{**}$ 2013年 $y = 0.534^a x - 0.080, r = 0.983^{**}$

** : 1%水準で有意.

英文字が同一であることは10%水準で回帰直線の傾きに差異がないことを示す.

第 5 図は小麦粉タンパク質含有率と UPP 含有率との関係を示した。2 年ともすべての系統において小麦粉タンパク質含有率と UPP 含有率の間に有意な正の相関がみられた。系統間で回帰直線の傾き(回帰係数)に有意な差はなかった。回帰直線の傾きは 2 年とも系統 B で最も大きく、系統 D で最も小さかった。



第 5 図 小麦粉タンパク質含有率と不溶性ポリマー (UPP) 含有率との関係.

● : 系統A, ▲ : 系統B, ○ : 系統C, △ : 系統D

系統A 2007年 $y = 0.228^a x - 0.325, r = 0.922^{**}$

2013年 $y = 0.155^a x + 0.394, r = 0.978^{**}$

系統B 2007年 $y = 0.231^a x - 0.352, r = 0.951^{**}$

2013年 $y = 0.190^a x + 0.159, r = 0.929^{**}$

系統C 2007年 $y = 0.199^a x - 0.127, r = 0.921^{**}$

2013年 $y = 0.181^a x + 0.124, r = 0.947^{**}$

系統D 2007年 $y = 0.145^a x + 0.226, r = 0.713^{**}$

2013年 $y = 0.142^a x + 0.255, r = 0.921^{**}$

** : 1%水準で有意.

英文字が同一であることは10%水準で回帰直線の傾きに差異がないことを示す.

第 4 節 考察

本章では，日本麺用コムギの *Glu-A1* 座および *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット構成の異なる準同質遺伝子系統を用い，サブユニット構成と小麦粉タンパク質含有率の違いが，小麦粉タンパク質中の不溶性および可溶性タンパク質組成に及ぼす影響を調査した．

コムギの子実タンパク質含有率は出穂期以降の窒素追肥により高まることが知られている (Finney ら 1957, 江口ら 1969, Altman ら 1983, Stark and Tindall 1992, Zebarth and Sheard 1992, 木村ら 2001, 高山ら 2004)．本研究では子実タンパク質含有率は，すべての系統で開花期窒素追肥 1 g m^{-2} あたり $0.3 \sim 0.6$ ポイント増加した (第 2 表)．この結果は出穂期以降の窒素追肥を 1 g m^{-2} 増加させると子実タンパク質含有率は約 0.5 ポイント高くなるという高山ら (2004) の報告と概ね一致した．

小麦粉タンパク質含有率は，系統 C で 2007 年度では他の 3 系統より，2013 年度では系統 D より有意に低かった．その差は 2007 年度で 0.9% 以内，2013 年度で 0.5% 以内と小さく，分画タンパク質の割合や SDS 沈降量における系統間差異は小麦粉タンパク質含有率の差だけでなく，質的な差を示していたといえる．Gupta ら (1995) はグルテニンサブユニットが欠失すると，UPP (%), TPP (%) が低下すると報告している．本研究では *Glu-D1* 座サブユニッ

トが 2.2+12 の場合， *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 D で， UPP (%), TPP (%) が *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 B より有意に低下し， SDS 沈降量も有意に低下した．一方， *Glu-D1* 座サブユニットが 2+12 の場合， *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C では *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 A と比べ， UPP (%), TPP (%) に有意な差はなかったが， SDS 沈降量は有意に低下した (第 2 表)．これは高田ら (2008) の結果と一致し， *Glu-D1* 座サブユニットが異なることによっても， タンパク質組成が異なることが示唆された．また， *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 はサブユニット 2+12 と比べて生地物性に対して負の効果を持つことが報告されているが (Takata ら 2000, 2002)， *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ場合， *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つ系統 B ではサブユニット 2+12 を持つ系統 A より UPP (%), TPP (%) が高く， SDS 沈降量も高かった．サブユニット 2.2 はサブユニット 2 と比べて分子量は大きいものの， グルテニンの分子間結合に関わるシステインの数は変わらず (Morel and Bonicel 1996, Shewry and Tatham 1997)， このような違いが生じた理由は不明である．しかしながら， *Glu-A1* 座サブユニットの有無と *Glu-D1* 座サブユニット 2+12, 2.2+12 の組合せで UPP (%), TPP (%) に差が生じたことは興味深い．

UPP は重合度の高いグルテニンから構成され， EPP, EMP は，

それぞれ主に重合度の低いグルテニン，グリアジンから構成される (Singh ら 1990). タンパク質含有率の増加に伴い，EPP 含有率，EMP 含有率，UPP 含有率はいずれも増加し，その増加程度（回帰直線の傾き）は EMP 含有率で最も大きかった（第 2 図，第 3 図，第 4 図）. この結果は，グリアジンは，小麦粉タンパク質含有率の増加に対して他の構成タンパク質より高い割合で増加するという，Gupta ら (1992)，木村ら (2001)，谷中ら (2011) の報告と一致した.

小麦粉タンパク質含有率の増加に対し，EPP 含有率，EMP 含有率，UPP 含有率の増加程度に系統間で有意な差はなかったが，2 年で一定の傾向が認められた. *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の場合，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 D では *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 B に比べ，EPP 含有率の増加程度が大きく，UPP 含有率の増加程度が小さくなった. したがって，*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の場合，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失すると，*Glu-A1* 座サブユニットを持つ系統と比べ，UPP (%) が低く，タンパク質含有率が高まるにつれ，UPP 含有率の差がより大きくなると考えられた. UPP の量は生地物性の強さと正の相関にあることが報告されているため (Singh ら 1990, Gupta ら 1993)，2013 年度で小麦粉タンパク質含有率の増加に対する SDS 沈降量の増加程度が *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 D で，*Glu-A1* 座サブユニット 1 を持

つ系統 B より有意に小さくなったことは、UPP 含有率の増加程度が小さいことによると考えられた。系統 D と同じグルテニンサブユニット構成を持つ品種「ふくさやか」では *Glu-A1* 座サブユニットを持つ「ミナミノカオリ」や「農林 61 号」と比べて、小麦粉タンパク質含有率の増加に対し、EMP 含有率の増加程度が大きいことが報告されている（谷中ら 2011）。EMP 含有率の増加程度は系統間で有意な差がなかったが、EMP 含有率の増加程度は 2007 年度では系統 D で系統 B より大きく、2013 年度では系統 B より小さくなった。*Glu-A1* 座サブユニットの有無と EMP 含有率の増加程度の大小は年次で異なったことから、EMP 含有率は EPP や UPP と比べ、年次や栽培条件の影響を受けやすいと考えられた。一方、*Glu-D1* 座サブユニット 2+12 の場合、*Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C では *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 A と比べて EPP 含有率の増加程度は小さくなったが、EMP や UPP 含有率の増加程度の大小は年次により異なった。

日本麺用コムギ品種の多くは、本研究で用いた 4 種類の準同質遺伝子系統と同じ、もしくは、同等の高分子量グルテニンサブユニット構成を持つ（Nakamura ら 1999）。関東以西の日本麺用コムギ品種には *Glu-A1* 座グルテニンサブユニットが欠失している品種が多く見られ、西日本地域の日本麺用コムギ品種には *Glu-A1* 座サブユ

ユニットが欠失し、かつ、*Glu-D1*座サブユニット 2.2+12 を持つ系統 D の組合せがよく見られる (Nakamura ら 1999). 高田ら (2008) と同様、系統 D のタンパク質組成は、他の 3 系統と比べ、UPP (%) が顕著に低く、EPP (%), EMP (%) が高かった。また、系統 D は *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 B と比べて、小麦粉タンパク質含有率の増加に対する SDS 沈降量の増加程度が小さくなる場合があった。これらの結果は、*Glu-A1* 座サブユニットが欠失し、かつ、*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つと、小麦粉の生地物性が弱くなりやすく、小麦粉タンパク質含有率を高めても生地物性が強くなりにくいことを示唆している。したがって、西日本地域の日本麺用コムギ品種の生地物性を向上させるには *Glu-A1* 座サブユニットを導入することが有効であると考えられた。グルテニンサブユニット構成の違いにより、小麦粉タンパク質含有率の増加に対するタンパク質組成の変化に差がみられたことは、小麦粉タンパク質含有率の増加に対し、生地物性や加工適性に差が生じる可能性があることを示唆している。そこで、第 2 章では、グルテニンサブユニット構成の違い、小麦粉タンパク質含有率の違いが、生地物性の強さや日本麺の加工適性にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

第 2 章 日本麺用コムギにおける高分子量グルテニンサブユニット構成，タンパク質含有率が製麺適性に及ぼす影響

第 1 節 緒言

第 1 章では，日本麺用コムギにおいて，*Glu-A1* 座と *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット構成の違いにより，UPP (%) や EMP (%) などのタンパク質組成が異なること，特に，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失し，かつ，*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つ場合，UPP (%) が顕著に低くなることを明らかにした。また，この組合せでは，小麦粉タンパク質含有率の増加に対し，SDS 沈降量の増加程度が小さくなる場合があった。これらの結果から，西日本地域の日本麺用コムギ品種の生地物性を向上させるには *Glu-A1* 座サブユニットを導入することが有効であると考えられた。

日本麺用品種が持つグルテニンサブユニット構成が実際の加工用途である日本麺の製麺適性に及ぼす影響についての報告は見当たらない。一方，小麦粉タンパク質含有率や，SDS 沈降量，不溶性グルテニンの量などの生地物性の強さを表す数値は，ゆで麺のかたさと正の相関を示すことが報告されている (Oh ら 1985, Baik ら 1994a, 1994b, Yun ら 1996, Park ら 2003, Hu ら 2007)。そこで，第 1 章で見られた，グルテニンサブユニット構成の違いによるタンパク質

組成の差異や、小麦粉タンパク質含有率の増加に対する SDS 沈降量の増加程度の差異が、実際の加工用途である日本麺の製麺適性に影響するほどの差異であるのか、また、製麺適性に影響するならば、どのような差異が生じるかを検討する必要がある。

そこで、本章では、2013 年度の試料を用いて、製麺適性と、製麺適性において重要な小麦粉品質である色と生地物性について評価し、グルテニンサブユニット構成やタンパク質含有率の違いが、製麺適性や小麦粉品質にどのような影響を及ぼすかについて評価した。

第 2 節 材料及び方法

1. 供試材料および栽培方法

供試材料および栽培方法は第 1 章に示すとおりである。試験は 2013 年度のみ行った。

2. 製粉と小麦粉の品質分析，製麺適性の評価

2013 年度の 4 反復それぞれの収穫物に対し，以下の分析を行った。

収穫物は，近赤外分光分析装置（Infratec1241, FOSS 社）を用いて子実水分，タンパク質含有率（タンパク質換算係数 5.70，水分 13.5% 換算）を測定した。小麦品質検定法（農林水産技術会議事務局 1968）に従って，子実水分 14.5% にテンパリング後，ビューラーテストミル（MLU-202, Bühler 社）で製粉し，小麦粉（60% 粉）を調製した。

小麦粉タンパク質含有率（タンパク質換算係数 5.70，水分 13.5% 換算）と小麦粉灰分は近赤外分光分析装置により測定した。小麦粉の色相は色彩色差計（CM-3500d, コニカミノルタ社）を用いて，c 光源，2 度視野で，小麦粉 6 g に対して水 8 mL を加えた小麦粉ペーストの明度 L^* ，赤色み a^* ，黄色み b^* を測定した。日本麺において，色相は L^* が高く， a^* は低く， b^* は適度な値であることが望ましい。

小麦粉の生地特性は doughLAB（Newport Scientific 社）を用い

て、回転数を 63 rpm として、吸水率、生地形成時間、弱化度、バロリメーターバリューを測定した。吸水率は生地を捏ねた際に一定の硬さ (500 BU) にするのに必要とされる水の小麦粉に対する比率である。生地形成時間は生地が形成される (一定の硬さになる) までの時間で、長いと生地物性が強いことを示す。弱化度は硬さが低下し始めてから 12 分後までの下降程度を表し、大きいと生地のミキシング耐性が劣ることを示す (Wheat Marketing Center 2008)。バロリメーターバリューは生地形成時間と弱化度から推定される生地物性の総合指標値で、高いと生地物性が強いことを示す。

うどんの製麺試験は小麦の品質評価法 (食品総合研究所 1985) に従い、小麦粉 100 に対し、塩 2、水 34 の配合で行った。小麦粉 50 g (水分 13.5% ベース) を、100 g 用のピンミキサー (National 社) で攪拌しながら 5.88% 食塩水を 17 mL 添加し、そばろを調製した。そばろを 1 つにまとめた後、製麺機 (XXVR003, スズキ麺工) を用いて、圧延し、ロール間隙を徐々に狭めて 2.5 ± 0.1 mm の厚さとなるよう調製した。麺帯を 3 mm 幅の切刃を通して切断し、生麺を調製した。麺線の一部を乾燥しないように密閉容器中に保存し、引張試験に供試した。生麺の引張試験はテクスチャーアナライザー (EZ-Test, 島津製作所) を用いて、以下の方法で行った。生麺を 5 cm の長さに切り、生麺の両端を麺用引張治具にはさんで固定した。片

側の治具を上部方向に引張速度 1 mm sec^{-1} で、生麺が破断するまで引張を行った。引張強度と破断するまでの生麺の長さの変形量を 5 本測定した。また、ゆで麺の破断試験はテクスチャーアナライザーを用いて、以下の方法で行った。生麺を沸騰水中で 22 分間ゆで、流水中で 2 分間冷却後、水切りし、ポリエチレン袋に入れて室温で 30 分間放置した。その後、ゆで麺を幅 1 mm の針金状の治具により 1 mm sec^{-1} でゆで麺が破断するまで圧縮した。破断強度と破断するまでのゆで麺の太さの変形量を 8 本測定した。

各形質について分散分析と Tukey-Kramer 法による多重比較を行った。統計解析は StatView5.0 (SAS Institute Inc.) を用いて行った。

第 3 節 結果

1. 製麺適性における準同質遺伝子系統間および開花期窒素施用量間差異

第 3 表は各準同質遺伝子系統および各開花期窒素施用量における製麺適性を示した。生麺の引張強度，変形量，ゆで麺の破断強度，変形量は系統間で有意な差がみられた。生麺の引張強度は系統 D で系統 A，系統 C より有意に弱く，系統 D では生麺がより弱い力で伸びやすいことが示された。生麺の変形量は系統 C で系統 B より有意に小さくなった。ゆで麺の破断強度は系統 D で系統 B より有意に弱く，変形量は系統 D で系統 B より有意に小さくなった。

生麺の引張強度，変形量，ゆで麺の破断強度，変形量は開花期窒素施用量間で有意な差がみられた。開花期窒素施用量が増加すると，生麺の引張強度は有意に弱く，変形量は有意に大きくなった。開花期窒素施用量 8 g m^{-2} の場合，開花期窒素施用なしに比べて，ゆで麺の破断強度は有意に強く，変形量は有意に大きくなった。系統と開花期窒素施用量との間で交互作用はみられなかった。

第 3 表 各準同質遺伝子系統および各開花期窒素施用量における製麺適性.

系統	高分子量 グルテニンサブユニット			系統 または 開花期 窒素 施用量	生麺引張試験		ゆで麺破断試験	
	<i>Glu-</i> <i>A1</i>	<i>Glu-</i> <i>B1</i>	<i>Glu-</i> <i>D1</i>		引張 強度 (N)	変形 量 (mm)	破断 強度 (N)	変形 量 (mm)
A	1	7+8	2+12	0	0.33	17	0.28	2.20
				4	0.26	53	0.29	2.21
				8	0.25	93	0.32	2.44
B	1	7+8	2.2+12	0	0.30	25	0.29	2.29
				4	0.28	50	0.32	2.52
				8	0.25	105	0.34	2.75
C	null	7+8	2+12	0	0.33	13	0.30	2.31
				4	0.29	41	0.31	2.34
				8	0.24	72	0.32	2.53
D	null	7+8	2.2+12	0	0.30	16	0.27	2.05
				4	0.26	48	0.29	2.22
				8	0.22	85	0.30	2.29
各系統における 平均値 (全処理込み)				A	0.28 a	54 ab	0.30 ab	2.28 ab
				B	0.28 ab	60 a	0.32 a	2.52 a
				C	0.29 a	42 b	0.31 ab	2.39 ab
				D	0.26 b	50 ab	0.29 b	2.19 b
各開花期窒素施用量間 における平均値 (全系統込み)				0	0.31 a	18 c	0.28 b	2.21 b
				4	0.27 b	48 b	0.30 ab	2.32 ab
				8	0.24 c	89 a	0.32 a	2.50 a
系統					**	**	*	*
開花期窒素施用量					**	**	**	*
系統×開花期窒素施用量					ns	ns	ns	ns

各系統における平均値は全開花期窒素施用量区込みの、各開花期窒素施用量における平均値は全系統込みの平均値. 英文字が同一であることは系統間または開花期窒素施用量間で 5% 水準で有意差がないことを示す (Tukey-Kramer の多重比較). **, * はそれぞれ 1%, 5% 水準で有意であり, ns は有意でないことを示す.

2. 生地物性における準同質遺伝子系統間および開花期窒素施用量間差異

第4表は各準同質遺伝子系統および各開花期窒素施用量における小麦粉タンパク質含有率と doughLAB で測定された小麦粉生地の吸水率、生地形成時間、弱化度、バロリメーターバリューを示した。小麦粉タンパク質含有率、吸水率、生地形成時間、弱化度、バロリメーターバリューは系統間で有意な差がみられた。小麦粉タンパク質含有率と吸水率は系統 C で系統 D より有意に低かった。生地形成時間は系統 D で系統 B より有意に短くなった。弱化度は *Glu-D1* 座サブユニットが同じである系統 A と系統 C、あるいは、系統 B と系統 D の間で、*Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C、系統 D で *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 A、系統 B より有意に大きかった。また、弱化度は *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C と系統 D の間で、*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つ系統 D で *Glu-D1* 座サブユニット 2+12 を持つ系統 C より有意に大きかった。バロリメーターバリューは *Glu-A1* 座サブユニットが欠失した系統 C と系統 D で *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ系統 A と系統 B より有意に小さかった。

小麦粉タンパク質含有率、吸水率、生地形成時間、弱化度は開花期窒素施用量間で有意な差がみられた。小麦粉タンパク質含有率は

開花期窒素施用量が増加すると有意に高くなり，開花期窒素施用量 1 g m^{-2} あたり約 0.38 ポイント増加した．吸水率は開花期窒素施用量が増加すると，有意に高くなった．生地形成時間は開花期窒素施用により開花期窒素施用なしの場合よりも有意に長くなった．一方，弱化度は開花期窒素施用量が増加すると，有意に大きくなった．系統と開花期窒素施用量との間で交互作用はみられなかった．

第4表 各準同質遺伝子系統および各開花期窒素施用量における生地物性.

系統	高分子量 グルテニンサブユニット			系統 または 開花期 窒素 施用量	小麦粉 タンパク 質含有率 (%)	doughLabによる 小麦粉の生地物性値			
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>			吸水率 (%)	生地形成 時間 (min)	弱化度 (FU)	バリ メーター バリュー
A	1	7+8	2+12	0	8.2	51.0	1.3	80	46
				4	9.9	52.7	2.6	106	45
				8	11.2	53.9	2.7	127	43
B	1	7+8	2.2+12	0	8.5	50.5	1.8	85	46
				4	9.9	53.0	2.6	114	44
				8	11.3	54.6	3.1	121	45
C	null	7+8	2+12	0	8.1	50.3	1.2	113	39
				4	9.6	52.0	2.2	113	42
				8	11.1	53.3	2.5	138	40
D	null	7+8	2.2+12	0	8.5	50.9	1.3	102	41
				4	10.2	53.3	2.1	147	37
				8	11.5	54.1	2.1	162	35
各系統における 平均値 (全処理込み)				A	9.8 ab	52.5 ab	2.2 ab	104 c	44 a
				B	9.9 ab	52.7 ab	2.5 a	107 bc	45 a
				C	9.6 b	51.9 b	1.9 ab	121 b	40 b
				D	10.1 a	52.7 a	1.8 b	137 a	38 b
各開花期窒素施用量間 における平均値 (全系統込み)				0	8.3 c	50.7 c	1.4 b	95 c	43 a
				4	9.9 b	52.7 b	2.3 a	120 b	42 a
				8	11.3 a	54.0 a	2.6 a	137 a	41 a
系統					**	*	*	**	**
開花期窒素施用量					**	**	**	**	ns
系統×開花期窒素施用量					ns	ns	ns	ns	ns

各系統における平均値は全開花期窒素施用量区込みの、各開花期窒素施用量における平均値は全系統込みの平均値. 英文字が同一であることは系統間または開花期窒素施用量間で 5%水準で有意差がないことを示す (Tukey-Kramer の多重比較). **, *はそれぞれ 1%, 5%水準で有意であり, ns は有意でないことを示す.

3. 小麦粉の灰分と色相における準同質遺伝子系統間および開花期窒素施用量間差異

第5表は各準同質遺伝子系統および各開花期窒素施用量における小麦粉の灰分と色相を示した。小麦粉の色相は系統間で有意な差がみられた。L*は系統Dで系統Aより有意に低くなった。a*は系統Cで他の3系統より有意に低くなった。b*は系統Cで系統A, 系統Bより有意に高く, 系統Dで系統Aより有意に高かった。

小麦粉の灰分, 色相は開花期窒素施用量間で有意な差がみられた。小麦粉の灰分は開花期窒素施用量 8 g m^{-2} で開花期窒素施用なしと比べて有意に高くなった。小麦粉の色相は開花期窒素施用量が増加すると, L*は有意に低く, a*は有意に高く, b*は有意に低くなり, 色相が暗く, くすみが増し, 黄色みが低下したことを示した。開花期窒素施用量 1 g m^{-2} あたり L*は 0.1 ポイント低下, a*は約 0.05 ポイント増加, b*は 0.08 ポイント低下した。系統と開花期窒素施用量との間で交互作用はみられなかった。

第5表 各準同質遺伝子系統および各開花期窒素施用量における小麦粉の灰分と色相.

系統	高分子量 グルテニンサブユニット			系統 または 開花期 窒素 施用量	小麦粉 灰分 (%)	小麦粉の色相		
	<i>Glu-</i> <i>A1</i>	<i>Glu-</i> <i>B1</i>	<i>Glu-</i> <i>D1</i>			明度 L*	赤色み a*	黄色み b*
A	1	7+8	2+12	0	0.38	90.41	-1.74	14.85
				4	0.39	90.06	-1.57	14.43
				8	0.42	89.37	-1.37	14.31
B	1	7+8	2.2+12	0	0.40	90.23	-1.67	14.95
				4	0.39	89.93	-1.51	14.66
				8	0.39	89.55	-1.33	14.44
C	null	7+8	2+12	0	0.40	90.31	-1.85	15.34
				4	0.39	89.85	-1.67	15.05
				8	0.41	89.45	-1.45	14.65
D	null	7+8	2.2+12	0	0.40	90.02	-1.67	15.14
				4	0.42	89.77	-1.48	14.79
				8	0.41	89.36	-1.34	14.62
各系統における 平均値 (全処理込み)				A	0.40 a	89.95 a	-1.56 b	14.53 c
				B	0.39 a	89.90 ab	-1.50 b	14.68 bc
				C	0.40 a	89.87 ab	-1.66 a	15.01 a
				D	0.41 a	89.72 b	-1.50 b	14.85 ab
各開花期窒素施用量間 における平均値 (全系統込み)				0	0.39 b	90.24 a	-1.73 a	15.07 a
				4	0.40 ab	89.90 b	-1.56 b	14.73 b
				8	0.41 a	89.43 c	-1.37 c	14.50 c
系統					ns	*	**	**
開花期窒素施用量					*	**	**	**
系統×開花期窒素施用量					ns	ns	ns	ns

各系統における平均値は全開花期窒素施用量区込みの、各開花期窒素施用量における平均値は全系統込みの平均値. 英文字が同一であることは系統間または開花期窒素施用量間で 5% 水準で有意差がないことを示す (Tukey-Kramer の多重比較). **, *はそれぞれ 1%, 5% 水準で有意であり, ns は有意でないことを示す.

第 4 節 考察

本章では日本麺用コムギの *Glu-A1* 座と *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニットに関する準同質遺伝子系統を用い，グルテニンサブユニット構成とタンパク質含有率の違いが，製麺適性に及ぼす影響を調査した．小麦粉タンパク質含有率は系統間差異が見られ，系統 C で系統 D より有意に低かったが，その差は 0.5% 以内と小さく，製麺適性や小麦粉の生地物性における系統間差異はタンパク質含有率の差だけでなく，質的な差を示していると考えられた．

本研究で用いたグルテニンサブユニット構成において，Payne ら（1979），Moonen ら（1982）は，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失すると生地物性が弱くなることを報告している．また，高田ら（2008）の報告と同様，第 1 章において，*Glu-A1* 座サブユニットの欠失と *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の組合せでは，SDS 沈降量が最も低く，UPP（%）が最も低いことが明らかになっている．生地物性は UPP の量が少ないほど弱い（Singh ら 1990，Gupta ら 1993）．本研究でも，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失すると，弱化度が大きく，バロリメーターバリューが小さくなり，さらに，*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 との組合せで，弱化度が一層大きくなり，生地物性が弱くなったことを示した（第 4 表）．また，第 1 章において，*Glu-A1* 座サブユニットの欠失と *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の組合せでは，小麦粉

タンパク質含有率の増加に対し，グリアジンを多く含む可溶性モノマータンパク質の増加が大きい一方，グルテニンが重合した不溶性ポリマータンパク質の増加が小さい傾向にあった．このグルテニンサブユニット構成を持つ系統 D では，小麦粉タンパク質含有率の増加に対し，弱化度が大きく増加した（第 4 表）．

本研究における製麺試験は同一加水率で行った．生麺の引張強度は，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失し，かつ，*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つ組合せで最も弱くなった（第 3 表）．これは，ミキソグラムで十分な加水量で調製した生地を用いて引張試験を行った高田ら（2008）と同様の結果であり，グルテニンサブユニット構成の違いにより生麺の引張強度が異なることが確認された．生麺の物性が弱いと，製麺時に麺帯が薄くなり，麺帯や生麺が切れやすく，ゆで溶出率が高くなるため（Park and Baik 2009），このようなグルテニンサブユニット構成でないことが望ましい．

ゆで麺のかたさはグルテンの量と正の相関にあり（Oh ら 1985, Baik ら 1994a, Park and Baik 2009），SDS 沈降量などの生地物性の強さを示す数値が大きくなると，ゆで麺の破断強度が強くなり，動的粘弾性が大きくなり，かたくなることが示唆されている（Baik ら 1994b, Yun ら 1996, 谷藤ら 2003, Hu ら 2007, Yanaka ら 2007）．また，Yanaka ら（2007）は生地物性を強める効果の大きい *Glu-D1*

座サブユニット 5+10 を日本麺用コムギに導入すると、ゆで麺の破断強度が強くなり、官能評価でゆで麺がかたく評価されることを報告している。本研究においては、*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つ場合、*Glu-A1* 座サブユニットが欠失すると、ゆで麺の破断強度は有意に弱くなったことから、ゆで麺が軟らかくなったことを示した。また、ゆで麺の変形量は有意に小さくなり、ゆで麺が細くなったことを示した（第 3 表）。

Nakamura ら（1999）は日本品種の高分子量グルテニンサブユニットを調査し、*Glu-A1* 座サブユニットでは欠失型が 7 割を占め、*Glu-D1* 座サブユニットでは 2+12 または 2.2+12 が 9 割を占めることを報告している。*Glu-A1* 座サブユニットが欠失した「イワイノダイチ」などの品種では、生地物性が弱く、製麺時の作業性が劣ることが指摘されている（藤井ら 2009）。ゆで麺の食感はアミロース含有率が通常である、“通常アミロース”のコムギでは、*Glu-D1* 座サブユニット 5+10 の導入により、生地物性が強くなると、ゆで麺がかたく、必ずしも正の効果ではなかった一方（Yanaka ら 2007）、アミロース含有率が低い、“低アミロース”のコムギでは、優れた粘弾性を発揮するためには強いグルテンが必要だとされている（谷藤ら 2003）。したがって、ゆで麺の食感にはアミロース含有率の高低とグルテンの強弱のバランスが重要であり、日本麺の粘弾性に最適とさ

れる“やや低アミロース”に対しては中庸以上のグルテンの強さが必要であると考えられる。近年，育成された“やや低アミロース”品種の「きたほなみ」，「きぬあかり」，「ふくほのか」は，いずれも *Glu-A1* 座サブユニットを有し，「きたほなみ」，「きぬあかり」は生地物性を強める効果を持つ低分子量グルテニンサブユニット *Glu-B3g* をあわせ持ち，ゆで麺の官能評価が優れることが報告されている（柳沢ら 2007，藤井ら 2009，石川ら 2011）。製麺時の作業性とゆで麺の食感を考慮すると，グルテニンサブユニット構成は生地物性が弱い *Glu-A1* 座サブユニットの欠失と *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の組合せでないことが望ましい。

開花期に窒素を施用することにより，既報と同様，小麦粉タンパク質含有率は有意に高まった（第 4 表，高山ら 2004，岩淵ら 2007）。江口ら（1969）は日本麺用コムギにおいて出穂期以降の窒素施肥により弱化度が増加し，伸長抵抗が低下するため，グルテンの質が低下することを報告している。本研究においても，開花期の窒素施肥により，弱化度が有意に大きくなり，グルテンが質的に低下したことが示された（第 2 表）。また，吸水率は小麦粉タンパク質含有率と正の相関にあることが報告されている（岩淵ら 2007）。本研究においても，小麦粉タンパク質含有率の増加に伴って高まった（第 4 表）。

本研究においては同一加水率による製麺を行ったが，Park and

Baik (2002) は麺帯の生地状態から麺帯の最適吸水率を決定する方法により、タンパク質含有率が低い、あるいは、SDS沈降量が低い小麦粉の場合、均一なプロテインマトリックスを形成し、適した状態の麺帯を調製するために、より多くの水を必要とするため、小麦粉タンパク質含有率と麺帯の最適吸水率は負の相関にあると報告している。製麺時には小麦粉タンパク質含有率が低いと麺帯が乾燥して切れやすく、タンパク質含有率が高いと麺帯がしっとりとしていた。また、タンパク質含有率の増加に伴い、生麺の引張強度が弱くなり、変形量が大きくなった(第1表)。開花期に窒素を施用しない場合、麺帯の水分が十分でなく、プロテインマトリックスの形成が不十分で、わずかな変形で破断しやすく、変形量が小さくなった一方、開花期に窒素を施用することで高タンパク質化すると、麺帯の水分は十分にあるが、グルテンが質的に低下したため、伸展性が増し、変形量が大きくなったと考えられた。麺帯の損傷を防ぎ、適度な伸展性を持たせるためには、適切な加水率で製麺すること、小麦粉タンパク質含有率を高めることが重要であると考えられた。

ゆで麺のかたさは、小麦粉タンパク質含有率が高くなると、ゆで麺の破断強度が強くなり、かたくなることが報告されている(Ohら1985, Baikら1994a, 1994b, Park and Baik 2009)。本研究でも、ゆで麺は、開花期窒素を 8 g m^{-2} 施用した場合、開花期窒素施用な

しの場合と比べ、破断強度が有意に強くなり、かたくなったことを示した。また、ゆで麺の変形量が有意に大きくなり、ゆで麺が太くなったことを示した（第3表）。

小麦粉色相は小麦粉タンパク質含有率が高くなると、 L^* が低く、 a^* が高くなることが報告されている（Baikら1995, Yunら1997, 高山ら2004）。本研究でも、小麦粉色相は小麦粉タンパク質含有率が高くなると、 L^* が低く、 a^* が高くなり、暗くくすんだ色相となった（第5表）。色相は小麦粉灰分が高くなると悪くなるため（Crosbieら1990）、本研究においては、開花期に窒素を 8 g m^{-2} 施用した区で子実灰分が高く（データ省略）、小麦粉灰分が有意に高くなったことが色相劣化の1つの要因として考えられた。しかし、小麦粉灰分に有意な差がない場合でも、高タンパク質化により色相が悪くなることが報告されており（Yunら1997, 高山ら2004）、小麦粉色相劣化の要因は解明されていない。日本麺において、色相は明るく冴えた黄色みがある‘クリーミーホワイト’が良好とされるため、色相が著しく劣化することがないように、タンパク質含有率を適度に高めることが必要である。

子実タンパク質含有率は土壌や窒素の施用時期等の栽培条件により大きく変動し、窒素施用による制御が行われている（島崎・渡邊2010）。佐藤ら（1999）は融雪期以降の窒素施用により子実タンパク

質含有率が高まったが、タンパク質組成や生地物性は施用時期による差はなかったことを報告している。岩淵ら（2013）は止葉期に窒素施用した区では出穂期後 10 日に窒素施用した区より生地物性が劣ったが、これは子実タンパク質含有率の差によると報告している。木村・山内（2002）は土壌や出穂後追肥で子実タンパク質含有率は変化するが、吸収した窒素のグルテニンとグリアジンへの分配は一定であるとしている。これらのことから、土壌や窒素施用時期により、子実タンパク質含有率は異なるものの、タンパク質組成や生地物性の強さを表す値が大きく変化するとは考えにくい。したがって、生麺やゆで麺の物性は、土壌や窒素施用時期によらず、タンパク質含有率に応じた特性を示すと考えられる。

本研究の結果は、生麺とゆで麺の物性が、タンパク質の“質”を表すグルテニンサブユニット構成と、“量”を表すタンパク質含有率の両方の影響を受けることを示している。日本麺の製麺適性においては色相も重要であるため、生麺の作業性とゆで麺の食感、色相を保持するためには、*Glu-A1*座サブユニットが欠失し、かつ、*Glu-D1*座サブユニット 2.2+12 を持つグルテニンサブユニット構成ではないこと、子実タンパク質含有率を適度に高めることが望ましい。

総合考察

日本のコムギ品種は主に軟質コムギであり，その主な用途は日本
麺用である．日本の日本麺用品種は，高分子量グルテニンサブユニ
ット構成として，*Glu-A1*座サブユニットは1か，2*か，欠失のい
ずれか，*Glu-D1*座サブユニットは2+12か2.2+12のいずれかを持
つ場合が多い（Nakamuraら1999）．高分子量グルテニンサブユニ
ット構成の違いは，製パン適性に及ぼす影響については数多く報告
されているが，製麺適性に及ぼす影響については報告が少ない．ゆ
で麺のかたさが*Glu-D1*座サブユニット5+10でサブユニット
2.2+12よりかたくなることや（Yanakaら2007），*Glu-B3*座や
*Glu-D3*座サブユニットの違いで異なることが報告されているのみ
である（Parkら2011, Kangら2012）．

子実タンパク質含有率は，西日本地域では低くなりがちであるた
め，パン・中華麺用だけでなく，日本麺用においても品質ランク区
分の基準値を満たすために開花期の窒素施肥により高めようと取り
組まれている．ゆで麺は，小麦粉タンパク質含有率が高くなると，
生地物性が強くなると，かたくなることが報告されている（Ohら
1985, Baikら1994a, 1994b, Yunら1996, Parkら2003, Huら2007）．
小麦粉の生地物性は，開花期の窒素追肥により小麦粉タンパク質含
有率が増加することで強くなるが，その程度は品種により異なるこ

とが報告されている（岩淵ら 2007，谷中ら 2011）。また，高分子量グルテニンサブユニット構成の違いにより異なることも報告されている（Takata ら 2002）。

このように，小麦粉の生地物性は，品種やグルテニンサブユニット構成の違いにより異なること，小麦粉タンパク質含有率の増加に対するその向上程度に差があることが明らかにされてきているが，製麺適性に対してはいまだ検討されていない。そこで，本研究では，日本の日本麺用品種によく見られる高分子量グルテニンサブユニットに注目し，*Glu-A1* 座と *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット構成の違い，小麦粉タンパク質含有率の違いが，タンパク質組成や生地物性，さらに製麺適性に及ぼす影響を調査した。

Glu-A1 座と *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット構成の違いはタンパク質組成，生地物性，製麺適性のいずれにも影響した（第 2 表，第 3 表，第 4 表）。生地物性は，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失すると弱くなり（Singh ら 1990, Gupta ら 1993），*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 でサブユニット 2+12 より弱くなることが報告されている（Takata ら 2000, 2002）。本研究でも，*Glu-A1* 座サブユニットの欠失により，SDS 沈降量が低下し，小麦粉生地の弱化度が増加し，パロリメーターバリューが低下し，生地物性が弱くなった（第 2 表，第 4 表）。また，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失した場合，*Glu-D1*

座サブユニット 2.2+12 はサブユニット 2+12 より UPP (%) が有意に低く、小麦粉生地の弱化度が有意に大きく、生地物性が弱くなった (第 2 表, 第 4 表). しかし, *Glu-A1* 座サブユニット 1 を持つ場合, *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 はサブユニット 2+12 より, 生地物性の強さに関わる種々のパラメーターが有意ではないものの, 強い傾向を示した (第 2 表, 第 4 表). また, *Glu-A1* 座サブユニットの欠失と *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の両方を持つと, UPP (%) が低く, 生地物性が最も弱くなるが (高田ら 2008), 本研究でも, この組合せで UPP (%) が最も低く, 生地の弱化度が最も大きく, 生地物性が最も弱くなった (第 2 表, 第 4 表). *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の場合, *Glu-A1* 座サブユニットが欠失することで UPP (%) は低くなり, ゆで麺の破断強度は弱くなり, ゆで麺の変形量は小さくなったが, *Glu-D1* 座サブユニット 2+12 の場合, *Glu-A1* 座サブユニットが欠失しても, これらの値は有意に変化しなかった (第 2 表, 第 3 表). このように, *Glu-A1* 座サブユニットと *Glu-D1* 座サブユニットの組合せにより, タンパク質組成や生地物性, 製麺適性に及ぼす効果が異なったことは興味深い. サブユニット 2.2 はサブユニット 2 と比べて分子量は大きいものの, グルテニンの分子間結合に関わるシステインの数は変わらないため (Morel and Bonicel 1996, Shewry and Tatham 1997), このような違いが

生じた理由は不明である。グルテニンサブユニットの組合せにより生地物性に及ぼす効果が異なることは、*Glu-B1* 座サブユニットと *Glu-D1* 座のサブユニットの組合せでも報告されている (Takata ら 2003)。

生麵の物性が弱いと、製麵時に麵帯が薄くなり、麵帯や生麵が切れやすくなり、ゆで溶出率が高くなる (Park and Baik 2009)。本研究でも、生地物性が最も弱い *Glu-A1* 座サブユニットの欠失と *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の組合せでは、生麵の引張強度が弱くなり、生麵が弱い力で切れやすいことを示した (第 3 表)。また、ゆで麵の破断強度は弱くなり、ゆで麵がやわらかくなったことを、ゆで麵の変形量は小さくなり、ゆで麵が細くなったことを示した (第 3 表)。ゆで麵は、ゆで時間の長さを変えることでかたさを調節することができるが、生地物性が弱いと、麵帯や生麵が切れやすく、製麵時の作業性が劣り、細くなる。このため、高分子量グルテニンサブユニット構成は、*Glu-A1* 座サブユニットの欠失と *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の組合せでないことが望ましい。

子実タンパク質含有率は、開花期に窒素を施用することで有意に高まり、開花期窒素追肥 1 g m^{-2} あたり 0.3~0.6 ポイント増加した (第 2 表)。これは、出穂期以降の窒素追肥を 1 g m^{-2} 増加させると、子実タンパク質含有率は約 0.5 ポイント高くなるという高山ら (2004) の報

告と概ね一致した。子実タンパク質含有率は出穂期以降の追肥により高まることで、パン用コムギではグルテン含有率が高まり、生地物性が強くなり、製パン性が向上するが（岩淵ら 2007）。日本麵用コムギでは生地の弱化度が増加し、伸長抵抗が低下し、グルテンの質が低下することが報告されている（江口ら 1969）。本研究では、開花期の窒素施肥により、UPP含有率が増加したものの、重合度の高いグルテニンを多く含むUPPよりも、グリアジンを多く含むEMPの増加程度が大きくなり、グルテニンよりもグリアジンの増加が大きいたことが示された（第4図、第5図）。また、小麦粉タンパク質含有率が増加すると、小麦粉の生地形成時間は長くなったが、弱化度が有意に増加し、バロリメーターバリューは有意に変化しなかった（第4表）。また、小麦粉生地の吸水率は高まったが、グルテニンサブユニットの違いによる差はなかった（第4表）。これらの結果は、日本麵用コムギに開花期の窒素追肥をした場合、小麦粉タンパク質含有率が高まり、小麦粉生地の吸水率は高まるが、その物性は強くなっていないことを明瞭に示している。

本研究では、小麦の品質評価法（1985）に基づき、同一加水率による製麵を行った。加水率が高いと麵帯の圧延時の作業性が劣り、低いと麵帯がかたく伸展性のないものになる。製麵に適した状態の麵帯を作製するための最適加水率は、軟質コムギでは小麦粉タンパク

質含有率と負の相関を示すことが報告されている (Park and Baik 2002). したがって、麺帯は、小麦粉タンパク質含有率が低い場合、均一なグルテンの網目構造を形成し、製麺に適した状態にするために、より多くの水を必要とする。本研究でも、麺帯は、小麦粉タンパク質含有率が低いと乾燥して切れやすく、高いとしっとりとしていた。また、生麺は、小麦粉タンパク質含有率が増加すると、引張強度が弱くなり、変形量が大きくなった (第 3 表)。これは、生麺が、小麦粉タンパク質含有率が低い場合、加水が不十分であるためにグルテンが十分に形成されずにわずかな変形で切れやすくなった一方、小麦粉タンパク質含有率が高い場合、グルテンが十分に形成されるものの、その質的低下により、伸びやすくなったことによる。したがって、製麺に適した状態の麺帯を作製するためには、小麦粉タンパク質含有率に応じた適切な加水率で製麺すること、小麦粉タンパク質含有率を高めることが重要であると考えられた。ゆで麺は、小麦粉タンパク質含有率が高くなると、かたくなる (Ohら 1985, Baikら 1994a, 1994b, Park and Baik 2009)。本研究でも、開花期窒素を 8 g m^{-2} 施用した場合、開花期窒素施用なしの場合と比べ、ゆで麺の破断強度は有意に強くなり、ゆで麺がかたくなったことを示した。また、ゆで麺の変形量は有意に大きくなり、ゆで麺が太くなったことを示した (第 3 表)。

小麦粉色相は、日本麺の品質において重要な因子である。小麦粉色相は、小麦粉タンパク質含有率が高くなると、 L^* が低く、 a^* が高くなり、暗くくすんだ色相になる (Baik ら 1995, Yun ら 1997, 高山ら 2004)。本研究でも、小麦粉色相は、小麦粉タンパク質含有率の増加により、 L^* が低く、 a^* が高くなったが、グルテニンサブユニット構成の違いによる差異は小さかった (第 5 表)。色相は明るく冴えた黄色みがある ‘クリーミーホワイト’ が良好とされるため、著しく劣化することがないように、小麦粉の原料となる子実タンパク質含有率を適度に高めることが必要である。

子実タンパク質含有率は、土壌や窒素の施用時期等の栽培条件により大きく変動し、窒素施用による制御が行われている (島崎・渡邊 2010)。佐藤ら (1999) は、子実タンパク質含有率は融雪期以降の窒素施用により高まったが、タンパク質組成や生地物性は施用時期による差はなかったことを報告している。岩淵ら (2013) は、生地物性が止葉期に窒素施用した区で出穂期後 10 日に窒素施用した区より劣った理由を子実タンパク質含有率の差によるとしている。木村・山内 (2002) は、子実タンパク質含有率は土壌や出穂後追肥で変化するが、吸収した窒素のグルテニンとグリアジンへの分配は一定であるとしている。一方、島崎ら (2016) はパン用コムギにおいて水田と畑でタンパク質組成や生地物性が異なったことを報告し

ている。島崎ら（2016）の報告はあるものの、日本麺用コムギにおいて、土壌や窒素施用時期の違いにより、子実タンパク質含有率は異なるものの、タンパク質組成や生地物性の強さを表す値が大きく変化するとは考えにくい。したがって、生麺やゆで麺の物性は、土壌や窒素施用時期によらず、タンパク質含有率に応じた特性を示すと考えられる。

日本麺用コムギ品種の製麺評価は、例えば、*Glu-A1*座サブユニットが欠失した「イワイノダイチ」などの品種では、生地物性が弱く、製麺時の作業性が劣ることが指摘されている（藤井ら 2009）。また、ゆで麺の食感は、アミロース含有率が低いと、粘弾性指標値が高まり、かたさを表す動的弾性率が低くなることが、グルテンが強いと粘弾性指標値と動的弾性率の両方が高まることが報告されている（谷藤ら 2003）。アミロース含有率が通常である、“通常アミロース”のコムギでは、*Glu-D1*座サブユニット 5+10 の導入により生地物性が強くなると、ゆで麺がかたくなり、食感は必ずしも正の評価とはならない（Yanaka ら 2007）。一方、アミロース含有率が低い、“低アミロース”のコムギでは、優れた粘弾性を発揮するためには強いグルテンが必要とされる（谷藤ら 2003）。したがって、ゆで麺の食感はアミロース含有率の高低とグルテンの強弱のバランスが重要である。日本麺の粘弾性に最適とされる“やや低アミロース”のコム

ギでは、中庸以上の強さのグルテンが必要となる。日本麺用の輸入コムギ銘柄である ASW は、アミロース含有率が“やや低アミロース”であるだけでなく、子実タンパク質含有率がランク区分の基準値を満たすように調整されており、その構成品種の大部分が *Glu-A1* 座サブユニット 1 あるいは 2*, *Glu-D1* 座サブユニット 2+12 を持ち、生地物性を強める効果を持つ低分子量グルテニンサブユニット *Glu-B3b* を持つ (Ikeda ら 2014)。近年、育成された“やや低アミロース”品種の「きたほなみ」、「きぬあかり」、「ふくほのか」は、いずれも *Glu-A1* 座サブユニットを有し、「きたほなみ」と「きぬあかり」は生地物性を強める効果を持つ低分子量グルテニンサブユニット *Glu-B3g* を持ち、ゆで麺の食感が優れる (柳沢ら 2007, 藤井ら 2009, 石川ら 2011)。これらの品種は、ASW の構成品種と同等のアミロース含有率とグルテニンサブユニット構成を持つため、ゆで麺の食感が ASW に近いと評価されたことは妥当であろう。一方、“通常アミロース”のコムギでは、中庸より弱いグルテンの強さが、“低アミロース”のコムギでは、中庸より強いグルテンの強さが必要となる。近年、育成された“通常アミロース”品種の「ふくさやか」や「さとのそら」は、*Glu-A1* 座サブユニットが欠失しており、*Glu-A1* 座サブユニット 2*を持つ「農林 61 号」と比べて、ゆで麺の色や食感がやや優れる (石川ら 2005, 高橋ら 2010)。これは、ゆで

麺が“通常アミロース”の澱粉によりかたくなかった一方，グルテンを弱めることでかたさを抑えたために，食感がやや優れると評価されたと考えられる．しかし，これらの品種は，製麺時の作業性が劣ることもしばしば指摘されている．“低アミロース”品種の「チクゴイズミ」は，*Glu-A1* 座サブユニット 2*を持つが，多収で子実タンパク質含有率が低くなりがちであることも影響し，ゆで麺の食感に粘りはあるものの，やわらかすぎることで負の評価となる場合が多い（金子ら 2000）．このような場合，ゆで麺の食感に，生地物性を強める効果が大きいグルテニンサブユニットを導入することにより，改善できる．

日本麺用コムギ品種は，今後育成していく上で，生地物性を強化し，製麺適性を高めるために，*Glu-A1* 座サブユニットが欠失し，かつ，*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つグルテニンサブユニット構成を除いていくことが重要である．ゆで麺の食感に，アミロース含有率の高低とグルテンの強弱のバランスにより決定されるため，このバランスを調整することが重要である．日本麺用コムギ品種を栽培する上では，子実タンパク質含有率が品質ランク区分の基準値を満たすよう，小麦粉色相が悪くならないよう，窒素追肥により適度に高め，製麺時の作業性を確保することが重要である．

しかし，西日本地域で栽培される軟質コムギは，日本麺用だけで

なく、菓子用としても用いられている場合が多い。一般的に、菓子用のコムギは、軟質で、小麦粉タンパク質含有率が低く、生地物性が弱く、吸水率が低いことが望まれる。西日本地域で広く栽培されている日本麺用コムギ品種「シロガネコムギ」は、“通常アミロース”で、*Glu-A1*座サブユニットが欠失し、かつ、*Glu-D1*座サブユニット 2.2+12 を持つ。「シロガネコムギ」は軟質で、生地物性が弱いことから、日本麺用としては製麺時の作業性は劣るものの、ゆで麺の食感がかたすぎず、また、菓子用に適した特性を有する。日本麺用コムギでは、高分子量グルテニンサブユニット構成が *Glu-A1*座サブユニットが欠失し、かつ、*Glu-D1*座サブユニット 2.2+12 を持つ組合せでないことが望まれるが、菓子用やその他の用途への利用が見込まれる場合は、用途に応じて、グルテニンサブユニット構成や、アミロース含有率、子実タンパク質含有率の適正範囲を組み合わせで考える必要がある。グルテニンサブユニット構成、小麦粉タンパク質含有率の違いが製菓適性へ及ぼす影響については、今後検討することとしたい。

日本麺用における国産コムギの使用割合が 7 割に達し、近年、古い品種が新しい品種に置き換わりつつあり、日本麺用コムギの品質向上は着実に進んでいる。本研究でグルテニンサブユニット構成、タンパク質含有率の違いが製麺適性に及ぼす影響を明らかにしたこ

とは、日本麺用コムギ品種を育成する上でグルテニンサブユニット構成の最適化を図るために、また、栽培する上で品種とその用途に応じた適切な栽培方法を検討するために、重要な知見であるといえる。育種的・栽培的側面で今後の国産コムギの品質向上につながることを期待される。

摘要

本研究は、*Glu-A1*座と*Glu-D1*座の対立遺伝子の違いによりグルテニンサブユニット構成が異なる4種類の日本麺用コムギの準同質遺伝子系統を、異なる開花期窒素施肥量で栽培し、得られた小麦粉を用いて、グルテニンサブユニット構成、タンパク質含有率の違いがタンパク質組成、生地物性、製麺適性に及ぼす影響について解析したものである。タンパク質組成はサイズ排除高速液体クロマトグラフィーにより分画した可溶性ポリマー (EPP)、可溶性モノマー (EMP)、不溶性ポリマー (UPP) の全タンパク質に占める割合 (EPP (%), EMP (%), UPP (%)) とその含有率で評価した。

グルテニンサブユニット構成の違いは、タンパク質組成、生地物性、製麺適性に影響した。*Glu-D1*座サブユニット 2.2+12を持つ場合、*Glu-A1*座サブユニットが欠失すると、EPP (%), EMP (%) が高く、UPP (%) が低くなった。また、2013年度では小麦粉タンパク質含有率の増加に対して SDS 沈降量の増加程度が有意に小さくなった。小麦粉の生地物性は、生地形成時間が短く、弱化度が大きく、バロリメーターバリューが小さくなり、顕著に弱くなった。製麺時には生麺の引張強度が弱く、ゆで麺の破断強度が弱く、変形量が小さくなり、ゆで麺がやわらかく、細くなったことを示した。一方、*Glu-D1*座サブユニット 2+12を持つ場合、*Glu-A1*座サブユニ

ットの有無にかかわらず，UPP(%)に有意な差はなかった．小麦粉の生地物性は，*Glu-A1*座サブユニットが欠失することで生地形成時間が短く，弱化度が大きく，バロリメーターバリューは小さくなり，弱くなった．製麺時には *Glu-A1* 座サブユニットの有無にかかわらず，生麺の引張強度と変形量，ゆで麺の破断強度と変形量に有意な差はなかった．これらの結果から，日本麺用コムギにおいて，生地物性を強めるためには *Glu-A1* 座サブユニットの欠失を除くことが必要であり，また，製麺時の作業性を考慮すると，グルテニンサブユニット構成は，生地物性が最も弱くなる，*Glu-A1* 座サブユニットの欠失と *Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 の組合せでないことが望ましいと考えられた．

開花期窒素施用量の違いによる小麦粉タンパク質含有率の差異は，タンパク質組成，生地物性，製麺適性に影響した．小麦粉タンパク質含有率の増加に対し，UPP よりも EMP が大きく増加し，グルテニンよりもグリアジンが大きく増加することを示唆した．小麦粉の生地物性は，吸水率が高く，弱化度が大きくなったが，バロリメーターバリューに有意な差はなかったため，質的に弱くなったことを示唆した．製麺時には，生麺は引張強度が弱く，変形量が大きくなり，伸びやすくなったことを示した．また，ゆで麺は破断強度が強くなり，変形量が大きくなり，かたく，太くなったことを示した．また，

小麦粉の色相は、明度 (L*) が低く、赤色み (a*) が高くなり、暗くくすんだ色相となった。これらの結果から、子実タンパク質含有率は、製麺作業性を確保し、色相が著しく劣化することがないように、適度に高めることが必要である。

本研究の結果は、グルテニンサブユニット構成とタンパク質含有率で示される、タンパク質の“質”と“量”の両方が、タンパク質組成、生地物性、製麺適性に影響を及ぼすことを示した。日本麺用コムギが良好な製麺時の作業性、ゆで麺の食感、色相を有するためには、*Glu-A1* 座サブユニットが欠失し、かつ、*Glu-D1* 座サブユニット 2.2+12 を持つグルテニンサブユニット構成ではないこと、子実タンパク質含有率を開花期窒素追肥などにより適度に高めることが望ましい。

Summary

In this study, effects of high molecular weight glutenin subunits (HMW-GSs) composition and protein content on protein composition, dough properties and noodle (white salted noodle) quality were evaluated. Four kinds of near-isogenic lines (NILs) of Japanese soft wheat with different compositions of HMW-GSs, which are controlled by *Glu-A1* and *Glu-D1* loci were cultivated with different amounts of nitrogen fertilizer applied at flowering time. Protein composition, dough properties and noodle (white salted noodle) quality were analyzed with their flour. In analysis of protein composition, the proportions of extractable polymeric protein (EPP), extractable monomeric protein (EMP) and unextractable polymeric protein (UPP) to total protein (EPP (%), EMP (%) and UPP (%)) and to flour were analyzed by size-exclusion high performance liquid chromatography.

HMW-GSs composition affected protein composition, dough properties and noodle quality. In a set of the lines carrying subunits 2.2+12 at *Glu-D1* locus, EPP (%) and EMP (%) were increased and UPP (%) was reduced by the null allele at *Glu-A1* locus. The increase in SDS sedimentation volume against the

increase in flour protein content was significantly reduced by the null allele at *Glu-A1* locus in 2013. In dough properties, dough development time (DT) was shortened, weakness (Weak) was increased, and valorimeter value (VV) was reduced by the null allele at *Glu-A1* locus, indicating weak dough strength. In noodle quality, tensile force of the raw noodles (RN) and breaking force of the boiled noodles (BN) were weakened, and deformation BN was reduced by the null allele at *Glu-A1* locus, suggesting that RN became easier to break and BN had thinner appearance and softer texture. On the other hand, in a set of the lines carrying subunits 2+12 at *Glu-D1* locus, UPP (%) was not significantly influenced by the null allele or subunit 1 at *Glu-A1* locus. In dough properties, DT was shortened, Weak was increased, and VV was reduced by the null allele at *Glu-A1* locus, indicating weak dough strength. In noodle quality, the values of RN and BN were not significantly influenced by the null allele or subunit 1 at *Glu-A1* locus. These results suggest that introduction of a subunit at *Glu-A1* locus is expected to improve the dough strength and suggest that the wheat carrying both the null allele at *Glu-A1* locus and subunits 2.2+12 at *Glu-D1* locus

would not be preferable for noodle due to its poor dough handling performance in noodle making process.

Protein content affected protein composition, dough properties and noodle quality. The increase in EMP content against the increase in flour protein content was larger than that in UPP content. Increased flour protein content brought higher water absorption and larger Weak, but VV was not significantly different. These results clearly showed that dough properties got inferior in quality against the increase in flour protein content. In noodle quality, increased flour protein content brought weaker tensile force and larger deformation of RN and stronger breaking force and larger deformation of BN, suggesting that RN had better extensibility and BN had thicker appearance and harder texture. Increased flour protein content also brought decrease in L* and increase in a*, giving darker flour color. These results suggested that the wheat with appropriate protein content was preferable to maintain good handling performance in noodle making and make the noodles with bright color.

These results suggest that both protein quality (HMW-GSs

composition) and quantity (protein content) affected protein composition, dough properties and noodle quality. Then, to adjust appropriate grain protein content and not to have both the null allele at *Glu-A1* locus and subunits 2.2+12 at *Glu-D1* locus would be necessary to maintain good handling performance in noodle making and make the noodle with appropriate thickness, appropriate hardness and bright color.

謝辞

本研究をとりまとめるにあたり，山口大学農学部教授高橋肇博士に懇切・丁寧なご指導とご校閲を賜りました．また，鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター教授中田昇博士，同教授山口武視博士，島根大学生物資源科学部教授小葉田亨博士，山口大学農学部准教授荒木秀樹博士，同助教丹野研一博士にご指導とご助言を賜りました．ここに心より感謝を申し上げます．

本研究を進めるにあたり，農研機構西日本農業研究センター水田作研究領域麦類育種グループ長，高田兼則博士に数多くの有益なご助言と激励をいただきました．また，同センター主席研究員石川直幸氏，企画部産学連携室長船附稚子博士，上級研究員池田達哉博士，水田作研究領域長船附秀行博士に，多くのご助言と激励をいただきました．同センター業務第1科の諸氏には，本研究を遂行する上で重要な試験材料の栽培管理，脱穀，製粉において多大なるご尽力をいただきました．また，同センターの契約職員，西山範子氏，松井孝子氏，原口有子氏，河上有香氏，有馬奈津美氏，西川仁美氏，萩原理恵子氏，山下久美氏，森田小百合氏には，試験材料の製粉，品質分析，加工適性の評価においてご協力をいただきました．ここに，本研究の遂行に際し，ご協力とご支援をいただいた農研機構西日本農業研究センターの関係者の皆様に心より感謝を申し上げます．

引用文献

- Altman, D.W., McCuistion, W.L. and Kronstad, W.E. 1983. Grain protein percentage, kernel hardness, and grain yield of winter wheat with foliar applied urea. *Agron. J.* 75: 87-91.
- Baik B-.K., Czuchajowsska, Z. and Pomeranz, Y. 1994a. Role and contribution of starch and protein contents and quality texture profile analysis of oriental noodles. *Cereal Chem.* 71: 315-320.
- Baik B-.K., Czuchajowsska, Z. and Pomeranz, Y. 1994b. A SDS-FY test to evaluate quality of wheat for oriental noodles. *J. Cereal Sci.* 19: 191-201.
- Baik B-.K., Czuchajowsska, Z. and Pomeranz, Y. 1995. Discoloration of dough for oriental noodles. *Cereal Chem.* 72: 198-205.
- Branlard, G. and Dardevet, M. 1985. Diversity of grain proteins and bread wheat quality. II. Correlation between high-molecular-weight subunits of glutenin and flour quality characteristics. *J. Cereal Sci.* 3: 345-354.
- Butow, B.J., Ma, W., Gale, K.R., Cornish, G.B., Rampling, L., Larroque, O., Morell, M.K. and Békés, F. 2003. Molecular

discrimination of Bx7 alleles demonstrates that a highly expressed high-molecular-weight glutenin allele has a major impact on wheat flour dough strength. *Theor. Appl. Genet.* 107: 1524-1532.

Crosbie, G.B., Miskelly, D.M. and Dewan, T. 1990. Wheat quality for the Japanese flour milling and noodle industries. *Western Aust. J. Agric.* 31: 83-88.

Crosbie, G.B., Huang, S. and Barclay, I.R. 1998. Wheat quality requirements of Asian foods. *Euphytica* 100: 155-156.

江口久夫・平野寿助・吉田博哉 1969. 暖地における小麦の良質化栽培に関する研究 (第 2 報) 3 要素施肥量および窒素の施用時期・施用法と品質の関係. *中国農業試験場報告* A17:81-111.

FAO 2017. Cereal supply and demand Brief. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/> (2017/2/22 閲覧).

Finney, K.F. and Barmore, M.A. 1948. Loaf volume and protein content of hard red winter and spring wheat. *Cereal Chem.* 25: 291-312.

Finney, K.F., Meyer, J.W., Smith F.W. and Fryer H.C. 1957. Effect of foliar spraying of Pawnee Wheat with urea solutions on yield, protein content, and protein quality. *Agron. J.* 7:

341-347.

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.

Gupta, R.B., Bake, F. and Wringley, C.W. 1991. Prediction of
physical dough properties from glutenin subunit composition
in bread wheats: correlation studies. Cereal Chem. 68:
328-333.

Gupta, R.B., Batey, I.L. and MacRitchie, F. 1992. Relationships
between protein composition and functional properties of
wheat flours. Cereal Chem. 69: 125-131.

Gupta, R.B., Khan, K. and MacRitchie, F. 1993. Biochemical
basis of flour properties in bread wheats. I. Effects of
variation in the quantity and size distribution of polymeric
protein. J. Cereal Sci. 18: 23-41.

Gupta, R.B., Paul, J.G., Cornish, G.B., Palmer, G.A., Bakes, F.
and Rathjien. A.J. 1994. Allelic variation at glutenin
subunit and gliadin loci, *Glu-1*, *Glu-3* and *Gli-1*, of common
wheats. I. Its additive and interaction effects on dough
properties. J. Cereal Sci. 19: 9-17.

Gupta, R.B., Papineau, Y., Lefebvre, J., Cornec, M., Lawrence, G.J. and MacRitchie, F. 1995. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. II. Changes in polymeric protein formation and dough/gluten properties associated with the loss of low Mr or high Mr glutenin subunits. *J. Cereal Sci.* 21: 103-116.

Hou, G. 2001. Oriental noodles. *Adv Food Nutr Res.* 43: 143-193

Hu, X.-Z., Wei, Y.-M., Wang, C. and Kovacs, M.I.P. 2007. Quantitative assessment of protein fractions of Chinese wheat flours and their contribution to white salted noodle quality. *Food Res. Int.* 40:1-6.

Ikeda, T. M., Yanaka, M. and Takata, K. 2014. Comparison of quality-related alleles among Australian and North American wheat classes exported to Japan. *Cereal Chem.* 91: 616-622.

石川直幸・長嶺敬・谷中美貴子・高山敏之・田谷省三・甲斐由美・谷尾昌彦・佐藤淳一・村上泰臣・住田哲也 2005. 製麺適性の優れる早生・短稈小麦新品種「ふくさやか」の育成. 近中四農研報 4: 25-37.

石川直幸・高田兼則・谷中美貴子・長嶺敬・高山敏之・田谷省三・

甲斐由美・谷尾昌彦・佐藤淳一 2011. 製粉歩留が高くめんの食感が優れる多収小麦新品種「ふくほのか」の育成. 近中四農研報 10: 53-67.

Ito, M., Fushie, S., Funatsuki, W.M., Ikeda, T.M., Nishio, Z., Nagasawa, K., Tabiki, T. and Yamauchi, H. 2011. Effect of allelic variation in three glutenin loci on dough properties and bread-making qualities of winter wheat. *Breed. Sci.* 61: 281-287.

岩渕哲也・田中浩平・松江勇次・松中仁・山口末次 2007. 開花期の窒素追肥がパン用コムギ品種「ミナミノカオリ」と「ニシノカオリ」の製粉性, 生地の物性および製パン適性に及ぼす影響. 日作紀 76: 37-44.

岩渕哲也・松江勇次・松中仁 2013. 出穂期前後の窒素施用時期や尿素の葉面散布がパン用コムギ品種「ミナミノカオリ」の生地物性に及ぼす影響. 日作紀 82: 135-140.

金子成延・松倉潮・郡谷多一・大坂賢一・門間美千子・今井徹 2000. 低アミロース小麦より製造したゆでめんの粘弾性. 食科工. 47: 815-821.

Kang, C-S., Jeung, J-U., Baik, B-K. and Park, C.S. 2012. Effects of allelic variations in *Wx-1*, *Glu-D1*, *Glu-B3*, and *Pinb-D1*

loci on flour characteristics and white salted noodle-making quality of wheat flour. *Cereal Chem.* 89: 296-306.

木村秀也・志村もと子・山内稔 2001. 出穂後施用窒素がコムギの子実タンパク質に及ぼす影響. *土肥誌* 72: 403-408.

木村秀也・山内稔 2002. 土壌型と出穂後追肥窒素が小麦の子実タンパク質含有量と組成に及ぼす影響. 近畿中国四国農業研究センター成果情報. <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/warc/2002/wenarc02-12.html> (2017/2/22 閲覧).

Kruger, J.E. and Reed, G. 1988. in *Wheat: Chemistry and Technology*, Vol. I., ed. by Pomeranz, Y. American Association of Cereal Chemists, St Paul, Minnesota, U.S.A, pp. 441-500.

Lawrence, G.J., Moss, H.J., Shepherd, K.W. and Wrigley, C.W. 1987. Dough quality of biotypes of eleven Australian wheat cultivars that differ in high-molecular-weight glutenin subunit composition. *J. Cereal Sci.* 6: 99-101.

Marchylo, B.A., Lukow, O.M. and Kruger, J.E. 1992. Quantitative variation in high molecular weight glutenin subunit 7 in some Canadian wheats. *J Cereal Sci.* 15: 29-37.

Miskelly, D.M. 1984. Flour components affecting paste and

noodle colour. *J. Sci. Food Agric.* 35: 463-471.

Miura, H. and Tanii, S. 1994. Endosperm starch properties in several wheat cultivars preferred for Japanese noodles. *Euphytica.* 72: 171-175.

Moonen, J.H.E., Scheepstra, A. and Graveland, A. 1982. Use of the SDS- sedimentation test and SDS-polyacrylamide gel electrophoresis for screening breeder's samples of wheat for bread-making quality. *Euphytica* 31: 677-690.

Morel, M. H. and Bonicel, J. 1996. Determination of the number of cysteine residues in high molecular weight subunits of wheat glutenin. *Electrophoresis* 17: 493-496.

Nakamura, H. Inazu, A. and Hirano, H. 1999. Allelic variation in high-molecular-weight glutenin subunit loci of *Glu-1* in Japanese common wheats. *Euphytica* 106: 131-138.

Nakamura, T., Vrinten, P., Saito, M. and Konda, M. 2002. Rapid classification of partial waxy wheats using PCR-based markers. *Genome.* 45: 1150-1156

農林水産技術会議事務局 1968. 小麦品質検定法-小麦育種試験における-(研究成果シリーズ 35). 農林水産省農林水産技術会議事務局, 東京. 1-70.

農林水産省 2011. 平成 23 年版食料・農業・農村白書. 農林統計協会, 東京. 100-101.

農林水産省 2016a. 平成 27 年産作物統計. 麦類 (子実用) の収穫量 (全国農業地域別・都道府県別) - 小麦. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001145339> (2017/2/22 閲覧).

農林水産省 2016b. 平成 27 年度食料需給表. <http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/attach/pdf/index-1.pdf> (2017/2/22 閲覧).

農林水産省 2017. 経営所得安定対策等実施要綱. http://www.maff.go.jp/j/kobetu_ninaite/keiei/attach/pdf/youkou-16.pdf (2017/7/25 閲覧).

Oda, M., Yasuda, Y., Okazaki, S., Yamauchi, Y. and Yokohama, Y. 1980. A method of flour quality assessment for Japanese noodles. *Cereal Chem.* 57: 253-254.

Oh, N. H., Seib, P.A. and Chung, D.S. 1985. Noodles. IV. Influence of flour protein, extraction rate, particle size, and starch damage on the quality characteristics of dry noodles. *Cereal Chem.* 62: 441-446.

Park, C.S. and Baik, B-K. 2002. Flour characteristics related to optimum water absorption of noodle dough for making white salted noodles. *Cereal Chem.* 79: 867-873.

- Park, C.S., Hong, B.K. and Baik, B-K. 2003. Protein quality of wheat desirable for making fresh white salted noodles and its influences on processing and texture of noodles. *Cereal Chem.* 80: 297-303.
- Park, S.J. and Baik, B-K. 2009. Quantitative and qualitative role of added gluten on white salted noodles. *Cereal Chem.* 86: 646-652.
- Park C.S., Kang, C-S., Jeung, J-U. and Woo, S-H. 2011. Influence of allelic variations in glutenin on the quality of pan bread and white salted noodles made from Korean wheat cultivars. *Euphytica.* 180: 235-250.
- Payne, P.I., Corfield, K.G. and Blackman, J.A. 1979. Identification of a high-molecular-weight subunit of glutenin whose presence correlates with bread-making quality in wheats of related pedigree. *Theor. Appl. Genet.* 55: 153-159.
- Payne, P.I. and Lawrence, G.J. 1983. Catalogue of alleles for the complex gene loci, *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1* which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Res. Commun.* 11: 29-35.

Payne, P.I., Nightingale, M.A., Krattiger, A.F. and Holt, L.M.

1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *J. Sci. Food Agric.* 40: 51-65.

佐藤 暁子・小綿美環子・中村信吾 1999. コムギの製パン適性に及

ぼす窒素追肥時期の影響. *日作紀.* 68: 217-223.

Shewry, P.R. and Tatham, A.S. 1997. Disulphide bonds in wheat

gluten proteins. *J. Cereal Sci.* 25: 207-227.

島崎由美・渡邊好昭 2010. コムギの子実タンパク質含有率—栽培

による制御の可能性—. *日作紀.* 79: 407-413.

島崎由美・渡邊好昭・関昌子・松山宏美・平沢正 2016. 窒素の開

花期追肥が水田で栽培されたコムギの製パン性に及ぼす影響.

日作紀. 85: 294-301.

食品総合研究所. 1985. 小麦の品質評価法—官能評価によるめん適

性—.

Singh, N.K., Donovan, R. and MacRitchie, F. 1990. Use of

sonication and size-exclusion high-performance liquid chromatography in the study of wheat flour proteins. II.

Relative quantity of glutenin as a measure of breadmaking quality. *Cereal Chem.* 67: 161-170.

Stark, J.C. and Tindall, T.A. 1992. Timing split applications of nitrogen for irrigated hard red spring wheat. J. Prod. Agr. 5: 221-226.

Tabiki, T., Ikeguchi, S. and Ikeda, T.M. 2006. Effect of high-molecular-weight and low-molecular-weight glutenin subunit alleles on common wheat flour quality. Breed. Sci. 56: 131-136.

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. 群馬県農技セ研報. 7: 1-12.

Takata, K., Yamauchi, H., Iriki, N. and Kuwabara, T. 1999. Prediction of bread-making quality by prolonged swelling SDS-sedimentation test. Breed. Sci. 49: 221-223.

Takata, K., Yamauchi, H., Nishio, Z. and Kuwabara, T. 2000. Effect of high molecular weight glutenin subunits on bread-making quality using near-isogenic lines. Breed. Sci. 50: 303-308.

Takata, K., Yamauchi, H., Nishio, Z., Funatsuki, W. and Kuwabara, T. 2002. Effect of high-molecular-weight glutenin subunits with different protein contents on bread-making quality. Food Sci. Technol. Res. 8: 178-182.

Takata, K., Nishio, Z., Funatsuki, W., Kuwabara, T. and Yamauchi, H. 2003. Difference in combination between *Glu-B1* and *Glu-D1* alleles in bread-making quality using near-isogenic lines. *Food Sci. Technol. Res.* 9: 67-72.

高田兼則・谷中美貴子・池田達哉・石川直幸 2008. 日本麵用小麦の生地物性に対する *Glu-A1* と *Glu-D1* 対立遺伝子の相互作用と *Glu-A1* 対立遺伝子の PCR マーカーの開発. *育種学研究* 10: 41-48.

高山敏之・長嶺敬・石川直幸・田谷省三 2004. コムギにおける出穂 10 日後追肥の効果. *日作紀* 73: 157-162.

谷藤健・金子成延・松倉潮 2003. 小麦のデンプンおよびグルテンの特性がゆでめんのテクスチャーに及ぼす影響. *食科工.* 50: 333-338.

Tipples, K.H. and Kilborn, R.H. 1974. Baking strength index and the relation of protein content to loaf volume. *Can. J. Plant Sci.* 54: 231-234.

Toyokawa, H., Rubenthaler, G.L., Powers, J.R. and Schanus, E.G. 1989. Japanese noodle qualities. I. Flour components. *Cereal Chem.* 66: 382-386.

Wheat Marketing Center 2008. *Wheat and Flour Testing*

Methods: A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality.

Version 2. Kansas State University, Manhattan. 45-46

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.

Yanaka, M., Takata, K., Ikeda, T.M. and Ishikawa, N. 2007. Effect of the high-molecular-weight glutenin allele, *Glu-D1d*, on noodle quality of common wheat. *Breed. Sci.* 57: 243-248.

谷中美貴子・高田兼則・池田達哉・石川直幸 2011. タンパク質含量がコムギのポリマータンパク質の量と分子量分布に及ぼす影響. 日作紀 80: 77-83.

Yun, S.H., Quail, K. and Moss, R. 1996. Physicochemical properties of Australian wheat flours for white salted noodles. *J. Cereal Sci.* 23: 181-189.

Yun, S.H., Rema, G. and Quail, K. 1997. Instrumental assessment of Japanese white salted noodle quality. *J. Sci. Food Agric.* 74: 81-88.

Zebarth, B.J. and Sheard, R.W. 1992. Influence of rate and timing of nitrogen-fertilization on yield and quality of hard

red winter-wheat in Ontario. *Can. J. Plant Sci.* 72: 13-19.

Zhang, X., Jin, H., Zhang, Y., Liu, D., Li, G., Xia, X. and Zhang, A. 2012. Composition and functional analysis of low-molecular-weight glutenin alleles with Aroona near-isogenic lines of bread wheat. *BMC Plant Biol.* 12: 243.

本研究の基礎となる論文目録

1. 学術論文

- 1) 谷中美貴子・高田兼則・石川直幸・高橋肇 2016. 日本麵用コムギにおける *Glu-A1* および *Glu-D1* 座サブユニット構成の違いがタンパク質組成に及ぼす影響. 日作紀 85: 403-410.

* 第 1 章

- 2) 谷中美貴子・高田兼則・船附稚子・石川直幸・高橋肇 2017. 日本麵用コムギにおける *Glu-A1* 座と *Glu-D1* 座支配のグルテニンサブユニット構成, タンパク質含有率の違いが製麵適性に及ぼす影響. 日作紀 86: 169-176.

* 第 2 章