

## 品質・加工

# 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

谷中美貴子・高田兼則・池田達哉・石川直幸

(近畿中国四国農業研究センター)

**要旨：**タンパク質含量がポリマータンパク質の量と分子量分布に及ぼす影響を、生地の異なるコムギ4品種を用いて、サイズ排除高速液体クロマトグラフィーにより分析した。タンパク質含量の増加に対し、主にグリアジンを含む、可溶性モノマータンパク質が最も増加した。ポリマータンパク質の中では、重合度の低い可溶性ポリマータンパク質が、重合度の高い不溶性ポリマータンパク質よりも増加した。生地の強さの指標となる、不溶性ポリマータンパク質の全タンパク質、全ポリマータンパク質に占める割合 (UPP (%), UPP/TPP (%)) や、タンパク質含量の増加に対する SDS 沈降価の増加程度は、品種間で有意に異なり、タンパク質含量の増加に対する生地の向上程度が品種間で異なることが示唆された。これらの品種間差異は、タンパク質含量の増加に対して、可溶性あるいは不溶性ポリマータンパク質の増加程度が品種間で異なることに起因すると考えられた。ふくさやか、ニシノカオリでは、ミナミノカオリ、農林 61 号と比べて、全ポリマータンパク質の全タンパク質に占める割合や、UPP (%), UPP/TPP (%) が有意に低く、また、タンパク質含量の増加に対し、可溶性ポリマータンパク質の増加程度が大きく、不溶性ポリマータンパク質の増加程度が小さい傾向にあった。これらの品種では *Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットが欠失しており、増加したタンパク質におけるグルテニン重合度の違いは、主に *Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットの有無に由来する可能性が考えられた。

**キーワード：**生地の物性、コムギ、タンパク質含量、品種、分子量分布、ポリマータンパク質。

コムギの子実タンパク質含量は製パン性や製めん性など加工適性に影響を及ぼす重要な要因である。2005 年産より導入された、コムギの収穫後の品質評価によるランク区分では、用途別に容積重、フォーリングナンバー、灰分含量、タンパク質含量の基準値が定められている。一般的に、タンパク質含量が高くなるにつれて生地の物性が強くなると考えられており、タンパク質含量の基準値は日本めん用コムギでは 9.7–11.3%，パン用コムギでは 11.5–14.0%とされている。西日本地域で生産されるコムギはタンパク質含量が低い傾向にあり、適正なタンパク質含量を得られるよう、開花期追肥を主とする施肥法が指導されている。

製パン性、製めん性などの加工適性はタンパク質含量だけでなく、グルテンを構成するグルテニンやグリアジンの遺伝子型構成にも影響される。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、グルテニンサブユニットと生地の物性との関係について、多くの研究がなされている。高分子量グルテニンサブユニットの *Glu-D1* 座の 5+10 サブユニットは生地の物性を強くする効果が高いことが明らかにされている (Payne ら 1979, Moonen ら 1982, Branlard and Dardevet 1985, Lawrence ら 1987, Payne ら 1987, Takata ら 2002)。一方、*Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットの欠失 (null) は製パン性を低下させることが明らかにされている (Payne ら 1979, Moonen ら 1982)。グルテニンが重合してポリマー

化したタンパク質の分子量分布は、生地の物性の重要な指標であり、分子量の大きい不溶性グルテニンポリマータンパク質の量やその相対的な割合は、生地の物性の強さを表す種々のパラメーターや製パン性と正の相関にあることが報告されている (Singh ら 1990, Gupta ら 1993)。また、不溶性グルテニンポリマータンパク質の相対的な割合と高分子量グルテニンサブユニットや低分子量グルテニンサブユニットの構成との関係が報告されている (Gupta and MacRitchie 1994, Gupta ら 1995)。

一般的に、タンパク質含量が高くなるにつれて生地の物性は向上するが、タンパク質含量と生地の物性との関係には遺伝的要因も影響する。パン用品種を用いて、開花期の窒素追肥に対する生地の物性の向上程度が品種間で異なることや (岩淵ら 2007)、高分子量グルテニンサブユニット構成がタンパク質含量の増加に対する生地の物性の向上程度に影響することが報告されている (Takata ら 2002)。そこで、本研究では、生地の物性において重要な役割を果たすグルテニンポリマーの分子量分布に注目し、品種及びタンパク質含量が生地の物性やポリマータンパク質の量、分子量分布に及ぼす影響について調べた。

## 材料と方法

### 1. 供試材料

軟質コムギで日本麺用品種の農林 61 号、ふくさやか、

第1表 供試品種の高分子量グルテニンサブユニット構成と 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.

	高分子量グルテニン サブユニット			供試数	小麦粉 タンパク質 含量 (%)	TPP (%)	UPP (%)	UPP/TPP (%)	EMP (%)
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>						
農林 61 号	2*	7+8	2.2+12	9	7.9 <sup>b</sup>	41.0 <sup>a</sup>	19.2 <sup>b</sup>	46.8 <sup>b</sup>	53.7 <sup>b</sup>
ふくさやか	null	7+8	2.2+12	10	8.4 <sup>b</sup>	35.9 <sup>b</sup>	12.2 <sup>d</sup>	34.0 <sup>d</sup>	59.2 <sup>a</sup>
ニシノカオリ	null	7+8	2+12	8	10.1 <sup>a</sup>	35.1 <sup>b</sup>	14.3 <sup>c</sup>	40.7 <sup>c</sup>	58.5 <sup>a</sup>
ミナミノカオリ	1	7+8	2.2+12	12	10.1 <sup>a</sup>	39.5 <sup>a</sup>	20.9 <sup>a</sup>	53.0 <sup>a</sup>	54.6 <sup>b</sup>

平均値を示す. TPP (%), UPP (%), EMP (%) はそれぞれ全ポリマータンパク質, 不溶性ポリマータンパク質, 可溶性モノマータンパク質の全タンパク質に占める割合を表す. UPP/TPP (%) は UPP の TPP に占める割合を表す. 同じ列の同一アルファベット間には5%水準で有意差なし (Tukey-Kramer の多重検定).

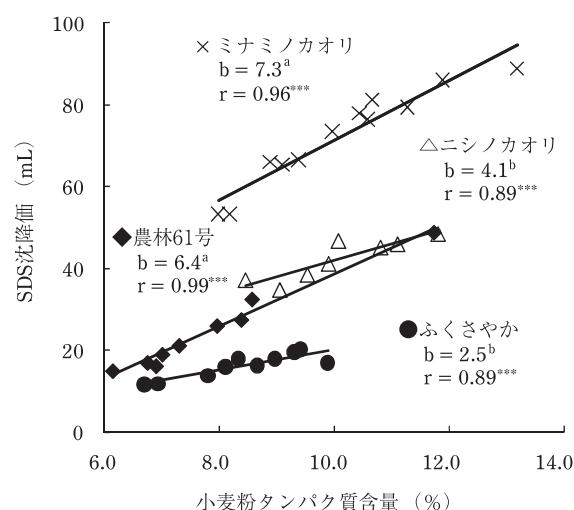
硬質コムギでパン用品種のニシノカオリ, ミナミノカオリを用いた. 供試品種の高分子量グルテニンサブユニットの構成を第1表に示す. 本研究では, タンパク質含量が生地物性に及ぼす影響について調べるため, 子実タンパク質含量が7-14%の間で, 異なるタンパク質含量となるように, 適期に播種・栽培された試料を収集した. 農林 61 号は2005年の滋賀県産9点, ふくさやかは2005年の滋賀県産10点, ニシノカオリは2004年の山口県産6点, 2005年の山口県産2点, ミナミノカオリは2005年の広島県産12点を供試した. 供試材料は, 軟質コムギでは子実水分14.5%に, 硬質コムギでは子実水分16%になるように加水し, ビューラーテストミル (Buhler 社, MLU-202) で製粉して, 小麦粉 (60%粉) を調製した.

## 2. タンパク質含量及び SDS 沈降価の測定

小麦粉の粗タンパク質含量は, 窒素分析装置 (elementar 社, rapid NIII) を用いて, 小麦粉の窒素含量を測定し, タンパク質換算係数 5.70 を乗じて算出した (水分 13.5%換算). SDS 沈降価は, 小麦粉 3.5 g を用いて Takata ら (1999) の方法に従って測定した.

## 3. タンパク質の抽出及びサイズ排除高速液体クロマトグラフィーによる分析

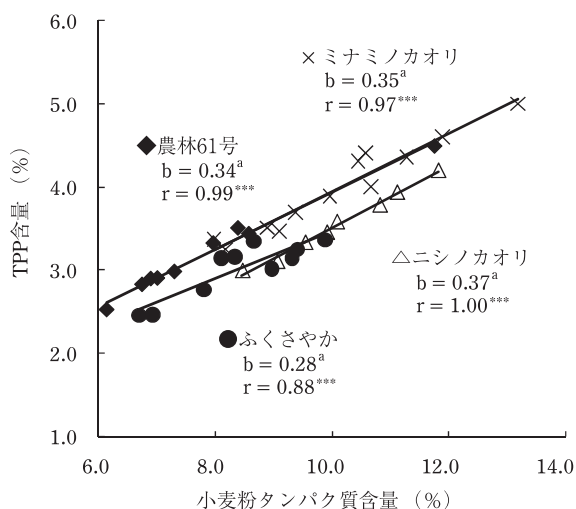
小麦粉からの可溶性タンパク質, 不溶性タンパク質の抽出及び抽出タンパク質のサイズ排除高速液体クロマトグラフィー (SE-HPLC) は Gupta ら (1993) の方法を一部変更した Yanaka ら (2007) の方法により行った. すなわち, 小麦粉約 10 mg に 0.5% (w/v) ドデシル硫酸ナトリウム (SDS) を含む 50 mM リン酸ナトリウム緩衝液 (pH6.9) 1.0 mL を加え, 10 秒間 vortex した後, 2000 rpm で 5 分間振とうした. 12000 × g で 20 分間遠心した後, 得られた上清を可溶性タンパク質とした. 残った沈殿に再度緩衝液 1.0 mL を加えて懸濁し, 超音波分散機 (島津製作所, USP-600A) 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 0.45 μm のフィルターで濾過後, SE-HPLC に供試した. カラムは TSKgel G4000SW (東



第1図 小麦粉タンパク質含量と SDS 沈降価との関係.

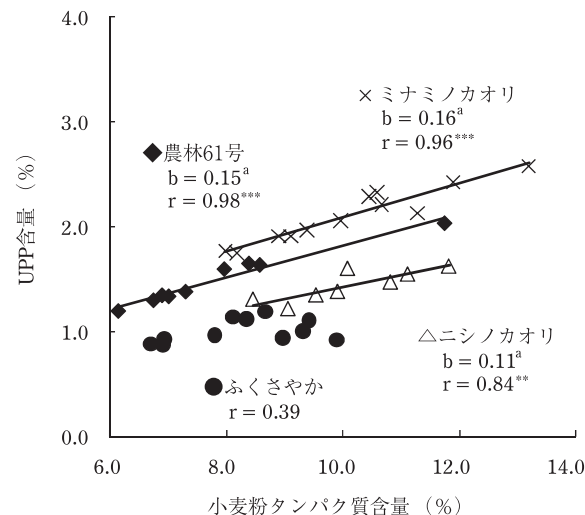
同一アルファベット間には5%水準で有意差なし. b: 回帰直線の傾き. \*\*\*: 0.1%水準で有意.

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, 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. これにより, 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 つに分類した. また, EPP と UPP の和を全ポリマータンパク質 (TPP) とした. 各タンパク質の全タンパク質に占める割合は, それぞれに対応するピーク面積と, タンパク質の総ピーク面積 (EPP, EMP, UPP, UMP の和) の比から算出し, EPP (%) のように表記した. また, この割合に小麦粉タンパク質含量を乗じたものを, 各タンパク質の小麦粉中に占める含量とし, EPP 含量 (%) のように表記した. 統計処理は Statview (SAS Institute Inc.) を用いて行った.



第2図 小麦粉タンパク質含量と全ポリマータンパク質 (TPP) 含量との関係。

TPP 含量は TPP の小麦粉中に占める含量を示す。同一アルファベット間には5%水準で有意差なし。b: 回帰直線の傾き。  
\*\*\*: 0.1%水準で有意。



第3図 小麦粉タンパク質含量と不溶性ポリマータンパク質 (UPP) 含量との関係。

UPP 含量は UPP の小麦粉中に占める含量を示す。同一アルファベット間には5%水準で有意差なし。b: 回帰直線の傾き。  
\*\*\*, \*\*: 0.1%, 1%水準でそれぞれ有意。

## 結 果

### 1. SDS 沈降価とタンパク質含量との関係

SDS 沈降価と小麦粉タンパク質含量との関係を第1図に示す。SDS 沈降価は同程度のタンパク質含量ではミナミノカオリで最も高く、ふくさやかで最も低かった。いずれの品種においても小麦粉のタンパク質含量と SDS 沈降価との間に有意な正の相関 (農林61号  $r=0.99^{***}$ 、ふくさやか  $r=0.89^{***}$ 、ニシノカオリ  $r=0.89^{***}$ 、ミナミノカオリ  $r=0.96^{***}$ ) が見られた。タンパク質含量の増加に対する SDS 沈降価の増加程度 (回帰直線の傾き:  $b$ ) は、ミナミノカオリ、農林61号でニシノカオリ、ふくさやかよりも有意に大きかった。

### 2. 各タンパク質の構成割合

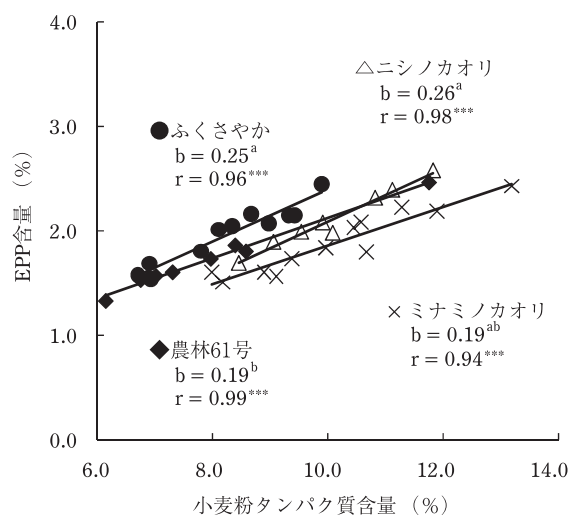
SE-HPLC により分画された各タンパク質の全タンパク質に占める割合を第1表に示す。主にグリアジンを含む可溶性モノマータンパク質 (EMP) が全タンパク質の50%以上を占め、グルテニン重合度の高い不溶性ポリマータンパク質の全タンパク質に占める割合 (UPP (%)) は10~20%程度であった。農林61号とミナミノカオリの全ポリマータンパク質の全タンパク質に占める割合 (TPP (%)) は、ふくさやか、ニシノカオリと比べて高く、EMPの全タンパク質に占める割合 (EMP (%)) はふくさやか、ニシノカオリと比べて低かった。また、不溶性ポリマータンパク質の全タンパク質、全ポリマータンパク質に占める割合 (それぞれ UPP (%), UPP/TPP (%)) は、いずれも生地物性の指標となるが、有意な品種間差異が見られ、ミナミノカオリ>農林61号>ニシノカオリ>ふくさやかの順であった。

### 3. ポリマータンパク質と小麦粉タンパク質含量との関係

全ポリマータンパク質の小麦粉中に占める含量 (TPP 含量) と小麦粉タンパク質含量との関係を第2図に示す。第1表の TPP (%) で示されるように、同程度のタンパク質含量では、農林61号、ミナミノカオリの TPP 含量はふくさやか、ニシノカオリと比べて高かった。いずれの品種においても小麦粉タンパク質含量と TPP 含量との間に有意な正の相関 (農林61号  $r=0.99^{***}$ 、ふくさやか  $r=0.88^{***}$ 、ニシノカオリ  $r=1.00^{***}$ 、ミナミノカオリ  $r=0.97^{***}$ ) が見られた。タンパク質含量の増加に対する TPP の増加程度 (回帰直線の傾き:  $b$ ) に有意な品種間差異はなかった。

不溶性ポリマータンパク質の小麦粉中に占める含量 (UPP 含量) と小麦粉タンパク質含量との関係を第3図に示す。第1表の UPP (%) で示されるように、同程度のタンパク質含量では、UPP 含量はミナミノカオリ>農林61号>ニシノカオリ、ふくさやかの順であった。ふくさやかを除き、小麦粉タンパク質含量と UPP 含量との間に有意な正の相関 (農林61号  $r=0.98^{***}$ 、ニシノカオリ  $r=0.84^{**}$ 、ミナミノカオリ  $r=0.96^{***}$ ) が見られた。ふくさやかの UPP 含量は小麦粉タンパク質含量8%程度までは増加したが、それより高くなると増加しなかった。タンパク質含量の増加に対する UPP の増加程度 (回帰直線の傾き:  $b$ ) に有意な品種間差異はなかったが、UPP (%) が高い品種ほど大きい傾向であった。

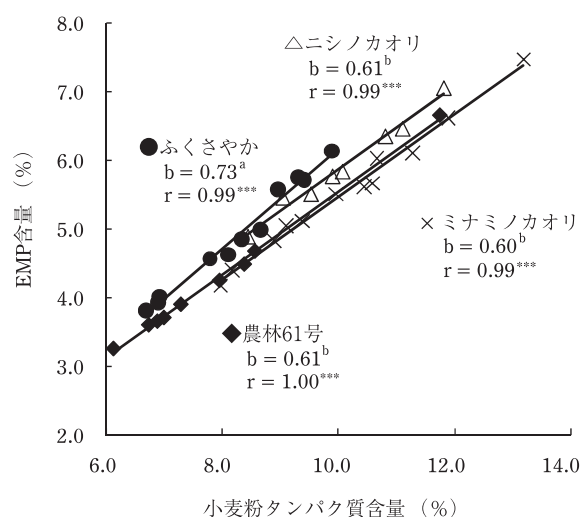
可溶性ポリマータンパク質の小麦粉中に占める含量 (EPP 含量) と小麦粉タンパク質含量との関係を第4図に示す。同程度のタンパク質含量では、EPP 含量はふくさやか>農林61号、ニシノカオリ>ミナミノカオリであった。いずれの品種においても小麦粉タンパク質含量と EPP 含



第4図 小麦粉タンパク質含量と可溶性ポリマータンパク質 (EPP) 含量との関係。

EPP 含量は EPP の小麦粉中に占める含量を示す。同一アルファベット間には5%水準で有意差なし。b: 回帰直線の傾き。

\*\*\*; 0.1%水準で有意。



第5図 小麦粉タンパク質含量と可溶性モノマータンパク質 (EMP) 含量との関係。

EMP 含量は EMP の小麦粉中に占める含量を示す。同一アルファベット間には5%水準で有意差なし。b: 回帰直線の傾き。

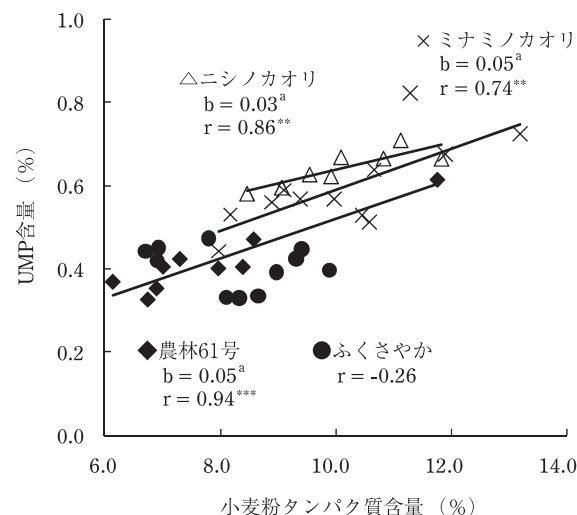
\*\*\*; 0.1%水準で有意。

量との間に有意な正の相関 (農林 61 号  $r=0.99^{***}$ , ふくさやか  $r=0.96^{***}$ , ニシノカオリ  $r=0.98^{***}$ , ミナミノカオリ  $r=0.94^{***}$ ) が見られた。タンパク質含量の増加に対する EPP の増加程度 (回帰直線の傾き:  $b$ ) は, UPP のそれよりも大きかった。EPP の増加程度はニシノカオリ, ふくさやかで農林 61 号と比べて有意に大きかった。

#### 4. モノマータンパク質と小麦粉タンパク質含量との関係

可溶性モノマータンパク質の小麦粉中に占める含量 (EMP 含量) と小麦粉タンパク質含量との関係を第5図に示す。第1表の EMP (%) で示されるように, 同程度のタンパク質含量では, EMP 含量はふくさやか, ニシノカオリで農林 61 号, ミナミノカオリよりも高かった。いずれの品種においても小麦粉タンパク質含量と EMP 含量との間に有意な正の相関 (農林 61 号  $r=1.00^{***}$ , ふくさやか  $r=0.99^{***}$ , ニシノカオリ  $r=0.99^{***}$ , ミナミノカオリ  $r=0.99^{***}$ ) が見られた。タンパク質含量の増加に対する EMP の増加程度 (回帰直線の傾き:  $b$ ) は, SE-HPLC によって分類されたタンパク質の中で最も大きく, ふくさやかで他の3品種よりも有意に大きかった。

不溶性モノマータンパク質の小麦粉中に占める含量 (UMP 含量) と小麦粉タンパク質含量との関係を第6図に示す。ふくさやかを除き, 小麦粉タンパク質含量と UMP 含量との間に有意な正の相関 (農林 61 号  $r=0.94^{***}$ , ニシノカオリ  $r=0.86^{**}$ , ミナミノカオリ  $r=0.74^{**}$ ) が見られた。タンパク質含量の増加に対する UMP の増加程度 (回帰直線の傾き:  $b$ ) は, 他のタンパク質と比べて非常に小さく, また, 有意な品種間差異はなかった。



第6図 小麦粉タンパク質含量と不溶性モノマータンパク質 (UMP) 含量との関係。

UMP 含量は UMP の小麦粉中に占める含量を示す。同一アルファベット間には5%水準で有意差なし。b: 回帰直線の傾き。

\*\*\*, \*\*; 0.1%, 1%水準でそれぞれ有意。

#### 考 察

コムギのタンパク質含量は開花期追肥等の出穂期以降の窒素追肥によって高まることが知られており, 高タンパク質化は主に生地物性の向上を目的として行われる。本研究においても, タンパク質含量の増加に伴い, いずれの品種においても SDS 沈降価は高くなったため, 生地物性が強くなったと考えられた。しかし, タンパク質含量の増加はポリマー及びモノマータンパク質の様な増加をもたらすのではない。タンパク質含量の増加に伴い, 主にグリアジ



ンを含む可溶性モノマータンパク質が最も増加し、次いで、グルテニン重合度の低い可溶性ポリマータンパク質が、グルテニン重合度の高い不溶性ポリマータンパク質よりも増加した。この結果は、タンパク質含量の増加に伴い、グリアジンが他の構成タンパク質よりも高い割合で増加するという既報 (Gupta ら 1992, Johansson ら 2003, 木村ら 2003) や、仲島ら (2004) の SDS 可溶性グルテニン (=EPP) はタンパク質含量の増加に対して直線的に増加するが、SDS 不溶性グルテニン (=UPP) は量の変化が小さいという報告を支持するものである。また、タンパク質含量の増加に対して、グリアジンを含む可溶性モノマータンパク質の増加が最も大きいことは、ポリマータンパク質の割合やグルテニン・グリアジン比の低下をもたらすため、木村ら (2001) のタンパク質含量の増加に伴い、グルテニン / グリアジン比が低下するという報告と一致する。

本研究ではタンパク質含量における変異が大きい試料を得るため、産地・年次が異なる試料を用いた。そのため、本研究の結果は環境的要因による誤差を含んでいる可能性を除外できない。しかし、木村ら (2002) の報告によると、子実タンパク質含量の増加は、土壌や出穂後追肥などの窒素供給源に関わらず、子実タンパク質含量と関連するグルテン構成タンパク質 (グルテニンとグリアジン) の増加によって生じるとある。すなわち、土壌や施肥法の違いはタンパク質含量に影響するが、グルテニンやグリアジンの構成割合はほとんど変わらないと考えられる。また、本報告で用いなかった他県産の試料を用いて分析した場合においても、SE-HPLC で分画されるタンパク質の含量は、本研究で得られた各タンパク質の回帰直線から大きく外れることがないことを確認している (データ省略)。以上のことから、本研究で見られた品種間差異は、土壌や施肥法の違いによるものではなく、年次等の環境的要因による影響を受けているものの、主として遺伝的要因によるものと判断した。

タンパク質含量の増加はいずれの品種においても生地物性の向上をもたらしたが、タンパク質含量の増加に対し、生地物性の強さの指標となる SDS 沈降価の増加程度は、ミナミノカオリ、農林 61 号でふくさやか、ニシノカオリよりも大きく、生地物性の向上程度は品種間で異なった。この理由として、増加したタンパク質におけるポリマータンパク質の分子量分布が品種によって異なることが考えられる。本研究において、タンパク質含量の増加に対し、全ポリマータンパク質の増加程度に有意な品種間差異はなかったが、生地物性が弱いふくさやかやニシノカオリでは、農林 61 号やミナミノカオリよりも、重合度の高い不溶性ポリマータンパク質の増加程度が小さく、重合度の低い可溶性ポリマータンパク質の増加程度が大きい傾向であった。また、最も生地物性が弱いふくさやかでは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他の品種と比べて顕著であった。ふくさやかやニシノカオリでは生地

物性への効果が小さい可溶性ポリマーあるいはモノマータンパク質の増加が大きいために、生地物性の向上程度が小さいと考えられる。岩淵ら (2007) は、ニシノカオリ、ミナミノカオリに開花期追肥を行うと、両品種ともタンパク質含量が高まるが、生地物性やパン比容積に対する効果はミナミノカオリに比べニシノカオリで小さいと報告している。そして、この違いはグルテンの量ではなく、質的な違いによるとしている。本研究の結果では、ニシノカオリとミナミノカオリで全ポリマータンパク質の増加程度に差はないものの、ニシノカオリでは、重合度の低い可溶性ポリマータンパク質の増加が大きく、増加したグルテニンの重合度はミナミノカオリよりも小さかった。このため、ニシノカオリでは生地物性やパン比容積が高まりにくいものと考えられる。第 1 図に見られるように、生地物性の弱いふくさやかはタンパク質含量を高めても、生地物性の強いミナミノカオリの SDS 沈降価よりも顕著に低い。生地物性が弱い品種では不溶性グルテニンポリマーの量が少ないことに加え、タンパク質含量が高まっても、増加したグルテニンの重合度が高まりにくいいため、生地物性の向上が小さいと考えられる。したがって、高タンパク質化に伴い、品種間の生地物性の強さの違いは一層明瞭になると考えられる。

生地物性は環境的要因と遺伝的要因の両方の影響を受ける。タンパク質含量は、先に述べたように、主として環境的要因 (栽培条件等) の影響を受け、同じタンパク質含量における生地物性の強さやパン比容積、ポリマータンパク質の割合の違いは主として遺伝的要因に影響を受けることが報告されている (Gupta ら 1994, Takata ら 2000, Johansson ら 2001, 岩淵ら 2007)。したがって、本研究で見られたタンパク質含量の増加に対する SDS 沈降価や SE-HPLC で分画されるタンパク質の増加程度における品種間差異は主として遺伝的要因によるものと考えられる。Gupta ら (1995) は高分子量グルテニンサブユニットの欠失は全ポリマータンパク質、不溶性ポリマータンパク質の量を低下させ、不溶性ポリマータンパク質の全ポリマータンパク質に占める割合 (UPP/TPP (%)) を低下させると報告している。また、Gupta ら (1994) は *Glu-B1* 座、*Glu-D1* 座の高分子量グルテニンサブユニットの違いは全ポリマータンパク質の量には影響しないが、不溶性ポリマータンパク質の全ポリマータンパク質に占める割合 (UPP/TPP (%)) に影響すると報告している。これらの報告と、第 1 表に示した供試品種のグルテニンサブユニット構成から、ふくさやか、ニシノカオリの全ポリマータンパク質の全タンパク質に占める割合 (TPP (%)) や、不溶性ポリマータンパク質の全タンパク質、全ポリマータンパク質に占める割合 (それぞれ UPP (%), UPP/TPP (%)) が、農林 61 号、ミナミノカオリと比べて低いことは、*Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットの有無が影響している可能性が考えられる。また、タンパク質含量の増加に対し、*Glu-A1* 座のグルテニンサブ

ユニットが欠失したふくさやかやニシノカオリでは、*Glu-A1* 座の 2\* や 1 のグルテニンサブユニットを持つ農林 61 号やミナミノカオリと比べて、可溶性ポリマータンパク質の増加が大きく、不溶性ポリマータンパク質の増加が小さい傾向であった。タンパク質含量の増加に対する全ポリマータンパク質の増加程度に差は見られなかったため、*Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットの欠失は、増加したグルテニンの重合度に影響している可能性が考えられる。Takata ら (2002) は準同質遺伝子系統を用いて、*Glu-B1* 座、*Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット構成の違いにより、タンパク質含量の増加に対して生地物性の向上程度が異なることを示しており、また、負の効果を持つグルテニンサブユニットでは生地物性の向上程度が低いことを示している。ふくさやかでは不溶性ポリマータンパク質の増加が顕著となり、可溶性モノマータンパク質の増加が顕著であったが、これは、ふくさやかが *Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットの欠失に加え、生地物性に対して負の効果を持つと報告されている *Glu-D1* 座のグルテニンサブユニット 2.2+12 を持つことが影響している可能性が考えられる。また、本研究で見られた品種間差異は主に高分子量グルテニンサブユニット構成の違いによると考えられたが、グルテニンの重合度は高分子量グルテニンサブユニットだけでなく、低分子量グルテニンサブユニットの影響や、相対的にグリアジンによる影響も受けるため、これらの構成も影響していると考えられる。

ふくさやかやニシノカオリに見られる *Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットの欠失は関東以西のコムギ品種のグルテニンサブユニット構成によく見られる変異である。*Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットの欠失は、ポリマータンパク質の量を減少させるとともに、グルテニンの重合度を低下させるため、生地物性を弱くする。また、本研究の結果から、*Glu-A1* 座のグルテニンサブユニットの欠失により、タンパク質含量の増加による生地物性の向上効果が弱くなる可能性があることが示唆された。パン用などの用途では、タンパク質含量を高めることにより生地物性が強まることが求められるため、このような用途に対しては、本来の生地物性の強さに加え、タンパク質含量の増加に対して、生地物性の向上が十分見込まれる品種が重要と考えられる。グルテニンサブユニット構成が、タンパク質含量の増加に対する生地物性の向上程度に及ぼす影響については、今後、準同質遺伝子系統を用いて、より詳細に解析を行う予定である。

謝辞：本研究の実施にあたり、近畿中国四国農業研究センター業務第 1 科の諸氏、ならびに、旧小麦育種研究室の契約職員、西山範子氏、松井孝子氏、原口有子氏には試料の製粉及び分析にご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

## 引用文献

- Branlard, G. and M. Dardevet 1985. Diversity of grain proteins and bread wheat quality correlation between high-molecular-weight subunits of glutenin and flour quality characteristics. *J. Cereal Sci.* 3 : 345–354.
- Gupta, R.B., I.L. Batey and F. MacRitchie 1992. Relationships between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal Chem.* 69 : 125–131.
- Gupta, R.B., K. Khan and F. MacRitchie 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. and F. MacRitchie 1994. Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, *Glu-1*, *Glu-3* and *Gli-1* of common wheats. II. Biochemical basis of the allelic effects on dough properties. *J. Cereal Sci.* 19 : 19–29.
- Gupta, R.B., Y. Papineau, J. Lefebvre, M. Cornec, G.J. Lawrence and F. MacRitchie 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.
- 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 (1) : 37–44.
- Johannsson E., M.L. Prieto-Linde and J.Ö. Jönsson 2001. Effect of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. *Cereal Chem.* 78 (1) : 19–25.
- Johannsson E., M.L. Prieto-Linde, G. Svensson and J.Ö. Jönsson 2003. Influences of cultivar, cultivation year and fertilizer rate on amount of protein groups and amount and size distribution of mono- and polymeric protein in wheat. *J. Agric. Sci.* 140 : 275–284.
- 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 (3) : 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成果情報 173–174.
- 木村秀也・山内稔 2003. コムギのグルテニン/グリアジン比の品種間差と出穂後追肥による低下。近畿中国四国農業研究成果情報 169–170.
- Lawrence, G.J., H.J. Moss, K. W. Shepherd and C.W. Wrigley 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.
- Moonen, J.H.E., A. Scheepstra and A. Graveland 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.
- 仲島日出男・小島登貴子・鈴木敏正 2004. 県産小麦の地域的な品質変動と製麺適性に関する研究。埼玉県産業技術総合研究センター研究報告 2 : 123–127.
- Payne, P.I., K.G. Corfield and J.A. Blackman 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., M.A. Nightingale, A.F. Krattiger and L.M. Holt 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.
- Singh, N.K., R. Donovan and F. MacRitchie 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.
- Takata, K., H. Yamauchi, N. Iriki and T. Kuwabara 1999. Prediction of bread-making quality by prolonged swelling SDS-sedimentation test. *Breed. Sci.* 49 : 221 – 223.
- Takata, K., H. Yamauchi, Z. Nishio and T. Kuwabara 2000. Effect of high molecular weight glutenin subunits on bread-making quality using near-isogenic lines. *Breeding Sci.* 50 : 303 – 308.
- Takata, K., H. Yamauchi, Z. Nishio, W. Funatsuki and T. Kuwabara 2002. Effect of high-molecular-weight glutenin subunits with different protein contents on bread-making quality. *Food Sci. Technol. Res.* 8 : 178 – 182.
- Yanaka, M., K. Takata, T.M. Ikeda and N. Ishikawa 2007. Effect of the high-molecular-weight glutenin allele, *Glu-D1d*, on noodle quality of common wheat. *Breeding Sci.* 57 : 243 – 248.

**Effect of Protein Content on the Quantity and Size Distribution of Polymeric Protein in Common Wheat** : Mikiko YANAKA, Kanenori TAKATA, Tatsuya M. IKEDA and Naoyuki ISHIKAWA (*WeNARC, NARO, Fukuyama 721-8514, Japan*)

**Abstract** : Influences of protein content on the quantity and molecular size distribution of polymeric proteins were investigated by size-exclusion high-performance liquid chromatography using four wheat cultivars with different dough properties. As protein content increased, extractable monomeric proteins, consisting of mainly gliadins, increased most. With increasing protein content, extractable polymeric proteins that were small polymers increased more than unextractable polymeric proteins that were large glutenin polymers. Significant cultivar differences were found in the ratios of unextractable polymeric protein to total protein (UPP(%)) and to total polymeric protein (UPP/TPP (%)) which are the criteria of dough strength and in the regression slope of SDS-sedimentation volume against protein content. These results indicated that the degree of increase in dough strength with increasing protein content varied with the cultivars. These cultivar differences can be caused by the difference in the degree of increase in extractable or unextractable polymeric proteins due to the increase in protein content. The cultivars ‘Fukusayaka’ and ‘Nishinokaori’ had a significantly lower percentage of total polymeric protein in total protein, UPP (%) and UPP/TPP (%) and showed a larger increase in extractable polymeric protein and relatively smaller increase in unextractable polymeric protein with increasing protein content compared with the cultivars ‘Minaminokaori’ and ‘Norin 61’. Since these cultivars had null allele at the *Glu-A1* locus, the difference in the molecular size distribution of polymeric proteins that contributed to the increase in protein might be explained by the presence or absence of glutenin subunits at the *Glu-A1* locus.

**Key words** : Cultivar, Dough properties, Molecular size distribution, Polymeric protein, Protein content, Wheat.