

JIBはみだし授業

日本パン技術研究所教育コースの興味深いテーマを解説します。

「黒い小麦粉って、 美味しいの？」 【その6】



～高灰分粉の深くて未だに不明瞭な部分の本質を探ります～

(一社)日本パン技術研究所 製パン技術教育事業部 原田 昌博

久しぶりに【その6】を寄稿します。「黒い小麦粉って、美味しいの？」というテーマについては、当然ですが賛否両論があります。上手く使いこなせば栄養面と嗜好性の両方をバランスよく整えることができることは言うまでもないのですが、製粉歩留りによって変動する灰分含量とともに胚乳中心部とは幾分異なった何かがパンの色調や風味に変化を与えます。今回はそれらのうち、小麦粉に含まれる遊離の糖類と遊離のアミノ酸に的を絞って製パンとの関わりについて述べていきます。

*【その5】は本誌2023年2号通巻830号に掲載

13. パンの焼き色の変化

昨今、個人店を中心に、いろいろな小麦粉をブレンドすることでお店の個性を出されている方が増えてきたように感じます。それら小麦粉の中には国産小麦もずいぶん増えてきたように感じます。一方で、製粉をかじった技術者としては、ブレンドしている小麦粉の種類が多いわりには、個々の小麦粉の小麦原料配合や挽き方に由来する特性を見ると、もう少しブレンドしている銘柄の種類を少なく整理できるのと思うこともあります。ブレンドすることによって風味や食感、焼き色が変わることは承知の通りです。そこで、まず焼き色の変化から、

小麦粉の灰分の違いによる成分の変化と品質の関係について掘り下げていきたいと思います。

まず、(図12・右図)をご参照ください。これは強力1等粉に、軟質小麦の「ホクシン」1等粉(現在の後継品種は「きたほなみ」と、石臼挽き粉(原料は硬質小麦で灰分は0.95%)をブレンドした時のブルマン食パン・ストレート法の焼き色を数値として表したグラフを示します。

焼き色指数(撮影画像を焼き色カラーチャートと対比させ数値化するシステムを使用)は数字が大きいほど焼き色が濃いことを示しています。この場合、石臼挽き粉のブレンド比率が高くなるほど焼き色は濃く、「ホクシン」のブレンド比率が高くなるほど焼き色は薄くなっています。その原因を探るべく、3種類の小麦粉を用いて無糖中種生地を調製しファーマグラフ(発酵によって生じる炭酸ガスを自動で測定する装置)に生地を入れ、5分間ごとに発生する炭酸ガスの挙動を調べてみました(図12・左図)。その結果、麦芽糖の発酵による炭酸ガスの発生は、発酵開始後1～1.5時間以降の挙動に大きな違いが見られました。この2つ目のピークの持続性は損傷デンプン量や α -アミラーゼ活性と関係しています。本試験で使用した石臼挽き粉の発酵持続性について損傷デンプンによるものなのか、あ

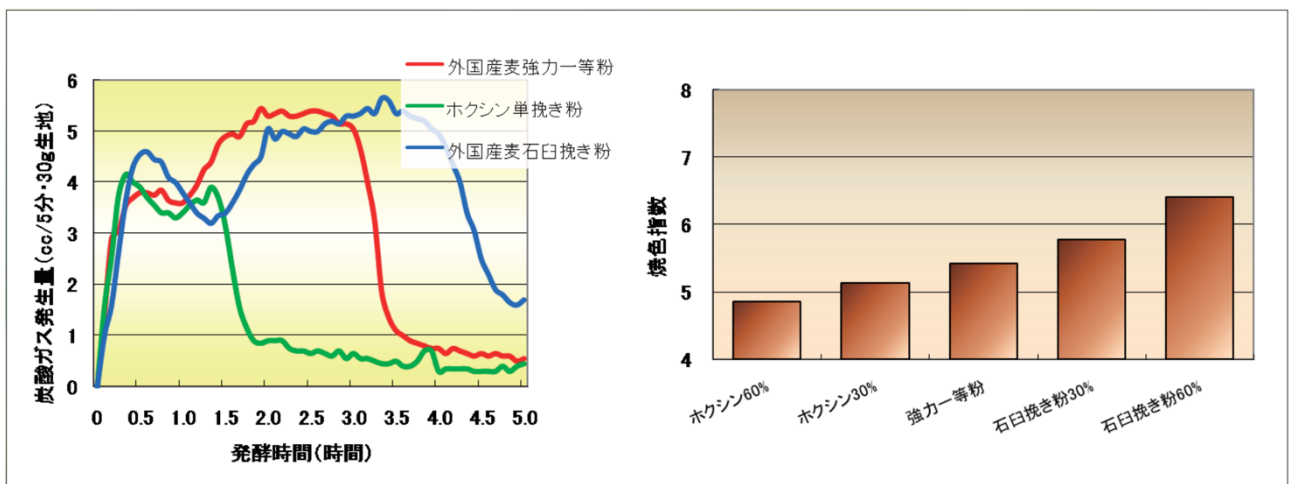


図12. 小麦粉の無糖中種生地の発酵特性とストレート法食パンの焼き色・その1(パン技研内部資料)

るいは α -アミラーゼ活性に起因するのかを考えると、原料小麦が外国産硬質小麦であるため α -アミラーゼ活性が多過ぎるような規格外で輸入されている可能性が極めて低いと考えられます。このため α -アミラーゼ活性の影響はほぼ無視して良い（規格内の活性）と考えます。よって発酵持続性の主な原因は損傷デンプンが多いためではないかと推測されます。小麦粉中の損傷デンプンは水と触れることで吸水し、小麦粉中の β -アミラーゼによる分解を受けて一部は芽糖まで分解されます。この麦芽糖の蓄積量が増えることでパン酵母は餌を食べ続ける（発酵持続性）ことが可能となっており、結果としてこれが発酵の継続につながるわけです。一般に硬質小麦・石臼挽き粉のブレンド比率を増やすと生地中の損傷デンプンが増えるため製パン吸水率は高くなります。そして製パン工程の進行とともに損傷澱粉の分解によって損傷澱粉からの離水した水により生地の流動性が高まり、生地の弾性は高まりにくいように感じられます。その反面、生地中に麦芽糖が蓄積します。この麦芽糖を製パン工程中にパン酵母が食べる（資化）ことになるのですが、図12で行なった全試験区において添加したパン酵母量が同一で、生地温度や製パン工程が共通なので、麦芽糖蓄積量が多いほどホイロ終了時の食べ残しが増え、生地中の残糖量が多くなり、結果として焼き色が濃くなるというわけです。

ファームグラフのカーブの違いはもう一つあり、1つ目のピークの高さにも違いが見られます。灰分含量の高い石臼挽き粉は発酵開始～1時間にかけての発酵が幾分旺盛という傾向です。この発酵初期の挙動については後述します。

そこで余談になりますが、石臼製粉について簡単に補足しておきます。石臼製粉は一般的なビュラー社の工場製粉（多段階式ロール製粉）とは違って、基本的に1台の石臼で製粉するため、工場製粉のように1粒の麦からいろいろな性格の小麦粉に取り分けて用途に応じてブレンドすることができません。よって小麦粒をそのまま製粉すると全粒粉になります。最近では事前に麦の表面をとう精・研磨する場合もあり、この場合でも

小麦粒の溝（クリーズ）の内部までは磨くことができないため、比較的灰分含量の高い小麦粉になります。国内の石臼製粉は一般に石臼の回転数が遅く、生産速度も低いこともあって製粉時の発熱が多段階式ロール製粉（製粉機械のロールは一般に水冷式、冷却しないと摩擦熱で小麦粉の温度が高くなりすぎる）と比べると低く、粉温度も比較的低い温度で維持され、酸化などの化学反応を受けにくく、酵素の失活の程度も低いといわれています（ただし、海外では小麦粉にナッツの香りを与えるほどの高温条件下で製粉するケースもあります）。また、多段階式ロール製粉のような数多くの篩で篩い分けられないことがないため、灰分が高く、粒度分布帯も幅広くなります。本来、粗い粒子は損傷デンプンが少ないため発酵に対する耐性（安定性）は高くなるのですが、損傷デンプンの多い細かい粒子も多く含まれるため（灰分も高いことも含めて）発酵安定性という特性は相殺されます。損傷デンプンや繊維分が多いために加水量は増え、発酵安定性は低く、製パン工程の途中の加工硬化（パンチや丸め）を強く行なったとしても、生地は軟化（損傷デンプンの分解や繊維質からの離水による）してきます。したがって石臼挽き粉を適量ブレンドされた直焼き製品で、且つパン酵母の少ない製法や冷蔵法というような工程を経ると、濃い焼き色と非常に甘い風香気を演出することができます（パン技術No.658号）。

次に損傷デンプンの量以外に、遊離のアミノ酸含量が焼き色の濃淡に関わっている可能性を示唆する事例を述べます。図13ではショート挽き1等粉（パテント粉）と2等粉（灰分0.55%）を用いて、同様にストレート法・食パンを作りました。その時の焼き色が図13・右図です。1等粉100%（灰分0.38%）に対して2等粉のブレンド比率が高くなるに従って僅かながら焼き色が濃くなっています。そこで、同様に損傷デンプン含量を予測すべく無糖中種生地を調製しファームグラフと比較してみました。その結果、予想を裏切る結果となったのです。つまり焼き色が濃くなる2等粉の方が早く発酵が尽きてしまった

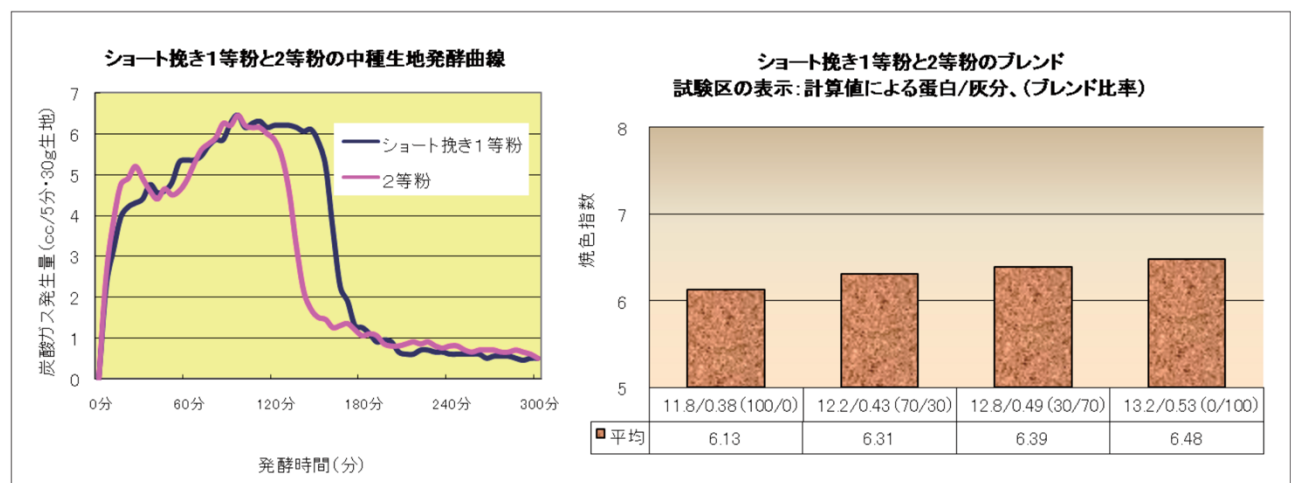


図13. 小麦粉の無糖中種生地の発酵特性とストレート法食パンの焼き色・その2(パン技研内部資料)

ということです。そして、図12・左図の石臼挽き粉の傾向と同様に発酵初期（測定開始から1時間）の発酵は灰分の高い2等粉の方が僅かに旺盛でした。したがって、これらの原因が何かを探る目的で、次章の通り成分分析を行う事となったわけです。

14. 小麦粉中の灰分含量と遊離の糖類

灰分の違いによって無糖中種生地の発酵の初期のピークの高さ（測定開始から約1時間までの炭酸ガス発生量）が高くなる理由と、製法によって（特に短時間法）焼き色が赤黒くなる理由を解明するために、灰分含量や挽き方の異なる様々な小麦粉をメーカーから取り寄せ、小麦粉にもともと含まれる遊離の糖類について分析しました。その結果（図14）、無糖生地発酵初期のパン酵母の発酵に寄与するブドウ糖・果糖・ショ糖（赤線）含量と灰分含量との間に相関が高いことが判明しました。また、3種類の糖類の中でもショ糖が最も多い（データは省略）ということも判りました。いずれにしても、ショ糖は早い段階でパン酵母の持つインベルターゼ（ショ糖分解酵素）によってブドウ糖と果糖に分解されるので、これらの糖質が無糖中種生地の発酵の立ち上がりの早さに貢献し、且つ、少量のイーストを使用するような発酵種製法や、低温で発酵を抑制する冷蔵法ではホイロ時の残糖量を増やすことに繋がり、麦芽糖よりも濃い発色（コゲ茶色）のブドウ糖、赤く発色する果糖（110～145℃辺りからカラメル化反応が起る）が、直焼きパンや全粒粉をブレンドしたパン類などの焼き色の変化に影響を与えているということも判りました。これに対して小麦粉自体にも最初から遊離の麦芽糖（青線）が含まれていましたが、灰分含量との間には相関が非常に低いことも判りました。麦芽糖は

製パン工程中に小麦粉が氷に濡れ、損傷デンプンがアミラーゼによって分解されていくことで増えていきます。したがって、黒い小麦粉に含まれる極僅かな発酵に影響を及ぼす糖類は麦芽糖ではなく、麦芽糖よりも甘味度の高いショ糖ということになります。他方、製粉による衝撃を受けて傷ついた損傷デンプンがアミラーゼによって分解されて蓄積される麦芽糖や、小麦粉を熱湯で混捏処理し冷却する（湯捏ね処理）ことで蓄積する麦芽糖は、小麦（粒）由来というよりは、むしろ製粉方法や製パン方法に依存した加工理によって生じる甘みということになります。それ故に「小麦（粒）本来の甘さ」はショ糖であり、白く製粉するほど失われていき、「小麦に手を加えて酵素を作用させることによって生まれる甘さ」が麦芽糖ということになります。そして、このことは製パンに限らず、製麺にも共通していることは容易に想像できます。

15. 小麦粉中の灰分含量と遊離のアミノ酸類

次に、小麦粉中の損傷デンプン含量が少ない黒い小麦粉にも関わらず焼き色が黒くなる原因を、メイラード反応の基質となる遊離のアミノ酸の観点で調べてみました。その結果は図15の通りです。ここで分析したアミノ酸は、アスパラギン酸、スレオニン、セリン、アスパラギン、グルタミン酸、グルタミン、グリシン、アラニン、バリン、シスチン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、チロシン、フェニルアラニン、トリプトファン、リジン、ヒスチジン、アルギニン、プロリンで、これらの合計値を赤線で示しています。それらの内、一部の乳酸菌の発酵代謝によってオルニチン（メイラード反応後のストレッカー分解反応によってパンの香ばしい香り成分になる成分）に変

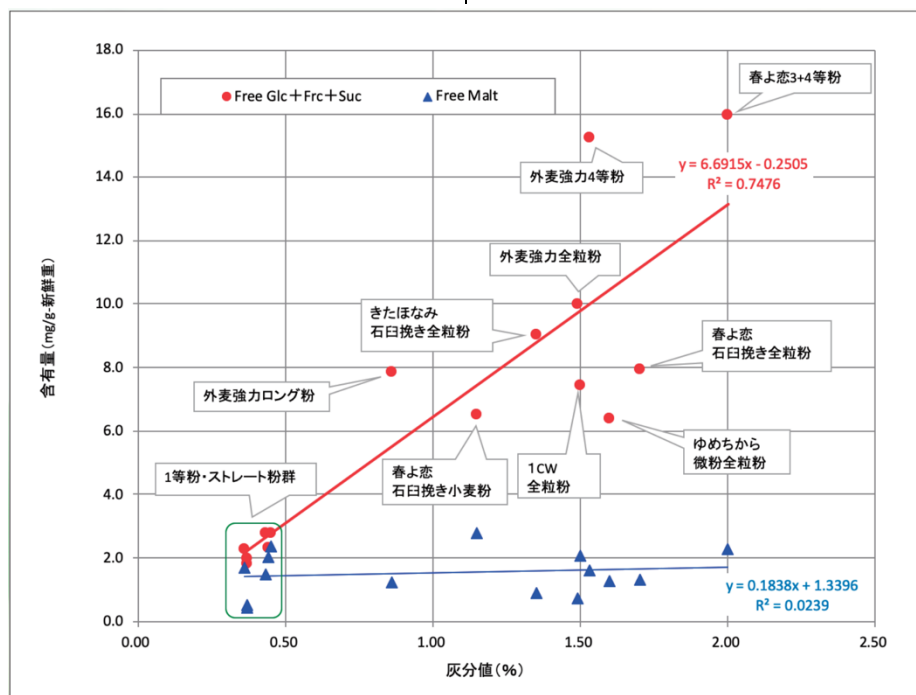


図 14. 遊離の糖質と灰分含量の相関（パン技研・横山製粉・道立食品加工研究センターによる分析）

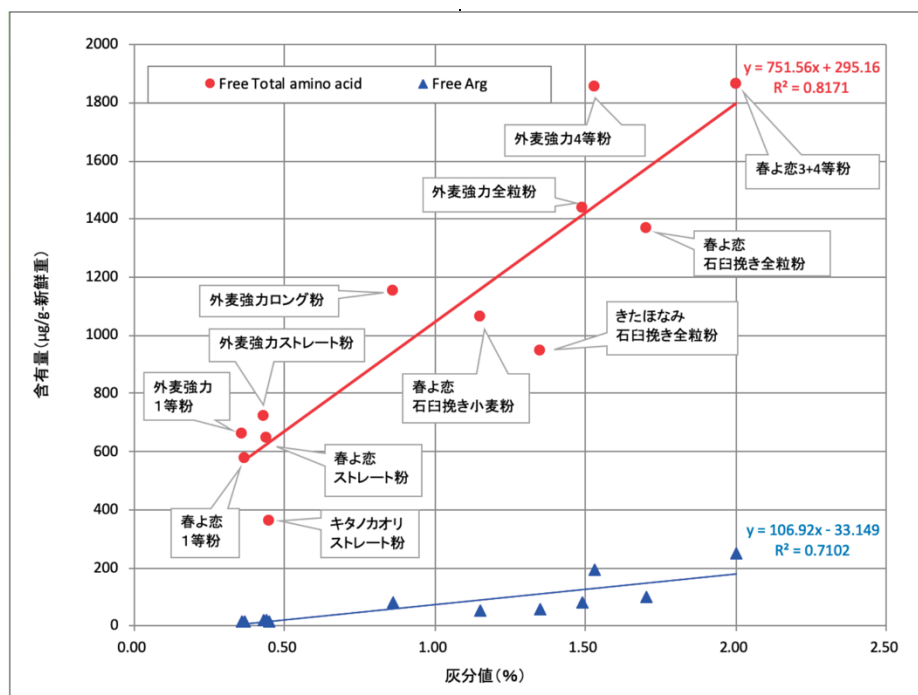


図 15. 遊離のアミノ酸と灰分含量の相関(パン技研・横山製粉・道立食品加工研究センターによる分析)

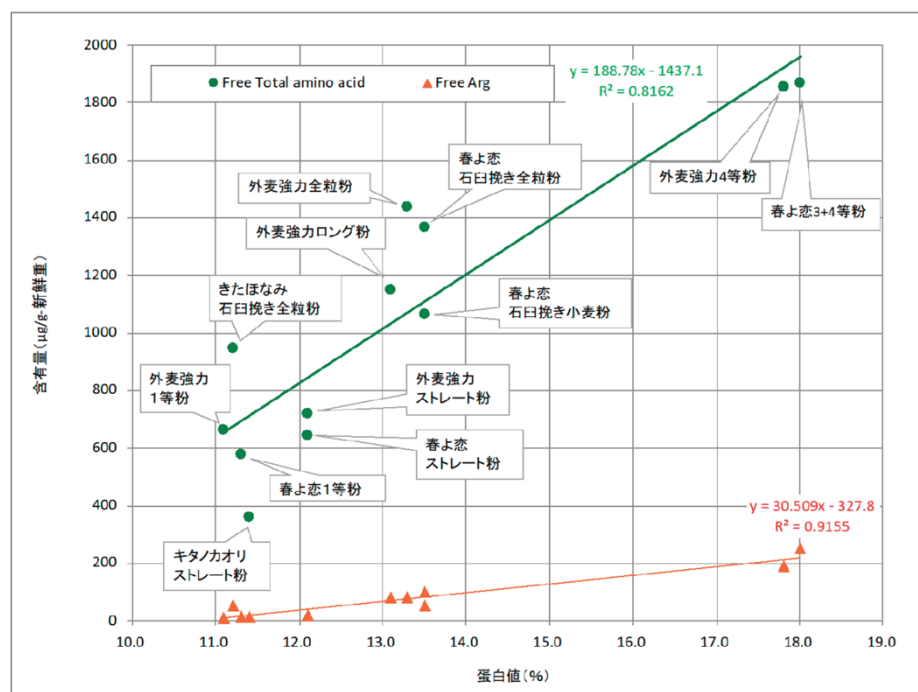


図 16. 遊離のアミノ酸と蛋白含量の相関(パン技研・横山製粉・道立食品加工研究センターによる分析)

換されるアルギニンについては20種類とは別に単独で青線で示しています。その結果、灰分含量と遊離のアミノ酸含量の相関も高いことが判りました。同様に蛋白値との相関も見えました。その結果、図16の通り蛋白値とも相関が高いことが判りました。一般に製粉歩留まりが高くなって、灰分含量が上がると、蛋白値も連動して高くなります。しかし、灰分含量が高い小麦粉では蛋白値が高いからといって優れた製パン性を有するとは限りません。その理由は、蛋白値の測定方法に起因します。製粉会社蛋白値を測定する場合、ケルダール法で蛋白値を求めます。この分析方法は小麦粉に硫酸を混ぜて加熱し、小麦

粉に含まれる蛋白やペプチド、アミノ酸を全て窒素まで分解して硫酸アンモニウムに変換します。その後アルカリ性にして加熱することで発生するアンモニアの量を滴定によって定量し、その数値に蛋白係数を掛けて蛋白値としています。この蛋白値をもとに近年では、近赤外分光光度計で短時間のうちに測定する方法も行われています。いずれにしても測定している対象は蛋白だけではないということが容易に類推できます。したがって、測定方法として窒素をもとに算出されていることが一因となって遊離のアミノ酸含量と蛋白値の相関が高くなっていると推測されます。

そして、この業界に長くいると意外とよく聞くのが「遊離のアミノ酸が多いため旨い」と理由付けする人がいます。私も過去、この神話を信じてきました。しかし、よくよく調べてみると都市伝説に値する言葉であることが判りました。理由は、小麦粉やパンに含まれる遊離のアミノ酸そのものが直接的にパンの旨味に貢献しているわけではないということです。表 12 ではフランスパン・ディレクト法で調製したフランスパン2種類の遊離のアミノ酸含量の分析値を示しています。使用した小麦粉は、灰分 0.43%のフランスパン用粉 100%と、この小麦粉に全粒粉を 50%ブレンドした小麦粉で作ったフランスパンの2種類です。同時にアミノ酸ハンドブック記載のヒトがアミノ酸の味を感じることのできる最低濃度（閾値）も書き込みました。分析データと閾値の単位が違うので全く同じ条件で比べているとはいいがたい点もありますが、閾値のデシリットル (dl) は 100ml であり、水の比重を 1 とすると 100g と近似の単位として見なすことができるので、閾値の数字をそのまま参考に

することができます。そこで、数値を検証してみます。フランスパン2種類を比べると全粒粉をブレンドした方が遊離のアミノ酸含量が多いことが判りますが、いくら多いとはいっても、閾値と比べると桁が違いすぎるほど遊離のアミノ酸含量が少ないことが見て取れます。したがってフランスパンに含まれる各種遊離のアミノ酸の濃度では、たとえ全粒粉を 50%以上ブレンドしたとしてもヒトが感じることのできる濃度には達していないのです。つまり、「遊離のアミノ酸が多い!」ということとは分析値として間違いではないが、それが直接的に「旨い」ことの理由に繋がっていないということになるのです。それでいて小麦粉を舐めたり、フランスパンの比較する時に「遊離のアミノ酸が多いため旨い」という人は、おそらく黒い小麦粉に含まれるフェノール化合物（苦味）や、その他の成分をアミノ酸と勘違いして語っているのでしょう。

(つづく)

表 12. L-アミノ酸の閾値とバゲットの遊離のアミノ酸含量

(パン技研・月島食品工業による分析・閾値はアミノ酸ハンドブック, 味の素p47, 2003)

呈味	略号	アミノ酸名 (塩)	閾値	灰分 0.43% の粉 100%	全粒粉 50% ブレンド
			(mg/dl)	(mg/100g)	(mg/100g)
酸味系	Asn	アスパラギン	100	0.2	3.2
酸味系	Asp	アスパラギン酸 (pH2.5-3.5)	3		
旨味系		アスパラギン酸 (ナトリウム塩)	100	6.0	8.0
酸味系	Glu	グルタミン酸 (pH3.0-3.5)	5		
旨味系		グルタミン酸 (ナトリウム塩)	30	3.6	4.5
酸味系	His	ヒスチジン (塩酸塩)	5	(分析せず)	(分析せず)
甘味系	Ser	セリン	150	0.2	0.7
	Gln	グルタミン	250	0.1	1.0
	Gly	グリシン	110	1.1	1.9
	Thr	スレオニン	260	0.2	0.6
	Ala	アラニン	60	2.0	4.9
	Lys	リジン (塩酸塩)	50	0.6	1.3
	Pro	プロリン	300	0.9	2.2
苦味系	His	ヒスチジン	20	0.2	0.5
	Arg	アルギニン	10		
		アルギニン (塩酸塩)	30	2.4	5.9
	Val	バリン	150	0.5	1.8
	Met	メチオニン	30	0.0	0.1
	Trp	トリプトファン	90	2.2	5.5
	Phe	フェニルアラニン	150	0.2	0.9
	Ile	イソロイシン	90	0.1	0.6
	Leu	ロイシン	380	0.1	0.9
(その他)	Tyr	チロシン	(記述なし)	0.4	0.9
	Orn	オルニチン	(記述なし)	0.3	0.2