

大麦の種子・麦芽の機能性成分含量の品種間差異と 製麦による変化

長嶺敬¹⁾・加藤常夫²⁾・五月女敏範・金子成延³⁾・野方洋一⁴⁾

摘要 : 大麦の機能性成分である γ -アミノ酪酸 (ギャバ) などの遊離アミノ酸とビタミンE含量の品種間差異や製麦加工などによる変化を明らかにした。水処理原麦粉の総遊離アミノ酸, ギャバ含量には品種間で2.5倍程度の差異がみられ, 最も含量が高かったのは裸麦中間母本農2号でそれぞれ219mg/100g, 49.9mg/100gであった。ビタミンE含量はモチ性系統大系HL9-2-6が最も高く(55.4mg/kg), すべての大麦で α -トコトリエノールが最も多いビタミンE分子種であった。製麦加工を行うと, 遊離アミノ酸は5.6~12.9倍, ギャバは1.6~2.4倍程度に増加した。とくに, ビール醸造用大麦では製麦時の浸麦時間を長くすると, 麦芽の総遊離アミノ酸, ギャバ含量が高くなることが明らかとなった。

キーワード : アミノ酸, ギャバ, ビタミンE, 大麦, 麦芽

Genetic Variation in Functional Constituents of Barley Grain and Their Accumulation by Malting

Takashi NAGAMINE, Tsuneo KATO, Toshinori SOTOME, Shigenobu KANEKO and Youichi NOGATA

Summary : We studied genetic variation and the effect of processing conditions on functional constituents such as free amino acids (FAA) and vitamin E in barley grain and malt. Large varietal differences, as much as 2.5 times, in the contents of FAA and γ -aminobutanoic acid (GABA), were observed in pasted whole grain flour. "Hulless barley parental line No. 2" had the highest content of FAA (219mg/100g) and GABA (49.9mg/100g). Waxy malting barley "Daikei HL9-2-6" had the highest vitamin E content (55.4mg/kg), and α -tocotrienol was the major form of vitamin E in all the cultivars. FAA and GABA levels were significantly increased in the malts compared to those in the grain: 5.6 to 12.9 times higher concentrations of FAA and 1.6 to 2.4 times higher concentrations of GABA. Both FAA and GABA levels increased in malting barley cultivars as a function of prolonged steeping periods and an air-rest treatment during malt processing.

Key words : amino acid, GABA, vitamin E, barley, malt

1) 現 (独) 近畿中国四国農業研究センター, 2) 現 栃木県農政部経営技術課, 3) (独) 作物研究所, 4) (独) 近畿中国四国農業研究センター

(2008. 7. 30受理)

I 緒言

わが国に於いて、ビール大麦は全量がビール会社との契約で生産されているが、その数量は長期低落傾向にある。また、ビール会社の購入対象は粒厚2.5mm以上の整粒のみであり、栽培・気象条件によりビール麦としては流通できない規格外の「ビール落ち」麦が多く発生してきた。規格外ビール大麦を一定の保証価格で政府が購入する「飼料麦」制度は、近年、廃止され、生産者にとって大きな痛手となっている。ビール大麦の新規需要の開拓、特に規格外ビール大麦の高付加価値化は今後のビール大麦研究において避けることの出来ない課題である。

一方、大麦はβ-グルカンなどの健康機能性成分を含むことが注目されており (Ikegami *et al.* 1996, Yokoyama *et al.* 1997), 新たな需要が伸び始めている。ビール大麦の機能性成分については、研究例は多くないがいくつかの報告がある。心臓疾患予防などに関わるβ-グルカンだけではなく、血圧降下作用などが知られているγ-アミノ酪酸 (Gamma-Amino Butyric Acid, 以下ギャバ) や抗酸化性成分であるトコフェロール、トコトリエノールなどのビタミンEなどが報告されている (山崎ら1997), これらの成分含量に関する品種・系統間差異や製麦条件による変化などはほとんど知られていない。

そこで、本研究においてはギャバなどの遊離アミノ酸やビタミンE含量について、ビール大麦の品種・系統間差異や製麦変化を明らかにした。

II 試験方法

1. 材料

機能性成分の分析に供した大麦及び小麦は2004~2006年に栃木県農業試験場栃木分場・品質育種圃場で収穫したものをを用いた。栽培条件はいずれの年も二条千鳥播 (畦間: 65cm, 条間: 15cm, 株間: 10cm), 施肥は全量基肥とし、2003年播きでは化成肥料 (N: P₂O₅: K₂O = 1.2 : 12.0 : 11.7 kg/10a), 2004年播きでは化成肥料 (N: P₂O₅: K₂O = 1.2 : 12.0 : 11.7 kg/10a) と堆肥1300 kg/10a, 2005年播きでは化成肥料 (N: P₂O₅: K₂O = 4.0 : 16.0 : 16.0 kg/10a) と堆肥1300kg/10aを施用した。

収穫物は縦目ふるい (ふるい目は二条大麦: 2.5mm, 六条大麦・小麦: 2.2mm) で精選した原麦を用いた。

水和処理による種子・麦芽の遊離アミノ酸含量の変化の解析は2005年播きのスカイゴールド、ニシノチカラを用いた。

種子・麦芽の遊離アミノ酸含量の品種間差異の解析には2003年播きの主要なビール大麦や裸麦7品種の原麦、3品種の麦芽を用いた。比較に用いた玄米は近畿中国四国農業研究センター稲育種研究室 (広島県福山市) が2004年に収穫したヒノヒカリを用いた。

原麦ビタミンE含量の品種間差異の解析には2004年播きの品質に特徴のあるビール大麦高品質中間母本系統や大麦遺伝資源などの17品種・系統と比較の小麦2品種を用いた。

製麦条件の違いによる遊離アミノ酸の差異の解析に麦芽タンパク質の分解程度に差異があることが知られている大系HP19 (分解程度: 極大), スカイゴールド (大), ニシノチカラ (小) の2005年播き生産物を用いた。製麦条件の違いによるビタミンE含量の差異についてはスカイゴールドを分析に用いた。

2. 方法

1) 製麦・麦芽分析

麦芽作成は、50g製麦法 (栃木分場bタイプ法) で行った (栃木分場1998)。なお、一部サンプルについては浸麦時間を24, 32, 40時間に変更した製麦を行った。また、緑麦芽は発芽工程終了後、焙燥処理を行わずに凍結乾燥法によって乾燥させた。麦芽品質分析は栃木分場で通常の育種に用いているbタイプ分析法で行った。

2) 種子・麦芽の遊離アミノ酸含量の測定

遊離アミノ酸の分析にはCyclotec1093 (FOSS) で粉砕した原麦粉、麦芽粉を材料とし、2反復の測定を行った。遊離アミノ酸分析は近畿中国四国農業研究センターで行った。一部のサンプルを除き、サンプルは水和処理後にアミノ酸分析に供した。水和処理は粉0.2gを50mMリン酸緩衝液 (pH 5.5) 4mlに懸濁し、40°Cで1時間振とうする方法で行った (野方ら2004)。アミノ酸分析はサンプル液4mlに16%トリクロ酢酸 (TCA) 液 4.0mlを添加混和後、遠心分離 (12000rpm×5分) で得られた上清を用いた。上清はPTFEメンブレンフィルターユニット (孔径0.45μm, アドバンテック) で濾過し、アミノ酸アナライザー L-8500 (日立) での分析に供した。

3) 原麦ビタミンE含量の測定

スカイゴールドなどのビール大麦主要品種および品質成分に特徴の見られる系統など遺伝的に多様な20品種・系統を供試し、2反復の測定を行った。種子・麦芽のビタミンEの定量はPanfili *et al.* (2003) の方法を用いた。すなわち、原麦あるいは麦芽をCyclotec1093で粉砕した粉1.5g, 95%エタノール3ml, 60%水酸化カリウム2ml, 0.1%NaCl 2ml, 12% (w/v) ピロガロール/エタ

ノール液 5mlを50ml遠沈管に入れ、70℃で45分間処理した。処理中は10分おきに混和した。処理後、氷水中で急冷し、0.1%NaCl 10ml、ヘキサン/酢酸エチル (90:10) 30mlを加え、レシプロカルシエーカー SR-2W (タイテック) で350rpm, 10分間攪拌し、上層液を回収した。残った下層液にはヘキサン/酢酸エチル (90:10) 30mlを再度添加し、同様に5分間の攪拌後、上層液を再回収した。上層液をあわせて、ロータリーエバポレーターで濃縮し、1%イソプロピルアルコール/0.05%ブチレートヒドロキシトルエン (BHT) /ヘキサン液を加えて、総液量を5mlとし、HPLC分析前にPTFEメンブレンフィルターユニットで濾過した。

HPLC分析はKamal-Eldin *et al.* (2000) の方法によった。HPLC LC-10システム (島津製作所) を用い、カラムはMightysil Si 60 (カラム径4.6mm×カラム長150mm, 担体粒厚5ミクロン, 和光純薬), 溶媒はヘキサン/ジオキサン (96:4), 流速は2ml/分とし、蛍光検出器SPD-10AV (Ex: 294nm, Em: 326nm) を用いた。

4) 製麦条件の違いによる遊離アミノ酸, ビタミンE含量の差異

遊離アミノ酸, ビタミンEはそれぞれ上記の2), 3) の方法によって分析した。

III 結果

1. 遊離アミノ酸, ギャバ含量に対する水和処理の効果

実験に供試したスカイゴールドン, ニシノチカラともに, 水和処理によって遊離アミノ酸, ギャバが著しく増加することがわかった。水和処理により, 総遊離アミノ酸含量は, 原麦粉, 麦芽粉ともに20~40%程度増加し, ギャバ含量は原麦粉では2~3倍程度, 麦芽粉では3~5倍

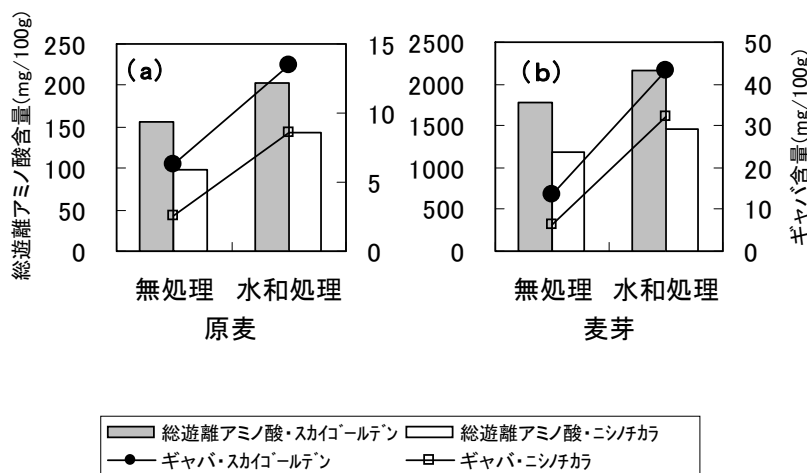
程度に増加した (第1図)。

2. 原麦・麦芽の遊離アミノ酸含量の品種間差異

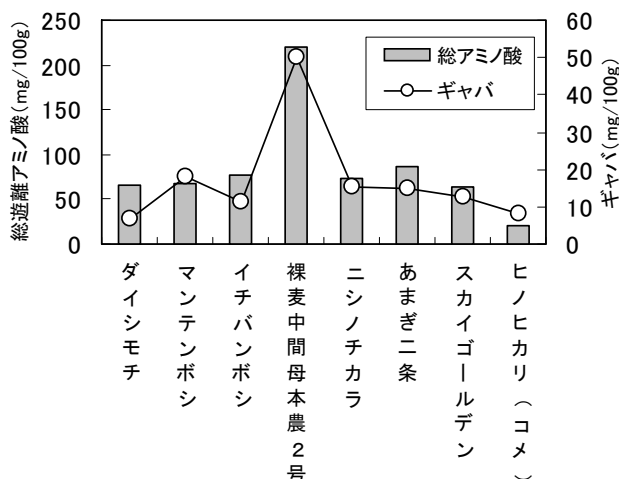
原麦粉の総遊離アミノ酸含量は63.0 (スカイゴールドン) ~219.2mg/100g (裸麦中間母本農2号) の品種間差異がみられた (第2図)。もっとも含量の低かったスカイゴールドンでも玄米粉 (21.3mg/100g) に比べて, 約3倍量の総遊離アミノ酸が得られた。裸麦中間母本農2号の全粒粉の遊離アミノ酸含量は他品種系統に比べて著しく高く, ギャバ含量も他品種の2.8~7.8倍の高含量であった。アミノ酸の構成については, 二条皮品種 (ニシノチカラ, あまぎ二条, スカイゴールドン) ではグルタミンが10mg/100g以上含まれる主要な分子種であったのと同様に六条裸品種 (ダイシモチ, マンネンボシ, イチバンボシ, 裸麦中間母本農2号) ではもっとも多くても5.8mg/100g (裸麦中間母本農2号) で, ダイシモチ, イチバンボシでは検出されなかった。なお, ギャバはダイシモチ以外のすべての品種で最も多く含まれるアミノ酸分子種で, 総遊離アミノ酸の10.6% (ダイシモチ) ~26.7% (裸麦中間母本農2号) を占めた (第1表)。

製麦によりほとんどの総遊離アミノ酸が増加し, 麦芽粉では原麦粉に比べて, 総遊離アミノ酸は原麦の5.6倍 (ニシノチカラ) ~12.9倍 (スカイゴールドン) に増加した。ギャバの増加率は総遊離アミノ酸に比べて低かったが, 原麦の1.6倍 (ニシノチカラ) ~2.4倍 (スカイゴールドン) に増加した。麦芽で最も多いアミノ酸はグルタミンであり, いずれの品種においても総遊離アミノ酸の40%程度を占めた。

麦芽での遊離アミノ酸量はビール麦品質評価における重要項目である「可溶性窒素」と高い相関 ($r=0.65^{**}$) を示した。すなわち, 製麦工程における蛋白質分解が進みやすい品種ほど遊離アミノ酸含量の増加量が大きくなりやすい傾向があると考えられた。



第1図 原麦粉及び麦芽粉の水和処理による総遊離アミノ酸及びギャバ含量の増加
水和処理は, 野方ら(2004) に従った。



第2図 原麦粉の水和処理サンプルの総遊離アミノ酸とギャバ含量の品種間差異
水和処理は、野方ら(2004)に従った。

第1表 水和処理を行った原麦粉および麦芽粉の遊離アミノ酸含量 (mg/100g)

遊離アミノ酸	原麦粉							麦芽粉			玄米(比較)
	ダイシモチ	マンテンボシ	イチバンボシ	中間母本2号	ニシノチカラ	あまぎ二条	スカイゴールデン	ニシノチカラ	あまぎ二条	スカイゴールデン	ヒノヒカリ
アスパラギン酸	0.0	1.2	3.0	6.7	0.0	0.0	0.0	5.2	7.5	11.4	0.0
スレオニン	1.5	1.3	1.9	5.0	1.7	1.8	1.8	9.2	11.1	12.4	0.1
セリン	1.7	1.5	2.1	5.8	1.9	2.1	2.0	10.4	13.0	14.6	0.2
アスパラギン	1.2	3.8	5.3	14.0	1.2	0.7	0.9	5.6	6.8	17.1	0.0
グルタミン酸	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
グルタミン	0.0	2.3	0.0	5.8	12.8	11.8	10.0	141.6	194.8	313.4	0.5
グリシン	1.3	1.4	1.7	4.8	1.3	1.5	1.5	7.0	8.1	8.7	0.2
アラニン	3.1	3.8	4.3	10.5	3.2	3.9	3.7	17.6	22.1	23.3	0.5
バリン	3.3	3.6	3.3	9.3	3.1	3.7	3.0	16.0	21.8	24.3	1.2
システイン	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	2.5	0.0
メチオニン	3.1	2.3	3.1	4.7	2.4	3.4	2.1	7.4	10.3	10.9	0.9
イソロイシン	3.3	2.0	2.7	6.5	1.8	3.5	1.4	9.4	12.8	16.6	0.5
ロイシン	7.0	4.9	6.4	12.7	5.2	8.0	4.6	23.6	33.0	37.1	1.8
チロシン	7.5	4.3	5.6	9.8	1.4	5.5	0.0	9.4	14.2	21.6	2.1
フェニルアラニン	5.7	5.1	5.2	12.9	3.4	5.2	1.8	13.6	20.6	28.7	1.4
ギャバ	6.9	17.9	11.4	49.9	15.5	15.0	12.7	25.5	29.9	31.1	8.0
リジン	5.5	4.9	6.3	13.6	5.6	6.4	6.0	18.8	25.5	24.5	0.9
ヒスチジン	0.9	1.4	2.0	5.0	1.0	1.8	1.0	4.7	6.9	7.7	0.0
アルギニン	6.3	5.1	6.9	17.4	5.6	6.6	6.0	18.2	27.7	27.4	1.4
プロリン	0.5	0.1	0.0	8.3	2.0	1.1	0.0	10.9	15.4	31.0	0.4
トリプトファン	4.7	0.0	4.5	16.5	4.3	5.1	3.9	9.0	9.2	10.7	1.0
シスチン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
総アミノ酸	65.5	67.2	76.2	219.2	73.3	87.1	63.0	362.9	490.5	674.8	21.3

水和処理は、野方ら(2004)に従った。
玄米粉(ヒノヒカリ)は参考

3. 原麦ビタミンE含量の品種間差異

原麦粉の α -、 β -、 γ -トコフェロール、 α -、 β -、 γ -トコトリエノールを合わせたビタミンE総量が最も多かったのはモチ性系統の大系HL9-2-6 (55.37mg/kg)で、最も少ないサチホゴールデン (18.38mg/kg) の3.0倍であった(第2表)。サチホゴールデン以外の品種・系統はすべて比較の小麦よりもビタミンE総量が高かった。サチホゴールデン、スカイゴールデンや関東二条36号、

38号など最近の育成品種・系統の多くはビタミンE総量が低く、高含量系統には麦汁 β -グルカンが高いなど、ビール麦としては醸造品質に問題がある系統が多かった。

サチホゴールデンなど少数の品種では β -トコフェロールが検出されなかったが、その他多数の大麦品種・系統は α -、 β -、 γ -トコフェロール、 α -、 β -、 γ -トコトリエノールの6分子種を含み、 α -トコトリエノールがいずれの品種でも全体の40%以上を占めて最も多く、つ

第2表 原麦ビタミンE含量の品種間差異 (mg/kg)

品種・系統名	α-トコフェロール	α-トコトリエノール	β-トコフェロール	β-トコトリエノール	γ-トコフェロール	γ-トコトリエノール	ビタミンE総量	麦汁β-グルカンmg/l	備考
サチホゴールド	5.5	9.2	0.0	1.0	0.9	1.7	18.4	54	最新品種
栃系302	7.2	10.2	0.3	2.0	1.9	3.0	24.6	32	有望系統
スカイゴールド	5.7	14.4	0.0	2.5	1.8	3.6	28.0	17	主要品種
大系HQ21	6.3	18.3	0.3	1.0	1.3	2.7	30.0	63	極高ジアスターゼ系統
栃系305	7.0	17.1	0.1	1.6	1.8	3.1	30.7	29	有望系統
大系HQ23	6.4	18.6	0.4	1.0	1.2	3.8	31.4	56	極高ジアスターゼ系統
ミカモゴールド	5.9	17.7	0.1	2.2	1.7	4.2	31.8	28	主要品種
あまぎ二条	7.7	14.6	0.2	3.2	2.6	4.8	33.1	22	主要品種
タカモゴールド	6.3	18.1	0.0	1.8	2.2	5.0	33.4	31	主要品種
大系HO7	6.1	16.4	0.2	2.7	3.8	6.5	35.7	43	プロアントシアニンフリー
Hungarian	7.8	19.8	0.5	4.6	3.2	4.7	40.5	179	黒色粒系統
大正麦(H-94)	9.0	19.0	0.3	3.4	3.1	6.8	41.7	163	ブルーアリュuron系統
大系HC15	5.5	24.7	0.3	4.9	1.3	5.8	42.3	94	低蛋白質
大系HI26	9.6	25.1	0.4	5.0	3.2	5.9	49.1	104	ブルーアリュuron系統
大系HO45	9.2	26.2	0.3	3.5	4.2	5.7	49.1	48	高麦芽αアミラーゼ系統
大系HE30	8.4	28.8	0.5	4.8	2.6	5.8	50.9	165	穂発芽極易系統
大系HL9-2-6	7.7	31.4	0.3	5.9	3.1	7.0	55.4	274	モチ性系統
農林61号	12.4	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	18.6	—	小麦(軟質品種)
ニシノカオリ	6.5	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	15.5	—	小麦(硬質品種)

いでα-トコフェロールが多かった。小麦ではα-, γ-トコフェロールのみが検出された。大系HL9-2-6は3種のトコトリエノール含量がいずれも供試系統の中で最も高かった。

大麦原麦粉の各種ビタミンE含量について、分子種間相関を解析した結果、すべての分子種間で0.30以上の正の相関係数が得られた。特に、ビタミンE総量、α-, β-, γ-トコトリエノール間ではいずれも0.70以上の高い相関が見られ、ビタミンE含量が高い品種は特定のトコトリエノール分子種が多いわけではなく、すべての分子種の含量が多くなる傾向が明らかとなった。

4. 製麦条件による遊離アミノ酸、ビタミンE含量の変異

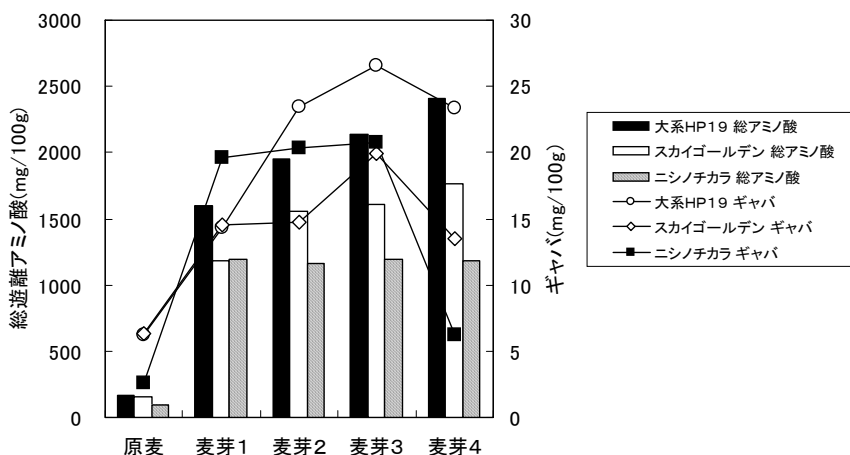
供試したいずれの品種、製麦条件においても、総遊離アミノ酸は、原麦の10倍以上、ギャバは2倍以上に増加した。ビール醸造用の大系HP19、スカイゴールドでは浸麦時間を長くするほど、総遊離アミノ酸、ギャバが高くなる傾向が見られた。特に、麦芽タンパク質が過剰分解しやすいことが知られている大系HP19はスカイゴールドよりも長時間浸麦による総遊離アミノ酸、ギャバの増加が顕著であった。一方、食用・焼酎用二条大麦品種であるニシノチカラでは浸麦時間の違いが総遊離アミノ酸、ギャバ含量に与える影響は小さかった。そのため、ニシノチカラの長時間浸麦サンプルでは大系HP19、スカイゴールドに比べて、総遊離アミノ酸含量が著し

く低くなった。

40時間浸麦製麦後、通常の高湿通風乾燥を行った焙燥麦芽は凍結乾燥処理により作成した緑麦芽と比較すると、ギャバ含量は最大70%減少したが、総遊離アミノ酸は大系HP19、スカイゴールドでは増加し、ニシノチカラでは同程度であった(第3図)。スカイゴールドの麦芽ビタミンE含量は原麦の1.5倍程度に増加し、浸麦時間の増加に伴って、増加する傾向がみられた(第4図)。ビタミンE分子種のなかでは、α-トコトリエノール、α-トコフェロールの増加程度が大きかった。ビタミンE含量に対する焙燥処理の影響は小さく、緑麦芽と焙燥麦芽の差異はほとんどなかった。

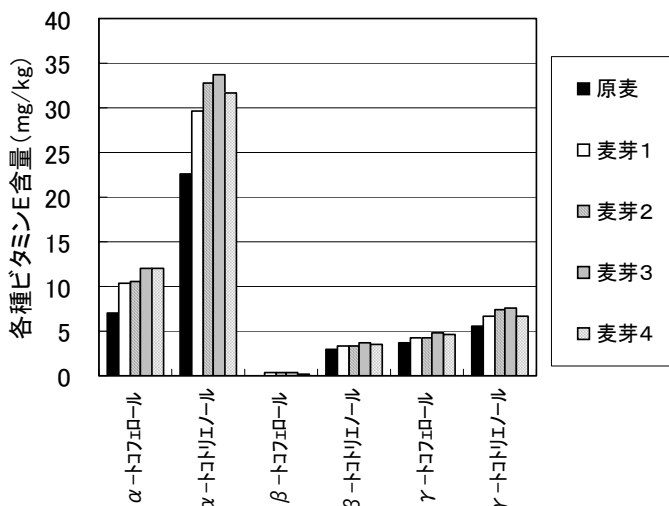
IV 考察

小麦では水和処理により、原麦中の分岐鎖アミノ酸などの機能性アミノ酸含量が著しく増加することが知られており、高付加価値化技術として開発が進んでいる(野方ら2004)。今回の実験においても、小麦と同様に水和処理が大麦の原麦粉、麦芽粉の遊離アミノ酸やギャバ含量を大きく増加させる効果を持つことが確認され、高付加価値化を目指した加工法として有望であると考えられた。このことから一般の粉体を利用する食品(麺、パン、菓子など)の加工においても、加水、混捻、熟成などの加工工程で酵素反応を進める条件を考慮したならば、水



第3図 浸麦時間が麦芽の総遊離アミノ酸、ギャバ含量に及ぼす影響

麦芽 1 : 24時間浸麦製麦・緑麦芽 麦芽 2 : 32時間浸麦製麦・緑麦芽
 麦芽 3 : 40時間浸麦製麦・緑麦芽 麦芽 4 : 40時間浸麦製麦・煤燥麦芽



第4図 浸麦時間の違いによる麦芽ビタミンE含量の差異(品種:スカイゴールデン)

麦芽 1 : 24時間浸麦製麦・緑麦芽 麦芽 2 : 32時間浸麦製麦・緑麦芽
 麦芽 3 : 40時間浸麦製麦・緑麦芽 麦芽 4 : 40時間浸麦製麦・煤燥麦芽

和処理と類似の効果が得られる可能性があり、今後の商品開発研究においては検討が必要であろう。

遊離アミノ酸、ギャバともに大きな品種間差異が見られ、なかでも裸麦中間母本農2号は他品種の2.5倍以上の原麦遊離アミノ酸、ギャバをもつ有望な遺伝資源であると考えられた。この品種は高リジン化遺伝子 *lys3a* を有することが知られており、*lys3a* を持つ裸麦系統はいずれも遊離アミノ酸、ギャバ含量が高いことが見だされている(野方・柳沢 私信)。ビール麦の育種においては極高ジアスターゼ特性を示す高リジン遺伝子 *lys1* が多用されており、栃木分場でも大系HQ10などの有望系統が育成されている。今後はこれらの *lys1* 系統の遊離ア

ミノ酸の解析や *lys3a* 系統の開発が望まれる。

原麦ビタミンE含量は最大で3倍の品種間差異がみられたが、サチホゴールデン、スカイゴールデンなど最近の普及品種の含量は低いことが明らかとなった。ただし、大麦には小麦にないトコトリエノールが多く含まれることが明らかとなった。トコトリエノールは小麦にも含まれるトコフェロールに比べて、抗酸化性の優れたビタミンEであり (Serbinova *et al.* 1991)、「ビール落ち」麦の高付加価値転用に向けてのセールスポイントとなりうる。また、大系HO45のようにビタミンE総量が多く、かつ高麦芽エキス、低麦芽汁β-グルカンの系統も見られたことから、ビタミンE含量の高い高品質ビール大麦を

育成することは可能であると考えられた。

今回の実験では、麦芽では原麦に比べて、遊離アミノ酸含量は5~12倍、ギャバは2倍程度に増えることがわかった。コメでも発芽させるとギャバ含量が著しく増加することが報告されており (Saikusa *et al.* 1994) , 発芽に伴うタンパク質の分解が遊離アミノ酸、ギャバの増加につながるものと考えられた。ビール醸造用のスカイゴールド、大系HP19と食用・焼酎用のニシノチカラでは遊離アミノ酸の増加量や製麦条件による変化に差異が見られたが、これはビール大麦の育種では発芽勢が高く、種子貯蔵物質の分解が円滑に進むものが選抜・育成されてきたことを反映するものであると考えられた。特に、大系HP19のように麦芽タンパク質分解が過剰に進みやすい系統の遊離アミノ酸含量は高く、ビール大麦の特性を利用した新たな食品開発には有用な素材であると考えられた。これまでは麦芽はビール醸造用に利用される他は、わずかに水飴や麦茶などに利用される程度であったが、これらの機能性成分の著しい富化を利用する高付加価値食品・飲料の開発が今後期待される。すでに、Kihara *et al.* (2007) は麦芽のβ-グルカン含量とギャバ含量を多くする製麦条件について報告しており、機能性成分に着目した技術開発が始まっている。

今後のビール大麦の他用途・高付加価値利用技術の開発にあたっては、品種の遺伝的な改変だけではなく、機能性成分を富化する加工技術の開発も重要であり、食品加工メーカーなどとの共同研究開発が望まれる。

謝辞

本研究の一部は農業生物資源研究所ジーンバンク事業「品質評価」、農林水産省指定試験事業により実施したものであり、関係者各位に御礼申し上げます。

引用文献

- Ikegami, S., M. Tomita, S. Honda, M. Yamaguchi, R. Mizunuma, Y. Suzuki, K. Ishii, S. Ohsawa, N. Kiyooka, M. Higuchi and S. Kobayashi (1996) Effect of barley-rice-feeding in hypercholesterolemic and normolipemic subjects. *Plant Foods Hum. Nutr.* 49:317-328.
- Kamal-Eldin, A., S. Gorgen, J. Pettersson and A. M. Lampi (2000) Normal-phase high-performance liquid chromatography of tocopherols and tocotrienols. *Comparison of different chromatographic columns.* *J. Chromatogr A.* 881:217-227.
- Kihara, M., Y. Okada, T. Iimure and K. Ito (2007) Accumulation and degradation of two functional constituents, GABA and β-glucan, and their varietal differences in germinated barley grains. *Breeding Sci.* 57 :85-89.
- 野方洋一・堀野俊郎・長嶺敬 (2004) 遊離アミノ酸を富化した食品素材及びその製造法. 国際特許出願 PCT/JP2004/002353.
- Panfili, G, A. Fratianni and M. Irano (2003) Normal phase high-performance liquid chromatography method for the determination of tocopherols and tocotrienols in cereals. *J Agric Food Chem.* 51:3940-394.
- Saikusa, T., T. Horino and Y. Mori (1994) Accumulation of γ-aminobutyric acid (GABA) in the rice germ during water soaking. *Biosci. Biotech. Biochem.* 58:2291-2292.
- Serbinova, E., V. Kagan, L. Packer (1991) Free radical recycling and intramembrane mobility in the antioxidant properties of α-tocopherol and α-tocotrienol. *Free Radical Biology & Medicine.* 10 :263-275.
- 栃木県農業試験場栃木分場 (1998) 品種改良のためのビール麦品質検定法 (第3版)
- 山崎公位・渡邊恒夫・松永隆 (1997) ビール大麦の機能性成分について. 栃木食工試研報. 11:5-8.
- Yokoyama, W., H., C. A. Hudson, B. E. Knuckles, M. -C. M. Chiu, R. N. Sayre, J. R. Turnlund and B. O. Schneeman (1997) Effect of barley β-glucan in durum wheat pasta on human glycemic response. *Cereal Chem.* 74:293-296.