納豆菌発酵によるおからの改質[†]

宮村英宏*・竹中陽子**・竹中哲夫*

Improvement of Okara by fermentation with *Bacillus subtilis*
(The utility of Okara, a by-product of the soybean processing industry)

MIYAMURA Hidehiro*, TAKENAKA Yoko* and TAKENAKA Tetsuo*

* Faculty of Agriculture, Tamagawa University,
6-1-1, Tamagawa Gakuen, Machida-shi, Tokyo 194

** T&T Food Institute, 555-20, Aina, Atsugi-shi, Kanagawa 243

Okara (by-product of tofu manufacturing) was fermented by *Bacillus subtilis* in order to improve it as good taste and high processing characteristics as food stuff, and the morphological, physicochemical properties and composition of physical properties of okara fermented with *B. subtilis* (ON) were investigated. 1. After 24 hr of fermentation, the amount of free amino acids, free fatty acids, inorganic phosphorus increased and dietary fiber decreased as compared to the starting levels. In ON leucine and phenylalanine among free amino acids were the predominate, and in dietary fiber, the pectic substances increased, while hemi-cellulose decreased. 2. The temperature of ON increased rapidly with increasing CFU of *B. subtilis* in 5 to 10 hr of fermentation and rose up to 50°C at 15 hr. The hydrolysis ratio of proteins (formol nitrogen / total nitrogen × 100) increased with increasing protease activity. The ammonia content and pH value increased rapidly after 15 hr, and the pH value of ON at 30 hr was 8.2. 3. Scanning electron microscopic observation of ON at 24 hr revealed that the cell wall was completely disintegrated. The amount of particles less than 10 μm diameter increased with the further progress of fermentation. 4. The *in vitro* digestibility of protein in ON was similar to that in okara. The water absorption and oil absorption were also same in both okara. However, the emulsifying activity and emulsion stability were higher in ON than in okara.

(Received May 22, 1997)

納豆は、煮沸大豆に納豆菌を接種し、発酵させて製造する我が国の伝統食品であり、独特の粘質物と風味を有し、原料大豆に優れる特性を有している。

一方、豆腐の副産物であるおからは、乾重量でタンパク質約25%、脂肪約16%、総繊維は約35%も含んでいる。

このため食感の悪さから一部は飼料に使われているが大部分は産業廃棄物として処分され食糧資源としてはほとんど利用されていない¹⁾。

おからは大豆に由来することから、おからを納豆菌(*Bacillus subtilis*)で発酵させても有害物質を産出す

† 大豆加工食品副産物の有効利用 (第1報)

* 玉川大学農学部 (〒194 町田市玉川学園6-1-1)

** T&T食品研究所 (〒243 厚木市愛名555-20)

る危険性は無く、おからとは異なる風味や特性を有する食品素材に改良されるものと考え、おからを納豆菌で発酵させたおから納豆を製造し、発酵による成分、組織、物性などの変化について調べた^{2),3)}。

実験方法

1. 実験材料

乾燥おからは豆腐製造時に副生したもので、明星食物研究所(株)より入手した。原料の大豆は国産「たちばな」種とカナダ産「ビーソン」種である。

市販納豆5種はすべて製造日から3日以内のものを店頭より購入した。

2. 納豆菌

納豆菌は高橋祐蔵研究所、宮城野納豆製造所、成瀬発酵化学研究所より入手した3株を用いた。

3. 納豆菌発酵おから(おから納豆)の調製

乾燥おから50gに蒸留水200mlを加えて水分量80%に調整し、121℃、20分滅菌後、品温が60℃位の時に納豆菌を孢子数 10^5 /gとなるように接種し、37℃で経時的に48時間発酵した。

4. 測定法

(1) 成分分析 粗タンパク質量は、マイクロケルダール法により窒素係数6.25を乗じて算出した。粗脂肪量はソックスレー抽出法、灰分量は直接灰化法(550℃)、糖質量は試料の粗タンパク質、粗脂肪、灰分の合計量を100gから差し引いて求めた。

(2) 遊離アミノ酸組成および定量 遊離アミノ酸は75%エタノールを用い、室温で1時間振とう抽出を2回くり返し集め減圧乾固した後、アミノ酸自動分析用クエン酸ナトリウム緩衝液pH2.2(和光純薬工業製)3mlに完全に溶解させ、遊離アミノ酸試料とした。遊離アミノ酸含量はアミノ酸分析システム;LC-10A(島津製作所製)を用い、OPT試薬を用いる蛍光法により行った。

(3) 遊離脂肪酸の定量 遊離脂肪酸量はソックスレー抽出法にて得た脂質抽出物を試料とし、Acid Value法⁴⁾にて定量した。

(4) 遊離糖の定量 遊離糖は、85%メタノールで30分間還流抽出を2回くり返して集め、フェノール硫酸法⁵⁾にてシュクロースを標準糖として作成した検量線より遊離糖量を算出した。

(5) DFの定量⁶⁾ 脱脂試料1gをプロナーゼにより分解した後、80%エタノールで沈澱するアルコール不溶残渣(alcohol insoluble residues, AIR)を調製し、これを総DFとした。

AIRからシュウ酸塩溶液で抽出を行い、可溶画分を

ペクチン(pectic substances, PS)として定量し、不溶画分(oxalate insoluble residues, OIR)についてはDetergent法で分析した。

すなわち、脱脂試料1gに0.02Mリン酸ナトリウム緩衝液(pH8.0)10mlを加え、100℃で7~8分間加熱処理を行った後、プロナーゼP(科研化学)10mgとトルエン0.5mlを加え、37℃で24時間タンパク質を分解した。

これにエタノールを加え終濃度80%とし、沸騰浴中で45分間還流した後、ガラスフィルター(1G3)で沈澱物を集め、80%エタノール次いでアセトンで洗浄し、105℃で乾燥・秤量したものを総食物繊維(アルコール不溶残渣alcohol insoluble residues, AIR)とした。AIRは未消化タンパク質および酵素タンパクを含むアルコール沈澱物として表した。

AIRに0.25%シュウ酸アンモニウム50mlを加え、ガラスホモジナイザーで5分間磨砕した。次いで沸騰浴中で1時間還流した後、遠心分離を行い、残渣はシュウ酸塩溶液による抽出を2回くり返して抽出液を集め、エタノールおよびアセトンで洗浄し、乾燥・秤量してペクチン物質(pectic substances, PS)とした。

PSはカルバザール法⁷⁾によりガラクトロン酸を定量して求めた。AIRからシュウ酸塩溶液でPSを抽出した残渣を乾燥・秤量してシュウ酸塩不溶画分(oxalate insoluble residues, OIR)を求めた。さらに、OIRはVan SoestのDetergent法⁸⁾に基づいて、NDF、ADFおよびKlason-リグニンの定量を行い、NDFとADFの重量差からヘミセルロース量を、ADFとリグニンの重量差からセルロース量を求めた。

(6) 全リンの定量 全リンは、Fiske-Subbarow法⁹⁾により求めた。試料に濃硫酸を加え加熱分解し全リン試料とし、 KH_2PO_4 を標準リンとして作成した検量線より求めた。

(7) 無機リンの定量 試料に5%トリクロロ酢酸水溶液を加え、室温で30分間振とう抽出し無機リン試料とした。無機リンは全リンの定量と同様に処理しFiske-Subbarow法⁹⁾により求めた。

5. ホルモール態窒素

ホルモール態窒素(FN)は納豆試験法¹⁰⁾に準じて測定した。

なお、(FN)/全窒素(TN)×100の値を納豆試験法¹⁰⁾に記載の用語に従い、窒素分解率とした。

6. アンモニア

アンモニア含量はF-キットアンモニア(ペーリンガー・マンハイム・山之内製)を用いて測定した。

7. プロテアーゼ活性の測定

1.0%カゼイン (0.1Mリン酸緩衝液, pH7.0) 基質溶液1.0mlに酵素液を加え, 37℃, 60分間反応後, トリクロロ酢酸可溶物をローリー法¹¹⁾にて測定した。標準は牛血清アルブミンを用いた。

8. 生菌数の測定

生菌数の測定には, 肉汁寒天培地を使用し納豆試験法¹⁰⁾に準じて希釈平板塗抹法で行った。

9. 品温の測定

発酵容器内の試料中に温度計を差し込み, 品温を測定した。

10. pHの測定

納豆試験法¹⁰⁾に準じて発酵試料に等倍量の脱イオン水を加え混合し, ガラス電極pHメーターで測定した。

11. 走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察

凍結乾燥粉末試料を銀ペーストを塗った試料台に付着させ, 金蒸着して走査型電子顕微鏡 (HITACHI SEM-430) で観察し, 写真撮影した。

12. 粒度分布の分析

凍結乾燥粉末試料を脱イオン水に十分懸濁させ, 粒度分析機 (HORIBA CAPA-700 particle analyzer) で粒度分布を測定した。

13. 物理的特性の測定¹²⁾

(1) 吸水性 試料に15倍量の蒸留水を加えて攪拌し, 室温に2時間放置した後, 遠心分離 (3,500rpm, 30min) を行い, 試料1gあたりに吸収された水の量を測定し, 吸水性 (水ml/g) とした。

(2) 吸油性 試料に大豆油 (太陽油脂製) を6倍量加えて攪拌し, 室温に1時間放置した後, 遠心分離 (2,000rpm, 25min) を行い, 試料1gに吸収された油の重量を測定し, 吸油性 (油g/g) とした。

(3) 乳化性 試料に16倍量の蒸留水を加え, pH7.0に調整した後, 同量の大豆油 (太陽油脂製) を加えてホモジナイズ (10,000rpm, 3 min) した。生成した乳化層の一定量を採取し, 遠心分離 (3,500rpm, 5 min) を行い, 乳化層の容量を測定し, 次式により乳化性 (%) を求めた。

$$\text{乳化性 (\%)} = \frac{\text{遠心分離後の乳化層量 (ml)}}{\text{乳化層量 (ml)}} \times 100$$

(4) 乳化安定性 前記の乳化性の測定方法に従い乳化層を調製し, この一定量を採取し, 80℃にて30分間加熱後, 15分間冷却した。ついで遠心分離 (3,500rpm, 5 min) を行い乳化層の容量を測定し, 次式により乳化安定性 (%) を求めた。

$$\text{乳化安定性 (\%)} = \frac{\text{遠心分離後の乳化層量 (ml)}}{\text{乳化層量 (ml)}} \times 100$$

14. 人工消化試験¹³⁾

乾燥粉末試料1gを121℃, 15分間滅菌後, 0.1Mクエン酸-塩酸緩衝液 (pH1.5) 20ml加えpHを1.5に調整し, 5℃で, 3時間放置した。次にペプシン (SIGMA製) 10mgをこれに加え, 37℃, 24時間酵素反応を行った。反応終了後, 1N-NaOHでpHを8.0に調整し, 次に0.1Mリン酸緩衝液 (pH8.0) を用いて全量を40mlに定容した。これにパンクレアチン (和光純薬工業製) 10mgを加え, 37℃, 6時間酵素反応を行った。反応終了後, 終濃度10%となるようにトリクロロ酢酸 (TCA) を加え, 非タンパク態窒素 (NPN) (A) をケルダール法により測定した。酵素を加えない試料について前記と同様の操作を行い, 試料の0時間でのNPNと37℃一定期間の試料の自己消化とみられるNPNとの和 (B) を求めた。次に, 試料の0時間でのタンパク態窒素 (C) を求め, 酵素由来のNPN (E) とから人工消化率を次の式で算出した。

$$\text{人工消化率 (\%)} = \frac{A - (B + E)}{C} \times 100$$

実験結果および考察

1. 発酵によるおから成分の変化

おからに納豆菌を接種して発酵おから (以下, おから納豆と略す) を調製し, おからとおから納豆の成分を比較した。納豆菌はそれぞれ単独に用いたが, おから納豆の成分は, どれも同じ傾向であったので, 高橋祐蔵研究所製の納豆菌の結果のみTable 1に示した。

おから納豆では粗タンパク質, 粗脂肪を, 炭水化物, 灰分含量は, 発酵前後においてほとんど変化なかった。しかし, おから納豆中の遊離アミノ酸, 遊離脂肪酸および無機リン含量はおからよりも増加した。

納豆菌はプロテアーゼ¹⁴⁾, アミラーゼ¹⁵⁾, セルラーゼ, リパーゼなどの加水分解酵素を産生することが知られており, おから納豆の遊離アミノ酸および遊離脂肪酸含量の増加は, 納豆菌が発酵過程に産生したプロテアーゼおよびリパーゼによる。

大豆のリン化合物の70%以上がフィチン¹⁶⁾であることから, おから納豆の無機リン量の増加もフィターゼによるフィチンからの無機リンの生成による。市販納豆 (乾物) 5種の成分組成の平均値 (粗タンパク質40.7%, 粗脂肪24.7%, 炭水化物29.9%, 灰分4.7%) と比べるとおから納豆の各成分量は粗タンパク質, 粗脂肪は1/2

Table 1 Chemical composition of okara, and okara natto.

Component	Content (g/100g dry wt.)	
	Okara	Okara natto
Crude protein	24.6	24.8
Free amino acid	0.1	2.9
Crude lipid	15.5	16.0
Free fatty acid	0.3	1.2
Carbohydrate	56.7	55.7
Free sugars	5.8	6.4
Ash	3.2	3.5
Total phosphorus*	380.3	377.3
Inorganic phosphorus*	31.1	11.1

Okara natto fermented at 37°C for 24hr.

*×10⁻³ **Fig. 1** Free amino acids composition of okara and okara natto.

■Okara ; ▨Okara natto fermented at 37°C for 24hr.

量、炭水化物は2倍量、灰分は1/3量と納豆と著しく異なっていた。

各遊離アミノ酸量の変化をFig. 1に示した。おからではグルタミン酸、アラニンおよびアルギニンが比較的多かったが、おから納豆ではすべての遊離アミノ酸が増加し、特にロイシンが最も多く、フェニルアラニン、バリン、チロシンの順であった。旨味に関するグルタミン酸は増加していたが、ロイシンやフェニルアラニンに比べると少なかった。高橋ら¹⁷⁾は、納豆製造において大豆中の水分量が多く、発酵温度が高い場合にフェニルアラニン、ロイシンなどの遊離アミノ酸量が高くなると報告している。おからは水分量83%と高いので、おから納豆では発酵によりこれらのアミノ酸が多くなったと判断した。

各試料中の総食物繊維 (AIR)、ペクチン物質 (PS) およびシュウ酸塩不溶画分 (OIR) の含量をTable 2に示した。AIR量は、おからに比べておから納豆では約3%減少した。PS量は、おから納豆では約4%増加し

Table 2 Dietary fiber composition of okara, and okara natto.

	Content (g/100g dry wt.)	
	Okara	Okara natto
AIR	53.58	50.85
PS	6.69	10.64
OIR	41.96	35.48

AIR, alcohol insoluble residues ; PS, pectic substances; OIR, oxalate insoluble residues.

Table 3 Dietary fiber content in the oxalate insoluble residues of okara and okara natto.

Component	Content (g/100g dry wt.)	
	Okara	Okara natto
NDF	31.53	29.29
ADF	18.81	18.48
Klason-lignin	2.31	1.52
Hemi-Cellulose	12.72	10.81
Cellulose	16.50	16.96

た。田口ら⁶⁾は、納豆製造過程でPSの増加を報告していることから、おからの納豆菌発酵でも同様の現象が起きていると考えられた。OIR量は、おからに比べておから納豆では約6%減少した。これは、納豆菌発酵によって大豆中の不溶性多糖が分解されたことを示している。PS+OIRの合計量がAIR量と差があるのは、PS分画後、PS量を無水ガラスクロン酸に換算している事による考えられた。次に、OIR中のNDF、ADFおよびKlason-リグニンを分別定量した (Table 3)。

おから納豆のNDF値およびリグニンはおからに比べてわずかに減少したが、ADF量はほとんど変化がなかった。ヘミセルロースの減少は納豆菌が産生する加水分解酵素によって分解されると考えた。

2. おからの納豆菌発酵過程における生菌数、品温、プロテアーゼ活性、窒素分解率、アンモニアおよびpHの変化

おから納豆製造過程における納豆菌の増殖、これにともない納豆菌が産生する酵素ならびに成分の変化を明らかにするために、おから納豆 (37°C, 0~30時間発酵)

を調製し、発酵過程におけるおから納豆の生菌数、品温、プロテアーゼ活性、窒素分解率、アンモニアおよびpHを経時的に測定した。

生菌数は発酵5時間から10時間にかけて急激に増加し、発酵20時間で最大となり、その後30時間まで一定であった。品温は、引き込み開始から発酵5時間までは、速やかに低下したが、納豆菌の増殖にともない上昇し、発酵15時間には品温50℃と最も高くなった。しかし、それ以後は徐々に低下し、30時間においては発酵室内の温度に戻った (Fig. 2-A)。なお、おから納豆の糸引性は示していないが、定常期に達する発酵15時間前後より認められ、以後増大した。また、おからの色調は、肉眼による観察で発酵10時間までは変化しなかったが、発酵15時間以後褐変が生じ、発酵30時間では、おからの褐変はかなり進んでいた。

納豆菌が発酵過程において産生する加水分解酵素のなかで、納豆の熟成に関与するのは主にプロテアーゼであり、これにより大豆中のタンパク質は分解され、納豆の旨味や消化性に影響を与えると報告されている¹⁸⁾。おから納豆は、発酵前に比べて遊離アミノ酸含量が増加したが、市販納豆の平均値2.3%に比べると約1/2量であった。納豆同様、発酵過程において産生されたプロテアーゼがおから中のタンパク質に作用したものと考えられた。そこでおから納豆発酵過程におけるプロテアーゼ活性と窒素分解率を測定した (Fig. 2-B)。

プロテアーゼ活性の増加は発酵10時間から始まり、25時間で最大となった。プロテアーゼ活性の増加が、生菌数、品温の増加時間よりも5時間以上遅れることから納豆菌によるプロテアーゼの産生は、主に対数増殖終期から定常期にかけて行われるものと考えた。窒素分解率は、発酵10時間までは緩やかに増加し、プロテアーゼ活性の増加が認められた発酵10時間以後は徐々に増大し、30時間まで増加し続けた。納豆においては、20時間程度の発酵で全窒素の50~60%が水溶性窒素に変化し、アミノ態窒素は10%前後と少ないことから、エンド型活性の強いプロテアーゼが主に関与していると考えられた¹⁸⁾。本実験では、プロテアーゼ活性が高まるにつれて窒素分解率も増加する傾向が見られた。

また、同時に発酵過程におけるアンモニアとpHを測定した (Fig. 2-C)。アンモニアは、発酵15時間まではほとんど変化なかったが、それ以後急激に増加した。納豆菌は、タンパク質の分解により生じたアミノ酸を炭素源として利用するとともに、さらに酸化的、還元的脱アミノ反応によって、アミノ酸よりアンモニアが生成され、アンモニア臭を発する。おから納豆のpHは、アン

Fig. 2 Changes in colony forming units (CFU) of *B. subtilis*, temperature, digestive ratio, protease activity, pH and ammonia content of okara natto during fermentation.

*Formol nitrogen / total nitrogen $\times$ 100

モニアの増加にともない上昇し、発酵30時間および市販納豆のアンモニア含量を比較したところ、市販納豆では、0.67~1.90mg/gの範囲で、発酵30時間後のおから納豆では1.6mg/gであることから市販納豆とはほぼ同程度と考えられた。

3. おからおよびおから納豆組織の走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察

納豆菌発酵によるおからの組織の変化を走査型電子顕微鏡 (SEM) によって観察した (Fig. 3)。

おからおよび15時間発酵後のおから納豆の電子顕微

Fig. 3 Scanning electron micrographs of okara, okara natto (15hr) and okara natto (24hr).

鏡像を比較するとおからは、大豆の細胞壁内側が空洞になり、細胞壁のみが残っていた。これは、豆腐製造工程で浸漬大豆が物理的処理により磨砕され、大豆胚乳の大部分が豆乳として流失したことによると思われる。大豆細胞壁の外形は保たれており、蜂の巣状の多孔質構造を呈していることが観察された。これに対して15時間発酵後のおから納豆は、蜂の巣状の構造こそ見られるものの、おからに比べて細胞壁はやや薄くなっていた。細胞内の空隙はやや広くなり、大豆細胞壁が崩壊し始めている様子が観察された。

ついで、24時間発酵後のおから納豆は、おからおよび15時間発酵後のおから納豆に見られたような蜂の巣状の構造は全く観察されず、大豆細胞壁は完全に崩壊していた。縮れた細胞壁の断片が散乱しており、その表面にはしわが寄っていた。このよう納豆菌発酵は、おから中の成分だけではなく、組織にも多大なる影響をおよぼすことが確認された。

4. 納豆菌発酵によるおからの粒度分布の変化

納豆菌発酵によるおから組織の変化が観察されたことから、おから粒子径も変化するものと予測した。そこで、おからおよび15時間、24時間、48時間発酵のおから納豆を調製し、各試料の粒度分布を測定した (Fig. 4)。

おからでは、粒径10ミクロン以下の粒子は全体の約21%で、15時間発酵後のおから納豆では、10ミクロン以下の粒子が全体の約37%発酵となり、発酵前よりも増加した。おからおよび15時間発酵後のおから納豆は、いずれも10ミクロン以下の粒子の占める割合が多かった反面、70ミクロン以上の粒子も多く存在していた。

ついで、24時間発酵後のおから納豆および48時間発酵後のおから納豆の粒径を測定した。24時間および48

Fig. 4 The distribution of particles in okara and okara natto fermented for 24hr and 48hr

時間発酵後のおから納豆は、いずれも粒径10ミクロン以下の粒子が全体の40%以上を占めており、おからに比べて微粒子がかなり増加していた。さらに70ミクロン以上の粒子は、24時間発酵後のおから納豆では、15%と少なく、48時間発酵後では、全て60ミクロン以下となった。したがって、おからは発酵時間が長くなるにつれて微粒子化した。

なお、本実験では試料調製時、サンプルミルによって一定時間粉碎したものを粒度分析用試料とした。よって、納豆菌の作用のみでおからの微粒子化が引き起こされたことにはならない。しかし、おからを納豆菌発酵すると成分組成や組織の状態が変化し、物理的な粉碎作用を受けやすく、つまり崩壊性の良いおからに改質されると推測した。

5. 納豆菌発酵によるおからの物理的特性の変化

おから納豆の食品素材としての加工適性を検討するために、おからおよび24時間発酵後のおから納豆の吸水性、吸油性、乳化性および乳化安定性を調べた (Table 4)。おから納豆の吸水性および吸油性はおからに比べてほとんど変化がなかった。おからを食品素材として利用する場合、おからが本来持っている保水性および吸水性が大きいことが最大の長所となる。これによって冷凍食品のドリップや水分の分離を防止するなどの効果が期待できる。おからを納豆菌発酵してもおから本来の吸水性が損なわれないことから、おから納豆は食品素材としての価値を十分保っていると考えた。

おからおよび24時間発酵後のおから納豆の乳化性および乳化安定性を測定した (Table 5)。おから納豆は、おからよりも乳化性、乳化安定性は高かった。これは、

Table 4 Water and oil absorption of okara and okara natto fermented for 24hr.

	Water absorption (water mL/g dry wt.)	Oil absorption (oil g/g dry wt.)
Okara	5.77	1.74
Okara natto	5.80	1.77

Table 5 Emulsifying activity and emulsion stability of okara and okara natto fermented for 24hr.

	Emulsifying activity (%)	Emulsion stability (%)
Okara	10.94	10.12
Okara natto	51.67	29.46

おからを発酵処理することで、おからの表面に露出する疎水性部分が増加したためと考えた。

6. おから納豆のタンパク質の人工消化率

おからには、乾燥重量で約25%ものタンパク質が残存している。おからの食品への利用を考えた場合、この残存タンパク質の利用率を高めることは重要である。おから納豆中に残存するタンパク質人工消化試験を行った。

おからおよび異なる発酵時間のおから納豆のタンパク質人工消化率を調べた結果、おからの人工消化率は、72.18%であったが、15時間、24時間および48時間発酵したおから納豆の人工消化率は、それぞれ73.23%、73.98%および74.03%であり、発酵前に比べてわずかに増加した。一方、市販の納豆では、大豆タンパクの約50%が水可溶性¹⁹⁾になることから、原料の大豆よりもタンパク質の人工消化率は大幅に増加すると考えられるが、おからでは水溶性のタンパク質の大部分が豆腐製造過程で豆乳としてすでに抽出されているので、残存するタンパク質は水不溶性の状態であるためと推測した。

要 約

納豆菌でおからを発酵し、おからとは異なった風味や特性を有する食品素材を得ることを目的とし、納豆菌発酵おから (おから納豆) を調製し、その成分、組織ならびに物理的特性の変化について調べた。

(1) おから納豆は、遊離アミノ酸、遊離脂肪酸、無機リンは増加し、食物繊維量は減少した。遊離アミノ酸では、ロイシン、フェニルアラニンが多く、食物繊維では、ペクチンが増加し、シュウ酸塩不溶画分中のヘミセルロースが減少した。

(2) 納豆菌数は発酵5時間から10時間にかけて急激に増大し、品温は発酵15時間で50℃に達した。プロテアーゼ活性が高まるにつれて窒素分解率も増加した。また、発酵15時間以後の生成アンモニア量は急増し、pHも急増した。発酵30時間後pHは8.2であった。

(3) 走査型電子顕微鏡によるおから組織の観察で、24時間発酵後のおから納豆では、大豆細胞壁が完全に崩壊していることが確認された。また、発酵時間が長くなるにつれ崩壊性が高まり、10ミクロン以下の粒子が増加した。

(4) おからを納豆発酵しても人工消化率は変化なかった。しかし、おから本来の吸水性および吸油性は損なわれず、乳化性および乳化安定性は増加した。

文 献

- 1) 竹中哲夫・竹中陽子・バイオインダストリー, 13, 5 (1996)

- 2) 秋本隆司・松本伊佐尾・今井誠一：日食工誌, **40**, 83 (1993)
- 3) 永井利郎・西村和典・鈴木英也・番場康夫・佐々木裕・木内 幹：日食工誌, **41**, 123 (1994)
- 4) 日本油化学協会：基準油脂分析試験法, 2.4.4-83
- 5) 福田作蔵：還元糖の定量法 (東京大学出版会, 東京), p. 44 (1969)
- 6) 田口邦子・河端 信・大槻耕三・田中敬子：栄養と食糧, **39**, 203 (1986)
- 7) JELTEMAN, M. A. and ZABIK, M. E. : *J. Sci. Food Agric.*, **31**, 820 (1980)
- 8) VAN SOEST, P. J. and WINE, R. H. : *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, **50**, 50 (1980)
- 9) FISKE, C. H. and SUBBAROU, Y. : *J. Biol. Chem.*, **66**, 375 (1925)
- 10) 納豆試験法研究会：納豆試験法 (光琳, 東京), (1990)
- 11) LOWRY, O. H., ROSENBOUGH, N. J., FARR, A. L. and RANDALL, R. J. : *J. Biol. Chem.*, **193**, 265 (1951)
- 12) 山田亜樹子・高野克己・鴨居郁三：日本食品低温保蔵学会誌, **18**, 11 (1992)
- 13) 時岡淳子・高橋満里子・亀高正夫：栄養と食糧, **38**, 435 (1985)
- 14) YOSHIMOTO, T., FUKUMOTO, J. and TSURU, D. : *Int. J. Protein Res.*, **2**, 285 (1971)
- 15) 東篠 敬・徳山龍明・丸尾文治：農化誌, **57**, 717 (1983)
- 16) 渡辺篤二・斎尾恭子・橋詰和宗：大豆とその加工 I (建帛社, 東京), p. 59 (1992)
- 17) 高橋 慧・島川 武：愛媛工試報告, **14**, 13 (1976)
- 18) 大西礼子・阿部啓子・本間清一・相田 浩：家政誌, **39**, 13 (1988)
- 19) 渡辺篤二・海老根英雄・太田輝夫：大豆食品 (光琳, 東京), p. 133 (1991)

(平成9年5月22日受理)