

納豆作製工程におけるダイズ粒の力学物性と顕微構造の変化

誌名	日本食品工学会誌 = Japan journal of food engineering
ISSN	13457942
著者名	小川,幸春 田口,聡 山本,奈美 田川,彰男
発行元	日本食品工学会
巻/号	9巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 151-156
発行年月	2008年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



◇◇◇◇ 原著論文 ◇◇◇◇

納豆作製工程におけるダイズ粒の力学物性と顕微構造の変化

小川幸春^{1,†}, 田口 聡¹, 山本奈美², 田川彰男¹

¹ 千葉大学大学院園芸学研究科, ² 和歌山大学教育学部

Changes in Mechanical and Microscopic Properties of a Soybean Seed during Experimental Natto Making Process

Yukiharu OGAWA^{1,†}, Satoshi TAGUCHI¹, Nami YAMAMOTO² and Akio TAGAWA¹

¹ Graduate School of Horticulture, Chiba University, Matsudo 648, Matsudo 271-8510, Japan

² Faculty of Education, Wakayama University, Sakaedani 930, Wakayama 640-8510, Japan

Changes in mechanical properties of a sample soybean seed during experimental Natto making process were studied from a histological standpoint. The process for Natto making was partitioned into soaking, autoclaving, fermenting and aging operations by which physical structures of a soybean seed were influenced. The hardness of the sample soybean was drastically changed by the autoclaving operation in which decrease of autofluorescent brightness of the soybean tissue was observed by autofluorescent stereo microscopy. However, the tissue microstructure visualized by the SEM was not obviously changed in the autoclaving process. As a result, it seemed that some compositions, which should influence hardness and autofluorescent properties of a soybean seed, were eluted from the tissue by the autoclaving operation. Shrinkage of an internal structure in a cell matrix, which should be resulted from protein decompositions by a protease reaction, was observed during fermenting and aging processes. As a result, a gap in a cell matrix increased and it was thought that the gap should also have relations with a slight decrease of hardness of sample soybeans. An observation of microscopic structures of a soybean seed during Natto making process has potential for studying manufacture of Natto.

Keywords: Itohiki-Natto, Manufacturing, Morphology, Histology, Visualization

1. 緒 言

糸引納豆（以下、納豆）は伝統的な発酵食品の1つであり、最近では機能性食品としての観点から活発に研究が展開されている [1]。同様に納豆菌の働きについての研究も幅広く行なわれている [2]。それらの研究成果から、経験則に沿ったこれまでの伝統的な納豆製造法の妥当性も証明されてきている [3]。

工業的に製造される場合、原料ダイズは様々な加工工程を経て納豆となる。それら工程におけるダイズ粒の状態変化は、最終製品である納豆の品質とも密接に関係することから数多くの研究結果が報告されている

[4-11]。一方、納豆製造における原料ダイズの加工適性は、数千種もあるダイズの品種はもとより栽培条件や栽培地域によっても異なる [12-15]。このため実際の製造現場では、例えば、蒸煮時間設定の基準は蒸煮された豆の硬さが親指と薬指で軽くはさんでつぶれる程度が良い [12]、といったように経験的、感覚的に判断されている。

一般的に、食品素材は加熱や発酵などの操作によってその理化学特性が大きく変化し、それらの変化が最終製品の品質に少なからず影響を与える。納豆の製造においても同様であり、前述のような硬さなど力学物性の変化も最終製品の品質に影響を与える主要な因子の1つとなる。それら力学物性は物質としてのダイズ粒の顕微的な組織構造特性と密接に関係するが、納豆の場合、そうした構造的な観点、とくに蒸煮や発酵などの加工工程がダイズの組織構造に及ぼす影響について詳細に調査した例はあまり見当たらない。

(受付 2008 年 5 月 21 日, 受理 2008 年 7 月 24 日)

〒 271-8510 千葉県松戸市松戸 648

〒 640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930

† Fax: 047-308-8848, E-mail: ogwy@faculty.chiba-u.jp

そこで本研究では基礎的な知見提供を目的に, 研究室規模ではあるが, 納豆作製のための浸漬, 蒸煮, 発酵および熟成の各加工工程によるダイズ粒の力学物性および組織構造の変化を調査し, それらの関係について検討した。

2. 実験方法

2.1 材料

原料ダイズには納豆用小粒種のスズマル (2005 年, 北海道岩見沢産) を用いた。納豆菌には (有) 高橋雄蔵研究所の粉末納豆菌を用いた。粉末の菌は滅菌水で 1% 希釈し納豆菌液として実験に供試した。

2.2 納豆の作製

文献 [12,16] を参考に研究室規模で納豆を試作した。原料ダイズは選別, 洗浄の後, 室温で蒸留水に 18 h 浸漬した。浸漬後, オートクレーブ (MLS-2400, 三洋電機特機(株)) を用いて加圧蒸煮 (以下, 蒸煮) した。蒸煮の条件は予備実験の結果と用いたオートクレーブの規格から 121°C (約 200 kPa), 25 min とした。蒸煮後直ちに試料に納豆菌液を接種し, 蓋付きの PSP 容器におよそ 40 g ずつ盛り付け, ポリエチレンフィルムを被せて蓋をした。容器は蓋を閉じたまま温湿度制御可能な恒温恒湿器 (MLR-350H, 三洋電機特機(株)) 内に暗条件で静置し, 発酵・熟成した。発酵条件は温度 40°C, 湿度 80%, 20 h, 熟成条件は温度 5°C, 湿度 50%, 24 h に設定した。

2.3 物性測定

試料の物性として, ダイズ粒 1 粒ずつの硬さ, 凝集性および付着性を測定した。測定にはクリープメータ (RE2-3305S, (株) 山電) および同解析ソフトウェア (テクスチャー解析 Windows Ver.1.2(a), TAS-3305(W), (株) 山電) を用いた。試料はクリープメータで連続して 2 回圧縮し, それぞれの物性値を求めた。圧縮の条件は, ①厚み方向に 90% まで圧縮 (1 回目の圧縮), ② 5 mm 戻す, ③再度①で決定された位置まで圧縮 (2 回目の圧縮), とした。粒の厚みは長辺に対し垂直かつ子葉の重なる方向とし, 戻し距離は試料の厚みに基づいて設定した。プランジャは試料全体を圧縮するのに十分な大きさである $\phi 30$ mm の円盤型 (ポリアセタール樹脂製) を用いた。プランジャの移動速度は 1 mm/s, 試料とプランジャの接触点は荷重を 0.2 N 感知した位置とした。反復はそれぞれ 30 粒とした。ここで試料の硬さは, ①で測定される最大荷重値とした。凝集性は, ①で測定される負荷面積 (A1) と②で測定される負荷面積 (A2) の比 (A2/A1) で表した。付着性は, ②の戻し操作で測定される負の荷重 (粘着力) と戻し距離

から求めた。

2.4 組織構造観察

実体蛍光顕微鏡および走査型電子顕微鏡によって, 作製中の各工程におけるダイズ粒試料の組織切片を観察した。組織切片を得るためにパラフィン包埋と粘着テープを利用した簡易切片化法 [17,18] を適用した。ダイズ粒試料は, アルコール濃度上昇系の脱水置換法 (30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95% (1), 95% (2), 100% (1), 100% (2), 各 24 h 間隔) によって脱水置換し, キシレン代替有機溶媒のレモゾール (和光純薬(株)) に 24 h 浸漬してパラフィンへの親和性を付与させた後, 70°C に設定した液体パラフィンに 24 h 浸漬した。パラフィン浸漬完了後, 液体パラフィンとともに試料を包埋皿に移し替え, 4°C に設定した冷蔵庫内で固化, 包埋した。包埋後の試料は常温に戻した後, 滑走式ミクロトーム (SM2000R, LEICA) によって試料の目的部位が露出する位置まで面出しし, その露出面に粘着テープ (東芝機械(株)) を貼り付けてそのまま切削, 切片化した。本実験では切片厚を 20 μm に設定した。組織切片に付着したパラフィンは粘着テープごとレモゾールに浸漬, 溶解して除去した後, 以降の顕微鏡観察に供した。

得られた組織切片は, 実体蛍光顕微鏡 (MZ-FL III, LEICA) に紫外領域の蛍光観察用フィルタセット (励起フィルタ 360 $\pm$ 40 nm, 吸収フィルタ 420 nm) を装着し, その自家蛍光状態を可視化, 観察した。観察結果は鏡筒に装着したデジタルカメラ (DS-5M-L1, NIKON) によってデジタル画像化した。画像取得の際には倍率ごとにカメラゲイン, シャッター速度などの撮影条件を統一した。本実験では, 全体画像取得時はそれぞれ 1600, 4 秒, 拡大画像取得時は 960, 4 秒に設定した。撮影時の各種補正は適用しなかった。なお, 画像の平均輝度およびその標準偏差は, Adobe Photoshop CS2 のヒストグラム計測機能を利用して求めた。組織切片自体の微細構造は, 上述の組織切片にコーティング厚がおよそ 300 Å になるようイオンスパッター (JFC-1000, JEOL) で金イオンを蒸着した後, 走査型電子顕微鏡 (JSM-5400LV, JOEL) (以下, SEM) によって画像化した。SEM では対象物の電子密度の違いを二次電子像として濃淡表示するが, 本報告ではそれら濃淡表示される構造物を微細構造とみなした。なお, 電子線照射のための加速電圧は 15 kV に設定し, 表面構造がなるべく明瞭に観察できるようにした。

3. 実験結果

3.1 物性

Table 1 に, 納豆作製中の各工程におけるダイズ粒の

硬さ、凝集性、付着性の各平均値および標準誤差を示す。浸漬後のダイズ粒の硬さを基準にすると、煮沸後の硬さはおよそ1/8倍に低下した。その後、煮沸から発酵に至る工程では、熟成後に若干の低下傾向がみられた。凝集性も硬さと同様、煮沸後に大きく変化し、熟成後わずかに低下する傾向を示した。一方、付着性は発酵後に最大となる傾向を示した。

発酵によって付着性が増加するのは納豆菌による粘質性代謝産物の生成が原因である [3] が、続く熟成工程において低下傾向がみられる原因は、温湿度低下によ

る納豆菌の死滅と関係があると考えられる。しかしながら、温湿度低下は粘質物を濃縮させて納豆の糸を強くする [3] との見解もあることから本実験で適用した作製条件に特有の現象である可能性もある。今後検討する必要があるが、本報告では Table 1 で示されたような物性変化のある試料に対しての実験結果であることを前提として考察を進めた。

3.2 組織構造

Fig. 1 に納豆作製中の各工程におけるダイズ粒試料の

Table 1 Changes in hardness, cohesiveness and adhesiveness of sample soybean seeds during Natto making process.

	Hardness (N)	S. E.	Cohesiveness	S. E.	Adhesiveness (J/m ³)	S. E.
Soaked	165.0	3.2	0.37	0.01	1.4	0.4
Autoclaved	20.3	0.6	0.20	0	346.0	18.9
Fermented	20.8	0.8	0.21	0.01	721.9	41.9
Aged	17.1	0.9	0.18	0.01	569.2	26.3

S. E. means Standard Error (n=30).

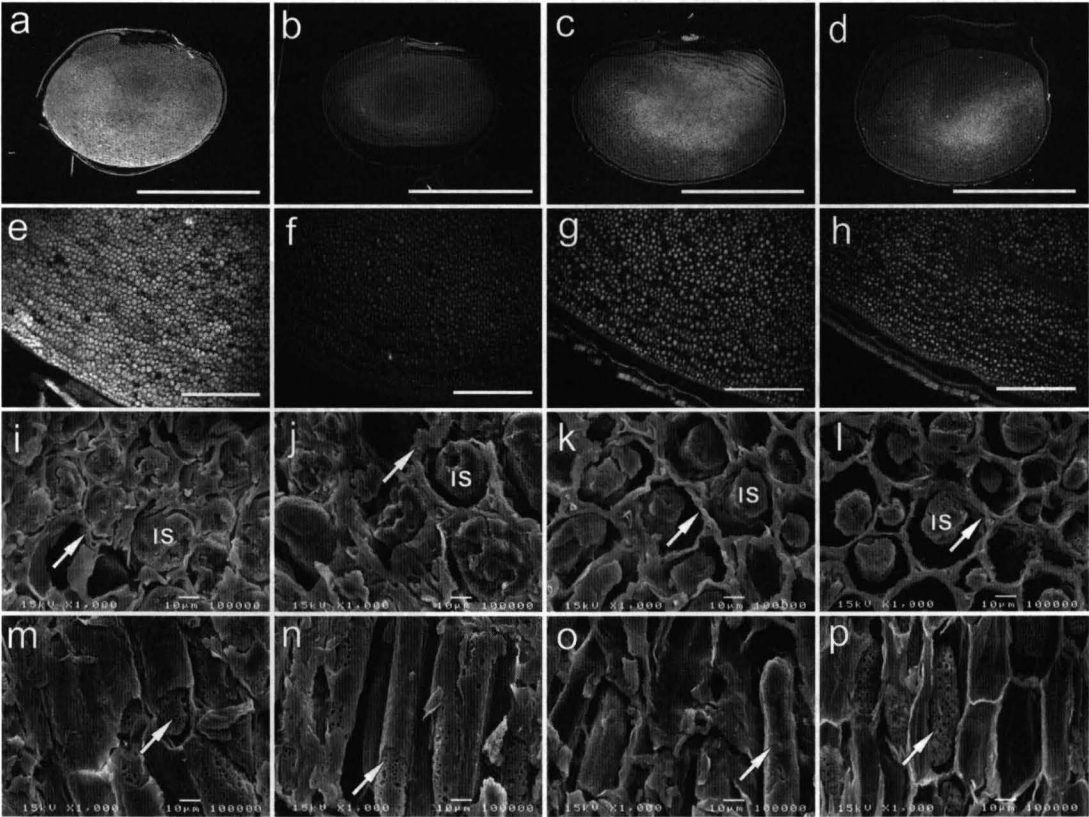


Fig. 1 Images of micro-structural changes of sample soybeans during Natto making process. Sample autofluorescent images of whole size sections (a)–(d) and magnifications around fringe area (e)–(h). Sample SEM images of short axis planes (i)–(l) and long axis planes (m)–(p) of palisade cells in the cotyledon tissue. Soaked sample (a), (e), (i), (m), autoclaved sample (b), (f), (j), (n), fermented sample (c), (g), (k), (o), and aged sample (d), (h), (l), (p) are shown respectively. Arrows (i)–(l) indicate cell wall. Arrows (m)–(p) indicate internal structures (IS) in a cell matrix. Scale bar of (a)–(d)=5 mm, (e)–(h)=500 μm, and (i)–(p)=10 μm.

組織切片画像および微細構造画像の1例を示す。Figs. 1(a)–(h)は実体蛍光顕微鏡による組織切片の観察結果で、Figs. 1(a)–(d)は切片の全体画像、Figs. 1(e)–(h)はいずれも種皮近辺の拡大画像である。一方、Figs. 1(i)–(p)はSEMによる微細構造の観察結果で、Figs. 1(i)–(l)は、粒の長辺方向側面と平行に採取した切片の子葉部中心付近、Figs. 1(m)–(p)は長辺方向側面に対して垂直に採取した切片の子葉接触面付近における微細構造を示す。すなわち、Figs. 1(i)–(l)では子葉内部に分布する柵状細胞の短軸断面、Figs. 1(m)–(p)では長軸断面が示されていることになる。Figs. 1の縦列は各加工工程を表し、Figs. 1(a), (e), (i), (m)は浸漬後、Figs. 1(b), (f), (j), (n)は蒸煮後、Figs. 1(c), (g), (k), (o)は発酵後、Figs. 1(d), (h), (l), (p)は熟成後それぞれの試料である。本実験では紫外光域の自家蛍光特性を可視化しているため、Figs. 1(a)–(h)では紫外光域で自家蛍光を発する成分の分布状態が示されていることになる。一般に植物組織ではフェノール性の化合物が紫外光域で自家蛍光を発すると考えられており [19]、組織形態の一部では特徴的な自家蛍光も観察される [20,21]。したがって、自家蛍光画像において高輝度で表示される部位にはフェノール性化合物もしくは自家蛍光を生じる未特定の成分が分布していると考えられる。Figs. 1(i)–(l)中の矢印で示される蜂の巣状構造物は子葉細胞の細胞壁であり、それら細胞壁に囲まれた内部の構造体 (IS) (以下、内部構造体) はタンパク質や脂肪顆粒などで構成される細胞内貯蔵物質であると考えられる [3]。Figs. 1(m)–(p)では、切片化によって内部構造体 (矢印) が一部あるいは全部露出して観察されているため、発酵・熟成の進行に伴う内部構造体の全体的な縮小が確認できる。なお、Figs. 1(m)–(p)の画像では、内部構造体が多孔質状に観察された。それらはすべての試料で見られたことから、切片化時のアルコールや有機溶媒による脱水操作など本実験手法に起因するアーチファクトである可能性がある。ただし、すべての試料に同様の処理を施しているにもかかわらず内部構造体自体の大きさは各工程で異なる傾向がはっきりと確認できたため、以降の考察を進めることとした。

Table 2 Brightness and its standard deviation of the sample section images shown in Figs. 1 (e)–(h).

	Brightness	S. D.
Soaked	136	35
Autoclaved	52	18
Fermented	76	38
Aged	70	30

S. D. means Standard Deviation. Soaked: (e), Autoclaved: (f), Fermented: (g), Aged: (h) in Fig.1, respectively.

4. 考 察

切片の自家蛍光画像において、浸漬後 (Figs. 1(a), (e)) の組織は蒸煮、発酵、熟成の各工程を経た組織よりも蛍光強度が強かった。Figs. 1(e)–(h)に示された各工程の画像における組織切片部分の平均輝度およびその標準偏差を Table 2 に示す。Table 1 で示されたように、ダイズ粒の硬さは蒸煮によって低下することから、蒸煮後の自家蛍光強度低下は粒の硬さ変化に関与している可能性がある。一方、SEM 画像で観察する限り、浸漬後 (Figs. 1(j), (n)) と蒸煮後 (Figs. 1(i), (m)) の微細構造には明確な変化が見られなかった。Fig. 2 は Figs. 1(l), (p) と同様、熟成後ダイズ粒の子葉部中心付近における微細構造を観察した SEM 画像である。Fig. 1 と比べて若干倍率が高いため、より詳しく細胞壁の状態を観察できる。Fig. 2(a) では、切片化によって細胞壁 (CW) の一部が削り取られ、内部構造体が細胞内に収まっている様子が確認できる。また熟成後の試料であるため、内部構造体 (IS) の縮小も見受けられる。Fig. 2(b) に示されるように、細胞壁に亀裂 (CR) が生じる例も観察されたが、ほとんどの場合、熟成後であっても細胞壁の物理的な損傷は確認されなかった。なお、蒸煮以降の工程を表す Figs. 1(b)–(d), (f)–(h) では、子葉細胞が疎に並んでいる様子が観察された。これは蒸煮による細胞壁中層部での間隙発生 [22] や内部構造体の空間的な縮小 (Fig. 1(l) 矢印参照) などに起因すると考えられる。

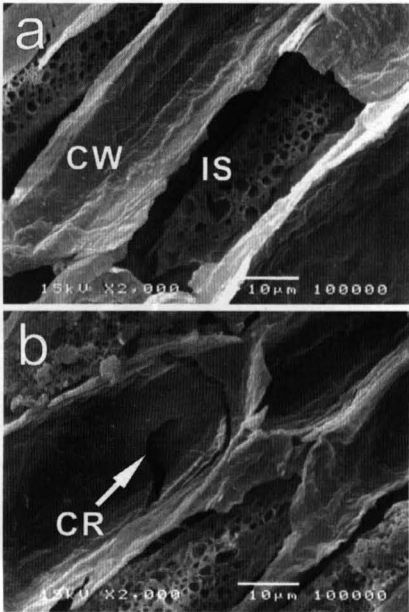


Fig. 2 SEM images of a magnification of sectioned plane for palisade cells in the cotyledon tissue of the aged Natto bean. Internal structure of cell matrix (IS), cell wall (CW), and crack (CR) are shown. Scale bar=10 μm.

植物の細胞壁は結晶性の微小繊維と、その繊維の間を埋めるようにして存在する形をなさない非結晶性のマトリックス成分とからなっている [23]. それら非結晶性マトリックス成分のうちペクチン質は水溶液によって抽出される区分であり、ダイズ粒を圧力鍋で煮ることによって溶出する成分でもある [24]. 本実験の結果と合わせて考えると、ペクチン質など非結晶性マトリックス成分が蒸煮工程で溶出したことで、粒の硬さや組織の自家蛍光強度が低下したものと考えられる. 一方、納豆菌は固体基質の中にもぐり込んで繁殖しない [3] ことから、ダイズ粒が納豆となるためには納豆菌が産出するプロテアーゼなどの菌体外酵素を粒の中心部まで一様に浸透させる必要がある. このため、結晶性繊維の隙間を生じさせる非結晶性マトリックス成分の溶出は、硬さなどの物性変化とともにダイズ粒が納豆に加工されるための必須条件であると考えられる. なお、溶出成分は、蒸煮後の粒表面に付着して納豆菌が繁殖するためのエネルギー源としても利用される [3].

発酵・熟成工程での内部構造体の縮小にはプロテアーゼなどによるダイズ貯蔵タンパク質の分解 [3] が関与し、その結果、粒の硬さや凝集性がわずかに低下したと考えられる. ただし、蒸煮後と比較して蛍光強度の若干の上昇が確認されていたことから、蒸煮時の硬さ変化とは異なる様々な要素が自家蛍光強度の変化に関与している可能性がある. 例えば冷蔵や加熱によってダイズタンパク質の物理化学特性が変化する [25, 26] ことから、内部構造体の縮小に関与する貯蔵タンパク質の変性なども含めて複合的に考慮する必要がある.

蒸煮工程は納豆の製造において重要な工程であり、蒸煮条件の設定が適切でなければ発酵・熟成工程に影響を生じ、最終製品の品質も低下する. 多くの場合、製造者の経験的な知見に基づいて温度や時間などの蒸煮条件が設定されている [27] が、本報告のようにダイズ組織の微細構造や成分変化、とくに蒸煮時に溶出する成分やその量を詳細に検討することで、蒸煮工程をはじめとした納豆製造工程の最適条件を予測できる可能性がある. また、原料ダイズのカルシウム含量が多いと納豆は硬くなる [3] などの経験的な現象も知られていることから、今後、ペクチン質との関係や蒸煮条件の違いによるダイズ粒の変化を検討する必要がある.

5. 結 論

実験室規模での納豆作製工程におけるダイズ粒の顕微構造的な変化を調査した結果、以下の知見が得られた.

(1) 蒸煮工程でダイズ粒の硬さが低下するとともに、自家蛍光を発する成分が組織から溶出することが確認された. しかし、SEM によって観察される微細構造に

は明確な変化が見られなかった. これらのことから、溶出する成分はペクチン質などの非結晶性マトリックス成分であり、それらが粒の硬さや組織の自家蛍光強度などに関与する可能性のあることが示唆された.

(2) 発酵および熟成の各工程では、プロテアーゼによるダイズタンパク質の分解が原因と考えられる細胞内部構造体の縮小が観察され、それら縮小によって生じた空隙が粒の硬さに影響を及ぼすと考えられた.

謝 辞

本研究に対し、有益なご助言をいただいた太子食品工業株式会社岩元靖氏、三浦大典氏ならびにタカノフーズ株式会社鶴飼紀幸氏、川根政昭氏、坂本晋一氏をはじめとする皆様に感謝いたします. 本研究は財団法人タカノ農芸化学研究助成財団より援助を受けました. また、実験材料のダイズはいわみざわ農業協同組合より提供いただきました. 厚く御礼申し上げます.

引 用 文 献

- [1] 須見洋行; 納豆の歴史と機能成分. 日本味と匂学会誌, **14**, 129-136 (2007).
- [2] 三星沙織, 木内幹; 納豆—最近の研究—. 食品と容器, **48**, 256-263 (2007).
- [3] 渡辺杉夫, “[納豆], 第1版”, 農山漁村文化協会, 2002, p.23.
- [4] 菅野彰重, 高松晴樹, 高野伸子, 秋本隆司; 納豆製造工程における糖成分の動向. 日本食品工業学会誌, **29**, 105-110 (1982).
- [5] 池田ひろ, 津野貞子; 納豆製造過程における成分変化 (第1報)—アミノ態窒素, アンモニア態窒素, 糖, ビタミンB2について—. 食物学会誌, **39**, 19-24 (1984).
- [6] 池田ひろ, 津野貞子; 納豆製造過程における成分変化 (第2報)—水溶性タンパク質について—. 食物学会誌, **40**, 27-37 (1985).
- [7] 松本伊佐尾, 秋本隆司, 今井誠一; 室温及び接種菌数が納豆発酵中の外貌, 納豆菌数, 硬度, 色調の変化に及ぼす影響. 日本食品工業学会誌, **40**, 75-82 (1993).
- [8] 秋本隆司, 松本伊佐尾, 今井誠一; 室温及び接種菌数が納豆発酵中の酵素活性と成分に及ぼす影響. 日本食品工業学会誌, **40**, 83-90 (1993).
- [9] Q. Wei, C. Wolf-Hall, K. C. Chang; Natto characteristics as affected by steaming time, bacillus strain, and fermentation time. J. Food Sci., **66**, 167-173 (2001).
- [10] 嶋影逸, 新保守, 山田清繁, 伊藤汎; 粒納豆および挽割納豆製造時のイソフラボンの消長. 日本食品科学工学会誌, **53**, 185-188 (2006).
- [11] 大塚恵美子, 浜名康栄; 納豆成熟過程でのポリアミンの変動. 栄養学雑誌, **64**, 185-188 (2006).

- [12] 納豆試験法研究会編; “納豆試験法, 再版”, 光琳, 1990, p.15.
- [13] 平春枝; 納豆・煮豆用大豆の品質評価法. 食糧, **30**, 153-168 (1992).
- [14] 木内幹; 納豆における原料の加工適性と製造技術. New Food Industry, **42**(5), 9-19 (2000).
- [15] Q. Wei, S. K. C. Chang; Characteristics of fermented natto products as affected by soybean cultivars. J. Food Process. Pres., **28**, 251-273 (2004).
- [16] 村松芳多子, 勝俣理恵, 渡辺杉夫, 田中直義, 木内幹; 糸引納豆製造法の改良. 日本食品科学工学会誌, **48**, 277-286 (2001).
- [17] 小川幸春, D. F. Wood, W. J. Orts, G. M. Glenn, 宮下一成, 薦瑞樹, 杉山純一; 粘着テープを利用した簡易切片化による米飯粒の組織構造観察. 日本食品科学工学会誌, **50**, 319-323 (2003).
- [18] Y. Ogawa; “Computer vision technology for food quality evaluation” Ed., D. W. Sun, Academic Press, 2008, p. 377.
- [19] R. G. Fulcher; Fluorescence microscopy of cereals. Food Microstructure, **1**, 167-175 (1982).
- [20] 小川幸春, 宮下一成, 清水浩, 杉山純一; 連続切片の自家蛍光観察によるダイズ種子の3次元内部構造. 日本食品科学工学会誌, **50**, 213-217 (2003).
- [21] 宮下一成, 薦瑞樹, 鈴木崇之, 都甲珠, 杉山純一, 中内茂樹, 清水浩; 3次元スペクトルイメージングによるダイズ種子の内部構造の可視化. 日本食品科学工学会誌, **51**, 656-664 (2004).
- [22] 山本奈美, 田村咲江; 煮熟したラッカセイのテクスチャー, 組織構造および官能特性-ダイズ・インゲンマメとの比較-. 日本家政学会誌, **50**, 313-321 (1999).
- [23] 田村咲江; 野菜の細胞壁と調理. 日本調理科学会誌, **28**, 274-282 (1995).
- [24] 渋谷祥子; 圧力鍋による煮豆の特性について. 日本家政学会誌, **30**, 591-595 (1979).
- [25] 添田孝彦; 冷蔵による大豆タンパク質のゲル化条件の検討. 日本食品工業学会誌, **41**, 670-675 (1994).
- [26] 添田孝彦; 加熱による大豆タンパク質分子形態変化の検討. 日本食品工業学会誌, **41**, 676-681 (1994).
- [27] 松本伊佐尾, 秋本隆司, 今井誠一; 大豆の蒸熟条件が納豆の品質に及ぼす影響. 日本食品工業学会誌, **42**, 338-343 (1995).

要 旨

研究室規模の納豆作製工程におけるダイズ粒の顕微構造的な変化を調査した。その結果、蒸煮工程でダイズ粒の硬さが低下するとともに組織の自家蛍光状態も顕著に変化している様子が観察された。しかし、SEMによって観察される微細構造には明確な変化が見られなかった。これらのことから、蒸煮工程でダイズ組織から溶出する成分はペクチン質などの非結晶性マトリックス成分であり、それらが粒の硬さや組織の自家蛍光強度に関与していると考えられた。発酵および熟成の各工程では、プロテアーゼによるダイズタンパク質の分解が原因と考えられる細胞内部構造体の縮小が観察された。それら縮小によって生じた空隙が、わずかではあるが粒の硬さ低下に影響を及ぼすと考えられた。以上より、蒸煮や発酵などの工程におけるダイズ粒の物性変化の一因が組織構造的な観点から明らかとなった。