

氏名(本籍)	よし おか くに あき 吉 岡 邦 明 (埼玉県)		
学位の種類	博 士 (農 学)		
学位記番号	博 甲 第 5049 号		
学位授与年月日	平成 21 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	物性測定に基づく納豆の品質評価に関する基礎的研究		
主 査	筑波大学准教授 (連係大学院)	博士 (農学)	乙 部 和 紀
副 査	筑波大学教授 (連係大学院)	農学博士	金 谷 豊
副 査	筑波大学教授 (連係大学院)	博士 (農学)	宮 崎 昌 宏
副 査	筑波大学教授	農学博士	瀧 川 具 弘

## 論文の内容の要旨

納豆の品質評価指標のなかで、豆の硬さや粘質物の糸引き性等の物理的特性(物性)は重要な指標である。硬さは原料大豆の違いや浸漬、蒸煮などの加工条件に影響され、発酵に伴って生じる粘質物の糸引き性(粘り)は納豆菌の種類と発酵条件に影響される。したがって製造現場では、品質管理上の指標としてこれらを日常的に確認しているが、「目視と食感」という主観に頼る作業であるところに問題がある。具体的には、製造工程中の蒸煮大豆、あるいは最終製品である納豆の硬さと粘質物の粘りは、官能検査により評価し、品質の良否を判断している。官能検査は人の感覚器官により対象物の香味や嗜好の品質差を判別する評価手法として食品検査には欠かせない手法である。しかしその一方で、検査者の能力に依るところが大きく、再現性や信頼性確保には細心の注意が求められる。そのため製造現場では、官能検査だけではなく、機器測定により定量分析が可能な新しい評価手法開発が求められている。そこで本研究では、製造工程で必要とされる物性指標を得るための新たな機器測定手法確立を目的として、蒸煮大豆、納豆、納豆粘質物を対象に、1) 静的弾性試験による物性指標化、2) 動的粘弾性試験による物性指標化を実施し、官能検査による指標との比較検討を行った。同時に、蒸煮工程を経ることによる大豆組織の軟化機構解明に対する糸口として、3) 植物体中の微量元素であるホウ素の細胞壁からの溶出現象という新たな視点に基づいて物性変化との対応を検討した。

納豆製造工程を実験室レベルで再現し、各工程における主要な加工パラメータを、水分量 80～100%、蒸煮温度 110～127℃、蒸煮温度保持時間 10～25min、発酵室温度 30～60℃の範囲で変えながら、蒸煮大豆と納豆の硬さ、ならびに粘質物の粘りに及ぼす影響を、前述の機器測定、ならびに官能検査により定量化して比較を行った。その結果、蒸煮大豆、納豆ともに、静的弾性試験により得られる指標の一つである静的弾性係数 E が、従来から納豆の硬さを決める加工パラメータとして重視されている蒸煮温度の違いを明瞭に表すことが示された。動的弾性試験により得られる指標の一つである貯蔵弾性率 E' もまた、蒸煮温度による蒸煮大豆と納豆への影響をよく反映し、納豆に関しては E よりも蒸煮温度による影響を明瞭に示す指標であることが明らかとなった。硬さに関して納豆の E 及び E' と官能検査結果との間には、それぞれ負の相関が認められ、ともに機器測定による物性の品質評価指標としての可能性が示された。この結果から、水

分量 80% 以上、蒸煮温度 121℃ 以上、蒸煮温度保持時間 15min 以上という条件が、納豆の硬さ制御における至適加工条件であることが示された。

納豆粘質物については、納豆を 30 ~ 60℃ の発酵温度で調製した場合、測定された E と E' において発酵温度の違いに対する有意差は認められなかったのに対し、動的粘弾性試験で得られる指標の一つである損失正接  $\tan \delta$  では有意差が認められた。官能検査では 40℃ と 45℃ で調製した納豆に含まれる粘質物の糸引き性は他の温度条件よりも「良」であり、同様の傾向が  $\tan \delta$  にも認められたことから、納豆に含まれる粘質物の  $\tan \delta$  は発酵状態の良否の推定に有効な指標となる可能性が示された。

静的弾性試験は動的粘弾性試験よりも歴史が古く、直観的で簡便という利点を有している。両試験法で大きく異なる点として、大豆組織構造や粘質物に対して非破壊的な操作により物性を捉えることができる点があげられる。この特性の利用により、蒸煮大豆と納豆それぞれの  $\tan \delta$ （内部での機械的エネルギー損失を表す）が、蒸煮温度の上昇に対して逆の傾向を示すという新たな知見が得られた。この知見は、大豆組織が蒸煮直後と発酵後で異なることを示唆しており、発酵過程の判定指標としての利用が期待される。また、粘質物の  $\tan \delta$  と官能検査との明瞭な対応関係が認められたことから、粘質物においても非破壊的な測定の有効性が示された。

さらに製造工程における大豆組織軟化機構の解明を目指し、蒸煮工程での大豆浸出液におけるホウ素含量を細胞壁崩壊指標として、豆の硬さとの関連を調査した結果、品種によらず温度上昇に対するホウ素溶出量は増加する傾向が認められた。また、E が 300kPa 以下の蒸煮大豆では、ホウ素溶出量と E との間に負の相関が認められ、ホウ素架橋が介在する細胞壁保持構造の溶脱が、大豆組織の軟化に寄与している可能性が示唆された。

以上の研究を通じて、納豆の物性に関わる品質評価において、必要とする物性指標と利便性に応じて測定手法を選択するための基礎的知見が得られた。これらの知見は、納豆の大量生産とそれに伴って自動化が進行する生産現場において、より効率的に判断し、製品に素早くフィードバックするシステム構築に寄与することが期待される。同時に、蒸煮・発酵過程での大豆・納豆の物性変化を定量的に捉える手法は、蒸煮・発酵過程での軟化や大豆組織崩壊に至るメカニズム解明の有効なツールになると考えられ、今後の納豆製造プロセス高度化研究への発展が期待できる。

## 審査の結果の要旨

本研究は、納豆製造工程で必要とされる物性指標を得るための新たな機器測定手法確立を目的として、蒸煮大豆、納豆、納豆粘質物を対象に、1) 静的弾性試験方法による物性指標化、2) 動的粘弾性試験による物性指標化を行い、官能検査による指標との比較によって物性面での品質評価手法を検討するとともに、蒸煮工程を経ることによる大豆組織の軟化機構解明に対する糸口として、3) 植物体中の微量元素であるホウ素の細胞壁からの溶出現象という新たな視点に基づいて物性変化機序の検討を行ったものであり、何れも初めての成果・知見である。これらは発酵醸造学、微生物学、植物生理学、食品工学、物性物理学を効果的に融合した学際的成果である。具体的な成果として、納豆の製造プロセスにおける品質評価について、これまでは勘や経験に頼っていた物性面の品質評価を、機器測定と従来の官能検査法を実施して対比させ、機器測定による客観的評価指標の選択方針に関する知見を提示した点があげられる。本研究の成果は、納豆の消費拡大に向けた製品開発の促進に寄与するだけでなく、大豆発酵食品の物性面における性状変化機序解明の一端を担う知見として高く評価できる。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。