

糸引きの少ない納豆「豆乃香」の開発

久保 雄司、中川 力夫*

近年は日本食の持つヘルシーさが外国人に評価されているが、納豆が好きな外国人はあまりいない。納豆の糸引きが多く外国人に受け入れられないからである。そこで茨城県は、フランスやドイツ等の諸外国に納豆製品を輸出することを目指して、糸引きの少ない納豆を開発するプロジェクトを立ち上げた。糸引きの少ない納豆を製造する手法には、容器の工夫や糊料の添加などの方法もあるが、我々はメーカーが新たな設備を導入しなくても糸引きの少ない納豆を製造するには納豆菌（*Bacillus subtilis*）の育種が必要と考え、継代培養で生じた自然変異株の選抜による育種に取り組んだ。このプロジェクトにおいて我々は、粘性物質の生産量が少ない特殊な納豆菌を選抜し培養することに成功し、IBARAKI ℓ st-1と命名し、本菌で発酵させた納豆製品を「豆乃香」と呼称することにした。「豆乃香」とは豆の香りという意味である。「豆乃香」の特性評価を行ったところ、一般的な納豆と比較して粘性物質と粘度は大きく減少し、硬さ・色・栄養成分（ポリアミン）は同程度で、官能検査結果ではパネラーから糸引きが少なく食べやすいという評価を受けた。県内納豆メーカーは糸引きが少ないという特性を活かした「ディップソース、ペースト、ドレッシング等の新たな納豆加工品」の開発にも取り組んでいる。

キーワード: 納豆、*Bacillus subtilis*、糸引きの少ない、イバラキ エルエステーワン、豆乃香

Development of low sticky texture natto “MAMENOKA”

Yuji KUBO and Rikio NAKAGAWA*

Many foreigners appreciate Japanese foods because of their health properties. However, few foreigners like Natto, because of its sticky texture. The Ibaraki prefectural government started the “Development of Low Sticky Texture Natto” project to export Natto-based products to France and Germany, among other countries. The use of specially shaped packages, or edible glue lowers the stickiness of Natto. However, these methods require new processing machines. Natto makers would like to produce low sticky texture Natto without having to purchase new machines. To meet this challenge, we developed a new strain of bacteria from a natural mutation during subculture of *Bacillus subtilis*. This strain produces substances with lower stickiness. We named this strain “IBARAKI ℓ st-1”, and called Natto products fermented by IBARAKI ℓ st-1 “MAMENOKA”. MAMENOKA means fragrance of fermented soybeans. We found that the stickiness and viscosity of MAMENOKA were significantly lower than that of commercial Natto. Firmness, color, and nutrient (polyamine) content of MAMENOKA were almost the same as commercial Natto. We performed taste tests of MAMENOKA and commercial Natto. The majority of those tested reported that MAMENOKA was easier to swallow than commercial Natto, because of its low viscosity. Some Natto makers in Ibaraki are utilizing these properties of MAMENOKA to develop new Natto-based products, such as dipping sauces, pastes, and dressings.

Keywords: Natto, *Bacillus subtilis*, low sticky texture, IBARAKI ℓ st-1, MAMENOKA

1 はじめに

納豆の国内消費は米離れなどが影響して頭打ちとなっているだけでなく、過熱する価格競争が中小メーカーを苦しめる要因となっている。そのような折、2013年12月に和食がユネスコ無形文化遺産に登録されたこともあり、世界的に和食への関心が高まっていた。

海外への納豆の普及はアジア以外ではさほど進んでいるとは言い難く、これから市場を開拓できる余地は大きい。

このような背景のもとで、2013年より、茨城県産業政策

課が推進する「いばらき成長産業振興協議会」の取り組みの中で、海外に向けた納豆の開発プロジェクトが始まった。いばらき成長産業振興協議会のコーディネーターは、箸で食べる文化や食品をすすって食べる文化のない海外においては、納豆の糸引きは普及させる際のマイナス要因であると考え、納豆の糸引きを抑えてしまうことを提案した。糸引きを抑えた納豆であれば普及しやすいのではないかという目論見であった。

特に、そのまま食べるのではなく、メニューを調理する

茨城県工業技術センター地場食品部門 〒311-3195 東茨城郡茨城町長岡 3781-1
Laboratory of Local Foods, Industrial Technology Institute Of Ibaraki Prefecture 3781-1 Nagaoka, Ibaraki Town, Higashi Ibaraki-Gun 311-3195, Japan * E-mail: nakagawa@kougise.pref.ibaraki.jp

Original manuscript received July 26, 2017, Revisions received September 19, 2017, Accepted September 20, 2017

際の食材として売り込むことを想定した。「栄養面でもカロリーに対するタンパク質割合が高く、脂質割合が低い」という納豆の特徴は、健康志向の高い購買層向けのアピールポイントになると期待された。

納豆といえば一般的に「糸引き納豆」のことを指すので、この報告では、糸引き納豆を単純に納豆と記載する。

2 目的とそれを達成するためのシナリオ

納豆を新たな食材として海外へ売り込むことを目指して、糸引きの少ない納豆を開発するための研究に取り組むとともに、研究成果の県内納豆製造企業への普及を図ることが目的である。その目的を達成するためのシナリオは、次の①～⑤の順になる。

- ①納豆の海外展開に必要な要件を明確化
- ②海外展開に必要な納豆菌の育種
- ③育種した納豆菌で製造した納豆の特性評価
- ④開発した納豆の特性把握と関係者への周知
- ⑤外国人向けメニューの考案や海外展示会への出展等の海外展開に必要な取り組みの実施

①は関係者間の話し合いで、糸引きの少ない納豆の開発とブランド化、外国人向け納豆メニューの提案が必要要件ということになった。②については、当センターで文献情報を調べて検討し、継代培養の過程で生じた自然変異株の選抜による育種を行うことになった。③～④については、納豆の粘性、硬さ、色、栄養成分の評価と官能検査を実施することにした。そして⑤では、①と同様に関係者間の協議により、ブランド名と統一ロゴを設定することや、西洋料理の専門家に納豆を用いた新メニューの考案を依頼すること、ヨーロッパで開催される世界的な食品展示会に出展することなどを決定した(図1)。

3 解決しなければならない問題

糸引きの少ない納豆の製造はさまざまな方法が提案され、

- ①容器形状を工夫して大豆を発酵させて納豆を作る方法
 - ②納豆製造過程で糊料を添加する方法
 - ③オカラを原料とした納豆に、桂皮、ココア、砂糖、マヨネーズ等を混合する方法
- などが特許情報として公開されている^{[1][3]}。

しかし、容器の工夫で糸引きの弱い納豆を製造する方法^[1]は、製造方法が通常の納豆と大きく異なる場合、納豆メーカーが既存設備で生産することが難しく、設備投資費用が問題になる。また、糊料を添加する方法^[2]では、糊料の添加工程という製造上の手間が増える問題点がある他、大豆と納豆菌以外の副原料を使用した納豆製品に対する消費者心理の問題も懸念される。原料に大豆ではなくオカ

ラを使用することで納豆の糸引きをなくす方法^[3]も開示されているが、この方法を用いると大豆の種子は原料に含まれないため、納豆の風味がなくなってしまう。

以上のことから、特殊な設備投資を行わず糸引きの少ない納豆を製造するためには、糸引きが少ない納豆を作ることのできる納豆菌の育種が必要であると考えた。

4 糸引きの少ない納豆を作ることのできる納豆菌の育種方法

納豆の粘り成分は、主にガンマポリグルタミン酸^[4](以下「 γ -PGA」と表記する)というグルタミン酸のガンマカルボキシル基とアミノ基が縮合したポリマーと、レバン^[5]というフルクトースが縮合したポリマーから構成される。特に糸引きに寄与するのは、 γ -PGAであり、この成分の合成量が少ない株を選抜すれば良いと考えられた。

納豆菌に限らず、細菌あるいは真菌において、継代培養を繰り返すと稀に元の形質が維持されず親株とは表現型が変わることが知られている。そのため食品を含め有用微生物を安定して利用しようとする場合、大元の株をグリセロー

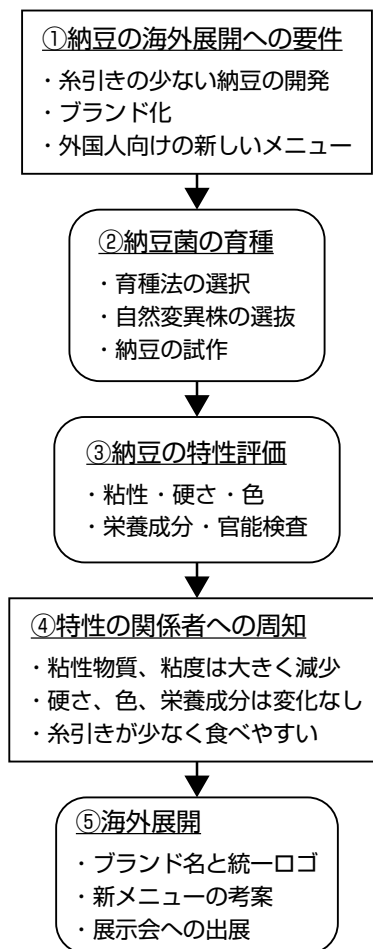


図1 糸引きの少ない納豆を開発し、海外展開するためのシナリオ

表1 糸引きの少ない納豆を製造するための従来法と当センターが採用した方法

従来法	①容器の工夫
	②糊料の添加
	③原料にオカラを使用
当センター法	納豆菌の継代培養によって生じた自然変異株の選抜を繰り返して育種改良された納豆菌の使用

ルストックやL乾燥管等で保存しておき、拡大培養は、大元に近い世代のストックから行うのが一般的とされる。今回は、この逆の手法をとった。具体的には、培地で同じ株の継代培養を繰り返す中で、元のコロニーと外観が変化したと感じられた（自然変異が疑われた）株を全て単離し、その全てで実際に納豆の試作を行い、糸引きの少ない納豆を作ることのできた株を選抜する作業を行った（表1）。

納豆菌の育種には、LB、E9⁶¹及び大豆粉末を含む培地等、納豆菌の培養に用いる培地を用いた。多くの場合、5回程度植え継いだところでコロニーの外観が元株と異なる株を得られる傾向が見られた。糸引きの少ない納豆菌育種の作業工程の概略を図2に示した。

図2に沿って糸引きの少ない納豆菌株が得られるまでの選抜方法の詳細を説明すると、市販スター株である宮城野菌をきな粉平板培地（きな粉 0.5 g、塩化ナトリウム 0.2 g、グルコース 0.1 g、寒天 1.5 g、水 100 ml）に植え37℃で48時間培養した。生育したコロニーを新たなき

な粉平板培地に植え継ぎ37℃で48時間培養する作業を5回以上繰り返した。植え継ぎを繰り返し、きな粉平板培地で生育したコロニーを釣菌し、LB平板培地に植菌して37℃で24時間培養した。元のコロニーと外観が変化したコロニーを新たなLB平板培地に植え継ぎ純粋培養を行った。単離した細菌株全てについて納豆を試作した。単離した全ての候補株をシェファー平板培地（ニュートリエントブロス (Difco) 1.2 g、硫酸マグネシウム7水和物 0.025 g、塩化カリウム 0.1g、硫酸鉄7水和物 0.0278 mg、硝酸カルシウム4水和物 23.6 mg、塩化マンガン4水和物 0.198 mg、寒天 1.5 g、水 100 ml）に塗布して37℃で2日間培養して孢子化した。その後、孢子を収集して滅菌水に懸濁した。調整した孢子液の菌数を確認後、納豆を試作した。

納豆の試作法は、最初に、大豆を3倍量の水（20℃）に16時間浸漬した後、よく水を切り、0.18 MPaで30分間蒸煮した。次に、蒸煮大豆1gに対して上記納豆菌の菌数が 10^3 個となるように納豆菌孢子懸濁液を噴霧し、よく攪拌した。これを、発泡スチロール製の容器に所定量充填し、小孔のあるポリエチレン製フィルムで被覆して蓋をした。次に、39℃、湿度90%で18時間発酵処理を行った後、20℃、湿度50%で2時間程あら熱を取り、5℃で1日以上冷蔵して熟成させ目的とする納豆を得た。

尚、通常は18時間程度の発酵を行うが、それよりも長い時間発酵させても糸引きが少ない納豆が製造可能であった。製造した納豆について菌の被り、豆の硬さ、糸引きか

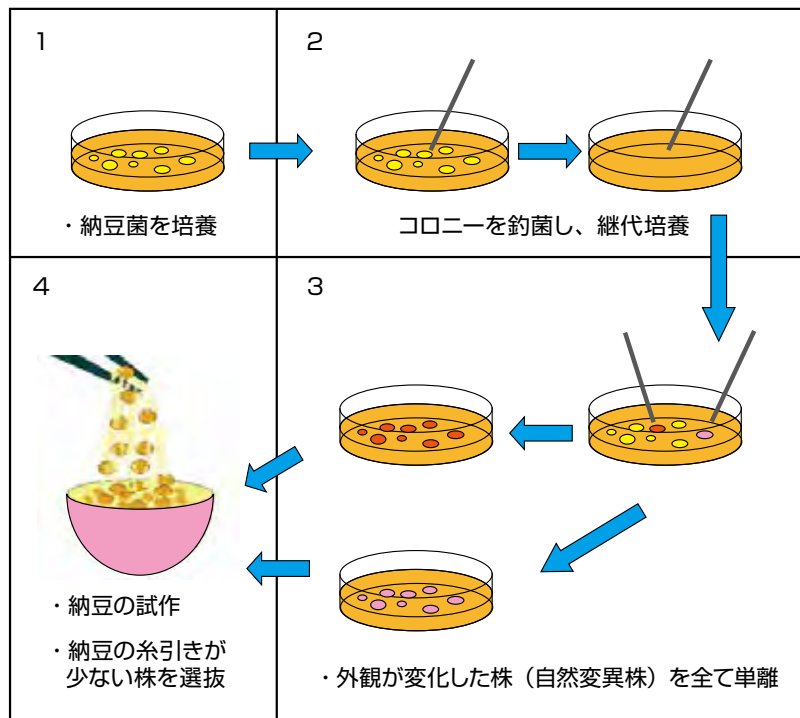


図2 糸引きの少ない納豆を製造するための納豆菌育種法

ら、従来の納豆菌株よりも糸引きの少ない納豆菌株を選抜した。選抜した細菌株について、16S rRNA 遺伝子の解析及びピオチン要求性試験を行い、その結果からバチルス・サブチリス (*Bacillus subtilis*) に属する納豆菌であることを確認した。

なお、納豆菌と納豆菌以外のバチルス・サブチリスとの相違は、納豆菌がピオチン要求性を示し、かつ粘質物産出能を有するのに対し、納豆菌以外のバチルス・サブチリスはこれらの特性を示さないことにある。

外観が変化したと思われる菌株は全てスクリーニングしたため、総数は 100 ~ 200 株程度となった。

それら全ての株で納豆を試作したところ、数株で元株よりも糸引きの少なくなった株が確認されたがその度合いにはばらつきがあった。その中でも特に糸引きが少なくなると共に食感・味にも優れた 1 株を選抜し (図 3)、その株を IBARAKI *ℓ* st-1 と命名し、その後の試作・試験に供した。

5 IBARAKI *ℓ* st-1株を使用して製造した糸引きの少ない納豆の特性評価方法

5.1 納豆中粘性物質生産量測定

IBARAKI *ℓ* st-1 と宮城野菌を用いて、納豆の製造を行い、サンプルとなる納豆を得た。納豆 (約 13 g) を 50 ml の遠心チューブに秤量し、1 mol/L の塩化ナトリウムを含む 10 mmol/L リン酸ナトリウムバッファ (pH7.0) を 5 ml 添加した。

大豆表面をよく攪拌・洗浄した後、8,700 ×g、4 °C で 5 分間遠心し、上清を新しい 50 ml の遠心チューブに分取する作業を 3 回繰り返し、水溶性成分を回収した。回収した水溶性成分を、8,700 ×g、4 °C で 20 分間遠心し、上清を回収する作業を 2 回繰り返した。得られた上清 10 ml に 99.5 % エタノール 25 ml を添加した。さらに、8,700 ×g、4 °C で 10 分間遠心し、粘性物質を回収した。回収した粘性物質を減圧乾燥後、重量を測定した。なお、試験は 3 連で行い、平均値と標準偏差を算出して比較を行った。



図3 糸引きの少ない納豆菌 (左) と既存納豆菌株で製造した納豆 (右)

5.2 納豆をかき混ぜた際の最高粘度測定

納豆の粘性を調べるために、ラピッド・ビスコ・アナライザー RVA-4 (NEWPORT SCIENTIFIC) を用いて、納豆のかき混ぜ抵抗を測定した。納豆そのもののかき混ぜ抵抗は粘度が高すぎて測定不可能であるため、納豆 10 g に水 1 ml を添加して測定サンプルを調整した。かき混ぜ抵抗を測定するパドル及びカップは RVA-4 専用のものを用いた。回転数を毎分 180 回転、サンプル温度を 20 °C、測定時間 2 分で最高粘度の測定を行った。なお、測定は 4 連で行い、平均値と標準偏差を算出して比較を行った。

5.3 納豆の硬さ測定

納豆の硬さは、既報¹⁷⁾に従い測定した。50 粒分の納豆について、それぞれ短軸方向の切断強度 (硬さ) を測定した。その最大値及び最小値から各 10 粒分のデータを除き、中間 30 粒の平均値及び標準偏差を算出して測定結果とした。

5.4 納豆の色調測定

納豆の色は、分光式色差計 SE-2000 (日本電色工業 (株)) を用いて測定を行った。10 粒分の $L^* a^* b^*$ 測定値の平均値を算出して測定結果とした。 L^* は明度 (数値範囲 0 ~ 100) を表し、数値が大きいほど明るい色であることを示す。 a^* (数値範囲 -60 ~ +60) と b^* (数値範囲 -60 ~ +60) は色度を表し、 a^* は数値が大きいほど赤色が強いことを示し、 b^* は数値が大きいほど黄色が強いことを示す (図 4)。

5.5 納豆の基本栄養成分、ビタミンK及びポリアミン含量測定

基本栄養成分、納豆に多く含まれるビタミン K 及び納豆の栄養成分として注目されるポリアミン^{[8][9]} (プトレスシン、スペルミジン、スペルミン) の分析を実施した。基本栄養

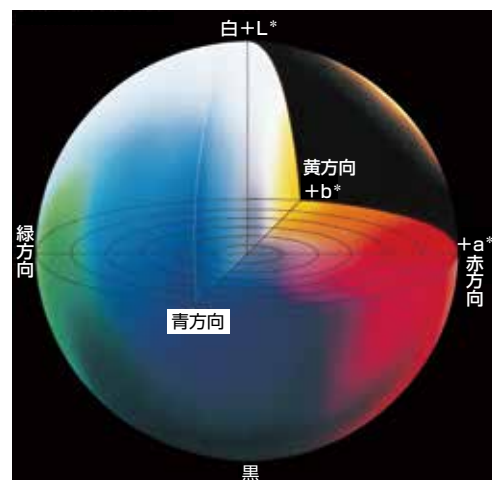


図4 L^* (明度) と色度 (a^*b^*) の関係図
コニカミノルタジャパン (株) 色色雑学より引用

成分及びビタミン K は既報^{[10][11]}に従い、ポリアミン分析は以下のとおり実施した。前記(4)に記載した方法)と同じ方法で納豆を製造して凍結乾燥した後、ミルミキサーで破碎した。サンプル 1 g に対し 5 % トリクロロ酢酸 5 ml を添加してボルテックスミキサーにて混和した。8,700 × g、4 °C で 10 分間遠心し、上清を回収した。この作業を 3 回繰り返した後、メスアップして 25 ml とした。メスアップした抽出液 50 μl に 6 nmol/ml の 1,7- ジアミノヘプタン / 0.1 M 塩酸溶液を 50 μl、炭酸ナトリウム飽和溶液を 200 μl 及び 10 mg/ml のダンシルクロライド / アセトン溶液を 200 μl 加え、ヒートブロックを用い 70 °C で 15 分間培養した。100 mg/ml の L-プロリン水溶液を 25 μl 加え、さらに 70 °C で 5 分間培養した。トルエン 500 μl を加え、よく混合した後、上層 500 μl を抽出した。これを減圧乾燥後、アセトニトリル 800 μl に溶解し、0.45 μm のメブレンフィルターで濾過して分析サンプルとした。ポリアミンの分析は、高速液体クロマトグラフ (HPLC) により行った。移動層には 10 mM のリン酸二水素アンモニウム (A 液とする) 及びアセトニトリル (B 液とする) を用いた。A 液と B 液の比が 45 : 55 の状態からスタートして、分析時間中に B 液の割合が直線的に高まる条件で分析を行った。その際の流速は 0.9 ml / 分で一定にした。

カラムは ODS カラムを用い、カラムオープンは 50 °C に設定した。検出は蛍光検出器を用い、励起波長を 340 nm、蛍光波長を 515 nm とした。標準品を用いた検量線からサンプル中のポリアミン量を算出した。

5.6 納豆の官能検査

10 代から 60 代以上の健康な男女 38 名により、それぞれの納豆がどのようなものか情報を与えずに 2 種類の納豆について比較評価を実施した。宮城野菌で製造した納豆を全ての評価項目において 3 点 (普通) とし、その点数に対して IBARAKI ℓst-1 で製造した納豆の性状及び特性を比較する形で評価を行った。また、6 つの評価項目を設定し、それぞれの項目について、宮城野菌で製造した納豆の方が良い (強い)、どちらも違いがない、IBARAKI ℓst-1 で製造した納豆の方が良い (強い) という三者択一の形式でも質問を行った。

6 糸引きの少ない納豆の特性評価結果と考察

6.1 納豆中粘性物質生産量比較

IBARAKI ℓst-1 及び市販納豆スターター株である宮城野菌を用いてそれぞれ製造した納豆について、生成する粘性物質の量を比較した。その結果、IBARAKI ℓst-1 の粘性物質生産量は宮城野菌に比べて約 25 % 減少していることが明らかになった (表 2)。

表2 納豆中粘性物質生産量比較 (単位: mg / 納豆g)

IBARAKI ℓst-1	宮城野菌
11.5±0.6	15.3±0.4

表3 納豆をかき混ぜた際の最高粘度比較 (単位: RVU)

IBARAKI ℓst-1	宮城野菌
201±49	582±27

表4 納豆の硬さ比較 (単位: g)

IBARAKI ℓst-1	宮城野菌
85.2±8.7	88.9±9.5

表5 納豆の色の比較

色調\納豆	IBARAKI ℓst-1	宮城野菌
L*	55.14	58.97
a*	5.49	4.55
b*	11.90	10.32

このことから、IBARAKI ℓst-1 は宮城野菌よりも粘りの少ない納豆を製造できることが確認された。

6.2 納豆をかき混ぜた際の最高粘度比較

IBARAKI ℓst-1 で製造した納豆をかき混ぜた際の最高粘度は宮城野菌で製造した納豆に比べ 65 % 以上低下したことが明らかになった。

このことから、宮城野菌で製造した納豆に比べて、IBARAKI ℓst-1 で製造した納豆は、捌けが良く、取り扱いや食べるのが容易であることが示唆された (表 3)。

6.3 納豆の硬さ比較

宮城野菌で製造した納豆と IBARAKI ℓst-1 で製造した納豆の硬さの平均値 (表 4) を統計的に処理して P 値 0.05 で t 検定を行うと、0.119 となる。この値は 0.05 (P 値) より大きいことから、両者の間で納豆の硬さには有意差がない。つまり、二つの菌株を用いて納豆を製造すると、ほぼ同じ硬さに仕上がることが測定データから確認された。

6.4 納豆の色の比較

両者の納豆はほぼ同じ色合いになることが、データから示された (表 5)。

6.5 納豆の基本栄養成分、ビタミン K 及びポリアミン含量比較

納豆に含まれる基本栄養成分、ビタミン K 及びポリアミン成分の分析結果を表 6 から表 8 に示す。基本栄養成分、ビタミン K は IBARAKI ℓst-1 及び宮城野菌で製造した納豆で、ほとんど差がなく栄養的に相違ないことが確認された。ポリアミンを一切含まない合成培地で納豆菌を培養し、培養液中に含まれるポリアミン含量を分析した場合に

表6 納豆の基本栄養成分比較 (100g当たり)

	エネルギー (Kcal)	水分 (g)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)	灰分 (g)
IBARAKI <i>l</i> st-1	201	58.6	16.2	9.7	13.2	2.3
宮城野菌	197	59.2	16.3	9.5	12.7	2.3

表7 納豆のビタミンK含量比較 (単位: μg /納豆100g)

菌種\ビタミンK種類	ビタミンK ₁	ビタミンK ₂	
	フィロキノン	メナキノン-4	メナキノン-7
IBARAKI <i>l</i> st-1	22.1 \pm 0.8	3.6 \pm 0.4	1101 \pm 38
宮城野菌	22.5 \pm 0.2	1.5 \pm 0.0	1027 \pm 14

表8 納豆のポリアミン含量比較 (単位: μg /乾燥納豆g)

ポリアミン種類\菌種	IBARAKI <i>l</i> st-1	宮城野菌
ブレスシン	2.4 \pm 0.1	2.4 \pm 0.1
スペルミジン	30.6 \pm 0.2	30.6 \pm 0.7
スペルミン	7.9 \pm 0.1	7.3 \pm 0.2

表9 納豆の官能検査結果1

	IBARAKI <i>l</i> st-1 で製造した納豆	宮城野菌で 製造した納豆
1. 菌の被り 悪い やや悪い 普通 やや良い 良い 1 2 3 4 5	2.70 \pm 0.67	3.00
2. 溶菌状態 多い やや多い 普通 やや少ない 少ない 1 2 3 4 5	3.47 \pm 0.74	3.00
3. 豆の割れ つぶれ 多い やや多い 普通 やや少ない 少ない 1 2 3 4 5	3.47 \pm 0.76	3.00
4. 豆の色 悪い やや悪い 普通 やや良い 良い 1 2 3 4 5	3.23 \pm 0.75	3.00
5. 香り 悪い やや悪い 普通 やや良い 良い 1 2 3 4 5	3.23 \pm 0.93	3.00
6. 硬さ 硬い やや硬い 普通 やや軟らかい 軟らかい 1 2 3 4 5	3.27 \pm 0.97	3.00
7. 味 悪い やや悪い 普通 やや良い 良い 1 2 3 4 5	3.13 \pm 0.92	3.00
8. 糸引き 弱い やや弱い 普通 やや強い 強い 1 2 3 4 5	1.47 \pm 0.55	3.00
9. 総合評価 悪い やや悪い 普通 やや良い 良い 1 2 3 4 5	3.05 \pm 0.87	3.00

は、スペルミンは検出されない。

納豆菌が主に生成するのはスペルミジンである。表8の結果を見ると、宮城野菌に含まれるスペルミジン含量は乾燥納豆1gあたり、30.6 \pm 0.7 μg であるのに対し、IBARAKI *l*st-1では30.6 \pm 0.2 μg である。表6から表8に示すように、納豆に含まれる栄養成分においても、IBARAKI *l*st-1は市販スター株である宮城野菌に引けをとらないことが明らかになった。

6.6 納豆の官能検査結果

5点法による納豆の評価結果及び三者択一による納豆の評価結果として集計したものを、それぞれ表9及び表10に示す。表9を見ると、糸引きの項目の評価結果は、宮城野菌の3点に対してIBARAKI *l*st-1は1.47点であり、両者の違いが認識されていることが明らかになった。

また、糸引き以外の項目では、菌の生え具合を示す「菌の被り」の項目を除き、宮城野菌と比較して遜色ないか、むしろ良い評価結果が得られた。また、表10を見ると、糸引きについて、38人中38人全員が宮城野菌の方が強いと回答した。つまり100%の人がIBARAKI *l*st-1の方が糸引きが弱いと感じられ、宮城野菌との間に差があることが明らかになった。

また、食べやすいのがどちらかという質問については、宮城野菌で製造した納豆であると回答した者の数が6人であるのに対し、IBARAKI *l*st-1の方が食べやすいと回答した者は、その4倍の24人であった。

また、その食べやすさと扱いやすさから介護食として適しているのはどちらかという質問に対し、38人中32人の人がIBARAKI *l*st-1の方が適していると回答した。このよ

表10 納豆の官能検査結果2

	IBARAKI ℓst-1 で製造した納豆(人)	宮城野菌で製造した 納豆(人)	どちらも 違いがない(人)
味が良かったのはどちらか?	13	14	11
香りが良かったのはどちらか?	11	9	18
糸引き強かったのはどちらか?	0	38	0
食べやすかったのはどちらか?	24	6	8
総合的に好ましいのはどちらか?	14	16	8
介護食として適しているのはどちらか?	32	5	1

うに、表9及び表10の評価結果から、IBARAKI ℓst-1を用いて製造した納豆は、味を含めた品質では従来の納豆と比べて何ら遜色なく、糸引きが弱いという点のみで異なることが分かる。

IBARAKI ℓst-1を、納豆製造に繰り返し使用しても安定して糸引きの少ない納豆が得られるようにするため、大元の株を凍結等により保存し、そこから拡大培養することで継代培養による品質変化が起こらないように努めた。

また、企業の製造現場で納豆の糸引きの少なさを維持するには、製造工場内で他の納豆菌が混入しないように留意する必要がある。

7 研究成果の展開

7.1 産学官の連携

茨城県工業技術センターは、納豆菌株 IBARAKI ℓst-1により作成した納豆を海外へ販売したい県内納豆メーカーを、いばらき成長産業振興協議会を通じて募った。

具体的には、(株)つくば研究支援センターに所属するコーディネーターが、糸引きの少ない納豆の製品化に関心をもつ企業への働きかけを行い、茨城県工業技術センターは、(株)つくば研究支援センターと連携して、賛同の得られ

た企業への IBARAKI ℓst-1の頒布と製造上のアドバイスをを行った。

茨城県産業政策課は、筑波大学芸術専門学群でビジュアルデザイン、パッケージデザインを研究されている原 忠信准教授にロゴデザインをお願いした。また茨城県農林水産部事業において食のアドバイザーを務めているフードアナリスト藤原 浩氏にブランド戦略への助言をお願いし、茨城県日立市出身でフランス、イタリアで修業し、都内のレストラン HATAKE AOYAMA のオーナーシェフである神保佳永氏に豆乃香料理のレシピ開発をお願いした。

茨城県産業政策課と茨城県工業技術センターは、糸引きの少ない納豆を製造できる納豆菌株の知財化や海外の展示会への出展、県内納豆メーカー間の意見の相違があった際の本事業の進め方などを随時打ち合わせしながら以下のような産学官連携体制を構築した(図5)。

この産学官連携体制の中で、筑波大学の原准教授により、「豆乃香」という統一ブランド名と統一ロゴが考案された(図6)。「豆乃香」の定義は、「IBARAKI ℓst-1を使用している納豆であること」とした。

さらに、加工食材としての利用ということで、神保シェフにより、豆乃香を利用したメニューも考案された(図7)。

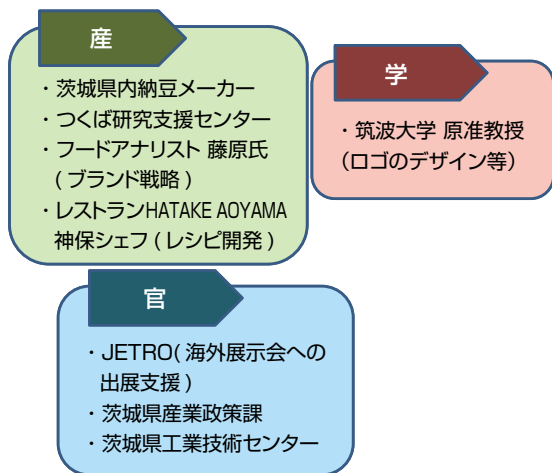


図5 産学官の連携体制



図6 豆乃香の統一ロゴ

7.2 国内外の展示会への出展

いばらき成長産業振興協議会では、IBARAKI ℓ st-1 を用いて製造した納豆を新しい食材として販売してゆくプロジェクトを「豆乃香プロジェクト」と名付けて、次の①～④の展示会へ出展した。

- ①Sirha2015（第17回シラ国際外食産業見本市）
2015年1月24日～28日にフランスのリヨンで開催（図8）。
- ②FOODEX JAPAN2015
2015年3月3日～6日に幕張メッセで開催（図9）。
- ③アヌーガ2015 世界食品メッセ
2015年10月10日～14日にドイツのケルンで開催（図10）。
- ④FOODEX JAPAN2016
2016年3月8日～11日に幕張メッセで開催。

出展後、一部は商談が進行中である。

我々は、事情により国内展示会のみ参加し、海外展示会には参加しなかったが、海外展示会に参加した関係者の話を総合すると、フランスでもドイツでも用意した豆乃香試作品は、現地の人に好評で、多くの輸入商社やレストラン、食品メーカーの方に試食いただいた。

ただ、外国人は、日本人のように納豆をご飯とともに食べるという習慣がないことや、食品流通におけるコールドチェーンが日本国内ほど完備されていないため、納豆製品

の海外販路開拓には、「ディップソース、ペースト、ドレッシング等の新しい納豆製品の開発と食べ方の提案、そして、納豆製品が常温にさらされた場合の対応や賞味期限延長を図るための技術開発が必要。」である。

現在、茨城県工業技術センターでは、このような情勢を踏まえ、引き続き県内納豆企業への技術的支援を行っている。また、納豆製品の賞味期限延長が可能となる新規納豆菌の育種研究にも取り組んでいる。

7.3 糸引きの少ない納豆を作ることのできる納豆菌の知的財産化

糸引きの少ない納豆を作ることのできる納豆菌をIBARAKI ℓ st-1 と命名し、「発明の名称：糸引性低下納豆菌株及び該納豆菌株による納豆の製造方法と納豆」という内容で特許を取得した（特許第 5754009 号、2015 年 6 月 5 日登録）。

この納豆菌変異株は、特許出願時に独立行政法人製品評価技術基盤機構 特許微生物寄託センターに、受託番号 NITE P-01836 で寄託された。

IBARAKI ℓ st-1 は、2017 年 8 月 1 日現在、豆乃香プロジェクト参画県内企業 6 社に対して当センターから提供している。



図7 豆乃香料理の一例
ブルdeナットー（発酵バターに納豆を加え、エシャロット、わさび、昆布茶等を隠し味に使用した料理）



図9 FOODEX JAPAN2015 出展ブース



図8 Sirha2015 豆乃香ブースを訪れる人たち



図10 アヌーガ2015 豆乃香製品の試食のようす

7.4 研究成果のマスコミ報道等

納豆の海外展開を県が支援していることをアピールするため、県産業政策課が県内在住外国人向けの納豆料理試食会を開催した。その試食会について県内マスコミ各社に取材を打診したことや、地域話題を探していたNHK水戸放送局の取材がきっかけとなり、豆乃香プロジェクトはNHK総合テレビやテレビ東京をはじめとする民放各局のニュース番組等で報道されるなど、マスコミにも注目されるようになった。NHKからは、関東甲信越地域放送文化賞を頂いた。これは、関東甲信越地域で年間を通して地域文化・生活・産業の分野での発展に功績をあげた人（団体）、またNHKの放送等諸活動に貢献した人（団体）を顕彰するもので、茨城県勢としては4年ぶりの受賞であった。このように、豆乃香プロジェクトは世間の高い関心と評価を頂いた。

茨城県工業技術センターは、豆乃香製品の販路拡大の一助になるように当センターを取材したマスコミ関係者に対し、「工業技術センターばかりでなく県内の豆乃香製造企業も報道して欲しい」旨、口頭で伝え、「豆乃香製造企業リスト」を手渡した。

その後、豆乃香製造企業もしばしばマスコミで取り上げられたが、企業全社が平等に報道されずに特定の企業に偏った報道がなされてしまうという問題も生じた。県行政サイドと民間企業複数社が連携してプロジェクトを立ち上げる際は、マスコミ報道が特定の企業に偏らないようにマスコミ関係者の理解と協力を得ることが今後の課題である。



図11 豆乃香プロジェクト参画企業の豆乃香
各豆乃香メーカー HP より引用

7.5 豆乃香プロジェクト参画企業の製品開発

豆乃香は、2017年8月1日現在、(株)朝一番、金砂郷食品(株)、(有)菊水食品、(有)トーコーフーズ、(株)ひげた食品(株)の5社より製品化されており、各社HPまたは茨城マルシェ(都内の茨城県アンテナショップ)にて購入可能である。原料の大豆、製法及び包装容器を各社で工夫して、それぞれ差別化を図っている(図11)。

豆乃香は、糸引きが少ないことにより、ペースト状にすり潰すなどの加工がしやすいメリットがある。このメリットを活かして豆乃香プロジェクト参画メンバーは豆乃香の加工品開発に取り組み、野菜等につけて食べる豆乃香のディップソース、豆乃香を生地に練り込んだ豆乃香ワッフルやパンに塗って食べるスプレッドタイプの豆乃香ペースト、豆乃香のドレッシング等を開発した(図12)。

現在もプロジェクトメンバーは新たな加工品開発に取り組んでおり、当センターでは、細菌検査を含めた品質の評価等により開発の支援を行っている。



図12 豆乃香を使用した加工品事例
各豆乃香メーカー HP より引用

その他にも、他の業種とのコラボにより、新たな加工品が開発されている。ラーメン店による豆乃香入りの餃子の開発、菓子メーカーによる豆乃香を使用したチョコレートケーキ、マドレーヌ、スコーン等の開発も行っている。また、2015年10月には茨城県坂東市の学校給食で豆乃香入りのドライカレーを提供する取り組みもなされた。このように、豆乃香の利用法は各方面に広がりつつある。

豆乃香プロジェクトは県内企業納豆製品の国内市場開拓には効果を上げたが、海外市場開拓に於いて効果を上げるには、まだまだ行政支援が必要である。現在、茨城県産業政策課では、海外取引の経験が豊富な民間企業出身者を雇用し、パリに駐在させ、納豆をはじめとする県産食品について現地バイヤーへの働きかけを行っている。

参考文献

- [1] 吉本巻男, 吉本友親: 納豆の製造方法および納豆, 特開2011-92027, 2009.10.27出願 (2011).
- [2] 太田敏行: 納豆, 特開平7-255408 (1995).
- [3] 森文男: 納豆加工食品, 特開2001-128 (2001).
- [4] M. Ashiuchi, C. Nawa, T. Kamei, J.J. Song, S.P. Hong, M.H. Sung, K. Soda and H. Misono: Physiological and biochemical characteristics of poly gamma-glutamate synthetase complex of *Bacillus subtilis*, *Eur. J. Biochem.*, 268 (20), 5321-5328 (2001).
- [5] I.L. Shih, Y.T. Yu, C.J. Shieh and C.Y. Hsieh: Selective production and characterization of levan by *Bacillus subtilis* (Natto) Takahashi, *J. Agric. Food Chem.*, 53 (21), 8211-8215 (2005).
- [6] G.A. Birrer, A.M. Cromwick and R.A. Gross: Gamma-poly(glutamic acid) formation by *Bacillus licheniformis* 9945a: physiological and biochemical studies, *Int. J. Biol. Macromol.*, 16 (5), 265-275 (1994).
- [7] 久保雄司, 齋藤勝一, ダニエル ホルヴェック, 舟根和美, 中川力夫, 木村啓太郎: 菌体外分解酵素が増強された納豆菌 *rpoB* 変異株による黒大豆納豆の製造, *日本食品科学工学会誌*, 60 (10), 577-581 (2013).
- [8] 早田邦康: 高ポリアミン食による哺乳類のアンチエイジング, *日本食品科学工学会誌*, 61 (12), 607-624 (2014).
- [9] 早田邦康: がん病態と栄養成分-ポリアミン, 脂肪酸, ポリフェノールについて-, *静脈経腸栄養*, 26 (5), 1211-1220 (2011).
- [10] 安本教傳, 安井明美, 竹内昌昭, 渡邊智子: 五訂増補 日本食品標準成分表分析マニュアル, 建帛社, 9-58 (2006).
- [11] 木内幹: 納豆の研究法, 恒星社厚生閣, 154-158 (2010).

執筆者略歴

久保 雄司 (くぼ ゆうじ)

茨城県工業技術センター地場食品部門主任。2004年東北大学農学部卒業。2006年東北大学大学院生命科学研究所博士前期課程修了。同年、茨城県職員(化学職)として採用され、茨城県工業技術センターに配属。納豆を中心に食品の試験研究事業を担当する。2014年、工業技術センターで取り組んだ納豆に関する研究成果をまとめ、東京農工大学大学院連



合農学研究科にて、博士(農学)を取得(論文博士)。現在に至る。(著書)大豆の栄養と機能性(第3章大豆加工食品の機能性)、株式会社シーエムシー出版、2014年。(受賞歴)関東甲信越地域放送文化賞(日本放送協会2016年)。

中川 力夫 (なかがわりきお)

茨城県工業技術センター首席研究員兼地場食品部門長。1986年東京大学農学部農芸化学科卒業、農学士。同年、茨城県職員(化学職)として採用され、同県水海道保健所(現常総保健所)の食品衛生監視員に任命される。1988年より県林水産部営農再編対策課、米の減反政策や不良土壌改善対策関連補助金を担当、1993年より農業総合センター園芸研究所流通加工研究室、冷凍保存梅果実からの梅干し製造や果実のCA貯蔵試験等を担当、1997年より工業技術センター加工食品部(現地場食品部門)、レンコン変色防止、大豆品種別豆腐加工適性比較、低アミロース米の煎餅製造試験等を担当し、2003年主任研究員、2007年地場食品部門長、2014年より首席研究員兼地場食品部門長。



査読者との議論

議論1 全体について

コメント(池上 敬一:産業技術総合研究所)

この論文は、多岐にわたる産・学・官関係者が連携し、バイオ技術やマーケティング、調理技術を融合することで、地場産業である納豆の海外展開に取り組んだ事例について述べています。すでに多くの企業で商品化まで進んでいることは、中心となった公設試研究者と産学の関係者らがイノベーションの「シナリオ」を共有して取り組んできたことを裏書きしており、シンセシオロジー誌にて論じられるべき事例と考えます。

コメント(湯元 昇:国立循環器病研究センター)

納豆の海外展開のため、糸引きの少ない納豆を開発し、産学官が連携してブランド化した過程が記載されています。これまでの国内での食習慣にこだわらず、明確なシナリオのもと、多くの企業が製品化するところまで進んでいるものであり、シンセシオロジー誌の研究論文としてふさわしいものと判断します。

議論2 シナリオの明確化について

コメント(湯元 昇)

シンセシオロジー誌においては、シナリオ(目標を達成するために必要となる要素技術をどのように選定し、統合したのかのプロセス)についての著者の独自性が研究論文としての要件となっています。現在の原稿では、全体像は把握できますが、著者がシナリオに基づいて、どのように要素を構成していったかが少し理解しにくい構成になっています。シナリオのフローチャートを作成し、要素技術をどのように構成したかが明確になるようにして頂けないでしょうか。また、要旨の部分も、シナリオを強調した記述にして頂けないでしょうか。

回答(中川 力夫)

要素技術をどのように構成したかが明確になるよう、シナリオのフローチャートを作成し図1として加えました。また、要旨についても、「納豆菌の育種」や「育種した納豆菌で製造した納豆の特性評価を行ったこと」などを要約して加筆し、さらに海外展開のためのシナリオを強調した記述に改めました。

議論3 連携体制の構築について

コメント(池上 敬一)

多岐にわたる機関や人材が連携した体制が構築されたことが述べられています。このような有機的な連携体制の構築は、本誌の読者

にとって非常に興味深いことであると考えます。どのように連携体制を構築し、またどのようにして「シナリオ」を共有したのか、加筆をお願いします。

回答（中川 力夫）

連携体制の構築について、公開可能な範囲で加筆しました。

議論4 継代培養と特性評価について

質問（湯元 昇）

今回得られた納豆菌は継代培養を繰り返す中で得られたものですが、繰り返し使用の中での安定性は如何でしょうか。また、官能試験における結果のばらつきはどの程度だったのでしょうか。

回答（中川 力夫）

今回得られた糸引きの少ない納豆菌の繰り返し使用においては、大元の株を凍結等により保存して、そこから拡大培養することで、継代による品質変化が起こらないように努めています。安定性については、この論文にも簡単な説明を加筆しました。また、官能試験結果のばらつきについては、表9中に標本標準偏差（ σ_{n-1} ）の値を追記しました。

コメント（池上 敬一）

官能試験を行った方々は納豆産業界関係者でしょうか。また、そもそも納豆を好んで食する人たちでしょうか？一般的な官能試験と比較しても個人の嗜好性が影響しやすい事例であると思いますので、試験者の属性を知りたいと思いました。

回答（中川 力夫）

納豆菌の育種研究段階では、県内納豆メーカー関係に官能試験をしていただきましたが、5.6節の官能試験は以下の職員がパネラーとなって実施しました。

【官能試験のパネラー】

- ・国立研究開発法人 農研機構 食品研究部門の職員
- ・茨城県内の納豆メーカー関係者
- ・茨城県産業政策課職員
- ・著者の知人の一般の方々

パネラーに対して納豆の好き・嫌いは質問していませんが、パネラーは茨城県内で生活している人たちなので、「納豆好きの人と納豆は好きでも嫌いでもないという人が混在した状態」だったと思います。

議論5 今後の取り組みについて

コメント（池上 敬一）

多くの見本市や展示会に出展したことが紹介されていますが、一口に海外と言っても、国や民族によって嗜好は異なるのではないかと想像します。出展によって得られた感触や、その感触を商品開発にどうフィードバックしたのか、本誌読者の興味を惹く論点だと思しますので、加筆をお願いします。

コメント（湯元 昇）

最後のところで、「豆乃香の利用は各方面に広がりつつある」と記述されていますが、今後、これまでとは異なるような活動をもしお考えでしたら、可能な範囲で記述して頂ければと思います。特に、展示会での懇談や色々な製品をつくる中で、ブランド化や国際展開を一層進めるために必要な活動があれば記述をお願いします。

回答（中川 力夫）

ビジネスの機微に触れる部分でもあり、詳細を明らかにすることはできませんが、出展の感触や、別事業の予算による「賞味期限延長が可能となる納豆菌の育種研究」への取り組みといった技術支援の方向性については7.2節に、橋渡し先の企業における取り組みや行政支援については7.5節に加筆しました。