

産官共同研究開発事業 平成12～14年度
研究成果報告書

福島県ハイテックプラザ研究報告書

TECHNICAL REPORTS
OF
FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

研究課題

『県産農産物を利用した機能性食品の開発』

平成15年3月

福島県
ハイテックプラザ
FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

会津若松技術支援センター

はじめに

産官共同研究のテーマとして平成12年度に着手した「県産農産物を利用した機能性食品の開発」が3年間の期間を経て終了しましたので、ここに報告致します。

この研究は、地元企業2社、福島県農業試験場、独立行政法人 農業技術研究機構 東北農業研究センター、日本獣医畜産大学、福島県ハイテクプラザの共同により、大豆の持つ機能性成分「イソフラボン」に着目し、イソフラボン含量が高く嗜好性にも優れた食品の開発について、食品学的技術と栽培学的手法を活用して取り組んだものであります。

これまで産学官の有識者を交えた推進会議を計4回開催するなど、研究の内容や方向についても軌道修正しながら進めてまいりました。

その結果は報告書にもありますとおり、豆腐のイソフラボン含量に及ぼす豆乳調製法の影響、大豆の品種や栽培条件とイソフラボン含量の関係、デザートの開発等、それぞれの分野で興味ある結果が得られ、それをもとに試食会や試験販売も実施してまいりました。

今後は、商品化に向けた課題解決のため、さらに努力したいと考えております。

最後になりましたが、推進会議などにご協力下され、また貴重なご意見をいただきました方々に感謝申し上げます。

平成15年3月

福島県ハイテクプラザ所長

近 藤 達 男



豆乳アイスクリーム



調整豆乳



豆乳抹茶プリン



イソフラボン高含有豆腐



イソフラボン高含有厚揚げ



低アレルギー豆腐



低アレルギー厚揚げ

研究成果品(豆腐、厚揚げ、豆乳、デザート)

研究課題：『県産農産物を利用した機能性食品の開発』

目 次

I	産官共同研究開発事業概要	5
II	研究課題名	
	『県産農産物を利用した機能性食品の開発』	
1	豆腐のイソフラボン含量に及ぼす 大豆の品種及び豆乳調製法の影響	7
2	品種及び産地の異なる大豆の イソフラボン含量及び豆腐加工適性	13
3	播種期及び登熟期が異なる 大豆のイソフラボン含量	19
4	大豆リポキシゲナーゼの 不活性化とその活用	25

産官共同研究開発事業概要

本事業は、平成12～14年度の3年間、資源エネルギー庁から電力移出県等交付金を受け、産官学が共同して『県産農産物を利用した機能性食品の開発』について行った研究であります。

近年、高齢社会の急速な進行や生活習慣病の増加に伴い、健康食品に対する関心がこれまでになく高まっています。こうした中、日本人の重要な食糧資源として活用されてきた大豆のコレステロール低下作用や抗ガン作用、更年期障害緩和作用等の様々な機能が報告され、豆腐や納豆などの大豆加工食品が健康維持に深く関わっていることが明らかになってきています。

本研究は、大豆の持つ機能性成分の一つであるイソフラボンに着目し、県産大豆を利用してイソフラボン含量が高く嗜好性にも優れた加工食品を開発し地域特産化することを目的としました。

研究体制としては食品学的技術をハイテクプラザと日本獣医畜産大学、栽培学的技術を県農業試験場と独立行政法人 農業技術研究機構 東北農業研究センター、製品試作を(株)郡山とうふセンターと県酪農業協同組合乳業部が担当し、互いに連携し境界分野の問題解決を目途としました。

以下、それぞれの研究開発で行った4テーマについてその概要を簡単に示しました。

1. 豆腐のイソフラボン含量に及ぼす大豆の品種及び豆乳調製法の影響

スズユタカ、東北126号（高イソフラボン大豆）、東北135号（リポ欠大豆）、東北139号（低アレルギー大豆）を原料にして加熱絞り法と生絞り法により豆乳を調製しそれらの成分、特にイソフラボン含量を比較し、その結果からイソフラボンの多い豆乳調製法を検討しました。

2. 品種及び産地の異なる大豆のイソフラボン含量及び豆腐加工適性

栽培年度によるイソフラボン含量の差異を検討するために2000年と2001年に栽培した15品種の大豆を分析しました。また、栽培地によるイソフラボン含量の違いを明らかにするためにスズユタカ、タチナガハ、東北126号（高イソフラボン大豆）のイソフラボンを測定しました。さらに、スズユタカ、東北126号（高イソフラボン大豆）、東北135号（リポ欠大豆）、東北139号（低アレルギー大豆）の豆腐加工適性についても併せて検討しました。

3. 播種期及び登熟期が異なる大豆のイソフラボン含量

スズユタカと高イソフラボン大豆の東北126号を用い、播種期及び登熟期の温度が子実中のイソフラボン含量にどのような影響を及ぼすか検討しました。その結果、(1)晩播大豆は標播大豆よりイソフラボンが顕著に多いこと (2)東北126号は播種期

や栽培地にかかわらずイソフラボン含量がスズユタカより顕著に多いこと (3)大豆のイソフラボン含量は登熟期の温度の影響を強く受けること等が分かりました。

4. 大豆リポキシゲナーゼの不活性化とその活用

東北126号の高イソフラボン性を活かすため、青臭み生成の原因であるリポキシゲナーゼの不活性化法について検討しました。その結果、製造現場で適用しやすい不活性化法を確立することができました。この技術を東北126号に応用して豆乳を調製し、これを用いて各種のデザートを試作しました。試作品は脂質過酸化度が低く、官能的にも青臭みが少ないようでした。東北126号によるリポキシゲナーゼ不活性化処理豆乳は青臭みの少ない高イソフラボン含有素材として更に多くの食品への利用が可能と思われれます。

県産農産物を利用した機能性食品の開発 第1報

豆腐のイソフラボン含量に及ぼす大豆の品種及び豆乳調製法の影響

会津若松技術支援センター 遠藤浩志・大野正博（現 企画情報部）
福島県農業試験場種芸部 丹治克男・二瓶直登
株式会社郡山とうふセンター 三坂富男
福島県酪農業協同組合乳業部 阿部一博
東北農業研究センター水田利用部 島田信二
日本獣医畜産大学食品科学科 金子憲太郎

スズユタカ, 東北 126 号 (高イソフラボン大豆), 東北 135 号 (リポ欠大豆), 東北 139 号 (低アレルギー大豆) を原料にして加熱絞り法と生絞り法により豆乳を調製しそれらの成分, 特にイソフラボン含量を比較し, その結果からイソフラボンの多い豆乳調製法を検討した。

Key words:大豆, リポ欠大豆, 低アレルギー大豆, イソフラボン, 豆乳, 豆腐, オカラ豆腐,

1. 緒言

大豆は良質のタンパク質や脂質に富んだ栄養価の高い食品として古くから日本人の重要な食糧資源として活用されてきた。近年, 大豆タンパク質のコレステロール低下作用¹⁾²⁾, ペプチドの血圧上昇抑制作用³⁾, 大豆サボニンの抗ガン作用⁴⁾や抗動脈硬化作用⁵⁾などが明らかにされた。さらに, 大豆イソフラボンが骨粗鬆症予防作用⁶⁾⁷⁾, 乳ガン抑制作用⁸⁾⁹⁾や前立腺ガン抑制作用¹⁰⁾を呈することも報告された。こうしたことから, 豆腐をはじめとした大豆加工食品は, 生活習慣病や乳ガンなどのガン発生率を低減化する食品¹¹⁾と考えられている。また, 日本人の平均豆腐摂取量は 19.36g/日/人で大豆加工品の中では最も多¹²⁾く, 全イソフラボン摂取量 17.96mg の 54%以上が豆腐に由来する¹²⁾と言われている。これまでの豆腐に係わる研究は大豆の加工適性¹³⁾¹⁴⁾, 豆腐の製造技術¹⁵⁾¹⁶⁾, n-ヘキサナール由来の青臭さや大豆タンパク由来の苦味改善技術^{17)~19)}, 物性改良技術²⁰⁾に係わるものが殆どであり, 機能性成分に着眼した報告は見あたらない。

以上のようなことから, 本研究は大豆の機能性成分, 特にイソフラボンの多い豆腐及び豆乳加工品の開発を目的として行った。本報では主として豆腐のイソフラボン含量に及ぼす大豆の品種及び豆乳調製法の影響について検討した。

2. 実験方法

2. 1. 試料

平成 12 年に福島県農業試験場本場で奨励品種決定調査試験において栽培したスズユタカ, 東北 126 号, 東北 135 号 (リポキシゲナーゼ全欠失大豆系統, 以下リポ欠大豆), 東北 139 号 (低アレルギー大豆系統, 以下低アレルギー大豆) を供試した。

2. 2. 豆乳の調製法

全粒 (有皮) または脱皮スズユタカに 5~7 倍量の水を加えて磨砕し, 加熱後に圧搾 (以下, 加熱絞り豆乳) または圧搾後に加熱 (以下, 生絞り豆乳) することにより調製¹⁴⁾した。なお, 全粒大豆から調製した豆乳を全粒豆乳, 脱皮大豆から調製した豆乳を脱皮豆乳とした。

2. 3. オカラの酵素分解とそれを利用した豆乳の調製法

脱皮スズユタカから加熱絞り豆乳を製造する際に副生したオカラに等量の豆乳を加え, それにセルラーゼとペクチナーゼを各 0.05%混合¹⁶⁾した。45℃で 2 時間保持した後に 85℃で 5 分間加熱し, 酵素を失活させた。冷却後, 再度磨砕して残りの豆乳を混合し脱皮おから豆乳とした。

2. 4. 豆腐の調製法

全粒豆乳, 脱皮豆乳及び脱皮おから豆乳にグルコノ- δ -ラクトンを 0.3%加え, 50ml 容ポリプロピレン製遠沈官 (径 26 mm) に入れ 80℃で 1 時間保持し豆乳を凝固させ, これを充填豆腐¹⁴⁾とした。全粒豆乳, 脱皮豆乳, 脱皮おから豆乳から調製した豆腐をそれぞれ全粒豆腐, 脱皮豆腐, 脱皮おから豆腐とした。

2. 5. 豆腐の破断強度の測定

調製した豆乳の凝固力は, 径 26 mm, 高さ 15 mmに成形した豆腐の破断強度を, レオメーター [(株) サン科学製 COMPAC-100] で測定した。プランジャーは径 10 mmの円筒型プランジャー, テーブルスピードは 6 cm/min で測定し, 豆腐ゲルが破断するときの荷重で表した。

2. 6. 一般成分の分析

豆乳は直接、大豆は小型粉碎機で32M以下に粉碎した大豆粉末を供し、水分、タンパク質、脂質²¹⁾、灰分、炭水化物、食物繊維²²⁾を分析した。

2. 7. イソフラボンの測定

島田等²³⁾の方法に従いHPLC法で測定した。

3. 実験結果及び考察

3. 1. 大豆の一般成分

表1に大豆の一般成分の分析結果を示した。

スズユタカと東北126号は各成分の含量が殆ど変わらなかった。リポ欠大豆の東北135号はタンパク質がやや少なく、炭水化物が幾分多かった。しかし、低アレルゲン大豆の東北139号は逆にタンパク質が多く、炭水化物が少なかった。

これらの結果は、低アレルゲン大豆系統はタンパク質が多く、リポキシゲナーゼ欠失大豆は少ない傾向があると報告²⁴⁾²⁵⁾と一致する。

3. 2. 大豆および豆乳のイソフラボン含量

表2は大豆と6倍加水で調製した加熱絞り全粒豆乳のイソフラボンの分析結果である。東北126号(436.5mg/100g)はイソフラボン含量が最も多く、最も少ない東北139号(107.2mg/100g)の約4倍であった。

品種間のばらつきはあったが平均で約280mg/100gでこれまで報告された含量²²⁾とほぼ一致した。いずれの品種もマロニルタイプが最も多く、イソフラボン総量の66.7~91.7%を占めていた。また、マロニルタイプのゲニスチンが特に多かった。アグリコンタイプはイソフラボン総量の0.8~2.5%にすぎなかった。

表1 各種大豆の一般成分値 (g/100g)

一般成分	スズユタカ	東北126号	東北135号	東北139号
水分	11.0	10.9	10.2	11.4
タンパク質	37.7(42.4)	36.7(41.2)	35.7(39.7)	40.0(45.1)
粗脂肪	17.7(19.9)	17.3(19.4)	17.2(19.2)	18.3(20.6)
炭水化物	28.9(32.5)	30.6(34.3)	32.2(35.8)	25.2(28.4)
灰分	4.6(5.2)	4.5(5.1)	4.8(5.3)	5.2(5.9)

()内は無水物換算値

表2 大豆と豆乳のイソフラボン含量 (mg/100g DW)

大豆の品種	マロニルタイプ			グリコシルタイプ			アグリコン			合計	
	ダイジ ン	ゲニス チン	計	ダイジ ン	ゲニス チン	計	ダイゼ イン	ゲニス チン	計		
大豆	スズユタカ	81.2	184.5	265.7	7.3	14.5	21.8	1.2	1.2	2.4	289.9
	割合 (%)	(28.0)	(63.6)	(91.7)	(2.5)	(5.0)	(7.5)	(0.4)	(0.4)	(0.8)	(100.0)
	東北126号	116.2	222.8	339.0	32.8	56.9	89.7	4.1	3.7	7.8	436.5
	割合 (%)	(26.6)	(51.0)	(77.7)	(7.5)	(13.0)	(20.5)	(0.9)	(0.8)	(1.8)	(100.0)
	東北135号	62.3	130.0	192.3	31.8	59.3	91.1	2.6	2.2	4.8	288.2
	割合 (%)	(21.6)	(45.1)	(66.7)	(11.0)	(20.6)	(31.6)	(0.9)	(0.8)	(1.7)	(100.0)
東北139号	18.9	55.8	74.7	8.6	21.2	29.8	1.2	1.5	2.7	107.2	
割合 (%)	(17.6)	(52.1)	(69.7)	(8.0)	(19.8)	(27.8)	(1.1)	(1.4)	(2.5)	(100.0)	
豆乳	スズユタカ	7.3	25.9	33.2	4.0	1.6	5.6	1.0	1.0	2.0	40.8
	割合 (%)	(17.9)	(63.5)	(81.4)	(9.8)	(3.9)	(13.7)	(2.5)	(2.5)	(4.9)	(100.0)
	東北126号	13.0	28.8	41.8	5.0	10.7	15.7	1.2	1.4	2.6	60.1
	割合 (%)	(21.6)	(47.9)	(69.6)	(8.3)	(17.8)	(26.1)	(2.0)	(2.3)	(4.3)	(100.0)
	東北135号	8.1	16.5	24.6	3.2	6.5	9.7	1.1	1.1	2.2	36.5
	割合 (%)	(22.2)	(45.2)	(64.7)	(8.8)	(17.8)	(26.6)	(3.0)	(3.0)	(6.0)	(100.0)
東北139号	3.7	8.4	12.1	1.4	2.8	4.2	0.6	0.6	1.2	17.5	
割合 (%)	(21.1)	(48.0)	(69.1)	(8.0)	(16.0)	(24.0)	(3.4)	(3.4)	(6.9)	(100.0)	

豆乳のイソフラボン含量は大豆の 1/6~1/8 に減少したが、それらの含量は危険率 1%で相関し、 $y=0.1348x+0.5626(r=0.993)$ の一次式が成り立った(図1)。ただし Y=豆乳のイソフラボン含量, x=大豆子実のイソフラボン含量。

豆乳のイソフラボンは大豆に比べ、その構成比率ではアグリコンタイプがやや多く、マロニルタイプが少なかった。しかし、大豆と同様にマロニルタイプのゲニスチンが主体であった。マロニルタイプのイソフラボンは70%エタノールによる80℃,15時間の加熱抽出中にマロニル基の殆どが離脱しグリコシルタイプに分解する²⁶⁾が、本結果は、豆乳製造時の短時間の加熱ではそのような変化は殆ど起こらないことを示唆している。以上のことからイソフラボン含量の多い豆乳を得るためには原料大豆の選択が重要な要素になるといえる。

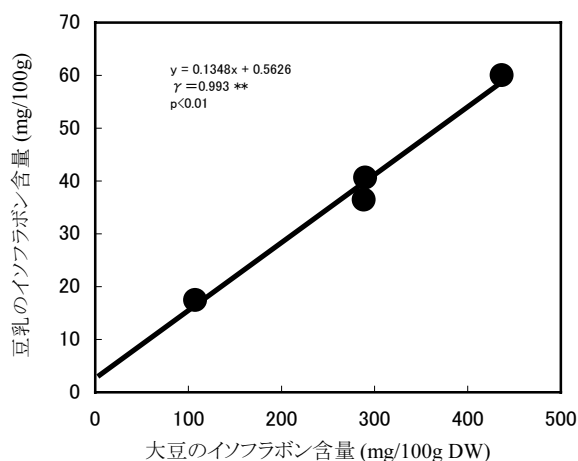


図1 大豆と豆乳中のイソフラボンの相関

3. 3. 加熱絞り法と生絞り法で製造した豆腐のイソフラボン含量の差異

図2にスズユタカの全粒大豆と脱皮大豆を使用し、加熱絞り法と生絞り法で製造した充填豆腐のイソフラボン含量を示した。

加熱絞り法で製造した全粒豆腐のイソフラボン含量は生絞り法による全粒豆腐の約1.3倍であった。脱皮豆腐のイソフラボン含量も加熱絞り法と生絞り法でほぼ同様な差異があった。従って、呉を調製する際の加熱はイソフラボンの抽出効率を高めることが認められた。

加熱絞り法で製造した全粒豆腐のイソフラボン含量は脱皮豆腐の約1.4倍であった。生絞り法で製造した豆腐のイソフラボン含量も全粒豆腐と脱皮豆腐でほぼ同様な傾向が認められた。

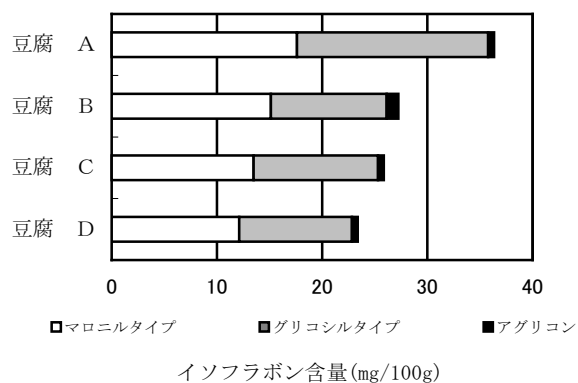


図2 製法の異なる豆腐のイソフラボン含量

豆腐A: 全粒大豆-加熱絞り 豆腐B: 全粒大豆-生絞り
豆腐C: 脱皮大豆-加熱絞り 豆腐D: 脱皮大豆-生絞り

大豆のイソフラボンは、胚軸と子葉に多く、種皮には殆ど含まれない²⁷⁾。また、抽出率も高いので脱皮豆腐(豆乳)はイソフラボンが多いと考えられるが、本結果は逆であった。原因として脱皮操作中に胚軸部分が脱落したことや、脱皮により大豆表面が損傷し、水洗・浸漬中にイソフラボンが流失したためと思われる。

脱皮豆乳や豆腐は微生物による汚染が少なく¹⁵⁾、脱皮、脱胚軸された豆腐はサポニンが減少し不快臭や不快味が緩和される²⁸⁾²⁹⁾。しかし、本実験の結果から脱皮操作はイソフラボンの減少も付随することが分かった。従って高イソフラボン豆乳(豆腐)の原料として大豆は胚軸部の離脱しにくい方法で脱皮する必要がある。

3. 4. 豆乳のタンパク質、固形分、イソフラボン含量と各成分の抽出率

(1) 豆乳の成分とその抽出率

表3は6倍加水で調製した加熱絞り全粒豆乳のタンパク質、固形分、イソフラボン含量とそれら各成分の原料大豆からの抽出率である。豆乳はタンパク質が4.7~5.3g/100g、抽出率が60~84%であった。固形分は9.4~10.5g/100g、抽出率は54~67%であった。また、イソフラボンは17.5~60.1mg/100g、抽出率は71.9~82.7%であった。低アレルゲン大豆の東北139号は他3品種よりタンパク質抽出率(59.8%)が約18~24%、固形分抽出率(53.9%)が12~13%低かった。しかし、イソフラボンの抽出率(82.7%)は約3~11%高かった。東北139号は高11S大豆³⁰⁾である。また、11Sタンパク質は加熱による凝固が早い³¹⁾。従って、呉の加熱中にタンパク質の部分的な凝固が生じ、タンパク質と固形分の抽出率が低くなると考えられる。

イソフラボンの平均抽出率は78%だった。また、豆乳調製時の大豆の洗浄水や浸漬水からはイソフラボン

表3 4品種の大豆から調製した豆乳のタンパク質、固形分、イソフラボン含量と豆乳への抽出率

品 種	収量 (g)	タンパク質		固形分		イソフラボン	
		含量	抽出率	含量	抽出率	含量	抽出率
		(g/100g)	(%)	(g/100g)	(%)	(g/100g)	(%)
スズユタカ	567	5.18	77.8	10.26	65.4	40.8	79.8
東北126号	562	5.33	81.8	10.55	66.7	60.1	77.4
東北135号	567	5.27	84.0	10.47	66.2	36.5	71.9
東北139号	507	4.71	59.8	9.42	53.9	17.5	82.7

大豆は20℃で16時間浸漬後、300gの水を加えて磨砕した。磨砕大豆(生呉)は70℃になるまでウォーターバス中で加熱した後、水蒸気を通して98℃、3分間加熱し呉を調製した。呉に水を加えて700gとした後、圧搾して豆乳とオカラに分離した。

表4 加水量を変えて調製した各種豆乳のタンパク質、固形分、イソフラボン含量

豆乳の種類と成分		加 水 量 (倍)				
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
全粒豆乳	収量 (g)	405	470	535	590	635
	タンパク質 (g/100g)	3.59	4.72	4.73	4.44	4.15
	固形分 (g/100g)	9.45	11.0	10.8	9.93	9.55
	イソフラボン (mg/100g)	37.1	36.2	35.7	33.0	31.5
脱皮豆乳	収量 (g)	427	493	551	598	667
	タンパク質 (g/100g)	5.45	5.04	4.90	4.55	4.18
	固形分 (g/100g)	11.8	11.0	10.9	9.86	9.36
	イソフラボン (mg/100g)	33.2	32.0	30.6	29.9	29.5
脱皮オカラ 豆乳	収量 (g)	528	592	639	693	744
	タンパク質 (g/100g)	6.06	5.66	5.42	5.03	4.69
	固形分 (g/100g)	13.7	12.7	12.0	11.1	10.4
	イソフラボン (mg/100g)	35.2	30.8	29.0	26.6	26.5
	総食物繊維 (mg/100g)	1.75	1.67	1.57	1.60	1.43

豆乳は大豆に対し5.0~7.0倍量の水を加えて磨砕し、加熱絞り法で調製した。

が検出されなかったことから、大豆に含まれるイソフラボンの22%はオカラに残存すると考えられる。本実験での豆乳は大豆100gを原料とし、6倍加水の加熱絞りで調製したので呉は700gであった。また、豆乳は平均551g(呉の78.7%)、オカラは平均149g(呉の21.3%)であった。これらのことから、イソフラボンは呉の中に均一に溶解すると考えられる。

(2) 豆乳の成分含量に及ぼす加水量の影響

表4にスズユタカを原料にして加水量5.0~7.0倍の加熱絞りで調製した全粒豆乳、脱皮豆乳、脱皮おから豆乳のタンパク質、固形分、イソフラボン含量、更におから豆乳には食物繊維含量を示した。各豆乳の量は

当然ではあるが加水量の増加に伴い漸増した。全粒豆乳のタンパク質と固形分は5.5~6.0倍加水で最も多かった。脱皮豆乳と脱皮おから豆乳の両成分は5.0倍加水時が最高であった。

これらのことから、全粒大豆は脱皮大豆と脱皮おから豆乳よりタンパク質と固形分の抽出率が低いことが分かった。従って、全粒大豆を原料とし、大豆成分の抽出効率を高めるためには加水量を幾分多くする必要があると思われる。

イソフラボンはいずれの豆乳も加水量の増加に伴い減少したが、全粒豆乳中の含量が最も多く、脱皮豆乳と脱皮おから豆乳での含量はほぼ同量であった。このことは脱皮豆乳と脱皮おから豆乳が胚軸の離脱した脱皮大豆を原料としたためである。

脱皮おから豆乳は他の豆乳よりタンパク質と固形分が明らかに多かった。また、通常の豆乳には殆ど含まれない³²⁾総食物繊維が1.4~1.7%含まれていた。これらのことは脱皮おから豆乳がペースト化したオカラと豆乳の混合物であることに由来する。

図3に各豆乳の加水量とイソフラボン抽出率の差異を示した。全粒豆乳のイソフラボン抽出率は加水量6.0倍までは急増し、以後漸増した。加水量6.0倍での抽出率は約76%、7.0倍では約80%であった。脱皮豆乳での抽出率は加水量の増加に伴い漸増し、加水量7.0倍で全粒豆乳とほぼ同率となった。脱皮おから豆乳での抽出率は当然ではあるが加水量の影響を受けなかった。

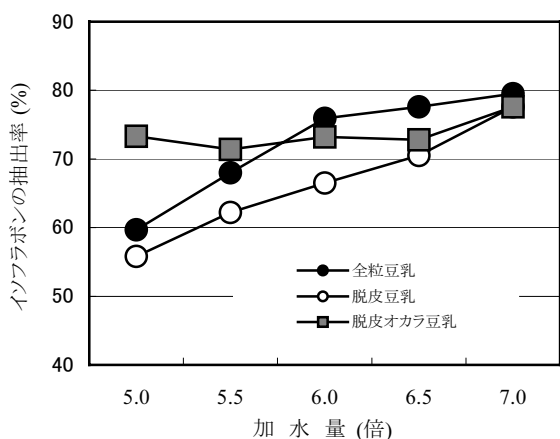


図3 大豆から豆乳へのイソフラボンの抽出率の変化
豆乳は加水量を変えて調製

以上の結果、全粒大豆を原料とし豆腐を製造する場合、イソフラボンの豆腐への移行率を高めるためには加水量を6倍以上にする必要がある。

3. 5. 豆腐の破断強度

図4に加水量5.0~7.0倍の加熱絞りで調製した全粒豆乳、脱皮豆乳、脱皮おから豆乳の凝固力を比較するためそれぞれの豆乳から調製した豆腐の破断強度を示した。

破断強度は、5.0倍加水を除き脱皮豆腐、全粒豆腐、脱皮おから豆腐の順に小さくなった。脱皮おから豆腐は破断強度が最も小さかったが、しっかりしたゲルが形成され、舌触りがなめらかであった。

本結果は、全粒豆腐はゲル強度が低下する¹⁵⁾¹⁶⁾が、脱皮豆腐は、脂肪の分布が均一となりゲルの強度が増す²⁹⁾こととほぼ一致する。

全粒豆腐と脱皮豆腐の破断強度は加水量6.5倍までは顕著に増大したが7.0倍では僅かに減少した。脱皮おから豆腐は加水量の増加に伴い破断強度が大きくなったが増加量は僅かであった。

これらのことから全粒豆乳と脱皮豆乳から豆腐を製

造する場合は加水量6.5倍前後、脱皮おから豆乳を原料にする場合は7倍前後にすれば凝固力を最大にできることが明らかになった。

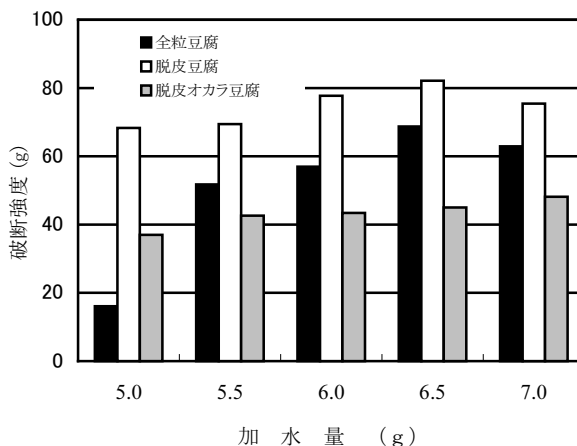


図4 加水量の異なる豆腐の破断強度

豆乳のタンパク質は全粒豆乳が加水量6.0倍以上、脱皮豆乳と脱皮全乳が5.5倍以上になると減少する(表4)ことから破断強度は豆乳中のタンパク質濃度と必ずしも一致しなかった。本結果は齋尾ら¹³⁾や沼田¹⁴⁾の報告と一致している。また、11Sグロブリンの比率の高い大豆から製造した豆腐は硬くなる傾向がある³³⁾。従って、詳細な検討は必要であるが、加水量が増加すると11Sグロブリンの抽出効率が高まり、その結果破断強度が大きくなる可能性が考えられる。

4. 結言

- 機能性の高い新規大豆加工食品の開発を目的とし、イソフラボン含量の多い豆乳の調製法を検討した。供試した大豆はスズユタカ、東北126号、東北135号(リポ欠大豆)、東北139号(低アレルゲン大豆)であった。
- (1)大豆のイソフラボンは品種により異なり、東北126号が最も多く436.5mg/100g、東北139号が最も少なく107.2mg/100gであった。
 - (2)豆乳のイソフラボン含量は大豆の1/6~1/8に減少したが、原料大豆と同様に品種間の差異があった。また大豆と豆乳のイソフラボン含量は危険率1%で相関し、 $y=0.1348x+0.5626$ ($r=0.993$)の一次式が成立した。ただし、 Y =豆乳のイソフラボン含量、 x =大豆子実中のイソフラボン含量。
 - (3)加熱絞り法で調製した豆腐のイソフラボン含量は生絞り法の豆腐に比べ、全粒大豆を原料とした場合で1.33倍、脱皮大豆の場合で1.1倍多かった。
 - (4)加熱絞り法で調製した全粒豆乳のイソフラボン含量

は加水量が6.0倍までは急増、以降漸増した。脱皮豆乳のイソフラボン抽出率は加水量の増加に伴い漸増した。脱皮全乳での抽出率は加水量の影響を受けなかった。

(5)脱皮全乳豆腐はタンパク質、固形分が全粒豆腐と脱皮豆腐よりも多く食物繊維も含まれていた。

以上の結果より、豆乳のイソフラボン含量は原料大豆のイソフラボン含量に大きく依存することが分かった。脱皮大豆は、微生物の汚染防止や風味の改良を目的に一部の企業で採用しているが、脱皮操作は胚軸も除去するので、高イソフラボン豆腐の原料としては不適である。

脱皮全乳豆腐はオカラを全て活用し、酵素処理することから破断強度は小さいがテクスチャーがなめらかであった。また、イソフラボンの利用率も高く、大豆の成分を多く含有することから従来の豆腐では期待できない機能性があると考えた。

参考文献

- 1) Anderson, J. W., Johnston, B. M. and Cook-Newell, M.E. : *New Engl.J.Med.*,333, 276~282(1995).
- 2) Sirtori, C. R., Agradi, E., Mantero, O., Conti, F. and Gatti, E. : *Lancet*, 1, 275 (1977).
- 3) Yoshikawa, M., Kishi, K., Takahashi, M., Watanabe, A., Miyamura, T., Yamazaki, M., and Chiba, H. : *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 685, 375(1993).
- 4) Kennedy, A.R., *J.Nutr.*, 125, 733-743 (1995).
- 5) 大久保一良: 食品と科学, 30, 106-108 (1988).
- 6) K. Tsuchida, S. Mizushima, M.Toba, and K. Soda : *J. Epidemiol.*,9(1), 14-19 (1999)
- 7) 福井寛・戸田登志也・奈良安雄・家森幸男: 第50回日本栄養・食糧学会講演要旨集, p 67, (1996)
- 8) P.M.Martin, K.B.Horwits, D.S.Ryan and W.L.McGuire, *Endocrinology*, 103,1860-1867(1978)
- 9) G.Peterson and S.Bernes, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*,179, 661-667(1991)
- 10) G.Peterson and S.Bernes, *Prostate.*, 22, 335-345(1993)
- 11) 家森幸男, 「日本食に秘められた知力」, (りびんぐ社, 東京), (1999)
- 12) 戸田登志也・田村淳子・奥平武則: *FFI Journal*, 172, 83-88, (1997)
- 13) 斎尾恭子・豆腐研究協議会: 食品総合研究所研究報告, No.47, 128-149(1985)
- 14) 沼田邦雄: 東京都立食品技術センター研究報告, 第7号, 21-27(1998)
- 15) 沼田邦雄・三枝弘育・廣瀬理恵子: 東京都立食品技術センター研究報告, 第6号, 7-12(1997)

16) 二宮順一郎・門家重治: 愛媛県工業技術センター研究報告, No.36, 67-71(1998)

17) 荒 勝俊, *New Food Industry*, 42, 27-35(2000)

18) 荒 勝俊, *New Food Industry*, 42, 49-59(2000)

19) 荒 勝俊, *New Food Industry*, 43, 1-10(2001)

20) 添田孝彦・石井智穂・山崎勝利・村瀬和良: 日食工誌, 42, (4)254-261(1995)

21) 全国味噌技術会: 改訂基準味噌分析法, p 22 (1977)

22) Prosky, L., Asp, N.-G., Furda, I., DeVries, J.W., Schweizer, T. F. and Harland, B. F. : *J.Assoc. Off. Anal. Chem.*, 69, 259 (1986)

23) 島田和子・野村寛美・原 由美・藤本房江・喜多村啓介: 日食工誌, 45, 122~128 (1998)

24) 高橋浩司・高田吉丈・菊池彰夫・島田尚典・足立大山・田淵公清: 東北農業研究, 51, 71-72(1998)

25) フンドーダイ(株)・熊本製粉(株)・マルキン食品(株)・(株)丸美屋・熊本工業大学・熊本県立大学・熊本県食品加工研究所・農林水産省九州農業試験場: 交流共同研究成果報告書「過酸化脂質の少ない健全性に優れた大豆加工品の開発」, p17, (1995)

26) S. Kudou, T. Uchida, Y. Fleury, D. Welti, D. Magnolato, K. Kitamura and K. Okubo : *Agric. Biol. Chem.*, 55, 2227 (1991)

27) 大久保一良・五十嵐良子・鹿間和子・古林祐二・高橋勝美: 農化58年度大会講演要旨集, p555 (1983)

28) 東京都立食品技術センター: 豆腐づくりの本, p29, (1997)

29) 浅野三夫・大久保一良・五十嵐正倫・山内文夫: 日食工誌, 34, 298~304(1987)

30) 島田尚典・高田吉丈・境 哲文・島田信二: 育種学研究, No.3, 109~114(2001)

31) 東北農業試験場, 作物開発部, 大豆育種研究室: だいで「東北124号」20~21(2001)

32) 香川芳子: 五訂食品成分表2001, (女子栄養大学出版部, 東京), p 54 (2001)

33) 渡辺篤二・海老根英雄・太田輝夫: 大豆食品(光琳, 東京) p90, (1999)

県産農産物を利用した機能性食品の開発 第2報

品種及び産地の異なる大豆のイソフラボン含量および豆腐加工適性

会津若松技術支援センター 遠藤浩志・大野正博（現 企画情報部）
福島県農業試験場種芸部 丹治克男・二瓶直登
株式会社郡山とうふセンター 三坂富男
福島県酪農業協同組合乳業部 阿部一博
東北農業研究センター水田利用部 島田信二
日本獣医畜産大学食品科学科 金子憲太郎

栽培年度によるイソフラボン含量の差異を検討するために2000年と2001年に栽培した15品種の大豆を分析した。また、栽培地によるイソフラボン含量の違いを明らかにするためにスズユタカ、タチナガハ、東北126号（高イソフラボン大豆）のイソフラボンを測定した。さらに、スズユタカ、東北126号（高イソフラボン大豆）、東北135号（リボ欠大豆）、東北139号（低アレルゲン大豆）の豆腐加工適性についても併せて検討した。

Key words:大豆, リボ欠大豆, 低アレルゲン大豆, イソフラボン, 豆乳, 豆腐

1. 緒言

大豆は良質のタンパク質や脂質に富んだ栄養価の高い食品として古くから日本人の重要な食糧資源として活用されてきた。また近年、大豆タンパク質のコレステロール低下作用¹⁾、大豆サポニンの抗ガン作用²⁾、大豆イソフラボンの更年期障害緩和作用³⁾や骨粗鬆症予防作用⁴⁾等の生理機能が報告され、豆腐や納豆などの大豆加工食品が健康維持に深く関わっていることが次第に明らかになってきた⁵⁾。以上のようなことから、前報⁶⁾では、大豆加工品の中で摂取量が最も多い豆腐⁷⁾についてその製造方法と成分、特にイソフラボンとの関係について検討した。その結果、大豆子実のイソフラボンは品種により顕著に差異のあることと豆腐のイソフラボン含量は原料大豆のそれと相関することを明らかにした。また、脱皮大豆は胚軸が除去されているので高イソフラボン豆腐の原料として不適であることも明らかにした。本報では、大豆の品種間におけるイソフラボン含量の差異を詳細に検討するために2000年と2001年に栽培・収穫した15品種・系統のイソフラボンを測定し考察した。

また、スズユタカ、タチナガハ、東北126号の産地間差異についても検討した。更に、スズユタカ、東北126号、東北135号、東北139号の加工適性についても併せて検討した。

2. 実験方法

2. 1. 供試大豆

(1) 品種・系統の異なる大豆

2000年および2001年の5～10月に福島県農業試験場本場（郡山市、以下本場）で行われた奨励品種決定調査試験で栽培したスズユタカ（福島県奨励品種）、東

北126号、東北135号（リポキシゲナーゼ全欠失大豆系統、以下リボ欠大豆）、東北139号（低アレルゲン大豆系統、以下低アレルゲン大豆）など、計15品種・系統の大豆を供試した。

(2) 栽培地の異なる大豆

2000年および2001年5～10月に本場と農業試験場の相馬支場、会津支場（会津坂下町）、石川試験地、喜多方試験地で栽培した福島県奨励品種のスズユタカとタチナガハおよび東北126号を供試した。栽培条件は、本場、相馬支場、会津支場は奨励品種決定調査試験における耕作基準、石川試験地、喜多方試験地では現地周辺農家における慣行栽培基準にそれぞれ準じた。

2. 2. 大豆の脱皮および豆乳と豆腐の調製

前報⁶⁾と同様な方法で全粒豆腐（以下豆腐）と脱皮豆腐を調製した。

2. 3. 大豆および豆乳の成分分析および破断強度の測定

大豆と豆乳の水分、固形分、タンパク質、脂質、イソフラボンの分析と豆腐の破断強度の測定は前報⁶⁾と同様な方法で行った。

3. 実験結果及び考察

3. 1. 品種・系統の異なる大豆のイソフラボン含量

表1に2000年と2001年に本場で栽培・収穫した大豆のイソフラボン含量を示した。

2000年産大豆100g中の総イソフラボンは121.1～489.8mg、平均299.6mgであった。イソフラボンの最も多い品種は東北126号(489.8mg)、最も少ない品種は低

表 1 2000年と2001年に郡山で栽培された15品種の大豆子実のイソフラボン含量

収穫 年度	品種	マロニルタイプ				グリコシルタイプ				アグリコン				合計 mg/100gDW
		ダイジン	ゲニスチン	計	比率	ダイジン	ゲニスチン	計	比率	ダイゼイン	ゲニステイン	計	比率	
		—	mg/100gDW	—	%	—	mg/100gDW	—	%	—	mg/100gDW	—	%	
	スズユタカ	91.2	207.2	298.4	91.6	8.2	16.3	24.5	7.5	1.4	1.4	2.8	0.9	325.7
	タチナガハ	66.3	163.3	229.6	87.6	9.4	19.7	29.1	11.1	1.6	1.7	3.3	1.3	262.0
	青大豆 4	51.2	196.1	247.3	58.7	34.6	135.8	170.4	40.4	1.8	2.0	3.8	0.9	421.5
	信濃黒	99.8	213.9	313.7	94.6	14.4	1.4	15.8	4.8	0.5	1.4	1.9	0.6	331.4
	東北126号	130.4	250.0	380.4	77.7	36.8	63.8	100.6	20.5	4.6	4.2	8.8	1.8	489.8
	東北135号	69.3	144.8	214.1	66.7	35.4	66.0	101.4	31.6	2.9	2.4	5.3	1.7	320.8
	東北139号	21.4	62.9	84.3	69.6	9.7	24.0	33.7	27.8	1.4	1.7	3.1	2.6	121.1
	平均値 *1	75.7	176.9	252.5	78.1	21.2	46.7	67.9	20.5	2.0	2.1	4.1	1.4	324.6
2000	コスズ	43.1	156.5	199.6	85.7	6.4	22.5	28.9	12.4	1.8	2.6	4.4	1.9	232.9
	ホウレイ	56.4	134.6	191.0	58.6	35.9	93.9	129.8	39.8	2.5	2.7	5.2	1.6	326.0
	ハタユタカ	65.9	126.4	192.3	66.6	23.6	67.2	90.8	31.4	2.6	3.1	5.7	2.0	288.8
	東北137号	51.2	106.5	157.7	53.0	39.5	94.4	133.9	45.0	3.2	2.9	6.1	2.0	297.7
	東北140号	43.5	132.1	175.6	67.4	21.5	58.4	79.9	30.6	0.7	4.6	5.3	2.0	260.8
	東北144号	47.4	148.6	196.0	66.7	20.5	69.5	90.0	30.6	3.4	4.5	7.9	2.7	293.9
	東北145号	21.2	131.4	152.6	67.8	11.7	52.8	64.5	28.7	2.7	5.2	7.9	3.5	225.0
	東山192号	54.7	153.1	207.8	70.2	20.5	58.8	79.3	26.7	3.7	5.6	9.3	3.1	296.4
	平均値 *2	60.9	155.2	216.0	72.2	21.9	56.3	78.2	25.9	2.3	3.1	5.4	1.9	299.6
2001	スズユタカ	79.3	125.0	204.3	85.5	3.8	28.3	32.1	13.4	1.2	1.4	2.6	1.1	239.0
	タチナガハ	98.9	147.4	246.3	84.7	4.3	37.5	41.8	14.3	1.5	1.3	2.8	1.0	290.9
	青大豆 4	71.6	167.2	238.8	85.8	2.7	34.0	36.7	13.2	1.0	1.8	2.8	1.0	278.3
	信濃黒	97.5	129.8	227.3	87.5	3.7	25.4	29.1	11.2	1.6	1.7	3.3	1.3	259.7
	東北126号	141.4	180.0	321.4	85.0	7.1	47.9	55.0	14.5	1.0	1.0	2.0	0.5	378.4
	東北135号	148.6	190.2	338.8	91.9	3.7	22.5	26.2	7.2	1.8	1.7	3.5	0.9	368.5
	東北139号	52.7	86.5	139.2	88.7	1.6	14.5	16.1	10.2	1.0	0.7	1.7	1.1	157.0
	平均値	98.6	146.6	245.16	87.0	3.8	30.0	33.9	12.0	1.3	1.4	2.7	1.0	281.7

* 1 大豆子実7品種のイソフラボン含量の平均値

* 2 大豆子実15品種のイソフラボン含量の平均値

アレルゲン大豆の東北 139 号であった。煮豆やきな粉の他、豆腐原料としても利用が高まっている青大豆の青大豆 4 号は 421.5mg と東北 126 号に次いで多く、また、特有のアントシアニン色素から飲料やデザートへの用途開発が進められている黒大豆の信濃黒は 331.4mg と平均値よりも多かった。納豆用小粒品種のコズは 232.9mg、納豆用として育種中の東北 145 号は 225.0mg といずれも平均値以下であった。また、リポ欠大豆の東北 135 号はスズユタカ並みの 320.8mg であった。イソフラボンの構成比率は 70%以上がマロニルタイプでありその主体はゲニスチンだった。ハウレイ、青大豆 4 号、東北 137 号のマロニルタイプは 53.0～58.7%と少なかった。登熟期の気温が高いと大豆子実中のイソフラボンはマロニルタイプの比率が低下する⁷⁾ことから、この結果は気温の影響が考えられるが、今後の詳細な検討が必要である。

2000 年と 2001 年の両年に共通して栽培された 7 品種・系統間のイソフラボンを比較すると、2001 年産の総イソフラボンは 2000 年産より平均で約 13%少なかったが、100g 当たりで最も多いのは 2000 年同様、東北 126 号の 378.4mg だった。しかし、前年度産に比べ、100mg 程度少なかった。ただ、両年産とも主体はマロニルタイプで変わりはなかった。

大豆のイソフラボン含量は登熟中の気温の影響を受ける⁸⁾ことから、上述したようなイソフラボン含量の差異は、栽培年の気象条件の影響が考えられる。これについては次報で詳述する。

3. 2. 栽培地の異なる大豆のイソフラボン含量

表 2 に 2001 年に 5 試験地で行った栽培試験でのスズユタカ、タチナガハ、東北 126 号の播種日、開花日、収穫日、子実収量、100 粒重を示した。

播種は相馬が 5 月 23 日と最も早く、最も遅い喜多方は 6 月 11 日であった。また、会津以外の 4 試験地は 3 品種とも同日に播種した。

開花までの所要日数はスズユタカが 46～62 日、タチナガハが 48～61 日、東北 126 号が 45～59 日で、会津と喜多方では短く、相馬で長い傾向にあった。

収穫までの栽培日数はスズユタカが 117～138 日、タチナガハが 126～144 日、東北 126 号が 119～143 日で、石川と喜多方では短く、相馬、郡山で長い傾向があった。

品種間の栽培日数は 5 試験地の平均でスズユタカが 126 日と最も短く、高イソフラボン大豆の東北 126 号はそれより 5 日程度の遅れであった。

子実収量は 5 試験地いずれにおいても東北 126 号が

表 2 2001 年に郡山、会津、相馬、石川、喜多方で栽培した 3 品種の大豆の播種日から開花及び収穫日までの所要日数と子実収量、百粒重

品種名	栽培地	播種日	開花までの 日数(日)	収穫までの 日数(日)	子実収量 (kg/アール)	100 粒重 (g)
スズユタカ	郡山	5 月 30 日	56 (7 月 25 日)	133 (10 月 10 日)	41.1	26.6
	会津	6 月 5 日	46 (7 月 21 日)	124 (10 月 7 日)	41.8	26.4
	相馬	5 月 23 日	62 (7 月 24 日)	138 (10 月 8 日)	27.3	24.8
	石川	6 月 8 日	52 (7 月 30 日)	117 (10 月 3 日)	11.5	24.4
	相馬	6 月 11 日	49 (7 月 30 日)	119 (10 月 8 日)	30.3	26.4
	平均		53	126	30.4	25.7
タチナガハ	郡山	5 月 30 日	56 (7 月 25 日)	142 (10 月 19 日)	41.5	34.4
	会津	5 月 30 日	51 (7 月 20 日)	144 (10 月 21 日)	32.9	32.6
	相馬	5 月 23 日	61 (7 月 23 日)	142 (10 月 12 日)	22.0	32.8
	石川	6 月 8 日	50 (7 月 28 日)	127 (10 月 13 日)	9.5	33.4
	喜多方	6 月 11 日	48 (7 月 29 日)	126 (10 月 15 日)	32.0	32.4
	平均		53	136	27.6	33.1
東北 126 号	郡山	5 月 30 日	54 (7 月 23 日)	141 (10 月 18 日)	43.4	28.7
	会津	6 月 5 日	45 (7 月 20 日)	130 (10 月 13 日)	48.6	28.7
	相馬	5 月 23 日	59 (7 月 21 日)	143 (10 月 13 日)	31.3	29.2
	石川	6 月 8 日	49 (7 月 27 日)	119 (10 月 5 日)	11.8	26.5
	喜多方	6 月 11 日	48 (7 月 29 日)	122 (10 月 11 日)	38.2	25.8
	平均		51	131	34.7	27.8

表3 2000年と2001年に5栽培地で栽培されたスズユタカ、タチナガハ、東北126号の総イソフラボン含量 (mg/100g)

栽培年	栽培地	品 種 名		
		スズユタカ	タチナガハ	東北126号
2000	郡山	325.8	262.6	489.4
	相馬	346.8	231.5	568.6
	会津	260.7	325.4	524.6
	石川	301.2	204.0	540.1
	喜多方	360.9	385.8	630.9
	平均	319.1	281.9	550.7
2001	郡山	239.0	289.6	365.0
	相馬	209.2	191.4	350.8
	会津	241.2	200.6	442.5
	石川	228.9	191.5	344.3
	喜多方	227.8	216.6	365.2
	平均	229.2	217.9	373.6

最も多く、平均は東北126号が34.7kg/アールで、スズユタカ(30.4kg/アール)の1.14倍、タチナガハ(27.6kg/アール)の1.25倍だった。石川試験地では湿害により他と比べ収量が1/4程度となったが東北126号が最も多収だった。百粒重はタチナガハ、東北126号、スズユタカの順に大きく、品種特性分類上、粒の大きさはタチナガハが“大”、東北126号が“中の大”、スズユタカが“中”に分類される。

また、東北126号は倒伏抵抗性や品質もスズユタカより優れていた。

これより東北126号は粒の大きさがスズユタカよりやや大きく、多収性で高品質の優れた特徴を有していることが分かった。

表3にスズユタカ、タチナガハ、東北126号の総イソフラボン含量を示した。

2000年産大豆100g当たりのイソフラボンは県内いずれの試験地においても東北126号が顕著に多く、5試験地の平均値は東北126号が550.7mgでスズユタカ(319.1mg)の1.73倍、タチナガハ(281.9mg)の1.95倍だった。

2001年産大豆の総イソフラボン含量は2000年産よりも平均値で30%程度少なかったが、2000年産と同様に東北126号が最も多く、以下スズユタカ、タチナガハの順で少なかった。なお、東北126号はイソフラボンが多く多収性で、外観品質もよく、倒伏抵抗性、ダイズモザイク病抵抗性、ダイズシストセンチュウ抵抗性にも優れている⁹⁾ことから2002年9月「ふくいぶき」として新たに品種登録された。

3. 3. 大豆と豆乳の成分および成分抽出率

表4に2000年と2001年に栽培した4品種・系統

の大豆を原料として調製した豆腐の成分値と豆乳への成分抽出率を示した。

2000年産の東北139号はタンパク質(45.1g/100g)と脂質(20.6g/100g)が多かったが他は両成分とも殆ど差がなかった。

豆乳量は東北139号がやや少なかったが他は差異がなかった。豆乳のタンパク質、固形分含量にも豆乳量と同様な傾向が見られた。豆乳のタンパク質と固形物を原料大豆の各成分の比率として表した抽出率も東北139号が最も少なかった(タンパク質:59.8%, 固形物:53.9%)。他はタンパク質の収量が77.8~81.8%, 固形物が65.4~66.7%と大差なかった。

2001年産大豆にも同様な傾向が見られた。以上の結果から、低アレルゲン大豆の東北139号以外は大豆成分の豆乳への抽出率は殆ど差異がないといえる。

東北139号は高11S大豆¹⁰⁾であり、11Sタンパク質は加熱による凝固が速い¹¹⁾ために、呉の加熱中に部分的な凝固が生じ、タンパク質と固形物の抽出率が低下すると考えられる。抽出率を向上させるためには、呉を加熱前に圧搾する生絞り法により豆乳を調製する必要がある。

3. 4. 豆腐の破断強度

図1に加水量6倍の加熱絞り法で調製した豆腐の破断強度を示した。

破断強度は2000年産、2001年産大豆とも東北126号が最も大きく、以下スズユタカ、東北135号、信濃黒、青大豆4、東北139号の順で小さくなった。

破断強度の小さかった青大豆4、信濃黒は食感がなめらかであった。破断強度の極端に小さかった東北139号は柔らかく壊れやすいゲルであった。東北139

表4 4品種の大豆のタンパク質、脂質とそれより調製した豆乳のタンパク質、固形分およびその抽出率

栽培年	品種名	大豆子実		豆乳				
		タンパク質 (g/100gDW)	脂質 (g/100gDW)	収量 (g)	タンパク質		固形分	
					含量 (g/100g)	抽出率 (%)	含量 (g/100g)	抽出率 (%)
2000	スズユタカ	42.4	19.9	567	5.18	77.8	10.3	65.4
	東北126号	41.2	19.4	562	5.33	81.8	10.6	66.7
	東北135号	39.7	19.2	567	5.11	81.4	10.5	66.2
	東北139号	45.1	20.6	507	4.71	59.8	9.42	53.9
2001	スズユタカ	42.5	20.7	572	5.25	80.5	10.5	68.4
	東北126号	42.8	20.0	578	5.28	80.6	10.4	68.2
	東北135号	42.4	19.7	576	5.23	80.7	10.5	68.8
	東北139号	46.1	21.3	500	4.81	59.2	9.60	54.5

大豆は20℃で16時間浸漬後、300gの水を加えて磨砕した。磨砕大豆(生呉)は70℃になるまでウォーターバス中で加熱した後、水蒸気を通して98℃、3分間加熱し呉を調製した。呉に水を加えて700gとした後、圧搾して豆乳とオカラに分離した。

号の低ゲル形成能は前節で述べたように豆乳へのタンパク質抽出率の低いことに要因があると思われる。

これより、高イソフラボン大豆である東北126号は豆腐としての加工適性に優れた大豆であることが明らかになった。

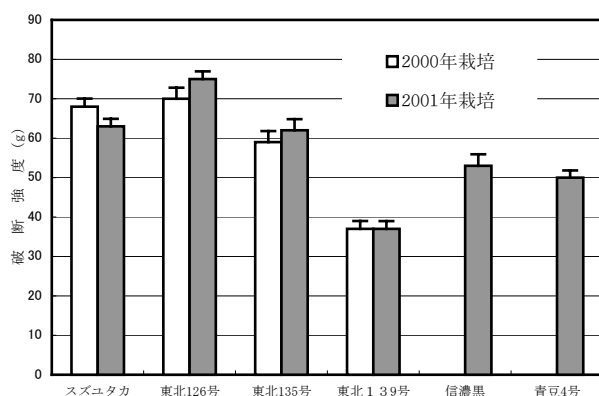


図1 6品種の大豆から調製した豆腐の破断強度

3. 5. 東北139号を用いた豆腐のゲル形成能の強化

低アレルギー大豆の東北139号はタンパク質の熱凝固性が高いので、加熱前に圧搾する生絞り法を検討した。また、前報においてゲル形成能の強化が認められた脱皮大豆利用による豆腐の調製についても併せて検討した。

図2に東北139号を原料として加熱絞り法と生絞り法で調製した全粒豆腐と脱皮豆腐の破断強度を示した。

東北139号を原料として加熱絞り法で調製した豆腐(東北139-A)の破断強度は37gだった。しかし、生絞り法による豆腐(東北139-B)は、スズユタカを原料として加熱絞り法で調製した豆腐(スズユタカ-A)

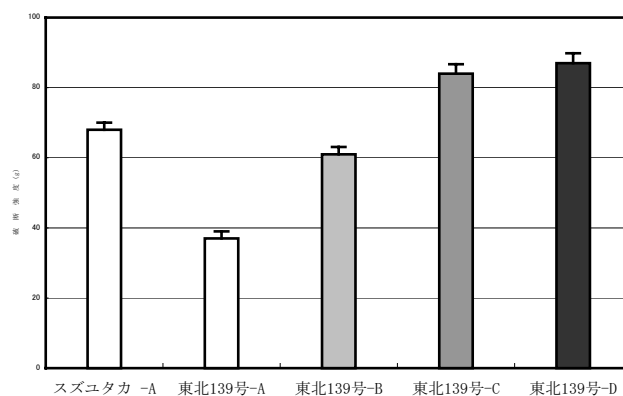


図2 加熱絞り法と生絞り法の両法により調製した豆腐の破断強度

スズユタカ-A:全粒大豆-加熱絞り
東北139号-A:全粒大豆-加熱絞り
東北139号-B:全粒大豆-生絞り
東北139号-C:脱皮大豆-加熱絞り
東北139号-D:脱皮大豆-生絞り

と同程度の61gに増大した。このことは3.3.節で指摘したように、生絞り法ではタンパク質の抽出効率が高まるためと考えられる。また、脱皮した東北139号を加熱絞り法によって調製した脱皮豆腐(東北139-C)は東北139-Aの2.3倍の84gまで増大した。この結果は前報⁶⁾とも良く一致しており、脱皮大豆を原料とする事により豆腐の脂肪分布が均一となりゲル強度が増した¹²⁾ためと考えた。以上の結果、低アレルギー大豆の東北139号を原料にした豆腐は生絞り法か脱皮大豆を用いた加熱絞り法のいずれかで調製しないと豆腐としての適切な強度の得られないことが明らかとなった。

4. 結言

- (1) 大豆のイソフラボン含量は品種および栽培年度により異なったが、東北 126 号は 2000 年産、2001 年産のいずれも最も高含量であった。
- (2) 東北 126 号は福島県の奨励品種スズユタカ、タチナガハと比べて多収であった。
- (3) 福島県内の 5 試験地で栽培試験をしたところ、東北 126 号は試験地、栽培年度と無関係にイソフラボンが顕著に多く、スズユタカの 1.6~1.7 倍、タチナガハの 1.7~1.9 倍だった。
- (4) 豆乳の収量、タンパク質含量、固形分とそれらの豆乳への抽出率は 2000 年産、2001 年産とも東北 126 号が高かった。
- (5) 2000 年と 2001 年産の大豆から調製した豆腐の破断強度は、いずれも東北 126 号が最も大きく、ついでスズユタカ、東北 135 号、東北 139 号だった。
- (6) 東北 139 号の加熱絞りによる豆腐はゲル形成能が極端に低かったが、生絞り法で調製すると破断強度は増大した。脱皮大豆を用い加熱絞りで調製した場合も同様な結果が得られた。

以上の結果、東北 126 号は栽培時期（年）や栽培地とは無関係にイソフラボンが多く、高品質、多収性であることと豆腐加工適性の優れていることが明らかとなった。

また、低アレルギー大豆を原料にした豆腐は生絞り法か脱皮大豆を用い調製しないと豆腐としてのゲル強度が得られないことも明らかになった。

参考文献

- 1) Anderson, J.W., Johnston, B.M. and Cook-Newell, M.E. : *New Engl. J. Med.*, 333, 276-282 (1995)
- 2) Kennedy, A.R., : *J. Nutr.*, 125, 733-743 (1995)
- 3) Brand, M.L., : *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 7, 213-216 (1999)
- 4) K. Tsuchida, S. Mizushima, M. Toba, and K. Soda : *J. Epidemiol.*, 9, (1) 14-19 (1999)
- 5) 家森幸男, 「日本食に秘められた知力」, (りびんぐ社, 東京), p. 6 (1999)
- 6) 遠藤浩志・大野正博・丹治克男・二瓶直登・三坂富男・阿部一博・島田信二・金子憲太郎 : 平成 12~14 年度 産官共同研究開発事業研究成果報告書 p3 第 1 報「豆腐のイソフラボン含量に及ぼす大豆の品種及び豆乳調製法の影響」
- 7) 戸田登志也・田村淳子・奥平武則 : *FFI Journal*, 172, 83-88, (1997)
- 8) C. Tsukamoto, S. Shimada, K. Igita, S. Kudou, M. Kokubun, k. Okubo and K. Kitamura : *J. Agric.*

Food Chem., 43, 1184-1192 (1995)

- 9) 鏡 哲文・高田吉丈・河野雄飛・島田信二 : 大豆新品種「ふくいぶき」の特性, 東北農業研究, 55, (2002) 投稿中
- 10) 島田尚典・高田吉丈・鏡 哲文・島田信二 : 育種学研究, No.3, 109-114 (2001)
- 11) 高橋浩司・島田信二・島田尚典・高田吉丈・鏡 哲文 河野雄飛・足立大山・田淵公清・菊池彰夫・湯本節三・中村茂樹・伊藤美環子・番場宏治・岡部昭典 : 世界初の低アレルギー・高 11S グロブリンダイズ「ゆめみのり」の育成, 東北農業研究センター報告 (投稿中)
- 12) 浅野三夫・大久保一良・五十嵐正倫・山内文夫 : 日食工誌, 34, 298-304 (1987)

県産農産物を利用した機能性食品の開発 第3報

播種期及び登熟期が異なる大豆のイソフラボン含量について

会津若松技術支援センター 遠藤浩志・大野正博（現 企画情報部）
福島県農業試験場種芸部 丹治克男・二瓶直登
株式会社郡山とうふセンター 三坂富男
福島県酪農業協同組合乳業部 阿部一博
東北農業研究センター水田利用部 島田信二
日本獣医畜産大学食品科学科 金子憲太郎

スズユタカと高イソフラボン大豆の東北126号を用い、播種期及び登熟期の温度が子実中のイソフラボン含量にどのような影響を及ぼすか検討した。その結果、(1)晩播大豆は標播大豆よりイソフラボンが顕著に多いこと (2)東北126号は播種期や栽培地にかかわらずイソフラボン含量がスズユタカより顕著に多いこと (3)大豆のイソフラボン含量は登熟期の温度の影響を強く受けること等が分かった。

Key words:大豆、イソフラボン含量、播種期、登熟期、気温

1. 緒言

大豆は古くから日本人の重要な食糧資源として活用されてきた。また、近年、大豆タンパク質のコレステロール低下作用¹⁾、大豆サポニンの抗癌作用²⁾、大豆イソフラボンの更年期障害緩和作用³⁾、抗乳ガン作用⁴⁾や骨粗鬆症予防作用⁵⁾等の生理機能が報告され、豆腐や納豆などの大豆加工食品が健康維持に深く関与している⁶⁾ことが明らかになりつつある。以上のようなことから筆者らは、大豆加工品の中で最も摂取量が多い豆腐⁷⁾についてその製造方法と成分、特にイソフラボンとの関係について検討⁸⁾した。その結果、イソフラボン含量と組成は品種により顕著に異なることと豆腐のイソフラボン含量は原料大豆のそれと高い相関があることなどを明らかにした。

また、前報⁹⁾では大豆イソフラボンの品種間と産地間差異及び各種大豆の加工適性について検討し、東北126号は栽培地や栽培年が異なっても常にイソフラボンが最も多く、豆腐加工適性にも優れた品種であることを明らかにした。また、低アレルギー大豆の東北139号を原料にした豆腐のゲル形成能は、生絞り法で調製するか脱皮大豆を原料にすることでゲル形成能が著しく改善されることも明らかにした。

本報ではスズユタカとイソフラボンが特に多い東北126号を対象として播種期と登熟期の温度がイソフラボン含量にどのような影響を及ぼすか検討した。

2. 実験方法

2. 1. 供試大豆

(1) 標播及び晩播大豆

2001年5～10月に、福島県農業試験場本場（郡山市、以下郡山本場）、会津支場（会津坂下町）、相馬支場（相馬市）で栽培した標播と晩播のスズユタカ（福島県奨励品種）と東北126号を供試した。東北126号は平成14年9月に「ふくいぶき」（だいち農林122号）と命名登録され、福島県の奨励品種に採用された。

標播の播種期は5月23～6月5日、晩播は6月19～7月3日とした。栽培は奨励品種決定調査試験の福島県農業試験場内の慣行耕作基準に準じた。

(2) 登熟期の栽培地を変えた大豆

郡山本場において、スズユタカと東北126号をワグネルポットに5月31日に播種した。開花期まで（52日間）を本場で栽培し、それ以降4試験区（1区3ポット、2本立て）を設けた。対照区は収穫までそのまま郡山本場で栽培した。試験区-1は登熟期（開花～収穫）の前半（30日間、子実の肥大・形成期）を冷害試験地の猪苗代（以下、冷害試験地）で栽培してから後半（57日間、成分の蓄積期）に本場に移した。試験区-2は前半期まで本場で栽培した後、後半期に冷害試験地に移した。試験区-3は開花後、冷害試験地に移しそのまま収穫まで栽培した（表1）。

表1 登熟中の大豆の栽培地

試験区	登熟期前半	登熟期後半	収穫日
	(30日間)	(57日間)	
対照区 (郡山 ^{*1} →郡山)	郡山	郡山	
試験区1 (猪苗代 ^{*2} →郡山)	猪苗代	郡山	10月17日
試験区2 (郡山→猪苗代)	郡山	猪苗代	
試験区3 (猪苗代→猪苗代)	猪苗代	猪苗代	

ポットに播種された大豆は開花まで農業試験場本場で栽培された後、表4に示す

各試験地へ移送した。播種と開花日はそれぞれ5月31日、7月22日だった。

*1 福島県農業試験場 (郡山市, 標高230m)

*2 福島県農業試験場冷害試験地 (猪苗代町, 標高 521m)

2. 2. 開花後の平均気温の算出

郡山本場、相馬支場、冷害試験地は気象庁の地域気象観測システム(アメダス)、会津支場はアメダスに準拠した方法により1日の平均気温を求め、これをもとに登熟期の平均気温を算出した。

2. 3. イソフラボンの分析

大豆は選別・乾燥・調製後に5℃の冷蔵庫に保存した。大豆粉末の調製とイソフラボンの分析は前報⁸⁾と同様に高速液体クロマトグラフィーで行った。

3. 実験結果及び考察

3. 1. 播種期が生育・収量およびイソフラボン含量に及ぼす影響

(1) 開花日、収穫日、子実収量、百粒重

表2に郡山本場と会津、相馬支場で栽培したスズユタカと東北126号の播種日、開花日、収穫日、子実収量、100粒重を示した。

表2 スズユタカと東北126号の播種日、開花日、収穫日および子実収量と百粒重

品 種	播種期	栽培地	播種日	開花日 (日数)	収穫日 (日数)	子実収量 (kg/アール)	100粒重 (g)
スズユタカ	標 播	郡 山	5月30日	7月25日(56)	10月10日(133)	41.1	26.6
		会 津	6月5日	7月21日(46)	10月7日(124)	41.8	26.4
		相 馬	5月23日	7月24日(62)	10月8日(138)	27.3	24.8
	(平均)			55	132	36.7	25.9
	晩 播	郡 山	7月3日	8月15日(43)	10月19日(108)	33.1	25.0
		会 津	6月19日	8月1日(43)	10月9日(112)	32.9	24.4
相 馬		6月27日	8月7日(41)	10月16日(111)	23.1	24.6	
(平均)			42	110	29.7	24.7	
東北126号	標 播	郡 山	5月30日	7月23日(54)	10月18日(141)	43.4	28.7
		会 津	6月5日	7月20日(45)	10月13日(130)	48.6	28.7
		相 馬	5月23日	7月21日(59)	10月13日(143)	31.3	29.2
	(平均)			53	138	41.1	28.9
	晩 播	郡 山	7月3日	8月12日(40)	10月27日(116)	30.4	27.6
		会 津	6月19日	8月6日(48)	10月20日(123)	38.8	27.8
相 馬		6月27日	8月5日(39)	10月17日(112)	24.5	27.4	
(平均)			42	117	31.2	27.6	

開花までの所要日数は、標播大豆の場合、スズユタカが46～62日、東北126号が45～59日で、両品種とも会津が短く、相馬が長かった。晩播大豆はスズユタカが41～43日、東北126号が39～48日であった。両品種とも標播大豆とは逆に相馬が短く、会津が長かった。また、いずれの品種も晩播大豆は短期間で開花した。

収穫までの所要日数は、標播大豆の場合、スズユタカが124～138日、東北126号が130～143日で、両品種とも、開花までの所要日数と同様に、会津が短く相馬が長かった。晩播大豆はスズユタカが108～112日、東北126号が112～123日であった。両品種とも、開花までの所要日数と同様に、相馬が短く、会津が長かった。また、両品種ともに晩播大豆は短期間で収穫できた。

以上の結果、標播大豆は開花及び収穫までの日数が晩播大豆より長かった。また、会津で栽培した大豆は、両所要日数が最も短く、相馬が長かった。しかし、晩播大豆ではこの関係が逆転した。

1 アール当たりの子実収量は標播の場合、スズユタカ27.3～41.8kg（平均36.7kg）、東北126号31.3～

48.6kg（平均41.1kg）であった。また、両品種ともに相馬地区での収量が極めて低かった。東北126号の収量はいずれの試験地でもスズユタカより高く、平均で4.4kg多かった。

晩播大豆はスズユタカ23.1～33.1kg（平均29.7kg）、東北126号24.5～38.8kg（平均31.2kg）であった。標播と同様に相馬地区での収量が低かった。東北126号の収量は標播と同様な傾向があり、スズユタカより平均で1.5kg多かった。また、いずれの試験地でも、標播大豆は晩播より収量が高く、平均値でスズユタカは7.0kg、東北126号は9.9kg多かった。

これらの結果から東北126号は栽培地、栽培時期と関係なくスズユタカより顕著に多収であることが明らかとなった。また、標播大豆は晩播大豆より収量が著しく多いことも分かった。

百粒重はスズユタカ、東北126号ともに標播の方がやや大きかった。また、品種特性上、粒の大きさが“中の大”と分類される東北126号は“中”に分類されるスズユタカよりも標播、晩播ともに大きかった。

表3 郡山、会津、相馬で栽培された播種期の異なるスズユタカと東北126号のイソフラボン含量（mg/100gDW^{*2}）

品種	イソフラボン	郡山		会津		相馬		構成比の 平均 (%)	
		標播	晩播	標播	晩播	標播	晩播		
スズユタカ	ダイジン	79.2	83.6	77.8	83.9	62.1	107	(39.2)	
	マロニル タイプ	ゲニスチン	125	133	125	133	108	138	(60.8)
	計	204	216	203	217	170	245	(100.0)	
	構成比 (%)	(85.4)	(79.7)	(84.2)	(80.3)	(81.5)	(82.5)	(82.3)	
	ダイジン	3.8	4.2	3.9	4.2	3.0	5.0	(10.6)	
	グリコシル タイプ	ゲニスチン	28.4	40.1	30.6	40.2	24.2	42.4	(89.4)
	計	32.2	44.3	34.5	44.4	27.2	47.4	(100.0)	
	構成比 (%)	(13.5)	(16.3)	(14.3)	(16.4)	(13.1)	(15.9)	(14.9)	
	ダイゼイン	1.2	7.1	2.1	5.1	6.3	2.5	(54.9)	
	アグリコン タイプ	ゲニステイン	1.4	3.7	1.9	3.7	5.0	2.4	(45.1)
計	2.6	10.8	4.0	8.8	11.3	4.9	(100.0)		
構成比 (%)	(1.1)	(4.0)	(1.7)	(3.3)	(5.4)	(1.6)	(2.9)		
総イソフラボン		239	271	241	270	208	298		
平均気温 ^{*1} (°C)		20.6	18.4	22.1	21.3	20.7	19.9		
東北126号	ダイジン	136	151	157	158	153	168	(43.7)	
	マロニル タイプ	ゲニスチン	174	220	206	239	152	211	(56.3)
	計	310	371	362	396	305	379	(100.0)	
	構成比 (%)	(85.0)	(78.0)	(81.8)	(80.1)	(86.9)	(79.5)	(81.9)	
	ダイジン	6.8	40.1	9.3	37.1	4.9	40.1	(26.8)	
	グリコシル タイプ	ゲニスチン	46.2	60.8	61.9	55.9	36.5	52.0	(73.2)
	計	53.0	100.9	71.2	93.0	41.4	92.1	(100.0)	
	構成比 (%)	(14.5)	(21.2)	(16.1)	(18.8)	(11.8)	(19.4)	(20.0)	
	ダイゼイン	0.9	2.0	4.9	3.1	2.3	2.7	(51.3)	
	アグリコン タイプ	ゲニステイン	1.0	2.0	4.4	2.3	2.3	2.7	(48.7)
計	1.9	4.0	9.3	5.4	4.6	5.4	(100.0)		
構成比 (%)	(0.5)	(0.8)	(2.1)	(1.1)	(1.3)	(1.1)	(1.2)		
総イソフラボン		365	476	443	495	351	476		
平均気温 ^{*1} (°C)		20.4	18.8	21.8	20.1	20.8	19.9		

*1 開花日から収穫日までの平均気温

*2 Dry Weight

(2) イソフラボン含量

表 3 に各栽培地における標播、晩播のスズユタカと東北 126 号のイソフラボンの測定値と各大豆の登熟期間の平均気温を示した。乾物 100g 当たりの総イソフラボンは、標播大豆の場合、スズユタカが 208～241mg、東北 126 号が 351～443mg で、東北 126 号の含量はスズユタカの 1.5～1.8 倍であった。また、会津で栽培した大豆は含量が多く、相馬産は少ない傾向があった。

晩播大豆のイソフラボンはスズユタカが 270～298mg、東北 126 号が 476～495mg で、東北 126 号の含量はスズユタカの 1.6～1.8 倍となり、標播と同様の傾向が認められた。また、標播大豆と同様に会津支場で栽培した東北 126 号はイソフラボンが多かった。晩播大豆のイソフラボンは標播よりスズユタカ、東北 126 号ともに 1.1～1.4 倍多かった。

以上のことから、東北 126 号のイソフラボンは播種期、栽培地に関わりなく、スズユタカの 1.5～1.8 倍であることがわかった。また、晩播大豆はイソフラボンがやや多い傾向にあることも明らかとなった。

登熟期間の平均気温は、いずれの試験地でも標播の方が 0.8～2.2℃高かった。登熟期間の温度が高い大豆はイソフラボンが減少することが報告されている¹⁰⁾。

従って、晩播大豆のイソフラボン含量が高まる原因として登熟期間の温度が低いことに関係していると思われる。

イソフラボンの主体は播種時期、品種、栽培地と関係なくマロニル型が多く、総イソフラボンの 78.0～86.9%を占めていた。スズユタカのマロニル型の 56.2～63.3% (平均 60.8%)、東北 126 号は 49.8～60.2% (平均 56.3%) とゲニスチンが幾分多い傾向にあった。また、両品種はいずれの試験地でも播種時期が遅くなるとグリコシルタイプがやや増加する傾向があった。以上のことからスズユタカと東北 126 号のイソフラボンは栽培地、栽培時期に関係なくマロニル型が主体でゲニスチンがダイジンよりやや多いことが分かった。更に、栽培時期が遅くなるとグリコシル型の増加する傾向のあることも明らかとなった。

3. 2. イソフラボン含量に及ぼす登熟期の温度の影響について

表 4 にスズユタカと東北 126 号の総イソフラボン含量と登熟中の平均気温を示した。

表 4 栽培地の移動によるスズユタカと東北126号の総イソフラボン含量及び登熟中の平均気温

試験区 (栽培地)	総イソフラボン (mg/100g DW ^{*3})		登熟中の平均気温 (°C)		
	スズユタカ	東北126号	前半 (30日)	後半 (57日)	開花～収穫日 (87日)
対照区 (郡山*1→郡山)	125	327	23.2	19.2	20.6
試験区 1 (猪苗代*2→郡山)	291	354	22.4	19.2	20.3
試験区 2 (郡山 → 猪苗代)	349	400	23.2	17.2	19.3
試験区 3 (猪苗代→猪苗代)	472	489	22.4	17.2	19.0

*1*2 表1 参照 *3 Dry Weight

スズユタカ 100g 当たりの総イソフラボンは試験区-3 (472mg) が最も多く、以下、試験区-2 (349mg)、試験区-1 (291mg)、対照区 (125mg) の順で少なかった。試験区-3 のイソフラボン総量は対照区の約 3.8 倍、試験区-2 は約 2.8 倍、試験区-1 は約 2.3 倍であった。

試験区-3 は登熟中の全期間を冷害試験地 (猪苗代)

で栽培した大豆、試験区-2 は登熟期の後半、試験区-1 は前半を冷害試験地で栽培した大豆である。平均気温は試験区-3 が 19.0℃、試験区-2 が 19.3℃、試験区-1 が 20.3℃、対照区が 20.6℃である。したがって、登熟中の平均気温が低い大豆ほどイソフラボンが多いことになる。また、冷害試験地での栽培が登熟期前半の大豆 (試験区-1) は後半の大豆 (試験区-2) よりイソフ

ラボンの少ないことから、登熟期後半の温度がイソフラボン含量に大きく影響すると考えられる。これらの結果は、登熟期間の温度が高い大豆はイソフラボンが減少する¹⁰⁾ことと一致する。

東北126号の試験区-3の総イソフラボンは対照区の1.5倍、試験区-2は約1.2倍、試験区-1は約1.1倍で、処理による影響はスズユタカと同様であったが、その増加量は少なかった。また、対照区の東北126号の総イソフラボンはスズユタカの約2.6倍であったが、試

験区-1では約1.2倍、試験区-2では約1.1倍、試験区-3ではほぼ同量であった。

この結果は、イソフラボンは開花後35日頃から蓄積が始まり、登熟に伴い蓄積量が増える¹¹⁾ことと併せ考えると、大豆のイソフラボン含量には、品種の他に、特に登熟後半の気温が大きく影響すると考えられる。

図1にスズユタカと東北126号のイソフラボン含量と登熟期間中の平均気温との相関図を示した。

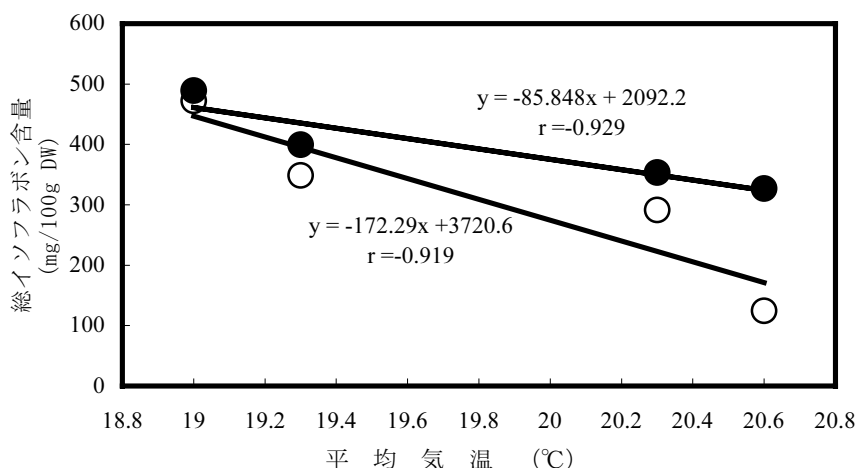


図1 登熟中の平均気温と大豆子実の総イソフラボン含量
DW : Dry Weight

これらの大豆のイソフラボン含量はいずれも危険率10%で平均気温との間に負の相関があり、スズユタカでは $y = -172.29x + 3720.6$ ($r = -0.919$)、東北126号では $y = -85.848x + 2092.2$ ($r = -0.929$) の一次式が成立した。(y=イソフラボン含量, x=登熟期の平均気温)

以上の結果、大豆のイソフラボン含量は遺伝的要因(品種)の他に登熟期、特に後半の温度の影響を強く受けることが明らかになった。

4. 結語

- (1) 晩播大豆は、標播大豆よりイソフラボンが顕著に多かった。
- (2) 東北126号は播種期や栽培地とは無関係にスズユタカよりもイソフラボンが顕著に多かった。
- (3) 登熟期の平均気温と大豆のイソフラボン含量の間には負の相関が認められ、スズユタカでは $y = -172.29x + 3720.6$ ($r = -0.919$)、東北126号では $y = -85.848x + 2092.2$ ($r = -0.929$) の一次式が成立した。(y=イソフラボン含量, x=登熟期の平均気温)
- (4) イソフラボン含量は登熟期の温度の影響を大きく受けることが明らかとなった。

参考文献

- 1) Anderson, J.W., Johnston, B.M. and Cook-Newell, M.E.: *New Engl. J. Med.*, 333, 276-282 (1995).
- 2) Kennedy, A.R.: *J. Nutr.*, 125, 717-724 (1995).
- 3) Brand, M.L.: *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 7, 213-216 (1999).
- 4) Lu, L-J. W., Anderson, K.E., Grady, J.J., Nagamani, M. and Kohen, F., *Cancer Res.*, 60, 4112-4121 (2000).
- 5) K. Tsuchida, S. Mizushima, M. Toba, and K. Soda: *J. Epidemiol.*, 9, (1) 14-19 (1999).
- 6) 家森幸男, 「日本食に秘められた知力」, (りびんぐ社, 東京), p. 6 (1992).
- 7) 戸田登志也・田村淳子・奥平武則: *FFI Journal*, 172, 83-88, (1997).
- 8) 遠藤浩志・大野正博・丹治克男・二瓶直登・三坂富男・阿部一博・島田信二・金子憲太郎: 平成12~14年度 p3 産官共同研究開発事業研究成果報告書 第1報「豆腐のイソフラボン含量に及ぼす大豆の品種及び豆乳調製法の影響」
- 9) 遠藤浩志・大野正博・丹治克男・二瓶直登・三坂富男・阿部一博・島田信二・金子憲太郎: 平成12~14年度 p9 産官共同研究開発事業研究成果報告書

第2報「品種及び産地の異なるイソフラボン含量及び豆腐加工適性」

- 10) S. Kudou, T. Uchida, Y. Fleury, D. Welti, D. Magnolato, K. Kitamura and K. Okubo : *Agric. Biol. Chem.*, 55, 2227-2233(1991).
- 11) S. Kudou, T. Uchida, Y. Fleury, D. Welti, D. Magnolato, K. Kitamura and K. Okubo : *Agric. Biol. Chem.*, 55, 2227(1991).

県産農産物を利用した機能性食品の開発 第4報

大豆リポキシゲナーゼの不活性化とその活用

会津若松技術支援センター 遠藤浩志・大野正博（現 企画情報部）
福島県農業試験場 丹治克男・二瓶直登
株式会社郡山とうふセンター 三坂富男
福島県酪農業協同組合 阿部一博
東北農業研究センター 島田信二
日本獣医畜産大学食品科学科 金子憲太郎

東北 126 号の高イソフラボン性を活かすため、青臭み生成の原因であるリポキシゲナーゼの不活性化法について検討した。その結果、製造現場で適用しやすい不活性化法を確立することができた。この技術を東北 126 号に応用して豆乳を調製し、これを用いて各種のデザートを試作した。試作品は脂質過酸化度が低く、官能的にも青臭みが少なかった。東北 126 号によるリポキシゲナーゼ不活性化処理豆乳は青臭みの少ない高イソフラボン含有素材として更に多くの食品への利用が可能である。

Key words:大豆, 大豆加工食品, 豆乳, イソフラボン, リポキシゲナーゼ

1. 緒言

高齢社会の進展や生活習慣病の増加にともない、健康食品に対する関心が高まっている。こうした中、大豆の持つ様々な生理機能¹⁾²⁾が注目されている。本研究は、骨粗鬆症や更年期障害、更に各種ガンリスク軽減に効果³⁾⁴⁾があるとされる大豆子実中のイソフラボンに着目し、県産大豆を利用してイソフラボン含量が高く、嗜好性に優れた加工食品を開発し、地域特産化することを目的としている。著者等はこれまで、豆乳のイソフラボン含量は原料大豆に高く依存する事、また、東北 126 号は高イソフラボン含量豆乳の原料として適していることを報告した⁵⁾。

本年度は、豆乳、豆腐の青臭みの要因とされるリポキシゲナーゼの不活性化技術の開発を試みた。また、リポキシゲナーゼ不活性化処理した東北 126 号から調製した豆乳を用い、カスタードプリンなどのデザートを試作し、その嗜好性を検討した。

2. 実験方法

2.1. 試料

平成 12 年度に福島県農業試験場で栽培したスズコタカ、東北 126 号、東北 135 号（リポキシゲナーゼ全欠失系統、以下リポ欠大豆）を選別、乾燥・調整後、冷蔵庫に保存し、必要に応じて使用した。試作に使用したプリンの素、パバロアの素、牛乳、砂糖、粉末アーモンド、寒天等の製菓材料は、市販品を使用した。また、市販の豆乳、調製豆乳、豆乳飲料、洋生菓子等、計 8 点を成分分析に供した。

2.2. リポキシゲナーゼの不活性化

スズコタカを 20 分の蒸留水に 16 時間浸漬後、蒸気

加熱処理または温水でのブラunchングによりリポキシゲナーゼの不活性化を試みた。不活性化の効果は処理後に調製した豆乳の脂質過酸化度から判定した。蒸気加熱処理は相対湿度 90 % で温度を 60 ~ 85 ℃ に調製した恒温恒湿器（三洋電機製、MTH-4400）に 10 分間静置する事により行った。ブラunchング処理は大豆を 60 ~ 85 ℃ の温水に 2 分間、または沸騰水に 4 ~ 30 秒間浸漬する事により行った。加熱後の大豆は速やかに冷水にて冷却した。

2.3. 豆乳の調製法

豆乳は沼田⁶⁾の方法に従い、大豆 100 g を 6 倍加水で磨砕した後に加熱してから圧搾する事により調製した。

2.4. 大豆、豆乳および試作品の分析

豆乳は直接、大豆は小型粉碎機で 32M 以下に粉碎した大豆粉末を分析に供した。タンパク質はケルダール法、固形分は 100 ℃、5 時間乾燥法で測定した。イソフラボン含量と脂質過酸化度はそれぞれ HPLC 法及びジエチルチオバルビツール酸法で測定した。

2.5. デザート類の試作

不活性化処理した東北 126 号から調製した豆乳を主材料として表 1 の素材配合表でカスタードプリン、黒ごまプリン、パバロア、杏仁豆腐を試作した。処理豆乳には 100 ℃、30 秒間ブラunchング処理後調製したものをを用いた。

表1 デザート類の原料組成

種	類	ミックス*1 (g)	卵黄 (g)	水 (ml)	牛乳 (ml)	豆乳	
						処理(ml)*2	未処理(ml)*3
加タード プリン	対照区	60	-	-	400	-	-
	処理豆乳区	60	-	-	200	200	-
	未処理豆乳区	60	-	-	200	-	200
黒ごま プリン	対照区	70	-	-	400	-	-
	処理豆乳区	70	-	-	200	200	-
	未処理豆乳区	70	-	-	200	-	200
ハハロア	対照区	70	18	-	400	-	-
	処理豆乳区	70	18	-	200	200	-
	未処理豆乳区	70	18	-	200	-	200
杏仁豆腐	対照区	84	-	300	300	-	-
	処理豆乳区	84	-	300	150	150	-
	未処理豆乳区	84	-	300	150	-	150

*1 市販のミックス及び製菓材料

*2 100 30秒の不活性化処理後調製した豆乳

*3 不活性化処理せず定法により調製した豆乳

2.6. 試作したデザート類の官能評価

会津若松技術支援センター職員 15 名をパネリストとして、試作したデザートの豆乳臭を評点法で評価した。

3. 実験結果及び考察

3.1. 蒸気加熱によるリポキシゲナーゼの不活性化

表2は蒸気加熱処理したスズユタカとリポ欠大豆の東北135号から調製した豆乳の成分値である。

表2 スズユタカと東北135号から調製した豆乳の成分

成分	スズユタカ	東北135号
豆乳収量(g)	574	551
蛋白質(%)	4.56	4.61
蛋白抽出率(%)	80.5	81.4
固形分(%)	10.3	10.3
固形分抽出率(%)	67.6	66.0
脂質過酸化度(n mol/ml)	17.4	4.7

豆乳の収量、タンパク質、タンパク質抽出率、固形分、固形分抽出率は品種間での差異がほとんどなかった。しかし、脂質過酸化度はスズユタカが 17.4n mol/ml、東北135号が 4.7n mol/ml と大きな差が見られた。この結果、リポキシゲナーゼの不活性化は、豆乳へのタンパク質と固形分の抽出率を損なわず、脂質過酸化度を 5n mol/ml 前後にすることを基準にできると考えた。

そこで、60 ~ 85 で 10 分間蒸気加熱したスズユタカから調製した豆乳の脂質過酸化度、タンパク質抽出率、固形分抽出率を測定し(図1)、リポキシゲナーゼの不活性化と処理温度の関係を検討した。

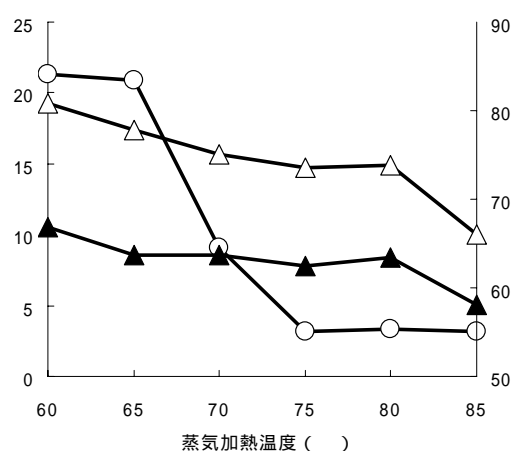


図1 蒸気加熱処理した大豆(スズユタカ)から調製した豆乳の脂質過酸化度、タンパク質抽出率、固形分抽出率

処理温度が 65 以上になると脂質過酸化度が急激に低下し、75 になると約 3n mol/ml、それ以上の温度では変化がなかった。

一方、タンパク質と固形分の抽出率は加熱温度 80 までは緩やかに、85 以上になると急激に低下した。80 での減少はタンパク質抽出率が約 6%、固形分抽出率が約 4%であった。以上の結果から蒸気加熱処理による最適不活性化条件は 75 ~ 80、10 分と考えた。

3.2. ブランチングによるリポキシゲナーゼの不活性化

製造現場で容易に適用できる方法としてブランチングによるリポキシゲナーゼの不活性化を検討した。表3は 60 ~ 85 の温水で 2 分間ブランチングし、直ちに冷却してから調製した豆乳(スズユタカ)の成分値

である。

表3 ブランチングしたスズユタカから調製した豆乳の成分

成分	ブランチング温度		
	60～ 65	70～ 75	80～ 85
豆乳収量(g)	570	553	524
蛋白質(%)	4.56	4.48	4.42
蛋白抽出率(%)	80.0	76.2	71.2
固形分(%)	10.0	9.9	9.8
固形分抽出率(%)	65.3	62.4	58.4
脂質過酸化度(n mol/ml)	25.5	4.4	3.6

70～75，80～85 で2分間ブランチングした場合、脂質過酸化度は4.4，3.6n mol/mlであるのでリポキシゲナーゼはほぼ完全に失活したと言える。しかし、80～85 ではタンパク質や固形分の抽出効率が極端に低下する。したがって、ブランチングを2分間とするなら不活性化の最適条件は70～75 と言えよう。中間温度領域でのブランチングは、製造現場では困難な場合が多い。そこで、より簡易な方法として沸騰水中(100)でのブランチング処理を検討した(図2)。

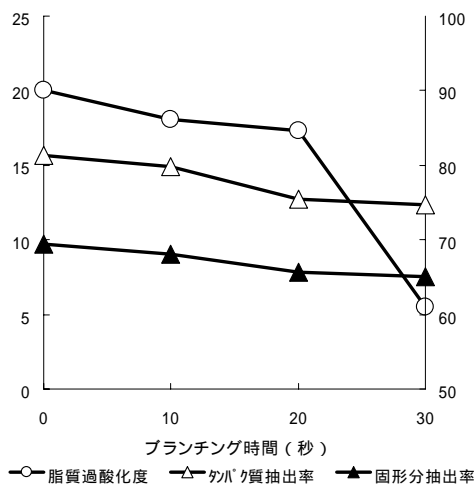


図2 ブランチングした大豆(スズユタカ)から調製した豆乳の脂質過酸化度、タンパク質抽出率、固形分抽出率

脂質過酸化度は20秒までは緩やかに低下するものの大きな変化は認められなかった。しかし、20秒以降急激に低下しはじめ、30秒になると5n mol/mlに減少した。また、豆乳へのタンパク質抽出率及び固形分抽出率はブランチング時間の経過に伴い徐々に低下したが、30秒間処理したものでもタンパク質抽出率が約6%、固形分抽出率が約4%の低下に止まっていた。以上のことから、リポキシゲナーゼは沸騰水中で30秒程度ブランチングすることによりほぼ完全に不活性化

できる事が分かった。

3.3.3 東北126号を使用したデザート類の試作

表1に基づいて図3に示した4種類のデザートを試作した。豆乳は沸騰水中で30秒間、リポキシゲナーゼ



図3 試作したデザート類

不活性化処理をした大豆から調製した。調整後の豆乳は収量が560g(未処理豆乳は594g)、脂質過酸化度は5.7n mol/ml(同18.7n mol/ml)、イソフラボン含量は64.7mg/100g(同59.1mg/100g)であった。

試作デザートと市販の豆乳製品の成分値を表4に示した。試作した4種のデザートはいずれも品目として

表4 市販及び試作豆乳製品の成分値

品名	大豆固形分	イソフラボン	脂質過酸化度
		mg/100g	n mol/100ml
豆乳1	8%以上	40.5	4.7
調製豆乳1	7%以上	34.5	7.8
市販品	2	7%以上	16.0
	豆乳飲料1	4%以上	22.0
	2	6%以上	32.0
洋生菓子	3	4%以上	8.5
	2		7.3
試作品	カスタードプリン	4%以上	32.4
	黒ごまプリン	4%以上	29.6
	パパロア	4%以上	30.2
	杏仁豆腐	2%以上	16.4

市販品の大豆固形分とイソフラボンの値は表示値からの換算値
試作品の大豆固形分は豆乳の分析値から換算した値

は洋生菓子の部類に属する。そこで試作品と市販洋生菓子を比較すると、試作品の脂質過酸化度は市販品と

同程度であったが、プリン、ババロアのイソフラボンは市販品の2倍以上含まれていた。また、大豆固形分が試作品と同程度の市販豆乳製品は試作品よりイソフラボン含量が明らかに少なかった。

3.4. 試作したデザート類の官能評価

表5は試作したデザートの豆乳臭について、1：強く、2：やや強く、3：弱く、4：非常に弱く、5：感じないの5点法によって官能評価した結果である。

表5 試作した豆乳デザートの豆乳臭の官能評価

品名	牛乳100	牛乳50	牛乳50
		処理豆乳50	未処理豆乳50
加タードプリン	4.40	3.47	2.13
黒ごまプリン	4.53	3.73	3.67
ババロア	4.67	3.80	2.33
杏仁豆腐	4.73	3.67	2.67

* 有意水準5%で各試料間に有意差あり

4種類のデザートはいずれも、牛乳100%区、処理豆乳50%区、未処理豆乳50%区、の順に豆乳臭が少なくなる傾向にあると評価された。各試料間の有意差検定を行った結果、黒ごまプリン以外の3種類のデザートは処理豆乳50%区と未処理豆乳50%区の間で危険率5%で豆乳臭の強さに有意差が認められた。以上の結果から、100で30秒ブランチングした大豆から調製した豆乳を使ったデザートは、大豆臭が軽減されていることが明らかとなった。

4. 結言

豆乳、豆腐の青臭みの要因であるリポキシゲナーゼの不活性化法を検討した。その結果、適切な条件での蒸気加熱とブランチング処理が極めて効果的な方法であることを見いだした。本法は大豆成分の抽出効率も良く、簡便なことから製造現場での活用が容易である。また、東北126号から調製した豆乳を原料にして試作したデザート類は市販品と比べ、大豆臭が少なく、イソフラボンも高含量であった。

参考文献

- 1) 大久保一良：大豆の健康宣言（日本食品出版，東京）p. 81, 121, 155（2000）
- 2) 河村幸雄・大久保一良：大豆のヘルシーテクノロジー（光琳，東京）p. 59, 93, 129（1998）

3) 家森幸男：日本食に秘められた知力（りびんぐ社，東京）p. 13, 31（1999）

4) 家森幸男・太田静行・渡邊 昌：大豆イソフラボン（幸書房，東京）p. 66, 107（2001）

5) 遠藤浩志等：平成12年度 福島県ハイテクプラザ試験研究報告，p. 10

6) 沼田邦雄：東京都立食品技術センター研究報告，7，21（1998）

福島県ハイテクプラザ研究報告書

TECHNICAL REPORTS OF FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

『県産農産物を利用した機能性食品の開発』

平成15年3月

発行

福島県ハイテクプラザ
福島県郡山市待池台1-12
TEL 024-959-1741
FAX 024-959-1761

編集

福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター
発酵技術科・食品技術科

※この研究は、電源立地特別交付金により整備された機器を使用して実施した事業です。