

豆腐のイソフラボン含量に及ぼす大豆の品種および豆乳調製法の影響

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
巻/号	293
掲載ページ	p. 165-172
発行年月	2003年5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



豆腐のイソフラボン含量に及ぼす大豆の品種 および豆乳調製法の影響

遠藤浩志*¹・大野正博*²・丹治克男*³
島田信二*⁴・金子憲太郎*⁵

Effect of Variety of Soybean Seeds and Processing of Soy Milk on the Isoflavone Content of Tofu

ENDO Hiroshi*¹, OHNO Masahiro*², TANJI Katsuo*³
SHIMADA Shinji*⁴ and KANEKO Kentaro*⁵

* 1 *Fukushima Technology Centre Aizuwakamatsu Technical Support Centre*
88-1, Shimoyanagihara, Tsuruga, Ikki-machi, Aizuwakamatsu-shi, Fukushima 965-0006

* 2 *Fukushima Technology Centre*

1-12, Machiikedai, Kooriyama-shi, Fukushima 963-0215

* 3 *Fukushima Prefecture Agricultural Experiment Station*

20, wakamiyamae, Tomita-machi, Kooriyama-shi, Fukushima 963-8041

* 4 *National Agricultural Research Center for Tohoku Region*

297, Uenodai, Kariwano, Nishi-senboku, Akita 019-2112

* 5 *Nippon veterinary and Animal Science University*

2-27-5, Sakai, Musashino-shi, Tokyo 180-8602

Soy milks were produced by the heat-squeezing method and the non heat-squeezing method from four varieties of soybean seeds, Suzuyutaka, Tohoku 126, Tohoku 135 (variety lacking lipoxigenase activity), and Tohoku 139 (variety containing small amount of allergen). Contents of isoflavone and relating compounds were then compared to find the processing way of soy milk containing large amounts of isoflavone. ① Large amounts of isoflavone were detected in the seed of Tohoku 126 and the content was 437mg/100 g seed. While the isoflavone content in the seed of Tohoku 139 was only 107mg/100 g seed. ② Most of isoflavone in the soybean seeds was malonyl type, and malonylgenistin was the most predominant isoflavone. Ratio of malonyl type in total isoflavone in the soybean seeds was 66.7~91.6%, and that of aglycon type was only 0.8~2.5%. ③ Total isoflavone content in soy milk varied with the varieties of soybean seed, and its content in each soy milk was 1/6~1/8 as much as in the corresponding soybean seed. Isoflavone content in soy milk (Y) and that in soybean (X) were correlated with 1% level of significance under the formula of $y = 0.1348x + 0.5626$ ($r = 0.993$). ④ Total isoflavone content in Tofu confected by the heat-squeezing method from whole soybean and hulled soybean was higher than that in Tofu by the non heat-squeezing method. ⑤ When soy milk was produced by the heat-squeezing method from whole soybean and hulled soybean, isoflavone in soy milk from whole soybean was efficiently extracted after adding water until six-fold volume of soybean used as materials. Total isoflavone content in soy milk from hulled soybean increased in response to the volume of adding water. Total isoflavone content in Okara milk from

* 1 福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター (〒965-0006 福島県会津若松市一箕町大字鶴賀字下柳原88-1)
E-mail: hendou@tsc.aizuwakamatsu.fukushima.jp

* 2 福島県ハイテクプラザ (〒963-0215 福島県郡山市待池台1-12)
E-mail: mhohno@fukushima-iri.go.jp

* 3 福島県農業試験場 (〒963-8041 福島県郡山市富田町字若宮前20)
E-mail: tanji-katsuo_01@pref.fukushima.jp

* 4 東北農業研究センター (〒019-2112 秋田県仙北郡西仙北町刈和野字上の台297)
E-mail: shinji@affrc.go.jp

* 5 日本獣医畜産大学 (〒180-8602 東京都武蔵野市境2-27-5)
E-mail: kenkaneko@nvau.ac.jp

hulled soybean was not changed by the volume of additional water. ⑥ Ratio of the content of malonyl type, glycosyl type, and aglycon type of isoflavone in Tofu from whole soybean and hulled soybean confected by the heat-squeezing method and the non heat-squeezing method was almost the same. ⑦ Contents of protein and solid matter in Tofu produced from *Okara* milk were higher than that in Tofu from whole soybean and hulled soybean. Moreover, dietary fiber was detected in the *Okara* Tofu. (Received Sep. 3, 2002; Accepted Mar. 10, 2003)

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⁾、大豆サポニンの抗ガン作用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19.4 g/日/人で大豆加工品の中では最も多く¹²⁾、全イソフラボン摂取量18.0mgの54%以上が豆腐に由来する¹²⁾といわれている。これまでの豆腐にかか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⁾にかかわるものがほとんどであり、機能性成分に着眼した報告はみあたらない。

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およ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およ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。

実験方法

1. 試料

平成12年に福島県農業試験場で実施した奨励品種決定調査試験で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(低アレルゲン大豆系統、以下低アレルゲン大豆)を選別・乾燥・調製後に5℃の冷蔵庫に保存し供試した。脱皮大豆は脱皮機(株原田産業、ST-05)で種皮を除去することにより調製した。

2. 豆乳の調製法

スズユタカを原料とし沼田¹⁴⁾の方法に従い、全粒大豆(有皮)または脱皮大豆に5~7倍量の水を加えて磨砕した具を、加熱後に压榨(以下、加熱絞豆乳)または压榨後に加熱(以下、生絞豆乳)することにより調製した豆乳を5℃の冷蔵庫に保存し供試した。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。

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豆乳を調製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(株

天野製薬、セルラーゼT「アマノ」⁴⁾とペクチナーゼ(株阪急バイオインダストリー、セルロシンME)を各0.05%混合した¹⁶⁾。30分毎にガラス棒で攪拌しながら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オカラ豆乳とした。

4. 豆腐の調製法

スズユタカを原料にし調製後5℃に冷却した全粒、脱皮、脱皮オカラ豆乳に0.3%量のグルコノ- δ -ラクトン(GDL)を加え、50ml容ポリプロピレン製遠沈管(径26mm)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、脱皮、脱皮オカラ豆乳から調製した豆腐をそれぞれ全粒豆腐、脱皮豆腐、脱皮オカラ豆腐とした。

5. 豆腐の破断強度の測定

直径26mm、高さ15mmの円筒形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10mmの円筒型プランジャー、テーブルスピードは6 cm/minとし、豆腐ゲルが破断するときの荷重で表した。

6. 一般成分の分析

豆乳は直接、大豆は小型粉碎機で32メッシュ以下に粉碎した大豆粉末を分析に供した。水分は130℃、3時間常圧加熱乾燥法、タンパク質はケルダール法(窒素・タンパク換算係数5.71)、脂質は基準味増分析法²¹⁾に従いエチルエーテル抽出法、灰分は直接灰化法で測定した。炭水化物は水分、タンパク質、脂質、灰分の合計を100から差し引いて求めた。豆乳および脱皮全乳の固形分は105℃乾燥法、脱皮オカラ豆乳の食物繊維はPROSKY法²²⁾で測定した。

7. イソフラボンの測定

島田ら²³⁾の方法に従いHPLC法で測定した。粉碎大豆または凍結乾燥した大豆加工品に10倍量の0.1%酢酸・70%エタノール溶液を加え、室温および80℃で18時間放置してから遠心分離した。上清を0.45 μ mのメンブランフィルターでろ過し、分析試料とした。分析条件は次のとおりである。

高速液体クロマトグラフ:日立L-7200。カラム: LiChrosorb RP-18 (7 μ m, 4 \times 250mm)。溶離液: A液; 20 mM 磷酸ナトリウム緩衝液 (pH 3.0), B液; アセトニトリル。流速: 1 ml/分。検出波長: UV 210nm。温度: 30℃。試料: 10 μ l。

実験結果および考察

1. 大豆の一般成分

Table 1 に分析結果を示した。

スズユタカと東北126号は各成分の含量がほとんど変わらなかった。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、低アレルゲン系統大豆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報告^{24),25)}と一致する。

2. 大豆および豆乳のイソフラボン含量

Table 2 に大豆と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を無水物換算値で示した。

東北126号 (437mg/100g) は総イソフラボンが最も多く、最も少ない東北139号 (107mg/100g) の約4倍であった。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66.7~91.6%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。グリコシ

ルタイプは7.5~31.6%、アグリコンタイプは0.8~2.5%であった。

豆乳の総イソフラボン含量 (y) は大豆 (x) の $1/6 \sim 1/8$ に減少したが、それらは危険率1%で相関し、 $y=0.1348x+0.5626$ ($r=0.993$) の一次式が成り立った (Fig. 1)。

豆乳のイソフラボンはマロニルタイプが総イソフラボンの64.7~81.4%、グリコシルタイプが13.7~26.6%、アグリコンタイプが4.3~6.9%と、大豆に比べマロニルタイプがやや減少しアグリコンタイプがわずかに増加する傾向が認められた。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%エタノールで80℃、15時間の加熱抽出中にマロニル基のほとん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があまり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思われる。

Table 1 Chemical composition of various soybean (g/100g)

Components	Suzuyutaka	Tohoku 126	Tohoku 135	Tohoku 139
Moisture	11.0	10.9	10.2	11.4
Protein	37.7 (42.4)	36.7 (41.2)	35.7 (39.7)	40.0 (45.1)
Lipid	17.7 (19.9)	17.3 (19.4)	17.2 (19.2)	18.3 (20.6)
Carbohydrate	28.9 (32.5)	30.6 (34.3)	32.2 (35.8)	25.2 (28.4)
Ash	4.6 (5.2)	4.5 (5.1)	4.8 (5.3)	5.2 (5.9)

() : % on dry basis.

Table 2 Isoflavone content of soybean and soy milk (mg/100g DW*)

Variety	Malonyl type			Glycosyl type			Aglycon			Total	
	Daizin	Genistin	Total	Daizin	Genistin	Total	Daizein	Genistein	Total		
Soybean	Suzuyutaka	81.2	185	266	7.3	14.5	21.8	1.2	1.2	2.4	290
	(%)	(28.0)	(63.6)	(91.6)	(2.5)	(5.0)	(7.5)	(0.4)	(0.4)	(0.8)	(100.0)
	Tohoku 126	116	223	339	32.8	56.9	89.7	4.1	3.7	7.8	437
	(%)	(26.6)	(51.0)	(77.7)	(7.5)	(13.0)	(20.5)	(0.9)	(0.8)	(1.8)	(100.0)
Tohoku 135	62.3	130	192	31.8	59.3	91.1	2.6	2.2	4.8	288	
(%)	(21.6)	(45.1)	(66.7)	(11.0)	(20.6)	(31.6)	(0.9)	(0.8)	(1.7)	(100.0)	
Tohoku 139	18.9	55.8	74.7	8.6	21.2	29.8	1.2	1.5	2.7	107	
(%)	(17.6)	(52.1)	(69.7)	(8.0)	(19.8)	(27.8)	(1.1)	(1.4)	(2.5)	(100.0)	
Soy milk	Suzuyutaka	7.3	25.9	33.2	4.0	1.6	5.6	1.0	1.0	2.0	40.8
	(%)	(17.9)	(63.5)	(81.4)	(9.8)	(3.9)	(13.7)	(2.5)	(2.5)	(4.9)	(100.0)
	Tohoku 126	13.0	28.8	41.8	5.0	10.7	15.7	1.2	1.4	2.6	60.1
	(%)	(21.6)	(47.9)	(69.6)	(8.3)	(17.8)	(26.1)	(2.0)	(2.3)	(4.3)	(100.0)
Tohoku 135	8.1	16.5	24.6	3.2	6.5	9.7	1.1	1.1	2.2	36.5	
(%)	(22.2)	(45.2)	(64.7)	(8.8)	(17.8)	(26.6)	(3.0)	(3.0)	(6.0)	(100.0)	
Tohoku 139	3.7	8.4	12.1	1.4	2.8	4.2	0.6	0.6	1.2	17.5	
(%)	(21.1)	(48.0)	(69.1)	(8.0)	(16.0)	(24.0)	(3.4)	(3.4)	(6.9)	(100.0)	

DW* : Dry Weight. () : Rate to total isoflavone.

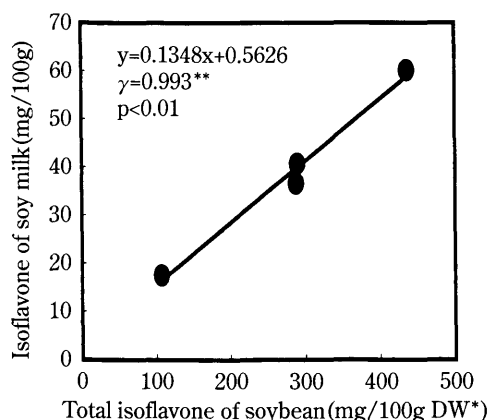


Fig.1 Correlationship of total isoflavone content between soybean and soy milk

*DW: Dry Weight

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

Table 3にスズユタカを使用し、加熱絞り法と生絞り法で製造した全粒豆腐、脱皮豆腐と市販の絹ごし、もめん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総イソフラボンは生絞り法による全粒豆腐の約1.3倍であった。脱皮豆腐の総イソフラボンも加熱絞り法と生絞り法でほぼ同様な差異があった。したがって、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。市販もめんと絹ごし豆腐の総イソフラボンは生絞りの全粒豆腐より多かったが加熱絞りの全粒豆腐よりは少なかった。

加熱絞り法で製造した全粒豆腐の総イソフラボンは加熱絞り法による脱皮豆腐の1.4倍であった。

生絞り法で製造した豆腐の総イソフラボンも全粒豆腐と脱皮豆腐ではほぼ同様な傾向が認められた。

一般的な大豆のイソフラボンは、胚軸に約1.8%と最も多く、次いで子葉で約0.6%、種皮には0.1%程度含まれる²⁷⁾。脱皮豆腐(豆乳)は種皮を剥離してあるのでイソフラボンが容易に抽出され、その結果、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溶出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を付随することが認められた。したがって、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。

調製した豆腐のイソフラボンはマロニルタイプが総イソフラボンの48.5~54.9% (市販豆腐では約63%)、グリコシルタイプが40.7~50.0% (同、約32%)、アグリコンタイプが1.5~4.4% (同、約5%) の範囲にあり、豆腐による特別な差異は認められなかった。しかし、加熱絞り全粒豆乳 (Table 2, 64.7~81.4%) に比べ、マロニルタイプが顕著に減少しグリコシルタイプの構成比が著しく増加していた。しかし、アグリコンタイプには特別な傾向がないように思われた。

この理由は、豆腐は豆乳にGDLを混合後、80℃で1

Table 3 Isoflavone content of Tofu produced by both methods of Heat- and Non-heat squeezing process (mg/100 g)

Tofu	Isoflavone			Total
	Malonyl type	Glycosyl type	Aglycon type	
WS-H Tofu (%)	17.6 (48.5)	18.2 (50.0)	0.6 (1.5)	36.4 (100)
WS-NH Tofu (%)	15.0 (54.9)	11.1 (40.7)	1.2 (4.4)	27.3 (100)
HS-H Tofu (%)	13.5 (51.9)	11.9 (45.8)	0.6 (2.3)	26.0 (100)
HS-NH Tofu (%)	12.1 (51.4)	10.8 (46.0)	0.6 (2.6)	23.5 (100)
Kinu Tofu (%)	18.5 (62.7)	9.4 (31.9)	1.6 (5.4)	29.5 (100)
Momen Tofu (%)	20.1 (62.8)	10.2 (31.9)	1.7 (5.3)	32.0 (100)

(): Rate to total isoflavone. Kinu and Momen Tofu were purchased from food market.

WS-H Tofu : Tofu produced by Whole soybean-Heat squeezing process.

WS-NH Tofu : Tofu produced by Whole soybean-Non-heat squeezing process.

HS-H Tofu : Tofu produced by Hulled soybean-Heat squeezing process.

HS-NH Tofu : Tofu produced by Hulled soybean-Non-heat squeezing process.

時間加熱することから、GDLから生成したグルコン酸によりマロニル基の一部が離脱しマロニルタイプがグリコシルタイプに変化したためと考えられる。このような変化は豆腐のおいしさに関与すると思われるので今後詳細に検討する。

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 Table 4 に加熱絞りで調製した全粒豆乳のタンパク質、固形分、総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を示した。豆乳はタンパク質が4.7~5.3 g/100 g、抽出率が59.8~84.0%であった。固形分は9.4~10.6 g/100 g、抽出率は53.9~66.7%であった。また、総イソフラボンは17.5~60.1 mg/100 g、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18.0~24.2%、固形分抽出率(53.9%)が11.5~12.8%低かった。しかし、総イソフ

ラボンの抽出率(82.7%)は2.9~10.8%高かった。

東北139号は高11 S大豆³⁰⁾である。11 Sタンパク質は加熱による凝固が早い³¹⁾。したがって、呉の加熱中にタンパク質が部分的に凝固し、タンパク質と固形分の抽出率が低くなると考えられる。

総イソフラボンの平均抽出率は約78%だったことと、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約22%はオカラに残存すると考えられる。

(2) 豆乳の成分含量に及ぼす加水量の影響 Table 5 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、脱皮オカラ豆乳のタンパク質、固形分、総イソフラボン含量とオカラ豆乳の食物繊維含量を示した。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。しかし、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。脱皮豆乳と脱皮オカラ豆乳は5.0倍加水時が最も多かった。

Table 4 Contents of protein, solid matter and total isoflavone in soy milks prepared from four soybean varieties, and the extractive rate of each ingredient

Variety	Amount (g)	Protein		Solid matter		Total isoflavone	
		Content (g/100 g)	Extractive rate (%)	Content (g/100 g)	Extractive rate (%)	Content (g/100 g)	Extractive rate (%)
Suzuyutaka	567	5.2	77.8	10.3	65.4	40.8	79.8
Tohoku 126	562	5.3	81.8	10.6	66.7	60.1	77.4
Tohoku 135	567	5.3	84.0	10.5	66.2	36.5	71.9
Tohoku 139	507	4.7	59.8	9.4	53.9	17.5	82.7

Whole soybean soaked in water for 16 hrs at 20°C, was ground with adding 300 g water using homogenizer.

The ground soybean (*Nama go*) was warmed in water bath until the temperature reached about 70°C, and then heated at about 98°C by throughing steam for 3 min (*Go*). The *Go* was adjusted to 700 g with adding water, and squeezed for seperating to soybean milk and *Okara*.

Table 5 Content of protein, solid matter and total isoflavone in various soy milks prepared by changing amount of additional water

Soy milk	Component	Additional water (times)				
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Soy milk from whole soybean seed	Amount (g)	405	470	535	590	635
	Protein (g/100 g)	3.59	4.72	4.73	4.44	4.15
	Solid matter (g/100 g)	9.45	11.0	10.8	9.93	9.55
	Total isoflavone (mg/100 g)	37.1	36.2	35.7	33.0	31.5
Soy milk from hulled soybean	Amount (g)	427	493	551	598	667
	Protein (g/100 g)	5.45	5.04	4.90	4.55	4.18
	Solid matter (g/100 g)	11.8	11.0	10.9	9.86	9.36
	Total isoflavone (mg/100 g)	33.2	32.0	30.6	29.9	29.5
<i>Okara</i> milk from hulled soybean	Amount (g)	528	592	639	693	744
	Protein (g/100 g)	6.06	5.66	5.42	5.03	4.69
	Solid matter (g/100 g)	13.7	12.7	12.0	11.1	10.4
	Total isoflavone (mg/100 g)	35.2	30.8	29.0	26.6	26.5
	Total dietary fiber (mg/100 g)	1.75	1.67	1.57	1.60	1.43

Soy milk was prepared with the heat-squeezing method in which material soybean seeds were homogenized by adding 5.0~7.0 times additional water to the beans.

これらのことから、全粒大豆は脱皮大豆と脱皮オカラ豆乳よりタンパク質と固形分の抽出率が低いことが認められた。したがって、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考えられる。

総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、全粒豆乳中での含量が最も多かった。脱皮豆乳と脱皮オカラ豆乳での含量はほぼ同量であった。

脱皮オカラ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、通常の豆乳にはほとんど含まれない³²⁾総食物繊維が1.43~1.75%含まれていた。これらのことは脱皮オカラ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。

Fig. 2に各豆乳の加水量と総イソフラボン抽出率の関係を示した。

全粒豆乳の総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。脱皮オカラ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。

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。

5. 豆腐の破断強度

Fig. 3に加水量5.0~7.0倍の加熱絞りで調製した全粒、脱皮、脱皮オカラ豆腐と市販の絹ごし、もめん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、脱皮オカラ豆腐の順に小さくなった。加水量6.0~7.0倍の全粒豆腐の破断強度は市販絹ごし豆腐と同程度だった。脱皮豆腐は市販もめん豆腐よりは小さかったが、市販絹ごし豆腐より大きかった。脱皮オカラ豆腐は破断強度が最も小さかったが、オカラ独特のザラツキ感が少なかった。オカラを利用した豆腐は一般的にゲル強度が低下する^{15),16)}。しかし、脱皮処理をした豆腐は脂肪球が凝集状態から均一な分布へと変化すること等によりゲル強度が増す²⁹⁾ことが知られている。詳細な検討は必要であるが、本試験における脱皮オカラ豆腐も脂肪球の分布状態に変化が起ると推察される。

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倍ではわずかに減少した。脱皮オカラ豆腐は加水量の増加に伴い破断強度が増大する傾向が認められた。

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、脱皮オカラ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。

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は加水量の増加に伴い減少する

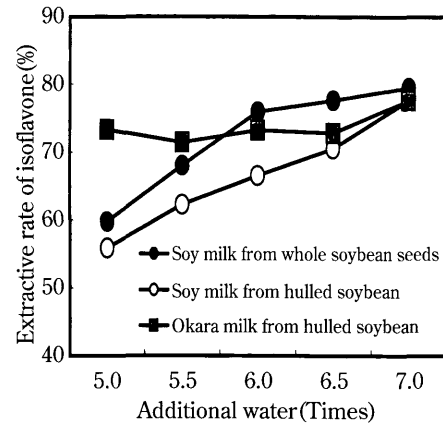


Fig. 2 Changes of extractive rate of total isoflavone from soybean to soy milk

Soy milk was prepared by changing the additional water.

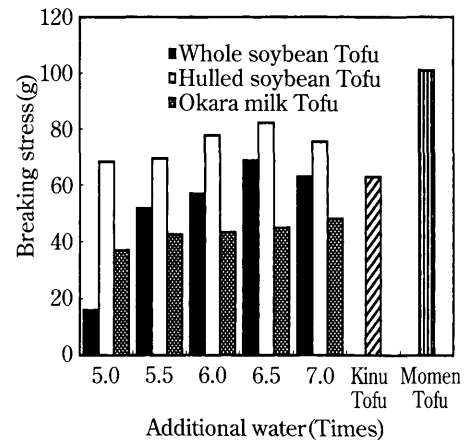


Fig. 3 Breaking stress of Tofu produced by changing additional water

Kinu and Momen Tofu were purchased from food market.

(Table 5) 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、11 S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⁾。したがって、詳細な検討は必要であるが、加水量が増加すると11 S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。

要 約

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(低アレルギー大豆)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437mg/100g、東北139号が最も少なく107mg/100gであった。
- ② 大豆のイソフラボンはいずれの品種もマロニルタ

イブが最も多く、イソフラボン総量の66.7~91.6%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。

- ③ 豆乳の総イソフラボンは大豆の1/6~1/8に減少した。大豆と豆乳の総イソフラボンは危険率1%で相関し、 $y=0.1348x+0.5626$ ($r=0.993$)の一次式が成立した。Y=豆乳のイソフラボン含量、x=大豆中のイソフラボン含量。
- ④ 豆乳のイソフラボンは原料大豆に比べ、マロニルタイプがやや減少し、アグリコンタイプがわずかに増加する傾向が認められた。
- ⑤ 加熱絞り法で調製した豆腐の総イソフラボン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。
- ⑥ 加熱絞り法で調製した全粒豆乳の総イソフラボンは加水量が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。脱皮オカラ豆乳での抽出率は加水量の影響を受けなかった。
- ⑦ 加熱絞り法と生絞り法で製造した全粒豆腐と脱皮豆腐の総イソフラボンに占めるマロニル、グリコシル、アグリコンタイプの構成比はほぼ同様であったが、豆乳に比べアグリコンタイプが少なく、グリコシルタイプが多かった。
- ⑧ 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、豆乳のイソフラボン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認められた。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すべて活用し、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、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。

文 献

- 1) ANDERSON, J. W., JOHNSTON, B. M. and COOK-NEWELL, M. E.: Meta-Analysis of the Effects of Soy Protein Intake on Serum Lipids, *New Engl. J. Med.*, **333**, 276~282 (1995)
- 2) SIRTORI, C. R., AGRADI, E., MANTERO, O., CONTI, F. and GATTI, E.: Soybean-Protein Diet in the Treatment of Type-II Hyperlipoproteinemia, *Lancet*, **1**, 275 (1977)
- 3) YOSHIKAWA, M., KISHI, K., TAKAHASHI, M., WATANABE, A., MIYAMURA, T., YAMAZAKI, M. and CHIBA, H.: Immunostimulating Peptide Derived from Soybean Protein, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **685**, 375 (1993)
- 4) KENNEDY, A. R.: The Evidence for Soybean Products as Cancer Preventive Agents, *J. Nutr.*, **125**, 733~743 (1995)
- 5) 大久保一良: サポニン等の配糖体成分を考慮した大豆の食品加工, *食品と科学*, **30**, 106~108 (1988)
- 6) TSUCHIDA, K., MIZUSHIMA, S., TOBA, M. and SODA, K.: Dietary Soybeans Intake and Bone Mineral Density among 995 Middle-Aged Women in Yokohama, *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) MARTIN, P. M., HORWITS, K. B., RYAN, D. S. and MCGUIRE, W. L.: Phytoestrogen Interaction with Estrogen Receptors in Human Breast Cancer Cells, *Endocrinology*, **103**, 1860~1867 (1978)
- 9) PETERSON, G. and BERNES, S.: Genistein Inhibition of the Growth of Human Breast Cancer Cells: Independence from Estrogen Receptors and the Multi-Drug Resistance Gene, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **179**, 661~667 (1991)
- 10) PETERSON, G. and Bernes, S.: Genistein and Biochanin A Inhibit the Growth of Human Prostate Cancer Cells but not Epidermal Growth Factor Receptor Tyrosine Autophosphorylation, *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: 市販大豆食品のイソフラボン含量について, *FFI Journal*, **172**, 83~88 (1997)
- 13) 斎尾恭子・豆腐研究協議会: 国産大豆の豆腐加工適性, *食品総合研究所研究報告*, **47**, 128~149 (1985)
- 14) 沼田邦雄: 大豆の成分及び豆腐加工適性, *東京都立食品技術センター研究報告*, **7**, 21~27 (1998)
- 15) 沼田邦雄・三枝弘育・廣瀬理恵子: 大豆粉を用いた微塵入り豆腐, *東京都立食品技術センター研究報告*, **6**, 7~12 (1997)
- 16) 二宮順一郎・門家重治: 豆類の高度加工技術-豆腐及び新食品素材としての大豆の全利用-, *愛媛県工業技術センター研究報告*, **36**, 67~71 (1998)
- 17) 荒 勝俊: 大豆及び大豆加工食品の呈味性改善技術 (1)-大豆の有用性と問題点-, *New Food Industry*, **42**, 27~35 (2000)
- 18) 荒 勝俊: 大豆及び大豆加工食品の呈味性改善技術 (2)-乳酸醗酵による呈味性改善-, *New Food Industry*, **42**, 49~59 (2000)
- 19) 荒 勝俊: 大豆及び大豆加工食品の呈味性改善技術 (3)-酵素法による呈味性改善の可能性を探る-, *New Food Industry*, **43**, 1~10 (2001)

- 20) 添田孝彦・石井智穂・山崎勝利・村瀬和良：豆腐物性に及ぼすトランスグルタミナーゼの影響，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. : Determination of Total Dietary Fiber in Foods, Food products, and Total Diets : Interlaboratory Study, *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：豆腐の食味に及ぼす大豆リボキシゲナーゼの影響，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：高11 Sサイズの豆腐加工，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」，p.17 (1995)
- 26) KUDOU, S., UCHIDA, T., FLEURY, Y., WELTI, D., MAGNOLATO, D., KITAMURA, K. and OKUBO, K. : Malonyl Isoflavone Glycosides in Soybean Seeds, *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，p.555 (1983)
- 28) 東京都立食品技術センター：豆腐づくりの本，p.29 (1997)
- 29) 浅野三夫・大久保一良・五十嵐正倫・山内文夫：豆腐の品質に及ぼす脱皮・脱胚軸および生しぼりの影響，日食工誌，**34**，298~304 (1987)
- 30) 島田尚典・高田吉丈・境 哲文・島田信二：東北農業研究センターにおけるダイズ育種の最近の成果と今後の展望，育種学研究，**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」，pp.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)，p.90 (1999)
(平成14年9月3日受付，平成15年3月10日受理)