

第2章 豆 類 の 品 質

1. 豆類に求められる品質

農産物に求められる品質は、それを利用する立場によって異なる場合が多い。豆類についても、一次ユーザーである流通業者や製菓業者では、外観、異物混入の有無、貯蔵性、製品の歩留まり等が問題とされる。消費者に直接製品を販売する二次ユーザーの製菓業者や煮豆加工業者では、製造時の取り扱いの難易、製品の外観・食味や日持ち性といった商品適性が重視される。さらに、三次ユーザー（エンドユーザー）である消費者からは、外観、食味、栄養成分や機能性成分に関心が寄せられ、個々人の好みに基づいた美味しさが求められる。

このように、豆類を初めとした加工原料に用いられる農産物では、利用者それぞれの立場によって求められる品質の条件は異なっており、それらの諸条件をより多く満たすものが、加工適性に優れた農産物と言える。

大豆を例として、良い物と悪い物を図に示した（図1-1）。外見的に判別できるような品種の混合や、異物の混入は当然、悪い物の代表例であり、さらによく見るとわかるような各種の障害を受けた粒の混入も問題である。食品加工時におこる問題点も、原料豆類の品質とされ、良否が判断される。これらは、道産豆類全体の評価に反映するものであり、個々の生産者の高品質な豆の生産努力が望まれる。また、使う立場（ユーザーの立場）にたった『商品生産』に

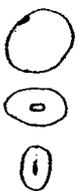
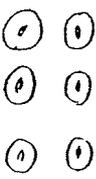
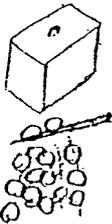
良いもの		悪いもの
 <ul style="list-style-type: none"> ・粒大が揃っている ・粒が豊満である ・品種が同一である 	袋を開けた時	 <ul style="list-style-type: none"> ・粒大が不揃いである ・中粒種の中に大粒種が混じっている ・2～3品種が混じっている
 <ul style="list-style-type: none"> ・大豆以外の豆が混じっていない 	再選別を行った時	 <ul style="list-style-type: none"> ・大豆以外の豆が混入している ・莢・茎・石などの異物が混入している ・死豆がある
 <ul style="list-style-type: none"> ・十分に成熟し、しわ粒・汚損粒が混入していない 	よくよく見ると	 <ul style="list-style-type: none"> ・しわ粒が混入している ・汚れ粒が混入している ・褐色斑点粒・皮切れ粒が入っている
 <ul style="list-style-type: none"> ・豆腐・納豆などの食品に加工した場合均一にかつ食品歩どまりが高い 	食品に加工した時	 <ul style="list-style-type: none"> ・食品歩どまりが低い ・納豆の大きさが異なったり、納豆になりづらい粒がある

図1-1 高品質の大豆とは？

心がけることが、一番に求められる。

現在、豆類の品質に関して、生産・流通段階においては、農産物検査法に基づいた農産物規格規程により、整粒歩合、外観（被害粒、未熟粒、異種殻粒や異物）および水分を調査して品位（等級）を定めており、これが唯一の公的な品質評価である。加工段階においては、用途に応じて求められる品質特性が異なるため、一概に良質な品質について言及できないが、一般に粒大、種皮色などの外観や煮熟性または嗜好性が評価基準として重視される。一方、品質は品種や生産地、栽培年次、栽培法の影響を受けるので、実際には品種や生産地を考慮しつつ、用途に適したものが選択される。

2. 豆類の加工適性

豆類の品質や加工適性の評価は、その用途によっても異なり、また、これまでに示したように、加工業者によっても様々な意見がある。しかし、これらの品質特性を客観的数値で示すための共通の物差しが必要である。そこで、小豆・菜豆及び大豆について、主に道総研中央農業試験場・十勝農業試験場で行われた試験・研究成果を中心に紹介する。

(1) 豆類の栄養成分

豆類は用途が多様であり、肉眼的に判定できる外観形質以外の品質特性は正確に数量化されていない部分が多い。しかし、栄養性に関与する成分についてはデータの蓄積も多く、種によって組成の異なることが明らかになっている（表2-1）。すなわち、大豆ではタンパク質含量が33%程度（タンパク質換算係数5.71で算出）と多く、次いで炭水化物（30%程度）、脂質（20%前後）の順となっている。小豆やインゲンマメ（菜豆）では炭水化物含量が最も多く50%以上を占め、大豆と異なりその大部分はデンプン質である。タンパク質含量は20%前後であるが、脂質は2%程度で油糧用大豆の1割ほどしか含まれていない。なお、国産大豆は米国産や中国産などの輸入大豆に比べてタンパク質含量が多く、脂質含量は少ない傾向にある。また、国産大豆は灰分が多めで、その中でもカルシウムやリン、鉄などのミネラルが多く含まれている。

表2-1 豆類の成分組成（八訂日本食品標準成分表より抜粋）

食 品 名	エ	水	たん	脂	炭	灰	無		機		質	食 物 織 維		
	ネ		ん	質	水		カリ	カル	マ	リ	鉄	水	不	総
	ル	分	ぱ		化	分	ウム	シ	グ	ン		溶	溶	量
	ギ		く	質	物			ウム	ネ			性	性	
	ール	分	質						シ					
	kcal	g	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	g	g	g
あずき 全粒（乾）	304	14.2	20.8	2.0	59.6	3.4	1300	70	130	350	5.5	1.0	14.2	15.3
いんげんまめ 全粒（乾）	280	15.3	22.1	2.5	56.4	3.7	1400	140	150	370	5.9	3.3	16.2	19.6
だいず（全粒） 国産（乾）	372	12.4	33.8	19.7	29.5	4.7	1900	180	220	490	6.8	1.5	16.4	17.9
国産（ゆで）	163	65.4	14.8	9.8	8.4	1.6	530	79	100	190	2.2	0.9	5.8	6.6
米国産（乾）	402	11.7	33.0	21.7	28.8	4.8	1800	230	230	480	8.6	0.9	15.0	15.9
中国産（乾）	391	12.5	32.8	19.5	30.8	4.4	1800	170	220	460	8.9	0.9	14.7	15.6

（可食部100gあたり）

(2) 小豆

全道各地から集めた小豆の百粒重、煮熟増加比、種皮色、タンパク質含有率を調査した結果を表2-2に示した。

加工とこれらの項目の関係については、次のようなことが明らかになった。

①アン粒子の大きさは、食味として舌ざわり（食感）に関係する。このアン粒径は小豆の百粒重と相関があり、百粒重の

重い小豆では、アン粒径が大きい傾向にある。②煮熟増加比（一定時間、煮熟した時の小豆重量の増加比）は、小豆の煮え易さの指標になると考えられる。煮熟増加比の大きい小豆は、煮え易い小豆であり、加工時間が短くとも煮える。逆に煮熟増加比の小さい小豆は、煮熟時間を長くとらなければ、アンの収率が低くなる。③小豆種皮色（L*値:明度、a*値:赤味度）は、アン色と相関があり、原粒の色はアン色に反映している（なお、b*値:黄味度は、原粒色とアン色に関連性はみられない）。

種皮色の違いを平面上（二次元）で表示できるようにした種皮色区分図により、十勝産小豆と中国産小豆が判別できる（図2-1、図2-2）。年次または栽培地の違いによる変動は、明度（縦軸）の方向で大きく、彩度方向では比較的小さく動くことが明らかになった。

表2-2 道産小豆の品質

調査項目	最小～最大	平均値
百粒重(乾g)	7.0～26.6	13.1
煮熟増加比	1.61～2.70	2.38
種皮色 L*値	22.3～34.1	27.7
a*値	16.0～28.3	23.7
b*値	7.6～17.2	12.7
C*値	17.9～32.8	26.7
タンパク含有率(%)	17.3～28.2	24.0

(昭和62、平成元、2年産小豆543点)

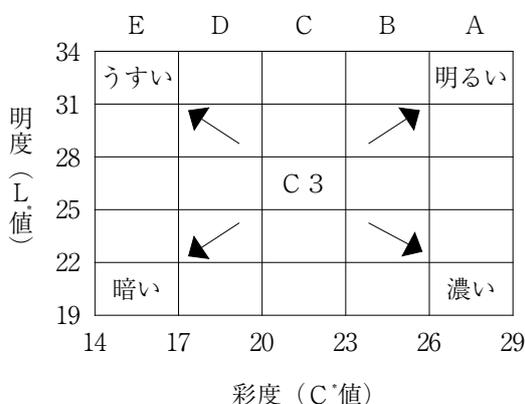
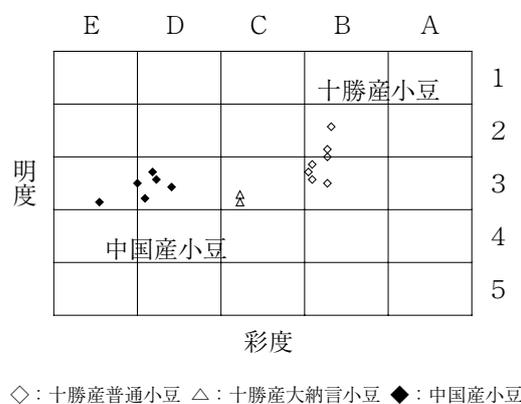


図2-1 小豆の種皮色区分



◇: 十勝産普通小豆 △: 十勝産大納言小豆 ◆: 中国産小豆

図2-2 種皮色の産地間差異(平成4年産小豆)

小豆を煮熟したときの香り（煮熟臭）については、道産小豆と比較して中国産小豆は劣ることが実需者から指摘されていたが、これまでその違いを客観的に示すことはできなかった。そこで新たな手法として、ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）による小豆煮熟臭の分析結果を、主成分分析法により解析したところ、道産小豆の煮熟臭と輸入小豆の煮熟臭はグループ分けされ、その違いを客観的に示すことができた（図2-3）。

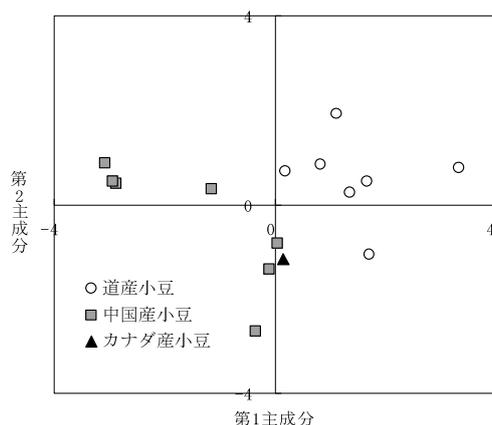


図2-3 主成分分析法による小豆煮熟臭の識別

(3) 菜豆

菜豆類のアンとしての利用を考えた成分等の実態を、表2-3に示した。手亡類、大福類、金時類のそれぞれの中では、百粒重と平均アン粒径の間に高い正の相関関係が認められる。白系種皮色を有する菜豆類では、種皮色と生アン色の間に有意な相関関係は認められない。

菜豆類の品質評価法では、煮豆のかたさの評価を子葉部（実）と種皮部（皮）について行う測定法を策定した。道総研十勝農試では、煮豆適性が優れる品種「かちどき」「秋晴れ」を開発している。また、近年は豆類子実をサラダやスープなどに利用する場面が増えている。そこで道総研中央農試は、これら新規用途に適する赤インゲンマメについて、調理後の種皮色（鮮やかさ）とかたさ（子葉部および種皮部）、皮切れ（煮くずれ）が重要な点であると考え、調理後種皮色の簡易評価法と、効率的なかたさ測定法を開発した。道総研十勝農試では、サラダやスープに適した赤インゲンマメ「きたロッソ」を開発した。

表2-3 菜豆類の品質関連形質の分布範囲、平均値および変動係数（CV%）

調査項目	雪 手 亡			改 良 早 生 大 福			大 正 金 時		
	最小～最大	平均	CV%	最小～最大	平均	CV%	最小～最大	平均	CV%
百粒重 (gDM)	23.2～32.2	27.3	7.7	43.0～61.1	55.1	8.9	51.6～76.3	61.8	10.0
水分 (%)	10.5～17.9	14.3	8.5	8.4～25.0	16.0	24.6	10.0～15.8	13.2	15.0
種皮率 (%)	6.9～8.0	7.4	3.5	7.4～8.6	7.9	4.5	5.9～7.1	6.6	4.2
原粒タンパク (%)	19.7～25.5	22.2	7.0	16.8～24.4	21.3	9.9	19.9～25.3	23.5	7.2
子葉タンパク (%)	20.4～27.6	23.1	7.4	18.1～25.5	22.1	8.4	20.4～26.4	24.2	7.6
種皮タンパク (%)	3.3～4.1	3.6	6.1	3.5～5.0	4.0	9.4	4.4～5.4	4.9	5.2
デンプン (%)	41.8～47.6	45.0	3.6	40.3～49.0	44.2	5.6	42.9～47.6	44.8	2.7
粗脂肪 (%)	1.57～2.33	1.98	11.2	1.55～1.91	1.73	5.3	1.21～1.45	1.30	5.9
浸漬液固形分 (%)	0.65～1.21	0.93	17.0	0.59～1.64	0.92	27.9	0.69～1.10	0.79	12.9
吸水増加比	2.20～2.32	2.27	1.2	1.85～2.52	2.38	6.0	2.25～2.31	2.29	0.8
最高粘度 (B.U.)	460～690	565	11.5	250～1180	632	36.0	520～1000	763	19.4
煮熟増加比	2.59～2.85	2.75	1.8	1.92～2.76	2.60	8.1	2.42～2.53	2.47	1.2
あん収率 (%)	52.9～64.3	61.6	3.2	19.4～66.1	58.1	20.1	61.3～64.6	63.5	1.6
あん粒径 (μm)	103.3～118.0	109.0	3.2	96.5～105.0	102.1	2.3	106.0～111.5	108.4	1.3
サンプル数	31			17			16		

平成5年産

(4) 大豆

大豆の成分組成や加工適性は、品種（遺伝的要因）による影響が大きいですが、栽培条件（環境要因）の関与が大きい成分もある。炭水化物および灰分含量は品種の他に栽培地の影響を受け、マンガン含量は還元状態にある転換畑で多く、カルシウム含量は高温で増加するとの報告もある。脂質や脂肪酸含量は、登熟期間中の気温の影響を受ける。すなわち、温暖な条件では脂質およびオレイン酸含量は多くなり、リノレン酸含量は少なくなる。タンパク質や脂質含量は播種期の影響も受け、カロテノイド含量は播種期の遅延に伴い増加する。一般に、施肥量、栽植密度、中耕培土、追肥、深耕などの栽培法が、成分組成に及ぼす影響は小さいものと考えられている。

豆腐、味噌、納豆、煮豆用の原料大豆の品質と製品品質との関係は、基礎試験項目の数値から推測できると言われている（表2-4）。用途別にみると、大粒種は煮豆や菓子に、中粒

表2-4 大豆の品質・加工適性の基礎試験項目と製品の品質との関係（平 春枝）

基 礎 試 験 項 目	製 品 の 品 質 と の 関 係
原料大豆の性状（加工全般）	
粒 状 正常粒	煮豆・納豆の外観的品質
障害粒（裂皮・割れ・汚損・硬実）	浸漬中での原料の損失、蒸煮中の障害
粒重（百粒重）	煮豆・納豆の外観的品質、豆腐の収量
成分組成 水分	製品の収量、原料の大豆の貯蔵性
タンパク質	豆腐の収量・物性・うまみ 味噌のうまみ・色調 納豆・煮豆の物性・うまみ・色調
脂質	
糖質	
付着菌数（一般・耐熱）	豆腐・煮豆の保存性
浸漬大豆重量増加比（吸水率）	製品の収量と物性
発芽率	原料大豆の新古と乾燥条件の判定
浸漬液中溶出固形物量	障害物の程度、原料の損失
豆乳の性状（豆腐関係）	
固形物抽出率	豆腐の収量
pH	原料大豆の新古判定
色調（Y（%）・x・y）	豆腐の色調
生菌数	豆腐の保存性
蒸煮大豆の性状（味噌・納豆・煮豆関係）	
重量増加比	製品の収量、納豆・煮豆のかたさ、納豆のアンモニア生成の抑制、味噌のざらつき
水分	
かたさ	
健全粒	蒸煮障害、納豆・煮豆の外観的品質
皮うき・くずれ	納豆菌による分解の障害
色調（Y（%）・x・y）	製品の色調

種は味噌や豆腐に、小粒種は納豆に用いられる。

味噌、納豆、煮豆用などでは、加工適性に関連する形質が原料により大きく異なる。製品の品質には蒸煮大豆のかたさが強く影響し、種皮や臍（目）の色の濃いものは嫌われる。また、道産大豆は粒大が大きく、糖含量が多いため煮豆用として好まれている。淡色系の味噌の原料としては、明るい色調が好まれる。これらの形質は、栽培条件よりも品種の影響が大きいため、適切な品種の選択が重要となる。

豆腐は大豆から成分を抽出して作るため、原料の外観品質はあまり重視されず、高収率のものが望まれる。豆腐の収量は、豆乳中固形物抽出率と関係が深く、タンパク質含量の多い大豆で固形物抽出率が高い傾向にある。また、豆腐の種類によっても、製造方法や出来上がりの成分組成は異なり、木綿豆腐ではタンパク質やカルシウム、リンなどの含量が多い。道産大豆ではタンパク質含量が府県産大豆に比べて少ないために、豆腐としての収率も低く、豆腐の物性としては柔らかいものとなる。しかし、糖含量が多いため、甘く食味の良い豆腐ができる。

道内品種を用いた豆腐の硬さ（豆腐破断応力）を比較すると、主要品種の中では「トヨムスメ」が硬く、「とよみづき」はやや硬い～中程度、「ユキホマレ」が柔らかい傾向にある（図2-4）。なお、豆腐の硬さには年次や栽培地による変動はみられるものの、同一栽培地・同一年次における品種間の傾向は変わらない。

十勝農試産の品種および育成系統を用いて豆腐の硬さ（豆腐破断応力）を比較したところ、広範囲の分布が確認された（図2-5）。大部分の道産品種・系統は「トヨムスメ」から「トヨホマレ」並の硬さであり、豆腐加工適性に優れる福岡産「フクユタカ」や新潟産「エンレイ」に比べると明らかに低い値であった。しかし、道産品種の中では「カリユタカ」の硬さが比較的高く、また、一部の高タンパク系統においては府県産品種に匹敵するものも認められる。

原料大豆の主要な成分含有率と豆腐の硬さ（豆腐破断応力）の関係については、タンパク質とは正の、全糖とは負の有意な相関関係が認められる（表2-5）。特に、タンパク質含有率が50%を超える場合には豆腐は硬くなり、35%前後だと柔らかくなるが、大部分の大

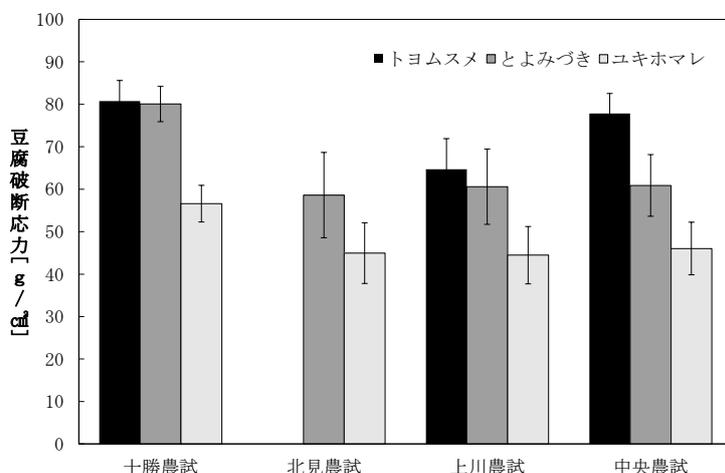


図2-4 豆腐硬さの品種・栽培地間差異
(2015～2017年産大豆の平均値)

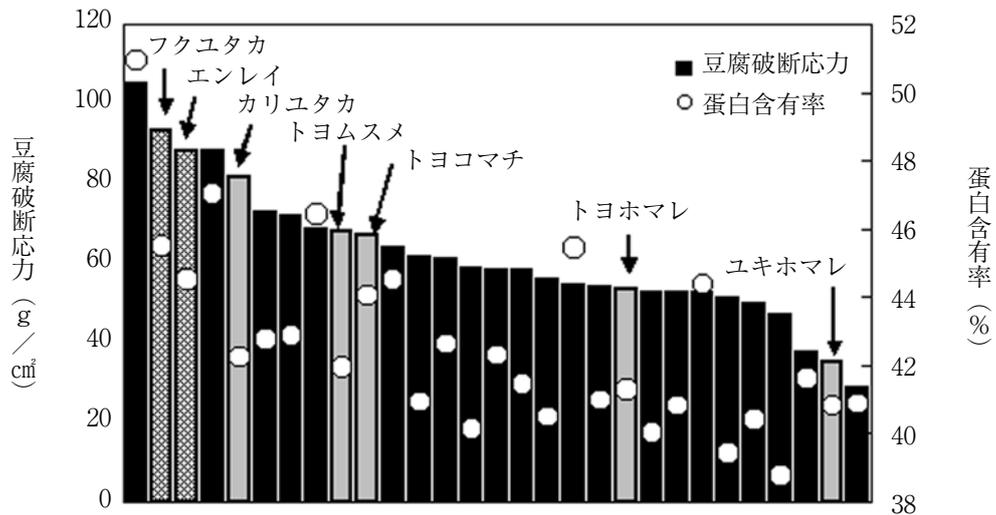


図2-5 品種・育成系統における豆腐の硬さ
(2003年十勝農試年産、フクユタカは福岡県産、エンレイは新潟県産)

豆が集中している中程度（40～45％）のタンパク質含有率では豆腐の硬さ（豆腐破断応力）は大きく変動し、一定の傾向を示さない（図2-6）。従って、豆腐の硬さにはタンパク質含有率や全糖含有率との関連が認められるが、一般的な原料大豆においては、特定の成分のみで豆腐の硬さを推定することは難しいものと考えられる。

表2-5 原料大豆成分と豆腐硬さの相関関係

	蛋白	脂質	全糖
蛋白	-		
脂質	-0.51 **	-	
全糖	-0.40 **	-0.23 **	-
豆腐破断応力	0.56 **	-0.03	-0.48 **

2001～2003年産 n = 467、** : P < 0.01

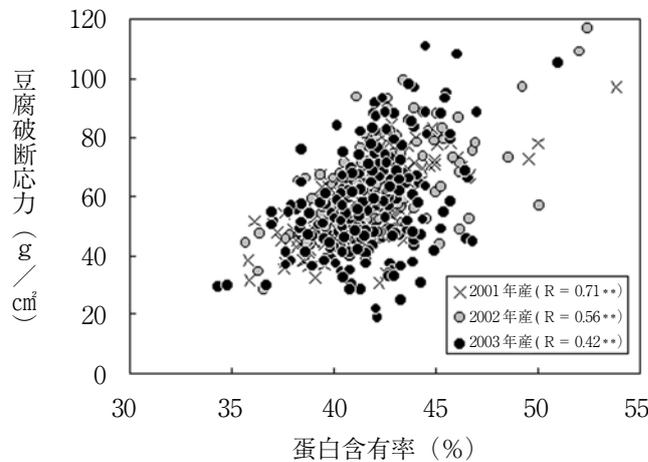


図2-6 原料大豆のタンパク質含有率と豆腐硬さの関係

そこで、道総研中央農試では豆腐加工適性に優れた品種育成を主な目的に、少量サンプル（大豆 40g）から豆腐を調製し、その硬さ（圧縮時の破断応力）を評価する方法を開発した（図 2-7）。この評価法は、豆腐加工メーカーでも一般に採用している「加熱絞り法」を用いているため、より適合性の高い結果が得られ、同時に豆乳粘度も測定できるメリットがある。



40g の大豆サンプルとそれから作成される 6 個の豆腐サンプル



ブレンダーと小型遠心分離器



具を加熱するための容器とスチーム機能付き電子レンジ
具：大豆を水で浸漬後に破碎したもの



回転式粘度計による豆乳粘度の測定



テクスチャーアナライザーによる豆腐の硬さ（破断応力）の測定

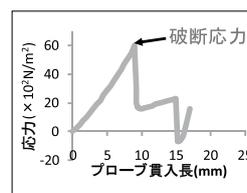


図 2-7 加熱絞り法による豆腐および豆乳の調製とそれらの評価法（中央農試、2009）

道産大豆は府県産品種の「フクユタカ」等に比べて凝固しづらく、豆腐が作りにくいという問題があるが、一方で甘味とコクがゆたかで食味が良い。道総研中央農試では、甘味を左右する大豆のショ糖含量と豆腐の硬さが豆腐の食味に与える影響を検討した。その結果、豆腐の硬さが等しい場合、ショ糖含量で1.2～2.4ポイント（原粒乾物あたり）の差があれば、「甘味」の差を感知できることがわかった（図2-8）。さらに、豆腐が軟らかい「ユキホマレ」ではショ糖含量のわずかな差も識別しやすいことが明らかとなった。道総研では、これらの特性に留意しつつ、豆腐加工適性と食味の両方を併せ持つ品種「とよまどか」を開発した。

なお、平成24年には近赤外線分光法により豆腐の硬さを簡易に評価する手法が開発された。この方法は大豆80gを用いて、非破壊で1日120点を評価することができ、初中期世代の豆腐加工適性による育種選抜に活用できる。

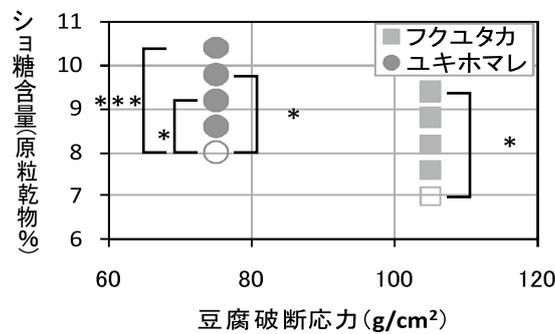


図2-8 ショ糖を添加した豆腐の甘味識別試験

注) 所定量のショ糖を添加した豆乳で充填豆腐を作成し、ショ糖無添加の豆腐（○、□）との間で、2点識別法により甘味の強い方を選ばせた。パネルは中央農試職員20～50代男女16名。

***：有意水準0.1%で識別可能、*：同5%で識別可能。

3. 貯蔵によって変化する品質

一般に、豊作年では品質の良好な豆類が収穫されるため、高品質な豆類を安定的に供給可能な貯蔵技術の確立が望まれている。そこで、収穫後2年間の長期間にわたり、豆類の加工特性の変化について、道総研中央農試で調査した結果を示す。

(1) 小豆

小豆（エリモショウズ）の貯蔵過程におけるアン収率の変化（図3-1）についてみると、常温倉庫では低下がみられるが、低温倉庫（15℃以下）での変化は小さく、さらに5℃恒温庫ではほとんど変化が認められない。また、1999年のような高温年においては、常温倉庫における煮熟特性の低下が著しい。

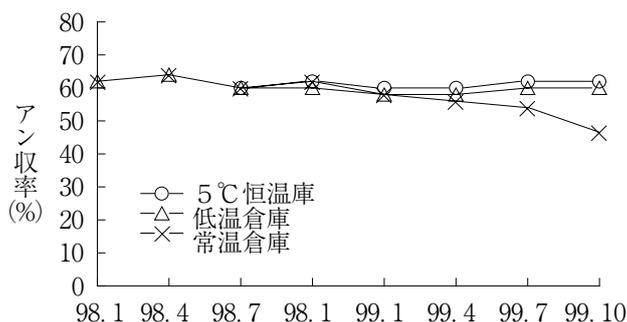


図3-1 貯蔵過程における小豆のアン収率の変化（1997年産小豆）

種皮色については、常温倉庫では明度（L*値）および黄味度（b*値）に大きな低下がみられるが、低温倉庫や5℃恒温庫での変化は小さい。また、赤味度（a*値）については、貯蔵温度が低いほど高い傾向にあるが、変化の程度は小さい。すなわち、5℃恒温庫では種皮色に大きな変化はみられず、貯蔵温度が高いほど低下の程度は大きくなる傾向にある。

このように小豆の加工特性に関しては、5℃で貯蔵すると収穫後2年間にわたり、煮熟特性や種皮色などの品質低下はほとんど認められず、15℃以下の低温貯蔵でも変化は小さく、製アン加工後の評価も良好である。

(2) 手亡

白アンとして利用される手亡（雪手亡）のアン収率の変化（図3-2）についてみると、常温倉庫では徐々に低下がみられ、貯蔵開始2年目の春以降に大きく低下していく。また、低温倉庫（15℃以下）ではやや低下が認められるが、5℃恒温庫ではほとんど変化しない。

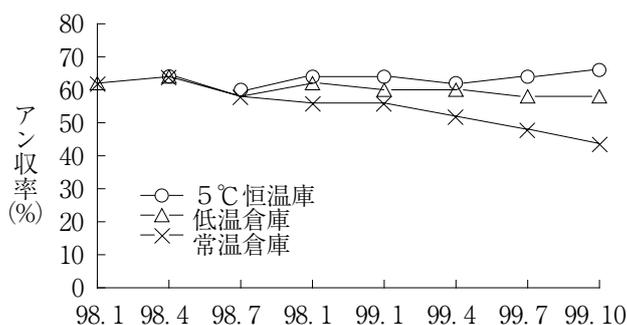


図3-2 貯蔵過程における手亡のアン収率の変化（1997年産手亡）

種皮色については、明度には明確な傾向が認められず、赤味度にはいずれの貯蔵温度でも変化は見られない。しかし、黄味度には常温倉庫で大きな上昇が見られ、低温倉庫でもわずかな上昇が認められる。

このように手亡では、5℃で貯蔵すると、収穫後2年間にわたり、煮熟特性や種皮色などの品質低下はほとんど認められず、製アン加工後の評価も良好である。15℃以下の低温貯蔵では、収穫後1年を経過すると、アン収率がやや低下し、種皮色の黄味度がやや上昇する傾向にあったが、常温貯蔵に比べると品質の低下は小さく、製アン加工した後の評価も5℃で貯蔵した場合と大きな差は認められない。

(3) 金時

煮豆として利用される金時（大正金時）の煮熟粒の硬度（図3-3）については、子葉部（実）ではどの貯蔵条件でも徐々に上昇がみられ、貯蔵温度が高いほど上昇の程度が大きい。種皮部（皮）についても同様に、全ての貯蔵条件で徐々に上昇がみられ、貯蔵温度が高いほど上昇の程度が大きくなる傾向にある。

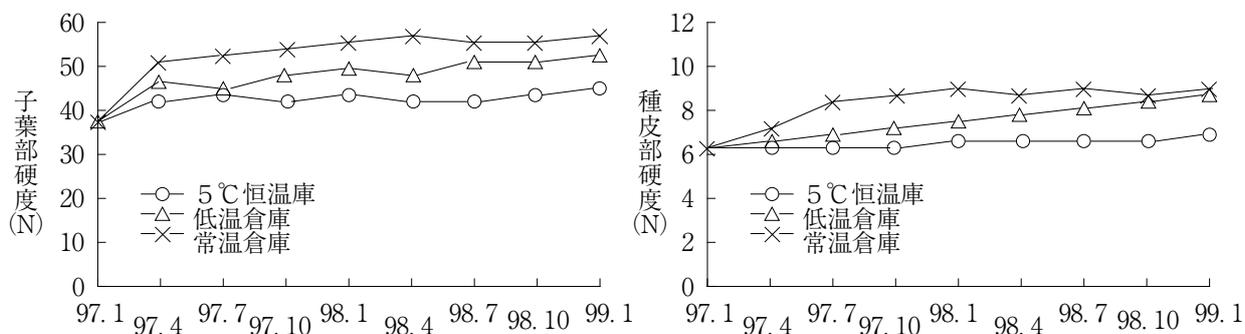


図3-3 貯蔵過程における金時の煮熟硬度の変化
(1996年産金時)

種皮色については、明度は貯蔵に伴い徐々に低下する傾向にあるが、5℃恒温庫では他の貯蔵温度よりも低下の程度は小さい。赤味度および黄味度には、いずれの貯蔵温度でも大きな差は認められない。

このように金時では、5℃で貯蔵することにより、収穫後2年間にわたり、煮熟特性や種皮色などの品質低下は小さく、煮豆加工後の評価も良好である。また、15℃以下の低温貯蔵であっても煮熟粒硬度の上昇が認められるが、常温貯蔵に比べるとその程度は小さく、煮豆加工した後の評価も5℃で貯蔵した場合と大きな差は認められない。

(4) 高品質貯蔵条件

一方、包装形態による影響としては、小豆、手亡、金時のいずれについても、真空包装または密封包装することにより、水分の変動を抑えることができる。また、真空包装により、小豆および金時では種皮色の明度の低下をやや抑制する効果が認められる。

表3-1 豆類の貯蔵条件と高加工適性維持期間
(収穫後年数)

	5℃	低温倉庫	常温倉庫
小豆	2年間	1年半	1年間
手亡	2年間	1年間	半年間
金時	2年程度	1年程度	半年程度

通常の流通形態である紙袋包装を対象とし

包装形態は紙袋、低温倉庫は15℃以下、常温倉庫は道内

て、小豆、手亡および金時の高加工適性を維持し得る貯蔵条件についての総括表（表3-1）を示す。

4. 小豆の渋み成分

小豆の渋の原因物質はタンニンであり、栽培年次や栽培地によって渋の強さは異なると言われている。そこで、小豆のタンニン含量に及ぼす品種、栽培条件、貯蔵条件の影響や、タンニン濃度と渋味の関係について、道総研中央農試で調査した結果を示す。

小豆のタンニン含量は、普通小豆に比べて大納言小豆では少なく、中国産小豆では同程度が多い傾向にある（図4-1）。施肥量や追肥時期によるタンニン含量への影響は小さいが、同一品種では小豆の百粒重（粒大）によってタンニン含量は大きく異なり、百粒重が小さいものほどタンニン含量は多い。

小豆の登熟期間の気象条件としては、8月中旬～9月中旬までの日照時間とタンニン含量の

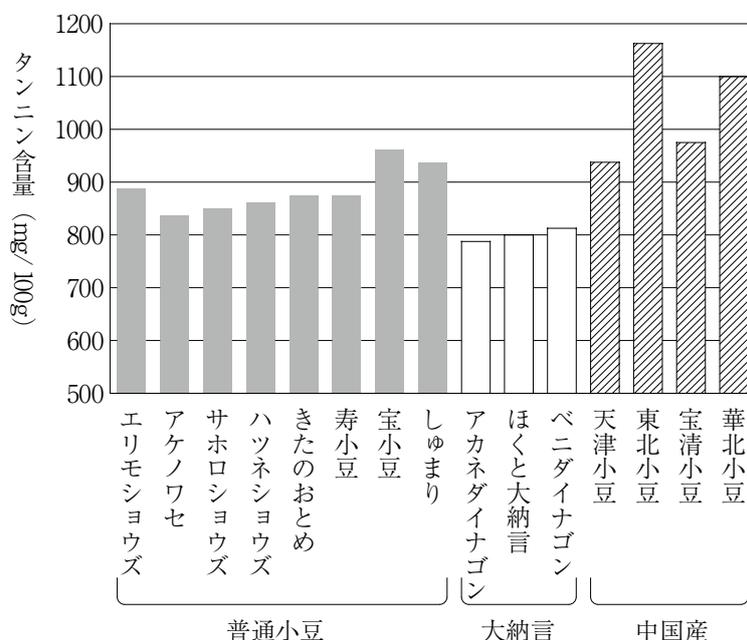


図4-1 タンニン含量の品種間差異
(1999年十勝農試・中国産アズキ)

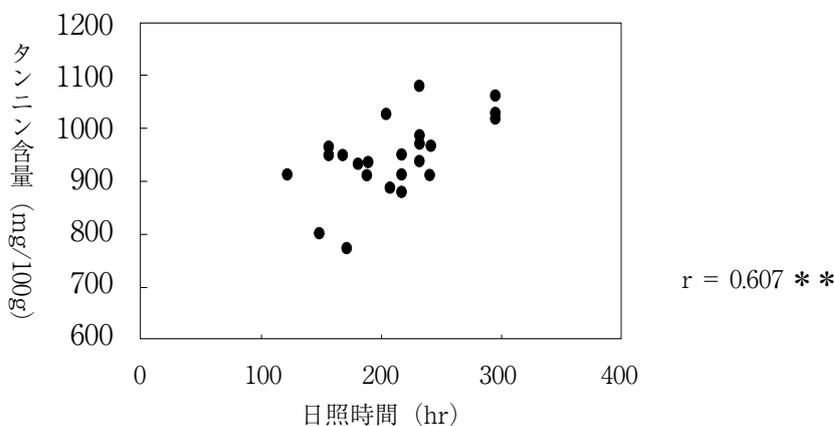


図4-2 日照時間とタンニン含量の関係

(8月中旬～9月中旬までの日照時間 1997～2000年産エリモシヨウズ、n=23)

間には有意な正の相関関係が認められる（図4-2）。また、栽培年次や栽培地によっても差が認められる。

貯蔵条件としては、常温貯蔵よりも5℃貯蔵で煮熟過程におけるタンニンの溶出速度が速く、貯蔵温度が低いほどタンニンは溶出しやすい。

煮汁中のタンニン濃度が30mg/100ml以下ではほとんどの人が渋味を感じないが、50mg/100ml以上では渋味を感じ、85mg/100ml以上では強い渋味を感じる（図4-3）。

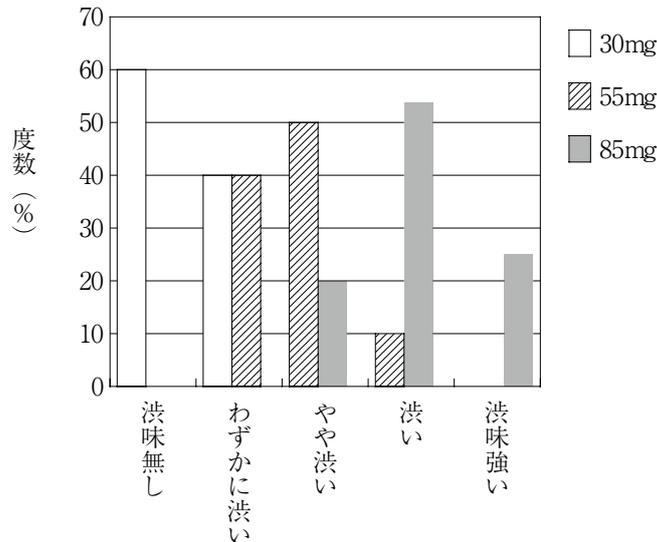


図4-3 タンニン濃度と渋味の関係
(n=20、タンニン濃度は煮汁100ml 辺り)

このように、小豆のタンニン含量は、北海道産に比べ中国産では多い傾向にある。登熟期間の日照時間が長く、百粒重が小さくなる気象条件ではタンニン含量が増える傾向にある。また、貯蔵条件との関係では、貯蔵温度が低いほど煮熟過程でタンニンが溶出しやすい。

5. 豆類の機能性成分

近年、消費者の健康志向を初めとするニーズの多様化により、食品には栄養性や嗜好性のみならず機能性が求められてきており、生活習慣病予防や老化防止、または抗がん作用などの効果のある機能性成分が注目を浴びている。

(1) 豆類に豊富な食物繊維

食物繊維とは、「人の消化酵素で分解されない食物中の難消化成分の総体」と定義されており、水溶性食物繊維（SDF）と不溶性食物繊維（IDF）に大別され、両者を合わせて総食物繊維（TDF）と呼んでいる。

水溶性食物繊維は、血糖値の急激な上昇やインスリンの急速な消費を防ぎ、糖尿病の予防につながる。また、血中コレステロールの減少や上昇抑制作用があり、動脈硬化を予防する。豆類に多い不溶性食物繊維は、腸のぜん動運動を活発にし便秘を予防し、大腸がんの発生を抑制する効果もある。

豆類は海草類に次いで食物繊維の多い食品で、乾燥豆100g中に、小豆では15.3g、インゲ

ンマメ（菜豆）では19.6g、大豆では17.9g含まれており、ごぼう（ゆで）の6.1gよりもはるかに多い。また、これら小豆やインゲンマメのゆでたものには、100g中に12～14gの食物繊維が含まれている（図5-1）。

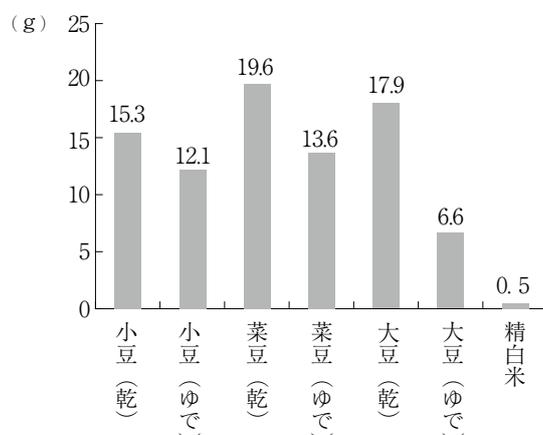


図5-1 豆類の食物繊維含有量（可食部100g当たり）
「八訂日本食品標準成分表」より

食物繊維の目標摂取量は1日18g以上（18～64歳男性、日本人の食事摂取基準（2020年版）より）、21g以上（同女性）とされているが、日本人の食生活の変化とともに摂取量は少なくなってきたおり、国民健康・栄養調査（令和5年）によれば現在では1日最大3.2g不足している。生活習慣病予防の観点からも、豆類を初めとした食物繊維が豊富に含まれる食品の摂取量の増加が望まれる。

(2) 小豆の抗酸化活性

小豆に含まれるポリフェノール類としては、渋味成分として知られるタンニン（プロシアニジン）とその構成成分であるカテキン類などが知られている。豆類の種類によって、ポリフェノールの種類や含有量に違いがあると言われており、抗酸化活性についても様々な変動要因が考えられる。そこで、小豆の抗酸化活性に及ぼす品種や栽培環境の影響について道総研中央農試で検討した結果を示す。

豆類の抗酸化活性について、小豆（普通小豆・大納言）、大豆（黄大豆・黒大豆）、インゲンマメ（金時類・手亡類・大福類）、およびベニバナインゲン（花豆類）で比較した結果、小豆の抗酸化活性が最も高く、特に大納言よりも普通小豆で高かった（図5-2）。また、黄大豆よりも黒大豆の方がやや高い傾向にあったが、いずれも小豆に比べると著しく低い値であった。インゲンマメやベニバナインゲンの中では、赤系種皮色の金時類で高く、大納言小豆と同程度の活性が認められたが、白系種皮色の豆類では非常に低い値であった。

十勝農試および中国産の小豆を用いて、抗酸化活性の品種間比較を行ったところ、北海道の主要品種である「エリモショウズ」を初めとする普通小豆では高い活性が認められた（図5-3）。しかし、中国産はいずれも北海道産普通小豆よりも活性が低かった。

これら小豆の抗酸化活性とポリフェノール含量の関係について調査した結果、両者の間に

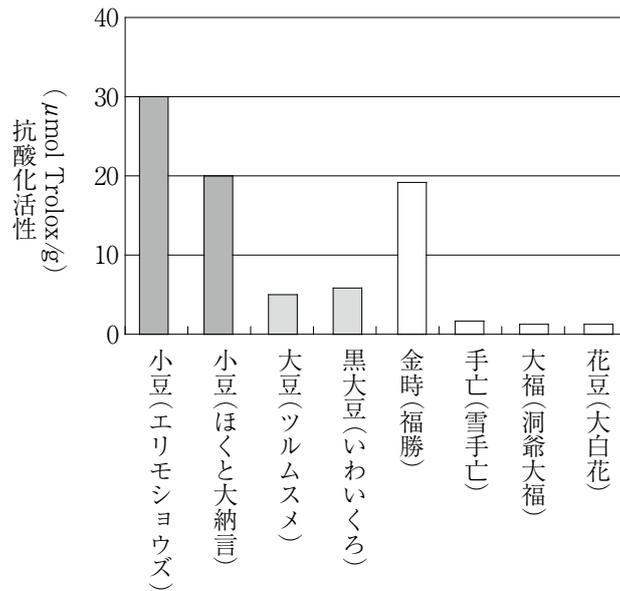


図5-2 各種豆類の抗酸化活性の比較
(2000年産豆類)

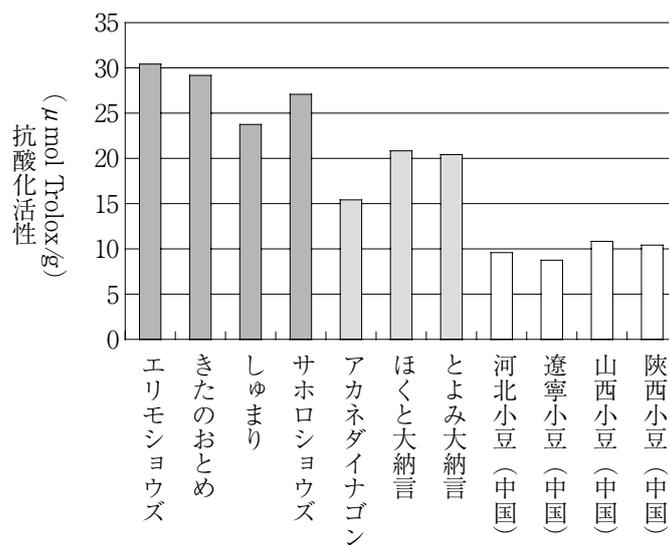


図5-3 小豆の抗酸化活性の比較
(2003年産小豆)

は非常に高い正の相関関係 ($r=0.974^{**}$) が認められた。このように、抗酸化活性の高い小豆ではポリフェノール含量も高く、ポリフェノールがラジカル（活性酸素）の消去に関与していることが明らかとなった。なお、小豆に含まれるポリフェノール類のうち、特に抗酸化活性の高い成分としては、カテキングルコシドが同定された（帯広畜産大学・中央農試、2004年）。

小豆の抗酸化活性の栽培地による差異について検討した結果、道央地域で高く、道東地域ではやや低い傾向が認められた。そこで、気象要因の影響について検討した結果、小豆の登熟期間の日照時間と抗酸化活性の間には有意な相関関係が認められ、特に8月上旬～9月上旬の日照時間との間には高い正の相関関係 ($r=0.657^{**}$) がみられた（図5-4）。

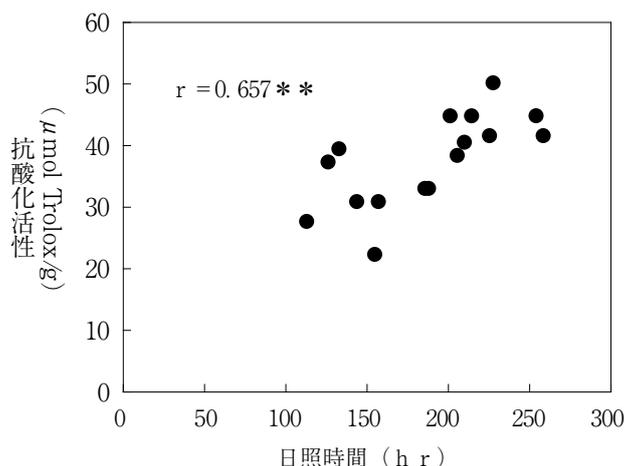


図5-4 日照時間と抗酸化活性の関係

(8月上旬～9月上旬までの日照時間、1999年～2002年産エリモショウズ、n=18)

一方、小豆の開花期間は1カ月以上に及ぶため、同一ほ場から収穫された小豆であっても、開花時期の異なる子実では種皮色などが大きく異なることが知られている。そこで次に、開花日の異なる小豆を同時に収穫し、抗酸化活性の差異について比較した。その結果、登熟期間の短い(開花日の遅い)小豆ほど、抗酸化活性およびポリフェノール含量は高い傾向にあった(図5-5)。このように、同じほ場から収穫した小豆であっても、後から開花・登熟したものほど抗酸化活性が高く、開花時期によっても小豆の抗酸化活性は異なり、また、収穫時期が遅れるほどポリフェノール含量が低下する傾向も認められている。

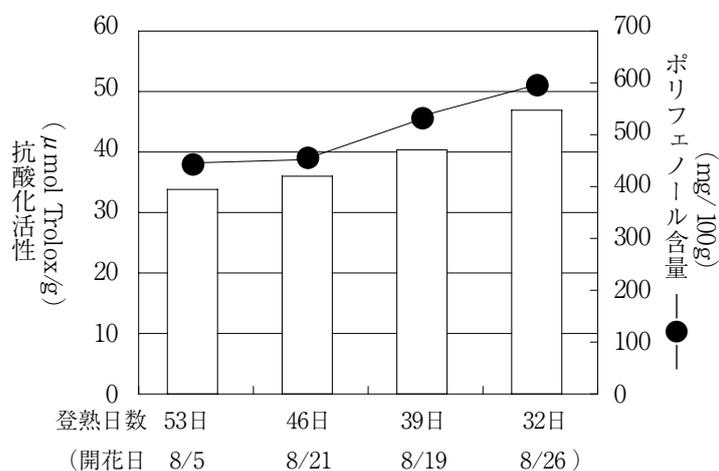


図5-5 小豆の登熟日数と抗酸化活性の関係

(2002年産エリモショウズ)

以上のように、小豆の抗酸化活性は豆類の中でも高く、特に北海道産普通小豆では大納言や中国産小豆よりも高いことが判明した。また、小豆の抗酸化活性やポリフェノール含量には品種や栽培地域によっても違いが認められ、特に日照時間や開花時期の影響を大きく受けるものと考えられる。

このように、小豆の抗酸化活性はポリフェノール含量と高い相関があり、その変動要因に

についてはここまで述べてきたとおりである。一般に、ポリフェノールの機能性としては、生活習慣病予防、老化防止、発がん抑制やがん細胞増殖阻止・がん転移阻害、抗アレルギー性などの種々の生理調節機能があると言われている。

(3) 小豆の生理調節機能

過食や運動不足によって内臓脂肪が蓄積し、高血圧、高脂血症、糖尿病など、複数の生活習慣病を合併する人が近年増加している。このような状態をメタボリックシンドローム(内臓脂肪症候群)といい、多くの症状を合併するほど、動脈硬化を促進して、脳梗塞や心筋梗塞のリスクが高まる。

メタボリックシンドロームの診断基準(2005年日本内科学会)としては、内臓脂肪の蓄積が100cm²以上が必須項目とされている。これは、ウエスト周囲径が男性で85cm以上、女性で90cm以上に相当する。その他に、高血圧、高脂血症、高血糖のうち2項目以上が該当する場合に、メタボリックシンドロームと診断される。

メタボリックシンドロームにつながる生活習慣病や、がんを引き起こしたり老化にも関与しているのが活性酸素である。ポリフェノールはこの活性酸素を除去する能力である抗酸化活性が非常に高い。ポリフェノールを主体とする小豆エタノール抽出物(ABE)が有する生理調節機能として、いくつかの効果が動物実験や人体に対する試験により明らかとなってきた(中央農試・十勝農試・帯広畜産大学・青森県立保健大学、2007年)。

健常マウスにABEを投与後、糖負荷試験を行ったところ、ABE投与群はコントロール(ABE無投与)群と比較して血糖値の上昇が抑えられた(図5-6)。また、健常ラットに高コレステロール飼料にABEを添加した飼料を与えたところ、ABEによるVLDL+IDL+LDL値(悪玉コレステロール)の上昇抑制効果が認められた(図5-7)。

遺伝的に高血圧を発症する自然発症高血圧ラット(SHR)にABEを投与したところ、収縮期血圧の上昇抑制効果および血圧降圧効果が認められた。また、健常ラットにフルクトースとともにABEを投与したところ、ABE投与群はコントロール群と比較して収縮期血圧の上昇が低く抑えられた(図5-8)。

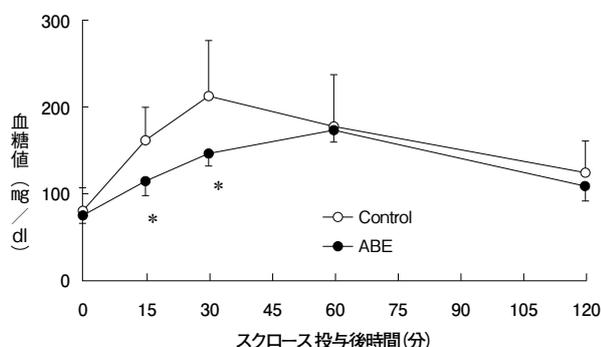


図5-6 ABEが血糖値(マウス)に及ぼす影響
 平均値±標準誤差(n=6)、* p < 0.05

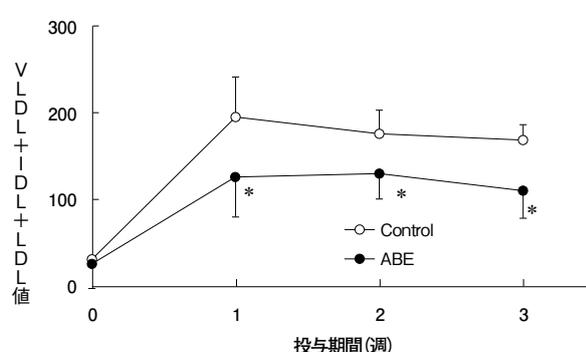


図5-7 ABEがコレステロール値(ラット)に及ぼす影響
 平均値±標準誤差(n=5)、* p < 0.05

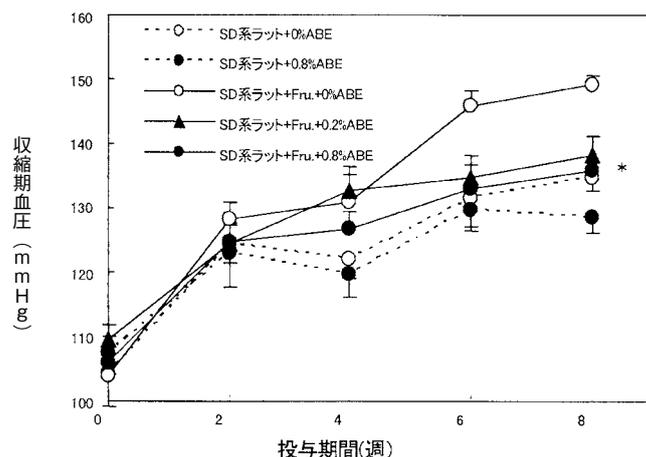


図5-8 ABEが収縮期血圧(マウス)に及ぼす影響
 平均値±標準誤差 (n=7-8)、* p < 0.05

一方、人体における小豆煮汁加工飲料の生理調節機能確認試験では、中性脂肪値が高めの人が小豆煮汁加工飲料を飲用することにより、飲用前と比較してその平均値が低下する傾向が見られたが、正常な人ではそのような傾向は見られなかった(表5-1)。また、LDL値(悪玉コレステロール)に関しては、飲用前の値にかかわらずその値が低下する人が多かった(図5-9)。

表5-1 小豆飲料摂取による中性脂肪値の変化

	飲用	飲用期間中				飲用終了
	開始前	1週	2週	3週	4週	1週間後
A	100.0	67.6	70.8	67.0	56.8	57.8
B	100.0	105.2	59.7	83.8	105.8	207.4
C	100.0	220.7	156.6	132.8	105.6	117.7
D	100.0	97.6	-	91.9	64.0	94.3
E	100.0	68.2	59.5	51.5	65.2	73.5
F	100.0	73.6	-	96.7	89.1	98.2
G	100.0	58.2	79.3	62.2	52.7	40.7
H	100.0	49.2	56.5	-	41.1	41.6
A V E	100.0	92.5	80.4	83.7	72.5*	91.1

飲用前値が150mg/dLだった被験者8名

飲用前値を100とした時の相対値を示す

* p < 0.05 v s 飲用開始前値

マウスによる試験で確認されている血糖値上昇抑制効果については、市販されている小豆煮汁加工飲料を用いてヒト介入試験を行った。その結果、食前に小豆煮汁加工飲料50cc(300mg小豆ポリフェノールを含む)を飲むことによって、食後30分以内の急激な血糖値の上昇が緩やかになる傾向が認められた(図5-10)。

以上の結果も含めて、これまでに確認した小豆が有する生理調節機能を表5-2に示す。これらの生理調節機能の機作については、不明な部分が多く残されているが、小豆に含まれるポリフェノールを主体とした抗酸化成分の関与が示唆されている。

なお、ポリフェノールは水に溶けやすい成分なので、小豆を調理したときに、その多くは

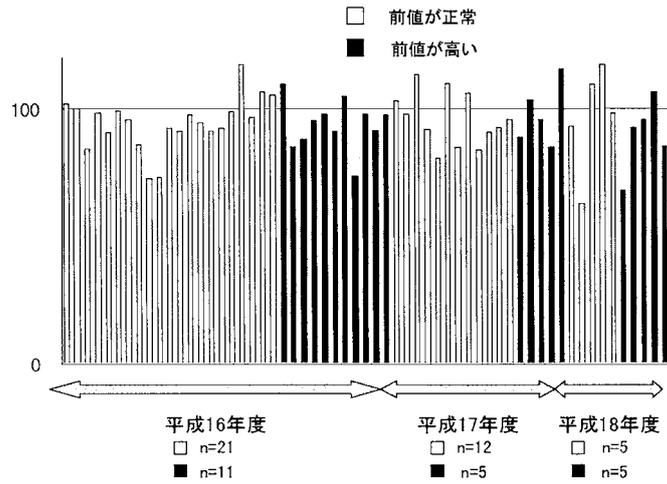


図5-9 小豆飲料摂取による LDL への影響
(飲用前値を 100 とした時の飲用最終日の相対値を示す)

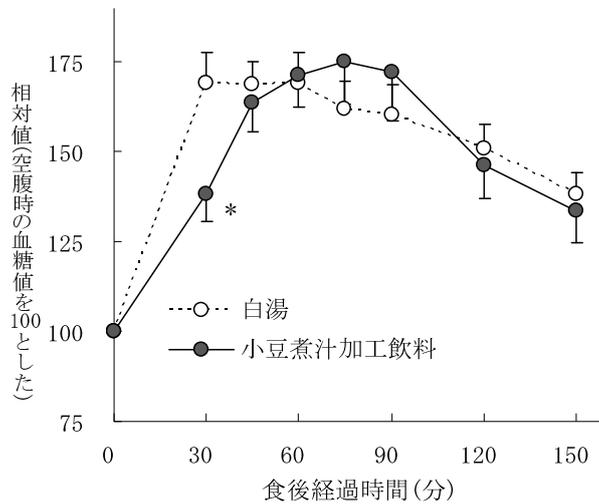


図5-10 小豆煮汁加工飲料摂取が食後血糖値に及ぼす影響
被験者：50～60歳代の女性13名 *：白湯を食前に飲んだ場合(○)との間に有意な差があることを示す

表5-2 これまでに確認された小豆の生理調節機能

試料 (主な成分)		摂 取	項 目	効 果
動物 実験	小豆エタノール 抽出物	食 前	食後血糖値	上昇抑制効果
		継 続 (1週間以上)	悪玉コレステロール	上昇抑制効果
	(ポリフェノール)	継 続 (6週間以上)	最高血圧	上昇抑制および 降圧効果
		継 続 (8週間以上)	中性脂肪	上昇抑制効果
製アン副産物、小豆種皮 (食物繊維+ポリフェノール)	継 続 (2週間以上)	最高血圧	上昇抑制効果	
ヒト 介入 試験	小豆煮汁加工飲料 (ポリフェノール)	継 続 (4週間以上)	中性脂肪 尿素窒素 悪玉コレステロール	高めな人は低下傾向 高めな人は低下傾向 低下傾向
		食 前	食後血糖値	上昇抑制傾向

煮汁へ溶け出してしまふ。このため、ポリフェノールを十分に摂取しようとするならば、煮汁も残さずに使う汁粉や赤飯などが効果的と考えられる。

小豆を始めとした豆類が今日まで、和食や和菓子に欠くことのできない食材として使われてきたのは、そのおいしさはもちろんのこと、健康を維持する上でも重要な役割を果たしてきたことがあげられよう。

(4) 小豆ポリフェノール含量の非破壊測定技術

ここまで述べてきたようにポリフェノールを主体とした小豆エタノール抽出物および小豆煮汁加工飲料には、様々な生理調節機能があることが明らかとなってきた。このような状況の下、簡易・迅速にポリフェノール含量の多い小豆を仕分け出荷する技術が開発された。十勝地方を中心とした道内の農協に導入されている近赤外分光分析装置（㈱日本ビュッヒ製 NIRLab N-200 型 図5-11）を用いることにより、ポリフェノール含量の測定が小豆粒のまま可能である（図5-12）。また、所要時間は数分と短いため、農協等で小豆を受け入れる際に測定を行い、ポリフェノール含量による仕分けが可能となる。既に一部の農協では、収穫された小豆のうちポリフェノール含量の多いものを差別化し、「高ポリフェノール小豆」としての販売を始めている。

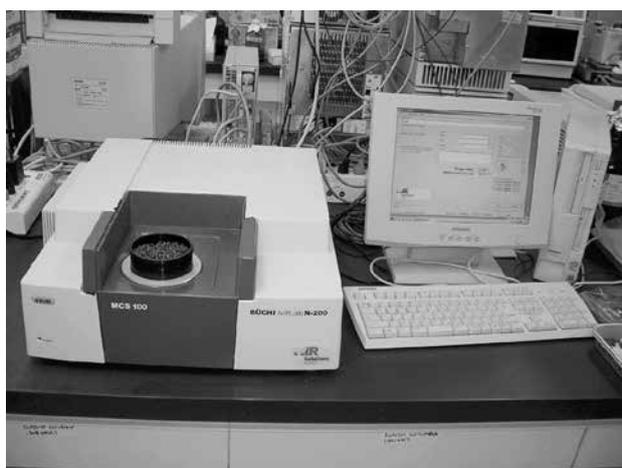


図5-11 NIRLab N-200 型（㈱日本ビュッヒ製）

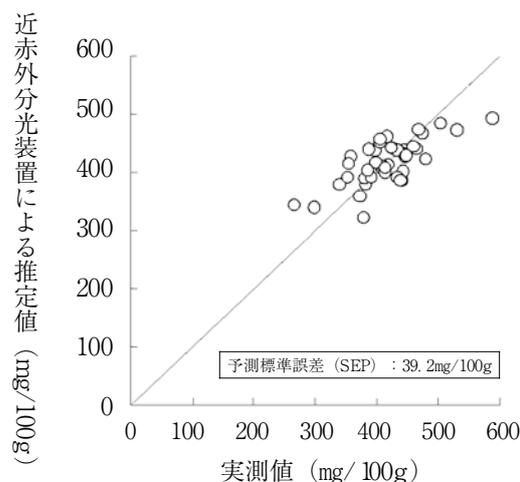


図5-12 小豆ポリフェノール含量の実測値と近赤外分光装置による推定値の関係
（道立中央農業試験場、2007年）

(5) 菜豆の機能性成分の変動

金時類や手亡類などのインゲンマメ（菜豆）は、食物繊維、ポリフェノールなど多種多様な機能性成分を含むが、加熱調理後の機能性成分についての情報は少なかった。そこで、加熱調理したインゲンマメの機能性成分について、豆の種類や貯蔵温度、調理方法などの各種要因による変動について、道総研中央農試で調査した結果を紹介する。

インゲンマメに比較的多く含まれる機能性成分として、食物繊維、レジスタントスターチ、難消化性オリゴ糖、ポリフェノールに着目した。レジスタントスターチは、人の小腸管腔内

において消化吸収されないデンプンおよびデンプンの部分分解物の総称で、一部は食物繊維に含まれている。主な生理作用は、整腸作用、血糖上昇抑制効果、脂質代謝改善効果、プレバイオティクス効果等である。難消化性オリゴ糖は、オリゴ糖のうち小腸での消化・吸収性が低く、プレバイオティクス効果などの食物繊維類似の生理作用を有するもので、インゲンマメに多いとされるラフィノース、スタキオース、ベルバスコースを測定した。なお、分析試料には加熱調理後に凍結乾燥して粉碎したインゲンマメを用いている。

結果の概要を表5-3に示す。インゲンマメの種類について見ると、加熱調理（煮熟）後の現物100g当たりの食物繊維の総量（g/100g）は、金時類12.6～14.5、手亡類12.0～13.2の範囲にあり、これは日本食品標準成分表に掲載されている食品の中でトップレベルにあった。貯蔵温度の影響について見ると、煮熟時間40分の場合、貯蔵後は貯蔵前に比べて水溶性食物繊維およびポリフェノールが減少する傾向であり、ポリフェノールは貯蔵温度が高いほど貯蔵後の減少程度が大きかった。調理加工の影響については、食物繊維のうち不溶性および総量は煮熟で多く、水溶性はレトルトで多かった。レジスタントスターチは、生あんで多く、次いでレトルトで多い傾向であった。難消化性オリゴ糖は種類別、合計のいずれもレトルト、煮熟20分、煮熟40分の順に多く、それらに比べて加糖煮豆では少なく、生あんで未検出であった。ポリフェノールは、概ねレトルト>煮熟40分≧煮熟20分≧加糖煮豆>生あんの順で多かった。

表5-3 インゲンマメの種類、貯蔵温度、調理加工方法による機能性成分の変動の概要（中央農試、2017）

機能性成分の変動要因 (カッコ内は試験条件)	各種機能性成分の変動			
	食物繊維	レジスタントスターチ	難消化性オリゴ糖	ポリフェノール
インゲンマメの種類 (H25.26年十勝農試産。金時類10事例、手亡類6事例。 調理加工は煮熟20分)	金時類：12.6～14.5 手亡類：12.0～13.2 (現物100g当たり総量g)	金時類：1.8～2.0 手亡類：1.4～1.7 (現物100g当たりg)	金時類：1014～1213 手亡類：711～1112 (現物100g当たり総量mg)	金時類：31～40 手亡類：13～16 (現物100g当たりmg)
貯蔵温度（金時類） (収穫9ヶ月後から24ヶ月後まで貯蔵。 貯蔵温度条件は5℃、15℃以下、常温。金時類4品種の平均。 調理加工は煮熟40分)	・貯蔵後は貯蔵前より水溶性が減少 ・貯蔵温度による差はなし	・貯蔵前と貯蔵後で差なし ・貯蔵温度による差はなし	・貯蔵前と貯蔵後で差なし ・貯蔵温度による差はなし	・貯蔵後は貯蔵前より減少 ・貯蔵温度が高いほど減る
調理加工方法（金時類） (H25.26年産。金時類各4品種の平均)	煮熟40分・煮熟20分>生あん・レトルト・加糖煮豆	生あん≧レトルト≧煮熟20分≧煮熟40分・加糖煮豆	レトルト>煮熟20分・煮熟40分>加糖煮豆>生あん	レトルト>煮熟40分≧煮熟20分≧加糖煮豆>生あん

【調理加工方法】

煮熟20分および40分：粒重の3倍量の水を添加し25℃で16時間浸漬後、オートクレーブ98℃で規定時間煮熟。

レトルト：ホクレンのレトルトサラダ豆の製造方法に準ずる。

加糖煮豆：煮熟20分の処理後、調味液を加えオートクレーブ80℃で3時間煮熟し、5℃で一晩浸漬。

生あん：煮熟40分の処理後、裏ごして調製。

(6) 大豆に含まれる機能性成分

大豆には、大豆ペプチド、大豆オリゴ糖、サポニン、リノール酸、 α -リノレン酸、フィチン酸、レシチン、ビタミンKなど種々の生理活性物質が含まれている（表5-4）。最近では特に、骨粗しょう症予防や更年期障害の症状軽減効果、乳ガンや子宮ガンなどの予防効果のあるイソフラボンが注目を浴びている。このイソフラボンはフラボノイドと呼ばれるポリフェノール類の一種で、女性ホルモンのエストロゲンと分子構造が似ており、体内ではエストロゲンと似たような働きをすることが知られている。

大豆のイソフラボン含量は、世界的に見ると日本やカナダ産で多い傾向にある。さらに国内で比較すると、北の地域ほど多くなる傾向にあり、北海道で高い値となっている。これは、大豆の登熟期間の気温が低い方が、イソフラボン含量は多くなるといった関係があるためである。

品種による違いも認められ、十勝産の「音更大袖」は、米国産や中国産に比べて約2倍のイソフラボン含量があるとされる（1998年十勝圏地域食品加工技術センター）。また、イソフラボンが通常の品種よりも5割多く含まれる「ゆきぴりか」（2006年十勝農試育成）が開発されている。

豆腐製造過程におけるイソフラボンは、呉汁の段階では100%あったものが、豆乳の段階では72%となり、最終製品の木綿豆腐となった段階では36%が回収されている（1999年十勝圏地域食品加工技術センター）。

イソフラボンは大豆の胚芽の部分に多く含まれており、通常は糖が結合した「配糖体」という形で存在し、一般的な表示では配当体の量として表している。一方、味噌や納豆などの発酵食品では、微生物の働きにより、糖が分離した「アグリコン」という形になっている。大豆を食べたときに、イソフラボンが体内に吸収されるには、消化の過程で「アグリコン」の形にする必要があるため、発酵食品に含まれるイソフラボンは、予め体に吸収されやすい形になっていると言える。

日本人が大豆食品から摂取するイソフラボンの量（アグリコン換算値）は、95%の国民が一日あたり70mg以下であると推算されている（2002年国民栄養調査）。最近では大豆食品からだけではなく、サプリメントから「大豆イソフラボン」を摂る例が増えてきていることから、2006年に内閣府の食品安全委員会では、日本人のこれまでの食経験や臨床研究データを基に一日あたりの摂取量の上限値を定めた。すなわち、錠剤や飲み物などのサプリメントで摂る場合は30mgまでとし、大豆食品と合わせた上限値を70～75mgとしている（いずれもアグリコン換算値）。道総研中央農試では、大豆イソフラボン含量の簡易・迅速な非破壊評価法を開発している。この技術は、加工原料の仕分けや品種開発に活用できる。

表5-4 大豆に含まれる生理活性物質

成 分	作 用
大豆タンパク質	コレステロール低下、がん予防、降圧作用、肥満防止、老化防止
大豆ペプチド	易消化吸収性、肥満防止
レクチン	生体防御
トリプシンインヒビター	抗がん作用
食物繊維	脂質代謝改善、大腸がん予防、糖尿病改善
大豆オリゴ糖	ビフィズス因子、整腸作用
フィチン酸	ミネラル吸収阻害、抗がん作用、コレステロール低下
サポニン	脂質代謝改善、抗酸化作用
イソフラボン	エストロゲン作用、がん予防、骨粗しょう症
リノール酸	必須脂肪酸、コレステロール代謝改善
α-リノレン酸	必須脂肪酸、抗アレルギー、循環器疾患予防
レシチン	脂質代謝改善、脳神経系改善、乳化剤
トコフェロール	抗酸化作用、循環器疾患予防
植物ステロール	コレステロール低下作用
ビタミンK	血液凝固
カリウム、マグネシウム	降圧作用