

## 豆類ポリフェノールの抗酸化活性ならびに $\alpha$ -アミラーゼおよび $\alpha$ -グルコシダーゼ阻害活性

齋藤優介<sup>\*,\*\*</sup>, 西 繁典<sup>\*,\*\*</sup>, 小嶋 浩<sup>\*\*,§</sup>,  
弘中和憲<sup>\*\*,§</sup>, 小嶋道之<sup>\*\*,§</sup>

<sup>\*</sup> 岩手大学大学院連合農学研究科

<sup>\*\*</sup> 帯広畜産大学畜産学部畜産科学科食料生産科学講座

Antioxidant and Inhibitory Activity on  $\alpha$ -Amylase  
and  $\alpha$ -Glucosidase in Legume Polyphenols

Yusuke Saito<sup>\*,\*\*</sup>, Shigenori Nishi<sup>\*,\*\*</sup>, Hiroshi Koaze<sup>\*\*,§</sup>,  
Kazunori Hironaka<sup>\*\*,§</sup> and Michiyuki Kojima<sup>\*\*,§</sup>

<sup>\*</sup> United Graduate School of Agricultural Sciences,  
Iwate University, 3-18-8, Ueda,  
Morioka, Iwate 020-8550

<sup>\*\*</sup> Department of Food Production Science, Obihiro  
University, 11 Nishi-2-sen, Inada-cho,  
Obihiro, Hokkaido 080-8555

Polyphenols were prepared from seven kinds of edible legumes in the family *Fabaceae* using a two-step extraction with 80% ethanol and 70% acetone. The resulting polyphenols were compared for antioxidant and inhibitory activity on  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase. Adzuki bean contained the largest amount of polyphenols, followed by kidney bean, black gram, black soybean, green gram, and soybean. Antioxidant activity was significantly correlated with the concentrations of monomer- and oligomer-type polyphenols. Polyphenols from peas and soybean were mostly of the monomer-type and had little inhibitory activity against glycosidases. The oligomer-type comprised 67-76% of polyphenols from Adzuki bean, kidney bean, and black gram. Extracts from these legumes showed antioxidant and glycosidases inhibitory activity. Polyphenols from green gram and black soybean poorly inhibited  $\alpha$ -amylase but effectively inhibited  $\alpha$ -glucosidase. Legume oligomer-type polyphenols inhibit both  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase, but monomer-type polyphenols possess mainly antioxidant activity.

(Received Jun. 1, 2007; Accepted Aug. 13, 2007)

**Keywords:** legume polyphenols,  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase, antioxidant activity

**キーワード:** 豆類ポリフェノール,  $\alpha$ -アミラーゼ,  $\alpha$ -グルコシダーゼ, 抗酸化活性

近年, 豆類・野菜類および果実類に含まれる機能性成分に注目が集まっており<sup>1)~4)</sup>, 未利用部分に含まれるポリ

フェノールや加工により生じた新たな機能性成分などについても検討されてきている。ポリフェノール類は植物全般に広く分布している成分であるが, 植物種の違いや同一種においても抽出溶媒の違いなどにより, 機能性成分の抽出含量やその組成に違いのあることが報告されている<sup>5)~7)</sup>。例えば, 豆類種子に含まれるポリフェノール類の抽出方法として, アルコールで抽出する方法<sup>5)~7)</sup>および分離した種皮から含水アセトンで抽出する方法<sup>4)</sup>などが報告されている。また, 著者らは, 全粒粉から含水アルコールで抽出する方法により得られたアズキ種子エタノール抽出物が, 試験管内実験により抗酸化活性を示すことや, 実験動物を用いた実験により血糖値上昇抑制作用および体重増加抑制作用を示すことを報告してきた<sup>8)~11)</sup>。しかし, アズキポリフェノールの多様な生理作用を示す成分については未解明であった。

近年, Takahata らは, 茶ダイズ種皮から 70% アセトンを用いてオリゴマー型ポリフェノールを効率良く抽出して, その特徴を報告した<sup>4)</sup>。そこで本研究では, 7 種の豆類種子から含水アルコールと含水アセトンを用いてポリフェノールを抽出し, さらに同一条件でモノマー型とオリゴマー型ポリフェノールを分離, 両者の抗酸化活性,  $\alpha$ -アミラーゼならびに  $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制活性について比較したので報告する。

### 1. 実験方法

#### (1) 豆類ポリフェノールの抽出と分画

本研究は 3 種類の *Vigna* 属; コクリョクトウ (black gram, *Vigna mungo* (L.) Hepper), リョクトウ (green gram, *Vigna radiata* (L.) R. Wilcz.), アズキ (Adzuki bean, *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi et H. Ohashi), 2 種類の *Glycine* 属; 黒ダイズ (black soybean, *Glycine max* (L.) Merr.), ダイズ (soybean, *Glycine max* (L.) Merr.), 他にエンドウ (pea bean, *Pisum sativum* L.) とインゲンマメ (kidney bean, *Phaseolus vulgaris* L.) の 7 種類の食用豆類を用いた。各種子粉砕物 1g に対して 2mL の 80% (v/v) エタノールを加えて, 超音波装置により, 室温で 30 分間抽出した。残渣に再び 80% エタノールを添加し, 同様の抽出操作を 3 回行い, 得られた上清を 80% (v/v) エタノール抽出液とした。続いて残渣に等量の 70% (v/v) アセトンを加えて同様に 3 回抽出した。80% (v/v) エタノール抽出液と 70% (v/v) アセトン抽出液を合わせて濃縮乾燥後, 蒸留水に溶解して粗ポリフェノール液とした。粗ポリフェノール液は蒸留水で平衡化したダイヤイオン HP20 カラム (15×40 mm, 三菱化学) に負荷し, 蒸留水による溶出で糖質やタンパク質を除去後, エタノールでポリフェノールを溶出させた。溶出したエタノールは濃縮後, エタノールで平衡化した Sephadex LH-20 カラム (15×40 mm, Amersham Biosciences) に負荷し, エタノール, メタノール, 60% (v/v) アセトン (各 50 mL) の順に溶出し

<sup>\*</sup> 〒020-8550 岩手県盛岡市上田 3 丁目 18-8

<sup>\*\*</sup> 〒080-8555 北海道帯広市稲田町西 2 線 11 番地

<sup>§</sup> 連絡先 (Corresponding author), kojima@obihiro.ac.jp

分画した<sup>5)6)11)</sup>。各溶出画分のポリフェノール量および抗酸化活性は、前報で述べた方法と同様に測定した<sup>8)~11)</sup>。

## (2) 消化酵素活性抑制率の測定

豆類ポリフェノールの $\alpha$ -アミラーゼに対する *in vitro* での活性抑制率は、以下のように測定した<sup>10)12)</sup>。625  $\mu$ L の 0.5% (w/v) デンプン-0.1 mol/L リン酸ナトリウムバッファー溶液 (pH 6.7), 50  $\mu$ L の 0.1 mol/L リン酸ナトリウムバッファー (pH 6.7), 125  $\mu$ L の 1% (w/v) 塩化ナトリウム水溶液を混合した基質溶液 0.8 mL およびポリフェノール濃度を 20-100  $\mu$ g/mL に調製したポリフェノール水溶液と 25  $\mu$ g/mL の  $\alpha$ -アミラーゼ (EC 3.2.1.1, SIGMA)-0.1 mol/L リン酸ナトリウムバッファー (pH 6.7) 溶液の等量混合液 (ポリフェノール/アミラーゼ混合液) は、それぞれ 37°C で 10 分間プレインキュベートした。200  $\mu$ L のポリフェノール/アミラーゼ混合液を基質溶液に加えて 37°C で 10 分間反応させた後、125  $\mu$ L の 2 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を加え、反応を停止した。125  $\mu$ L の 1% (w/v) ジニトロサリチル酸水溶液を加えて攪拌し、沸騰水中で 10 分間加熱後、540 nm の吸光値から還元糖量 (D-グルコース相当量) を測定し、 $\alpha$ -アミラーゼ活性抑制率を算出した。

豆類ポリフェノールの $\alpha$ -グルコシダーゼに対する *in vitro* での活性抑制率は、以下のように測定した<sup>10)12)</sup>。50  $\mu$ L の 0.4 mol/L スクロース-0.1 mol/L リン酸ナトリウムバッファー (pH 6.7), 625  $\mu$ L の 0.1 mol/L リン酸ナトリウムバッファー (pH 6.7), 125  $\mu$ L の 1% (w/v) 塩化ナトリウム水溶液を混合した基質溶液 0.8 mL およびポリフェノール濃度を 0.4-10  $\mu$ g/mL に調製したポリフェノール水溶液と 0.2 U/mL の  $\alpha$ -グルコシダーゼ (EC 3.2.1.20, オリエンタル酵母)-0.1 mol/L リン酸ナトリウムバッファー (pH 6.7) 溶液の等量混合液 (ポリフェノール/グルコシダーゼ混合液) は、それぞれ 37°C で 10 分間プレインキュベートした。200  $\mu$ L のポリフェノール/グルコシダーゼ混

合液を基質溶液に加えて 37°C で 30 分間インキュベート後、直ちに 125  $\mu$ L の 2 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を加えて反応停止させた。125  $\mu$ L の 1% (w/v) ジニトロサリチル酸水溶液を加え、沸騰水中で 10 分間加熱後、540 nm の吸光値から還元糖量 (D-グルコース相当量) を測定し、 $\alpha$ -グルコシダーゼ活性抑制率を算出した。

## 2. 実験結果および考察

### (1) 豆類ポリフェノールの含量と抗酸化活性

7 種の豆類種子より、80% エタノール抽出と 70% アセトン抽出を連続して行った。得られたポリフェノール含量および抗酸化活性を Table 1 に示す。豆類種子のポリフェノール含量は、多い順にアズキ、インゲンマメ、コクリョクトウ、黒ダイズ、リョクトウ、ダイズであった (Table 1) が、種子の大きさや種皮色には無関係であった。また、アズキの 80% エタノール抽出により 3.13  $\pm$  0.09 mg/g powder のポリフェノールが抽出されたが、抽出された量は全ポリフェノールの 33% であり、67% のポリフェノールは抽出されないで残渣に残っていることが示された。2 種の溶媒を用いた連続抽出法の結果から判断すると、アズキの他に、コクリョクトウ、インゲンマメ、リョクトウは、80% エタノール抽出により 24% から 40% 程度のポリフェノールが抽出されただけで、黒ダイズでは 55.3%、ダイズとエンドウでは 77% から 79% が抽出されていた。これらの結果は、80% エタノールだけでは抽出することが困難なポリフェノールを多く含有している豆類種子が存在すること、また 80% エタノールに続いて 70% アセトンの連続 2 段階抽出により、種皮に強く結合したポリフェノール類の抽出ができることを示唆している。両抽出液を合わせて全ポリフェノールとしたが、種皮にはさらに強固に結合したポリフェノールが存在する可能性も否定できない。

また、種子粉末当り (g) のトロロックス相当量として抗酸化活性を比較したところ、高い抗酸化活性値を示したの

Table 1 Polyphenol content, antioxidant activity and polyphenol concentration which inhibits  $\alpha$ -amylase or  $\alpha$ -glucosidase activity to 50%

Beans	Total polyphenol <sup>1)</sup>		Antioxidant activity ( $\mu$ mol/g powder)	50% inhibition concentration (IC <sub>50</sub> , ppm) <sup>4,5)</sup>	
	(mg/g powder)	Ratio <sup>2)</sup> (%)		$\alpha$ -Amylase	$\alpha$ -Glucosidase
Black gram	4.89 $\pm$ 0.04	(24 : 76)	16.79 $\pm$ 0.63	9.7	1.4
Green gram	2.48 $\pm$ 0.03	(40 : 61)	7.44 $\pm$ 0.57	>50	3.8
Adzuki bean	9.43 $\pm$ 0.15	(33 : 67)	31.60 $\pm$ 0.30	13.5	0.8
Pea bean	0.59 $\pm$ 0.02	(77 : 23)	0.95 $\pm$ 0.19	ND	ND
Black soybean	4.08 $\pm$ 0.05	(55 : 45)	11.26 $\pm$ 0.46	ND	4.9
Soybean	2.15 $\pm$ 0.05	(79 : 21)	1.23 $\pm$ 0.20	ND	ND
Kidney bean	5.01 $\pm$ 0.07	(28 : 72)	21.70 $\pm$ 0.21	20.6	1.2

<sup>1)</sup> Polyphenol content is expressed as milligram of (+)-catechin equivalent per gram of seed powder.

<sup>2)</sup> The ratio of polyphenol in 80% ethanol extracts and polyphenol in 70% acetone extracts.

<sup>3)</sup> Antioxidant activity is expressed as  $\mu$ mol of Trolox equivalent per gram of seed powder.

<sup>4)</sup> IC<sub>50</sub>: Polyphenol concentration which inhibits  $\alpha$ -amylase or  $\alpha$ -glucosidase activity to 50%.

<sup>5)</sup> ND:  $\alpha$ -Amylase or  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity could not be detected.

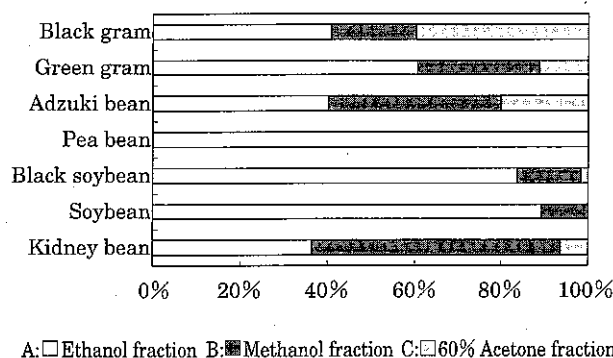


Fig. 1 The proportion of the polyphenol which is included for 3 fractions separated by the LH-20 column

は、トロロックス相当量が  $31.6 \mu\text{mol}$  のアズキ、 $21.7 \mu\text{mol}$  のインゲンマメおよび  $16.8 \mu\text{mol}$  のコクリョクトウであり、エンドウやダイズのそれらは低いものであった (Table 1). 各豆類のポリフェノールと抗酸化活性との関係を調べたところ、高い正の相関関係 ( $R^2=0.9272$ ) が認められた。

Takahata らは茶ダイズ種皮のポリフェノールを Sephadex LH-20 カラムで分画し、メタノール画分と 60% アセトン画分に溶出してくるポリフェノールの構造を MALDI-TOF-MS を用いて推測している<sup>4)</sup>。我々は、豆類ポリフェノールを Sephadex LH-20 カラムによりエタノール、メタノール、60% アセトンで溶出し、順に A: 主にモノマー型ポリフェノール、B: 低重合度ポリフェノール類、C: 高重合度ポリフェノール類に分画<sup>4,5)</sup>した。これらの割合を比較したところ、アズキ、インゲンマメ、コクリョクトウのオリゴマー型ポリフェノールの割合 (B 画分 + C 画分) は 59% から 63%、リョクトウのそれは 39%、黒ダイズでは 17% であった (Fig. 1)。また、インゲンマメは B 画分の割合が高く、コクリョクトウは B 画分と C 画分が 1:2 の割合、アズキはその割合が 2:1、リョクトウでは 3:1 などを示し、それぞれに特徴が認められた。特にコクリョクトウでは、C 画分の高重合度オリゴマー型ポリフェノールが多く含まれていた。しかし、エンドウ、ダイズ、黒ダイズのポリフェノール類はモノマー型ポリフェノールが大部分で、特にエンドウやダイズでは 90% 以上がそれであった。

このように分画した A, B, C 画分の抗酸化活性は、エンドウ、ダイズ、黒ダイズでは A 画分が最も活性が高く、他の豆類では B 画分 (リョクトウ、アズキ、インゲンマメ) もしくは C 画分 (コクリョクトウ) が A 画分よりも高い抗酸化活性を示した。また、エンドウには B 画分や C 画分はほとんど無いが (Fig. 1)、他の豆類ポリフェノールの A-C 画分には抗酸化活性が認められた (Table 2)。また、豆類それぞれの画分に含まれるポリフェノール量と抗酸化活性

Table 2 Antioxidant activity of LH-20 fractions of edible legumes

Beans	Antioxidant activity ( $\mu\text{mol/g}$ powder) <sup>1</sup>		
	A <sup>2</sup>	B <sup>2</sup>	C <sup>2</sup>
Black gram	$3.53 \pm 0.29$	$5.74 \pm 0.20$	$7.52 \pm 0.27$
Green gram	$2.06 \pm 0.23$	$3.90 \pm 0.32$	$1.49 \pm 0.13$
Adzuki bean	$8.20 \pm 0.06$	$13.99 \pm 0.14$	$9.41 \pm 0.11$
Pea bean	$0.95 \pm 0.19$	ND	ND
Black soybean	$6.37 \pm 0.30$	$4.65 \pm 0.18$	$0.24 \pm 0.01$
Soybean	$1.23 \pm 0.20$	ND	ND
Kidney bean	$5.87 \pm 0.07$	$13.34 \pm 0.14$	$2.49 \pm 0.03$

<sup>1</sup> Antioxidant activity is expressed as  $\mu\text{mol}$  of Trolox equivalent per gram of seed powder.

<sup>2</sup> The elution A; ethanol fraction, B; methanol fraction and C; 60% acetone fraction of the LH-20 column.

ND: Antioxidant activity could not be detected.

の間には、A 画分;  $R^2=0.7382$ , B 画分;  $R^2=0.9656$ , C 画分;  $R^2=0.9565$  と高い正の相関関係が認められた。

(2) 豆類ポリフェノールの  $\alpha$ -アミラーゼ活性および  $\alpha$ -グルコシダーゼ活性に及ぼす影響

$\alpha$ -アミラーゼに対する豆類ポリフェノールの活性抑制作用を検討したところ、アズキ、インゲンマメ、コクリョクトウから抽出した全ポリフェノールは、 $\alpha$ -アミラーゼ活性を抑制したが、リョクトウ、ダイズのそれは抑制活性を示さなかった (Table 1)。 $\alpha$ -アミラーゼ活性 50% 抑制濃度 ( $\text{IC}_{50}$ ) は、コクリョクトウで  $9.7 \text{ ppm}$ 、アズキで  $13.5 \text{ ppm}$ 、インゲンマメで  $20.6 \text{ ppm}$  であった (Table 1)。また、 $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制が認められたのは、アズキ、インゲンマメ、コクリョクトウ、リョクトウ、黒ダイズ由来のポリフェノールで、エンドウおよびダイズ抽出液には、酵素抑制活性は認められなかった。 $\alpha$ -グルコシダーゼ活性 50% 抑制濃度 ( $\text{IC}_{50}$ ) は、アズキ、インゲンマメ、コクリョクトウで  $0.8 \text{ ppm}$  から  $1.4 \text{ ppm}$ 、リョクトウおよび黒ダイズで  $3.8 \text{ ppm}$  から  $4.9 \text{ ppm}$  であった (Table 1)。

また、Sephadex LH-20 カラムからエタノールで溶出した A 画分は主にモノマー型ポリフェノールであるが、 $\alpha$ -アミラーゼ活性の抑制はいずれの豆類でも検出限界以下であった。しかし、主にオリゴマー型ポリフェノールである B 画分および C 画分は、 $\alpha$ -アミラーゼ活性の抑制が強く認められた (Table 3)。また同様に、A 画分のモノマー型ポリフェノールには、 $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制はほとんど認められなかったが、オリゴマー型ポリフェノールを含有する B 画分および C 画分には、 $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制が強く認められた (Table 4)。豆類種子ポリフェノールが示す  $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制は、オリゴマー型ポリフェノールの割合と相関関係が認められ、豆類ポリフェノールが示す  $\alpha$ -アミラーゼおよび  $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制は、オリゴマー型ポリフェノールに起

Table 3  $\alpha$ -Amylase inhibitory activity of LH-20 fractions of edible legumes

Beans	Inhibitory activity (IC <sub>50</sub> , ppm) <sup>1</sup>		
	A <sup>2</sup>	B <sup>2</sup>	C <sup>2</sup>
Black gram	>50	2.8	2.5
Green gram	>50	9.4	—
Adzuki bean	>50	2.2	1.7
Black soybean	—	—	—
Kidney bean	>50	2.0	—

<sup>1</sup> IC<sub>50</sub>: Polyphenol concentration which inhibits  $\alpha$ -amylase activity to 50%.

<sup>2</sup> The elution A; ethanol fraction, B; methanol fraction and C; 60% acetone fraction of the LH-20 column.

—: Not examined.

Table 4  $\alpha$ -Glucosidase inhibitory activity of LH-20 fractions of edible legumes

Beans	Inhibitory activity (IC <sub>50</sub> , ppm) <sup>1</sup>		
	A <sup>2</sup>	B <sup>2</sup>	C <sup>2</sup>
Black gram	3.47	0.22	0.06
Green gram	4.18	0.52	—
Adzuki bean	>5	0.22	0.04
Black soybean	ND	0.46	—
Kidney bean	>5	0.24	—

<sup>1</sup> IC<sub>50</sub>: Polyphenol concentration which inhibits  $\alpha$ -glucosidase activity to 50%.

<sup>2</sup> The elution A; ethanol fraction, B; methanol fraction and C; 60% acetone fraction of the LH-20 column.

ND:  $\alpha$ -Glucosidase inhibitory activity could not be detected.

—: Not examined.

因することが示された。ポリフェノールは、植物表皮における抗酸化物質や外敵に対する防御物質として存在する可能性が推察されている<sup>13)14)</sup>が、食品としては、特にアズキ、インゲンマメおよびコクリョクトウのオリゴマー型ポリフェノールは $\alpha$ -アミラーゼや $\alpha$ -グルコシダーゼの活性抑制により、血糖値上昇抑制等の機能性を示す化合物である可能性が示された。

これらの結果より、豆類種子ポリフェノールのモノマー型ポリフェノールは抗酸化活性作用を示すが、 $\alpha$ -アミラーゼや $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制作用は低く、またオリゴマー型ポリフェノールは、抗酸化活性と $\alpha$ -アミラーゼおよび $\alpha$ -グルコシダーゼ活性抑制の両者を示すことが示唆された。

食後における高血糖状態の繰り返しは、膵臓ランゲルハンス島の $\beta$ 細胞（膵 $\beta$ 細胞）に障害を与え、インスリン分泌が抑制されてⅡ型糖尿病を悪化させる<sup>15)</sup>と推測されている。近年、抗酸化性物質が膵 $\beta$ 細胞の障害を抑制することが報告<sup>16)17)</sup>されており、豆類成分は膵 $\beta$ 細胞の障害抑制に有効であると考えられる。また、豆類のオリゴマー型ポリフェノールには抗酸化活性および血糖値上昇抑制作用の両作用を示す可能性のあることから、作用の強弱はあるが、豆類には糖尿病発症予防効果があると推測している。各豆類に含まれるオリゴマー型ポリフェノールの詳細な構造については、今後検討する予定である。

### 3. 要約

7種類の食用豆類から80%エタノールと70%アセトンを用いた2段階抽出により全ポリフェノールを調製して、抗酸化活性、 $\alpha$ -アミラーゼおよび $\alpha$ -グルコシダーゼ活性に対する抑制効果を比較した。ポリフェノール含量の多い豆は、順にアズキ、インゲンマメ、コクリョクトウ、黒ダイズ、リョクトウ、ダイズであったが、種子の大小や種皮色との関係は認められなかった。しかし、各豆類のモノマー型およびオリゴマー型ポリフェノール含量と抗酸化活

性との間には高い正の相関関係が認められた。また、エンドウとダイズポリフェノールに占めるオリゴマー型ポリフェノールの割合は低く、 $\alpha$ -アミラーゼおよび $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制作用はほとんど認められなかった。これに対して、アズキ、インゲンマメ、コクリョクトウ種子ポリフェノールには、オリゴマー型ポリフェノールが67-76%を占めており、抗酸化活性と共に $\alpha$ -アミラーゼおよび $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制作用を示した。リョクトウや黒ダイズポリフェノールは、 $\alpha$ -アミラーゼ活性抑制作用はほとんど認められなかったが、 $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制作用が認められた。これらの結果から、豆類ポリフェノールのオリゴマー型ポリフェノールは抗酸化活性作用と $\alpha$ -アミラーゼおよび $\alpha$ -グルコシダーゼ活性の抑制作用を有しているが、モノマー型ポリフェノールは主に抗酸化活性作用のみを有していることが推察された。

この研究は日本豆類基金協会の資金援助を受け、帯広畜産大学21世紀COEプログラム研究の一環として行った。

### 文 献

- 1) Kanner, J., Frankel, E., Granit, R., German, B. and Kinsella, J.E., Natural antioxidants in grapes and wines. *J. Agric. Food Chem.*, 42, 64-69 (1994).
- 2) Wang, C.-K. and Lee, W.-H., Separation, Characteristics, and Biological Activities of Phenolics in Areca Fruit. *J. Agric. Food Chem.*, 44, 2014-2019 (1996).
- 3) 濱淵康範, 飯島悦子, 伴野 潔, リンゴ果実の発育に伴うカテキン類およびプロシアニジン類の含量・組成の変化, 園学雑誌, 68, 1184-1193 (1999).
- 4) Takahata, Y., Ohnishi-Kameyama, M., Furuta, S., Takahashi, M. and Suda, I., Highly polymerized procyanidins in brown soybean seed coat with a high radical-scavenging activity. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 5843-5847 (2001).
- 5) Martin, L.P., Hagerman, A.E. and Butler, L.G., Tannin content of cowpeas, chickpeas, pigeon peas, and mung beans. *J. Agric. Food Chem.*, 28, 459-461 (1980).

- 6) 畑井朝子, 奥瀬一郎, 嵯峨絃一, 長良康良, アズキ子実フェノール成分のメタノールによる抽出条件の検討及び種皮部と子葉部の含量差異について：アズキ生産地の土壤の種類が子実成分組成と調理特性に及ぼす影響 (第3報), 日調科誌, 29, 109-114 (1996).
- 7) 福場博保, アズキのタンニンについて, 豆類加工技術研究会報, 11, 1-31 (1987).
- 8) 小嶋道之, 山下慎司, 西 繁典, 齋藤優介, 前田龍一郎, アズキポリフェノールの生体内抗酸化活性と肝臓保護作用, 食科工, 53, 386-392 (2006).
- 9) 小嶋道之, 西 繁典, 山下慎司, 齋藤優介, 前田龍一郎, アズキエタノール抽出物添加飼料によるラットの血清コレステロール上昇抑制, 食科工, 53, 380-385 (2006).
- 10) 小嶋道之, 西 繁典, 齋藤優介, 弘中和憲, 小嶋 浩, 前田龍一郎, アズキポリフェノールの単回および継続投与が血中グルコース濃度に及ぼす影響, 食科工, 54, 50-53 (2007).
- 11) 小嶋道之, 西 繁典, 齋藤優介, 弘中和憲, 小嶋 浩, 前田龍一郎, アズキポリフェノール飲料による高脂肪食投与雌マウスの体重増加抑制, 食科工, 54, 229-232 (2007).
- 12) Honda, M. and Hara, Y., Inhibition of rat small of intestinal sucrease and  $\alpha$ -glucosidase activities by tea polyphenols. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 57, 123-124 (1993).
- 13) Winkel-Shirley, B., Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. *Plant Physiol.*, 126, 485-493 (2001).
- 14) Mori, M., Yoshida, K., Ishigaki, Y., Matsunaga, T., Nikaido, O., Kameda, K. and Kondo, T., UV-B protective effect of a polyacylated anthocyanin, HBA, in flower petals of the blue morning glory, *Ipomoea tricolor* cv. Heavenly Blue. *Bioorg. Med. Chem.*, 13, 2015-2020 (2005).
- 15) Tanaka, Y., Gleason, C.E., Tran, P.O.T., Harmon, J.S. and Robertson, R.P., Prevention of glucose toxicity in HIT-T 15 cells and Zucker diabetic fatty rats by antioxidants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96, 10857-10862 (1999).
- 16) Adeghate, E. and Parves, S.H., Nitric oxide and neuronal and pancreatic beta cell death. *Toxicology*, 153, 143-156 (2000).
- 17) Lapidot, T., Walker, M.D. and Kanner, J., Antioxidant and prooxidant effects of phenolics on pancreatic  $\beta$ -cells *in vitro*. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 7220-7225 (2002).

(平成 19 年 6 月 1 日受付, 平成 19 年 8 月 13 日受理)