

津山産アピオス長期摂取の肝機能への影響†

渡邊理江*¹ 森岡優衣*¹ 儀間章託*¹ 坂本実由*¹
小原瑞祈*¹ 山本汐里*¹ 林香里*¹ 松永祐輔*²

はじめに

アピオス (*Apios americana* Medikus) は、マメ科ホドイモ属のツル性多年草植物で、日本には在来種であるホドイモ (*Apios fortunei*) が存在するが、野生が多く、原産が北アメリカ大陸東部のアメリカホドイモが主に作物として栽培され、日本では東北地方などで生産量が高い。アピオスは、インディアンのスタミナ源といわれるほど栄養価が高く、南米アンデス原産のヤーコン、北米原産の菊芋 (キクイモ) と共に「世界三大健康野菜」と呼ばれるスーパーフードとして知られ、機能的には、抗酸化物質ゲニステインを含むイソフラボン^{1,2)} や抗酸化作用/SOD 様活性を持つ DDMP サポニン³⁾ などの含有、弱めの α -グルコシダーゼ阻害効果^{2,4)} が機能性成分活性として示唆されている。これらの機能性成分活性により、生体防御効果や抗がん作用、抗炎症作用、血糖値上昇抑制作用や便秘・高血圧等の改善などの効果^{2,4-10)} が報告されているが詳細なエビデンスはまだ乏しい。私たちは、このアピオスを中国地方の山で囲まれた岡山県津山にて栽培し、気候や栽培環境による食品成分への影響や長期摂取による肝機能への影響に対して、詳細な検討を重ねたの

で本誌にて報告する。

1. 方法

1-1. 津山産アピオス

津山市内で2018年～2020年に収穫したアピオスの塊根部分を洗浄し、生 (皮なし)・生 (皮あり) に分け、生 (皮あり) の一部はフリーズドライして乾燥し (ブランケナーゼ株式会社)、それぞれ食品成分分析を行った (一般財団法人日本食品分析センター)。また、土壌吸収されるカルシウム量評価のため、一部のアピオスは、カルシウム系肥料 100g/m² (畑のカルシウム、南九州化学工業株式会社) を添加して栽培された (表 1B)。比較として、大きさ・形状が同じくらいの青森産アピオスおよび長崎産マークイン小玉が用いられた (表 2A)。

1-2. 動物実験

8週齢 C57BL/6NJcl 雄マウス (日本クレア株式会社) を用い、70週齢まで62週間にわたり、飼料と水は自由摂取にて津山産アピオス食餌負荷下で飼育し、1週間ごとに体重測定・食餌摂取量測定を行った。津山産アピオス食餌は、津山産アピオス乾燥粉 (皮あり) が通常食 CE-2 (日本ク

† Influence of a long-term diet including Tsuyama-grown apios on liver function

*1 Rie WATANABE, Yui MORIOKA, Shota GIMA, Miyu SAKAMOTO, Mizuki OHARA, Shiori YAMAMOTO, Kaori HAYASHI : 美作大学生生活科学部食物学科

*2 Yusuke MATSUNAGA : 株式会社津山工業原料

レア株式会社)に20%¹¹⁾含有するように食餌を作製し、対照として乾燥ジャガイモ(株式会社HOSHIKO Links)を用いた。アピオスはマメ科野菜であるが、大豆と乾燥状態にて食品成分比較すると、粒径の違いから、100 gあたりの大豆では、表皮(大部分が不溶性食物繊維)の含有量が大きくなり、またタンパク質量・脂質量・炭水化物量・糖質量・エネルギー量の差も大きい。しかし、ジャガイモの塊根部形状や100 gあたりのそれら成分値は、アピオスと比較的近く、本研究においてジャガイモを対照野菜として使用した。各群マウスは15匹ずつ用い、飼育および実験は美作大学動物実験に関する指針に基づいて実施した。

1-3. HbA1c 値, 血清生化学的検査

血糖コントロール評価では、マウスの尾静脈より採血し、HbA1c 値を測定した(DCAバンテージ, SIEMENS)。また、全血から得た血清を用いて生化学検査を実施した(オリエンタル酵母工業株式会社)。2度の反復実験による血清の検査が行われた。

1-4. 肝臓の組織解析

肝臓組織は、単離・4% PFA 固定後、HE 染色組織染色切片(岡山大学医学部共同実験室)にして、オールインワン蛍光顕微鏡(株式会社キーエンス)にて観察・撮影した。脂肪滴は、肝臓4倍画像をアピオス食群31枚・ジャガイモ食群30枚使用し、肝臓組織の広範囲にわたり、Adobe Photoshop ソフトウェアを用いて解析した。

1-5. 統計処理

2群間の比較を行う場合は unpaired *t*-test を使用した。 $p < 0.05$ を統計学的に有意と判定した。

2. 結果および考察

2-1. 津山産アピオス食品成分の特徴

表1は、2018年から2020年収穫の津山産アピオス(生塊根部)の食品成分値を比較している。(A)は、表皮を除いた成分値で、(B)は、表皮

を加えた成分値であり、2020年ではカルシウム系肥料を追加して栽培・収穫したアピオス成分値である。また、比較として、文部科学省2020年食品標準成分表アメリカほども、および、海に囲まれた青森県で収穫された青森産アピオスの食品成分値も示した。

(A)で示されているように、食品標準成分表と比較し、津山産アピオスは、収穫年により多少の変動はあるものの、タンパク質・脂質・灰分・炭水化物の成分値は大きな差はないかと思われた。しかしながら、炭水化物中の食物繊維総量で食品標準成分表と比較すると、津山産アピオスでは半量以下の成分低値を示しており、その代わりに、糖質量がやや増加しており、エネルギー量も少し高い値を示した。これは、(A)で使用した津山産アピオスは、甘みを引き出すため、分析前に数週間冷暗室保管されていたことが影響した可能性があると考えられた。(B)でも、表皮を含んでいるため、食物繊維総量が(A)よりやや増加しているものの、津山産・青森産ともに、(A)の食品標準成分表より約50%の成分低値を示した。(B)において、津山産・青森産での比較では、タンパク質・脂質・灰分・炭水化物・糖質・食物繊維総量・エネルギーの成分値は、ほとんど同等の成分値を示していた。ミネラル成分においては、(A)および(B)から、津山産アピオスのナトリウム含有量は、食品標準成分表と同等かやや低値であることが示されたが、青森産アピオスのナトリウム含有量は食品標準成分表の約4倍とかなり高値を示した。カルシウム含有量は、通常栽培条件において、食品標準成分表より約60~50%の低値を示し、カルシウム系肥料を加えた一畝(表1B: Ca 増加)およびそれから約7m離れた一畝(表1B: Ca 影響あり)において、約110%と広範囲での収穫分にて成分高値であった。このことから、ナトリウムやカルシウムは、その土地に含まれる含有量が、そこで収穫されるアピオスの成分値に影響を与えることが明らかとなった。

表2は、機能性食材としての津山産アピオスの研究利用において必要なフリーズドライした津

表1 津山産アピオス(生)食品成分値比較

| (A) | | | | |
|--------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|--|
| 100g 中含有量 | アメリカほどうも | 津山産アピオス | 津山産アピオス | |
| | 塊根 生 (皮なし) 〔文科省2020食品標準成分表〕 | 塊根 生 (皮なし) 20190419 収穫 | 塊根 生 (皮なし) 2018418 収穫 | |
| 水分 (g) | 56.5 | 58.1 | 55.2 | |
| たんぱく質 (g) | 5.9 | 6.1 | 4 | |
| 脂質 (g) | 0.6 | 0.9 | 0.5 | |
| 灰分 (g) | 1.5 | 1.5 | 1.6 | |
| 炭水化物 (g) | 35.6 | 33.4 | 38.7 | |
| 糖質 (g) | 24.5 | <u>29</u> | <u>34.1</u> | |
| 食物繊維 (g) | 11.1 | <u>4.4</u> | <u>4.6</u> | |
| 水溶性食物繊維 (g) | 2.6 | | | |
| 不溶性食物繊維 (g) | 8.5 | | | |
| エネルギー (kcal) | 146 | <u>157</u> | <u>166</u> | |
| ナトリウム (mg) | 5 | <u>2.8</u> | <u>1.6</u> | |
| 食塩相当量 (g)* | 0.013 | 0.007 | 0.004 | |
| 鉄 (mg) | 1.1 | 1.21 | 2.03 | |
| カルシウム (mg) | 73 | <u>36.8</u> | <u>32.7</u> | |
| 亜鉛 (mg) | 0.6 | 0.84 | 0.67 | |
| セレン (μg) | Tr | | | |

| (B) | | | | |
|--------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 100g 中含有量 | 津山産アピオス | 津山産アピオス | 津山産アピオス | 青森産アピオス |
| | 塊根 生 (皮あり) 20190419 収穫 | 塊根 生 (皮あり) 20200520 収穫 Ca 影響あり | 塊根 生 (皮あり) 20200520 収穫 Ca 増加 | 塊根 生 (皮あり) 20190419 収穫 |
| 水分 (g) | 59.2 | 60.1 | 60.6 | 61.7 |
| たんぱく質 (g) | 6.4 | 6.6 | 6.8 | 5.8 |
| 脂質 (g) | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 1 |
| 灰分 (g) | 1.6 | 1.9 | 2 | 1.5 |
| 炭水化物 (g) | 31.9 | 30.7 | 29.8 | 30 |
| 糖質 (g) | 26.5 | 25.4 | 24.4 | 24.7 |
| 食物繊維 (g) | <u>5.4</u> | <u>5.3</u> | <u>5.4</u> | <u>5.3</u> |
| 水溶性食物繊維 (g) | | | | |
| 不溶性食物繊維 (g) | | | | |
| エネルギー (kcal) | 151 | 145 | 143 | 142 |
| ナトリウム (mg) | 4.4 | 5.2 | 4.8 | <u>21.7</u> |
| 食塩相当量 (g)* | 0.011 | 0.013 | 0.012 | 0.055 |
| 鉄 (mg) | 1.3 | 1.73 | 1.44 | 1.18 |
| カルシウム (mg) | 46.1 | <u>82.9</u> | <u>83.1</u> | 57 |
| 亜鉛 (mg) | 1.12 | 1.21 | 1.2 | 0.74 |
| セレン (μg) | | | | |

* 食塩相当量 (g) = ナトリウム (g×2.54) で計算

山産アピオス乾燥粉 (2018年から2019年収穫)の食品成分値である。(A)は、表皮を加えた成分値であり、比較として、同様にフリーズドライした長崎産メークイン (塊根部径がアピオスと同等の小玉) 乾燥粉の成分値も示した。(B)は、津山産アピオス乾燥粉の食物繊維総量・水溶性食

物繊維量・不溶性食物繊維量であり、比較として、乾燥マッシュポテト・乾燥黄大豆の食品標準成分表成分値も示した。

長崎産メークイン乾燥粉と比較し、津山産アピオス乾燥粉は、タンパク質量と脂質量がやや高値で、糖質量はやや低値であり、エネルギー量は

表2 津山産アピオス（乾燥）食品成分値比較

(A)

| 100g 中含有量 | 津山産アピオス 塊根 乾燥粉（皮あり） | 津山産アピオス 塊根 乾燥粉（皮あり） | 津山産アピオス 塊根 乾燥粉（皮あり） | 長崎産メークイン小玉 塊根 乾燥粉（皮あり） |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| | 20190419 収穫 | 20181110 収穫 | 20180608 収穫 | 20180727 収穫 |
| 水分 (g) | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 1.2 |
| たんぱく質 (g) | <u>15.1</u> | <u>14.6</u> | <u>11.6</u> | 10.6 |
| 脂質 (g) | <u>1.6</u> | <u>1.7</u> | <u>2</u> | 0.9 |
| 灰分 (g) | 3.9 | 4.1 | 3.3 | 5.2 |
| 炭水化物 (g) | <u>78.7</u> | <u>79</u> | <u>82.3</u> | <u>82.1</u> |
| 糖質 (g) | <u>65.8</u> | <u>63.9</u> | <u>67.1</u> | 72.4 |
| 食物繊維 (g) | <u>12.9</u> | <u>15.1</u> | <u>15.2</u> | 9.7 |
| 水溶性食物繊維 (g) | | <u>4.6</u> | | |
| 不溶性食物繊維 (g) | | <u>10.5</u> | | |
| エネルギー (kcal) | <u>364</u> | <u>360</u> | <u>363</u> | <u>360</u> |
| ナトリウム (mg) | <u>8.9</u> | <u>9.7</u> | <u>6.2</u> | 2.2 |
| 食塩相当量 (g)* | 0.023 | 0.025 | 0.016 | 0.006 |
| 鉄 (mg) | 3.11 | 3.14 | 2.45 | 3.46 |
| カルシウム (mg) | <u>129</u> | <u>160</u> | <u>147</u> | 11 |
| 亜鉛 (mg) | 2.52 | 2.68 | 2.09 | 1.75 |
| セレン (μg) | | | | |

* 食塩相当量 (g) = ナトリウム (g×2.54) で計算

(B)

| 100g 中含有量 | 食物繊維総量 | 水溶性食物繊維 | 不溶性食物繊維 | |
|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| 重量 | <u>15.1g</u> | <u>4.6g</u> | <u>10.5g</u> | 津山産アピオス 乾燥（皮あり） |
| 水・不溶性割合 | | <u>30.5%</u> | <u>69.5%</u> | |
| 重量 | 6.6g | 2.5g | 4.1g | マッシュポテト |
| 水・不溶性割合 | | <u>37.9%</u> | <u>62.1%</u> | |
| 重量 | <u>15.6g</u> | 0.9g | 14.7g | 中国産黄大豆乾燥（全粒） |
| 水・不溶性割合 | | <u>5.8%</u> | <u>94.2%</u> | |

ほとんど同等であった。食物繊維総量は約 1.3 ～ 1.5 倍、ナトリウム含有量は約 3 ～ 4.4 倍、カルシウム含有量は約 12 ～ 14.5 倍とかなり高値を示した（表 2A）。すなわち、エネルギー量はほとんど同等であるが、メークインと比較すると津山産アピオス乾燥粉は、食物繊維を豊富に含み栄養価が高いことが明らかとなった。表 2B は、乾燥した津山産アピオスの食物繊維総量・水溶性食物繊維量・不溶性食物繊維量を示している。水溶性食物繊維量：不溶性食物繊維量≒3：7であり、マメ類の中でも水溶性食物繊維量比率が高く、また、100 g あたり食物繊維総量自体が高いので、乾燥マッシュポテトと比べても水溶性食物繊維含有量は高いことが示され、津山産アピオス乾燥粉は、

食物繊維として、水溶性食物繊維を高含有することが明らかとなった。

2-2. 長期的津山産アピオス食餌自由摂取による生体への影響

8 週齢 C57BL/6NJcl 雄マウスは、70 週齢まで 62 週間にわたり、飼料と水は自由摂取にて津山産アピオス（皮あり）20% 含有食餌負荷下で飼育された。対照として、ジャガイモ（皮あり）を使用した。図 1A より、対照群と比し、アピオス食群の食餌摂取量は、全週齢にわたり有意な差は認められなかった。しかしながら、体重は、36 週齢以降でアピオス食群は有意に低下していた。

HbA1c 値は、45 週齢時にて、アピオス食群で

有意に低下していたが、68週齢では有意な差はなかった(図1B)。70週齢時点での血清の生化学的検査では、Fe・随時血糖(GLU)の血中濃度は、両群間でほぼ同等の値を示し、Ca・総コレステロール(T-CHO)・中性脂肪(TG)・HDLコレステロールの血中濃度は、両群間で有意差はなかったものの、アピオス食群でやや上昇傾向が

認められた。クレアチニン(CRE)・ASTの血中濃度も有意差はなかったが、これらは逆に低下傾向を示し、LDLコレステロール・ALTの血中濃度は、アピオス食群で有意に低下していた(図2)。69~70週齢の同じ条件にて2度の反復実験を実施し、それぞれ血清の生化学的検査を行ったが、どちらも同様の傾向が認められ、マウス老年初期

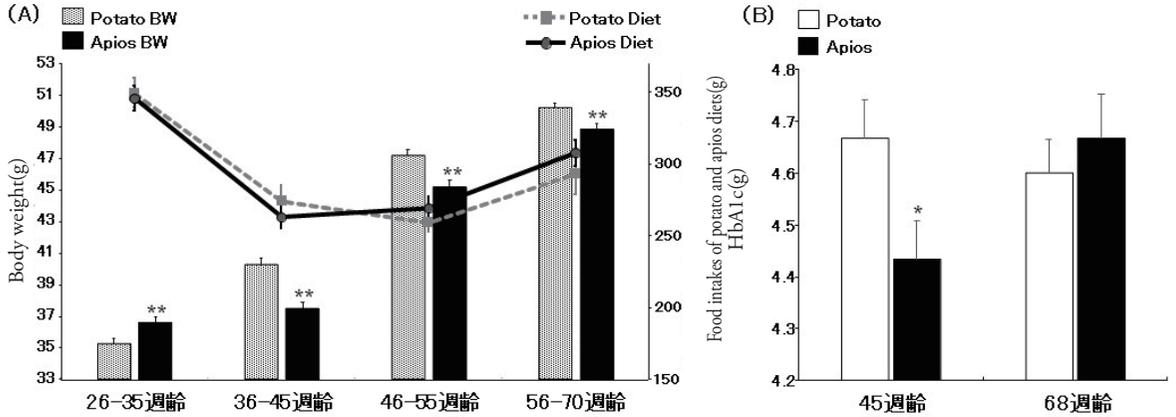


図1 津山産アピオス長期摂取による体重・HbA1c値への影響

(A) 体重・食餌摂取量の変動, Mean ± SE, **: $p < 0.01$ vs Control.
 (B) HbA1c値, Mean ± SE, *: $p < 0.05$ vs Control

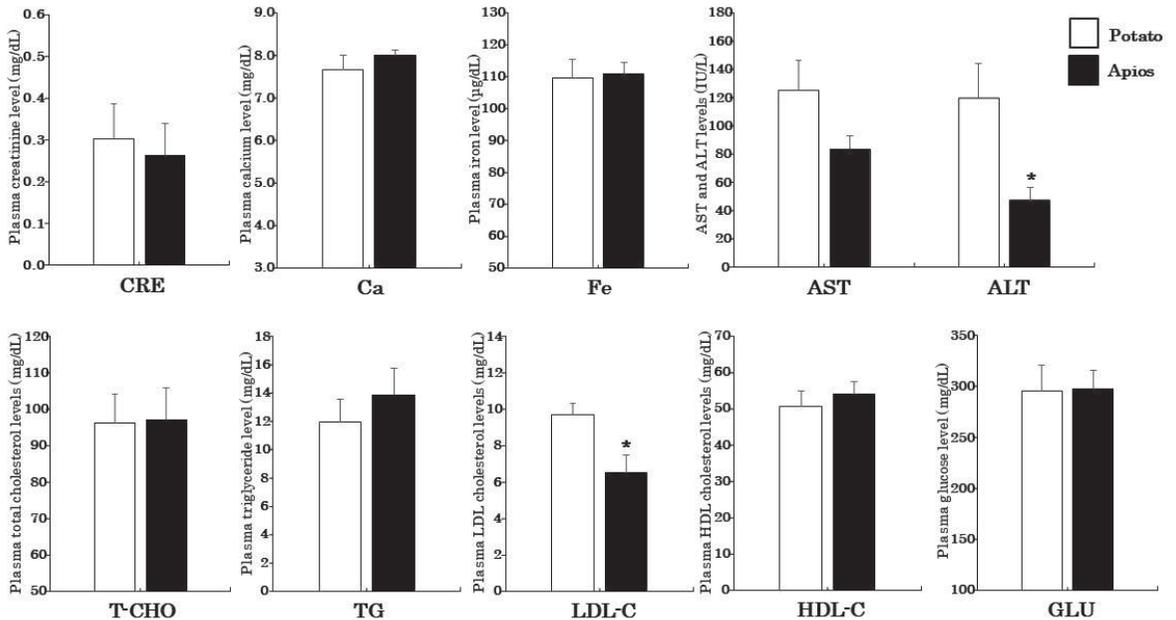


図2 血清の生化学的検査

Mean ± SE, *: $p < 0.05$ vs Control

にあたる70週齢^{12,13)}において、津山産アピオスの長期的な食餌摂取は、肥満や生活習慣病の予防と関連することが明らかとなった。すなわち、津山産アピオスは、老年初期でLDLコレステロール値を下げ、肝機能の低下を防ぐ働きを持つ食材であると考えられた。

そこで、さらに肝臓組織における脂肪の蓄積度を解析した(図3)。図3Aでは、肝臓組織HE染色画像が示されており、倍率が4倍・10倍画像ともに、アピオス食群では、大きな脂肪滴が少なく、小さい脂肪滴が多いことが示された。さらに、図3Bでは、両群の肝臓組織を広範囲に解析(アピオス食群:4倍倍率画像31枚,ジャガイモ食群:4倍倍率画像30枚)して、各画像の脂肪滴サイズを計測ソフトでプロットした。図3Bからも分かるように、広範囲な肝臓組織解析でも、ジャガイモ食群に比べて、アピオス食群では、サイズが大きな脂肪滴が少なく、小さい脂肪滴が多いことが示され、肝臓組織における脂肪の蓄積度が低減されていることが明らかとなった。

また、本研究において、両群間で、マウスの外見的变化や体調不良(排せつ物の状態変化や臭いの異常、嘔吐物の有無など)に関わる毒性や抗原性等の所見は認められなかった。

おわりに

津山産アピオスは、マメ科植物であるため栄養価が高い食材であり、イソフラボンやサポニンなども含有しているが、食物繊維総量、特に水溶性食物繊維が豊富であり、長期的摂取にて、老年初期では、血清LDLコレステロール値を下げ、肝臓への脂肪蓄積を低減し、肝機能の低下を防ぐことで、肥満や生活習慣病の予防や老化予防に貢献する食材であると考えられた。今後、さらに、詳細に消化器系での生体応答を解明し、高齢者向けの食品開発へと繋げたい。

謝辞

本研究は、平成30年度つやま企業サポート事業産学官連携による研究開発サポート補助金(津山工業原料株式会社/津山信用金庫/つやま産業支援センター)および2020-2022年度美作大学・美作大学短期大学部職員研究助成金による助成を一部受けています。津山産アピオス長期摂取の生体応答への解析に御尽力いただいた、美作大学生活科学部食物学科渡邊理江研究室の皆様にご心よりお礼申し上げます。

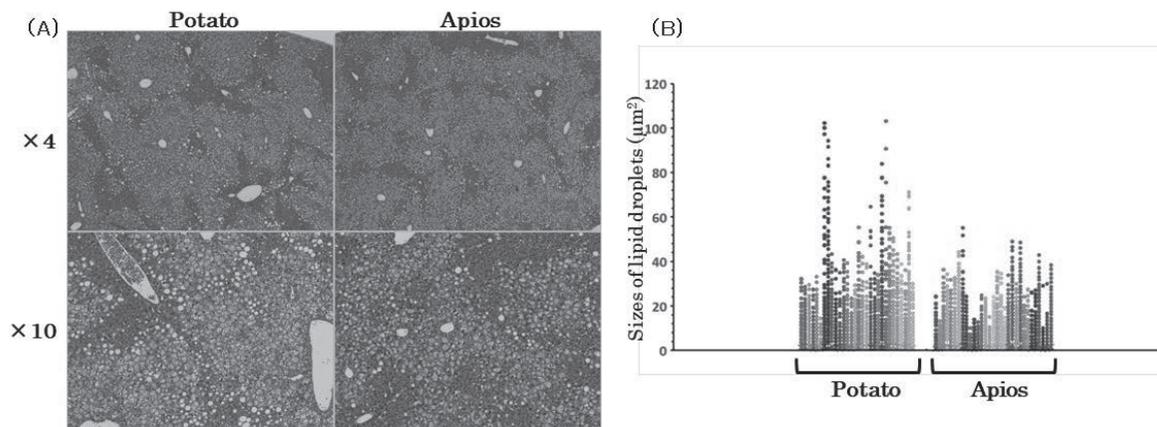


図3 肝臓組織における脂肪の蓄積度解析

(A) 肝臓組織画像: HE 組織染色, 4 倍倍率 (×4) および 10 倍倍率 (×10)
 (B) 肝臓組織の脂肪滴面積: 画像ごとの脂肪滴面積サイズ (μm²),
 アピオス食群 31 画像 (×4) およびジャガイモ食群 30 画像 (×4)

参 考 文 献

- 1) Ichige M, Fukuda E, Miida S, et al.: Novel isoflavone glucosides in groundnut (*Apios americana* Medik) and their antiandrogenic activities. *J Agric Food Chem.* 61(9):2183-2187, 2013.
- 2) Kaneta H, Koda M, Saito S, et al.: Biological activities of unique isoflavones prepared from *Apios americana* Medik. *Biosci Biotechnol Biochem.* 80(4):774-778, 2016.
- 3) Okubo K, Yoshiki Y, Okuda K, et al.: DDMP-conjugated Saponin (soyasaponin β g) Isolated from American Groundnut (*Apios americana*). *Biosci Biotechnol Biochem.* 58(12): 2248-2250, 1994.
- 4) Kim HY, Kim JH, Jeong HG, et al.: Anti-diabetic effect of the lupinalbin A compound isolated from *Apios americana*: In vitro analysis and molecular docking study. *Biomed Rep.* 14(4):39, 2021.
- 5) Krishnan HB: Identification of genistein, an anticarcinogenic compound, in the edible tubers of the American groundnut (*Apios americana* Medikus). *Crop Sci.* 38:1052-1056, 1998.
- 6) Iwai K, Matsue H: Ingestion of *Apios americana* Medikus tuber suppresses blood pressure and improves plasma lipids in spontaneously hypertensive rats. *Nutr Res.* 27:218-224, 2007.
- 7) Kuramoto S, Kaneyoshi G, Morinaga Y, et al.: Angiotensin-Converting Enzyme-Inhibitory Peptides Isolated from Pepsin Hydrolyzate of *Apios americana* Tuber and Their Hypotensive Effects in Spontaneously Hypertensive Rats. *Food Sci. Technol. Res.* 19(3):399-407, 2013.
- 8) Kenmochi E, Kabir SR, Ogawa T, et al.: Isolation and biochemical characterization of *Apios* tuber lectin. *Molecules* 20(1):987-1002, 2015.
- 9) Sohn SH, Lee SY, Cui J, et al.: *Apios americana* Medik Extract Alleviates Lung Inflammation in Influenza Virus H1N1- and Endotoxin-Induced Acute Lung Injury. *J Microbiol Biotechnol.* 25(12):2146-2152, 2015.
- 10) Kim HY, Kim JH, So YK, et al.: Anti-Inflammatory Effect of Lupinalbin A Isolated from *Apios americana* on Lipopolysaccharide-Treated RAW264.7 Cells. *Molecules* 23(3):583, 2018.
- 11) Pemmari T, Hämäläinen M, Ryyti R, et al.: Dried Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Alleviates the Inflammation and Adverse Metabolic Effects Caused by a High-Fat Diet in a Mouse Model of Obesity. *Int J Mol Sci.* 23(19):11021, 2022
- 12) Yuan R, Meng Q, Nautiyal J, et al.: Genetic coregulation of age of female sexual maturation and lifespan through circulating IGF1 among inbred mouse strains. *Proc Natl Acad Sci U S A* 109(21):8224-8229, 2012.
- 13) Flurkey K, Curren JM, Harrison DE: *Mouse Models in Aging Research. The Mouse in Biomedical Research (Second Edition), Academic Press Volume III(Chapter 20):637-672, 2007.*