

## 한국, 중국, 일본에서 자생하는 ‘마’ 속 식물의 화학 성분과 활성

양민혜 · 윤기동 · 진영원 · 김진웅\*

서울대학교 약학대학

### Phytochemical and pharmacological profiles of *Dioscorea* species in Korea, China and Japan

Min Hye Yang, Kee Dong Yoon, Young-Won Chin and Jinwoong Kim\*

College of Pharmacy and Research Institute of Pharmaceutical Science, Seoul National University, Seoul, Korea

**Abstract** – Plants of genus *Dioscorea* have long been served as important carbohydrate-stuffed foods in the tropical and sub-tropical regions, and utilized as traditional herb medicines to enhance digestive function, improve anorexia, and treat diarrhea in oriental countries. It is known that around 600 species of *Dioscorea* are distributed in the world including 107 species in Asia, but actually utilized *Dioscorea* species are restricted to small numbers. Phytochemical investigations for *Dioscorea* species have revealed a number of chemical components such as sapogenins, saponins, phenanthrenes, stilbenes, diterpenes and purine derivatives. According to recent pharmacological studies, *Dioscorea* species possess significant antioxidant, antibacterial and anti-inflammatory activities as well as anticancer, antidiabetic, cholesterol-lowering and hypolipidemic effects. Here, seven *Dioscorea* species (*D. batatas*, *D. japonica*, *D. bulbifera*, *D. opposita*, *D. tokoro*, *D. nipponica* and *D. alata*), mainly distributed and used in Korea, China, and Japan, are reviewed to provide their botanical, phytochemical and pharmacological properties were described.

**Key words** – *Dioscorea batatas*, *Dioscorea japonica*, *Dioscorea bulbifera*, *Dioscorea opposita*, *Dioscorea tokoro*, *Dioscorea nipponica*, *Dioscorea alata*, botanical properties, phytochemical properties, pharmacological properties

마속 식물(*Dioscorea* species)은 마과(Dioscoreaceae)에 속하는 덩굴성 여러해살이 풀로 한국, 중국, 일본 등에 걸쳐 널리 분포하는 아열대성 식물이다. 전세계적으로 10속 650종 이상이 분포하고 있으며 국내에는 1속 9종이 자생하고 있다.<sup>1,2)</sup> 마는 우리나라 전국의 산야에 걸쳐 자라며 식용 또는 약용으로 재배하기도 하는데, 대표적인 재배마의 종류로 장마와 단마가 있다.<sup>1)</sup> 마를 뜻하는 ‘*Dioscorea*’의 어원은 고대 그리스 자연과학자 Dioscorides (40~90 A.D.)에서 유래한 것으로, 종명의 하나인 ‘*batata*’는 고구마를 일컫는 남미 토속어이다.<sup>3)</sup> 마를 일컫는 또 다른 말로 ‘yam’이 있는데 이는 포르투갈어로 ‘맛을 보다’, ‘먹을 수 있다’는 뜻이다. 마의 원산지는 중국으로 기원전 3세기경 재배되기 시작하였으며 한국에 도입된 경위는 확실하지 않지만 『삼국유사』에 따르면 삼국시대에 이미 식용되기 시작하였으며 예로부터 한약재와 민간약으로 폭넓게 이용되어 왔음을 알 수 있다.<sup>4)</sup>

마는 주로 지하부가 식용 또는 약용으로 사용되는데, 특히 마(*Dioscorea batatas* Decne.) 또는 참마(*D. japonica* Thunb.)의 뿌리줄기의 주피를 벗겨 그대로 또는 찌서 말린 것을 산약(山藥)이라 하여 예로부터 자양, 강장, 지사, 건비, 거담의 목적으로 널리 사용하여 왔다. 주요 성분으로는 전분(10~15%), 점액성 당단백질 외에도 약리활성을 나타내는 saponin, allantoin, batatasin, choline 등을 함유하고 있으며 최근의 연구에 의하면 마속에서 분리한 성분들이 항암, 항염, 항진균 및 혈당 강하에도 효과가 있는 것으로 보고되었다.<sup>5,6)</sup>

마는 오랜 세월 동안 사용되고 있는 대표적인 약용 식물로 오늘날 마의 성분과 약리활성에 대한 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 그러나 끊임없는 관심과 연구에도 불구하고 종의 다양성과 무작위적 성분 연구·활성 검색으로 인하여 연구 결과가 중복 또는 한정되어 있는 경우가 많아 마의 성분과 약리 활성에 대한 보다 체계적인 정리가 필요한 실정이다. 이에 본 종설은 한국, 중국, 일본 세 나라에 자생하는 마 7종을 선택하여 2008년 12월 현재까지의 성분 연

\*교신저자 (E-mail): jwkim@snu.ac.kr  
(Tel): +82-2-880-7853

구와 약리학적 연구들을 수집·정리함으로써 약용식물로서의 마의 사용을 뒷받침해 줄 과학적이고 체계적인 근거를 확립하고자 하는 목적에서 쓰여졌음을 밝혀둔다.

### 식물학적 특성과 재배환경

마는 자연 상태에서 중간 잡종으로의 변형이 쉽게 이루어질 뿐만 아니라 염색체의 자연배가(自然倍加)가 이루어져 다양한 유전적 변이가 일어나 현존하는 마속 식물은 650여 종 이상이 된다.<sup>6)</sup> 이 중 한국, 중국, 일본의 세 나라에서 공통적으로 자생하는 종은 *D. batatas* Decne. 와 *D. japonica* Thunb. 이외에 *D. bulbifera* L., *D. opposita* Thunb., *D. tokoro* Makino, *D. nipponica* Makino 등 6종이며, 식용으로 가장 널리 쓰이는 *D. alata* L.는 주로 중국과 일본에 분포한다. 마의 진위 여부[마(*D. batatas*), 참마(*D. japonica*)], 덩이 뿌리의 모양[둥근마(*D. bulbifera*, *D. opposita*)], 잎의 모양[부채마(*D. nipponica*)], 원산지명[도꼬로마(*D. tokoro*), 알라타마(*D. alata*)]에 따라 각각 다른 이름으로 불려진다.<sup>1,3,7-9)</sup> 통상적으로 ‘마[薯]’라 일컫는 종은 *D. batatas*인 것으로 알려져 있지만 『중약대사전』에서는 *D. batatas*와 *D. opposita*를 같은 종으로 분류하고 있으며 한국에서 주로 분포·재배되고 있는 마는 *D. japonica*와 *D. opposita* 두 종이 주를 이루고 있어 *D. opposita*를 ‘마’라 일컫기도 한다.<sup>2,9)</sup> 또한 같은 둥근마라 명명하더라도 *D. bulbifera*는 덩이줄기(tuber)에 해당하는 부분이 대개 지상부에 달리며 크기가 작은데 반해 *D. opposita*는 지하부에 열리며 모양이 다른 마에 비해 매우 둥글고 크기가 크다.

형태학적으로 잎은 마주 나거나 어긋나며 덩굴성 줄기를 가지고 있다. 꽃은 암수한그루 또는 암수딴그루로 6~7월에 피며 수꽃이삭은 곧게 서고 암꽃이삭은 밑으로 처진 형태이다. 열매는 삭과 또는 장과로 둥근 날개가 달린 종자가 들어있다. 잎이 나는 모양과 줄기가 감긴 방향에 따라 크게 두 종류로 나눌 수 있는데, *D. batatas*, *D. japonica*, *D. opposita* 및 *D. alata*는 잎이 마주 나며 줄기가 오른쪽으로 감기는데 반해 *D. bulbifera*, *D. nipponica* 및 *D. tokoro*는 잎이 어긋나고 줄기가 왼쪽으로 감긴다. *D. batatas*, *D. japonica*, *D. bulbifera*, *D. opposita* 및 *D. alata*에는 잎겨드랑이에 결눈의 하나인 주아(bulbil)가 달리지만 *D. nipponica*와 *D. tokoro*에서는 발견하기 어렵다. *D. japonica*는 일반적으로 덩굴과 잎자루가 녹색을 띠는데 반해 *D. batatas*와 *D. opposita*는 줄기와 잎자루, 잎맥에 열린 자줏빛이 돈다. 꽃의 색에도 차이가 있는데 일반적으로 *D. batatas*, *D. japonica* 및 *D. opposita*에는 흰색 꽃이 달리며 *D. nipponica*는 녹색색의 꽃이 피는 것으로 알려져 있다.<sup>2,6,10)</sup>

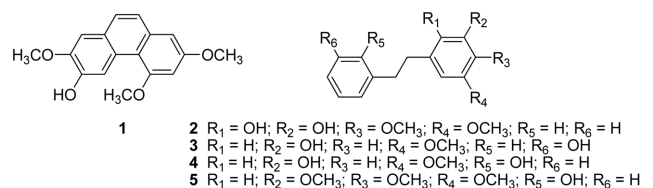
마의 생육에 적당한 온도는 25~30°C이며 우리나라에 분포하는 마는 저온에 비교적 강하여 전국 어느 곳에서나 재

배가 가능하다. 생육기간이 길수록, 장일보다는 단일에서 덩이뿌리의 비대가 잘 되기 때문에 남부 지역에서 재배하는 것이 유리하다. 토심이 깊고 배수력이 좋으며 유기물 함량이 많은 양토나 사양토에서 잘 자란다. 종자는 잡종이 되기 쉬우므로 번식용으로 쓰지 않으며, 번식에는 주로 주어나 덩이뿌리를 이용하는데 4월 중·하순경에 정식하여 10월 중·하순경에 수확한다. 수확한 마는 5~12°C의 건조하지 않은 곳에 저장하되 번식용으로 사용할 주아는 9~10월에 수확하여 예비로 저장하였다가 11월 말~12월 초에 저장한다. 약용으로 쓰이는 마는 야생마가 드물고 주로 재배를 통하여 생산하며, 재배마는 덩이뿌리의 모양에 따라 장마와 단마로 부른다.<sup>11)</sup>

### 식물화학적 성분연구

#### 지하부의 성분

**Batatasin 유도체** - 마는 뿌리줄기(rhizome), 덩이줄기, 알뿌리(bulb) 등을 포함한 지하부를 주로 식용 또는 약용으로 사용하므로 마속 식물에 대한 성분 연구 역시 지하부를 대상으로 한 것이 대부분이다. 마속 식물에서 분리된 대표적인 성분 중 하나로 batatasin 유도체를 들 수 있는데 이 중 특히 dihydrostilbene 모핵을 가진 성분은 세균이나 바이러스 등의 외부침입에 대항하기 위해 합성되는 2차 대사산물(phytoalexin)로 알려져 있다.<sup>12)</sup> *D. batatas*에서 batatasin I (6-hydroxy-2,4,7-trimethoxyphenanthrene) (1), batatasin II (2,3-dihydroxy-4,5-dimethoxybibenzyl) (2), batatasin III (3,3'-dihydroxy-5-methoxybibenzyl) (3),<sup>13)</sup> batatasin IV (2',3'-dihydroxy-5-methoxybibenzyl) (4), batatasin V (2'-hydroxy-3,4,5-trimethoxybibenzyl) (5)<sup>14)</sup> 등 5종이 분리되었으며 *D. opposita*에서도 batatasin I (1),<sup>15)</sup> batatasin II (2),<sup>16)</sup> batatasin III (3) 및 batatasin IV (4)<sup>17)</sup>가, *D. alata*에서 batatasin III (3)와 batatasin IV (4)<sup>18)</sup>가 분리되었다. 특히 2,7-dihydroxy-3,5-dimethoxyphenanthrene (68)과 batatasin I (1)은 국내에서 재배되는 *D. opposita* (20.6 µg/g, 12.8 µg/g), *D. batatas* (10.4 µg/g, 12.5 µg/g) 및 *D. japonica* (16.0 µg/g, 19.0 µg/g)에 공통적으로 함유되어 있으며 비록 그 함유량은 작지만 다른 화합물에 비해 검출이 용이하여 마의 품질평가를 위한 지표물질로의 가능성을 보여주고 있다.<sup>19)</sup>

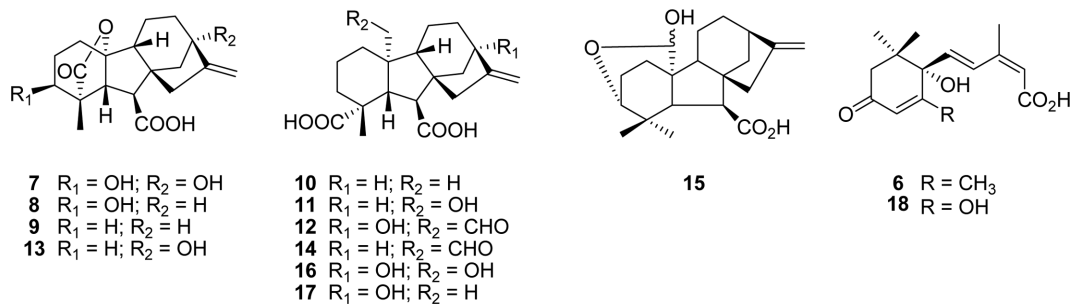


**Fig. 1.** Chemical structures of batatasin derivatives from *Dioscorea* species

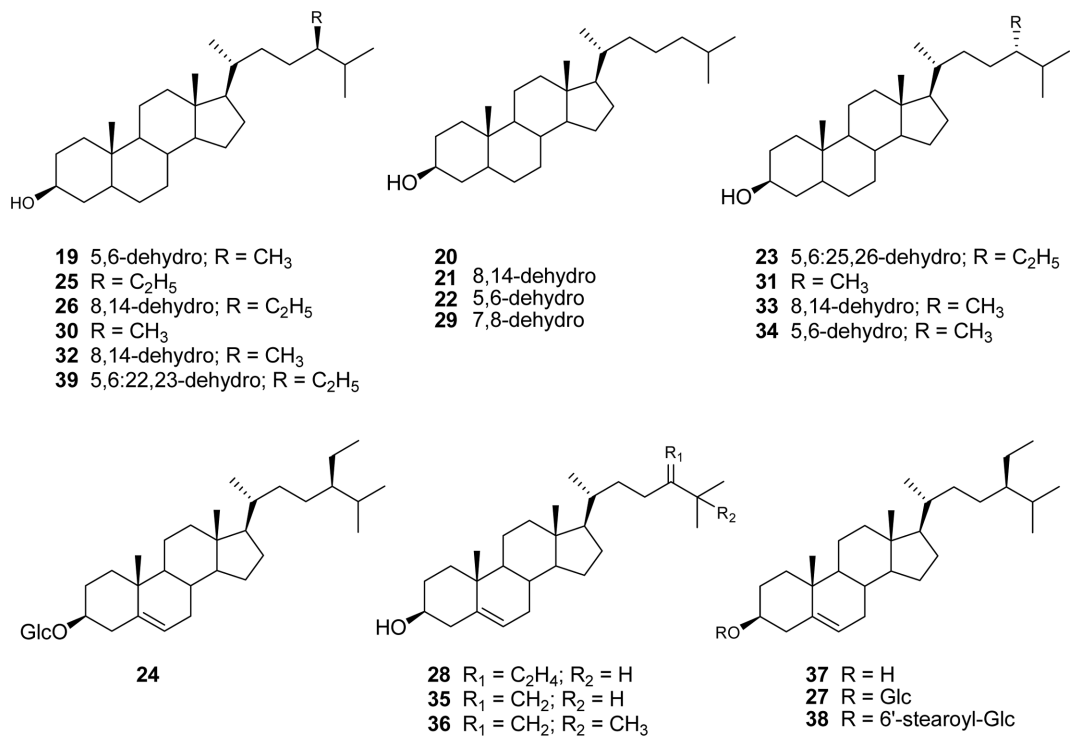
**Plant hormone** – 마의 유전자 발현을 유도하고 생장과 분화를 촉진시키는 식물호르몬으로 gibberellic acid와 abscisic acid 및 이들의 유도체들이 있다. *D. batatas*와 *D. opposita*로부터 gibberellin A 1 (**7**), gibberellin A 4 (**8**), gibberellin A 9 (**9**), gibberellin A 12 (**10**), gibberellin A 15 (**11**), gibberellin A 19 (**12**), gibberellin A 20 (**13**), gibberellin A 24 (**14**), gibberellin A 36 (**15**), gibberellin A 44 (**16**), gibberellin A 53 (**17**) 등 11종의 식물호르몬이 분리되었으며,<sup>20-22</sup> *D. japonica*, *D. bulbifera* 및 *D. nipponica*에서도 각각 4종,<sup>23</sup> 2종,<sup>24</sup> 3종<sup>25</sup>의 gibberellic acid가 분리되었다. Abscisic acid (**6**)는 *D. batatas*와 *D. japonica*에서,<sup>23,26</sup> 7-hydroxyabscisic acid (**18**)는 *D. japonica*로부터<sup>27</sup> 분리되었다.

**Phytosterol** – Phytosterol이란 식물유래 스테롤을 통칭하

는 말로, 구조적으로 cholesterol과 기본 모핵은 같지만 C-17에 붙은 곁가지 탄소사슬이 다르며 섭취시 혈중콜레스테롤 수치를 낮춰주어 고지혈증, 동맥경화를 예방하는 식물유래의약품으로서 관심의 대상이 되고 있다. *D. batatas*와 *D. tokoro*로부터 cholesterol (**22**)을 비롯한  $\beta$ -sitosterol (**37**), stigmasterol (**39**), campesterol (**19**)<sup>28,29</sup> 등 4종의 스테롤이 공통적으로 분리되었으며, *D. opposita*로부터  $\beta$ -sitosterol (**37**)과 daucosterol (**24**)<sup>30</sup>이, *D. bulbifera*에서 daucosterol (**24**),<sup>31</sup> 3-O- $\beta$ -D-glucopyranosyl- $\beta$ -sitosterol (**27**) 및 6'-stearoyl-3-O- $\beta$ -D-glucopyranosyl- $\beta$ -sitosterol (**38**)<sup>32</sup>이 분리되었다. 이 외에도 *D. batatas*로부터 cholestanol (**20**), cholest-8(14)-enol (**21**), clerosterol (**23**), isofucosterol (**28**), (24*S*)- $\alpha$ -ethylcholestanol (**25**), (24*R*)- $\alpha$ -ethylcholest-8(14)-enol (**26**), (24*R*)- $\alpha$ -methylcholestanol (**30**), (24*S*)- $\beta$ -



**Fig. 2.** Chemical structures of phytohormones from *Dioscorea* species.

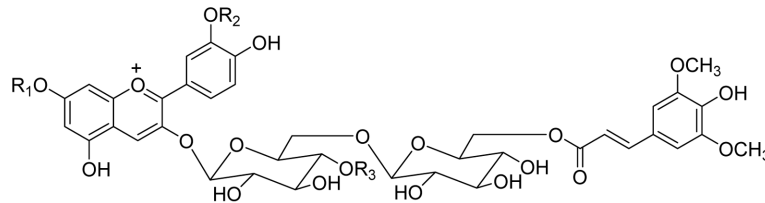


**Fig. 3.** Chemical structures of sterols from *Dioscorea* species

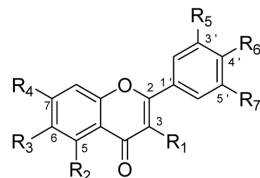
methylcholestanol (31), (24*S*)- $\beta$ -methylcholesterol (34), (24*R*)- $\alpha$ -methylcholest-8(14)-enol (32), (24*S*)- $\beta$ -methylcholest-8(14)-enol (33), 24-methylenecholesterol (35), 24-methylene-25-methylcholesterol (36), lathosterol (29) 등 14종의 스테롤이 더 분리되었다.<sup>28)</sup>

**페놀성 성분** - 마속 식물에는 다양한 페놀성 성분이 포함되어 있는데, 종에 따라 함유 페놀성 성분에는 다소 차이가

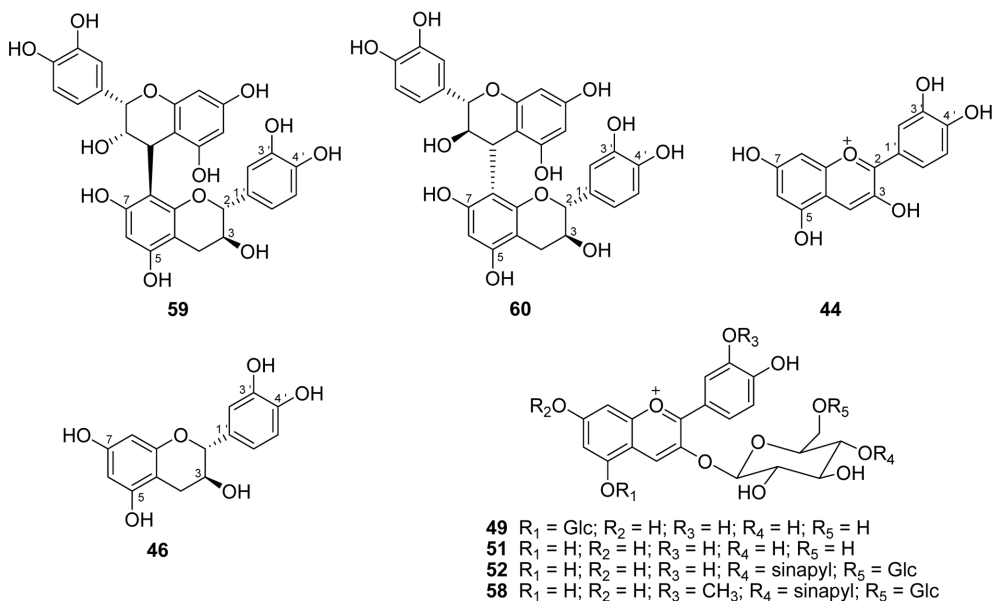
있다. *D. alata*에는 alatanin A (40), alatanin B (41), alatanin C (42),<sup>33)</sup> cyanidin 3-*O*-glucoside (51), cyanidin 3,5-*O*-diglucoside (49),<sup>34)</sup> cyanidin 3-*O*-gentiobioside (50), cyanidin 3-*O*-(4''-*O*-sinapylgentiobioside) (52), peonidin 3-*O*-(4''-*O*-sinapylgentiobioside) (58),<sup>35)</sup> procyanidin B1 (59), procyanidin B3 (60)<sup>36)</sup> 등 anthocyanin류가 주를 이루고 있으며, 유사에스트로겐 활성을 보이는 hydro-Q9 chromene



- 40 R<sub>1</sub> = 6-*O*-sinapyl-Glc; R<sub>2</sub> = Glc; R<sub>3</sub> = Glc  
 41 R<sub>1</sub> = 6-*O*-sinapyl-Glc; R<sub>2</sub> = Glc; R<sub>3</sub> = H  
 42 R<sub>1</sub> = H; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = H

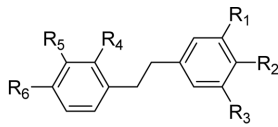


- 43 R<sub>1</sub> = H; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = 2,6-dideoxy- $\beta$ -L-Xyl; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = H  
 45 R<sub>1</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>2</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = H  
 47 R<sub>1</sub> = H; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = *O*-Glc; R<sub>7</sub> = CH<sub>3</sub>  
 48 R<sub>1</sub> = H; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = *O*-Glc; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = CH<sub>3</sub>  
 53 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = H  
 54 R<sub>1</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>2</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = H  
 55 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = OH  
 56 R<sub>1</sub> = *O*-Gal; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = OH  
 57 R<sub>1</sub> = *O*-Glc; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = OH  
 61 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = H  
 62 R<sub>1</sub> = *O*-Gal; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = H  
 63 R<sub>1</sub> = *O*-Glc; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH; R<sub>7</sub> = H



- 49 R<sub>1</sub> = Glc; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = H  
 51 R<sub>1</sub> = H; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = H  
 52 R<sub>1</sub> = H; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = sinapyl; R<sub>5</sub> = Glc  
 58 R<sub>1</sub> = H; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = CH<sub>3</sub>; R<sub>4</sub> = sinapyl; R<sub>5</sub> = Glc

Fig. 4. Chemical structures of flavonoids and anthocyanins from *Dioscorea* species.



- 65 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = H  
 67 R<sub>1</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>2</sub> = OH; R<sub>3</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = H  
 71 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = H  
 73 R<sub>1</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>2</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = H  
 75 R<sub>1</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>2</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = H  
 76 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = H  
 78 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = H  
 79 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = H; R<sub>6</sub> = OH  
 80 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = H  
 82 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>6</sub> = OH



- 64 9,10-dihydro; R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OCH<sub>3</sub>  
 66 9,10-dihydro; R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH  
 68 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>3</sub> = H; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>6</sub> = H  
 69 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>6</sub> = OH  
 70 R<sub>1</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = OH  
 74 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OCH<sub>3</sub>; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = H  
 77 R<sub>1</sub> = OH; R<sub>2</sub> = H; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = OH; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = H  
 81 R<sub>1</sub> = H; R<sub>2</sub> = OGlC; R<sub>3</sub> = OH; R<sub>4</sub> = H; R<sub>5</sub> = OH; R<sub>6</sub> = H

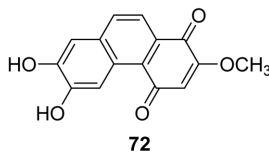


Fig. 5. Chemical structures of phenanthrenes and bibenzyls from *Dioscorea* species.

(144),  $\gamma$ -tocopherol-9 (159), (+)- $\alpha$ -tocopherol (158), coenzyme Q9 (135), 1-feruloylglycerol (143) 등의 성분도 존재하는 것으로 밝혀졌다.<sup>37)</sup> *D. bulbifera*에는 caryatin (45), kaempferol-3,5-dimethylether (54), myricetin (55), myricetin-3-*O*- $\beta$ -D-galactopyranoside (56), myricetin-3-*O*- $\beta$ -D-glucopyranoside (57), quercetin-3-*O*- $\beta$ -D-galactopyranoside (62), quercetin 3-*O*- $\beta$ -D-galactopyranoside (63),<sup>38)</sup> kaempferol (53)<sup>39)</sup> 등 플라보노이드와 그 배당체들이 많이 함유되어 있으며, phenanthrene 계열인 9,10-dihydro-2,4,6,7-tetrahydroxyphenanthrene (66) 및 2,4,5,6-phenanthrenetetrol (77)<sup>40)</sup>와 stilbene 모핵을 가진 3,4',5-trihydroxybibenzyl (79),<sup>12)</sup> dihydropy nosilvin (65), 2',3,5-trihydroxybibenzyl (78)<sup>18)</sup> 및 tristin (3,4',5-trihydroxy-3'-methoxybibenzyl) (82)<sup>39)</sup>도 분리되었다. *D. batatas*와 *D. opposita*에는 dihydropy nosilvin (65), 2',4-dihydroxy-3,5-dimethoxybibenzyl (67), 3,5-dihydroxy-4-methoxybibenzyl (71), 3,4-dimethoxy-2'-hydroxybibenzyl (73), 2'-hydroxy-3,5-dimethoxybibenzyl (75), 3-hydroxy-5-methoxybibenzyl (76), 2',3,5-trihydroxybibenzyl (78), 3,3',5-trihydroxy-2'-methoxybibenzyl (80), tristin (82) 등 bibenzyl류와 9,10-dihydro-7-methoxy-2,5-phenanthrenediol

(64), 2,7-dihydroxy-4,6-dimethoxyphenanthrene (69), 6,7-dihydroxy-2,4-dimethoxyphenanthrene (70), 2,7-dihydroxy-3,5-dimethoxyphenanthrene (68), hircinol (74),<sup>17,41)</sup> 3,4,6-trihydroxyphenanthrene-3-*O*- $\beta$ -D-glucopyranoside (81)<sup>30)</sup> 등 phenanthrene류가 많이 함유되어 있다. 축합형 탄닌인 (+)-catechin (46)은 *D. alata*와 *D. bulbifera*에서 분리되었다.<sup>36,38)</sup>

Steroidal saponin - 마속 식물을 대표하는 화학성분은 역시 diosgenin을 모핵으로 가지는 사포닌인 dioscin과 그 유도체일 것이다. Dioscin (84)은 *D. batatas*,<sup>42)</sup> *D. japonica*,<sup>43)</sup> *D. nipponica*,<sup>44,45)</sup> *D. tokoro*<sup>29)</sup> 및 *D. alata*<sup>46)</sup>에서 분리된 가장 대표적인 스테로이드성 사포닌이며, 이 외에도 최근까지 마속 식물에서 다양한 스테로이드성 사포닌이 분리·보고되고 있는데 대표적인 성분으로 *D. bulbifera*에서 pennogenin-3-*O*- $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 2)-[ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 3)]- $\beta$ -D-glucopyranoside (95)<sup>47)</sup>가, *D. tokoro*에서 kogagenin (93), igagenin (91), isodiotigenin (92), tokorogenin (99), yonogenin (100)<sup>29,48)</sup> 및 diosgenin 3-*O*- $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucopyranoside (86)<sup>49)</sup>가, *D. nipponica*에서 3 $\beta$ ,26-dihydroxy-furostan-5(6),20(22)-diene-26-*O*- $\beta$ -D-glucopyranoside (83),<sup>50)</sup> 26-*O*- $\beta$ -D-glucopyranosyl-3 $\beta$ ,20 $\alpha$ ,26-triol-25(*R*)-5,22-dienofurostan-3-*O*- $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 2)-[ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 4)]- $\beta$ -D-glucopyranoside (89),<sup>51)</sup> diosgenin 3-*O*-{ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 2)-[ $\beta$ -D-glucopyranosyl(1 $\rightarrow$ 3)]}- $\beta$ -D-glucopyranoside (87), diosgenin 3-*O*-[ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 3)- $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 4)- $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 4)]- $\beta$ -D-glucopyranoside (88),<sup>52)</sup> methyl protodioscin (94), pseudo protodioscin (98)<sup>45)</sup> 등이 보고되었다.

Allantoin과 allantoin acid - *D. batatas*로부터 분리된 allantoin (130)과 allantoin acid (129)는 요산 대사과정에서 생성되어 식물의 질소 저장과 이동에 관련하여 중요한 역할을 하는 성분으로<sup>53)</sup> 염증생성과 궤양을 막고 피부를 보호하는 작용을 하여 로션이나 크림 주성분으로 관심의 대상이 되고 있다.<sup>54)</sup> Allantoin (130)은 마뿐 아니라 콩과 식물, 고구마 및 cassava 등에 흔히 존재한다고 알려져 있지만 마의 경우 여타 식물에 비하여 allantoin (130)을 특히 많이 함유하는 것으로 보고되어 있다.<sup>55)</sup> Allantoin acid (129)는 allantoin (130)의 분해과정중에 생기는 산물로 약알칼리성 조건에서 또는 시간이 경과할수록 allantoin (130)이 allantoin acid (129)로 자연스럽게 변화한다고 보고되어 있으며 이는 마속 식물의 allantoin 함유량을 결정할 때 간섭물질로 작용하는 경우도 있다.<sup>56)</sup> Fu 등에 의한 연구에서 *D. batatas*의 껍질에 주피를 제거한 덩이줄기의 2~3배에 해당하는 allantoin (130)과 allantoin acid (129)가 존재하는 것으로 확인되었으며<sup>56)</sup> 윤 등은 국내에 재배되어 식용으로 사용되는 *D. opposita*, *D. batatas* 및 *D. japonica*에 allantoin (130)이

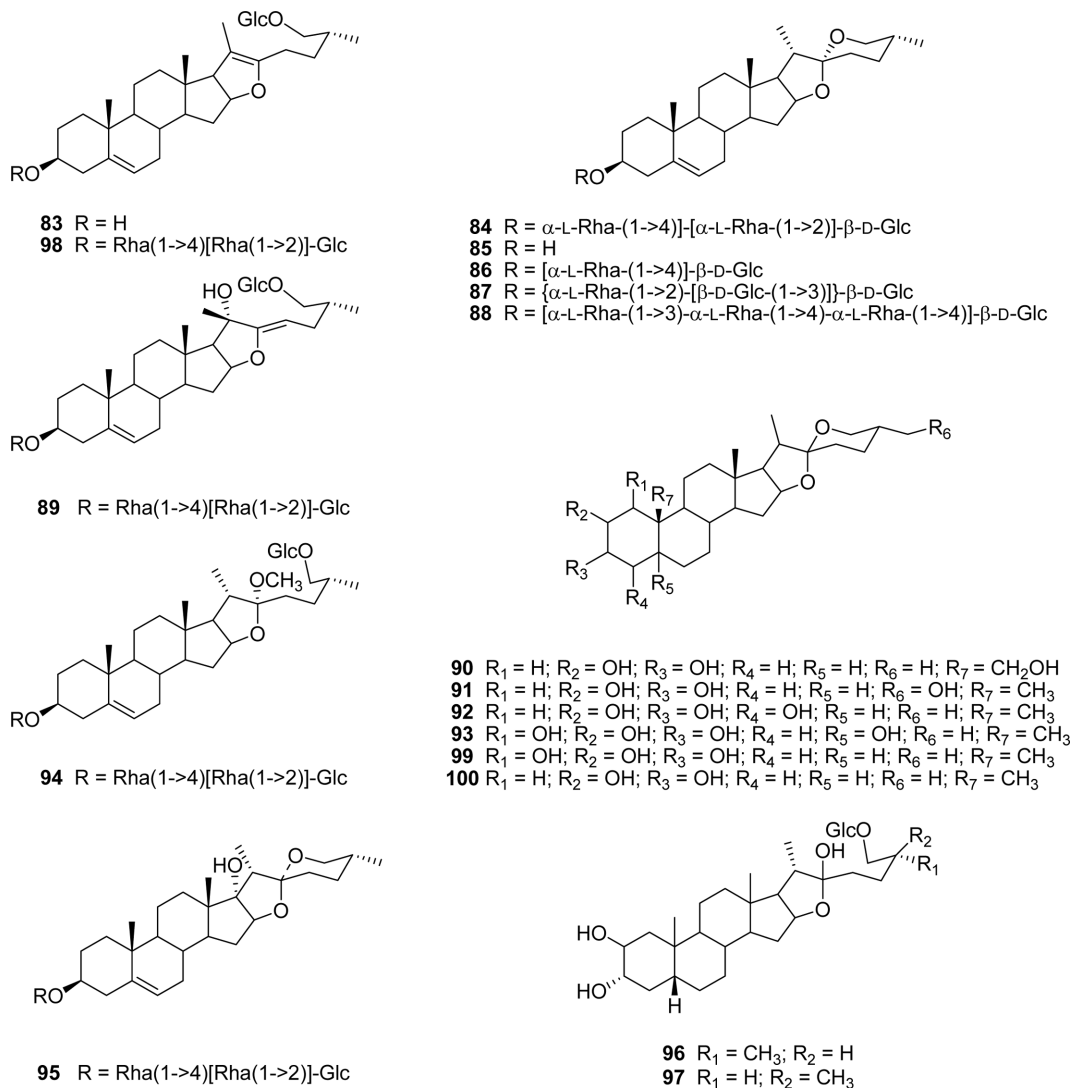


Fig. 6. Chemical structures of steroidal saponins from *Dioscorea* species.

4.0 ~ 7.1  $\mu$ g/g dry weight 함유되어 있음을 보고하였다.<sup>57)</sup>

**Diterpenes** - *D. bulbifera*로부터 clerodane diterpenoid 유도체인 bafoudiosbulbin A (**101**), bafoudiosbulbin B (**102**), bafoudiosbulbin C (**103**), bafoudiosbulbin D (**104**), bafoudiosbulbin E (**105**), bafoudiosbulbin F (**106**) 및 bafoudiosbulbin G (**107**)<sup>32,39,58)</sup>를 비롯하여 furanoid norditerpene (norclerodane diterpenoid) 골격을 가진 diosbulbin A (**108**), diosbulbin B (**109**), diosbulbin C (**110**), diosbulbin D (**111**), diosbulbin E (**112**), diosbulbin F (**113**), diosbulbin G (**114**), diosbulbin H (**115**)<sup>59,60)</sup> 및 8-epidiosbulbin E acetate (**118**)<sup>61)</sup>와 그 배당체인 diosbulbinoside D (**116**)와 diosbulbinoside F (**117**)<sup>62)</sup>가 분리되었으며, apianen lactone 계열인 3 $\alpha$ -hydroxy-13 $\beta$ -furan-11-keto-apian-8-en-(20,6)-olide (**120**), 13 $\beta$ -furan-11-keto-apian-3(4),8-dien-(20,6)-olide (**119**) 및 7 $\alpha$ -methoxy-13b-

furan-11-keto-apian-3(4),8-dien(20,6)-olide (**121**)<sup>63)</sup>도 분리·보고되었다.

**점액성 단백질 및 다당류** - 2차 대사산물은 아니지만 마속 식물에서 분리된 대표적 약리적 활성 물질로 dioscorin과 dioscoran이 있다. Dioscorin은 마속 식물의 특징적인 점액질 저장형 단백질로 *D. batatas*,<sup>64,65)</sup> *D. opposita*,<sup>66)</sup> *D. alata*<sup>67,68)</sup> 등에 많이 함유되어 있으며 항산화활성과 항고혈압활성이 보고되었다. Dioscoran은 마속 식물에서 분리된 점액질 다당류를 일컫는 말로 glucose의 함량에 따라 그 종류가 다양하며 혈당강하 작용을 하는 것으로 밝혀졌다.<sup>69)</sup>

**기타** - *D. bulbifera*에서 *p*-hydroxy acetophenone 유도체인 4-hydroxy-[2-*trans*-3',7'-dimethyl-octa-2',6'-dienyl]-6-methoxyacetophenone (**145**)과 4,6-dihydroxy-2-*O*-(4'-hydroxybutyl)acetophenone (**139**)<sup>70)</sup> 외에 dihydrodioscorin (**138**),<sup>71)</sup> succinic acid (**155**), shikimic acid (**152**)<sup>31)</sup> 등이 분

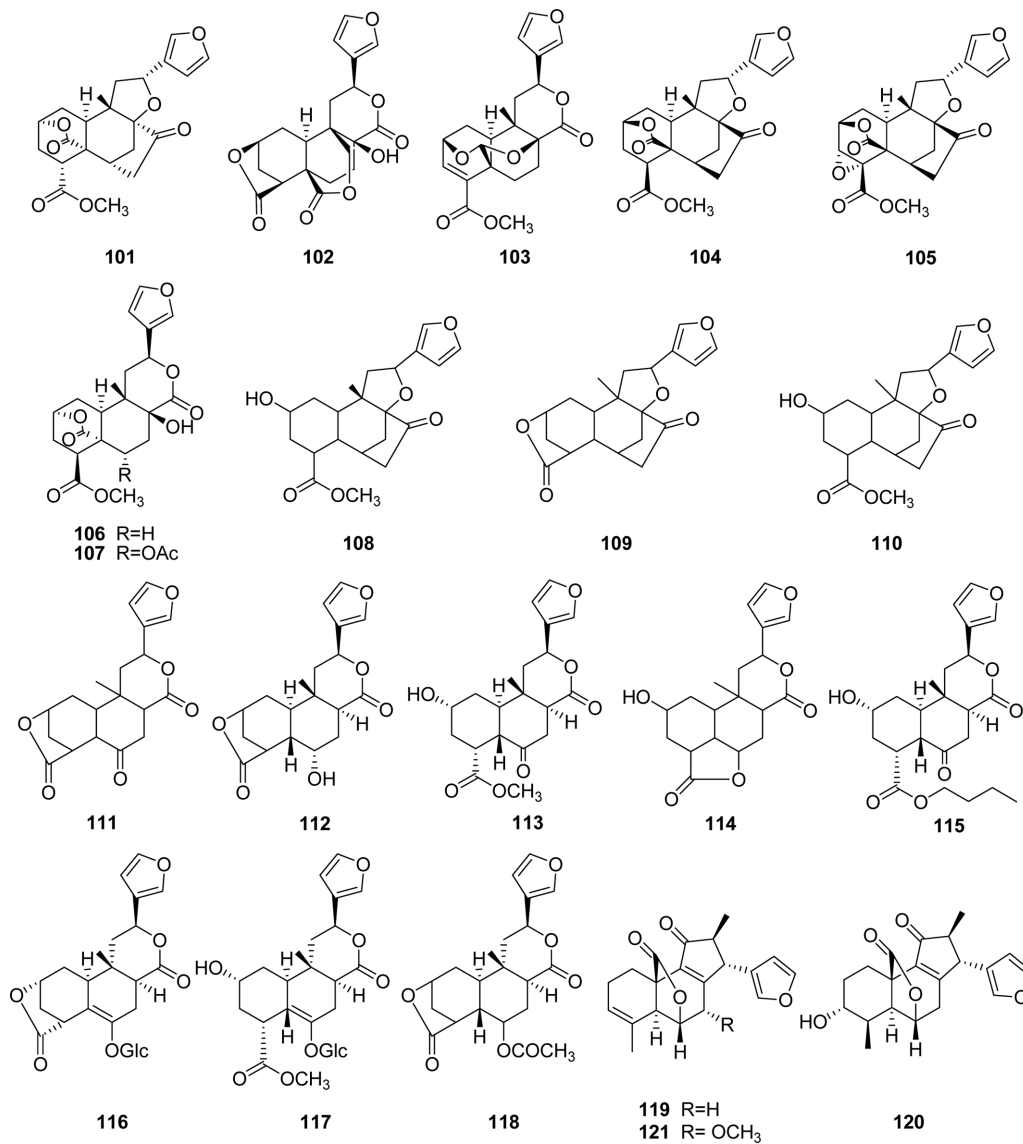


Fig. 7. Chemical structures of diterpenes from *Dioscorea* species.

리되었다. *D. opposita*에서는 뇌신경 전달물질인 아세틸콜린의 전구체인 choline (134)과 세포막을 구성하는 인지질의 하나인 palmitoyloeoylephosphatidylcholine (150)<sup>72)</sup> 외에도 arginine (131),<sup>72)</sup> adenosine (128), soyacerebroside I (154), palmitic acid (149), 6-methylcitrate (148),<sup>73)</sup> 1,5-dimethylcitrate (140)<sup>74)</sup> 등이 분리되었다. *D. nipponica*로부터 benzyl 1-*O*-β-D-glucopyranoside (132), leonuriside A (147), icariside D2 (146), pyrocatechol 1-*O*-β-D-glucopyranoside (151), (+)-syringaresinol-4-*O*-β-D-glucopyranoside (156), cyclo-(Leu-Tyr) (137), adenosine (128)<sup>75)</sup> 등의 물질이 분리되기도 하였다.

**지상부의 성분**

**페놀성 성분** - 지하부에 비해 마속 식물의 잎, 줄기, 주아

등 지상부에서는 페놀성 성분들이 주로 분리 · 보고되었다. 대표적인 페놀성 성분으로 kaempferol (153), quercetin (61), anthocyanin (44)과 같은 플라보노이드류와 caffeic acid (133), *p*-coumaric acid (136), ferulic acid (142), sinapic acid (153) 등 페닐프로파노이드류가 있으며,<sup>76,77)</sup> *D. batatas*와 *D. bulbifera*에서 anthocyanin (44)이,<sup>26,78)</sup> *D. opposita* 지상부로부터 chrysoeriol-4-*O*-β-D-glucopyranoside (47), chrysoeriol-7-*O*-β-D-glucopyranoside (48), alternanthin (43)과 같은 다가 페놀성 플라보노이드 배당체와 6,7-dihydroxy-2-methoxy-1,4-phenanthrene-dione (72)이 분리되었다.<sup>77)</sup>

**Batatasin 유도체** - 지하부와 마찬가지로 지상부에서도 batatasin-유도체가 분리되었다. *D. bulbifera*에서 batatasin I (1)이, *D. alata*에서 batatasin I (1)과 batatasin II (2)가, *D.*

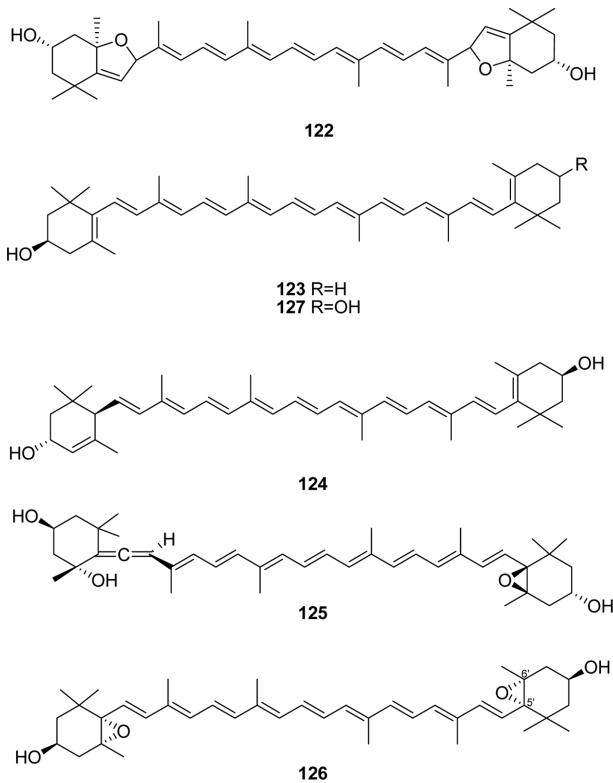


Fig. 8. Chemical structures of xanthophylls from *Dioscorea* species.

*opposita*에서 batatasin I (1) ~ batatasin V (5)가 분리되었다.<sup>79)</sup>

**Phytosterol** - *D. batatas*의 지상부에서 분리된  $\beta$ -sitosterol (37), stigmasterol (39) 및 cholesterol (22)과 *D. opposita* 지상부에서 분리된 daucosterol (24) 등의 스테롤 성분은 지상부의 줄기보다 잎에 많이 함유되어 있으며, 사포닌 비당체들 역시 잎에 함유되어 있는 양이 줄기보다 6~40배 가량 더 높은 것으로 밝혀졌다.<sup>77,80)</sup> *D. batatas*와 *D. bulbifera*에는 특징적으로 지상부 덩이줄기가 달리는데 이로부터  $\beta$ -sitosterol (37)이 분리되었다.<sup>26,78)</sup>

**Steroidal saponin** - *D. tokoro*의 지하부에 함유되어 있는 대부분의 스테로이드성 화합물 [diosgenin (85), isodiotigenin (92), yonogenin (100), tokorogenin (99), kogagenin (93),<sup>81,82)</sup> protoyonogenin (97), protoneoyonogenin (96),<sup>83)</sup> 19-hydroxy yonogenin (90)<sup>84)</sup>]이 지상부에서도 역시 분리되었는데, 일조량과 계절의 변화에 따라 성분 함량의 차이가 있는 것으로 나타났다. 일조량이 많은 경우 (8시간/일) yonogenin (100)과 tokorogenin (99)의 함량은 증가하였으나 isodiotigenin (92)의 양은 감소하였고, 일조량에 비례하여 양이 증가하는 성분들은 특히 여름에 그 함량이 최고인 것으로 밝혀졌다.<sup>85,86)</sup>

**기타** - *D. batatas*의 아세톤 추출물에서 동물성 뇌신경전달물질인 dopamine (141)과 tetrahydroisoquinoline유도체인 1,2,3,4-tetrahydro-1,1-dimethyl-6,7-isoquinolinediol (157)이

분리되었다.<sup>87)</sup> *D. batatas*의 지상부 덩이줄기 에틸아세테이트 추출물에서는 노란색 색소인 크산토펜계열 물질인 lutein (124), neoxanthin (125), violaxanthin (126), zeaxanthin (127), auroxanthin (122), cryptoxanthin (123) 등이 분리되었다.<sup>78)</sup>

## 약리학적 연구

마속 식물에 대한 약리활성 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있으나 활성 검색을 위한 대상 물질이 물, 메탄올 또는 에탄올 총 추출물 및 극성에 따른 유기용매 분획물에 한정되어 있으며 체계적인 연구를 통한 단일 화합물 분리 및 활성검색은 여전히 미흡한 실정이다. 현재까지 밝혀진 마속 식물의 주요 활성으로는 항산화, 위장관 기능 강화, 항염증, 항진균/박테리아, 혈당강하, 항고지혈증, 항고혈압, 항암/세포독성, 인지기능강화 및 항비만 작용이 보고되었다.

**항산화작용** - *D. alata*의 껍질과 주피를 제거한 덩이줄기를 각각 50% 에탄올, 물 열탕 추출, 물 냉침 추출 등 세 가지 다른 조건으로 추출하여 그 추출물의 환원력과 DPPH 라디칼 소거능을 시험하였다. 같은 용매 조건에서 껍질 추출물이 주피를 제거한 덩이줄기의 추출물보다, 세 가지 용매 중에서 50% 에탄올 추출물이 가장 뛰어난 항산화 활성을 보였으며, 껍질의 물 열탕 추출물은 주피를 제거한 덩이줄기의 추출물과 그 효과가 비슷하였다. 위의 결과를 바탕으로 마의 항산화능 유지를 위해 껍질채 동결 건조하는 것이 고온 건조하는 것보다 효율적임을 예측할 수 있었다.<sup>88)</sup> *D. alata*를 실제 동물에 투여하였을 때 나타나는 항산화능을 측정하기 위해 20%의 *D. alata*가 포함된 사료를 Balb/c 쥐에 4주간 투여한 결과, 지질 과산화의 억제에 기인한 LPS 유도성 산화적 스트레스를 현저히 경감시켰으며 superoxide dismutase 활성을 증가시켰다.<sup>89)</sup>

마속 식물에서 항산화 활성을 나타내는 주요 성분으로는 저장성 단백질인 dioscorin, 점액질 다당류와 다카페놀 등이 있다. Dioscorin은 마의 저장형 단백질을 말하며 마속 식물에 따라 다르지만 보통 물 추출물의 90% 정도를 dioscorin이 차지한다고 여겨지고 있다. *D. batatas*에서 전기영동에 의해 정제된 32 kDa의 dioscorin에 대하여 DPPH 라디칼 소거능을 측정하였다. 32 kDa에 해당하는 dioscorin은 pH 7.9에서 6.0~47.8 nmol의 농도 범위에서 농도 의존적으로 라디칼 소거 효과를 나타냈으며 이는 동일한 농도의 글루타치온에 필적하는 효과였다. 또한 전자 상자성 자기공명(electron paramagnetic resonance)에 의한 DPPH 라디칼 소거 효과 측정법에서도 dioscorin은 pH 7.9에서 28.6~57.0 nmol의 농도 범위에서 농도 의존적으로 DPPH 라디칼을 소거하였다.<sup>61)</sup> Nagai 등은 *D. opposita*에서 추출·정제한 200 kDa의



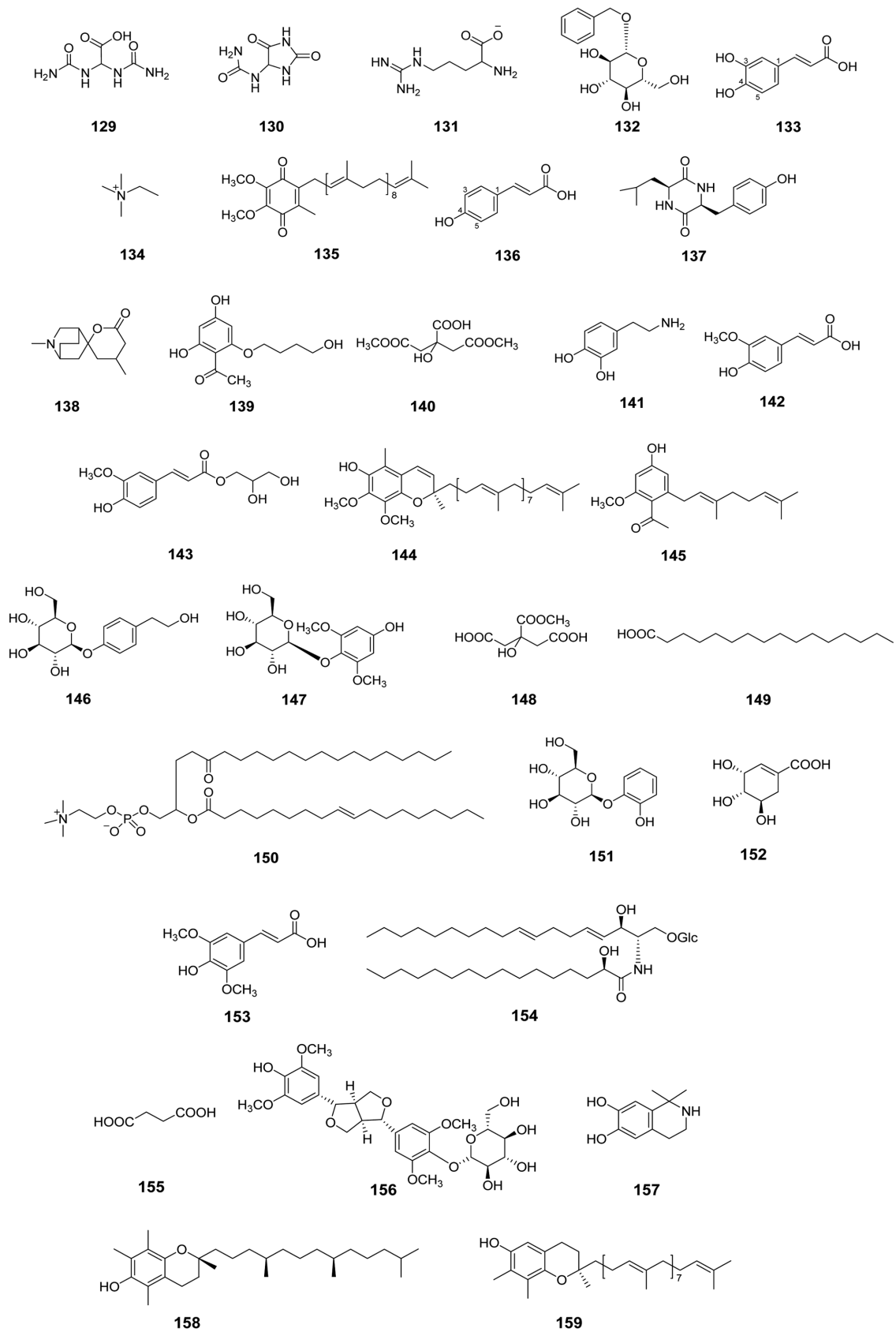


Fig. 9. Miscellaneous compounds from *Dioscorea* species.

**Table I.** Compounds from *Dioscorea* species (1951~2008)

Compound number	Compound name	Species (ref.)	
		Underground part	Aerial part
<b>Batatasins</b>			
1	batatasin I(6-hydroxy-2,4,7-trimethoxyphenanthrene)	<i>D. batatas</i> (13), <i>D. opposita</i> (15)	<i>D. bulbifera</i> (79), <i>D. alata</i> (79), <i>D. opposita</i> (79)
2	batatasin II(2,3-dihydroxy-4,5-dimethoxybibenzyl)	<i>D. batatas</i> (13), <i>D. opposita</i> (16)	<i>D. alata</i> (79), <i>D. opposita</i> (79)
3	batatasin III(3,3'-dihydroxy-5-methoxybibenzyl)	<i>D. batatas</i> (13), <i>D. opposita</i> (17), <i>D. alata</i> (18)	<i>D. opposita</i> (79)
4	batatasin IV(2',3-dihydroxy-5-methoxybibenzyl)	<i>D. batatas</i> (14), <i>D. opposita</i> (17), <i>D. alata</i> (18)	<i>D. opposita</i> (79)
5	batatasin V(2'-hydroxy-3,4,5-trimethoxybibenzyl)	<i>D. batatas</i> (14)	<i>D. opposita</i> (79)
<b>Plant hormones</b>			
6	abscisic acid	<i>D. batatas</i> (26), <i>D. japonica</i> (23)	<i>D. batatas</i> (26)
7	gibberellin A(1)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21)	
8	gibberellin A(4)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21)	
9	gibberellin A(9)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21)	
10	gibberellin A(12)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21)	
11	gibberellin A(15)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21)	
12	gibberellin A(19)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21), <i>D. japonica</i> (23), <i>D. bulbifera</i> (24), <i>D. nipponica</i> (25)	
13	gibberellin A(20)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21), <i>D. japonica</i> (23)	
14	gibberellin A(24)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21), <i>D. japonica</i> (23), <i>D. bulbifera</i> (24), <i>D. nipponica</i> (25)	
15	gibberellin A(36)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (21)	
16	gibberellin A(44)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (22)	
17	gibberellin A(53)	<i>D. batatas</i> (20), <i>D. opposita</i> (22), <i>D. japonica</i> (23), <i>D. nipponica</i> (25)	
18	7'-hydroxyabscisic acid	<i>D. japonica</i> (27)	
<b>Sterols</b>			
19	campesterol	<i>D. batatas</i> (28), <i>D. tokoro</i> (29)	
20	cholestanol	<i>D. batatas</i> (28)	
21	cholest-8(14)-enol	<i>D. batatas</i> (28)	
22	cholesterol	<i>D. batatas</i> (28), <i>D. tokoro</i> (29)	<i>D. batatas</i> (80)
23	clerosterol	<i>D. batatas</i> (28)	
24	daucosterol	<i>D. opposita</i> (30), <i>D. bulbifera</i> (31)	<i>D. opposita</i> (77)
25	(24 <i>S</i> )- $\alpha$ -ethylcholestanol	<i>D. batatas</i> (28)	
26	(24 <i>R</i> )- $\alpha$ -ethylcholest-8(14)-enol	<i>D. batatas</i> (28)	
27	3- <i>O</i> - $\beta$ -D-glucopyranosyl- $\beta$ -sitosterol	<i>D. bulbifera</i> (32)	
28	isofucosterol	<i>D. batatas</i> (28)	
29	lathosterol	<i>D. batatas</i> (28)	
30	(24 <i>R</i> )- $\alpha$ -methylcholestanol	<i>D. batatas</i> (28)	
31	(24 <i>S</i> )- $\beta$ -methylcholestanol	<i>D. batatas</i> (28)	
32	(24 <i>R</i> )- $\alpha$ -methylcholest-8(14)-enol	<i>D. batatas</i> (28)	
33	(24 <i>S</i> )- $\beta$ -methylcholest-8(14)-enol	<i>D. batatas</i> (28)	
34	(24 <i>S</i> )- $\beta$ -methylcholesterol	<i>D. batatas</i> (28)	
35	24-methylenecholesterol	<i>D. batatas</i> (28)	
36	24-methylene-25-methylcholesterol	<i>D. batatas</i> (28)	
37	$\beta$ -sitosterol	<i>D. batatas</i> (28), <i>D. tokoro</i> (29), <i>D. opposita</i> (30)	<i>D. bulbifera</i> (78), <i>D. batatas</i> (80)

Table I. Continued

Compound number	Compound name	Species (ref.)	
		Underground part	Aerial part
38	6'-stearoyl-3-O- $\beta$ -D-glucopyranosyl- $\beta$ -sitosterol	<i>D. bulbifera</i> (32)	
39	stigmasterol	<i>D. batatas</i> (28), <i>D. tokoro</i> (29)	<i>D. batatas</i> (80)
Flavonoids and anthocyanins			
40	alatanin A	<i>D. alata</i> (33)	
41	alatanin B	<i>D. alata</i> (33)	
42	alatanin C	<i>D. alata</i> (33)	
43	alternanthin	<i>D. opposita</i> (77)	
44	anthocyanin	<i>D. batatas</i> (26), <i>D. bulbifera</i> (76, 78), <i>D. alata</i> (76)	
45	caryatin	<i>D. bulbifera</i> (38)	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76), <i>D. alata</i> (76)
46	(+)-catechin	<i>D. bulbifera</i> (38), <i>D. alata</i> (36)	
47	chrysoeriol 4'-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. opposita</i> (77)	
48	chrysoeriol 7-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. opposita</i> (77)	
49	cyanidin 3,5-diglucoside	<i>D. alata</i> (34)	
50	cyanidin 3-O-gentiobioside	<i>D. alata</i> (35)	
51	cyanidin 3-glucoside	<i>D. alata</i> (34)	
52	cyanidin 3-O-(4''-O-sinapylgentiobioside)	<i>D. alata</i> (35)	
53	kaempferol	<i>D. bulbifera</i> (39, 76), <i>D. opposita</i> (76)	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76)
54	kaempferol 3,5-dimethylether	<i>D. bulbifera</i> (38)	
55	myricetin	<i>D. bulbifera</i> (38)	
56	myricetin 3-O- $\beta$ -D-galactopyranoside	<i>D. bulbifera</i> (38)	
57	myricetin 3-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. bulbifera</i> (38)	
58	peonidin 3-O-(4''-O-sinapylgentiobioside)	<i>D. alata</i> (35)	
59	procyanidin B1	<i>D. alata</i> (36)	
60	procyanidin B3	<i>D. alata</i> (36)	
61	quercetin	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. alata</i> (76)	
62	quercetin 3-O- $\beta$ -D-galactopyranoside	<i>D. bulbifera</i> (38)	
63	quercetin 3-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. bulbifera</i> (38)	
Bibenzyls and phenanthrenes			
64	9,10-dihydro-2,5-dihydroxy-7-methoxyphenanthrene	<i>D. opposita</i> (17)	
65	dihdropynosylvin	<i>D. bulbifera</i> (18), <i>D. batatas</i> (41)	
66	9,10-dihydro-2,4,6,7-tetrahydroxyphenanthrene	<i>D. bulbifera</i> (40)	
67	2',4-dihydroxy-3,5-dimethoxybibenzyl	<i>D. opposita</i> (17)	
68	2,7-dihydroxy-3,5-dimethoxyphenanthrene	<i>D. opposita</i> (17)	
69	2,7-dihydroxy-4,6-dimethoxyphenanthrene	<i>D. batatas</i> (41)	
70	6,7-dihydroxy-2,4-dimethoxyphenanthrene	<i>D. batatas</i> (41)	
71	3,5-dihydroxy-4-methoxybibenzyl	<i>D. opposita</i> (17)	
72	6,7-dihydroxy-2-methoxy-1,4-phenanthrenedione	<i>D. opposita</i> (74)	
73	3,4-dimethoxy-2'-hydroxybibenzyl	<i>D. opposita</i> (17)	
74	hircinol	<i>D. opposita</i> (17)	
75	2'-hydroxy-3,5-dimethoxybibenzyl	<i>D. batatas</i> (41)	
76	3-hydroxy-5-methoxybibenzyl	<i>D. batatas</i> (41)	
77	2,4,5,6-phenanthrenetetrol	<i>D. bulbifera</i> (40)	
78	2,3,5-trihydroxybibenzyl	<i>D. bulbifera</i> (18), <i>D. opposita</i> (17)	
79	3,4',5-trihydroxybibenzyl	<i>D. bulbifera</i> (12)	
80	3,3',5-trihydroxy-2'-methoxybibenzyl	<i>D. opposita</i> (17)	

Table I. Continued

Compound number	Compound name	Species (ref.)	
		Underground part	Aerial part
81	3,4,6-trihydroxyphenanthrene-3- <i>O</i> - $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. opposita</i> (30)	
82	tristin (3,5,4'-trihydroxy-3'-methoxybibenzyl)	<i>D. opposita</i> (17), <i>D. bulbifera</i> (39)	
Steroidal saponins			
83	3 $\beta$ ,26-dihydroxy-furostan-5(6),20(22)-diene-26- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. nipponica</i> (50)	
84	dioscin	<i>D. batatas</i> (42), <i>D. nipponica</i> (45)	
85	diosgenin	<i>D. japonica</i> (43), <i>D. nipponica</i> (44), <i>D. tokoro</i> (29), <i>D. alata</i> (46)	<i>D. tokoro</i> (81, 82)
86	diosgenin 3- <i>O</i> - $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. tokoro</i> (49)	
87	diosgenin 3- <i>O</i> -{ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 2)-[ $\beta$ -D-glucopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 3)]}- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. nipponica</i> (52)	
88	diosgenin 3- <i>O</i> -[ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 3)-[ $\beta$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)- $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)]- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. nipponica</i> (52)	
89	26- <i>O</i> - $\beta$ -D-glucopyranosyl-3 $\beta$ ,20 $\alpha$ ,26-triol-25( <i>R</i> )-5,22-dienofurostan-3- <i>O</i> - $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 2)-[ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl(1 $\rightarrow$ 4)]- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. nipponica</i> (51)	
90	19-hydroxyyonogenin	<i>D. tokoro</i> (84)	
91	igagenin	<i>D. tokoro</i> (29, 97)	
92	isodiotigenin	<i>D. tokoro</i> (29)	<i>D. tokoro</i> (81, 82, 85, 86)
93	kogagenin	<i>D. tokoro</i> (29)	<i>D. tokoro</i> (82)
94	methyl protodioscin	<i>D. tokoro</i> (45)	
95	pennogenin 3- <i>O</i> - $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 2)-[ $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 3)]- $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. bulbifera</i> (47)	
96	protoneoyonogenin	<i>D. tokoro</i> (83)	
97	protoyonogenin	<i>D. tokoro</i> (83)	
98	pseudoprotodioscin	<i>D. tokoro</i> (45)	
99	tokorogenin	<i>D. tokoro</i> (29)	<i>D. tokoro</i> (82, 85, 86)
100	yonogenin	<i>D. tokoro</i> (29)	<i>D. tokoro</i> (82, 85, 86)
Diterpenes			
101	bafoudiosbulbin A	<i>D. bulbifera</i> (55)	
102	bafoudiosbulbin B	<i>D. bulbifera</i> (55)	
103	bafoudiosbulbin C	<i>D. bulbifera</i> (32)	
104	bafoudiosbulbin D	<i>D. bulbifera</i> (32)	
105	bafoudiosbulbin E	<i>D. bulbifera</i> (32)	
106	bafoudiosbulbin F	<i>D. bulbifera</i> (39)	
107	bafoudiosbulbin G	<i>D. bulbifera</i> (39)	
108	diosbulbin A	<i>D. bulbifera</i> (59)	
109	diosbulbin B	<i>D. bulbifera</i> (59)	
110	diosbulbin C	<i>D. bulbifera</i> (59)	
111	diosbulbin D	<i>D. bulbifera</i> (60)	
112	diosbulbin E	<i>D. bulbifera</i> (60)	
113	diosbulbin F	<i>D. bulbifera</i> (60)	

Table I. Continued

Compound number	Compound name	Species (ref.)	
		Underground part	Aerial part
114	diosbulbin G	<i>D. bulbifera</i> (60)	
115	diosbulbin H	<i>D. bulbifera</i> (60)	
116	diosbulbinoside D	<i>D. bulbifera</i> (62)	
117	diosbulbinoside F	<i>D. bulbifera</i> (62)	
118	8-epidiosbulbin E acetate	<i>D. bulbifera</i> (61)	
119	13 $\beta$ -furan-11-keto-apian-3(4),8-dien-(20,6)-olide	<i>D. bulbifera</i> (63)	
120	3 $\alpha$ -hydroxy-13 $\beta$ -furan-11-keto-apian-8-dien-(20,6)-olide	<i>D. bulbifera</i> (63)	
121	7 $\alpha$ -methoxy-13 $\beta$ -furan-11-keto-apian-3(4),8-dien-(20,6)-olide	<i>D. bulbifera</i> (63)	
Xanthophylls			
122	auroxanthin		<i>D. batatas</i> (78)
123	cryptoxanthin		<i>D. batatas</i> (78)
124	lutein		<i>D. batatas</i> (78)
125	neoxanthin		<i>D. batatas</i> (78)
126	violaxanthin		<i>D. batatas</i> (78)
127	zeaxanthin		<i>D. batatas</i> (78)
Miscellaneous			
128	adenosine	<i>D. opposita</i> (73)	
129	allantoic acid	<i>D. batatas</i> (56)	
130	allantoin	<i>D. batatas</i> (56)	
131	arginine	<i>D. opposita</i> (72)	
132	benzyl 1- <i>O</i> - $\beta$ -D-glucopyranoside	<i>D. nipponica</i> (75)	
133	caffeic acid	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76), <i>D. alata</i> (76)	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76), <i>D. alata</i> (76)
134	choline	<i>D. opposita</i> (72)	
135	coenzyme Q9	<i>D. alata</i> (37)	
136	<i>p</i> -coumaric acid	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76), <i>D. alata</i> (76)	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76), <i>D. alata</i> (76)
137	cyclo-(Leu-Tyr)	<i>D. nipponica</i> (75)	
138	dihydrodioscorine	<i>D. bulbifera</i> (71)	
139	4,6-dihydroxy-2- <i>O</i> -(4'-hydroxybutyl)acetophenone	<i>D. bulbifera</i> (70)	
140	1,5-dimethylcitrate	<i>D. opposita</i> (74)	
141	dopamine		<i>D. batatas</i> (87)
142	ferulic acid	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76), <i>D. alata</i> (76)	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76), <i>D. alata</i> (76)
143	1-feruloylglycerol	<i>D. alata</i> (37)	
144	hydro-Q9 chromene	<i>D. alata</i> (37)	
145	4-hydroxy-(2-trans-3',7'-dimethyl-octa-2',6'-dienyl)-6-methoxyacetophenone	<i>D. bulbifera</i> (70)	
146	icariside D2	<i>D. nipponica</i> (75)	

Table I. Continued

Compound number	Compound name	Species (ref.)	
		Underground part	Aerial part
147	leonuriside A	<i>D. nipponica</i> (75)	
148	6-methylcitrate	<i>D. opposita</i> (73)	
149	palmitic acid	<i>D. opposita</i> (73)	
150	palmitoyloeoylephosphatidylcholine	<i>D. opposita</i> (72)	
151	pyrocatechol 1-O-β-D-glucopyranoside	<i>D. nipponica</i> (75)	
152	shikimic acid	<i>D. bulbifera</i> (31)	
153	sinapic acid	<i>D. bulbifera</i> (76)	<i>D. bulbifera</i> (76), <i>D. opposita</i> (76)
154	soyacerebroside I	<i>D. opposita</i> (73)	
155	succinic acid	<i>D. bulbifera</i> (31)	
156	(+)-syringaresinol-4-O-β-D-glucopyranoside	<i>D. nipponica</i> (75)	
157	1,2,3,4-tetrahydro-1,1-dimethyl-6,7-isoquinolinediol		<i>D. batatas</i> (87)
158	(+)-α-tocopherol	<i>D. alata</i> (37)	
159	γ-tocopherol-9	<i>D. alata</i> (37)	

dioscorin에 대하여 hydroxyl radical ( $\cdot\text{OH}$ )과 superoxide anion radical ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) 소거 활성을 검색한 결과,  $\cdot\text{OH}$ 에 대해서  $\text{IC}_{50}=195.1 \mu\text{g/ml}$ ,  $\cdot\text{O}_2^-$ 에 대하여  $\text{IC}_{50}=92.7 \mu\text{g/ml}$ 로 dioscorin이 항산화능이 있음을 증명하였다.<sup>66)</sup>

*D. batatas*와 *D. alata*에서 DE-52 이온교환 크로마토그래피법을 이용하여 분리한 28 kDa의 dioscorin에 대하여 DPPH 라디칼 소거 효과,  $\cdot\text{OH}$  저해능, 환원력 및 항지질과산화능을 비교 시험한 결과, 농도 의존적으로 DPPH 라디칼 소거 효과가 있었으며 이를 100°C에서 5분간 가열했을 경우 *D. batatas*의 dioscorin은 40 nmol의 농도에서 46%→34%로 활성이 떨어졌고 *D. alata*의 dioscorin은 56%→59%로 활성이 증가하였다. Hydroxyl radical에 대해서는 17.9 nmol에서 40%에 해당하는 소거활성을 보였고 100°C에서 5분간 가열했을 경우 *D. batatas*와 *D. alata*의 dioscorin은 각각 48% 및 62%로 그 활성이 향상됨을 보였다. 환원력은 *D. alata*의 dioscorin (17.9 nmol)이 같은 농도의 글루타치온에 비하여 높았으며, *D. alata*와 *D. batatas*로부터 분리한 5  $\mu\text{g}$ 의 dioscorin을 각각 리놀렌산에 전처리한 뒤 12시간 후 항지질과산화능을 측정된 결과, 처리하지 않은 대조군에 비해 각각 약 15.6배 및 8.3배의 지질 과산화 지연 효과가 관찰되었다.<sup>90)</sup>

*D. nipponica*를 물 및 에탄올 두 가지 용매로 추출하여 분리한 점액질 다당류에 대해  $\cdot\text{OH}$ ,  $\cdot\text{O}_2^-$  및 1,2,3-phentriol 자가 산화 저해능을 시험하였다. 결과적으로 물 열탕 추출물보다 에탄올 추출물에서 얻은 점액질 다당류의 라디칼 소거능이 더 뛰어났으며, 이는 에탄올 추출물의 항산화능이 물 추출물보다 더 뛰어나다는 Chung 등<sup>85)</sup>의 결과와도 상응

하였다.<sup>91)</sup>

Hou 등은 *D. batatas*로부터 점액질 당단백질을 SDS와 가열처리를 통하여 분리·정제하여 이에 대한 항산화능, 환원력 및 butylated hydroxytoluene (BHT)를 이용한 LDL 과산화 억제 반응을 시험하였다. 그 결과 DPPH radical 소거능은  $\text{IC}_{50}=0.9 \text{ mg/ml}$ 로, anti-DPPH radical capacity는 BHT의 1/290 또는 글루타치온의 1/125배로 나타났다. 한편 hydroxyl radical은 20~200  $\mu\text{g/ml}$ 의 농도 범위에서 25.8~66.0%의 억제 활성을 나타냈으며  $\text{IC}_{50}$  수치는 22  $\mu\text{g/ml}$ 였다. 환원력은 10, 25, 50 및 100  $\mu\text{g/ml}$ 의 농도에서 시행하였는데 글루타치온의 1/20배, LDL 과산화 억제 반응은  $\text{IC}_{50} = 145.5 \mu\text{g/ml}$ 였다.<sup>92)</sup>

서로 다른 세 곳에서 재배한 *D. alata*의 정제 또는 정제하지 않은 mucilage에 대한 DPPH radical,  $\cdot\text{OH}$  및  $\cdot\text{O}_2^-$  소거능을 비교 시험하였다. 정제한 *D. alata*의 mucilage는 각각  $\text{IC}_{50}=0.3, 0.5$  및  $0.8 \text{ mg/ml}$ 의 DPPH radical 소거능을 보였으며, 정제하지 않은 mucilage의  $\text{IC}_{50}$ 치는 각각 0.3, 0.7 및  $0.7 \text{ mg/ml}$ 였다. 또한  $\cdot\text{OH}$  소거 시험에서는 정제한 mucilage가 각각 0.7, 1.5 및  $0.9 \text{ mg/ml}$ , 정제하지 않은 mucilage는 각각 1.1, 1.1 및  $1.5 \text{ mg/ml}$ 의  $\text{IC}_{50}$ 치를 나타냈으며 superoxide 소거능은 정제한 mucilage가 0.8, 0.7 및  $0.1 \text{ mg/ml}$ , 정제하지 않은 mucilage가 0.4, 0.3 및  $0.1 \text{ mg/ml}$ 의  $\text{IC}_{50}$ 치를 보였다. 이를 통해 재배지가 서로 다른 세 종류의 *D. alata*가 각각 다른 항산화 활성을 나타내며, 정제과정이 *D. alata*에서 추출한 mucilage의 항산화력을 부분적으로 증가시키는 것으로 확인되었다.<sup>93)</sup>

네팔에서 자생하는 4가지 마속 식물(*D. bulbifera*, *D.*

*versicolor*, *D. deotoidea* 및 *D. triphylla*)을 대상으로 한 Bhandari 등의 연구에서 *D. bulbifera*의 총 다가페놀량은 주피를 제거한 덩이줄기 100 g 중 13~166 mg으로, 포함된 다가페놀은 강력한 DPPH radical 소거능(10 mg/ml 농도에서 >90%의 소거능)과 ferrous ion chelation (40 mg/ml 농도에서 >80%의 chelation 활성), 유해 활성산소종에 대한 환원력을 가지는 것으로 나타났으며, 총 항산화 활성은 4가지 미숙 식물 중 *D. bulbifera*가 가장 높았다(40 mg/ml 농도에서 >80%의 항산화 활성).<sup>94)</sup> *D. opposita*의 지상부의 에탄올 추출물에 포함된 플라보노이드 배당체들도 항산화 활성을 나타냈다.<sup>77)</sup>

**위장관 기능 강화 작용** – 동결 건조한 *D. japonica*를 사료에 각각 25% 및 50%의 비율로 배합하여 6주된 수컷 Balb/c 쥐에 3주간 먹인 후 위장관 기능 강화 효과를 관찰하였다. 25% 및 50% 흡수군 모두 미소용모층의 길이 및 세포 밀도를 증가시키는데 반해 소용모층의 폭은 18% 감소시켰다. 소장 brush-border leucine aminopeptidase 활성을 관찰한 결과, 25% 및 50%의 비율로 배합된 *D. japonica* 식이로 인하여 그 활성이 30% 가까이 증가하였다. 반면 sucrase 활성은 25%의 *D. japonica* 식이군에서는 40%, 50% 식이군에서는 50%로 감소하였다. 또한 50%의 *D. japonica* 식이군에서는 maltase 활성이 두 배 이상 증가하여 전체적으로 *D. japonica*가 위장관 기능에 도움이 됨을 암시하였다.<sup>95)</sup>

*D. alata*를 각각 25% 및 50% 배합한 사료를 수컷 Balb/c 쥐에 3주간 먹인 후 대장관에 미치는 영향을 시험하였다. 25% 및 50% 두 군 모두 대변으로 배출되는 장내 세균총의 농도가 각각 10배, 100배 증가하였으며 대변 중 bifidobacteria 역시 유의성 있게 증가하였으나 *Clostridium perfringens*의 수는 감소하였다. 25%의 *D. alata* 식이군의 경우 *n*-butyrate 농도만 증가한 반면 50% 식이군에서는 *n*-butyrate 및 총 짧은 사슬 지방산(short chain fatty acids, SCFA)이 모두 증가하였다. 두 군 모두 대변량과 대변으로 배출되는 acetate, propionate, *i*-butyrate 및 SCFA 양이 증가하였고 형태학적으로 맹장 점막이 두터워졌다. 이를 통해 *D. alata*의 현저한 대장 기능 개선 효과를 확인하였다.<sup>96)</sup>

*D. batatas*의 40% 에탄올 추출물을 Sprague-Dawley 쥐에 경구 투여한 뒤 30분 후에 위장관 변화를 살펴보았다. *D. batatas* 추출물을 투여한 쥐에서 위산 분비가 줄어들었으며 위장관 운동성이 10% 증가하였다. *D. batatas* 추출물을 투여하지 않은 군에 비하여 투여한 군의 경우 대변량이 40% 증가하였으나 소장내 세균총 수에는 변화가 없었다. 그러나 2%의 *D. batatas* 추출물을 6주간 투여하였을 경우 lactose-fermenting bacteria가 현저히 증가하였으며 이는 *D. batatas* 추출물이 소화촉진작용 뿐만 아니라 일부 장내 세균총을 유익한 세균으로 전환시키는 작용도 하고 있음을 보여주는 결과였다.<sup>97)</sup>

**항염작용** – 김 등은 류마티스 관절염의 유행막 세포(human fibroblast-like synovial cells, hFLSCs)를 대상으로 *D. tokoro*가 proinflammatory cytokines 발현에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 정상세포의 IL-1 $\beta$  및 TNF- $\alpha$ 가 22.9%, 마추출물을 처리하지 않은 hFLSCs의 싸이토카인 발현이 100.0%일 때 *D. tokoro* 메탄올 추출물을 각각 10, 100  $\mu$ g/ml을 투여한 경우 각각 77.0%, 64.0%로 증식이 저해되었음을 확인할 수 있었으며, 100  $\mu$ g/ml의 농도에서 IL-1 $\beta$  및 TNF- $\alpha$ 를 유의성있게 감소시켰다. 또한 *D. tokoro*의 메탄올 추출물은 IL-1 $\beta$  및 TNF- $\alpha$ 에 의해 활성화되는 hFLSCs의 COX-2 및 iNOS의 발현을 감소시켰으며, 활성산소종의 생성을 감소시켰다. 이를 통해 *D. tokoro*가 퇴행성 관절염을 포함한 염증성 질환에 효과적으로 사용될 수 있을 것이라 예상할 수 있게 하였다.<sup>98)</sup>

*D. batatas*로부터 추출한 탄수화물(61%)과 단백질(39%)로 구성된 당단백질(30 kDa)에 대한 항염 활성 평가를 실시한 결과, *D. batatas*의 당단백질을 lipopolysaccharide (LPS)로 산화환경을 유도한 RAW 264.7 세포에 전처리한 경우 세포내 hydrogen peroxide의 생성, p38 MAP kinase의 인산화 및 activator protein-1 (AP-1)의 활성화를 억제하였다. 또한 *D. batatas*의 당단백질은 proinflammatory cytokine (IL-1 $\beta$ , IL-6)과 iNOS의 발현을 유의성 있게 감소시켰으며 NO의 생성을 현저히 감소시켜 *D. batatas*의 당단백질이 proinflammatory signal transduction cascade suppression에 매우 유효함을 밝혔다.<sup>99)</sup>

**항진균/박테리아 작용** – *D. batatas*로부터 분리한 4종의 bibenzyl과 3종의 phenanthrene에 대해 항진균/항박테리아 활성을 시험하였다. *Agrobacterium tumefaciens*, *Alternaria japonica*, *Bacillus subtilis*, *Botrytis alli*, *Calonecteria graminicola*, *Fusarium solani* 및 *Pyricularia oryzae*에 대해 bibenzyl 모핵을 가진 batatasin IV (2',3-dihydroxy-5-methoxybibenzyl) (4), dihydropinoslin (65), 2'-hydroxy-3,5-dimethoxybibenzyl (75) 및 3-hydroxy-5-methoxybibenzyl (76)은 저농도인 25 ppm에서도 활성을 보인 반면, phenanthrene 모핵을 가진 batatasin I (6-hydroxy-2,4,7-trimethoxyphenanthrene) (1), 2,7-dihydroxy-4,6-dimethoxyphenanthrene (69) 및 6,7-dihydroxy-2,4-dimethoxyphenanthrene (70)은 고농도(100 ppm)에서만 활성이 나타났다. 한편 *Pseudomonas cichorii*, *P. solanacearum* 및 *Xanthomonas campestris*에 대해서는 7개 성분 모두 활성이 미미하였다.<sup>41)</sup>

*D. bulbifera*의 에틸아세테이트층에서 bibenzyl 모핵을 가진 2개의 성분 [demethylbatatasin IV (2',3,5-trihydroxybibenzyl) (78), dihydroresveratrol (3,4,5-trihydroxybibenzyl) (79)]을 분리하였다. Demethylbatatasin IV (78)는 *A. niger*, *Bacterium theobromae*, *Cladosporium cladosporioides* 및 *P. sclerotigenum*에 대해 항진균 활성을, *B. cereus*

(MIC=100 µg/ml), *Escherichia coli* (MIC=50 µg/ml), *P. aeruginosa* (MIC=10 µg/ml) 및 *Serratia aureus* (MIC=50 µg/ml)에 대해 항박테리아 활성을 나타냈으며, 3,4',5-trihydroxybibenzyl (79)은 *C. cladosporioides* (MIC=50 µg/ml)와 *Trichophyton mentayophytes* (MIC=1000 µg/ml)에 대해서는 항진균 활성을 보였으나 *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Botryodiplodia theobromae* 및 *Candida albicans*에 대해서는 활성을 보이지 않았다. 또한 *E. coli* (MIC=1000 µg/ml), *S. marcescens* (MIC=50 µg/ml) 및 *Staphylococcus aureus* (MIC=50 µg/ml)에 대하여 항박테리아 작용을 하였으나 *B. subtilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris* 및 *P. aeruginosa*에 대한 활성은 없었다.<sup>12)</sup> *D. bulbifera*의 디클로로메탄추출물로부터 분리한 두 개의 clerodane diterpenoid [bafoudiosbulbin A (101), bafoudiosbulbin B (102)]의 *E. coli*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *Salmonella typhi*, *S. paratyphi A*, *S. paratyphi B* 및 *S. aureus*에 대한 항박테리아 활성을 검색한 결과, *P. aeruginosa*, *S. typhi*, *S. paratyphi A* 및 *S. paratyphi B*에 대한 저해 활성이 뛰어난 것으로 나타났다.<sup>47)</sup>

*D. alata*의 껍질에서 분리한 β-sitosterol (37) 역시 *Fusarium moniliforme*에 대해 항진균 효과를 나타내었다.<sup>100)</sup>

**혈당강화작용** - 고혈당증(hyperglycemia)은 혈장중의 포도당 농도가 비정상적으로 상승한 상태를 말하며 일반적으로 당뇨병환에서 흔히 관찰되는 대표적인 증상으로 음식의 섭취, 갑상선 및 췌장의 이상, 외과적 수술 등에 의해서도 일시적으로 혈당이 상승할 수 있는 것으로 알려져 있다. 고혈당증이 지속되면 상처 치료가 지연되고 백혈구의 기능에 이상이 오며 당뇨병성케톤산증, 비케톤산증성 고삼투성 혼수가 유발되기도 한다. 마속 식물의 혈당강화작용으로는 마속 식물에서 분리한 다당류인 dioscoran 및 그 추출물을 대상으로 한 활성이 보고되었다.

*D. batatas*와 *D. japonica*를 각각 50% 메탄올로 추출하여 정상 쥐에 복강 투여하였을 때 *D. japonica*는 산지에 따라 대조군 혈당의 56%까지, *D. batatas*는 73%까지 혈당을 감소시켰다. *D. japonica* 추출물에 에탄올을 가하여 생성된 침전으로부터 분리한 다당류인 dioscoran A, dioscoran B, dioscoran C, dioscoran D, dioscoran E 및 dioscoran F를 정상 쥐에 각각 10, 30 및 100 mg/kg 복강 주사한 뒤 7시간, 24시간 후에 혈당을 측정 한 결과, 6개의 성분 중 dioscoran C를 100 mg/kg 투여한 군의 혈당치가 대조군의 49% (7시간 후), 64% (24시간 후)까지 감소하는 것을 확인하였다. 가장 활성이 좋은 dioscoran C를 다시 alloxan 유도 당뇨 쥐에 10, 30 및 100 mg/kg 복강 주사하여 역시 7시간, 24시간 후에 혈당을 측정 한 결과, 대조군의 35% (30 mg/kg, 7시간 후)까지 혈당이 감소하였다.<sup>69)</sup>

*D. opposita* 80% 에탄올 추출물을 dexamethasone 유도

당뇨 쥐에 각각 75, 150 및 300 mg/kg씩 2주간 경구투여한 후 혈당과 혈중 인슐린 농도를 측정하였다. 가장 활성이 좋은 75 mg/kg 투여군의 혈중 인슐린 농도는 정상군의 6배 이상 증가하였으며 혈당은 정상군의 66.9%로 감소하였다. 또한 기존 연구를 통해 *D. opposita*추출물이 dexamethasone에 의해 억제된 GLUT4 glucose transporter 발현을 증가시켜 인슐린 작용을 더욱 강화시키는 작용을 하는 것으로 확인되었다.<sup>101)</sup>

**항고지혈증 작용** - 고지혈증(hyperlipidemia)은 혈장내 중성지질 또는 콜레스테롤이 비정상적으로 증가된 상태로 유전적 소인이 있는가 하면 갑상선 기능 저하증, 황달, 신증후군, 당뇨병 등의 2차성 요인도 있다. 식생활의 서구화 또는 다양화로 인해 채식 위주의 식단에서 고칼로리 및 동물성 식품 위주의 식단으로 바뀔 때 따라 따라 그 발병 추이가 점차 증가하고 있으며 전세계적으로 사망의 주요 원인 질환 중 하나이다. 역학조사 또는 실험적 방법에 의하여 식습관이 콜레스테롤 항상성 조절과 연관성이 크다는 사실이 밝혀졌으며, 마속 식물의 당단백질 또는 다당체가 고지혈증 개선에 효과가 있음을 암시하는 실험적 보고도 있다.

*D. japonica*를 사료에 각각 25% 및 50%의 비율로 배합하여 Balb/c 쥐에 3주간 식이 후 혈장과 간, 대변의 콜레스테롤 수치를 정상군과 비교하였다. 그 결과 혈장 내 저밀도 지단백 콜레스테롤, 고밀도 지단백 콜레스테롤 및 총 콜레스테롤 수치와 간의 중성지방 수치가 참마 배합 비율에 비례하여 감소하였으며, 변으로 배설되는 콜레스테롤, 중성지방 및 담즙산은 현저히 증가하여 25% 식이만으로도 충분한 고지혈증 예방 효과를 기대할 수 있었다.<sup>95)</sup>

*D. opposita*로부터 분리한 전분 역시 혈중 지질 농도를 감소시켰다. 4주간 고지방 식이를 한 쥐에 다시 4주간 6.5 g/kg의 농도로 고지방식과 배합한 *D. opposita*의 전분을 먹인 뒤 혈중 콜레스테롤과 중성지방 수치를 비교하였다. 혈중 총 콜레스테롤 수치는 고지방식이 군보다 33.8%, 중성지방은 46.2%, 저밀도 지단백 콜레스테롤은 27.5% 감소하였다. 그러나 고밀도 지단백 콜레스테롤의 수치에는 거의 변화가 없었으며, 함께 시험한 감자 전분은 혈중 지방수치를 감소시켰으나 그 결과가 미미하여 마속 식물의 전분이 감자 전분에 비하여 고지혈증에 효과가 있음을 증명하였다.<sup>102)</sup>

**항고혈압 작용** - 고혈압(hypertension)은 혈압이 정상적인 범위를 벗어나 높게 유지되는 상태를 말하며 만성 순환기계 질환 중 발생빈도가 가장 높은 질환으로 뇌졸중, 심부전, 심근경색, 말초혈관 질환 등 심뇌혈관 질환 등의 합병증을 유발하여 사망에 이르게 하는 원인으로 작용한다. 원인으로서는 비만, 유전, 연령, 영양, 운동, 스트레스 등의 요인이 알려져 있으며 치료방법으로 생활습관의 개선 또는 약물치료 요법이 있으나 일시에 개선 또는 치료가 쉽지 않다. 마속 식물의 혈압강화 활성은 주로 저장형 당단백질인 dioscorin에



의한 효과이며 고혈압을 유도한 쥐에 대한 활성이 보고되었다.<sup>103-105)</sup>

*D. alata*에서 DE-52 ion-exchange chromatography법을 이용해 분리한 dioscorin의 단기 투여 효과를 살펴보기 위해 240~250 g 범위의 10주령 고혈압 유도 쥐에 dioscorin 40 mg/kg을 1회 경구투여 한 뒤 24시간 후 평균 혈압, 수축기 혈압 및 이완기 혈압을 측정하였다. 또한 장기 투여 효과를 살펴보기 위해 250~270 g 범위의 12주령 고혈압 유도 쥐에 같은 농도의 dioscorin을 하루 한 번, 25일간 경구 투여한 뒤 역시 평균 혈압, 수축기 혈압 및 이완기 혈압을 측정하였다. 두 군 모두에서 혈압 강하 효과가 나타났으며 특히 장기 투여 군의 경우 투여 9일째 되는 날 감소한 수축기 혈압은 27.7 mmHg, 이완기 혈압은 28.3 mmHg, 평균 혈압은 27.5 mmHg로 항고혈압제인 captopril을 10 mg/kg 투여했을 때 평균 혈압 감소량(21.5 mmHg)보다 더 높게 나왔다.<sup>103)</sup>

Dioscorin의 angiotensin converting enzyme (ACE)저해 활성을 살펴보기 위해 12.5~750.0 mg/ml의 dioscorin을 전처리 한 후 결과를 확인하였다. N-[3-(2-furyl)acryloyl]-Phe-Gly-Gly (FAPGG)를 기질로 사용하였을 때 20.8~62.5%까지 농도의존적인 ACE 저해 활성을 보였으며 50% 저해농도(IC<sub>50</sub>)는 6.4 μM (7.8 nmol)로 captopril (IC<sub>50</sub>=0.008 μM, 0.01 nmol)에 비해 다소 높게 나타났다. 또한 31.3 μg의 dioscorin을 투여했을 때 K<sub>i</sub> (apparent inhibition constant) 수치가 2.7 μM로 나타나 ACE에 대한 비경쟁적 저해활성이 있음을 알 수 있었다. Pepsin을 이용해 dioscorin을 37°C의 조건에서 최대 32시간까지 가수분해하여 얻은 물질들을 대상으로 ACE 저해 활성을 검색했을 때, 51.3~75.0%의 ACE 저해 활성을 보여 peptide의 크기가 작을수록 ACE 저해활성이 증가함을 확인할 수 있었다.<sup>104)</sup> *D. opposita*에서 분리한 dioscorin 역시 ACE 저해 활성이 있는 것으로 밝혀졌다 (IC<sub>50</sub>=41.1 μg/ml).<sup>105)</sup>

**항암세포독성 작용** - 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate (TPA)에 의해 유도된 mouse epidermal JB6 암 세포 증식에 대해 *D. bulbifera*의 75% 에탄올 추출물과 그 유기용매 분획(클로로포름, 에틸아세테이트, 수포화부탄올) 및 수층의 저해 활성을 살펴보았다. 모든 군에서 암 세포 증식 저해 효과가 나타났으며, 특히 에틸아세테이트와 수포화부탄올 분획을 30 μg/ml로 전처리 하였을 때 유도된 암세포가 대조군 대비 각각 0.0%와 7.4%로 거의 완전하게 암세포 증식이 차단되었다. 50% 저해농도는 *D. bulbifera*의 75% 에탄올 추출물, 클로로포름, 에틸아세테이트, 수포화부탄올 및 물 분획이 각각 5.3, 18.0, 2.6, 4.4 및 25.7 μg/ml로 나타났다.<sup>106)</sup> 이 중 활성이 가장 뛰어난 에틸아세테이트 분획에서 caryatin (45) (IC<sub>50</sub>=3.0 μg/ml), (+)-catechin (46) (IC<sub>50</sub>=13.1 μg/ml), diosbulbin B (109) (IC<sub>50</sub>=91.0 μg/ml), kaempferol 3,5-

dimethyl ether (54) (IC<sub>50</sub>=0.64 μg/ml), myricetin (55) (IC<sub>50</sub>=3.7 μg/ml), myricetin 3-O-β-D-galactopyranoside (56) (IC<sub>50</sub>=9.2 μg/ml), myricetin 3-O-β-D-glucopyranoside (57) (IC<sub>50</sub>=9.2 μg/ml), quercetin 3-O-β-D-galactopyranoside (62) (IC<sub>50</sub>=21.6 μg/ml) 등 8개의 성분을 분리하여 활성을 검색한 결과, diosbulbin B (109)를 제외한 7개의 플라보노이드 성분이 모두 강력한 암 세포 증식 저해 활성을 나타내었다. 구조 활성 상관 관계를 살펴본 결과, 이들 성분들은 모두 C-7과 C-4' 위치에 hydroxy기가 치환되어 있다는 공통점이 있었는데 특히 비당체가 배당체보다 활성이 뛰어났으며 (-)-epicatechin에 비해 (+)-catechin의 효능이 훨씬 강해 화학적 입체 구조가 항암 활성에 영향을 미치는 것으로 예상되었다.<sup>38)</sup> *D. batatas*에서 분리한 점액질 다당류는 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ·O<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO 및 TNF-α의 생산과 myeloperoxidase의 활성을 증가시켜 B16세포에 대해 세포독성을 나타냈다.<sup>107)</sup>

**인지기능강화작용** - 알츠하이머 병(Alzheimer's disease)은 퇴행성 뇌 질환으로 뇌조직의 세포 밖에 아밀로이드 베타(amyloid β)단백질이 침착되어 생기는 노인반 형성이 가장 큰 특징이다.<sup>108)</sup> 최근의 연구에 따르면 amyloid β가 염증반응을 일으킬 때 생성되는 활성산소종이 알츠하이머 병 환자들에서 중요한 영향을 미치며, 이러한 활성산소종을 제거할 수 있는 천연물 유래 다가페놀성 성분들이 알츠하이머 병 치료에 유용하게 작용할 것이라 가설이 제기되었다.<sup>109,110)</sup>

*D. alata*가 기억·학습장애 동물모델(SAMP8)에 미치는 영향을 연구하기 위해 *D. alata*를 동결 건조 또는 고온 건조하여 사료에 10% 비율로 배합한 후 12주간 SAMP8 쥐에 투여하였다. 수동회피시험과 능동회피시험 결과, 두 가지 다른 건조법을 거친 *D. alata*에서 모두 인지기능개선 효과가 나타났으며, 특히 동결 건조한 *D. alata*에서 효과가 컸다. 또한 뇌 시상하부의 형태적 변화와 thiobarbituric acid 활성 등을 살펴본 결과, 동결 건조한 *D. alata*를 먹인 쥐의 시상하부의 thiobarbituric acid 활성이 대조군에 비해 현저히 감소하였으며 뇌공의 형성도 줄어든 것으로 나타났다. 이는 동결 건조 한 *D. alata*가 더 많은 항산화 성분을 함유하기 때문으로 보이며 이와 같은 결과는 동결 건조 *D. alata*의 항산화능이 고온 건조 마보다 크다는 Chung 등<sup>59)</sup>의 결과와도 상응하였다.<sup>111)</sup>

Chan 등은 동결 건조한 *D. alata*의 치매개선 효과를 더욱 명확히 입증하기 위해 사료에 100, 200 및 400 g/kg 비율로 섞여 3주령 수컷 SAMP8에 12주간 먹인 후 4일동안 능동회피시험, 뇌 시상 하부의 amyloid β 침착 여부, monoamine oxidase B (MAO-B) 활성 변화 및 superoxide dismutase activity에 대한 연구를 수행하였다. *D. alata*를 섭취한 세 군 모두 회피 횟수 증가로 인지 기능 향상을 보여 주었으며, 대조군에 비해 amyloid β 침착과 MAO-B 활성이 감소하는

것을 확인할 수 있었다. 세 군 가운데 특히 400 g/kg의 *D. alata* 섭취군의 amyloid  $\beta$  형성 저해가 가장 현저하였는데 이는 고농도로 *D. alata*가 배합된 균일수록 항산화물질을 더욱 많이 함유하고 있기 때문으로 추측되었다.<sup>112)</sup>

*D. opposita*의 인지 기능 강화 작용을 살펴보기 위해 scopolamine 유도 치매 모델 ICR mice를 사용하였다. *D. opposita*를 메탄올로 추출한 후 클로로포름으로 다시 분획하여 단기 투여군과 장기 투여군에 각각 200 mg/kg (1일), 50 mg/kg (10일) 경구 투여한 후 모리스 수중 미로 실험과 수동회피시험을 실시하였다. 두 개의 군 모두 치매유도군 흰쥐 대비 유효한 활성을 보였으며, 특히 단기 고농도 마추출물 전처리 동물에서 높은 기억력 회복 양상이 관찰되었다. 또한 일차 배양한 흰쥐의 대뇌피질 신경세포에 glutamate 및 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 유도 세포독성을 일으킨 후 *D. opposita* 클로로포름 분획을 각각 0.1~10, 1~100  $\mu$ g/ml 농도로 전처리하여 뇌세포 보호 활성을 관찰한 결과, 50  $\mu$ g/ml로 전처리하였을 때 Glutamate와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 유도 세포독성에 대해 각각 99.6% 및 98.8% 보호 효과를 나타냈으며 농도에 비례한 활성을 보였다.<sup>113)</sup> *D. opposita*의 지상부로부터 분리한 플라보노이드 배당체들과 6,7-dihydroxy-2-methoxy-1,4-phenanthrenedione (72) 또한 대뇌 신경질의 lactic dehydrogenase (LDH)와 oxygen and glucose deprivation (OGD)을 감소시켜 이들 성분의 뇌 보호 효과를 짐작할 수 있었다.<sup>77)</sup>

**항비만활성** - 비만이란 다양한 유전적·환경적 요인에 의해 지방조직이 과도하게 축적된 상태를 말하며, 성인형 당뇨, 심혈관계 질환, 암, 골 관절염 등의 질환의 발병과 호흡기계 병변 등의 주된 원인으로 작용하는 현대사회의 대표적인 질환 중 하나이다. *D. nipponica* 메탄올 추출물의 채식지방분해효소에 대한 저해활성을 바탕으로 고지방식이 (beef tallow, 400 g/kg)를 한 Sprague-Dawley 쥐에 대한 *D. nipponica*의 항비만활성을 실험하였다. *D. nipponica*를 40%의 beef tallow를 함유한 고지방사료에 각각 2% 및 5%의 비율로 배합하여 8주간 먹인 후 결과를 살펴보았다. 5%의 *D. nipponica* 혼합 고지방 식이군의 경우 2주째부터 약 50 g 가량의 체중감소효과가 나타났으며, 대변으로 배출되는 지방은 2배 이상 증가하였다. 8주 식이 후 혈장 내 저밀도 지단백 콜레스테롤, 고밀도 지단백 콜레스테롤 및 중성지방 농도 변화를 관찰한 결과, 2%와 5% 식이군 모두에서 저밀도 지단백 콜레스테롤과 중성지방의 농도가 감소한 반면 고밀도 지단백 콜레스테롤 수치는 5~6 mg/dl 증가하여 *D. nipponica*의 항비만 활성을 확인할 수 있었다.<sup>114)</sup>

**유사 에스트로겐 활성** - 마속 식물은 예로부터 여성의 폐경기 장애를 완화시켜 유방암, 기타 심혈관계 질환의 위험을 감소시키려는 목적으로 널리 사용되어 왔다. 마속 식물의 섭취가 폐경기 여성에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 건강한 24명의 폐경기 여성을 대상으로 *D. alata*를 이용한

임상시험이 진행되었다. 30일간 하루 세끼의 식사 중 두 끼의 식사를 각각 390 g의 알라타마로 대체한 후 성호르몬의 변화를 관찰한 결과, 혈장 내 에스트론은 26%, 성호르몬 결합 글로불린은 9.5%, 에스트라디올은 일반식이군의 27%까지 증가함을 확인하였다.<sup>115)</sup> 또한 *D. alata*에서 분리한 hydro-Q9 chromene (144),  $\gamma$ -tocopherol-9 (159), (+)- $\alpha$ -tocopherol (158), coenzyme Q9 (135), 1-feruloylglycerol (143) 등 다섯 개의 성분이 에스트로겐 수용체 알파와 베타를 활성화시킨다는 연구결과도 있어 *D. alata*의 유사 에스트로겐 작용을 뒷받침 해주는 근거가 되고 있다.<sup>37)</sup>

## 독 성

마는 오랜 세월 식용 작물로 재배, 사용되어 왔으나 독성은 보고된 바가 거의 없다. 다만 마를 섭취하거나 혹은 가루를 흡입하였을 때 또는 단순 접촉 시 사람에게 따라 천식과 비염, 두드러기, 혈관부종과 같은 국소적 호흡기계, 피부 병변이 일어날 수 있다는 보고가 있다. 이는 주로 IgE, IgG4 매개 allergy 반응으로, 마의 추출물의 IgE immunoblot 결과 혈장 내 특이 IgE 와 IgG4 항체가 증가하였으며, 저장성 단백질인 disocorin이 주된 allergy 유발 물질로 밝혀졌다.<sup>116-119)</sup>

## 결 론

마속 식물은 전분, 점액질 다당류, 단백질 등이 풍부하여 한국, 중국, 일본 등지에서 식용 작물로 널리 재배되어 왔다. 한방에서는 뿌리줄기를 그대로 또는 썬서 말려 약용하는데 주로 식욕부진, 소화불량, 설사 등 소화기계 병변을 치료하기 위한 목적으로 사용한다. 최근의 연구에 따르면 마의 지하부 추출물 및 단일 성분이 항산화, 위장관 강화, 항염, 항진균, 항박테리아 작용이 있으며, 또한 혈당강하, 항고지혈증, 항고혈압, 항암 등의 활성이 있어 고혈압, 당뇨, 비만, 동맥경화, 암 등의 성인병 예방과 치료에 효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 뿐만 아니라 다양한 *in vitro* 및 *in vivo* 활성 검색법을 통해 마의 추출물이 인지기능 강화 및 뇌세포 보호 효과가 있음이 규명되어 새로운 항치매 약물로서의 개발 가능성에 대한 기대도 높아지고 있다. 그러나 마는 자연상태에서 종 간의 교배가 활발히 이루어져 연구를 위한 순수한 자생종의 확보가 쉽지 않고, 각 나라마다 종을 구별하는 기준이 달라 식물 표본 자체에 대한 신뢰성이 떨어 진다는 문제점이 있다. 또한 마의 생리활성물질 중 가장 큰 비중을 차지하는 점액질 당단백질 성분들에 대한 추출·정제 방법이 다양하고, 분리된 성분들의 조성과 함량 역시 연구자들에 따라 다르게 보고하고 있어 종간의 효능 차이를 확인하기가 쉽지 않다. 이 같은 문제점에도 불구하고 독성

이 거의 없어 성인병 및 노인성질환 등에 대한 천연물 유래 신약개발 대상으로서의 가능성이 높다는 점은 여전히 마속 식물 연구에 대한 큰 매력으로 작용한다. 실제로 마 추출물을 비롯하여 점액질 단백질과 다당류에 대한 다양한 활성 검증은 끊임없이 이루어지고 있으며, 특정 성분을 분리하여 활성을 규명하고 약리적 기전을 알아내고자 하는 시도 역시 계속되고 있다. 따라서 마속 식물에 대한 연구가 보다 체계적이고 효율적으로 이루어지기 위해서는 먼저 한국, 중국, 일본에 자생하는 마속 식물을 감별 및 구분하는 기준을 통일하는 작업이 필요하다. 또한 동물모델을 대상으로 한 *in vivo* 시험을 지속적으로 수행하여 마의 효능에 대한 신뢰성 있는 자료를 확보함과 동시에 현재까지 동물모델 수준에 머물러 있는 시험을 인체를 대상으로 한 임상시험으로 확대할 필요가 있다. 기존의 활성물질을 응용하여 또 다른 질환에 대한 적용 가능성을 모색하고 새로운 활성성분을 추적하여 이를 천연물 신약개발과 연관시킬 수 있다면 현대의 의약적 용도로써 마속 식물의 활용 가능성은 그만큼 더 크다 볼 수 있겠다.

### 인용문헌

- 이영로 (1996) 한국식물도감, 947-949. 교학사, 서울.
- Flora of Korea Editorial Committee (2007) The Genera of Vascular Plants of Korea, 1336-1338. Academy Publishing Co., 서울.
- 이창복 (1989) 대한식물도감, 814. 향문사, 서울.
- 일연 (2001) 삼국유사, 241. 한국학술정보, 파주.
- 생약학교재편찬위원회 (2007) 생약학, 250-251. 동명사, 서울.
- 배기환 (2001) 한국의 약용식물, 550-551. 교학사, 서울.
- 難波恒雄 (1993) 和漢藥百科圖鑑, 586. 保育社, 大阪.
- 정보섭, 신민교 (1990) 향약대사전, 147-151. 영림사, 서울.
- 相賀徹夫 (1985) 中藥大辭典, 183. 小學館, 東京.
- Akira, A. (1965) Steroidal saponinins contained in Japanese *Dioscorea* spp. *Phytochemistry* **4**: 97-106.
- 이승택, 채영암 (2002) 약용작물재배, 130-136. 향문사, 서울.
- Adesanya, S. A., Ogundana, S. K. and Roberts, M. F. (1989) Dihydrostilbene phytoalexins from *Dioscorea bulbifera* and *D. dumentorum*. *Phytochemistry* **28**: 773-774.
- Hashimoto, T., Hasegawa, K. and Kawarada, A. (1972) Batatasins. New dormancy-inducing substances of yam bulbils. *Planta* **108**: 369-374.
- Hashimoto, T. and Tajima, M. (1978) Structures and synthesis of the growth inhibitors batatasins IV and V, and their physiological activities. *Phytochemistry* **17**: 1179-1184.
- El-Olemy, M. M. and Reisch, J. (1979) Isolation of batatasin I from nondormant bulbils of *Dioscorea opposita*. An improved method for isolation of batatasin I. *Planta Med.* **37**: 67-69.
- Hashimoto, T. and El-Olemy, M. M. (1982) The structure of batatasin II from *Dioscorea opposita* Thunb. *Egypt. J. Pharm. Sci.* **21**: 249-253, *Chem. Abstr.* **98**: 68856.
- Yang, M. H., Yoon, K. D., Chin, Y. -W., Park, J. H. and Kim, J. (2008) Phenolic compounds with radical scavenging and cyclooxygenase-2 inhibitory activities from *Dioscorea opposita*. *Bioorg. Med. Chem.* **17**: 2689-2694.
- Cline, E. I., Adesanya, S. A., Ogundana, S. K. and Roberts, M. F. (1989) Induction of pal activity and dihydrostilbene phytoalexins in *Dioscorea alata* and their plant-growth inhibitory properties. *Phytochemistry* **28**: 2621-2625.
- Yoon, K. D., Yang, M. H., Chin, Y. -W., Park, J. H., Kim, Y. C. and Kim, J. (2007) Phenanthrene derivatives, 3,5-dimethoxyphenanthrene-2,7-diol and batatasin-I, as non-polar standard marker compounds for *Dioscorea Rhizoma*. *Nat. Prod. Sci.* **13**: 378-383.
- Kim, S. K., Shon, T. K., Park, S. Y., Lee, S. C., Eim, H. Y., Sohn, E. Y., Soo, W., Choo, Y. S., Kim, K. U., Lee, I. -J. (2005) Endogenous gibberellins in bulbils of Chinese yam during growth and storage. *Plant Prod. Sci.* **8**: 181-185.
- Tanno, N., Yokota, T., Abe, M. and Okagami, N. (1992) Gibberellins induce the dormancy of bulbils of *Dioscorea opposita* Thunb. *Proceedings of the Plant Growth Regulator Society of America* **19th**: 187-192, *Chem. Abstr.* **119**: 156382.
- Kim, S. -K., Lee, S. -C., Shin, D. -H., Jang, S. -W., Nam, J. -W., Park, T. -S. and Lee, I. -J. (2003) Quantification of endogenous gibberellins in leaves and tubers of Chinese yam, *Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tsukune during tuber enlargement. *Plant Growth Regul.* **39**: 125-130.
- Tanno, N., Nakayama, M., Agatsuma, H., Saito, Y., Abe, M., Okagami, N. and Yokota, T. (1995) Identification of endogenous gibberellins and abscisic-acid from dormant bulbils of *Dioscorea japonica* (Japanese Yam). *Biosci. Biotech. Bioch.* **59**: 952-953.
- Tanno, N., Nakayama, M., Yashima, H., Sunaka, K., Abe, M., Okagami, N. and Yokota, T. (1994) Gibberellins A19 and A24 from yams, *Dioscorea bulbifera*, *D. pentaphylla* and *D. oppositifolia*. *Z. Naturforsch.* **49**: 399-403, *Chem. Abstr.* **121**: 175220.
- Tanno, N., Nakayama, M., Kurosawa, H., Wakatsuki, M., Tanno, M., Abe, M., Okagami, N. and Yokota, T. (1995) Endogenous gibberellins from 3 east-asian stenophora species of the genus *Dioscorea* (Yams). *Z. Naturforsch.* **50**: 193-198, *Chem. Abstr.* **122**: 310717.
- Hashimoto, T., Ikai, T. and Tamura, S. (1968) Isolation of (+)-abscisin II from dormant aerial tubers of *Dioscorea batatas*. *Planta* **78**: 89-92.
- Tanno, N., M. Nakayama, Satoh, Y., Okagami, N. and Yokota, T. (1996) Identification of 7'-hydroxyabscisic acid from dormant bulbils of *Dioscorea japonica*. *Proceedings of the Plant Growth Regulator Society of America* **23rd**: 93-98,

- Chem. Abstr.* **127**: 275386.
28. Akihisa, T., Tanaka, N., Yokota, T., Tanno, N. and Tamura, T. (1991) 5 $\alpha$ -cholest-8(14)-en-3 $\beta$ -ol and three 24-alkyl- $\Delta^{8(14)}$ -sterols from the bulbils of *Dioscorea batatas*. *Phytochemistry* **30**: 2369-2372.
  29. Tomita, Y., Uomori, A. and Minato, H. (1970) Chemical studies on plant tissue cultures. II. Steroidal saponin and sterols in tissue cultures of *Dioscorea tokoro*. *Phytochemistry* **9**: 111-114.
  30. Sautour, M., Mitaine-Offer, A. -C., Miyamoto, T., Miyamoto, H., Wagner, H. and Lacaille-Dubois, M. -A. (2004) A new phenanthrene glycoside and other constituents from *Dioscorea opposita*. *Chem. Pharm. Bull.* **52**: 1235-1237.
  31. Gao, H., Wu, L. and Kuroyanagi, M. (2001) Seven compounds from *Dioscorea bulbifera* L. *Nat. Med.* **55**: 277, *Chem. Abstr.* **136**: 352631.
  32. Teponno, R. B., Tapondjou, A. L., Jung, H. J., Nam, J. -H., Tane, P. and Park, H. -J. (2007) Three new clerodane diterpenoids from the bulbils of *Dioscorea bulbifera* L. var. *sativa*. *Helv. Chim. Acta* **90**: 1599-1605.
  33. Yoshida, K., Kondo, T., Kameda, K., Kawakishi, S., Lubag, A. J. M., Mendoza, E. M. T. and Goto, T. (1991) Structures of alatanin A, B and C isolated from edible purple yam *Dioscorea alata*. *Tetrahedron Lett.* **32**: 5575-5578.
  34. Rasper, V. and Coursey, D. G. (1967) Anthocyanins of *Dioscorea alata*. *Experientia* **23**: 611-612.
  35. Shoyama, Y., Nishioka, I., Herath, W., Uemoto, S., Fujieda, K. and Okubo, H. (1990) Two acylated anthocyanins from *Dioscorea alata*. *Phytochemistry* **29**: 2999-3001.
  36. Ozo, O. N., Caygill, J. C. and Coursey, D. G. (1984) Phenolics of five yam (*Dioscorea*) species. *Phytochemistry* **23**: 329-331.
  37. Cheng, W. -Y., Kuo, Y. -H. and Huang, C. -J. (2007) Isolation and identification of novel estrogenic compounds in yam tuber (*Dioscorea alata* cv. Tainung No. 2). *J. Agric. Food Chem.* **55**: 7350-7358.
  38. Gao, H., Kuroyanagi, M., Wu, L., Kawahara, N., Yasuno, T. and Nakamura, Y. (2002) Antitumor-promoting constituents from *Dioscorea bulbifera* L. in JB6 mouse epidermal cells. *Biol. Pharm. Bull.* **25**: 1241-1243.
  39. Teponno, R. B., Tapondjou, A. L., Abou-Mansour, E., Stoekli-Evans, H., Tane, P. and Barboni, L. (2008) Bafoudiosbulbins F and G, further clerodane diterpenoids from *Dioscorea bulbifera* L. var. *sativa* and revised structure of Bafoudiosbulbin B. *Phytochemistry* **69**: 2374-2379.
  40. Wij, M. and Rangaswami, S. (1978) Chemical components of *Dioscorea bulbifera*: isolation and structure of a new dihydrophenanthrene (2,4,6,7-tetrahydroxy-9,10-dihydrophenanthrene) and a new phenanthrene (2,4,5,6-tetrahydroxyphenanthrene). *Indian J. Chem.* **16**: 643-644, *Chem. Abstr.* **90**: 38715.
  41. Takasugi, M., Kawashima, S., Monde, K., Katsui, N., Masamune, T. and Shirata, A. (1987) Antifungal compounds from *Dioscorea batatas* inoculated with *Pseudomonas cichorii*. *Phytochemistry* **26**: 371-375.
  42. Lee, H. Y., Jung, D. Y., Ha, H., Son, K. -H., Jeon, S. -J. and Kim, C. (2007) Induction of growth hormone release by dioscin from *Dioscorea batatas* Decne. *J. Biochem. Mol. Biol.* **40**: 1016-1020.
  43. Vendl, O., Wawrosch, C., Noe, C., Molina, C., Kahl, G. and Kopp, B. (2006) Diosgenin contents and DNA fingerprint screening of various yam (*Dioscorea* sp.) genotypes. *Z. Naturforsch.* **61**: 847-855, *Chem. Abstr.* **146**: 334119.
  44. Kwon, C. -S., Sohn, H. Y., Kim, S. H., Kim, J. H., Son, K. H., Lee, J. S., Lim, J. K. and Kim, J. -S. (2003) Anti-obesity effect of *Dioscorea nipponica* Makino with lipase-inhibitory activity in rodents. *Biosci. Biotech. Biochem.* **67**: 1451-1456.
  45. Lin, S., Wang, D., Yang, D., Yao, J., Tong, Y. and Chen, J. (2007) Characterization of steroidal saponins in crude extract from *Dioscorea nipponica* Makino by liquid chromatography tandem multi-stage mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta* **599**: 98-106.
  46. Jan, T. -R., Wey, S. -P., Kuan, C. -C., Liao, M. -H. and Wu, H. -Y. (2007) Diosgenin, a steroidal saponin, enhances antigen-specific IgG2 $\alpha$  and interferon- $\gamma$  expression in ovalbumin-sensitized Balb/c mice. *Planta Med.* **73**: 421-426.
  47. Teponno, R. B., Tapondjou, A. L., Djoukeng, J. D., Mansour, E. A., Tabacci, R., Tane, P., Lonsi, D. and Park, H. J. (2006) Isolation and NMR assignment of a pennogenin glycoside from *Dioscorea bulbifera* L. var. *sativa*. *Nat. Prod. Sci.* **12**: 62-66.
  48. Yasuda, F., Nakagawa, Y., Akahori, A. and Okanishi, T. (1968) Steroidal components of domestic plants. LVII. Structure of igagenin. *Tetrahedron* **24**: 6535-6541.
  49. Seshadri, T. R., Vydeeswaran, S., Rao, P. R. and Thakur, R. S. (1972) Saponins from *Paris polyphylla*. *Indian J. Chem.* **10**: 377-378, *Chem. Abstr.* **77**: 123804.
  50. Cui, C. B., Xu, C., Gu, Q. Q., Chu, S. D., Ji, H. H. and Jing, G. (2004) A new furostanol saponin from the water-extract of *Dioscorea nipponica* Mak., the raw material of the traditional Chinese herbal medicine Wei Ao Xin. *Chin. Chem. Lett.* **15**: 1191-1194.
  51. Chen, H. -C., Fu, T. -J., Liu, Z. -R., Liao, X. and Ding, L. -S. (2005) Two new steroidal saponins from Di'aoxinxuekang. *Acta Chim. Sinica* **63**: 869-872, *Chem. Abstr.* **143**: 199519.
  52. Du, S., Liu, W., Fu, T., Li, B. and Xia, C. (2002) Isolation and identification of steroidal saponins from total saponin of *Dioscorea nipponica* Makino. *J. Chin. Pharm. Sci.* **11**: 59-63, *Chem. Abstr.* **138**: 183950.
  53. Siegfried, E. and Van Staden, J. (1975) Determination of allantoin in protea seed. *Phytochemistry* **14**: 751-753.
  54. Ninomiya, A., Murata, Y., Tada, M. and Shimoiishi, Y. (2004) Change in allantoin and arginine contents in *Dioscorea opposita* 'Tsukuneimo' during the growth. *J. Japan Soc. Hort.*

- Sci.* **73**: 546-551.
55. Ozo, O. -N., Robinson, J. -M. and Reeves, S. -G. (1987) The occurrence of allantoin in edible yams (*Dioscorea* species). *Human Nut.: Food Sci. Nutr.* **41**: 231-232.
  56. Fu, Y. -C., Ferng, L. -H. A. and Huang, P. -Y. (2006) Quantitative analysis of allantoin and allantoic acid in yam tuber, mucilage, skin and bulbil of the *Dioscorea* species. *Food Chem.* **94**: 541-549.
  57. Yoon, K. D., Yang, M. H., Chin, Y. -W., Park, J. H. and Kim, J. (2008) Determination of allantoin in *Dioscorea* Rhizoma by high performance liquid chromatography using cyano columns. *Nat. Prod. Sci.* **14**: 254-259.
  58. Teponno, R. B., Tapondjou, A. L., Gatsing, D., Djoukeng, J. D., Abou-Mansour, E., Tabacchi, R., Tane, P., Stoekli-Evans, H. and Lontsi, D. (2006) Bafoudiosbulbins A, and B, two anti-salmonellal clerodane diterpenoids from *Dioscorea bulbifera* L. var sativa. *Phytochemistry* **67**: 1957-1963.
  59. Kawasaki, T., Komori, T. and Setoguchi, S. (1968) Furanoid norditerpenes from Dioscoreaceae plants. I. Diosbulbins A, B, and C from *Dioscorea bulbifera* forma spontanea. *Chem. Pharm. Bull.* **16**: 2430-2435.
  60. Yoshiteru, I., Shiro, K., Misa, F., Tetsuya, K., and Toshio, K. (1978) Furanoid norditerpenes from Dioscoreaceae plants, V. Structures of the diosbulbins-D, -E, -F, -G and -H. *Justus Liebigs Annalen der Chemie* **5**: 818-833, *Chem. Abstr.* **89**: 129748.
  61. Murray, R. D. H., Jorge, Z. D., Khan, N. H., Shahjahan, M. and Quaisuddin, M. (1984) Diosbulbin D and 8-epidiosbulbin-E acetate, norclerodane diterpenoids from *Dioscorea bulbifera* tubers. *Phytochemistry* **23**: 623-625.
  62. Ida, Y., Noda, N., Kubo, S., Komori, T. and Kawasaki, T. (1978) Furanoid norditerpenes from *Dioscorea* plants. VII. Structures of diosbulbinsides D and F. *Chem. Pharm. Bull.* **26**: 435-439.
  63. Zheng, S. Z., Guo, Z., Shen, T., Zhen, X. and Shen, X. (2003) Three new apianen lactones from *Dioscorea bulbifera* L. *Indian J. Chem.* **42**: 946-949.
  64. Hou, W. -C., Lee, M. -H., Chen, H. -J., Liang, W. -L., Han, C. -H., Liu, Y. -W. and Lin, Y. -H. (2001) Antioxidant activities of dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea batatas* Decne) tuber. *J. Agric. Food Chem.* **49**: 4956-4960.
  65. Gaidamashvili, M., Ohizumi, Y., Iijima, S., Takayama, T., Ogawa, T. and Muramoto, K. (2004) Characterization of the yam tuber storage proteins from *Dioscorea batatas* exhibiting unique lectin activities. *J. Biol. Chem.* **279**: 26028-26035.
  66. Nagai, T. and Nagashima, T. (2006) Functional properties of dioscorin, a soluble viscous protein from Japanese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) tuber mucilage tororo. *Z. Naturforsch.* **61**: 792-798, *Chem. Abstr.* **146**: 141447.
  67. Hou, W. -C., Chen, H. -J. and Lin, Y. -H. (2000) Dioscorins from different *Dioscorea* species all exhibit both carbonic anhydrase and trypsin inhibitor activities. *Bot. Bull. Acad. Sinica* **41**: 191-196, *Chem. Abstr.* **134**: 53875.
  68. Fu, S. -L., Hsu, Y. -H., Lee, P. -Y., Hou, W. -C., Hung, L. -C., Lin, C. -H., Chen, C. -M. and Huang, Y. -J. (2006) Dioscorin isolated from *Dioscorea alata* activates TLR4-signaling pathways and induces cytokine expression in macrophages. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **339**: 137-144.
  69. Hikino, H., Tohkin, M., Kiso, Y., Namiki, T., Nishimura, S. and Takeyama, K. (1986) Isolation and hypoglycemic activity of dioscorans A, B, C, D, E, and F; glycans of *Dioscorea japonica* rhizophors. *Planta Med.* **52**: 168-171.
  70. Gupta, D. and Singh, J. (1989) *p*-Hydroxyacetophenone derivatives from *Dioscorea bulbifera*. *Phytochemistry* **28**: 947-949.
  71. Adeleye, A. and Ikotun, T. (1989) Antifungal activity of dihydrodioscorine extracted from a wild variety of *Dioscorea bulbifera* L. *J. Basic Microb.* **29**: 265-267, *Chem. Abstr.* **112**: 33221.
  72. Zhang, L., Liu, Y. and Chen, G. (2004) Simultaneous determination of allantoin, choline and L-arginine in Rhizoma Dioscoreae by capillary electrophoresis. *J. Chromatogr. A* **1043**: 317-321.
  73. Li, M., Wang, Y., Fu, D. and Liu, X. (2007) 6-methyl citrate from *Dioscorea opposita* Thunb. *Acta Crystallogr. E* **63**: o4497.
  74. Li, M. J., Wang, Y., Ma, P., Fu, D. and Liu, X. (2007) 1,5-Dimethyl citrate monohydrate from *Dioscorea opposita* Thunb. *Acta Crystallogr. E* **63**: o4632.
  75. Zhang, J., Chen, H., Wang, N. and Yao, X. (2007) Identification of water-soluble components, that are not saponins, from *Dioscorea nipponica* Mak. *Asian J. Trad. Med.* **2**: 70-74.
  76. Karnick, C. R. (1971) Phytochemical investigations of some *Dioscorea* species and varieties found in India. *Pharm. Biol.* **11**: 1761-1773.
  77. Ma, C., Wang, W., Chen, Y. -Y., Liu, R. -N., Wang, R. -F. and Du, L. -J. (2005) Neuroprotective and antioxidant activity of compounds from the aerial parts of *Dioscorea opposita*. *J. Nat. Prod.* **68**: 1259-1261.
  78. Martin, F. W., Telek, L. and Ruberté, R. M. (1974) Yellow pigments of *Dioscorea bulbifera*. *J. Agric. Food Chem.* **22**: 335-337.
  79. Ireland, C. R., Schwabe, W. W. and Coursey, D. G. (1981) The occurrence of batatasins in the Dioscoreaceae. *Phytochemistry* **20**: 1569-1571.
  80. Blunden, G., Briggs, C. J. and Hardman, R. (1968) Steroidal constituents of the aerial parts of *Dioscorea* and *Tamus* species. *Phytochemistry* **7**: 453-458.
  81. Akahori, A., Yasuda, F., Togami, M., Kagawa, K. and Okanishi, T. (1969) Steroidal components of domestic plants. LVIII. Variation in isodiotigenin and diosgenin content in the aerial parts of *Dioscorea tokoro*. *Phytochemistry* **8**: 2213-2217.

82. Okanishi, T., Akabori, A. and Yasuda, F. (1960) Steroidal components of Japanese plants. XXIX. Constituent of the aerial parts of *Dioscorea tokoro*. *Shionogi Kenkyusho Nenpo* **10**: 153-157, *Chem. Abstr.* **54**: 133617.
83. Uomori, A., Seo, S., Tori, K. and Tomita, Y. (1983) Protonogonin and protoneoyonogenin from the aerial parts and tissue-cultures of *Dioscorea tokoro*. *Phytochemistry* **22**: 203-206.
84. Miyahara, K., Kanezaki, E. and Kawasaki, T. (1975) New spirostanol, 19-hydroxyyonogenin, from the aerial parts of *Dioscorea tokoro*. *Chem. Pharm. Bull.* **23**: 2550-2555.
85. Akahori, A., Togami, M. and Iwao, T. (1970) Steroidal components of domestic plants; Effect of light on the steroidal sapogenins of *Dioscorea tokoro*. *Chem. Pharm. Bull.* **18**: 436-439.
86. Akahori, A., Kagawa, K., Togami, M. and Iwao, T. (1977) Seasonal change of sapogenin content in third-year plants of *Dioscorea tokoro* Makino. *Chem. Pharm. Bull.* **25**: 2172-2180.
87. Tono, T. (1971). Tetrahydroisoquinoline derivative isolated from the acetone extract of *Dioscorea batatas*. *Agr. Biol. Chem.* **35**: 619-621.
88. Chung, Y. -C., Chiang, B. -H., Wei, J. -H., Wang, C. -K., Chen, P. -C. and Hsu, C. -K. (2008) Effects of blanching, drying and extraction processes on the antioxidant activity of yam (*Dioscorea alata*). *Int. J. Food Sci. Tech.* **43**: 859-864.
89. Hsu, C. -C., Huang, Y. -C., Yin, M. -C. and Lin, S. -J. (2006) Effect of yam (*Dioscorea alata* compared to *Dioscorea japonica*) on gastrointestinal function and antioxidant activity in mice. *J. Food Sci.* **71**: 513-516.
90. Liu, Y. -H., Liang, H. -J., Chenh, H. -C., Liu, Y. -W. and Hou, W. -C. (2006) Comparisons of *in vitro* antioxidant activities of storage proteins in tuber of two *Dioscorea* species. *Bot. Stud.* **47**: 231-237.
91. Wang, Z. -J. and Luo, D. -H. (2007) Extraction, purification and antioxidant activities of polysaccharide from *Dioscorea nipponica* Makino. *Tianran Chamvu Yanjiu Yu Kaifa* **19**: 29-34, *Chem. Abstr.* **148**: 27682.
92. Hou, W. -C., Hsu, F. -L. and Lee, M. -H. (2002) Yam (*Dioscorea batatas*) tuber mucilage exhibited antioxidant activities *in vitro*. *Planta Med.* **68**: 1072-1076.
93. Lin, S. -Y., Liu, H. -Y., Lu, Y. -L. and Hou, W. -C. (2005) Antioxidant activities of mucilages from different Taiwanese yam cultivars. *Bot. Bull. Acad. Sinica* **46**: 183-188.
94. Bhandari, M. R. and Kawabata, J. (2004) Organic acid, phenolic content and antioxidant activity of wild yam (*Dioscorea* spp.) tubers of Nepal. *Food Chem.* **88**: 163-168.
95. Chen, H. -L., Wang, C. -H., Chang, C. -T. and Wang, T. -C. (2003) Effects of Taiwanese yam (*Dioscorea japonica* Thunb var. *pseudojaponica* Yamamoto) on upper gut function and lipid metabolism in Balb/c mice. *Nutrition* **19**: 646-651.
96. Wang, C. -H., Tsai, C. -H., Lin, H. -J., Wang, T. -C. and Chen, H. -L. (2007) Uncooked Taiwanese yam (*Dioscorea alata* L. cv. Tainung No. 2) beneficially modulated the large bowel function and faecal microflora in Balb/c mice. *J. Sci. Food Agr.* **87**: 1374-1380.
97. Jeon, J. R., Lee, J. S., Lee, C. H., Kim, J. Y., Kim, S. D. and Nam, D. H. (2006) Effect of ethanol extract dried Chinese yam (*Dioscorea batatas*) flour containing dioscin on gastrointestinal function in rat model. *Arch. Pharm. Res.* **29**: 348-353.
98. Kim, M. -J., Kim, H. -N., Kang, K. -S., Baek, N. -I., Kim, D. -K., Kim, Y. -S., Kim, S. -H. and Jean, B. -H. (2004) Methanol extract of *Dioscoreae Rhizoma* inhibits proinflammatory cytokines and mediators in the synoviocytes of rheumatoid arthritis. *Int. Immunopharmacol.* **4**: 1489-1497.
99. Lee, S. J. and Lim, K. T. (2008) Phytyglycoprotein inhibits interleukin-1b and interleukin-6 via p38 mitogen-activated protein kinase in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 cells. *Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacol.* **377**: 45-54.
100. Aderiyi, B. I., Ogundana, S. K., Adesanya, S. A. and Roberts, M. F. (1996) Antifungal properties of yam (*Dioscorea alata*) peel extract. *Folia Microbiol.* **41**: 407-412.
101. Gao, X., Li, B., Jiang, H., Liu, F., Xu, D. and Liu, Z. (2007) *Dioscorea opposita* reverses dexamethasone induced insulin resistance. *Fitoterapia* **78**: 12-15.
102. Wang, S., Yu, J., Liu, H. and Chen, W. (2008) Characterization and preliminary lipid-lowering evaluation of starch from Chinese yam. *Food Chem.* **108**: 176-181.
103. Lin, C. -L., Lin, S. -Y., Lin, Y. -H. and Hou, W. -C. (2006) Effects of tuber storage protein of yam (*Dioscorea alata* cv. Tainong No. 1) and its peptic hydrolyzates on spontaneously hypertensive rats. *J. Sci. Food Agr.* **86**: 1489-94.
104. Hsu, F. -L., Lin, Y. -H., Lee, M. -H., Lin, C. -L. and Hou, W. -C. (2002) Both dioscorin, the tuber storage protein of yam (*Dioscorea alata* cv. Tainong No. 1), and its peptic hydrolyzates exhibited angiotensin converting enzyme inhibitory activities. *J. Agric. Food Chem.* **50**: 6109-6113.
105. Nagai, T., Suzuki, N. and Nagashima, T. (2006) Antioxidative activity of water extracts from the yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) tuber mucilage tororo. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.* **108**: 526-531.
106. Gao, H., Hou, B., Kuroyanagi, M. and Wu, L. (2007) Constituents from anti-tumor-promoting active part of *Dioscorea bulbifera* L. in JB6 mouse epidermal cells. *Asian J. Trad. Med.* **2**: 104-109.
107. Choi, E. -M. and Hwang, J. -K. (2002) Enhancement of oxidative response and cytokine production by yam mucopolysaccharide in murine peritoneal macrophage. *Fitoterapia* **73**: 629-637.
108. Selkoe, D. J. (1997) Alzheimer's disease: genotypes, phenotype, and treatments. *Science* **275**: 630-631.
109. Stuchbury, G and Munch, G. (2005) Alzheimer's associated

- inflammation, potential drug targets and future therapies. *J. Neural Transm.* **112**: 429-453.
110. Ashok, B. T. and Ali, R. (1999) The aging paradox: free radical theory of aging. *Exp. Gerontol.* **34**: 293-303.
111. Chan, Y. -C., Hsu, C. -K., Wang, M. -F. and Su, T. -Y. (2004) A diet containing yam reduces the cognitive deterioration and brain lipid peroxidation in mice with senescence accelerated. *Int. J. Food Sci. Tech.* **39**: 99-107.
112. Chan, Y. -C., Hsu, C. -K., Wang, M. -F., Liao, J. -W. and Su, T. -Y. (2006) Beneficial effect of yam on the amyloid b-protein, monoamine oxidase B and cognitive deficit in mice with accelerated senescence. *J. Sci. Food Agr.* **86**: 1517-1525.
113. Yang, M. H., Yoon, K. D., Chin, Y. -W., Park, J. H., Nam, S. I., Kim, S. H., Kim, Y. C. and Kim, J. (2009) Neuroprotective effects of *Dioscorea opposita* on scopolamine-induced memory impairment in *in vivo* behavioral tests and *in vitro* assays. *J. Ethnopharmacol.* **121**: 130-134.
114. Kwon, C. -S., Sohn, H. Y., Kim, S. H., Kim, J. H., Son, K. H., Lee, J. S., Lim, J. K. and Kim, J. -S. (2003) Anti-obesity effect of *Dioscorea nipponica* Makino with lipase-inhibitory activity in rodents. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **67**: 1451-1456.
115. Wu, W. -H., Liu, L. -Y., Chung, C. -J., Jou, H. -J. and Wang, T. -A. (2005) Estrogenic effect of yam ingestion in healthy postmenopausal women. *J. Am. Coll. Nutr.* **24**: 235-243.
116. Kubo, Y., Npmala, S. and Yoshida, H. (1988) Allergic contact-dermatitis from *Dioscorea batatas* Decaisne. *Contact Dermatitis* **18**: 111-112.
117. Lee, J. Y., Lee, Y. D., Bahn, J. W. and Park, H. S. (2006) A case of occupational asthma and rhinitis caused by Sanyak and Korean ginseng dusts. *Allergy* **61**: 392-393.
118. Hur, G., Shin, S., Park, H., Kim, H., Ye, Y., Kim, S., Nahm, D. and Park, H. (2007) *Dioscorea batatas* (Sanyak) allergy, identification of an IgE-binding component. *J. Allergy Clin. Immun.* **119**: S195.
119. Hur, G. Y., Park, H. J., Kim, H. A., Ye, Y. M. and Park, H. S. (2008) Identification of *Dioscorea batatas* (Sanyak) allergen as an inhalant and oral allergen. *J. Kor. Med. Sci.* **23**: 72-76.

(2009년 12월 24일 접수)