

## 韓國產 自生 마屬(*Dioscorea*) 植物 識別形質에 대한 多變量 分析

오 용 자<sup>1</sup> · 장 진 성<sup>2</sup> · 이 경 아

(<sup>1</sup>성신여자대학교 자연과학대학 생물학과, <sup>2</sup>수원대학교 자연과학대학 생물학과)

한국산 마속에 대하여 다변량 분석을 통한 종간의 형태적 변이를 조사하여 분류군의 타당성을 검토하고 그 분류 체계를 명확히 설정하고자 하였다. 다변량 분석에 이용한 측정형질은 잎의 길이와 나비, 잎 기저부 길이, 나비와 빗면, 엽병의 길이, 열편의 길이와 나비, 열편수, 주맥수, 화서 길이, 화서당 꽃수, 열매의 길이와 나비, 종자의 길이와 나비, 종자 막질 날개 길이, 암술의 길이와 수술의 길이 등이다. 이들 형질에 대하여 주성분분석을 실행한 결과, 6종의 비교 분석에서는 이들 모두가 유효 형질로 선별되었으며, 그 중 열편수, 잎의 나비, 화서의 길이에 의해서 참마(*D. japonica*), 마(*D. batatas*), 각시마(*D. tenuipes*)와 도꼬로마(*D. tokoro*) 그룹과 부채마(*D. nipponica*)와 단풍마(*D. quinqueloba*) 그룹으로 나누어졌다. 식별에 어려움이 있었던 근연종 즉, 참마와 마, 각시마와 도꼬로마, 부채마와 단풍마의 비교 분석에 있어서는 각각 유효 형질이 달랐다. 각 종의 식별에 있어서 참마와 마는 잎, 열편과 열매의 나비, 종자 막질 날개 길이가, 각시마와 도꼬로마는 잎의 길이와 나비의 비, 열편의 길이와 나비, 엽병의 길이, 외화피 나비가, 부채마와 단풍마는 엽병의 길이, 주맥수, 외화피의 길이와 나비, 열매 길이와 종자의 길이와 나비가 주요 형질로 밝혀졌다. 이들 형질의 측정값에 의하여 과거의 마절의 참마와 마, 부채마절의 부채마, 단풍마, 각시마와 도꼬로마로 나눈 것과는 다르게 열편수에 의하여 표현되는 잎의 외부 형태가 난형인 참마, 마, 각시마, 도꼬로마와 장상형인 부채마와 단풍마로 식별할 수 있었다. 열매와 종자에 관한 형질에 의하여 이들 근연종들이 뚜렷이 구별되었지만 생식 기관의 성숙전 시기에는 영양 기관의 외부 형태적 특징만으로 식별이 이루어져야 하기 때문에 정량 형질을 이용한 수치적 검색표를 작성하여 근연종들의 분류를 명확히 할 수 있었다.

주요어: 마속, 주성분분석, 유집분석

마과(*Dioscoreaceae*)는 백합목(*Liliales*)에 속하는 덩굴성 다년생 초본으로 전 세계에 10속 650여종이 주로 열대와 아열대 지역, 동아시아, 지중해 연안과 미주 지역에 분포한다

\*교신저자: 전화 (02) 920-7170, 전송 (02) 926-0124

(Li 등, 1978; Cronquist 1981; Ohwi, 1984). 이중에서 마속(*Dioscorea* L.)은 Bary(1877)가 뿌리의 유형에 따라 다육성 뿌리(swollen root), 지하경(rhizome)과 괴경(tuber)의 3그룹으로 나누었고, Burkill(1960)은 구대륙의 마속을 뿌리의 유형과 종자 막질 날개의 모양을 기준으로 23개 절로 구분하였다. 한편, 동북 아시아에서는 Makino(1888, 1889)가 잎의 모양, 잎차레, 털의 유무, 꽃 색깔, 수술의 발육 정도, 종자의 막질 날개와 뿌리 모양의 특징을, Matsuno(1918)는 이 외에도 꽃이 피는 모양, 엽병 기저부의 돌기와 주아의 유무 등의 특징을 첨가하여 종간 분류를 시도하였다. 우리 나라에서는 Palibin(1901)이 각시마(*Dioscorea tenuipes* Franchet et Savat.)를 기록하면서부터 시작되어, Nakai(1911)의 7종, Mori(1922)의 8종 1변종의 기록이 있으나, 현재는 4절[마절[*Enantiophyllum*], 부채마절[*Stenophora*], 국화마절[*Brachystigma*], 둥근마절[*Opsophyton*]] 8종이 분포하는 것으로 보고되고 있다(Burkill, 1960; 이, 1980).

마속의 주요 형질로는 잎의 모양과 잎차레(Makino, 1888, 1889), 엽병 기저부의 돌기와 주아의 유무(Matsuno 1918), 종자 막질 날개의 모양과 뿌리의 유형(Burkill, 1960) 등이 있으나 대부분 연속 변이를 보여주는 형질로서 종간 식별에 어려움이 있다. 특히, 마(*Dioscorea batatas* Dence.)와 참마(*D. japonica* Thunb. ex Murray)는 피침상 난형의 잎과 넓은 난형의 잎과 잎차레가 윤생(Makino, 1888, 1889; 이, 1980)이면서 줄기의 기부와 엽병에 자줏빛(Ohwi, 1984)이 나타나는 것에 따라 식별이 가능하다고 하나, 마는 한 개체 안에서 아래 부분은 넓은 난형의 잎을, 위 부분은 피침상 난형의 잎을 갖기도 하며, 주아를 발아시킨 결과 줄기와 엽병에 자줏빛이 나타나지 않았으며, 같은 형태의 잎을 갖고 있더라도 자줏빛이 있는 개체, 없는 개체도 있고 또한 윤생이 나타나거나 나타나지 않은 것도 있어 식별형질로 취급되는 데에는 다소 문제가 있다(Sachs, 1893; 윤과 이, 1959; 강 등 1992). 또한, 부채마(*D. nipponica* Makino)와 단풍마(*D. quinqueloba* Thunb. ex Murray)의 경우 열편의 수에 의하여 외부 형태 분류가 이루어지지만 그 변이가 다양하고, 엽병 기저부의 돌기가 어린 개체와 한 개체의 모든 부분에서 나타나지 않으며 각시마(*D. tenuipes*)와 도꼬로마(*D. tokoro* Makino)의 경우에도 엽병 기저부 돌기의 유무에 의해 식별이 가능하나 어린 개체에서는 나타나지 않으므로 성숙한 개체가 아닐 때에는 식별이 어렵다(강 등, 1992). 따라서, 마절의 참마(*D. japonica*)와 마(*D. batatas*), 부채마절의 부채마(*D. nipponica*), 단풍마(*D. quinqueloba*), 각시마(*D. tenuipes*)와 도꼬로마(*D. tokoro*) 등 근연종간의 외부 형태 특징이 유사하여 종을 구별하는데 혼란이 있는바 이러한 문제점을 해결하기 위하여 마속 식물의 식별형질을 재검토하고자 한다. 따라서, 본 연구는 한국산 마과 식물에 대하여 주성분분석(principal components analyses)과 유집분석(cluster analyses)을 이용한 분류군의 분류학적 식별형질을 재검토하고, 주요 식별형질에 대한 변이 양상 및 변이 폭을 파악하고자 한다.

## 재료 및 방법

마속의 6종(마[*Dioscorea batatas*], 참마[*D. japonica*] 부채마[*D. nipponica*], 단풍마[*D. quinqueloba*], 각시마[*D. tenuipes*], 도꼬로마[*D. tokoro*])을 1991년 5월 부터 1994년 9월에 걸쳐 전국 각 지역(제주도, 전남 완도군, 전북 내장산, 경남 남해도, 경북 금오산, 충북 계룡산, 경기도 광릉, 가평군 대성리, 소요산, 강원도 횡성군, 서울 등지)에서 채집한 개체들과 서울대학교 농업생명과학대학(SNUA), 성균관대학교(SKK), 강원대학교(GWH), 원광대학교(WKH)와 경북대학교(KBH) 표본실의 표본을 실험 재료로 사용하였다. 채집한 식물표본은 성신여자대학교 자연과학대학 생물학과 식물표본실(SWH)에 보관하였다.

정량 형질 측정에 사용한 표본은 잎, 꽃과 열매가 모두 완전한 표본만을 재료로 사용하였으며, 정량 형질 측정에 사용한 재료는 Table 1에 제시되었다. 근연종들의 특징을 비교적 잘 나타내주는 27형질을 확정된 후 참마의 암 5개체와 수 8개체, 마의 암 12개체와 수 10개체, 부채마의 암 9개체와 수 9개체, 단풍마의 암 11개체와 수 9개체, 각시마의 암 4개체와 수 3개체, 도꼬로마의 암 6개체와 수 8개체인 총 94점의 표본으로부터 형질을 측정하였다. 열편의 폭과 길이는 단풍마와 부채마의 경우 중앙 열편의 가장 넓은 폭과 길이를 측정하였으며, 마와 참마의 경우는 잎의 나비가 갑자기 줄어드는 부분을 기준으로 측정하였다(Fig. 1). 도꼬로마와 각시마는 길이와 폭의 1/2을 각각 열편의 길이와 폭으로 측정하였고, 잎 기저부의 모양이 종마다 다름을 파악하여 기저부의 패인 길이, 나비와 빗면으로 세분하여 측정하였다. 근연종들을 구분하는 중요한 형질로 취급(Makino, 1988, 1989)한 열매의 길이와 나비, 종자의 길이와 나비를 측정하였으며, 또한 종자의 막질 날개가 모든 종에서 같은 방향으로 발달하지 않았으므로 종자 막질 날개의 길이를 상, 하, 좌, 우면의 길이를 모두 측정하였다(Fig. 1, Table 2).

주성분분석과 유집분석을 이용하였는데, 특히 유집분석은 Euclidian distance, UPGMA 방법을 사용하였으며, 분석은 SAS program (SAS Institute, 1985)을 사용하였다. 각 종간 유효성에 대한 형질분석은 형질별 종간 분산분석을 통해 선발하였으며 이때 SAS program (SAS Institute, 1985)의 PROC GLM을 사용하였다.

## 결 과

### 〈주성분분석〉

**전체 종(6종)의 암(♀)과 수(♂)개체 분석:** 측정된 27개 형질중 수술의 길이(MSL)를 제외한 26개 형질이 종간 구분에 유효한 형질로 선택되어 이 형질을 중심으로 주성분분석을 실시하였다. 처음 주성분1, 2, 3이 각각 33.98%, 19.45%, 12.10%로서 전체 분산의 65.53%을

**Table 1.** Materials for the current study of *Dioscorea*. CB, Chollabuk-do; CJ, Cheju-do; CN, Chollanam-do; KG, Kyunggi-do; KN, Kyungsangnam-do; KW, Kangwon-do; SU, Seoul.

Taxon	Locality	Collecting Date	Collector	Herbarium
<i>D. japonica</i> 참마	♂ CJ: Tonnaeco	Sep. 10, 1994	<i>Kim &amp; Lee</i>	SWH
		Aug. 6, 1960	<i>Lee</i>	SKK
		Aug. 10, 1958	<i>Yang</i>	KBH
	♀ CJ: Sundol	Aug. 10, 1988	<i>Kwon &amp; Chang</i>	SWH
	Tonnaeco	Sep. 10, 1994	<i>Kim &amp; Lee</i>	SWH
	?	?	SNUA	
<i>D. batatas</i> 마	♂ KG: Kapyong-gun	Aug. 11, 1993	<i>Lee</i>	SWH
	Hwasong-gun	Aug. 15, 1993	<i>Lee</i>	SWH
	Mt. Surak	Aug. 7, 1993	<i>Lee</i>	SWH
	KW: Hoengsong-gun	Aug. 24, 1994	<i>Lee</i>	SWH
	KN: Namhae Isl.,			
	Mt. Kum	Aug. 31, 1994	<i>Oh et al.</i>	SWH
	♀ SU: Tobong-gu	Aug. 1, 1993	<i>Lee</i>	SWH
	Songbuk-gu,			
	Tongson-dong	Aug. 15, 1993	<i>Lee &amp; Lee</i>	SWH
	KG: Kapyong-gun	Aug. 11, 1993	<i>Lee</i>	SWH
KN: Mt. Kumo	July 9, 1994	<i>Oh et al.</i>	SWH	
<i>D. nipponica</i> 부채마	♂ KW: Mt. Tuta	June 26, 1984	<i>Oh et al.</i>	SWH
	KG: Mt. Soyo	July 20, 1994	<i>Oh et al.</i>	SWH
	Mt. Unak	Aug. 4, 1992	<i>Kang &amp; Kim</i>	SWH
	Kwangreung	July 14, 1994	<i>Oh et al.</i>	SWH
	♀ KW: Mt. Sorak	Aug. 12, 1990	<i>Oh et al.</i>	SWH
	Hoengsong-gun	Aug. 24, 1994	<i>Lee</i>	SWH
	KG: Kwangreung	Aug. 6, 1992	<i>Oh et al.</i>	SWH
<i>D. quinqueloba</i> 단풍마	♂ CB: Naebyunsan	Sep. 19, 1992	<i>Oh et al.</i>	SWH
	CN: Wando-gun (1)	Sep. 1, 1985	<i>B. R. Yinger et al.</i>	SUNA
	Wando-gun (2)	?	<i>Lee</i>	SNUA
	KN: Mt. Kum	Aug. 21, 1994	<i>Oh et al.</i>	SWH
	CJ: Tonnaeco	Sep. 10, 1994	<i>Kim &amp; Lee</i>	SWH
	♀ CB: Naebyunsan	Sep. 19, 1992	<i>Oh et al.</i>	SWH
	Mt. Naejang	Sep. 17, 1992	<i>Oh et al.</i>	SWH

Table 1. (Continued.)

Taxon	Locality	Collecting Date	Collector	Herbarium
<i>D. quinqueloba</i> 단풍마	CJ: Chongbang	Sep. 10, 1994	<i>Kim &amp; Lee</i>	SWH
	Tonnaeco	Sep. 10, 1994	<i>Kim &amp; Lee</i>	SWH
	KN: Mt. Kum	Aug. 31, 1994	<i>Oh et al.</i>	SWH
<i>D. tenuipes</i> 각시마	♂ CN: Yusu	July 22, 1982	<i>Kim</i>	WKH
	Kwangyang-gun	July 11, 1985	<i>Chung</i>	WKH
	KN: Changwon-gun	Sep. 24, 1978	<i>Hwang</i>	WKH
<i>D. tokoro</i> 도꼬로마	♀ CB: Mt. Moak	Aug. 6, 1994	<i>Oh et al.</i>	SWH
	♂ KW: Chunsong-gun,			
	Chugok	May 22, 1976	<i>Lee</i>	GWH
	Taeryongsan	June 6, 1979	<i>Lee</i>	GWH
	Obongsan	June 4, 1977	<i>Shin</i>	GWH
	Yanggu Mt. Samyon	May 29, 1983	<i>Lee</i>	GWH
	♀ KN: Kumosan	July 9, 1994	<i>Oh et al.</i>	SWH
KW: Chunsong-gun,				
Taeryongsan	May 6, 1975	<i>Lee</i>	GWH	

나타내었는데(Fig. 2), 주성분1은 잎의 길이와 나비, 열편의 길이와 나비, 열편 수, 화서의 길이, 화서당 꽃 수, 종자 막질의 날개 길이가, 주성분2에서는 열매의 길이, 종자의 길이와 나비, 종자 막질 위 날개 길이, 잎 기저부의 패인 길이, 외화피의 길이와 나비와 내화피 나비이며, 주성분3은 잎 기저부의 패인 길이와 빗면, 열편의 길이, 외, 내화피의 나비, 종자 막질 날개 길이, 주맥수와 엽병의 길이가 각각 높은 상관관계를 보여주었다(Fig. 2).

이들 중 열매의 재료가 없는 각시마를 제외한 5종의 분석에 있어서 기여율이 높은 주성분1, 2를 축으로 OTU를 배열한 결과, 주성분1에 의해서는 크게 도꼬로마, 마와 참마 그룹과 단풍마와 부채마 두 그룹으로 나뉘었는데 이는 주성분1이 잎의 길이와 나비, 열편수, 화서의 길이와 화서당 꽃수에서 큰 영향을 받기 때문이다. 도꼬로마, 마와 참마는 열편이 1-3개를 갖지만 단풍마와 부채마는 5-9개의 열편을 갖고 화서의 길이가 길며 꽃의 수가 많기 때문이다. 주성분2에 가장 큰 영향을 주는 열매와 종자의 크기에 있어서 도꼬로마와 부채마는 열매와 종자가 크기 때문에 주성분2에 의하여 도꼬로마와 부채마 그룹과 마, 참마와 단풍마 두 그룹으로 나누어졌음을 볼 수 있다(Fig. 2). 이들 두 축을 종합하여 볼 때 뚜렷하진 않지만 5종의 분포가 구별되어졌다(Fig. 2).

한편, 수개체에 있어서 측정 형질은 암개체의 측정 형질에서 열매와 종자에 관한 형질

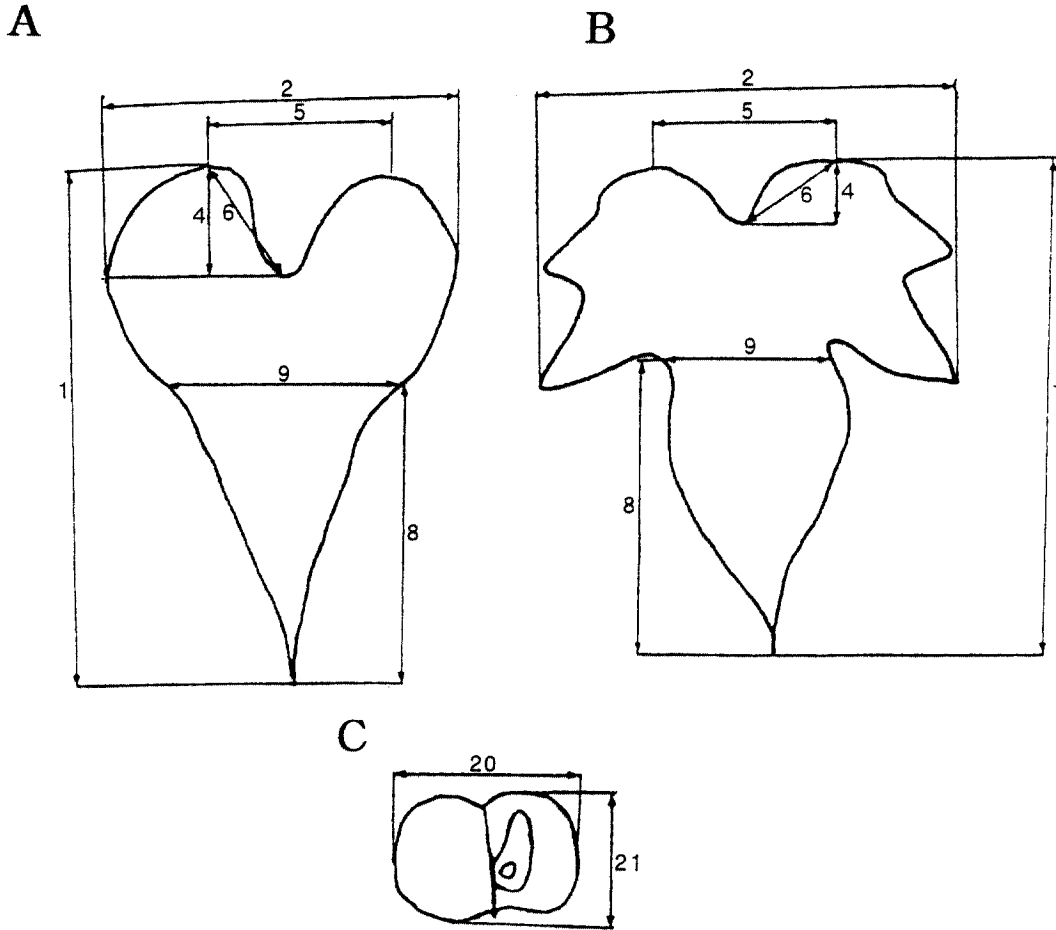


Fig. 1. The representative measured characters for numerical analyses. A. *D. japonica*, *D. batatas*, *D. temupes* and *D. tokora*. B. *D. nipponica* and *D. quinqueloba*. C. fruits. See Table 2 for character designations.

을 제외한 18형질이 모두 중간 식별에 유효한 형질로 판명되었는데 주성분분석 결과, 주성분1, 2와 3 모두 전체 분산의 65.13%를 설명해 주었다(Fig. 3). 첫번째 주성분1은 잎의 길이와 나비, 잎 기저부의 패인 나비와 빗면, 열편의 길이와 나비, 열편수, 주맥수, 화서당 꽃수, 외화피 길이와 나비가, 주성분2는 외, 내화피 길이, 수술의 길이가, 주성분3은 잎 길이와 나비의 비, 열편의 길이와 나비, 외, 내화피 나비, 열편수, 화서의 길이와 화서당 꽃수가 각각 높은 상관관계를 가졌다(Fig. 3).

**Table 2.** List of quantitative morphological characters of *Dioscorea* used in principal components analysis and cluster analysis.

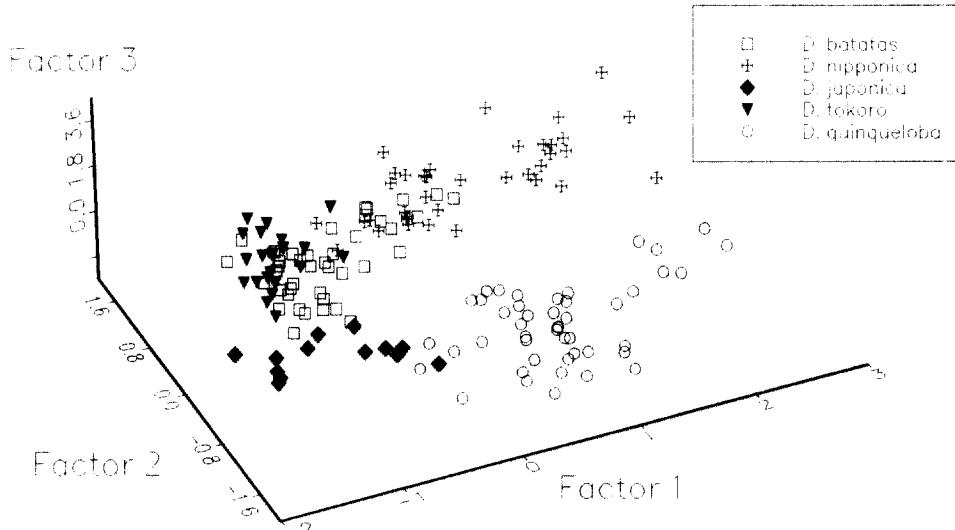
---

Vegetative characters:

1. Leaf length (LL)
2. Leaf width (LW)
3. Leaf length/width (LLWR)
4. Leaf base length 1 (see Fig. 1) (A)
5. Leaf base length 2 (see Fig. 1) (B)
6. Leaf base length 3 (see Fig. 1) (C)
7. Petiole length (PL)
8. Lobe length (D)
9. Lobe width (E)
10. Lobe number (F)
11. Vein number (VN)

Reproductive characters:

12. Inflorescence length (IL)
  13. Flower number per inflorescence (FNI)
  14. Out perianth length (OPL)
  15. Out perianth width (OPW)
  16. In perianth length (IPL)
  17. In perianth width (IPW)
  18. Pistil length (FPL)
  19. Stamen length (MSL)
  20. Fruit width (FW)
  21. Fruit length (FL)
  22. Seed width (SW)
  23. Seed length (SL)
  24. Seed above wing length (SAW)
  25. Seed below wing length (SBW)
  26. Seed right wing length (SRW)
  27. Seed left wing length (SLW)
-

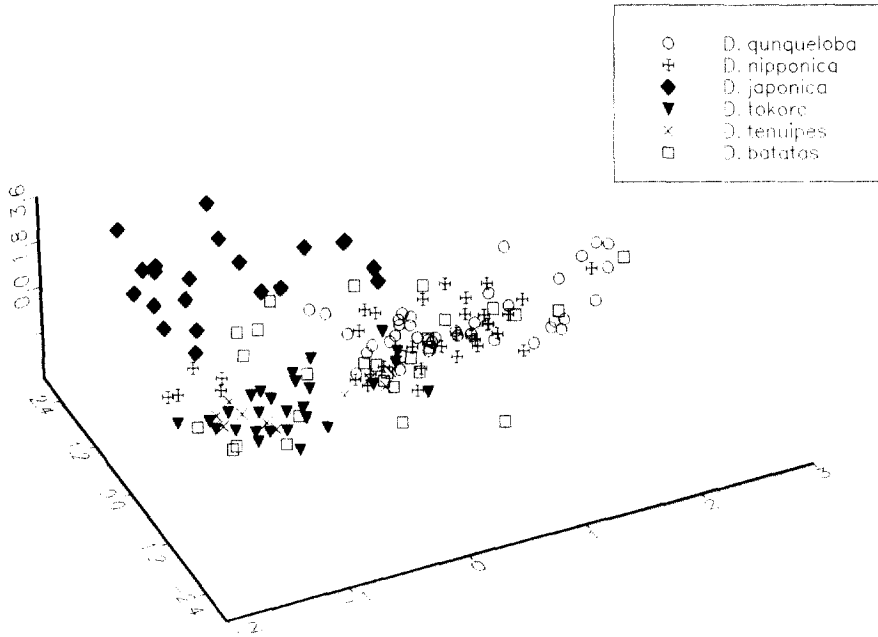


**Fig. 2.** Principal components analysis diagrams for the first three factors of female of *Dioscorea* for 26 morphological characters.

조사된 종중에 주성분1을 축으로 넓게 분포하는 종이 마였으며, 이외에 참마, 각시마와 도꼬로마 그룹과 단풍마와 부채마 그룹으로 나누어졌다. 이는 주성분1과 연관이 깊은 잎의 길이와 나비, 열편의 길이와 나비, 열편수와 화서당 꽃 수에서 두 그룹이 차이가 있기 때문이다. 주성분2를 축으로는 참마 그룹과 단풍마, 부채마, 도꼬로마와 각시마 그룹과 마 세그룹으로 나뉘는데 참마와 마가 멀리 떨어져 있음은 주성분2와 연관이 있는 외, 내화피 길이와 수술의 길이에서 두 종간의 큰 차이가 있기 때문이다. 이들을 종합하여 볼 때 6종이 뚜렷한 구분을 보이진 않았지만 참마 그룹, 각시마와 도꼬로마 그룹, 부채마와 단풍마 세 그룹으로 구별되나 마는 구별되지 않고 넓게 분포함으로써 다른 5종과의 차이점을 볼 수 없었다(Fig. 3).

암, 수개체의 분석에서 공통적으로 주성분1, 2와 상관관계가 높은 형질은 잎의 길이와 나비, 열편수와 화서당 꽃수이며, 이외에 암개체는 화서의 길이, 열매와 종자의 길이와 나비, 수개체는 열편의 길이와 나비, 외, 내화피의 길이와 수술의 길이가 상관관계가 높은 형질이었다. 암, 수개체의 가장 큰 차이점은 수개체에서 마는 넓게 분포하여 한 그룹으로 묶이지 않았으며, 근연종 즉, 부채마와 단풍마 그리고 각시마와 도꼬로마가 구별되지 않았다. 그러나 암개체는 부채마와 단풍마가 뚜렷이 구별되었다. 따라서 암개체 분석에서는 주성분1, 2에 의하여 참마와 마, 부채마, 단풍마, 도꼬로마의 네 그룹으로 나뉘지만 수개체는





**Fig. 3.** Principal components analysis diagrams for the first three factors of male of *Dioscorea* for 18 morphological characters.

참마 그룹, 부채마와 단풍마 그룹과 각시마와 도꼬로마의 세 그룹으로 나뉘었다(Figs. 2, 3). 다음은 각각의 근연종간의 주성분분석 결과로서 마와 참마, 부채마와 단풍마, 그리고 각시마와 도꼬로마의 분석 결과이다.

*Dioscorea japonica*와 *D. batatas*의 분석: 측정된 암개체의 26형질 중 20개 형질이 종간 식별에 유효하였는데, 특히, 주성분분석에서 주성분1과 연관된 잎의 나비, 종자 막질 날개 길이, 열매의 나비와 외, 내 화피의 길이에 의하여 마와 참마는 뚜렷이 구별되었다. 따라서 마와 참마의 암개체에서는 생식 기관에 의하여 보다 뚜렷이 구별되며, 꽃과 열매가 아직 발달되지 않은 개체에서는 잎의 나비에 의하여 구분 할 수 있다(이, 1995).

수개체의 경우 측정된 18개 형질 중 유효 형질로 선택된 16개 형질에 의한 주성분분석 결과 주성분1, 2, 3이 전체 분산의 76.92%를 설명해 주고 있다. 주성분1은 수술의 길이, 외, 내화피의 길이와 나비, 잎의 나비, 열편의 나비, 잎 기저부의 패인 나비와 빗면인 반면, 주성분2는 잎의 기저부의 패인 빗면, 엽병의 길이, 외, 내 화피의 길이, 열편의 길이와 나비, 열편수, 화서의 길이와 화서당 꽃의 수가 높은 상관관계를 가졌다. 따라서, 두종을 나누는

데에는 수술의 길이, 외, 내화피의 길이와 나비, 열편의 나비와 잎의 나비가 주요한 형질임을 알 수 있다.

마와 참마의 암, 수의 공통적인 유효 형질은 잎의 나비, 잎의 길이와 나비의 비, 잎 기저부 패인 나비와 빗면, 엽병의 길이, 열편의 길이와 나비, 열편수, 주맥수와 내화피의 길이이다. 암개체는 잎의 길이, 열매와 종자의 나비, 종자 막질날개 길이, 수개체는 화서의 길이, 화서당 꽃수, 내화피 나비와 수술의 길이가 각각 유효 형질로 선별되었다. 유효 형질 중 참마와 마를 구별해 주는 주성분과 상관관계 높은 형질로는 잎의 나비, 외, 내화피의 길이와 나비가 암, 수개체에서 공통적이었다. 암개체는 종자 막질 날개 길이와 열매 나비, 수개체는 열편의 나비와 수술의 길이가 주성분과 상관관계가 높은 형질이다. 참마와 마는 열매의 나비와 종자 막질 날개 길이의 차이가 뚜렷하기 때문에 수개체보다는 암개체에서 두 종의 구별이 뚜렷하게 나타났다.

*Dioscorea nipponica*와 *D. quinqueloba*의 분석: 암개체의 26개 측정 형질 중 19개 형질이 유효했는데, 특히, 생식 기관에 대한 형질인 열매의 나비, 종자의 나비, 종자의 길이, 종자 막질 날개에 대한 길이에서 두 종간의 뚜렷한 차이를 보여 주고 있다(이, 1995).

잎의 기저부의 패인 길이, 엽병의 길이, 열편수와 화서의 길이와 주맥수, 열매 길이, 종자 길이와 나비, 외화피의 길이와 나비, 종자 막질 위 날개 길이가 단풍마와 부채마가 뚜렷이 구별된다. 따라서 부채마와 단풍마 암개체의 경우 식별의 주요 형질은 주맥수, 열매의 길이, 종자의 길이와 나비, 종자 막질 위 날개 길이와 외화피의 길이와 나비이었다.

반면, 수개체에서는 11개 형질이 유효했는데, 잎의 길이와 나비의 비, 열편수, 화서당 꽃수, 외화피의 나비, 내화피의 길이와 나비와 수술의 길이에서는 두 종의 변이 폭 대부분이 겹쳐있어 유효 형질 선별시 제외되었다. 엽병의 길이와 주맥수에서는 두 종간의 변이 폭이 뚜렷이 구별되는 것을 볼 수 있다.

기여도가 높은 주성분1, 2를 축으로 이들 OTU들을 배열한 결과 주성분1에 의해서는 뚜렷이 구별되지 않았고, 엽병의 길이, 주맥수와 화서의 길이와 연관이 큰 주성분2에서는 서로 겹치는 부분이 있긴 하였지만 대체적으로 서로 구별됨을 볼 수 있었다(이, 1995).

암, 수개체 분석 결과 공통적인 유효 형질로는 잎 기저부 패인 길이와 빗면, 엽병의 길이, 주맥수, 화서의 길이와 외화피의 길이이며, 이외에 암개체는 잎 길이와 나비의 비, 열편수, 화서당 꽃수, 외화피 나비, 암술의 길이, 열매의 길이, 종자의 길이와 나비와 종자 막질 날개 길이이다. 수개체는 잎의 길이와 나비, 잎 기저부 패인 나비, 열편의 길이와 나비가 유효 형질로 선별되었다. 부채마와 단풍마를 구별해 주는 주성분과 상관관계 높은 형질은 주맥수가 공통적이고, 이외에 암개체는 열매 길이, 종자 길이와 나비, 종자 막질 윗 날개 길이, 외화피의 길이와 나비이며, 수개체는 엽병의 길이, 잎 기저부 패인 길이와 빗면, 열편의 나비와 화서의 길이이다. 주로 생식 기관 형질에 의해 식별되는 암개체는 부채마와 단풍마의 구별이 뚜렷하게 나타났지만 반면 영양 기관에 의해 식별이 되는 수개체는

주성분2에 의해서 두 종이 겹치면서 구별되었다.

*Dioscorea tenuipes*와 *D. tokoro*의 분석: 암개체의 26개 형질 중 13개 형질만이 종간 식별에 유효한 형질로 판명되었다(이, 1995). 각시마는 성숙한 열매를 갖는 개체들을 관찰할 수 없어서 열매에 관한 형질로서는 이 두 종을 비교 분석할 수 없었다. 잎의 길이와 나비, 잎의 길이와 나비의 비, 열편의 길이와 암술의 길이는 그 변이 폭이 대체로 두 종에 있어서 겹쳐 있어 유효 형질에서 제외되었고, 엽병의 길이(PL), 화서당 꽃수(FNI)와 외화피 나비(OPW)는 뚜렷이 구별되어지나 암술의 길이(FPL), 화서의 길이(IL), 외화피 길이(OPL)와 잎의 길이(LL)와 나비(LW)의 경우 변이 폭이 넓게 분포하여 서로 겹쳐있다(이, 1995).

한편, 수개체에서는 18개의 형질중 13개 형질이 유효했는데 잎의 길이와 나비의 비, 잎 기저부 패인 길이, 엽병의 길이, 외, 내화피 나비만이 두 종의 변이 폭이 서로 겹치지 않고 완전히 구별되었다(이, 1995).

각시마와 도꼬로마의 암, 수개체에서 공통적인 유효 형질은 잎 기저부 패인 길이와 빗면, 엽병의 길이, 열편의 길이, 열편수, 화서당 꽃수, 외, 내화피의 나비이며, 이외에도 암개체는 주맥수와 외, 내화피 길이이다. 수개체는 잎의 나비, 잎 길이와 나비의 비, 수술의 길이, 열편의 나비가 유효 형질로 선별되었다(이, 1995).

마속, 마절과 부채마절 6종에 대한 주성분분석 실행 결과 전체 6종에 대한 분석에서 측정한 27형질 모두 유효 형질로 선별되었다. 6종을 구별해주는 주성분1, 2와 상관관계가 높은 형질은 암, 수 개체에서 열편수, 잎의 길이와 나비, 화서당 꽃수가 공통이었다. 암개체는 화서의 길이, 종자와 열매의 길이와 나비이고, 수개체는 열편의 길이와 나비, 외, 내화피의 길이, 수술의 길이의 상관관계가 높았다. 전체 6종 분석에서 근연종인 각시마와 도꼬로마의 수개체에는 두 종이 서로 유집되어 구별되지 않았으며 또한, 단풍마와 부채마도 구별되지 않았다(Fig. 3). 그러나 열매와 종자의 길이와 나비가 식별의 주요 형질인 암개체는 단풍마와 부채마가 뚜렷이 구별되고, 마의 개체도 다른 종과 구별되어 그룹지어졌다(Fig. 2).

근연종인 참마와 마, 부채마와 단풍마, 각시마와 도꼬로마의 분석에 있어서는 각각 유효 형질이 달랐으며, 또한 두 종을 구별해 주는 주성분과 상관관계가 높은 형질들에서도 차이가 있다. 잎의 나비는 참마와 마의 암, 수개체에서 두 종을 구별하고, 잎의 길이와 나비의 비, 열편의 길이와 화서당 꽃수는 수개체의 각시마와 도꼬로마를 구별한다. 잎 기저부 패인 길이는 수개체의 부채마와 단풍마를 구분하며, 잎 기저부 패인 빗면, 엽병의 길이, 열편의 나비와 화서의 길이는 부채마와 단풍마, 각시마와 도꼬로마의 수개체를 구분할 수 있다. 주맥수는 부채마와 단풍마의 암, 수개체, 외화피 길이와 나비는 참마와 마의 암, 수개체와 부채마와 단풍마의 암개체에서 두 종을 구분하며, 내화피 길이와 나비, 수술의 길이는 참마와 마의 암, 수개체, 참마와 마의 수개체를 구별하는 형질이다. 열매 길이는 부채

마와 단풍마, 열매 나비는 참마와 마, 종자의 길이와 나비는 부채마와 단풍마를 구별하며, 종자 막질 위 날개 길이는 참마와 마를 구분하며, 부채마와 단풍마도 구분하는 형질이다. 특히 참마와 마를 동정하는 형질로는 종자 막질 아래, 오른쪽, 왼쪽 날개 길이가 주성분과 상관관계 높았다.

영양 기관 형질들은 근연종간의 수개체 식별에 유용하였고 암개체는 화피의 길이, 열매와 종자의 길이와 나비, 종자 막질 날개 길이 등과 같은 생식 기관 형질에 의하여 수개체보다 뚜렷이 구별되었다.

### 〈유집분석〉

참마와 도꼬로마는 암, 수개체에서 모두 유집되었으나, 부채마와 단풍마는 암, 수개체에서 두 종이 구별되지 않고 여러 그룹에 포함되어졌고, 특히 마는 *dendrogram* 전반에 산재하였다(이, 1995). 참마와 도꼬로마는 열편의 수, 잎의 나비, 잎 기저부 패인 길이, 열매의 나비와 길이에서 다른 종들과 뚜렷한 차이가 있고 개체간의 변이가 작기 때문에 유집되었고 부채마와 단풍마는 잎의 길이, 잎 길이와 나비의 비, 기저부 패인 길이, 열편 길이, 열편수, 주맥수, 열매 나비와 종자 막질 오른쪽, 왼쪽 날개 길이등 많은 형질이 유사하기 때문에 두 종이 구별되지 않았으며 개체간의 변이가 심하기 때문에 넓게 분포한다. 마는 참마보다는 부채마, 단풍마와 가깝게 분포하였는데 잎 나비, 잎 길이와 나비의 비, 기저부 패인 빗면과 주맥수가 부채마, 단풍마와 유사하기 때문이며, 마, 단풍마와 부채마의 수개체에서도 잎의 길이가 유사하다. 마와 단풍마 암개체는 종자 길이가 유사하고 마와 부채마 암개체는 종자 막질 위 날개 길이가 유사하다(이, 1995).

정량 형질만을 이용한 유집분석은 사다리꼴 모양으로서 종들간의 분류거리를 알 수 없었기에 마절과 부채마절의 분류에 있어 가장 큰 특징인 뿌리의 유형과 엽병 기저부 돌기의 유무의 두 정성 형질을 첨가하여 다시 유집분석하였다. 즉, 참마와 마는 뿌리가 직근이고 엽병 기저부에 돌기가 없으며, 부채마, 단풍마, 도꼬로마와 각시마의 뿌리는 지하경이고 부채마와 도꼬로마는 엽병 기저부에 돌기가 없으나 단풍마와 각시마는 엽병 기저부에 돌기가 있다. 이러한 정성 형질과 정량 형질에 의한 유집분석 결과 마, 단풍마와 부채마가 정성 형질만으로 실행한 유집분석에서보다 같은 종끼리 더 잘 그룹되었지만 이러한 종들의 그룹이 *dendrogram* 전반에 분포하였으며 역시 전체적으로 사다리꼴 모양이었다. 마절과 부채마절을 뚜렷하게 나누어주며 근연종을 구별하는 뿌리의 유형과 엽병 기저부 돌기 형질을 첨가하였으나 모든 형질에 동등한 의미값을 부여하는 유집분석의 특징 때문에 27개의 정량 형질에 비하여 그 형질수가 작아 전 분석과 마찬가지로 종들의 유집관계를 알 수 없었다(이, 1995).

## 고 찰

마속 식물은 잎의 모양과 잎차레(Makino, 1888, 1889), 엽병 기저부의 돌기와 주아의 유무(Matsuno, 1918)와 종자 막질 날개 모양과 뿌리의 유형(Burkill, 1960)을 중요한 특징으로 하여 마절과 부채마절로 구분되어왔다. 그러나 본 연구에서 정량 형질만을 이용한 주성분분석결과 마속 6종의 식물은 열편수와 화서의 길이에 의하여 크게 두 분류군으로 구분되었는데, 특히 열편수는 2-3개이고 화서의 길이는 암개체 6.6 cm, 수개체 6.0 cm인 참마, 마, 각시마와 도꼬로마 그룹과 열편수는 5-9개이고 화서의 길이는 암개체 13.6 cm, 수개체 11.7 cm인 단풍마와 부채마 그룹으로 나누어졌다(Fig. 2). 따라서 잎의 열편수와 잎의 모양에 의해, 즉 난형(참마, 마, 각시마, 도꼬로마)과 장상형(부채마와 단풍마)으로 나뉘어져 과거의 분류 형질인 잎의 모양, 잎차레, 엽병 기저부 돌기의 유무 등으로 마절의 참마와 마, 부채마절의 부채마, 단풍마, 각시마와 도꼬로마로 나눈 것과는 다르게 나타났다.

특히, 본 연구에서 마와 참마, 두 종은 열매의 나비, 종자 막질 위 날개 길이, 잎의 나비와 화피의 길이에 의해서 뚜렷하게 구분되나 참마와 마의 수개체는 암개체보다 뚜렷이 구별되지 않았다. 유집분석에서 참마는 각시마와 더 가깝게, 마는 부채마와 단풍마와 함께 섞여 나타났는데, 이는 참마와 각시마의 잎의 길이와 나비, 엽병의 길이, 기저부의 패인 길이, 주맥수와 화서당 꽃수가 유사하며, 마, 부채마와 단풍마는 기저부의 패인 길이와 주맥수가 유사하기 때문이다. 제주도에도 한정되어 분포하는 참마와 전국적으로 분포하는 마의 분석에서 마는 대부분의 형질에서 변이 폭이 컸고 참마는 변이 폭이 좁았다. 강 등(1992)과 오 등(1995)은 부채마와 단풍마를 엽병 기저부 돌기의 유무, 열편수, 잎 뒷면의 털의 분포 상태와 꽃의 색깔 등에 따라 분류해 왔으나 두 종은 잎의 모양이 유사하며, 단풍마의 모든 개체에서 엽병 기저부의 돌기가 뚜렷이 나타나지 않는다. 또한 열편수에 있어서 부채마는 5-11개, 단풍마는 5-9개를 갖고, 부채마 중에서도 털이 많이 있는 개체와 거의 없는 개체도 있으며, 표본상태에서는 꽃 색깔의 구별이 어렵기 때문에 식별 형질로서 뚜렷하지 못하였다. 주성분분석에서 암개체는 주맥수, 종자의 길이와 나비, 열매의 길이, 외화피의 길이와 나비에 의해서 두 종이 뚜렷하게 구분되었는데, 수개체에서는 주맥수, 화서의 길이와 엽병의 길이에 의하여 두 종이 식별되었다. 따라서 부채마와 단풍마도 열매와 종자에 의하여 뚜렷이 구별되며, 열매 성숙 시기 전에는 엽병 기저부 돌기의 유무, 주맥수, 엽병의 길이와 화서의 길이에 의하여 두 종을 구별할 수 있다.

강 등(1992)과 오 등(1995)은 각시마와 도꼬로마를 엽병 기저부 돌기의 유무와 잎의 털의 분포, 수꽃의 화피 모양과 잎차레에 의하여 분류하여 왔는데 본 연구에서는 잎의 길이와 나비의 비, 잎 기저부의 패인 빛면, 열편의 길이와 나비, 엽병의 길이와 외, 내화피의 나비에 의하여 주성분분석과 유집분석에서 두 종이 뚜렷이 구별되었다.

비교 대상 종인 참마와 마, 각시마와 도꼬로마, 부채마와 단풍마는 외부 형태가 매우 유

사하지만 생식 기관의 특징에 의해서는 뚜렷이 구별됨을 알 수 있다. 또한, 꽃피기 전에는 영양 기관에 의해서만 식별이 가능하므로, 영양 기관의 정성 형질도 정량 형질 이외의 형질로 사용되어야 한다. 따라서 생식 기관 형성 전의 마속 식물 6종의 분류를 위하여 오등(1995)이 밝힌 마절과 부채마절 6종에 대한 검색표와 본 연구 결과에서 얻은 정량 형질의 자료를 이용하여 다음과 같은 새로운 검색표를 작성하였다.

〈영양 기관의 정성 형질과 정량 형질에 의한 검색표〉

1. 뿌리는 다육질의 직근이고, 주아가 있다.
  2. 잎은 장란형이다. 윤생엽이 없으며, 잎의 나비는 2.8-6.2 cm 이고, 잎의 길이와 나비의 비는 1.7-6.4 이다. 엽병의 길이는 1.2-5.9 cm 이다.....*D. japonica*
  2. 잎은 귀가 발달한 화살촉 모양이다. 윤생엽이 때때로 있으며, 잎의 나비는 4.1-9.6 cm 이고, 잎의 길이와 나비의 비는 0.8-1.6 이다. 엽병의 길이는 2.6-9.5 cm 이다.....*D. batatas*
1. 뿌리는 옆으로 뻗고 주아가 없다.
  3. 잎의 열편수 5-9개이며, 잎의 나비는 3.8-16.6 cm 이다.
    4. 줄기의 엽병 기저부에 돌기가 있다. 잎 기저부의 패인 길이는 1.4-3.9 cm 이다. 주맥수는 8-11개이다.....*D. quinqueloba*
    4. 줄기의 엽병기저부에 돌기가 없다. 잎 기저부의 패인 길이는 0.5-2.8 cm 이다. 주맥수 9-14개이다.....*D. nipponica*
  3. 잎의 열편수는 2-3개이며, 잎의 너비는 4.6-7.2 cm 이다.
    5. 줄기의 엽병 기저부에 돌기가 있고 잎에 털이 없다. 엽병의 길이는 2.0-6.0 cm 이다. 잎의 기저부의 패인 길이는 1.1-2.4 cm 이다.....*D. tenuipes*
    5. 줄기의 엽병 기저부에 돌기가 없으며 잎에 털이 있다. 줄기의 아랫 부분에 윤생이 나타난다. 엽병의 길이는 1.0-10.7 cm 이다. 잎의 기저부의 패인 길이는 0.2-1.1 cm 이다.....*D. tokoro*

사 사

본 연구는 학진 300-829에 의거 한국 학술진흥재단 1994-1996년도 자유 공모과제로 저자중 오용자의 학술연구조성비에 의해 수행된 2차년도 연구임.

## 인 용 문 헌

- Bary, H. A. 1877. Hofmeister's Handbook III. Vergl. Anat. Vegetat.
- Beccari, O. 1870. Nuovo Giornale Botanico Italiano Pubblicato da. Vol. 2.
- Brown, R. 1819. Prodrromus Florae Novae Hollandiae et Insulae van-Diemen. Vol. 1. J. Johnson & Co. London.
- Burkill J. H. 1960. The organography and the evolution of Dioscoreaceae the family of the Yam. J. Linn. Soc., Bot. 56: 319-412.
- Cronquist, A. 1981. An Intergrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press. New York.
- Hutchinson, J. 1934. The Families of Flowering Plants. II. Monocotyledons. London.
- Liu, T. S. and T. C. Huang. 1978. Dioscoreaceae. *In* Flora of Taiwan. Li, H. L., T. S. Liu, T. C. Huang, T. Koyama and C. E. De Vol (eds.), Vol. 5. Taipei. Pp. 99-109.
- Makino, T. 1888. On *Dioscorea*. Bot. Mag. (Tokyo) 2: 24-28.
- \_\_\_\_\_. 1889. On *Dioscorea*. Bot. Mag. (Tokyo) 3: 111-114.
- Matsuno, G. 1918. Dioscorea in Japan. J. Jap. Bot. 1: 282-286.
- Mori, T. 1922. An Enumeration of Plants Hitherto Known from Corea. Government of Chosen.
- Nakai T. 1911. Flora Koreana. Pars secunda. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo 31: 1-573.
- Ohwi, J. 1984. Flora of Japan. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C.
- Palibin, J. 1901. Conspectus Florae Koreae. Pars prima. Trudy Imp. S. -Peterburgsk. Bot. Sada 19: 101-151.
- Sachs, J. 1893. Gesammelte Abhandlungenüber Pflanzen Physiologie. Vol. 2. Leipzig.
- 강정현, 이창숙, 오용자. 1992. 한국산 마과 마속의 *Enantiophyllum*절과 *Stenophora*절 식물의 계통분류학적 연구. 식물분류학회지 22: 255-278.
- 오용자, \_\_\_\_\_, 이희정. 1995. 한국산 마속(*Dioscorea*) 마절과 부채마절 식물의 분류학적 연구: 미세구조 및 화학적 접근. 식물분류학회지 25: 51-59.
- 윤국병, 이규철 1959. 한국산약생약용식물 제 1 편(초본편). 임업시험연구자료 2: 154-155.
- 이경아. 1995. 한국산 마속(*Dioscorea*) 마절과 부채마절 식물의 수리분류학적 연구. 성신여자대학교 교육대학원 석사논문, 서울.
- 이창복. 1980. 대한식물도감. 향문사, 서울.

## Morphometric analyses of *Dioscorea* of Korea

Oh, Yong Cha<sup>1\*</sup>, Chin-Sung Chang<sup>2</sup>, Kyung-Ah Lee<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Biology Department, Sung-shin Women's University, Seoul 136-742, <sup>2</sup>Biology Department, The University of Suwon, Suwon, 445-743, Korea)

### Abstract

The genus *Dioscorea* L. in Korea was analyzed by a multivariate technique and by a clustering technique (UPGMA) to help interpret the pattern of variation and recognize taxonomic groups. Because taxa within the genus are often separated by quantitative rather than qualitative characters, many representative individuals were sampled with 27 characters in an attempt to provide an adequate representation of the pattern of variation within each species. Twenty-seven quantitative characters were important in distinguishing these species. Especially two major groups (*D. japonica*, *D. batatas*, *D. tenuipes*, *D. tokoro* vs *D. nipponica*, *D. quinqueloba*) were discernable based on leaf lobe number, leaf width, and inflorescence length. Several characters, such as leaf lobe, fruit width and seed wing length show complete separation between *D. japonica* and *D. batatas*. In addition, while leaf length/width, lobe length and width, petiole length and outer perianth width characters were helpful in distinguishing *D. tenuipes* from *D. tokoro*, petiole length, vein number, outer perianth length and width, fruit length characters support *D. nipponica* and *D. quinqueloba* as a separate species, respectively. A key was provided to the six species as a result of the quantitative analyses as well as an interpretation of qualitative data regarding fruits and seeds.

*Keywords:* *Dioscorea*, principal components analysis, cluster analysis.

---

\*Corresponding author: Phone +82-2-920-7170, Fax +82-2-926-0124