



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

博士學位論文

한국 선인장속(*Opuntia*)의  
계통분류학적 연구

濟州大學校 大學院

科學教育學部

梁 榮 守

2023年 2月



# 한국 선인장속(*Opuntia*)의 계통분류학적 연구

指導教授 吳 弘 植

梁 榮 守

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함

2022年 12月

梁榮守의 理學博士學位 論文을 認准함

審査委員長

양금철



委

員

김문홍



委

員

김찬수



委

員

김정석



委

員

오종석



濟州大學校 大學院

2022年 12月



# Systematic Study on the Genus *Opuntia* Miller in Korea

Young-Soo Yang  
(Supervised by Professor Hong-Shik Oh)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the  
degree of Doctor of Philosophy in Biology

2022. 12.

This thesis has been examined and approved.

Keum-chul Yang

Thesis director, Keum-chul Yang, Prof. Department of Civil and Environmental Engineering

Moon Hong Kim

Kim Chan Soo

Kim Jeongsik

Hongshik Oh

(Name and signature)

DEC. 19 2022

Date

Faculty of Science Education  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY



# 목 차

목 차 .....	i
List of Tables .....	iii
List of Figures .....	v
ABSTRACT .....	vii
<b>I. 서론</b> .....	1
1. 선인장의 형태 .....	1
2. 선인장의 계통분류학적 접근 .....	3
3. 선인장의 계통발생학적 접근 .....	6
4. 한국의 선인장 .....	9
5. 한국산 <i>Opuntia</i> 연구의 목표 및 방향 .....	11
<b>II. 연구방법</b> .....	19
1. 선인장의 분류학적 검토 .....	19
1) 재료 및 방법 .....	19
2. 제주의 선인장속 두 분류군의 계통분류학적 유연관계 .....	20
1) 재료 .....	20
2) 분석방법 .....	22
3. 신품종 제주백년초( <i>O. monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> ) .....	23
1) 재료 .....	23
2) 분석방법 .....	24

<b>III. 연구결과</b>	27
1. 선인장의 분류학적 검토	27
1) 형태 비교 분석	27
2) 계통분류학적 비교	30
3) 국내 문헌 연구 기록 검토	31
4) 분류군의 기재	35
2. 제주의 선인장속 두 분류군의 계통분류학적 유연관계	36
1) 형태 비교	36
2) 계통유연관계	38
3. 신품종 제주백년초( <i>O. monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> )	39
1) 한국산 <i>Opuntia</i> 선인장의 형태 비교	39
2) <i>O. monacantha</i> s.l. 간 형태 비교	39
3) 계통분류학적 비교	46
<b>IV. 고찰</b>	49
1. 선인장의 분류학적 검토	49
2. 제주의 손바닥선인장속 두 분류군의 계통분류학적 유연관계	50
3. 신품종 제주백년초( <i>O. monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> )	50
<b>V. 적요</b>	52
<b>VI. References</b>	53
<b>Appendix</b>	63

## List of Tables

Table 1. Classification of <i>Opuntia s.s.</i> based on systematic studies .....	5
Table 2. The scientific names and common names used in this study .....	13
Table 3. Taxonomic history of <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. .....	14
Table 4. Taxonomic history of <i>O. stricta</i> (Haw.) Haw. ....	17
Table 5. DNA regions and associated primers of <i>O. stricta</i> s.l. ....	19
Table 6. Collection localities of specimens for gene analysis.....	21
Table 7. DNA primer region of <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> and <i>O. stricta</i> Haw. ....	22
Table 8. Genomic DNA regions and primer sequences used <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> .....	25
Table 9. Comparison of some morphological characteristics between <i>O.</i> <i>ficus-indica</i> (L.) Mill., <i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill. var. <i>saboten</i> , <i>O. stricta</i> Haw. and <i>O. stricta</i> Haw.(선인장).....	29

Table 10. Comparison of major research references documenting <i>Opuntia ficus-indica</i> in Korea.....	33
Table 11. Morphological difference of <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> and <i>Opuntia</i> spp. in Korea.....	40
Table 12. Morphological difference in <i>O. monacantha</i> s.l.....	43



## List of Figures

- Fig. 1. The Bayesian consensus cladogram from this study..... 6
- Fig. 2. World Distribution Map of *O. stricta* ..... 13
- Fig. 3. World Distribution Map of *O. monacantha* ..... 13
- Fig. 4. Photographs of *Opuntia stricta* s.l. The photo on the left is taken in Wolyeong-ri, Hallim, Jeju..... 16
- Fig. 5. Distribution map of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* (●) and *O. stricta* Haw.(●) in Jeju Island, Korea..... 20
- Fig. 6. Photographs of typical specimen *Opuntia* spp. in Jeju..... 21
- Fig. 7. Photographs of *O. stricta* Haw. (left), *O. ficus-indica* (L.) Mill. var. *Saboten* (center), *O. ficus-indica* (L.) Mill. (right)..... 30
- Fig. 8. Photographs of *Opuntia stricta* s.l. The photo on the left is taken in Wolyeong-ri, Hallim, Jeju..... 30
- Fig. 9. BI Tree including *O. stricta* s.l in *Opuntia* s.s. based on the combined sequences (*trnL-F*, *matK* and *rflTS* sequences)..... 31

Fig. 10. Photograph of <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> and <i>O. stricta</i> Haw. in Jeju. The scale bar (white) is 2 cm.....	37
Fig. 11. Systematic relationships of taxa of <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> and <i>O. stricta</i> Haw. (NJ tree analyzed by <i>nrITS</i> ) .....	38
Fig. 12. Photograph of the flowers of <i>Opuntia s.s</i> in Korea.....	40
Fig. 13. Cladode, flowers, fruit, and pulp of <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> , illustrating their morphological characteristics.....	41
Fig. 14. Flower and fruits of <i>O. monacantha</i> s.l.....	42
Fig. 15. Characteristic phenomenon of <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> .....	43
Fig. 16. Holotype of <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> J. K. Kim ex Y.S. Yang, for. nov.....	45
Fig. 17. BI Tree including <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i> in Korean <i>Opuntia s.s</i> .....	48
Fig. 18. BI and ML tree of South American Clades including <i>O. monacantha</i> s.l. ....	48

## ABSTRACT

Through morphological and systematic comparison of *Opuntia* in Korea, species are classified and corrected to give a clear scientific name by correcting misidentification. Cactus, which is mainly cultivated in Wolryeong-ri, Hallim, Jeju, is misidentified as 'Baiknyuncho' (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*), and the scientific name was corrected to *Opuntia stricta* by comparing the morphological characteristics of the species, and the name of the country was named as Haeansuninjang (해안선인장). In addition, *Opuntia monacantha* f. *jejuensis* and *O. stricta*, which are native and cultivated on the southern coast of Jeju Island, were often treated as one species because there were no comparative studies, but the two taxa were completely different species through comparison of morphological characteristics and analysis of DNA markers. In the case of *O. monacantha* f. *jejuensis*, there was a difference in pulp color, tepal color, and unique traits with *O. monacantha*, so it was necessary to confirm the exact taxonomic position of *Opuntia* genus. *O. monacantha* f. *jejuensis* was divided into different series by phylogenetic analysis using DNA markers with Korean *Opuntia* cactus and *O. monacantha* complex. In addition, *O. monacantha* f. *jejuensis* was different from other Korean *Opuntia* cactus and *O. monacantha* complexes in plant size, petals, and fruit shape. Comparing the tepals of *O. monacantha* f. *jejuensis* and *O. monacantha*, tepals of *O. monacantha* show purple streaks on the back as well as on the front, whereas *O. monacantha* f. *jejuensis* only appears on the back. Also, while pulp color of *O. monacantha* is green, pulp color of *O.*

*monacantha* f. *jejuensis* is green in the center and greenish-yellow in the outer rim. *O. monacantha* f. *jejuensis*(제주백년초) was named as a new forma in consideration of trait differences and different independent habitats due to differences in clear habitat environments with *O. monacantha*.

# I. 서 론

## 1. 선인장의 형태

선인장은 석죽목(Caryophyllales)의 선인장과(Cactaceae)의 127속 약 1,750종에 이르는 다육식물들을 통칭하여 부른다(Christenhusz and Byng, 2016). 선인장의 단어 기원은 고대 그리스어 κάκτος (kaktos)가 라틴어를 통해 파생되었으며, 어원은 모자이다. 아리스토텔레스(Aristotle)의 제자인 테오프라스트스(Theophrastus)가 일반 식물과 구분이 잘되지 않는 가시식물인 카르둔(Cardoon)에 사용하였다(Johnson *et al.*, 2019).

선인장은 형태적으로 다양한 모습을 가지며, 크기 또한 다르다. 2m 이상의 선인장을 교목상 다육식물, 1m 미만의 선인장을 관목상 다육식물이라 한다(Kho *et al.*, 2018; Yang and Oh, 2021). 소수의 일부 종은 매우 습한 환경에 적응하여 생육하지만, 대부분은 가뭄이 있는 건조한 지역에 분포한다. 강우가 많은 시기에 체내에 수분을 비축해서 건조기에는 저장된 수분을 이용하여 생육한다. 이처럼 건조한 지역에서 수분의 손실을 최소화하기 위해서 선인장은 표면적을 축소하였고, 그로 인해 잎이 가시로 변하거나, 소실되고, 줄기의 단축 및 뿌리의 감소가 일어났다. 선인장은 아프리카와 스리랑카에서도 자라는 겨우살이 선인장인 *Rhipsalis baccifera*를 제외한 아메리카 대륙이 원산지이다.

선인장의 꽃은 강모(spines)처럼 다양한데 일반적으로 암술은 과피(pericarpel)를 형성하는 꽃받침(receptacle) 조직 또는 줄기로부터 파생된 물질로 둘러싸여 있다. 꽃잎과 꽃받침에서 파생된 조직은 과피에서 계속하여 복합적인 화통(花筒, hypanthium)으로 형성해간다. 엄밀히 말하면 기저부에서 가장 먼 부분만이 꽃의 기원이라고 할 수 있지만 꽃잎과 꽃받침에서 파생된 조직 전체를 화통이라고 부를 수 있다. 관형 구조의 바깥쪽에는 종종 강모와 잔가시(glochid)를 생성하는 자좌(areoles)가 있다. 전형적으로 화통은 작은 크기의 포엽(bracts)을 가지며, 점진적

으로 꽃받침 모양과 꽃잎 모양의 구조로 변하기 때문에 꽃받침과 꽃잎은 명확하게 구별될 수 없어서 종종 화피(tepal)라 불린다(Anderson, 2001). 일부 선인장은 강모나 잔가시가 없거나 어떤 외부 구조물이 없는 화통을 생산한다(Anderson, 2001). 대부분의 다른 선인장의 꽃과는 달리 *Pereskia*의 꽃은 근체로 개화한다(Anderson, 2001). 선인장 꽃은 일반적으로 많은 수술을 가지고 있지만, 하나의 암술대만 가지고 있으며, 끝에 하나 이상의 암술머리를 가지고 있다. 수술은 일반적으로 화통의 윗부분의 안쪽 표면 전체에서 발생하지만 일부 선인장에서는 수술이 꽃관의 내부보다 특정한 영역에서 하나 이상 연속적으로 발생하기도 하고, 꽃 모양은 일반적으로 방사상으로 대칭(actinomorphic)이나 일부 종에서는 양측대칭(zygomorphic)을 보이며, 색깔은 흰색부터 노란색, 빨간색, 자홍색까지 다양하다(Anderson, 2001).

선인장의 대부분은 줄기 다육식물로 줄기가 수분을 저장하는 데 사용되는 주요 기관으로 수분은 선인장 전체 질량의 90% 정도이며, 줄기의 모양은 다양하다. 주상 선인장의 원기둥 모양과 구상 선인장의 구형 모양은 부피 대비 표면적 비율이 낮아 수분 손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 햇빛의 가열 효과도 최소화할 수 있다. 대부분의 선인장은 늑골(ribbed)이 있거나 세로 홈이 있는(fluted) 줄기는 가뭄 기간 동안 줄기가 줄어들고 비가 오는 동안 물로 채워지면서 팽창한다(Anderson, 2001). 성숙한 Saguaro (*Carnegiea gigantea*)는 폭우가 내리는 동안 0.76m<sup>3</sup>의 물을 흡수할 수 있다(Scholarly Community Encyclopedia, accessed on 23. September. 2022). 줄기의 바깥쪽 층은 일반적으로 왁스 층으로 강화된 거친 큐티클을 가지고 있어 수분 손실을 줄이며, 이 층들은 많은 선인장의 줄기의 색에 있어 회색이나 푸르스름한 색을 발휘하게 한다(Anderson, 2001).

선인장 가시는 고도로 전문화되고 응축된 새싹 또는 가지의 일종인 자좌(areoles)라 부르는 특수구조에서 성장하는 데 이 자좌는 선인장을 식별할 수 있는 구조가 되며, 꽃이나 엽상경이 자라는 유전인자가 있다(Yang and Oh, 2021). 또한 이 자좌에는 밝은 회색에서 붉은색 계통에 가까운 강모와 흰색 또는 노란색에 가까운 잔가시가 돌아난다.

대부분의 지상에서 자라는 선인장은 식물의 바닥 주위에 퍼져나가는 가는 뿌리(fine roots)를 가지며, 선인장과 다육성 아열대 식물 속인 *Ariocarpus*는 몸체보다

더 큰 곧은 뿌리(taproots)를 가지기도 한다. 곧은 뿌리는 더 큰 원주형 형태를 가진 선인장들의 구조적 안정화를 주는 데 도움이 된다(Dalhousie University, accessed on 13. June. 2022). 다른 구조물을 기어오르거나, 땅에 붙어 착생하는 선인장들은 뿌리를 내리는 매개체와 접촉하는 줄기에서 발생하는 부정근 (adventitious roots)만 가질 수 있다(Anderson, 2001).

## 2. 선인장의 계통분류학적 접근

선인장에 대한 명칭과 분류에 대해서는 과학적으로 처음 세상에 알려지면서부터 논란이 되어 왔다. 1737년 린네(Linnaeus)가 자신이 알고 있던 선인장들을 선인장속(*Cactus*)과 나뭇잎선인장속(*Pereskia*)의 두 속(genus)으로 분류했으나, 1753년 식물 종(Species Plantarum)을 출판하면서 현대 식물학의 명명법의 출발점이 되었을 때는 하나의 속인 선인장(*Cactus*)으로만 분류하였다. 이후 필립 밀러(Philip Miller)와 같은 식물학자들은 1754년에 선인장을 몇 개의 속으로 나누었고, 1789년 앙투안 로랑 드 주시외(Antoine Laurent de Jussieu)는 선인장의 여러 속들을 새로운 이름인 Cactaceae(선인장과)에 포함시켰다. 20세기 초 식물학자들은 린네가 만든 이름인 *Cactus*가 Cactaceae(family) 인지 *Cactus*(genus)인지 모르는 상황에서 하나의 속명으로 사용해서는 안 된다는 의미로 혼란스러워했다고 생각하였다. 이후 1906년 비엔나규약(Briquet, Règles Int. Nomencl. Bot. 1906)에서 *Mammillaria*에 대해서는 *Cactus*라는 이름을 폐기하고 대신 Cactaceae 계통의 속이라고 선언했다. 이때부터 새 분류군 명칭의 합법적인 발표가 충족되기 위해서는 라틴어 기재문이나 분류군의 고유특징을 첨부해야 한다는 기본요건이 성립되어야 했으나 Cactaceae라는 이름은 유지되었으나 Cactaceae가 더 이상의 속을 포함하지 않게 되는 특이한 상황을 발생하였다(Anderson, 2001). 식물에 학명을 부여하는 것은 기준표본(type specimens)에 근거하기 때문에 어려움이 계속되었다. 궁극적으로 식물학자들이 특정 식물이 예를 들어 *Mammillaria mammillaris*인지

알고 싶다면 이 이름이 영구적으로 부착된 모식표본과 비교할 수 있어야 한다. 기준표본은 일반적으로 압착 및 건조해서 제작되며, 그 후에 그들은 식물표본실(Herbaria)에 보관되어 최종 참조로 사용되는 데 선인장은 이런 방식으로 보존하는 것이 매우 어렵다. 선인장은 건조에 저항하기 위해 진화했으며, 몸통은 쉽게 압착되지 않기 때문이다(Anderson, 2001). 또 다른 어려움은 많은 선인장이 식물학자가 아닌 재배자와 원예사에 의해 이름이 붙여졌다는 것이다. 그 결과 선인장의 이름뿐만 아니라 다른 식물의 학명에 대한 명명에 있어서도 국제조류균류식물명명규약(International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants, ICN)은 종종 무시되었다. 특히 커트 백버그(Curt Backeberg)는 그의 이름 중 하나가 표본에 붙이지 않은 채로 1,200종의 이름을 지었거나 이름을 변경한 것으로 알려져 있다. 이것을 두고 데이비드 헌트(David Hunt)는 ‘수 세기 동안 선인장 분류학자들을 괴롭히는 명명학적 혼란의 흔적을 남겼다.’고 확신하였다(Anderson, 2001; Hunt, 2006; Bárcenas *et al.*, 2011).

1984년 국제 다육식물 연구 기관(International Organization for Succulent Plant Study)의 Cactaceae Section에서는 현재 ICSG (International Cactaceae Systematics Group)라 불리는 실제 그룹을 구성하여 여러 속(genera) 수준까지 일치된 분류를 생성하기로 결정하였고, 그들의 시스템은 후속 분류의 기초로 사용되었다. 21세기에 발표된 상세한 내용은 선인장과의 약 125-130속과 1,400-1,500종으로 나누어 여러 족(tribes)과 아과로 분류하였다(Anderson, 2001). 선인장과의 ICSG 분류는 4개의 아과를 인정했는데, 그중 가장 큰 아과는 9개의 족을 포함하고 있다.

일반적으로 선인장은 ICSG에서 선인장아과(Cactaceae)를 4개의 아과(Subfamily) 즉, 부채선인장아과(Opuntioideae), 나뭇잎선인장아과(Pereskioideae), 의사엽선인장아과(Maihuenioideae), 기둥선인장아과(Cactoideae)로 분류한다(Nyffeler and Egli, 2010). ICSG 분류에서 나뭇잎선인장아과의 유일한 속은 페레스키아속(*Pereskia*)로 선인장과의 조상과 가장 가까운 것으로 간주되는 특징이 있으며, 잎이 있는 관목상 나무라 줄기는 늑골(rib)이 있거나 결절(tuberculate)이 있는 것이 아니라 횡단면이 부드럽고 둥글다. 수분을 보존하기 위한 선인장과의 다른 다육식물이 가지고 있는 진보적인 특징인 C<sub>3</sub> 메커니즘과 Crassulacean Acid Metabolism (CAM, 크레솔산 대사) 모두



광합성에 사용한다(Edwards and Donoghue, 2006). 분자계통학적 연구에 따르면 광범위하게 제한을 두었을 때 *Pereskia*는 단계통군(monophyletic group)이 아니라 *Leuenbergeria*, *Rhodocactus*, *Pereskia* 세 가지 속으로 나누어졌다(Edwards *et al.*, 2005; Bárcenas *et al.*, 2011; Lodé, 2013; Asai and Miyata, 2016). 이후 *Leuenbergeria*는 Leuenbergerioideae라는 별개의 단일 아과로 분리되었다(Mayta and Molinari-Novoa, 2015).

부채선인장아과(Wallace and Dickie, 2002; Griffith and Potter, 2009; Hernandez-Hernandez *et al.*, 2011)를 *Opuntia*, *Brasiliopuntia*, *Tacinga*, *Miqueliopuntia*, *Tunilla*, *Consolea*, *Salmiopuntia*의 7개의 속으로 분류하고 있고, 계통분류학적 연구에서는 *Opuntia*를 *Elatae*, *Macbridei*, *Basilares*, *Scheeriana*, *Humifusa*, *Macrocentra*, *Nopalea*, 그리고 *Microdasys*의 8개의 하위 분류군(series)으로 분류한다(Table 1).

Table 1. Classification of *Opuntia* s.s. based on systematic studies (Majure *et al.*, 2012a)

Series					
Sister clade of <i>Opuntia</i> s.s. (sensu stricto)	<i>Brasiliopuntia</i> , <i>Tacinga</i>				
<i>Opuntia</i> s.s.	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">South American Clades</td> <td style="text-align: center;"><i>Elatae</i>, <i>Macbridei</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">North American Clades</td> <td style="text-align: center;"><i>Basilares</i>, <i>Scheeriana</i>, <i>Humifusa</i>, <i>Nopalea</i>, <i>Macrocentra</i>, <i>Microdasys</i></td> </tr> </table>	South American Clades	<i>Elatae</i> , <i>Macbridei</i>	North American Clades	<i>Basilares</i> , <i>Scheeriana</i> , <i>Humifusa</i> , <i>Nopalea</i> , <i>Macrocentra</i> , <i>Microdasys</i>
South American Clades	<i>Elatae</i> , <i>Macbridei</i>				
North American Clades	<i>Basilares</i> , <i>Scheeriana</i> , <i>Humifusa</i> , <i>Nopalea</i> , <i>Macrocentra</i> , <i>Microdasys</i>				

부채선인장아과는 어릴 때는 성숙하지 않은 잎이 관찰되지만 성장하면서 사라진다. 이들 줄기는 일반적으로 뚜렷하게 관절(Segment) 또는 엽상경(Cladodes)으로 나뉜다(Anderson, 2001).

의사엽선인장아과의 유일한 속인 *Maihuenia*에는 두 종이 있는데 모두 저성장 형태를 보인다. 선인장 내에서 원시적인 특징을 가지고 있고, 식물은 잎을 가지고 있고, 크레솔산 대사는 전혀 이루어지지 않는다(Anderson, 2001).

기둥선인장아과는 9개의 족(tribes)으로 나뉘며, 모든 전형적인 선인장을 포함하여 가장 큰 아과에 해당되는 분류군으로 나무와 같은 것에서 착생식물(epiphytic)

에 이르기까지 매우 다양하다. 잎은 일반적으로 없지만 때로는 매우 줄어든 잎이 어린 식물에서 나타난다. 줄기는 일반적으로 분할 해 나누어지지 않으며, 늑골이 있거나 결절이 있다. 기둥선인장아과의 2개의 족인 Hylocereeae 및 Rhipsalideae는 기어오르거나 착생하는 형태의 오히려 다른 외관을 가지고 있으며, 줄기는 평평해지기도 하고, 분할 해 나눌 수도 있다(Anderson, 2001).

### 3. 선인장의 계통발생학적 접근

분자계통발생학적 연구에서 나뭇잎선인장아과를 제외한 3개의 아과를 단계통군으로 분류하였으나 이 수준 이하의 모든 족과 심지어 속까지도 정립하지 못했다. 실제로 기둥선인장아과의 속의 39%만이 단계통군에서 발생한 것으로 보고하면서 실제로 선인장의 분류에 대해서는 현재까지 불확실하며 바뀔 가능성이 있다고 하였다(Bárcenas *et al.*, 2011).

Edwards *et al.* (2005)는 *Pereskia* (*Pereskia sensu lato*)을 선인장과 내에 있는 것으로 분류된 것을 놓고 단계통군이 아니었음을 확인하여 보고하기도 하였다. 즉, 공통 조상의 모든 자손을 포함하고 있지 않았기 때문이다. 이러한 연구의 베이지안 공통 분지도(Bayesian consensus cladogram)는 Fig. 1과 같다 (Edwards *et al.*, 2005; Asai and Miyata, 2011; Lodé, 2013).

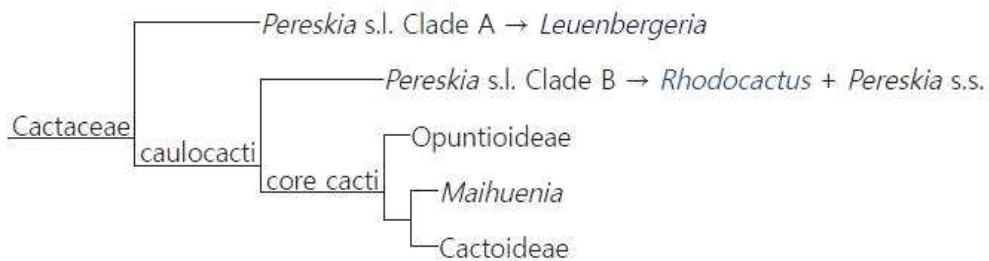


Fig. 1. The Bayesian consensus cladogram from this study (Edwards *et al.*, 2005).

많지 않은 유전자를 사용하였지만 더 많은 종을 사용한 Bárcenas *et al.* (2011)의 연구에서도 *Pereskia* s.l. (sensu lato)를 같은 clades로 나누었지만 core cacti clade의 아과들에 대한 분석은 이루어진 바 없었다. 이 분지도는 현재까지 가장 견고하게 지지되고 있다. 대조적으로 *Rhodocactus*의 종과 *Pereskia*내 나머지 종을 포함한 caulocacti는 전형적으로 줄기가 나무껍질 형성을 지연시키고 기공을 가지므로 줄기가 광합성의 주요 기관이 될 가능성이 부여되었다(Edwards *et al.*, 2005; Asai and Miyata 2016).

*Leuenbergeria*의 종들(*Pereskia* s.l. Clade A)은 *Rhodocactus*의 종과 *Pereskia* s.s.(*Pereskia* s.l. Clade B)을 포함한 caulocacti clade 대부분에 존재하는 줄기의 두 가지 주요 특징이 없다. 대부분의 다른 선인장과 마찬가지로 줄기는 식물의 성장 초기에 껍질을 형성하여 식물 내부로 공기 유입과 나아가 광합성을 조절하는 기공 구조 역시 빈약하며, 대조적으로, *Rhodocactus*의 종과 *Pereskia* s.s를 포함한 caulocacti clade는 전형적으로 나무껍질 형성을 지연시키며, 줄기에 기공이 있기 때문에 줄기가 광합성의 주요 기관이 될 가능성을 부여되었다(Edward *et al.*, 2005; Asai and Miyata 2016).

최초의 선인장은 잎이 광합성을 수행하는 약간 즙이 많은 관목이나 작은 나무이었다. 이 선인장들은 주기적인 가뭄을 겪는 열대 지역에 생존하였다. *Leuenbergeria*가 초기 선인장의 좋은 모델로서 근처에서 자라는 다른 나무들과 겉으로 드러나는 모습이 유사하게 보일지라도 이미 수분을 보존하기 위한 전략을 발전시켰으며, 일부는 석죽목의 다른 과의 식물에도 해당된다. 이러한 전략에는 비가 오는 기간에 신속하게 대응할 수 있고 광합성 중에 수분을 매우 효율적으로 사용하여 증산을 낮게 유지하는 것도 포함된다. 증산을 낮게 유지하면서 광합성률을 높이는 것은 기공의 개방을 엄격히 통제해야 가능하다. 오늘날 *Pereskia*의 종과 마찬가지로 초기 조상은 이산화탄소가 광합성에 지속적으로 사용되는 정상적인 C<sub>3</sub> 메커니즘에서 기공이 닫히면 호흡에 의해 생성된 이산화탄소가 나중에 광합성에 사용하기 위해 저장되는 CAM 대사로 전환할 수 있었다(Edwards and Donoghue, 2006).

*Rhodocactus*와 *Pereskia* s.s.(sensu stricto)를 포함하는 *Pereskia* s.l. Clade B는 줄기를 광합성 기관으로 사용하는 진화적 전환의 시작을 암시하고 있다. 줄기

에는 기공이 있으며, 나무껍질의 형성은 정상적인 나무보다 늦게 갖게 되었다. core cacti clade는 다수의 잎 감소를 동반한 줄기의 식물 액의 양과 광합성 능력의 향상 모두 꾸준한 증가를 보이며, 기동선인장아과에서 다소 완결된다. 현재 풀리지 않은 진화론적 의문 중 하나는 줄기에서 완전한 CAM 광합성으로의 전환이 core cacti clade에서 단 한 번만 발생했는가의 여부이다. *Maihuenia* 내에서 발생하였거나, 부채선인장아과와 기동선인장아과에서 분리될 때 발생한 경우인데, 전자인 경우 *Maihuenia* 내에서는 CAM 광합성으로의 전환이 절대로 진화되지 않는다(Edwards and Donoghue, 2006).

계통발생학적 관계가 여전히 불확실하고 현재의 분류와 관련이 없기 때문에 core cacti clade내에서 진화를 이해하는 것은 어렵다. Bárcenas *et al.* (2011)의 연구에 따르면 선인장과 내에서 매우 높은 비율을 차지하는 속들은 단계통군의 단일 공통 조상의 자손이 아니었다. 예를 들어, 표본 추출된 기동선인장아과의 36개 속중 22개(61%)가 단계통이 아니라 보고하였다. ICSG (International Cactaceae Systematics Group) 분류에서는 기동선인장아과 내에서 9개의 족(tribes)이 인정된다. Calymmantheae족은 단일 속인 *Calymmanthium*으로만 구성된다(Anderson, 2001). Hernández-Hernández *et al.* (2011)의 연구에서 나머지 8개의 족 중에 *Cacteae*와 *Rhipsalideae* 2개의 속만 단계통군인 것으로 나타났다.

선인장의 진화 역사에 빛을 비출만하게 알려진 화석은 존재하지 않는다(Arakaki *et al.*, 2011). 그러나 선인장의 지리적 분포는 몇 가지 증거를 제공한다. *Rhipsalis baccifera*가 아프리카의 일부로 비교적 최근에 퍼진 것을 제외하고, 선인장은 남아메리카와 주로 북아메리카의 남부 지역이 원산지이다. 이것은 Gondwana의 고대 대륙이 약 1억 1천만년 ~ 1억 4천 5백만년 전에 초기 백악기에 발생한 남아메리카와 아프리카로 분리된 후에 과(family)가 진화하였음을 암시한다(Anderson, 2001). 엄밀하게 보면, 남아메리카와 아프리카로 분리되어 선인장이 진화한 후에는 명확하지 않다. Nyffeler(2002)는 늦은 백악기(Cretaceous) 기간인 약 6,600만년 ~ 9,000만년전으로 초기 기원을 제안했다. 보다 최근의 분자계통학적 연구에서는 매우 늦은 에오세(Eocene)에서 초기 올리고세(Oligocene) 시대인 약 3천만년 ~ 3천 5백만년 전으로 현재와 더 가까운 기원을 제안했다(Arakaki *et al.*, 2011). 선인장의 계통 발생에 기초하여, 가장 초기의 발산 그룹(*Leuenbergeria*)은 중앙아메리카와 남아메리카 북부에

서 유래했을 수 있지만, 즙이 많거나 적은 줄기를 가진 caulo cacti clade는 나중에 남아메리카의 남쪽 부분에서 북쪽으로 진화시켰다(Edwards *et al.*, 2005). 강하게 즙이 많은 줄기를 가진 Core cacti clade는 약 2천 5백만년 전에 진화한 것으로 추정된다(Arakaki *et al.*, 2011). 약 2천만년 ~ 2천 5백만년 전에 안데스산맥 중심부에서 건조가 증가하고 변화했던 것을 통해서 진화의 가능성에 대한 호기심이 유발되었다(Edwards *et al.*, 2005). 그러나 현재 선인장의 출현에 대해서는 지난 1억 5천만년(후기 중신세에서 플라이오세)동안 발생했다고 보고 있으며, 남아프리카의 Aizoaceae, 마다가스카르의 Didiereaceae 및 아메리카 대륙의 *Agave*과 같은 다른 다육식물은 건조한 환경에서의 세계적인 확장과 동시에 다양화된 것으로 보고 있다(Arakaki *et al.*, 2011).

#### 4. 한국의 선인장

선인장(仙人掌)의 이름은 한자어로 신선의 손바닥을 닮았다는 뜻이 가장 유력하다. 우리나라 선인장은 박만규 박사가 국내 최초로 ‘우리나라 식물 명감’(1949)에 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* Makino로 학명을 기재하면서 신선장, 선인장으로 소개하고 있다. 이후 ‘대한식물도감’(Lee and Chu, 1956), ‘제주도의 식물상’(Lee, 1957), ‘대한식물도감’(Lee, 1980), ‘한국식물도감’(Lee, 1996), ‘한국 식물명의 유래’(Lee, 2005)에서 선인장의 학명을 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* Makino로 기재하였으며, ‘한국의 야생화와 자원식물’(Kim, 2008)에서는 학명을 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*, 사파등선인장으로 소개하고 있다. 그 후 지금까지 발간된 식물학 관련 문헌들에서도 모두 같은 학명인 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*으로 기재하고 있다. 최초 제주 한림 월령리 선인장(이후 이름에 대한 혼선을 막기 위해 제주 한림 월령리 선인장을 선인장으로 표기)에 대한 계통분류학적인 접근을 시도한 In *et al.* (2006)은 ‘백년초 선인장(*Opuntia ficus-indica*)의 ITS (internal transcribed spacer) 유전자 분석’을 통해 백년초 선인장이 부채선인장아과에 속하는 *Opuntia*와 다른 속인 *Pereskiaopsis porteri*와

95%의 유사도를 나타냈는데, *Pereskiaopsis*는 선인장의 전형적인 모습이 아닌 관목이나 나무와 같은 형태 및 생장 패턴을 가지고 있다 하였다. Kim *et al.*, (2007)은 ‘국내 자생 천년초 선인장의 *nrITS*, *psbA* 및 *rbcL* 유전자 분석을 통한 기원연구’에서 천년초는 형태뿐만 아니라 유전자에서도 *O. humifusa*와 99%의 유사도가 있다고 보고하였다. 이때 전라도 선인장을 처음 기재하였는데, 이후 전라도 선인장은 전라도 농가에 재배되는 선인장으로 신품종 왕가시천년초 (*O. humifusa* f. *jeollaensis*)라 명명되었다(Kim *et al.*, 2014).

Koh *et al.*,(2018)은 제주산 *O. monacantha* (*O. monacantha* f. *jejuensis*)에 대하여 외부 및 내부 형태적 특징을 관찰하여 처음 소개하였다. 특이한 것은 이 연구에서 처음으로 선인장이 1m 미만의 관목상 식물인데, 본종인 *O. ficus-indica*는 2m 이상의 교목상 식물로 관찰되어 선인장의 학명 *O. ficus-indica*에 대하여 오기일 가능성을 제기하였다. 이후 Yang *et al.*, (2020)와 Yang and Oh(2021)가 형태 및 계통분류학적 접근으로 선인장에 대한 학명 오기에 대하여 제기하고 학명에 대한 고찰을 요구하였다. 또한 학명은 국제식물명명규약에 따라 명명되어야 하고, 정확한 진단 형질을 포함한 기재를 요건으로 한 기준표본(type specimen)을 제작하여야 하며 정기 출간되는 출판물에 기재 되어야만 효력이 있다. 아직 이 조건을 갖춘 선인장의 학명은 없는 실정이다.

‘선인장 자생지’는 1976년 제주특별자치도 기념물 제35호로 지정되었지만 2001년에 지정 해지되었다. 해지되던 같은 해 천연기념물 제425호 ‘제주 월령리 선인장 군락’으로 지정되었다. 선인장 군락의 유래는 두 가지가 있다. 첫 번째는 해류를 타고 밀려와 해안가에 정착하여 야생 군락을 형성하였다는 것으로 태평양을 건너 바닷물에 오랫동안 담겨 있던 식물이 제주도 해안가에 와서 생존할 가능성은 거의 없다고 볼 때 타당성이 낮다. 바닷물에 담겨진 채로 수천 킬로미터를 건너오기 전에 삼투 효과로 열매는 더 이상 형태를 유지할 수 없을 뿐만 아니라 종자는 바다에 흩어지게 될 것이다. 또한 북아메리카가 원산지인 선인장은 곤드와나대륙으로 함께 붙어있던 유라시아대륙, 아프리카대륙, 인도대륙 및 오스트레일리아 대륙으로 진화된 것으로 본다(Anderson, 2001; Nyffeler, 2002; Arakaki *et al.*, 2011). 두 번째는 1920년대 제주 한경면 신창리 출신의 원양어선 선원이 가져와서 ‘떡꽃’이라고 퍼트린 것이 오늘날 선인장이 되었다는 설이 가장 유력하다(Halailbo,

accessed on 11. June. 2022). 최근 자생지 확인 연구를 통해서 ‘제주 월령리 선인장 군락’은 전 세계 분포 환경요인인 평균기온과 온도 계절성에서 필리핀, 대만, 미얀마와 같은 저위도 국가에 비해 자생확률분포를 분석한 자생분포도가 낮게 나왔기 때문에 전 세계 선인장 분포 가능 영역에서 ‘제주 월령리 선인장 군락’은 자생(native)으로 보기 어렵다는 결론을 내린 바 있다(Choi and Lee, 2018). 제주의 선인장, 제주산 *O. monacantha*는 100여년 동안 제주도에서 자생화(naturalized)된 식물 또는 귀화식물이며(Yang and Oh, 2021), 천년초와 왕가시 천년초의 도입 시기는 정확히 확인되지 않지만(Kim *et al.*, 2014), 2011년 초 경기도농업기술원 선인장 연구소에서 천년초 선인장을 분화하여 상품개발 (Rural Development Administration, accessed on 21. September. 2022)을 한 시기부터 재배가 활발하게 되어 온 것으로 본다(Kim *et al.*, 2014). 2018년까지 제주도에 분포하고 있는 선인장과 제주산 *O. monacantha*를 한 종으로 혼돈하였다(Yang and Oh, 2021). 국가 식물 기관의 홈페이지에 올라와 있는 사진과 형태 형질을 보면 현재도 혼용하여 사용되고 있는 실정이다. 제주산 *O. monacantha*에 관련된 분류 및 의학적 연구가 시작되면서 점차 두 분류군에 대한 차이를 인식하게 되었다. 따라서 지금까지의 연구가 선인장을 대상으로 연구한 것인지 제주산 *O. monacantha*로 연구한 것인지 연구한 기관이 자체적으로 검토해 볼 필요가 있다. 식물지리학적으로 광의로 자생의 뜻은 식물이 스스로 자라는 것을 말하고 있으나, 식물분류학적으로는 토착(Native), 기원(Origin)을 뜻하므로 대한민국의 선인장은 자생화(귀화) 또는 도입 재배로 구분하여 용어를 명확히 사용하여야 한다.

## 5. 한국산 *Opuntia* 연구의 목표 및 방향

제주산 *Opuntia monacantha*는 국내 최대 크기의 자생화된 선인장으로 제주도에 월, 태평, 그리고 보목리 지역에 분포하고 있으며, 원산지인 남아메리카로부터 유입되어 오래전부터 제주지방에서 약초로 사용되어왔고, 백년초로 불리워져 왔다(Kwon *et al.*, 2017; Koh *et al.*, 2018). 그리고, 북아메리카 원산지로 언제 국내

에 도입되었는지 그 시기는 모르나 충청도와 전라도를 중심으로 왕가시천년초 (*Opuntia humifusa* f. *jeollaensis*) 및 천년초(*Opuntia humifusa* Raf.)의 재배도 대단위로 조성되어 생산되고 있다(Kim *et al.*, 2014). 또한 천연기념로 제429호로 지정된 제주 월령리 선인장 군락으로 2001년부터 지정 및 보호받고 있는 선인장은 제주 서부 한림 월령리부터 제주 동부 우도까지 분포하고 있으며, 월령리에 약 340ha의 면적에 재배되고 있다. 선인장이 *O. ficus-indica* s.l.(하위종 포함) 와 형태적인 차이를 보인다고 일부 학자들에 의해 제기되어왔다(Kho *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2020; Yang and Oh, 2021). 그리고, 선인장과 제주산 *O. monacantha*를 비교 분석한 논문이 거의 없어 국내 문헌에서는 한 종으로 취급하는 경우가 많았다. 한국에 자생화 또는 재배되고 있는 선인장속의 선인장들은 의학 적 효능으로 향균, 향당화, 향산화, 향암, 콜레스테롤 효과에 우수하다(Chung, 2000; Jung *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2013; Choi, 2014; Jung *et al.*, 2014; Lee, 2017). 백년초 분말을 이용한 김치뿐만 아니라 발효유를 비롯한 다른 식품에 대해서도 연구되었다(Lee and Bae, 2009; Jung *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2018). 화장품 원료와 관련된 분야에서도 많은 국내외 연구들이 발표 되고 있는 실정이다(Lim and Hong, 2016; Kown *et al.*, 2017).

제주에 분포하고 있는 *Opuntia* 두 분류군의 명칭에 대한 혼란을 방지하기 위하여 Table. 2에 제시하였다. 이번 연구에서 한림 월령리 선인장(*O. ficus-indica* var. *saboten*)은 고찰 부분부터 해안선인장(*O. stricta*)으로 기재하였고, 제주산 *O. monacantha*는 고찰에서 신품종으로 지위를 주어서 학명을 *O. monacantha* f. *jejuensis*, 국명을 제주 백년초로 기재하였다. 이 연구의 모든 표와 그림에는 변경되지 않았거나 새롭게 지위를 부여하여 명명한 가장 최근의 학명과 국명을 사용하였다.



Table 2. The scientific names and common names used in this study

Scientific Name	Common Name
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> Makino → <i>O. stricta</i> Haw.	해안선인장
제주산 <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. → <i>O. monacantha</i> (Willd.) Haw. f. <i>jejuensis</i>	제주백년초

Fig. 2는 선인장의 세계 분포 지도로 한국의 제주 서부에 *O. stricta*가 분포하고 있음을 확인할 수 있으며, 중국의 남쪽 해안가뿐만 아니라 내륙에도 분포하고 있으나 일본에는 분포하고 있지 않다는 것을 알 수 있다. 북미 원산지를 포함하여 남부 유럽 및 아프리카 북부 해안, 중동부 아프리카, 남부 아프리카 해안, 호주의 동부와 남부해안에 집중으로 분포하고 있다. Fig. 3의 경우는 *O. monacantha*가 전 세계에 분포하고 있는 지도인데, 중국에는 분포하고 있으나, 아직 우리나라와 일본에는 분포하지 않고 있다. 남미 중서부 해안가를 원산지로 유럽, 아프리카, 호주, 아시아 남부 해안가에 분포하고 있는 것을 알 수 있으며, *O. stricta* 보다는 분포 범위가 좁다는 것을 확연하게 알 수 있다.



Fig. 2. World Distribution Map of *O. stricta* (GBIF, accessed on 14. November. 2022).



Fig. 3. World Distribution Map of *O. monacantha* (GBIF, accessed on 14. November. 2022).

제주 한림 월령리에 재배되고 있는 선인장의 오동정에 관한 외부 형질에 대한 검토가 필요하며, 학자들이 한 종으로 간주하고 있는 제주 *Opuntia* 두 분류군인 선인장, 제주산 *O. monacantha*의 계통분류학적인 유연관계를 통하여 두 종의 차이를 밝히는 연구 또한 필요하다고 판단된다. 제주산 *O. monacantha*가 남아메리카 원산지의 본종인 *O. monacantha*와 형태 형질의 차이가 있다고 제기되어왔다 (Yang and Oh, 2021; Yang *et al.*, 2022). 이에 제주산 *O. monacantha*와 *O. monacantha* 본종의 형태 형질 및 계통분류학적인 유연관계를 밝히기에 앞서 *O. monacantha* s.l.와 이명에 대한 명확한 분류학적인 분석 내용을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Taxonomic history of *O. monacantha* (Willd.) Haw.

	Scientific Name	Reference
	<i>C. monacanthos</i> Willd.	Willd. 1814. Enum. Pl. Hort. Berol. Suppl.:33
	<i>O. deflexa</i> Lem.	Lem. 1839. Cact. Gen. Sp. Nov.:68
	<i>O. gracilior</i> Lem.	Lem. 1839. Cact. Gen. Sp. Nov.:68
	<i>O. lemaireana</i> Console ex Bois	Bois. 1898. Dict. Hort. 2:894
	<i>O. lemaireana</i> Console ex F.A.C.Weber	Weber, F.A.C.D. 1898. G. J. M. Bois, Dict. hort.2:894.
<b>Synonym</b>	<i>O. monacantha</i> var. <i>deflexa</i> Salm-Dyck	Salm-Dyck. 1850. Cact. Hort. Dyck.:66
	<i>O. monacantha</i> var. <i>gracilior</i> Lem.	Lem. 1839. Cact. Gen. Sp. Nov.:68
	<i>O. monacantha</i> var. <i>variegata</i> Anon.	Anon. 1874. Gard. Chron., n.s. 2:49
	<i>O. vulgaris</i> var. <i>lemaireana</i> (Console ex Bois) Backeb.	Backeb. 1958. Cactac.: Handb. Kakteenk. 1:400
	<i>O. archavaletae</i> Speg.	Speg. 1905. Anal. Mus. Buenos Aires, 11: 520.
	Accepted Scientific Name:	
<b>Subspecies</b>	<i>O. monacantha</i> subsp. <i>archavaletae</i> (Speg.) Guiggi.	Guiggi. 2017. Suppl. 5:1.
	<i>O. monacantha</i> subsp. <i>monacantha</i>	
<b>Variety</b>	<i>O. monacantha</i> var. <i>gracilior</i> Salm-Dyck	Salm-Dyck. 1850. Cact. Hort. Dyck.(1849). 66, 235.
	<i>O. monacantha</i> var. <i>monacantha</i>	

*O. monacantha*는 동일한 종을 다른 이름으로 명명하면서 다양한 동종이명을 갖고 있다(Table 3). 대부분 1,800년대에 명명한 것으로 식물의 표본 확보 및 확인이 어려웠고, 기재에 대한 방식이 학자마다 달라 변종, 아종 등 다양하게 명명한 것으로 본다. *O. archavaletae* Speg.는 생식기관의 다른 형태적 특징(꽃, 열매)에 따

라 아종(*O. monacantha* subsp. *archavaletae*)으로 분류되었다(Guiggi, 2017). 따라서 *O. monacantha* 아종의 자동명 *O. monacantha* subsp. *monacantha*가 새로이 생성되었다. *O. monacantha*의 변종은 *O. monacantha* var. *gracilior* Salm-Dyck와 자동명인 *O. monacantha* var. *monacantha* 두개이다(Table 3). Willdenow가 유럽 재배식물 기재 방식에 따라 *Cactus monacanthos* Willd. (Willdenow, 1814)로 학명을 기재하였지만 관련된 표본이 없으며, *Opuntia* 라는 속명을 사용하지 않고 일반명인 *Cactus*를 사용하여 국제식물명명규약에 전형적이지 않은 이름(untypifiable name)이라고 판단하여 Haworth는 학명을 기재할 때, *O. monacantha* (Willd.) Haw. (Haworth, 1819)를 원명(basionym)으로 명명하고, *Cactus monacanthos* Willd.를 기본명에 귀속시킨 뒤 이명으로 분류하였다. 이때 속명 또는 종소명이 다른 분류계급으로 수정 또는 전환될 때 속명, 종소명 다음 최초 명명자의 이름인 Willd.를 괄호 안에 넣고 다음 새 명명자의 이름인 Haw.를 마지막에 기재하였다. 다만 이 경우 속명인 *Opuntia*는 단수 명사로 여성형 라틴어 어미 -a를 사용하고 있으나 *monacanthos*는 남성형 라틴어 어미 -antohs를 사용하여 남성으로 취급하고 있다. 따라서 Haworth(1819)는 종소명을 여성형 명사 라틴어 어미 -a를 사용하여 명명법에 맞는 정명을 가지기 위해 종소명 *monacanthos*를 바꾸어 *monacantha*로 기재하였다. 종소명은 속명 뒤에 따라 오는 형용사로 된 이름이고, 형용사일 경우 속명과 성이 일치하여야 하기 때문이다.

Table 4.는 *O. stricta*의 이명 및 변종을 정리한 것으로 상당히 많은 이명이 있다는 것을 알 수 있다. 선인장과 외부 형태적으로 형질이 거의 유사한 *O. dillenii* (Ker Gawl.) Haw.(1814)는 *O. stricta* var. *dillenii* (Ker Gawl.) L.D. Benson (1969)로 *O. stricta*의 변종으로 분류되었다. 한 자좌에서 자라는 가시수에서 특징적으로 달랐기 때문이다(Pardo and Alonso, 2017) *O. stricta*는 한 자좌에 가시가 평균적으로 0~2개이며 4개까지 보이기도 하지만 *O. stricta* var. *dillenii*는 한 자좌에 3~5개 이상으로 많게는 10개까지 자라기도 한다(Fig. 4).



*Opuntia stricta*



*O. stricta* var. *dillenii*

(Wikipedia, accessed on 10. November. 2022)

Fig. 4. Photographs of *Opuntia stricta* s.l. The photo on the left is taken in Wolyeong-ri, Hallim, Jeju

Table 4. Taxonomic history of *O. stricta* (Haw.) Haw.

	Scientific Name	Reference
	<i>Cactus opuntia</i> var. <i>inermis</i> DC.	DC. 1799. Pl. Hist. Succ. 2:138
	<i>Cactus strictus</i> Haw.	Haw. 1803. Misc. Nat. p188.
	<i>Consolea bahamana</i> (Britton & Rose) A. Berger	Berger, A. 1926. Entwickl. Kakteen, p94.
	<i>Opuntia airampo</i> Phil.	Phil. 1894. Anales Univ. Chile 85:492.
	<i>Opuntia bahamana</i> Britton & Rose	Britton & Rose. 1919. Cactaceae. 1:203.
	<i>Opuntia bartramii</i> Raf.	Raf. 1832. Atlantic J. 1:146.
	<i>Opuntia bentonii</i> Griffiths	Griffiths. 1911. Rep. Missouri Bot. Gard, 22:25.
	<i>Opuntia crassa</i> Haw.	Haw. 1819. Suppl. Pl. Succ. p81.
	<i>Opuntia crassa</i> var. <i>major</i> Pfeiff.	Pfeiff. 1837. Enum. Diagn. Cact. p153.
	<i>Opuntia glaberrima</i> Pfeiff.	Pfeiff. 1837. Enum. Diagn. Cact. p158.
	<i>Opuntia glauca</i> Pfeiff.	Pfeiff. 1837. Enum. Diagn. Cact. p153.
	<i>Opuntia inermis</i> DC.	DC. 1828. Prodr. 3:473.
Synonym	<i>Opuntia keyensis</i> Britton ex Small	Small. 1919. J. N. Y. Bot. Gard. 20:31.
	<i>Opuntia longiclada</i> Griffiths	Griffiths. 1916. Bull. Torrey Bot. Club.43: 525
	<i>Opuntia macrantha</i> Gibbes	Gibbes. 1858. Proc. Elliott Soc. Nat. Hist. 1:273.
	<i>Opuntia magnifica</i> Small	Small. 1933. Man. Southeast. Fl. p910.
	<i>Opuntia parva</i> A. Berger	Berger, A. 1912. Hortus Mortolensis. p234.
	<i>Opuntia parvula</i> Salm-Dyck	Salm-Dyck. 1834. Hort. Dyck. p364.
	<i>Opuntia stricta</i> subsp. <i>esparzae</i> Scheinvar	Scheinvar. 2022. Cact. Suc. Mex. 47(4):98.
	<i>Opuntia subsphaerocarpa</i> Speg.	Speg.1925. An. Soc. Ci. Argentina. 99:104.
	<i>Opuntia tenuiflora</i> Small	Small. 1933. Man. Southeast. Fl. p908.
	<i>Opuntia vulgaris</i> var. <i>balaerica</i> F.A.C. Weber	Weber,F.A.C. 1898. D.G.J. Bois, Dict. Hort. 2:894
	<i>Pilocereus flavispinus</i> Rümpler	Förster, C.F. and K.T. Rümpler. 1885. Handb. Cakteenk. ed. 2:659
	<i>Pilocereus nobilis</i> K. Schum	Schum, K. 1897. Gesamtbeschr. Kakt. p189
Variety	<i>Opuntia dillenii</i> (Ker Gawl.) Haw.	Haw. 1819. Suppl. Pl. Succ.79.
	Accepted Scientific Name:	
	<i>Opuntia stricta</i> var. <i>dillenii</i> (Ker Gawl.) L.D. Benson	Benson, L.D. 1969. Cact. Succ. J. (Los Angeles) 41:126.

계통분류학적 연구는 일반적으로 ML (Maximum likelihood)와 BI (Bayesian inference) 방식으로 수행된다. 이러한 방식은 서열 진화 모델에 적용할 수 있을 뿐만 아니라 서열 데이터를 사용한 계통수 제작이 용이하기 때문이다. ML은 likelihood를 구하여 모든 데이터에서 모델의 가능도를 최대화하는 것이고, Bayesian은 likelihood를 사용하여 사후확률을 최대화하는 방식으로 대부분 ML은

PhyML (Phylogenetic Maximum Likelihood) 또는 RAxML (Randomized Accelerated Maximum Likelihood) 프로그램을 사용하며, BI는 MrBayes (Bayesian Inference of Phylogeny) 또는 BEAST (Bayesian Evolutionary Analysis Sampling Tree) 프로그램을 이용하여 계통수를 작성한다. ML로 작성된 계통수의 Node 지원값으로 얻어지는 것은 bootstrap이고, BI는 posterior probability이다. Majure *et al.* (2012a)은 *Opuntia*에 대한 연구에서 유전적인 ML와 BI 방법을 활용하여 계통을 분석하였다. 또한 *O. humifusa* f. *jeollaensis*에 대한 연구(Kim *et al.*, 2014)에서 유전적인 ML 분석과 꽃의 색으로 형태적인 분류가 이루어진 바 있다. 따라서 제주산 *O. monacantha*도 형태학적 검토와 ML와 BI 방법을 활용한 계통분류학적 분석을 통해서 *Opuntia* 내 위치를 밝히는 연구가 필요한 실정이다.

다만 선인장과 제주산 *O. monacantha*의 계통분류학적 유연관계를 밝히는 연구에서는 두 종의 nrITS만 사용하여 두 종 만 놓고 보았을 때 확연히 분지 되는 결과를 보고자 하여 NJ (neighbor-joining)를 사용하였고, *Opuntia* s.s. 내의 계통수를 작성하기 위하여 BI 연구로 실시 하였는데, 이는 106종의 다종의 계통수를 작성할때 ML 연구와 함께 작성하기가 힘들기 때문이다.

이 연구에서는 우선 제주 *Opuntia* 두 분류군의 분류학적 위치를 규명하기 위해 제주에 자생화되었거나 재배되고 있는 선인장과 제주산 *O. monacantha*의 계통분류학적 유연관계를 밝히고자 한다. 또한 제주산 *O. monacantha*가 본종인 *O. monacantha*와 화피의 줄무늬, 과육색, 줄기와 엽상경의 성장 패턴에 있어 독특한 형질 적인 차이가 있으나 *Opuntia* 내에서의 분류학적 위치는 명확히 밝혀진 바 없어 제주산 *O. monacantha*의 *Opuntia*내 분류학적 위치를 재규명하기 위해 제주산 *O. monacantha*와 *O. monacantha* 종 이하 분류군 간의 형태적인 특성을 비교 분석하고 진화학적 연구를 수행하였다. 이러한 연구 결과는 제주산 *O. monacantha*의 신제품 가능성 검증과 건강증진 소재로서의 활용에 기여할 수 있을 것이 기대된다.

## II. 연구 방법

### 1. 선인장의 분류학적 검토

#### 1) 재료 및 방법

제주 한림 월령리에 자생화 또는 재배되고 있는 제주 선인장을 채집 (33°28'07.4"N 126°18'47.3"E)하여 표본으로 제작하여 국제표본목록으로 등재하였으며, 종의 형태 형질의 특성을 인접분류군과 비교 분석하였다. 세부형질에 대한 연구를 위하여 총 200개의 개체를 측정 및 산출하였으며, 선행연구의 세부 형질과 비교 분석하였다. 채집한 재료는 건식표본으로 제작하였고, 국립산림과학원 난대·아열대산림연구소 식물표본관에 보관하였고, voucher number (WTFRC-10033489-70011)를 부여하였다.

이번 연구에서는 본 분류군의 계통분류학적 연구 결과를 얻기 위하여 기존에 연구 (Kim *et al.*, 2014)에서 선인장을 포함한 한국에서 재배되고 있는 선인장들(천년초, 왕가시천년초)의 DNA 마커를 3개씩 sampling하였다. 이때 사용한 DNA 마커는 *matK*, *trnL-F*, *nrITS* (Table 5)를 순서대로 연결하였으며, NCBI의 GenBank에 등록된 유전정보를 바탕으로 *Tacinga* series를 외군(outgroup)으로 이용하여 계통분류학적 유연관계를 확인하였다(Clegg, 1993; Soltis *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2010). 또한 선인장이 언제부터 *O. ficus-indica* var. *saboten*로 기록되어 왔는지에 대해서 국내 문헌과 연구자료의 기록을 정리하여 학술적 검토 및 고찰을 진행하였다.

Table 5. DNA regions and associated primers of *O. stricta* s.l.

Gene	sequence or reference	Length amplified
<i>trnL-F</i>	<i>trnL</i> : (Taberlet <i>et al.</i> , 1991)	466 bp
	<i>trnF</i> : (Taberlet <i>et al.</i> , 1991)	
<i>matK</i>	<i>matKx</i> : 5'-TAATTTACGATCAATTCATTC-3 '	951 bp
	<i>matK5</i> : 5'-GTTCTAGCACCAGAAAGTCG-3 '	
<i>nrITS</i>	ITS4: (White <i>et al.</i> , 1990)	685 bp
	ITS5: (White <i>et al.</i> , 1990)	

## 2. 제주의 손바닥선인장속 두 분류군의 계통분류학적 유연관계

### 1) 재료

제주 애월에서 남원지역 해안가까지 분포하고 있는 제주산 *O. monacantha*와 제주 한림 월령리에서 우도까지 분포하고 있는 선인장(Fig. 5)을 2017년 6월부터 12월까지 자생화된 지역 및 재배지에서 어린 1년생 개체를 채집하였고, 채집한 개체는 형태 형질 연구 및 계통 분류학적인 유연관계를 밝히기 위한 DNA 염기서열 분석에 이용하였다(Table 6). 제주 한림 월령리 표본을 선인장, 서귀포 호근동 표본을 제주산 *O. monacantha*의 대표 건식표본으로 각각 제작하여 국립산림과학원 난대·아열대산림연구소에 보관하였다(Fig. 6). 다른 지역의 표본들은 제주도 서귀포시 호근동 백년초 박물관에 재배중이다. DNA 염기서열 분석을 위하여 균과 오염도를 고려해 1년생 어린잎을 채취하였으며, 채집된 재료인 엽상경은 깨끗이 증류수로 세척한 후 액체 질소에 동결시키고  $-80^{\circ}\text{C}$ 에 보관하면서 DNA를 추출하였다. *rITS*, *atpB-rbcL*, *matK*의 염기서열을 결정하고(Table 7), 제주지역 손바닥선인장 두 분류군 간의 계통분류학적 유연관계를 확인하기 위해 *Tacinga* series를 외군(outgroup)으로 이용하였고, 미국 NCBI (National Center for Biotechnology Information) GenBank에 등록된 염기서열 정보를 사용하였다.

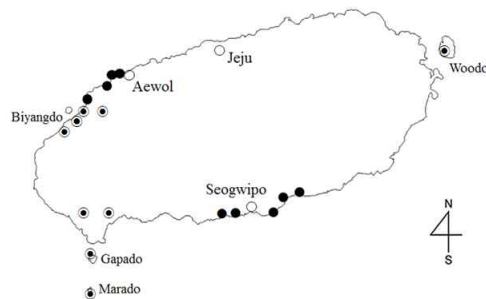


Fig. 5. Distribution map of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* (●) and *O. stricta* Haw.(●) in Jeju Island, Korea





*O. monacantha* f. *jejuensis*

*O. stricta*

Fig. 6. Photographs of typical specimen *Opuntia* spp. in Jeju. (*O. monacantha* voucher number: WTFRC-10033485-69940, *O. stricta* voucher number: WTFRC- 10033489-70100)

Table 6. Collection localities of specimens for gene analysis (in Jeju island)

Species	Sample Number	Locality (GPS)	Individual	
<i>O. monacantha</i> f. <i>jejuensis</i>	01~04	Jeju Aewol (33°28'07.4"N 126°18'47.3"E)	4	
	05~06	Seogwipo Bomok (33°14'28.2"N 126°36'46.0"E)	2	
	07	Seogwipo Hoguen (33°17'37.4"N 126°35'00.2"E)	1	
	08	Seogwipo Gongchenpo (33°16'05.7"N 126°38'19.5"E)	1	
	09	Seogwipo Harae (33°15'38.9"N 126°38'23.1"E)	1	
	10	Seogwipo Taepyungro (33°14'40.6"N 126°32'38.0"E)	1	
	<i>O. monacantha</i> 10 individuals			
	<i>O. stricta</i>	01~04	Jeju Hallim Wolryung (33°22'44.7"N 126°13'00.9"E)	4
		05~06	Seogwipo Daejung Sinpyung (33°15'57.8"N 126°15'34.9"E)	2
		07	Seogwipo Daejung Mureung (33°16'14.1"N 126°12'15.3"E)	1
08		Seogwipo Daejung Gapado (33°16'68.7"N 126°26'84.2"E)	1	
09		Seogwipo Daejung Marado (33°06'54.0"N 126°15'58.7"E)	1	
10		Jeju Woodo (33°31'21.0"N 126°57'26.4"E)	1	
<i>O. stricta</i> 10 individuals				

Table 7. DNA primer region of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* and *O. stricta* Haw.

Region	Primer name: sequence or referen
<i>nrITS</i>	ITS4: (White et al., 1990)
	ITS5: (White et al., 1990)
<i>atpB-rbcL</i>	<i>atpB</i> Op : 5'-GTAAACTATGTCGAAATTCTTTGC-3 '
	<i>rbcL</i> . Op : 5'-ACAACAAAACAACAAGGTCTACTC-3 '
<i>matK</i>	<i>matKx</i> : 5'-TAATTTACGATCAATTCATTC-3 '
	<i>matK5</i> : 5'-GTTCTGGCACCAGAAAGTCG-3 '

## 2) 분석방법

### (1) 계통분류학적 연구

Genomic DNA 분리는 CTAB 방법을 사용하였다(Doyle and Doyle, 1988). 식물분류계통분류 연구에 적합한 Plastid intergenic spacers인 *atpB-rbcL* (Mavrodiev *et al.*, 2010), Chloroplast gene인 *matK*, Nuclear ribosomal gene인 ITS (White *et al.*, 1990)로 Primer 및 프로토콜로 증폭하였다(Table 7). PCR Cycle Condition은 94°C에서 5분간 1회 Initial Denaturation 수행했다. thermal cycle 과정은 94°C에서 30초간 Denaturation, 55°C에서 30초 동안 Annealing, 72°C 1분 Extension을 35회 반복 실험하였다. Final Extension은 72°C에서 10분간 1회 실시하였다.

두 분류군의 3가지 DNA 마커를 *nrITS*, *atpB-rbcL*, *matK*를 순서대로 연결하였으며, 염기서열 결정은 Big Dye Terminator 주기 염기서열 분석 키트 v.3.1와 자동화 DNA 시퀀싱 시스템인 Applied BioSystems DNA 3730XL Analyzer (Applied BioSystems, Foster City, CA, USA)을 이용하여 총 25회의 사이클의 시퀀싱 반응을 수행하였다. Montage SEQ96 PCR Clean up kit (Millipore Corporation, Billerica, MA, USA)를 이용하여 DNA를 정제하였다. ClustalX 프로그램을 이용하여 DNA를 alignment하고(Thompson *et al.*, 1997), Bioedit ver. 7.2.6.2.(Hall, 1999) 프로그램을 이용하여 염기서열을 편집 및 재정렬하였다.

제주산 *O. monacantha*와 선인장 두 분류군만 종간 차이를 분석한 연구는 *nrITS* 유전자 하나로 NJ (neighbor-joining) 분석만 수행하였으며, MEGA X 프

로그그램을 연계하여 활용하였다. 또한 제주산 *O. monacantha*와 선인장의 3가지 유전자(*nrtS*, *atpB-rbcL*, *matK*)에 대해서 결정한 후 DNA 염기서열을 확인한 다음 계통분류학적 관점에서 *Opuntia* 내 종들과의 유연관계를 비교 하였다 (Majure *et al.*, 2012a, b). 종간 분류학적인 유연관계를 확인하기 위해 BI 분석을 통해서 MrBayes-3.2.5 (Ronquist *et al.*, 2012) 프로그램을 연계하여 이용하였다.

BI 분석은 GTR+I+G (nst=6, rates=invgamma) 모델을, NJ 분석의 경우 Kimura 2-parameter를 이용하였다. 프로그램을 활용한 결과(con.tre파일)로 *Opuntia* 내 종간 계통 유연관계를 확인할 수 있는 분자 계통도를 작성하였고, 분자 계통도는 FigTree v1.4.3 프로그램(Rambaut, 2016)으로 확인하였다.

## (2) 형태 연구

제주산 *O. monacantha*와 선인장과의 외부 형태적 비교 연구자료가 없어 식물 문헌 및 국가생물 관련 기관에서 같은 종으로 보고 혼용해서 사진 및 형태를 기재 하는 경우가 많았다(Yang and Oh, 2021). 제주에 분포하고 있는 손바닥선인장 두 분류군의 꽃 색깔, 암술머리 색, 개화 시기, 열매 색과 모양, 가시,엽상경, 식물체의 크기 등 형태 세부 형질을 활용하여 비교 분석하였다.

## 3. 신품종 제주백년초(*O. monacantha* f. *jejuensis*)

### 1) 재료

본 연구에 사용된 제주산 *O. monacantha*는 2020년 10월 17일 서귀포 태평로 군락지(33°14'40.6"N 126°32'38.0"E)에서 채집하였다. 채집한 재료는 종의 형태학적 연구를 위하여 세부 형질에 대한 측정이 이루어졌고, *O. monacantha* s.l.(하위 분류군 포함) 및 한국산 *Opuntia* 선인장들과의 분류학적 유연관계를 비교 분석 하기 위하여 제주 서귀포 호근동 소재 백년초 박물관 생장지에 옮겨 심었다. 점액질이 많은 선인장 표본의 표본 상태의 문제점을 보완하여 액침 표본으로 제작하여

자원관리번호와 함께 백년초 박물관에 보관하였다. DNA 염기서열 분석을 위하여 균과 오염도를 고려해 1년생 어린잎을 채취하였으며, 채집된 재료인 엽상경은 깨끗이 증류수로 세척한 후 액체 질소에 동결시키고  $-80^{\circ}\text{C}$ 에 보관하면서 DNA를 추출하였다. 한국산 *Opuntia* 선인장들 및 *Elatae* series내 *O. monacantha* s.l. 간의 계통분류학적 유연관계를 확인하기 위해 *Tacinga* series를 각각의 외군으로 이용하였고, 미국 NCBI (GeneBank)에 등록된 염기서열 정보를 사용하였다.

## 2) 분석 방법

### (1) 계통분류학적 연구

제주산 *O. monacantha*의 *Elatae* series 내에서의 명확한 위치를 확인하기 위하여 *O. monacantha* s.l. (*O. monacantha*, *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*, 제주산 *O. monacantha*) 형태 및 DNA 염기서열 비교 분석을 하였다. Genomic DNA 분리는 CTAB 방법을 사용하였다(Doyle and Doyle, 1988). 식물계통분류 연구에 적합한 Plastid intergenic spacers인 *atpB-rbcL* (Mavrodiev *et al.*, 2010), *trnL-F* (Taberlet *et al.*, 1991), *psbJ-petA* (Shaw *et al.*, 2007), Chloroplast gene인 *matK*, Nuclear ribosomal gene인 ITS (White *et al.*, 1990)로 Primer 및 프로토콜로 증폭하였다(Table 8). PCR Cycle Condition은  $94^{\circ}\text{C}$ 에서 5분간 1회 Initial Denaturation 수행하였다. thermal cycle 과정은  $94^{\circ}\text{C}$ 에서 30초간 Denaturation,  $55^{\circ}\text{C}$ 에서 30초 동안 Annealing,  $72^{\circ}\text{C}$  1분 Extension을 35회 반복 실험하였다. Final Extension은  $72^{\circ}\text{C}$ 에서 10분간 1회 실시하였다.

Table 8. Genomic DNA regions and primer sequences used *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis*

Gene	sequence or reference	Length amplified
<i>atpB-rbcL</i>	<i>atpB</i> Op : 5'-GTAAACTATGTCGAAATTCTTTGC-3 ' <i>rbcL</i> . Op : 5'-ACAACAAAACAACAAGGTCTACTC-3 '	861
<i>psbJ-petA</i>	<i>psbJ</i> : (Shaw et al., 2007) <i>petA</i> . Op : 5'-CAACATCAAGTTCGTAACAAG-3 '	1169
<i>trnL-F</i>	<i>trnL</i> : (Taberlet et al., 1991) <i>trnF</i> : (Taberlet et al., 1991)	441
<i>matK</i>	<i>matKx</i> : 5'-TAATTTACGATCAATTCATTC-3 ' <i>matK5</i> : 5'-GTTCTAGCACCCAGAAAGTCG-3 '	905
<i>nrITS</i>	ITS4: (White et al., 1990) ITS5: (White et al., 1990)	599

본 분류군의 5가지 DNA 마커를 *atpB-rbcL*, *psbJ-petA*, *trnL-F*, *matK*, *nrITS* 순서대로 연결하여 이번 연구에 사용하였고, 염기서열 결정은 Big Dye Terminator 주기 염기서열 분석 키트 v.3.1와 자동화 DNA 시퀀싱 시스템인 Applied BioSystems DNA 3730XL Analyzer (Applied BioSystems, Foster City, CA, USA)을 이용하여 총 25회의 사이클의 시퀀싱 반응을 수행하였다. Montage SEQ96 PCR Clean up kit (Millipore Corporation, Billerica, MA, USA)를 이용하여 DNA를 정제하였다. clustalX 프로그램을 이용하여 염기서열을 정렬하고(Thompson *et al.*, 1997), Bioedit ver. 7.2.6.2. (Hall, 1999) 프로그램을 사용하여 염기서열을 편집 및 재정렬하였다.

*Opuntia*내 *O. monacantha* s.l. 종간 계통 유연관계의 확인을 위해 BI와 ML분석을 수행하였으며, MrBayes-3.2.5 프로그램과 PhyML\_3.0 (Guindon *et al.*, 2010)을 각각 이용하였다. BI분석은 DNA 염기서열에서 치환율에 영향을 미치는 주요 parameter에 기반한 GTR+I+G 모델을 사용하였다. 5가지 유전자에 대한 각 분석에서  $1 \times 10^6$  generations의 무작위적 계통수가 만들어졌고, Markov chains은 100 generations이 샘플링되었다. ML분석은 PhyML\_3.0프로그램으로 계통수와

Bootstrap을 사용하여 기존의 데이터 세트에서 캐릭터들이 중복되더라도 개수만 같도록 랜덤으로 샘플링 한 뒤 동일한 트리를 형성하기 위해 10,000회 반복하였다.

BI분석의 결과인 TRE파일과 ML분석의 결과인 Phyml 데이터로 분류군간 계통 유연관계를 확인할 수 있는 분자계통도를 작성하였다. BEAST에서 제작한 요약된 내용과 주석 처리된 계통수를 표시하도록 설계된 FigTree v1.4.3 프로그램을 이용하여 분자계통도를 확인하였다.

추가적으로 제주산 *O. monacantha*의 DNA 염기서열을 완전하게 확인한 후에는 계통분류학적 관점의 분자진화학적인(Molecular evolutionary)방법으로 한국산 *Opuntia* 선인장 및 *O. monacantha* s.l.간 염기서열을 비교 분석하였다. 이 연구에서는 본 분류군의 진화학적 연구 결과를 얻기 위하여 기존에 연구된(Kim *et al.*, 2014) 선인장들을 포함한 한국에서 재배되고 있는 선인장들(천년초, 가시천년초, 선인장)의 DNA 마커를 3개씩 sampling하였다. 이때 사용한 DNA 마커는 *matK*, *trnL-F*, *nrITS*로서 NCBI의 GenBank에 등록된 유전정보를 바탕으로 *Tacinga* series를 외군으로 이용하여 계통분류학적 유연관계를 확인하였다(Clegg, 1993; Soltis *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2010).

## (2) 형태 연구

제주산 *O. monacantha*의 비교 형태 형질 연구에 적합한 불연속 변이(질적 형질)로서는 꽃잎의 색깔, 암술머리의 색깔, 열매의 색깔, 과육의 색깔, 씨앗 모양, 줄기와 열매가 자라는 방법의 형질을 우선 선정하였으며, 한국산 *Opuntia* 선인장들 및 *O. monacantha* s.l.간의 주요 6개 형질을 중심으로 비교 분석하였다. 종간 혹은 집단간 구분이 되지 않는 연속 변이(양적형질)인 식물체의 키, 식물 기관(organ)의 크기는 본 분류군에 대한 이해를 돕기 위해 추가로 기재하였다.

### Ⅲ. 연구결과

선인장과 *Opuntia ficus-indica* s.l. 종들과의 형태적 차이가 확연히 나타났고, 최초 기재된 국내 문헌에 나오는 종이 제주에 분포하는 종인지도 확실치 않은 것으로 밝혀졌다. 선인장과 제주산 *O. monacantha*의 계통 분류학적 유연관계 분석 및 형태 형질 비교를 통해 두 종은 한 종으로 볼 수 없으며 완전히 다른 종이 밝혀졌다. 그리고, 제주산 *O. monacantha*와 *O. monacantha* s.l. 및 한국산 *Opuntia* 선인장들의 형태 특성을 비교 분석 및 계통분류학적 연구를 통한 분류학적 위치를 확인한 결과, 제주산 *O. monacantha*는 *O. monacantha* 본종과 형태 형질의 많은 부분이 같게 관찰되었으나 꽃잎과 과육 색깔의 특이한 형질 발현에서 차이가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 1. 선인장의 분류학적 검토

##### 1) 형태 비교 분석

한림 월령리를 중심으로 제주 해안지역에 자생화 및 재배되고 있는 선인장은 식물의 높이가 1 m 미만에 달하며 관목상 식물이다(Fig. 7). 꽃의 색은 노란색이고, 꽃의 직경은 5~7 cm 정도이다. 꽃망울은 녹색을 띠고, 화피편은 30여개이다. 수술은 밝은 노란색으로 160~180여개이며, 암술은 하위자방으로 1개이고 노란색이다. 성숙한 열매는 기다란 드럼 또는 서양배 모양이고, 진한 보라색이다. 엽상경은 평평하며, 연녹색 또는 녹색으로 도란형 또는 난형이다. 엽상경의 장축은 5~15 cm 이고, 단축은 3~8 cm이며, 자좌(areole)의 크기는 2 mm이고, 엽상경의 표면 위에 약 3 cm 간격으로 분포한다. 2 mm 크기의 작고 가는 잔가시(glochid)가 있는 자좌에는 1~4 cm 길이의 엽침(spines)이 평균적으로 0~2개이며 4개까지 존재하기도 하고 회색에 가깝다.

선인장이 가지는 형질은 학명으로 지금까지 학명으로 부여된 *Opuntia ficus-indica* s.l.와 세부적인 형태 비교를 했을 때 차이가 확연히 나타난다. *O. ficus-indica*는 식물의 크기가 3~6 m로 교목상 다육식물이다. 꽃은 노란색 또는 주황색을 띄며, 열매는 주황색, 노란색, 보라색으로 다양하고, 다른 선인장보다 장축 5~7 cm, 단축 4~9 cm인 크기가 큰 열매를 맺는다. 엽상경의 크기도 장타원형으로 20~60 cm이며, 두께도 3 cm에 달하는 대형 선인장이다. 하나의 절편에 자작가 7~11개 이상 분포하고, 1~3개의 엽침을 가지고 있다(Table 9).

Makino(1931)는 *O. ficus-indica* var. *saboten*은 본종인 *O. ficus-indica*와 비교했을 때 꽃이 오렌지색이며, 성숙한 열매와 과육이 노란색인 점을 들어 변종으로 명명하였다. 또한 엽상경이 주름지고, 표면이 거칠고 깊게 톱니 모양으로 돌기 형태로 발달하였고, 잎의 윗면은 녹색이지만 아래부분이 보라색으로 나타나는 것을 중요한 진단형질(diagnostic characters)로 제시하였다. 핵심 연구 결과에서 *O. ficus-indica* var. *saboten*과 선인장과는 형태 비교에서 형질의 차이가 확실히 낮다. 원 기재문의 사진을 보더라도 식물이 선인장보다 크기가 상대적으로 컸으며(Fig. 7), *O. ficus-indica* var. *saboten*의 꽃 색깔은 오렌지색이나, 선인장은 노란색이었다. *O. ficus-indica* var. *saboten*의 엽상경은 좁고 기다란 장타원형이고 크기가 컸으며 표면이 거칠고 깊게 톱니 모양으로 돌기 형태로 발달 되었으나, 선인장은 난형이며 크기가 작았고, 평평하였다. 그리고 *O. ficus-indica* var. *saboten*의 성숙한 과일 색깔은 황색이나 선인장의 과일 색깔은 짙은 보라색이었다. *O. ficus-indica* var. *saboten*의 성숙한 과육의 색깔은 노란색이나, 선인장은 보라색으로 두 분류군은 꽃, 열매, 엽상경, 식물체 크기 등 여러 형태 형질에서 차이를 보인다(Table 9). 그리고 최근 국제식물분류학회에서는 본종인 *O. ficus-indica*의 형질 범위 속에 *O. ficus-indica* var. *saboten*이 포함되는 것으로 판단하여 이명으로 처리하면서 기준명에 귀속시킨 상태이다.



Table 9. Comparison of some morphological characteristics between *O. ficus-indica* (L.) Mill., *O. ficus-indica* (L.) Mill. var. *saboten*, *O. stricta* Haw. and *O. stricta* Haw.(선인장)

Taxa	<i>O. ficus-indica</i> Mill.	<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	<i>O. stricta</i>	<i>O. stricta</i> (선인장)
Flower color	yellow or orange	orange	yellow	yellow
Cladode shape	Joints elliptic to narrowly obovate	broadly oblong to ovate to narrowly elliptic	Ovate or Obovate	Ovate or Obovate
Cladode surface	flattened	Leaves crispate, coarsely or deeply dentate	flattened	flattened
Cladode size (long*wide)	20~60*10~40cm	-	10~25*7.5~15cm	5~15*3~8cm
Fruit color	green at first ripening to yellow, orange, red or purple in colour depending on the variety	yellowish	reddish-purple	reddish-purple
Fruit shape	ellipsoidal or obovoid	-	ellipsoid or barrel-shaped	ellipsoid or barrel-shaped
Fruit size (long * diameter)	5~7*4~9 cm	-	4~6*2.5~3 cm	4~6*3 cm
Pulp color (ripe fruit)	red or purple	yellowish	purple	purple
Hard spine size (nu)	up to 1.5 cm (usually none, sometimes 1 or more, long, bristle-like)	-	1.2~4 cm (0~2 ea per areole)	3~4 cm (0~2 ea per areole)
Glochid color (size)	yellow	-	yellow (4 mm)	yellow (2~4 mm)
plant size	up to 3~6 m	-	0.5 ~ 1 m	less than 1 m



Fig. 7. Photographs of *O. stricta* Haw. (left), *O. ficus-indica* (L.) Mill. var. *Saboten* (center), *O. ficus-indica* (L.) Mill. (right)

Table 9에서 선인장과 *O. stricta* 본종의 형태 형질을 보면 꽃의 크기, 엽상경의 크기, 열매의 크기가 조금 차이가 있으나, 꽃의 색, 엽상경의 모양, 열매의 색, 과육의 색 등 많은 부분이 거의 같다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 8에서는 두 분류군이 모두 한 자좌에서 강모를 평균 0~2개 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 다시 말해 선인장과 *O. stricta* 본종의 형태 형질 부분은 거의 같다는 결과가 도출되었다.



*O. stricta*(선인장)

*O. stricta*

(GBIF, accessed on 14. November.)

Fig. 8. Photographs of *Opuntia stricta* s.l. The photo on the left is taken in Wolyeong-ri, Hallim, Jeju.

## 2) 계통분류학적 비교

Fig. 9에서 선인장(*O. Kstricta*)은 *O. stricta*와 BI 분석에서 BPP값이 0.98로 유의미하게 높게 산출되어 두 분류군을 같은 종으로 판단하는 데 충분한 데이터를 얻을 수 있었다. 계통수에서 본종인 *O. stricta*와 구분하기 위해서 선인장을 *O. Kstricta*로 표기하였다(Fig. 9).

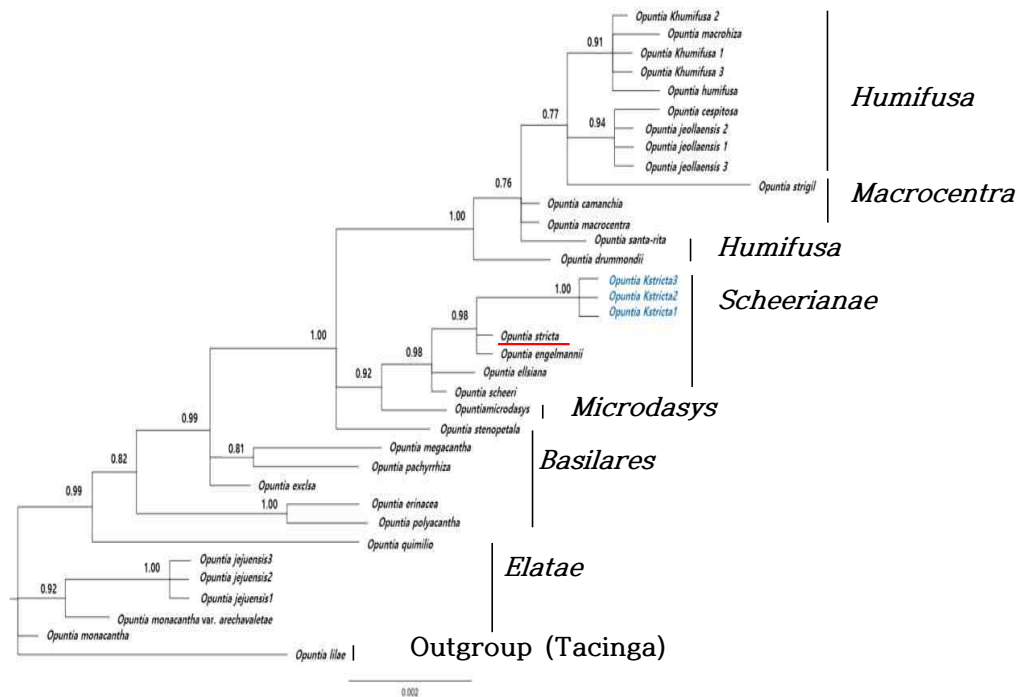


Fig. 9. BI Tree including *O. stricta* s.l in *Opuntia* s.s. based on the combined sequences(*trnL*-F, *matK* and *nrITS* sequences). The BPP (Bayesian Posterior Probability) values < 0.5 is not given

### 3) 국내 문헌 연구 기록 검토

1934년 일본 식물학자 모리가 조선총독부 ‘천연기념물 대장’에 제주 삼도(섭섬) 파초일엽의 자생지 현황에 대해 탐사하여 작성하였고, 우리나라 사람으로는 처음으로 박(1949)이 ‘우리나라 식물 명감’에 파초일엽을 기재하였으나, 서식지에 대한 정보는 없다. 다만 1952년 김윤식 교수 일행이 직접 제주도 섭섬에 파초일엽 자생지를 확인하였다. 이처럼 선인장 역시 파초일엽과 같이 당시 선인장에 관련된 서식지 정보, 사진, 그림 등은 없고 학명과 일반명만으로 기재되어 있다. 이후 박만규 박사는 국립과학관장 재직시절 1962년 왕벚나무조사 당시 제주도 식물조사단 단장으로 입도한 것은 사실이나 이것이 선인장을 연구하였다는 단서가 되지는 않는다. ‘우리나라 식물 명감’은 한국 내 서식한 식물의 학명(Scientific Name)과 일반명

(Common Name)을 정리한 식물목록 도서이다. 실제로 1972년 제주 한림 월령리 선인장 균락을 발견한 사람은 식물학자 부종휴 선생이다(Jejuilbo, accessed on 11. June. 2022). 다시 말해 박(1949)이 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*을 제주에 분포한 선인장을 두고 기재한 것인지 국내 도입 원예종을 소개한 것인지 기재된 내용은 없고, 또한 선인장 균락을 발견하지도 않았다. 그러나, 박(1949)이 일반명을 부여하기 이전에 제주도 식물에 대한 최초의 학술 문헌인 ‘제주완도보고서’에는 *Opuntia* 선인장에 대한 내용이 기재되어 있지 않았다(Nakai, 1914). 이 보고서는 당시 분류학자이며 식물지리학자인 Nakai(1914)가 저술한 보고서로서 정확도를 고려해 보았을 때 제주도 내 선인장을 기재하지 않은 것이 아니라, 제주도의 자생종(Native Species)이 아닌 외래도입종(Introduced Species)으로 치부하였기 때문이라고 판단한다. 이 당시 Nakai 교수는 조선 식물에 대한 식물분포와 지역 식물의 특성을 조사하여 밝히는 연구를 목적으로 하였기 때문에 정확도가 아주 높다고 볼 수 있다(Lee, 2012). 이후 연구자들은 단순히 외래 도입식물 종으로 보지 않고 자생화 또는 재배된 것으로 종 기재가 필요하다고 판단하여 식물학 관련 문헌에 종을 포함한 것으로 보인다. 그러나 박(1949)이 제시한 학명의 종이 선인장과 동일종인지 문헌을 통해 알 수 없으며, 선인장이 *Opuntia* 어디에 분류되는지 형태 및 계통분류학적으로 연구된 문헌도 없다. 그러나 현재까지 국가 정부 소속기관 및 대학을 포함한 연구 기관의 문헌과 연구 결과물에는 모두 선인장을 *O. ficus-indica* 또는 *O. ficus-indica* var. *saboten*으로 기술하고 있다(Table 10). 추후 이러한 기재가 지속적으로 사용되면서 선인장은 *O. ficus-indica* 또는 *O. ficus-indica* var. *saboten*으로 학명이 고착화되었다고 판단하였다.

Table 10. Comparison of major research references documenting *Opuntia ficus-indica* in Korea

scientific name	common name	Reference
<i>O. ficus-indica</i> Miller var. <i>saboten</i> Makino	신선장, 선인장	Park, M.G. 1949. An Enumeration of Korean Plants. Chosun book printing corporation. Ministry of culture and education, Seoul, p. 165.
<i>O. ficus-indica</i> Miller var. <i>saboten</i> Makino	선인장	Lee, Y.N. and S.W. Chu. 1956. Illustrated Flora of Korea. Daedongdang Seoul, p. 100.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> Makino	선인장	Lee, C.B. 1980. Illustrated Flora of Korea. Hyangmunsa, p. 559.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> Makino	선인장	Lee, Y.N. 1996. Flora of Korea. Kyohak publishing, Seoul.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	사파등선인장	Kim, T.J. 2008. Wild Flowers and Resources Plants in Korea 3. Seoul national university press, p. 355.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	백년초	Kwon, I.S., K.H. Yang and K.H. Shim. 1999. Antimicrobial and antioxidative activities of <i>Opuntia ficus - indica</i> var. <i>saboten</i> Extracts. The Korean Society of Food Preservation, 6(3): 345-349.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	백년초	Lee, Y.S., H.J. Kim, S.Y. Jung, E.H. Lee and B.J. Chang. 2001. Antioxidative and neuroprotective constituents isolated from <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> . Korean J. Physiol. Pharmacol., 2007(1): 115-121.
<i>O. ficus-indica</i>	백년초선인장	In, J.G., B.S.. Lee, E.J. Kim, K.S. Choi, S.H. Han, C.W. Shin, D.C. Yang. 2006. Analysis of the ITS (Internal Transcribed Spacer) Region of <i>Opuntia ficus-indica</i> . Korean Journal of Plant Research Institute, 19(1): 161-168
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> Makino	손바닥선인장	Kim, H.N., W.C. Yun and D.W. Cho. 2007. Identification of anti-microbial material originated from <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> Makino. Korean J. Life Science, 17(7): 915-922.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	백년초	Lee, J.Y. and H.C. Bae. 2009. Preparation of fermented milk added with powder of <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> and its sensory characteristics. Journal of the East Asian Society of Dietary Life, 19(6): 967-974.

<i>O. ficus-indica</i>	백년초	Kim, E.J., K. Srikanth, E.A. Lee and S.S. Whang. 2014. <i>Opuntia humifusa</i> (Raf.) Raf. f. <i>jeollaensis</i> E.J. Kim & S.S. Whang, a new forma based on three DNA markers. Korean J. Pl. Taxon., 44(3): 181-187.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	백년초	Lim, M. H. and S. J. Hong. 2016. Availability of <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> stem extracts as a natural preservative. Asian J. Beauty Cosmetol., 14(4): 449-461.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	보검선인장	Jeong, I.S., S.H. Lee, J. Song, K.A. Hwang, G.M. Noh, D.e. Jang and I.G. Hwang. 2016. Phytochemical Contents and Antioxidant Activities of <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> . Korean J. Soc. Food. Sci., 29(5): 767-776.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	백년초	Lee, J.A. 2017. Antioxidative Capacity and Quality Characteristics of Yanggaeng added with Beaknyuncho ( <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> ) Powder. Culinary science and hospitality research, 23(4): 33-42.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i>	보검선인장	Lee, S.H., H.W. Kim, M.K. Lee, G. Asamenew, Y.J. Kim, S.j. Lee, Y.S. Cha, S.M. Yoo and J.B. Kim. 2018. Characterization of flavonoids from used parts of prickly pear ( <i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> ) and dragon fruit ( <i>Hylocereus undatus</i> ) Using UPLC-DAD-QToF/MS. J Korean Soc Food Sci Nutr., 47(12): 1274-1283.
<i>O. ficus-indica</i> var. <i>saboten</i> Makino	선인장	Bio Resource Information Service (2020) <a href="https://www.bris.go.kr/portal/resource/book/selectResourceBookDtInfo.do?lfrMnno=KISTI1137X00460&amp;gubun=3&amp;siteGb=P&amp;menuNo=200200">https://www.bris.go.kr/portal/resource/book/selectResourceBookDtInfo.do?lfrMnno=KISTI1137X00460&amp;gubun=3&amp;siteGb=P&amp;menuNo=200200</a>
<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.	선인장	National Institute of Biological Resources (2020) <a href="https://species.nibr.go.kr/home/mainHome.do?cont_link=009&amp;subMenu=009002&amp;contCd=009002&amp;ktsn=120000070507">https://species.nibr.go.kr/home/mainHome.do?cont_link=009&amp;subMenu=009002&amp;contCd=009002&amp;ktsn=120000070507</a>
<i>O. ficus-indica</i> (L.) Mill.	선인장	National Institute of Biological Resources (2020) (Biodiversity of the Korean Peninsula) NIBRVP0000135723, NIBRVP0000759193, NIBRVP0000759192, NIBRVP0000759191, NIBRVP0000759190, NIBRVP0000759189, NIBRVP0000759188, NIBRVP0000759186, NIBRVP0000751301, NIBRVP0000751300, NIBRVP0000751299, NIBRVP0000710627, NIBRVP0000391659, NIBRVP0000391659, NIBRVP0000213562,

#### 4)분류군의 기재

*Opuntia ficus-indica* (Linnaeus) Miller Gard. Dict. ed. 8, *Opuntia* no. 2. 1768.

**일반명:** 인도 무화과, 바바리 무화과, 선인장 배, 가시배, 가시 없는 선인장

교목형 다육식물, 3~6 m; 몸통 직경 30~45 cm. 엽상경 녹색, 장타원형, 4~60 × 2~3 cm, 결절이 낮음; 자좌는 엽상경 표면에 규칙적으로 7~11 개, 직경 2~4 mm; 잔가시는 갈색. 강모는 자좌에 1~6 개, 강모가 자좌에 없기도함, 황갈색, 갈색, 기본적으로 평편하고 약간 구부러져 있기도함, 1~10(~40) mm; 0~2 개의 강모 같은 가시의 크기는 5 mm. 잔가시는 자좌 중심으로 2mm 미만의 크기로 자람, 초기에는 노랗고 점차 갈색으로 변함. 꽃; 내부 화판은 전체적으로 노란색에서 주황색, 25~50 mm; 수술대와 꽃밥은 노란색; 암술대는 밝은 홍색; 암술 머리는 노란색. 열매는 노란색, 주황색, 보라색으로 변함, 50~100 × 40~90 mm; 과즙이 많음, 광택이 없고, 가시가 없음, 자좌는 45~60 개 열매에 골고루 퍼져있음, 종자는 열은 황갈색이고 원형, 직경 4~5 mm, 1 mm 정도의 튀어나온 띠를 가짐. 염색체 개수  $2n = 88$ .

생물계절: 3~5월에 개화

서식지: 해안 수풀, 건조한 고지대, 협곡, 생태 교란 지역

고도 범위: 0~300 m

*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth Syn. Pl. Succ., 191. 1812.

**일반명:** 직립 가시 배, nopal estricto(스페인어)

관목형 다육식물, 2m 까지 뻗어 있어거나 직립. 엽상경 마디는 분절되지 않고 녹색이며 좁은 타원형 또는 도란형, 10~25(~40) × 7.5~15(~25) cm, 결절형, 자좌 사이에 가장 자리는 매끈함; 엽상경 중간을 가로지는 선을 중심으로 자좌가 3~5 개, 타원형, 3~6.5 × 3.5 mm; 황갈색. 강모는 자좌당 0~11 개, 모든 자좌에서 공통적으로 강모가 없거나 일부 자좌에서 만 강모가 자람, 모든 방향으로 퍼짐, 초기에는 노란색이고 점차 갈색으로 변함, 곧거나 구부러짐, 가장 길고 굽음, 단면이 타원형, 12~40(~60) mm, 눈에 띄게 가시가 안보임. 눈에 띄지 않는 잔가시, 자좌의 측 가장자리에 초승달 모양으로 드물게 보임, 초기에는 노란색이고 점차 갈색으로 변함,

종종 안쪽으로 굽으며, 자좌의 축 가장자리를 향하여 거의 비슷하게 4 mm로 자람. 꽃: 안쪽 화피는 전체적으로 밝은 노란색, 25-30 mm; 수술대는 노란색; 꽃밥 노란색; 암술대와 암술머리는 노란색. 열매는 전체적으로 보라색, 엽상경에 달림, 타원체 또는 통모양, 40~60 × 25~30(~40) mm, 과즙이 많음, 강모가 없음; 6~10 개의 자좌가 있음. 종자는 황갈색, 원형에 가까움, 4~5 × 4~4.5 mm, 약간 불규칙한 표면; 1 mm 정도의 튀어나온 띠를 가짐. 염색체 개수  $2n = 44$  (재배), 66(자연).

생물계절: 2월~7월에 개화

서식지: 해안사구, 해양 숲의 가장자리

고도 범위: 0 m

## 2. 제주의 손바닥선인장속 두 분류군의 계통분류학적 유연관계

### 1) 형태 비교

제주도에 자생 및 분포하고 있는 제주산 *O. monacantha*와 선인장 두 분류군의 생육상태, 엽상경, 꽃, 열매, 가시의 형질을 이용하여 분류하였다. 제주산 *O. monacantha*는 2 m 이상 자라는 교목성 식물이고, 선인장은 1 m으로 자라는 관목성 식물이었다. 제주산 *O. monacantha*의 엽상경은 장타원형이나, 월령리 선인장은 도란형으로 관찰되었다. 본 줄기에서 1년 성장한 제주산 *O. monacantha*의 엽상경은 길이 26 cm, 폭 12 cm 였으며, 선인장은 길이 15 cm, 폭 8 cm였다. 따라서 제주산 *O. monacantha*의 엽상경이 선인장보다 크다는 것을 알 수있었다. 제주산 *O. monacantha*의 꽃망울은 붉은색이었으나 선인장은 녹색을 띠고 있었으며, 제주산 *O. monacantha*의 노란색 꽃잎 바깥쪽에는 중심축을 따라 붉은색 줄무늬를 가지고 있으나 선인장은 노란색 꽃잎을 가지고 있다. 제주산 *O. monacantha*의 안쪽 꽃잎은 크고 바깥쪽으로 갈수록 꽃잎이 작게 나타나 일반 식물의 꽃잎 배열과 다른 양상을 관찰하였다. 제주산 *O. monacantha*의 열매는 몸통이 둥근 자두모양이었으나, 선인장은 긴 드럼이나 서양배 모양이었다. 제주산 *O. monacantha*는 강모가 3~4 cm로 선인장의 강모보다 0.5~1 cm 더 크게 관찰되었다(Fig. 10).



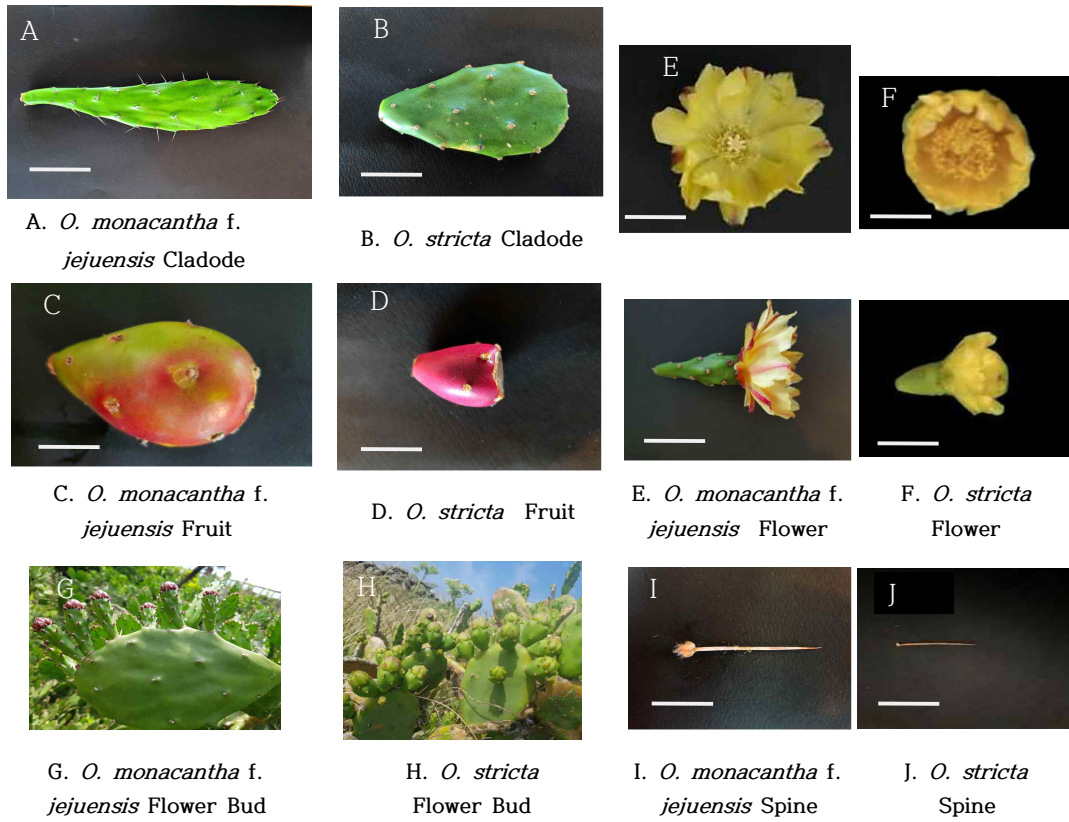


Fig. 10. Photograph of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* and *O. stricta* Haw. in Jeju. The scale bar (white) is 2 cm. *O. monacantha* f. *jejuensis* was collected from Hogeun-dong, Seogwipo, and *O. stricta* was collected from Wolryeong-ri, Hallim and was photographed.

## 2) 계통유연관계

*nrITS* DNA마커를 활용하여 Bioedit 프로그램, Mega 6 프로그램 활용한 NJ tree에서 제주산 *O. monacantha*와 선인장 두 분류군의 Phylogenetic tree에서 서로 명확히 다르게 분지 되어 나타났다(Fig. 11). 두 분류군이 하나로 묶일 수 있는 복제 계통수의 확률을 Branch 왼쪽에 표시하였다(Felsenstein, 1985). 또한 두 분류군의 *Opuntia* s.s 내에서의 계통 분류학적 위치를 찾기 위한 계통분류학적인 BI 분석을 통해서 제주산 *O. monacantha*는 *Elatae* series에 포함되었고, 선인장은 *Scheerianae* series에 포함되었다(Appendix 1).

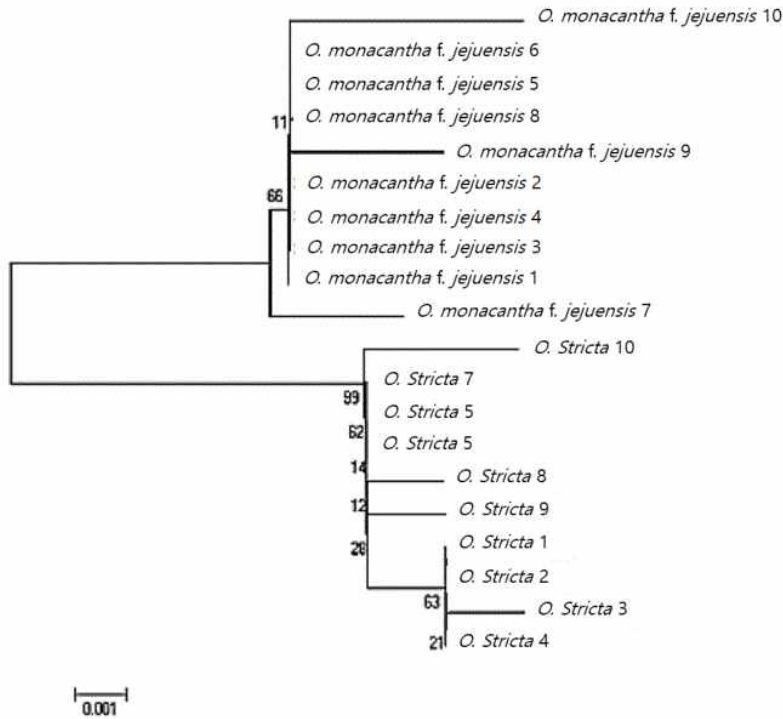


Fig. 11. Systematic relationships of taxa of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* and *O. stricta* Haw. (NJ tree analyzed by *nrITS* primer)

### 3. 신품종 제주백년초(*O. monacantha* f. *jejuensis*)

#### 1) 한국산 *Opuntia*속 선인장들의 형태 비교

제주산 *O. monacantha*는 남아메리카 파라과이와 우루과이가 원산지로 열대지방에서 자라며 한국 반도의 겨울에 취약하다. 그러나 한국의 다른 *Opuntia* 종은 원산지가 북아메리카의 북미지역으로 겨울에 강해 영하의 날씨에도 월동이 가능하다. 제주산 *O. monacantha*는 한국의 다른 *Opuntia* 선인장들과 형태 특징에 많은 차이가 있다(Table 10). 성숙한 개체의 엽상경(cladode)의 모양은 선인장, 천년초(*O. humifusa*), 그리고 왕가시천년초(*O. humifusa* f. *jeollaensis*)가 모두 도란형(Ovate or Obovate)이지만 본 분류군은 장타원형(Oblong)이다. 또한 식물체의 크기, 개화시기, 열매모양, 그리고 과육의 색깔이 확실히 차이가 난다. 제주산 *O. monacantha*는 tree-like plant(교목)로 2m 이상이지만, 다른 종들은 shrubby-like plant(관목)로 1m 미만이다. 제주산 *O. monacantha*의 열매 모양은 자두 모양이지만 다른 종들은 기다란 드럼 모양이다. 제주산 *O. monacantha*의 열매색은 Purple green이지만, 다른 종들은 Reddish purple이다. 제주산 *O. monacantha*의 과육색은 Yellow green이지만, 다른 종들은 Purple이다. 마지막으로 제주산 *O. monacantha*의 꽃은 꽃잎의 바깥 부분의 중심축에 붉은 띠가 있으나, 선인장과 천년초는 노란색, 왕가시천년초는 노란색 바탕에 중심이 붉은 형태였다(Fig. 12). Fig. 13은 제주산 *O. monacantha*의 형태적 특징을 나타내는 엽상경, 꽃, 열매, 발아, 가시, 암술의 모습을 보여준다.

#### 2) *O. monacantha* s.l.간 형태 비교

*O. monacantha* s.l.간 형태 비교에서 제주산 *O. monacantha*는 본종인 *O. monacantha*와 전체적인 외형이 유사하다. 그러나 *O. monacantha*는 꽃잎의 뒷면 뿐만 아니라 앞면에도 자주색 줄무늬가 나타나지만(Majure and Puente, 2014), 제주산 *O. monacantha*는 꽃잎의 뒷면에서만 자주색 줄무늬가 나타난다(Fig. 13). 꽃잎 색은 *O. monacantha*와 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*은 Yellow 또는 Orange yellow이지만, 제주산 *O. monacantha*은 밝은 Yellow이다.

Table 11. Morphological difference of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* and *Opuntia* spp. in Korea

Taxa	<i>O. monacantha</i> f. <i>jejuensis</i>	<i>O. stricta</i>	<i>O. humifusa</i>	<i>O. humifusa</i> f. <i>jeollaensis</i>
Flower color	Yellow-with out side purple stripes	Yellow	Yellow	Yellow-with red in the red center
Stigma lobes color	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Cladode shape	Oblong (elongated)	Ovate or Obovate	Ovate or Obovate	Ovate or Obovate
Fruit shape	a plum	long drum	long drum	long drum
Fruit color	Purple-green	Reddish-purple	Reddish-purple	Reddish-purple
Pulp color	Yellow-green	Purple	Purple	Purple
plant size	2~ 5 m erect, succulent tree-like plant	Less than 1 m erect, succulent shrubby-like plant	Less than 1 m shrubby-like succulent	Less than 1 m shrubby-like succulent



A. *O. monacantha* f. *jejuensis*



B. *O. stricta*



C. *O. humifusa*



D. *O. humifusa* f. *jeollaensis*

Fig. 12. Photograph of the flowers of *Opuntia* spp. in Korea. *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* was photographed in Hogeun-dong, Seogwipo in Jeju (A). *O. stricta* was photographed from Wolryeong-ri, Hallim in Jeju (B). *O. humifusa* was photographed from Asan, Chungnam(C). *O. humifusa* f. *jeollaensis* was photographed from Iksan, Jeonbuk (D).

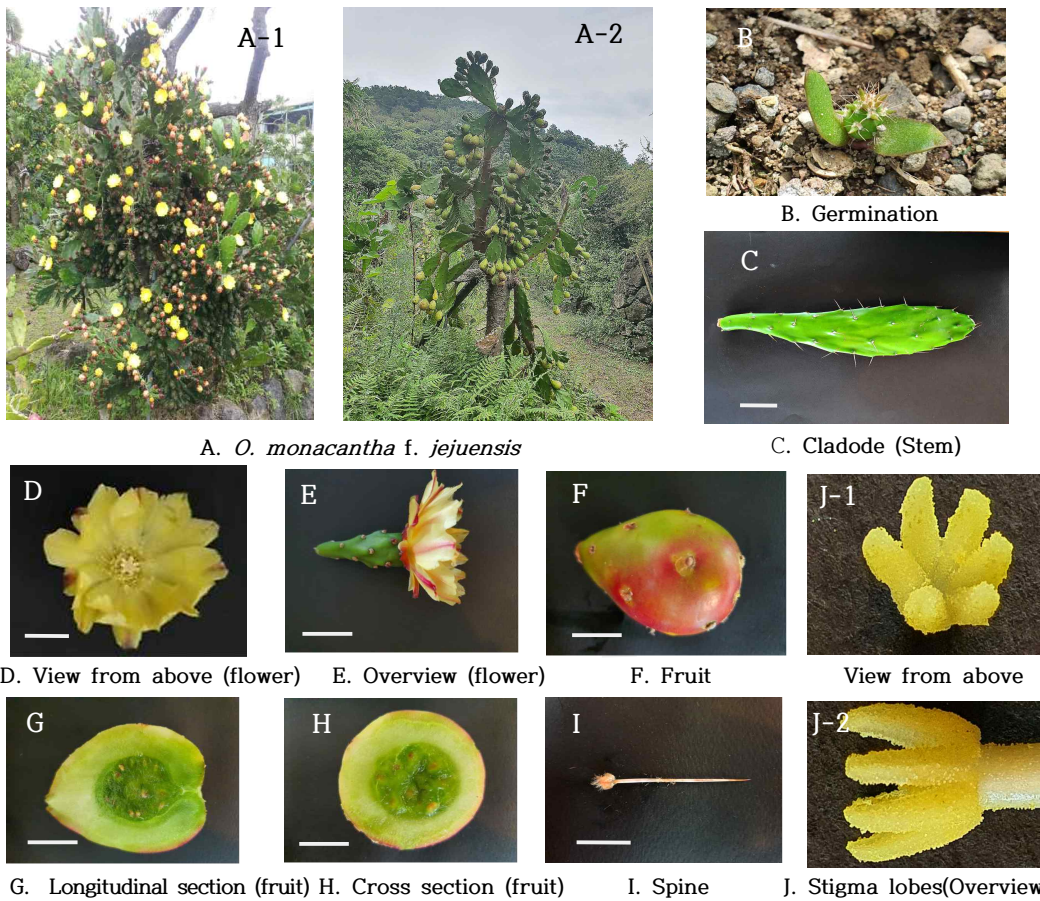
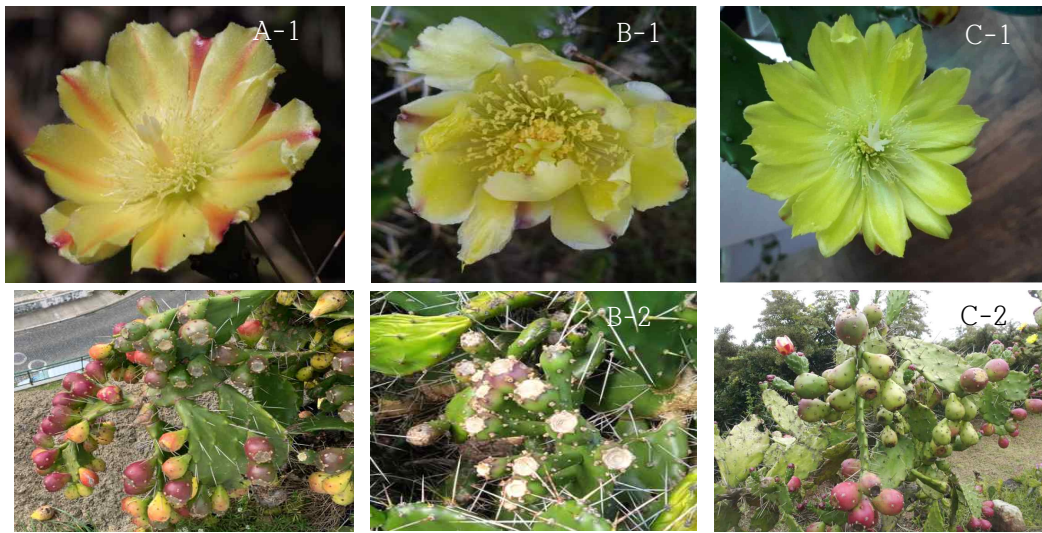


Fig. 13. Cladode, flowers, fruit, and pulp of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis*, illustrating their morphological characteristics. The scale bar (white) is 2 cm. *O. monacantha* f. *jejuensis* (A). Germinated *O. monacantha* f. *jejuensis* (B). Oblong shape of a cladode (C). Flower with purple stripes on the outside of yellow petals (D,E). Plum-shaped fruit (F-H). Spine (4 cm long) (I). Stigma lobes ( $\times 10$ ) (J). *O. monacantha* f. *jejuensis* was collected and photographed in Hogeun-dong, Seogwipo.



A. *O. monacantha*      B. *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*      C. *O. monacantha* f. *jejuensis*  
 Fig. 14. Flower and fruits of *O. monacantha* s.l.

Flower of *O. monacantha* (A-1): Royal Botanic Gardens Kew, accessed on 6. July. 2022.

Fruits of *O. monacantha* (A-2): Cactusinhabitat, genera and species, accessed on 8. April. 2022.

Flower of *O. monacantha* subsp. *arechavaletae* (B-1) Royal Botanic Gardens Kew, accessed on 6. July. 2022.

Fruits of *O. monacantha* subsp. *arechavaletae* (B-2) Royal Botanic Gardens Kew, accessed on 6. July. 2022.

Table 12과 Fig. 14는 *O. monacantha* s.l.의 형태적 차이가 있음을 시사해 준다. 우선 형태적 분류 형질은 Stigma lobes color, Fruit color, Seeds, Pulp color, Peculiar phenomenon이다. 본종인 *O. monacantha*의 Stigma lobes color는 Yellow이고, *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*는 green이고(Maria *et al.*, 2016; Guiggi, 2017), 제주산 *O. monacantha*은 Yellow였다. *O. monacantha*와 제주산 *O. monacantha*의 성숙한 열매의 색은 Purple green이지만 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*는 Reddish purple이다. Pardo와 Alonso(2017)는 *O. monacantha*와 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*는 수술의 Filament 색이 녹색(Green)이라 하였으나 이 연구를 통해 황색이 기본색이며, 열은 녹색이 비치는 황색(Yellow with light green)이라는 사실을 알게 되었다. 제주산 *O. monacantha* 또한 노란색이었다. 제주산 *O. monacantha*의 열매가 발현되는 현상은 크게 2가지로 구분될 수 있다. 하나는 열매에서 줄기가 자라고 이 줄기에서 열매가 자라는 것이고, 다른 하나는 줄기 끝에 열매가 순차적으로 3개가 나란히 자라는 것이다. 이러한 현상은 제주산 *O. monacantha*에서만 관찰되는 가장 특징적인 현상이다(Fig. 15).

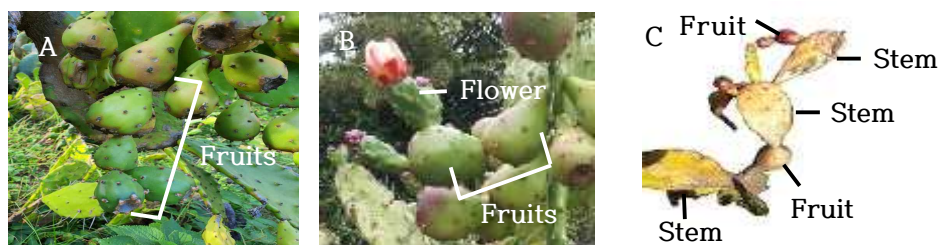


Fig. 15. Characteristic phenomenon of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis*. (A) Consecutively generated fruits. (B) A flower growing from a fruit. (C) a stem growing from a fruit. *O. monacantha* f. *jejuensis* was collected and photographed in Hogeun-dong, Seogwipo.

Table 12. Morphological difference in *O. monacantha* s.l.

Taxa	<i>O. monacantha</i>	<i>O. monacantha</i> subsp. <i>arechavaletae</i>	<i>O. monacantha</i> f. <i>jejuensis</i>
Flower color	Yellow or orange yellow tepal, Red stripes on the inside and outside of tepals	Yellow or orange yellow tepal, Red stripes on the outside of tepals	Yellow tepal, Red stripes on the outside of tepals
Stigma lobes color	Pale yellow to pale creamish (Haworth, 1819)	Green (Guiggi, 2017)	Pale yellow to pale creamish
Fruit color	The fruit maturing and reddish purple, greenish near base or green with red-purple shades (Haworth, 1819)	The fruit maturing and reddish-purple, greenish near base (club head part)	The fruit maturing and reddish purple, greenish near base or green with red-purple shades
Fruit shape	Narrowly turbinate to obovoid fruits, with well-developed loculus (Maria et al., 2017) Plum shape	Longer, elongate, with an apical and smaller loculus (Guiggi, 2017) Club shape	Narrowly turbinate to obovoid fruits, with well-developed loculus Plum shape
Seeds	3.5 × 4 mm (Haworth, 1819)	-	Seeds are light tan, Irregularly elliptic, ca. 2 ea 5 × 6 mm More than 50 ea 3 × 4 mm
Pulp color	Greenish (Maria et al., 2017)	Greenish (Maria et al., 2017)	Inside: Greenish Outside: Green-yellow
Peculiar phenomenon	-	-	Fruit + Stem + Fruit, Fruit + Fruit + Fruit

Table 12에 제시한 것처럼 제주산 *O. monacantha* (Kho *et al.*, 2018; Yang and Oh, 2021)는 본종인 *O. monacantha* (Wagner *et al.*, 1999; Taylor and Zappi, 2004; Navie and Adkins, 2008)와 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae* (Speg, 1905; Guiggi, 2017)를 함께 비교했을 때, 비교 형질, Flower color, Stigma lobes color, Fruit color, Seeds, Pulp color, 그리고 Peculiar phenomenon에서 다르게 나타났다. 연구 결과에서 설명한 바와 같이 제주산 *O. monacantha*는 열매 형태가 *O. monacantha*와 다르게 특이한 형태로 나타났다. Yang and Oh(2021)는 제주산 *O. monacantha*가 본종인 *O. monacantha*와 형태학적으로 열매와 줄기가 자라는 방식이 특이하게 다르다고 보고하였다. *Opuntia*의 경우, 성숙한 열매의 색이 과육의 색과 같으므로 열매의 색이 과육의 색을 나타내는 지표로 사용하였다(Omweri *et al.*, 2016). *O. monacantha*와 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*의 과육 색상은 녹색 (Maria *et al.*, 2016)이지만 제주산 *O. monacantha*의 과육은 중심은 녹색, 주변은 녹황색으로 열매의 색상과 차이가 있다(Fig. 13G and 13H). 제주산 *O. monacantha*와 본종인 *O. monacantha*의 성숙한 열매의 색상은 Purple green이지만 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*의 열매 색상은 reddish purple이다. 이러한 연구 결과를 고려하여 제주산 *O. monacantha*은 본종인 *O. monacantha*와 형태적 차이가 꽃, 열매, 줄기와 열매의 성장 패턴에서 차이가 나고 최근 급속도로 전파속도가 빠르게 농가에서 재배되고 있는 점을 고려하면 신품종으로서의 조건을 갖추고 있다고 사료된다.

### Taxonomic Treatment

제주백년초(*Opuntia monacantha* Haw. f. *jejuensis*)의 정기준 표본을 Fig. 16과 같이 액침 표본으로 제작하였으며, 특징과 검색표를 아래와 같이 정렬하였다.

**Korean name:** Je-ju-baik-nyun-cho 제주백년초

**Origin:** Eastern coastal South America (Argentina, Brazil, Paraguay, and Uruguay)



A type of succulent tree (thorny shrub); Erect cylinder trunk shrub, trunk diameter 25-30 cm; Cladodes shiny green, 2-5 m height, oblong (elongated), 20-35 cm long, 8-12 cm wide, areoles arranged >2 cm wide; Leaves subulate; Petals always yellow with purple median stripes on the outer perianth segment, 16-25 mm long and 11-16 mm; Bright yellow inner perianth parts, 22-40 mm long and 16-42 mm wide, with yellow to white staminal filaments (180-200 ea), the style yellow, 10-20 mm long, divided into 5-6 bright yellow stigma lobes and 8-10 mm long; Flowering May-January; Reddish flower buds; Spines, 4-5 cm long, white-grey or yellowish to reddish-brown; Brownish glochids numerous; Seeds, irregularly elliptic, usually 6×5 mm 2 ea and 4×3 mm More than 40 ea, High germination rate (>90%); Fleshy fruit, purple-green, yellow-green pulp color, plum-shaped, 5-7.5 cm long and 4-5 cm in diameter; Fruiting June to next year April.



Fig. 16. Holotype of *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* J. K. Kim. ex Y.S. Yang, for. nov.

**Diagnostic characters:** Red stripes on the outside of petals, yellow stigma lobes, purple-green fruit, plum-shaped fruit, green-yellow pulp, peculiar phenomenon (securely generated fruit, fruit grows continuously in fruit, flower and stem growing from fruit).

**Holotype:** Taepyeong-ro 200, Seogwipo, Jeju Province, Korea. (33°14'40.6" N 126°32'38.0" E) Oct. 17, 2020. (YANG-202201) Herbarium of Jeju Baiknyuncho

Museum. Donation to Herbarium of Jeju Baiknyuncho Museum (JBM).

**Isotype:** Taepyeong-ro 200, Seogwipo, Jeju Province, Korea. (33°14'40.6" N 126°32'38.0" E) Oct. 17, 2020. (YANG-202202, YANG-202203, YANG-202204) Herbarium of Jeju Baiknyuncho Museum (JBM).

**Distribution:** Jeju Island, Korea

**Etymology:** The specific epithet was derived from Jeju Island, where this new taxon is located.

**Habitats:** *O. monacantha* f. *jejuensis* grows on the coast of Seogwipo-si, Jeju-si, Jeju Province, Korea

### *O. monacantha* 종 이하 분류군 검색표

- 1a Yellow-orange 또는 orange색 꽃, 주걱형화피.....*Elatae* clade
- 1b Yellow 꽃을 가짐, 피침 모양의 화피.....2(*O. monacantha* s.l.)
  - 2a 녹색 암술머리를 가짐 .....*O. monacantha* subsp. *arechavaletae*
  - 2b 크림색 암술머리를 가짐 .....3(*O. monacantha* subsp. *monacantha*)
    - 3a 꽃잎 안팎으로 붉은색 줄무늬 가짐  
.....*O. monacantha* f. *monacantha*
    - 3b 꽃잎 밖에만 붉은색 줄무늬 가짐  
.....*O. monacantha* f. *jejuensis*(제주백년초)

### 한국의 *Opuntia* 선인장류 종 검색표

- 1 식물의 크기가 2~5m이상임.....*O. monacantha* f. *jejuensis* 제주백년초
- 1 식물의 크기가 1m미만임
  - 2 겨울에 몸통 줄기가 곧게 서 있음.....*O. stricta* 해안선인장
  - 2 겨울에 몸통 줄기가 노지에 누워버림.....*O. humifusa* 천년초
    - 3 꽃이 노란색임.....*O. humifusa* f. *humifusa*
    - 3 꽃이 전체적으로 노란색이나 중심이 붉은색임  
.....*O. humifusa* f. *jeollaensis* 왕가시천년초

### 3) 계통분류학적 비교

DNA 염기서열 데이터에 기초한 베이지안 트리는 GTR + I + G 모델을 사용하여 생성된 post-burn-in trees의 세트로부터 요약된 사후확률을 보여준다(Fig. 17

and 18). Plastid intergenic spacers인 *trnL-F*, plastid gene *matK*, nrITS를 이용하여 계통수를 작성한 BI 연구에서도 기존 연구 결과와 마찬가지로 한국산 *Opuntia* 중 선인장은 *Scheeianae* clade에 천년초와 왕가시천년초는 *Humifusa* clade에 포함되었다(Kim *et al.*, 2014). 이들 세종은 모두 North America clade에 포함되어 있다. 하지만 제주산 *O. monacantha*은 한국의 다른 *Opuntia*와 달리 South American Clade의 *Elatae series*에 포함되어 있다(Fig. 17). 제주산 *O. monacantha*은 형태학적으로 본종인 *O. monacantha*와 다수의 형질에서 유사하게 나타났고, 꽃의 무늬, 과육의 색, 줄기와 열매의 성장패턴에서 일부 차이를 보였다. Fig. 17에서 제주산 *O. monacantha*, *O. monacantha* 그리고, *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*사이의 분자 진화적 차이는 명확히 구분되지 않는다. 본 분류군의 세밀한 계통분류학적 분자 진화적 양상을 찾기 위해서 South American clades 내의 다른 종과 *O. monacantha* s.l. 간의 Plastid와 nrITS를 이용하여 계통수를 작성한 BI 와 ML 분석에서 본 분류군은 *O. monacantha* s.l. 내에서 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*와 함께 분지 되어 높은 관련성을 지니는 것으로 확인되었다(Fig. 18).

제주산 *O. monacantha*는 다른 *O. monacantha* s.l.와 마찬가지로 South American Clades의 *Elatae series*에 포함되어 있으며, *O. monacantha*보다는 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*와 진화적으로 더 가깝다는 기존 연구 (Yang and Oh, 2021)의 결과와 일치한다. 또한, Majure *et al.* (2012a, b), Kim *et al.* (2014) 그리고 Yang and Oh (2021)의 연구 결과와 같이 *Opuntia* s.s.중 North American Clades에서는 이질배수체 종이 방사진화형으로 나타났다. *Elatae series*내의 다른 종과 *O. monacantha* s.l. 간의 Plastid와 nrITS를 이용한 계통수를 활용한 BI와 ML 분석에서도 제주산 *O. monacantha*가 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*와 분지 된 결과를 볼 때 *O. monacantha* 보다는 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*와 진화적으로 더 가깝다는 결론을 내릴 수 있었다.

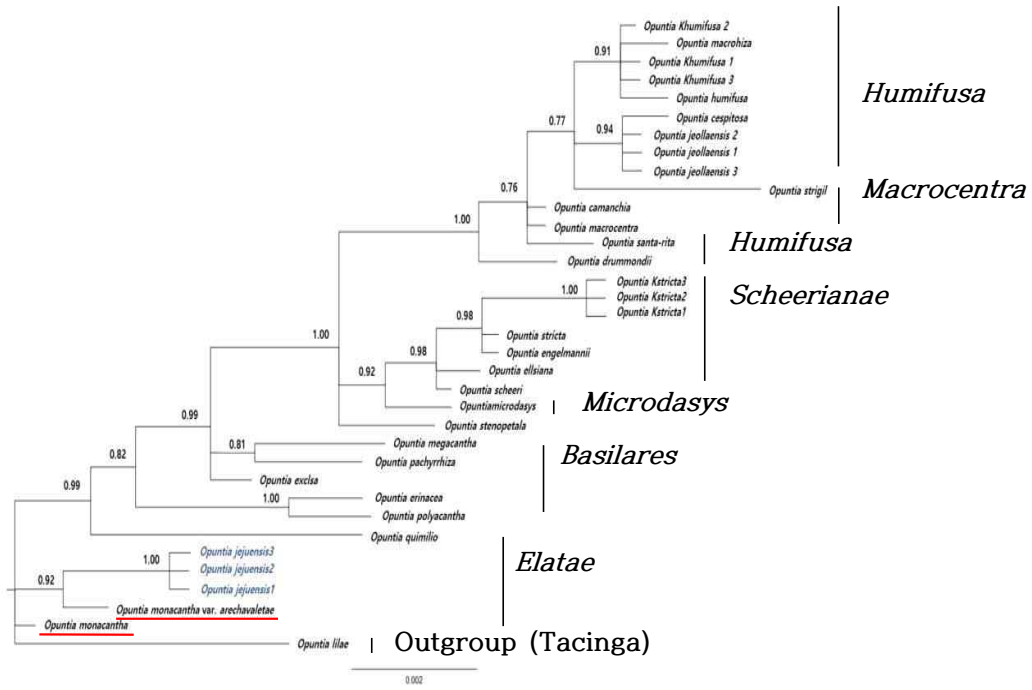


Fig. 17. BI Tree including *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* in Korean *Opuntia s.s.* based on the combined sequences (*trnL-F*, *matK* and *nrITS* sequences). The BPP (Bayesian Posterior Probability) values < 0.5 is not given.

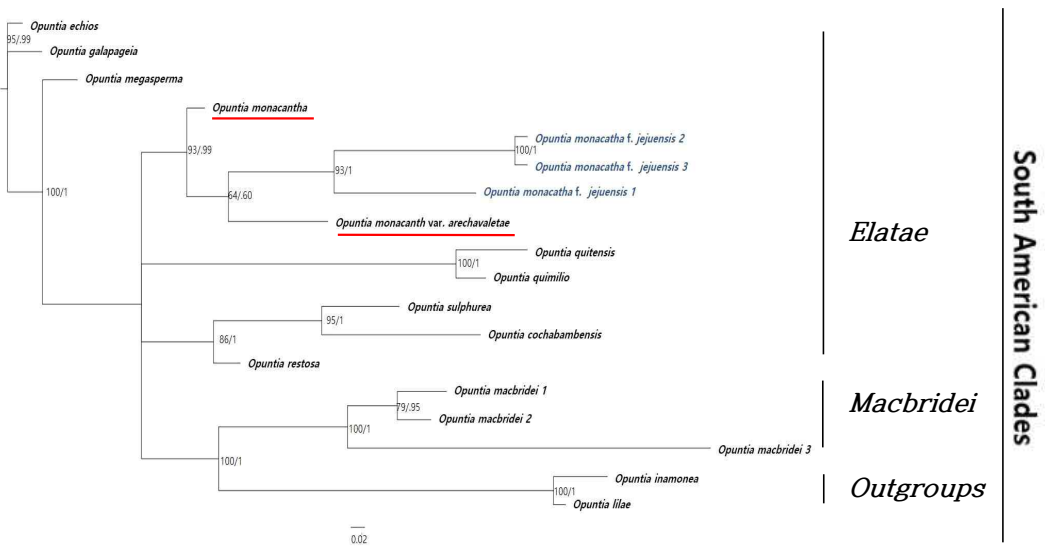


Fig. 18. BI and ML tree of South American Clades including *O. monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* in Korean *Opuntia s.s.* based on the combined sequences (*trnL-F*, *matK* and *nrITS* sequences). The BPP (Bayesian Posterior Probability) values < 0.5 is not given.

*monacantha* s.l. taxon based on the combined sequences (using *atpB-rbcL*, *trnL-F*, *psbJ-petA*, *matK* and *nrITS* sequences). The BPP values (right) and The Bootstrap values (left) are shown between branches. South American Clades used the names of the series published, which Britton and Rose (1920), Engelmann (1856) and Majoure et al. (2012b) as a result of their research. The BPP values are > 0.5 and The Bootstrap values are > 50%.

#### IV. 고찰

##### 1. 선인장의 분류학적 검토

현재 국제식물학회에서 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*은 *Opuntia ficus-indica* 의 기본명에 귀속시키고 이명으로 분류한 상태이다. 앞선 결과에서 선인장은 현재까지 분류학적 검토가 없이 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*으로 고착화되어 현재까지 사용하고 있다. 선인장은 ‘선인장’, ‘손바닥선인장’, ‘부채선인장’, ‘보검선인장’ 등 다양한 국명으로 불려지고 있다. 그러나 이번 연구에서 외부형태의 비교와 문헌을 검토한 결과, 선인장과 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*는 전혀 다른 종임이 밝혀졌다. BI를 통한 계통분류학적 연구에서도 *Opuntia stricta* 같은 종으로 볼 수 있는 연구 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 선인장의 기존 학명인 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*은 오동정 되었으므로 *Opuntia stricta* Haw.로 학명을 정정한다(Yang *et al.*, 2020). 또한 제주 한림 월령리의 *O. ficus-indica sensu lato*가 학문적 고찰이나 분류학적 확인 없이 선인장으로 사용되어 왔으므로 이를 지방명 또는 일반명으로 보아야 한다. 따라서, *O. stricta* 의 국명은 북·중미 아메리카 원산지 및 제주도와 같은 해안 입지 특성을 감안하여 ‘해안선인장’으로 제안한다.

## 2. 제주의 손바닥선인장속 두 분류군의 계통분류학적 유연관계

제주의 *Opuntia* 두 분류군의 형태 형질의 비교 결과 꽃의 색, 열매의 색등 진단 형질에서 크게 다르게 나타났고, 계통분류학적 비교 분석을 통해서도 서로 다른 그룹으로 묶여 다른 종임을 알 수 있었다. 또한 기존 연구에서는 두 종의 선인장은 북미 멕시코에서 도입된 (introduced) 종(Kang *et al.*, 1989)으로 발표되었으나, 이번 연구에서 두종이 Fig. 17, Appendix 1에서 제주산 *O. monacantha*는 남아메리카, 해안선인장은 북아메리카가 자생지라는 것을 결론지을 수 있다(Yang and Oh, 2021). 제주산 *O. monacantha*는 제주도의 대표적인 민속 식물로 오래전부터 백년초로 불려왔으며, 제주도의 지리적 입지조건과 백년초의 상징적 특성을 고려하여 제주 백년초로 명명하고자 한다.

## 3. 신품종 제주백년초 (*O. monacantha* Haw. f. *jejuensis*)

최근 분류학적 연구에서 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*는 *O. monacantha*의 아종(subsp.)으로 분류되었다(Guiggi, 2017). 형태학적으로 Stigma lobes color가 *O. monacantha*는 yellow이지만, *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*는 green이라는 차이가 났기 때문이다(Guiggi, 2017). 제주 백년초는 형태학적으로 본 종인 *O. monacantha*와 과육 색깔, 꽃잎 색, 열매와 엽상경이 자라는 특이한 패턴에서 형태적 차이가 났다(Table 12). 제주 백년초의 열매 모양, 크기, 줄기, 그리고 가시 등은 형태학적으로 본 종의 것과 유사하여 신종으로 보기는 어렵다고 판단하였다. 열매 모양, 꽃잎 색, Stigma lobe의 색, 씨앗 가종피의 특징이 *Opuntia* 내 종을 구분하는 중요한 진단 형질이라고 하였다(Maria *et al.*, 2016). 이것을 근거로 제주 백년초가 본종인 *O. monacantha*의 과육색, 꽃잎색의 차이 및 독립된 분포를 보여서 신품종으로 판단하는 것이 타당하다

고 사료 되었다. 화산섬인 제주와 남아메리카 대륙에 자생하고 있는 본종의 서식 환경의 차이로 인한 형질 차이와 서로 다른 독립된 서식처를 들어 제주 백년초를 *O. monacantha* Haw. f. *jejuensis* J. K. Kim ex Y. S. Yang으로 명명하고자 한다.

계통분류학적 분석에서 제주 백년초가 *O. monacantha* 보다 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*와 계통수가 더 가깝게 나왔으나, 형태학적으로 종간 형질을 분류할 수 있는 Stigma lobe와 열매 모양에서 *O. monacantha*와 같았기 때문에 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*의 신품종으로 보지 않았다. NCBI에 올라와 있는 Genbank의 *O. monacantha*와 *O. monacantha* subsp. *arechavaletae*의 형태적 부분이 확인되지 않기 때문에 추후 국외에 서식하고 있는 두 종을 수집한 후 정밀한 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

## IV. 적요

한국에 서식하고 있는 *Opuntia*에 대한 형태 및 계통분류학적 비교를 통하여 분자 진화학적으로 종을 분류하고, 오동정을 바로잡아 명확한 학명을 부여하는 것이 연구의 목적이 있다. 제주 한림지역에 주로 재배되고 있는 선인장(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)이 오동정 되고 있는 것에 대해서 종의 외부형태의 특성 비교를 통하여 학명을 *Opuntia stricta*로 정정하였으며, 국명을 해안선인장으로 제안하였다. 또한 제주도 남해안에 자생 및 재배되고 있는 제주백년초(*Opuntia monacantha* f. *jejuensis*)와 해안선인장(*O. stricta*)의 두 분류군을 비교 분석한 비교 연구가 없어 한 종으로 취급하는 경우가 많았으나, 형태 형질 비교 및 DNA 마커의 분석을 통해 두 분류군이 전혀 다른 종이라는 것을 밝혔다. 제주 백년초(*O. monacantha* f. *jejuensis*)의 경우 본종인 *O. monacantha*와의 과육색, 꽃잎 형태 그리고, 독특한 형질적 차이를 보여 정확한 *Opuntia* 내 분류학적 위치를 확인 할만한 연구가 필요하였다. 한국산 *Opuntia* 선인장들 및 *O. monacantha* s.l.와의 DNA마커를 활용한 계통분류학적 유연관계 분석을 통해서 제주 백년초는 다른 한국산 손바닥선인장과의 식물 크기, 꽃잎, 열매의 모양에서 차이가 났다. 제주 백년초와 *O. monacantha* 본종의 꽃잎을 비교하면, *O. monacantha*의 꽃잎은 뒷면뿐만 아니라 앞면에도 자주색 줄무늬가 나타나지만, 제주 백년초는 뒷면에만 나타난다. 또한 본 종인 *O. monacantha*의 과육 색깔은 녹색이지만, 제주 백년초의 과육색은 중심은 녹색이고 바깥 테두리는 녹황색이다. 본종과의 이런 명확한 서식 환경의 차이로 인한 형질 차이와 서로 다른 독립된 서식처를 고려하여 제주 백년초를 신품종으로 명명하였다.



## V. References

- Anderson, E.F. 2001. The Cactus Family, Timber Press, Pentland, OR, (USA), pp. 484-525.
- Arakaki, M., P.A. Christin, R. Nyffeler, A. Lendel, U. Eggli, R.M. Ogburn, E. Spriggs, J.M. Michael and E.J. Edwards. 2011. Contemporaneous and recent radiations of the world's major succulent plant lineages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20): 8379-8384.
- Asai, I. and K. Miyata. 2016. An Emendation of *Rhodocactus*, a Genus Segregated from *Pereskia* (Cactaceae). *J. Jap. Bot.*, 91: 7-12.
- Bárcenas, R.T., C. Yesson and J.A. Hawkins. 2011. Molecular systematics of the Cactaceae. *Cladistics*, 27(5): 470-489.
- Biology of Cacti, Dalhousie University, accessed on 13. June. 2022., <http://cactus.biology.dal.ca/biology.html>
- National Institute of Biological Resources. biological detail species information, accessed on 7. March. 2022., [https://species.nibr.go.kr/home/mainHome.do?cont\\_link=009&subMenu=009002&contCd=009002&ktsn=120000070507](https://species.nibr.go.kr/home/mainHome.do?cont_link=009&subMenu=009002&contCd=009002&ktsn=120000070507)
- Britton, N.L. and J.N. Rose. 1920. The Cactaceae. Publication No. 248 volume II. Carnegie Institute of Washington, Washington DC (USA).
- Cactusinhabitat, genera and species, accessed on 8. April. 2022., <http://www.cactusinhabitat.org/index.php?p=specie&id=351&l=en>
- Chung, H.J. 2000. Antioxidative and antimicrobial activities of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Korean J. Soc. Food. Sci.*, 16: 160-166 (in Korean with English abstract)
- Choi, B.K. and C.H. Lee, 2018. Is the *Opuntia ficus-indica* Community in

- Jeju Island Indigenous?. Proceedings of the Korean J. Environ. Ecol., pp. 25-26 (in Korean).
- Choi, S.H. 2014. Antioxidant effects and melanin synthesis inhibition from *Opuntia humifusa* extract. Department of Biochemistry, Master thesis, Hoseo University, Korea. (in Korean with English abstract).
- Christenhusz, M.J.M. and J.W. Byng 2016. The number of known plants species in the world and its annual growth. Phytotaxa, 261(3): 201-17.
- Clegg, M.T. 1993. Chloroplast gene sequences and the study of plant evolution. Proc. Natl. Acad. Sci., 90(2): 363-367.
- Doyle, J.J. and J.L. Doyle. 1990. Isolation of plant DNA from fresh tissue. Focus (Madison), 12: 13-15.
- Engelmann, G. 1856. Synopsis of the Cactaceae of the Territory of the United States and Adjacent Regions. American Academy of Arts and Sciences, Cambridge Mass, Metcalf. vol. III, pp. 259-346.
- Edwards, E.J. and M.J. Donoghue. 2006. Pereskia and the origin of the cactus life-form. Am. Natur., 167(6): 777-793.
- Edwards, E.J., R. Nyffeler and M.J. Donoghue. 2005. Basal cactus phylogeny: implications of Pereskia (Cactaceae) paraphyly for the transition to the cactus life form. Am. J. Bot., 92(7): 1177-1188.
- Felsenstein J. 1985. Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. Evol., 39(4): 783-791.
- Fernandez, M.L., E.C.K. Lin, A. Trejo and D.J. McNamara. 1992. Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin reverses low density lipoprotein receptor suppression induced by a hypercholesterolemic diet in guinea pigs. J. Nutr., 122: 2330-2339.
- GBIF, Classification, accessed on 14. November. 2022, <https://www.gbif.org/species/5384075>

- GBIF, Classification, accessed on 14. November. 2022, <https://www.gbif.org/species/5384142>
- GBIF, DETAILS, accessed on 14. November. <https://www.gbif.org/occurrence/3499659269>
- Griffith, M.P., and J.M. Porter. 2009. Phylogeny of Opuntioideae (Cactaceae). *Int. J. Plant Sci.*, 170: 107-116.
- Guiggi, A. 2017. New Combination in the South American Opuntia Ser. Armatae K. Schumann (Cactaceae Opuntioideae). International Cactaceae Research Center, Geneva, Switzerland, Supplementum V to cactology, 5: 1.
- Guindon S., J.F. Dufayard, V. Lefort, M. Anisimova, W. Hordijk and O. Gascuel. 2010. New Algorithms and Methods to Estimate Maximum-Likelihood Phylogenies: Assessing the Performance of PhyML 3.0., *Syst. Biol.*, 59(3): 307-321.
- Halailbo, News, accessed on 11. June. 2022, <https://www.ihalla.com/print.php?aid=1310137200368167231>
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucl. Acids. Symp. Ser.*, 41: 95-98.
- Handwiki, Biology:Cactus, accessed on 23. September. 2022., <https://encyclopedia.pub/entry/34265>
- Hernandez-Hernandez, T., H. Hernandez, J.A. De-Nova, R. Puente, L.E. Eguiarte, and S. Magallon. 2011. Phylogenetic relationships and evolution of growth form in Cactaceae (Caryophyllales, Eudicotyledoneae). *Am. J. Bot.*, 98: 44-61.
- Hunt, D.R. 2006. *The New Cactus Lexicon* (two volumes), Milborne Port. dh books.
- In, J.G., B.S. Lee, E.J. Kim, K.S. Choi, S.H. Han, C.W. Shin, D.C. Yang. 2006. Analysis of the ITS (Internal Transcribed Spacer) Region of

- Opuntia ficus-indica*. Korean Journal of Plant Research Institute, 19(1): 161-168 (in Korean).
- Jejuilbo, an ongoing project, accessed on 11. June. 2022. <http://www.jejuilbo.net/news/articleView.html?idxno=127561>
- Johnson, A.T., H.A. Smith and A.P. Stockdale. 2019. Plant Names Simplified. Their Pronunciation, Derivation & Meaning, Sheffield, Yorkshire. 5M Publishing, p. 26.
- Jung, B.M., M.O. Shin and H.R. Kim. 2012. The Effects of Antimicrobial, Antioxidant, and Anticancer Properties of *Opuntia humifusa* Stems. J Korean Soc Food Sci Nutr., 41(1): 20-25. (in Korean with English abstract).
- Jung, E., S.H. Yeon and H.J. Shu. 2014. Hypocholesterol Effect of *Opuntia humifusa* Extract on High Cholesterol Diet-induced Hypercholesterolemic Rats. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 43(4): 485-490. (in Korean).
- Jung, B.M. and K.A. Han. 2016. Quality Characteristics of Gat Kimchi Added with Cheonnyuncho Water Extract during Cold Storage. J Korean Soc Food Sci Nutr., 45(12): 1808-1815 (in Korean with English abstract).
- Kim, E.J., K. Srikanth, E.A. Lee and S.S. Whang. 2014. *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. f. *jeollaensis* E.J. Kim & S.S. Whang, a new forma based on three DNA markers. Korean J. Pl. Taxon., 44(3): 181-187.
- Kim, H.N., W.C. Yun and D.W. Cho. 2007. Identification of anti-microbial material originated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* Makino. Korean J. Life Science, 17(7): 915-922. (in Korean with English abstract).
- Kim, M.H., H.J. Kim, M. Jang, T.G. Lim, H.D. Hong, Y.K. Rhee, K.T. Kim and C.W. Cho. 2016. The morphological and chemical composition characteristics of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia humifusa*

- fruits. Korean Soc. Food Preserv., 23(5): 711-717. (in Korean with English abstract).
- Kim, T.J. 2008. Wild Flowers and Resources Plants in Korea 3. Seoul national university press, p. 355. (in Korean).
- Koh, S.C., J.K. Kim and M.H. Kim. 2018. An unrecorded species of *Opuntia* (Cactaceae) in Korea (Wang-seon-in-jang). Korean J. Plant Res., 31(1): 32-36. (in Korean with English abstract).
- Kwon, I.S., K.H. Yang and K.H. Shim. 1999. Antimicrobial and antioxidative activities of *Opuntia ficus - indica* var. *saboten* Extracts. The Korean Society of Food Preservation, 6(3): 345-349. (in Korean with English abstract).
- Kwon, J.H., T.Y. Kim, J.K. Kim and J.Y. Kim. 2017. Characteristics of Seogwipo *Opuntia* for the functional raw material production. Applied The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, 28(2): 252-256. (in Korean with English abstract).
- Lee, C.B. 1980. Illustrated Flora of Korea. Hyangmunsa, p. 559 (in Korean).
- Lee, D.B. 1957. Flora of Jeju island. Korea University literary collections.
- Lee, J. 2012. Contested Botanizing in Colonial Korea (1910-1945). Ph. D. dissertation. Graduate School of Seoul National University, Seoul, p. 75. (in Korean).
- Lee, J.A. 2017. Antioxidative Capacity and Quality Characteristics of Yanggaeng added with Beaknyuncho (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*) Powder. Culinary science and hospitality research, 23(4): 33-42. (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y. and H.C. Bae. 2009. Preparation of fermented milk added with powder of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* and its sensory characteristics. Journal of the East Asian Society of Dietary Life, 19(6): 967-974. (in Korean with English abstract).
- Lee, S.H., H.W. Kim, M.K. Lee, G. Asamenew, Y.J. Kim, S.j. Lee, Y.S. Cha,

- S.M. Yoo and J.B. Kim. 2018. Characterization of flavonoids from used parts of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*) and dragon fruit (*Hylocereus undatus*) Using UPLC-DAD-QToF/MS. J Korean Soc Food Sci Nutr., 47(12): 1274-1283. (in Korean with English abstract).
- Lee., W.C. 2005. Origins of Korean Plant Names. Ilchokak Publishing, Seoul. (in Korean).
- Lee, Y.N. and S.W. Chu. 1956. Illustrated Flora of Korea. Daedongdang Seoul, p. 100 (in Korean).
- Lee, Y.N. 1996. Flora of Korea. Kyohak publishing, Seoul (in Korean).
- Lee, Y.S., H.J. Kim, S.Y. Jung, E.h. Lee and B.J. Chang. 2001. Antioxidative and neuroprotective constituents isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. Korean J. Physiol. Pharmacol., 2007(1): 115-121.
- Leuenberger B.E. 1993. Interpretation and typification of Cactus *opuntia* L., *Opuntia vulgaris* Mill., and *O. humifusa* (Rafin.) Rafin. (Cactaceae). Taxon, 42(2): 419-429.
- Lim, M. H. and S. J. Hong. 2016. Availability of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* stem extracts as a natural preservative. Asian J. Beauty Cosmetol., 14(4): 449-461. (in Korean with English abstract).
- Lodé, J. 2013. Leuenbergeria, un nouveau genre de cactées Cactus-Aventures International, 97: 26-27 (in French).
- Maria, L.P., O. Luis, C.M. Natalia and B. Gabriel. 2017. Taxonomic and cytogenetic studies in *Opuntia* ser. *Armatae* (Cactaceae). Botany, 95: 1-60.
- Majure, L.C., D.E. Soltis, P.S. Soltis and W.S. Judd. 2012a. Cyto geography of the Humifusa clade of *Opuntia* s.s. Mill. 1754 (Cactaceae, Opuntioideae, Opuntieae): correlations with pleistocene refugia and morphological traits in a polyploid complex. Comparative Cytogenetics, 6: 53-77.

- Majure, L.C., R.P. Majure, M.P. Griffith, S. Walter, S. Pamela, J. Soltis and D.E. Soltis. 2012b. Phylogeny of *Opuntia s.s.* (CACTACEAE): Clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. *Am. J. Bot.*, 99(5): 847-864.
- Majure, L.C. and R. Puente. 2014. Phylogenetic relationships and morphological evolution in *Opuntia s. str.* and closely related members of tribe Opuntieae. *Succ. Plant Res.*, 8: 9-30.
- Mayta, Luis and E.A. Molinari-Novoa. 2015. L'intégration du genre *Leuenbergeria* Lodé dans sa propre sous-famille, *Leuenbergerioideae* Mayta & Mol. *Nov.*, subfam. nov. *Succulentopi@* 15: 6-7. (in French).
- Makino, T. 1931. *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* Makino, *J. Jap. Bot.*, 7(4): 6.
- Mavrodiev, E.V., D.E. Soltis, and P.S. Soltis. 2010. Plastid sequence data suggests that the genus *Rohrbachia* (Typhaceae) is sister to *Typha s. str.* (Typhaceae): Reply to A. Zernov. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists*, 115: 72-74.
- Nakai, T. 1914. Report of Plant Research in Jejudo and Wando, Governor-General of Joseon.
- National Institute of Biological Resources. biological detail species information, accessed on 7. March. 2022., <https://species.nibr.go.kr>
- Navie, S. and S. Adkins. 2008. Environmental weeds of Australia: an interactive identification and information resource for over 1000 invasive plants. CRC for Australian Weed Management Glen Osmond Australia. The University of Queensland, Brisbane, Queensland, Australia. unpaginated.
- Nyffeler, R. and U. Eggli. 2010. A farewell to dated ideas and concepts: Molecular phylogenetics and a revised suprageneric classification of the family Cactaceae. *Schumannia*, 6: 109-149.
- Nyffeler, R. 2002. Phylogenetic relationships in the cactus family

- (Cactaceae) based on evidence from trnK/ matK and trnL-trnF sequences. *Am. J. Bot.*, 89(2): 312-326.
- Omweri, A.H., F.K. Rimberia, S.G. Mwangi and D.N. Sila. 2016. Morphological characterization and distribution of cactus species (Cactaceae) in arid and semi-arid lands of Kenya. *Int. J. Agr. Agri. R.*, 9(1): 182-191.
- Pardo, F.M.V. and D.G. Alonso. 2017. Aproximación al conocimiento del grupo *Opuntia* Mill. (s.l.) (CACTACEAE) en Extremadura *Folia Bostanica Extremadurensis*, 11: 51-75. (in Spanish).
- Park, C.M., B.H. Kwak, S.H. Park, H. Kim and D.Y. Rhyu. 2013. Comparison of biologic activities of *Opuntia humifusa* and *Opuntia ficus-indica*. *Korean J. Plant Res.*, 26(5): 519-525. (in Korean with English abstract).
- Park, K.R., J.H. Lee, S.T. Kim, S.T. Lee, M.Y. Kim, S.P. Hong and Y.J. Jung. 2010. *Plant Systematics (A Phylogenetic Approach) Third Edition*. Shinilbooks, Seoul, pp. 112-115. (in Korean).
- Park, M.G. 1949. *An Enumeration of Korean Plants*. Chosun book printing corporation. Ministry of culture and education, Seoul, p. 165 (in Korean).
- Rambaut, A. 2016. Tree figure drawing tool version 1. 4. 3. Institute of Evolutionary Biology, University of Edinburgh, UK.
- Ronquist, F., M. Teslenko, P. V. D. Mark, D. L. Ayres, A. Darling, S. Höhna, B. Larget, L. Liu, M. A. Suchard and J. P. Huelsenbeck. 2012. MrBayes 3.2: Efficient bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Syst Biol.*, 61(3): 539-542.
- Royal Botanic Gardens Kew, Images, accessed on 6. July. 2022., <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:323260-2/images>
- Royal Botanic Gardens Kew, Images, accessed on 6. July. 2022. <https://www.gbif.org/>

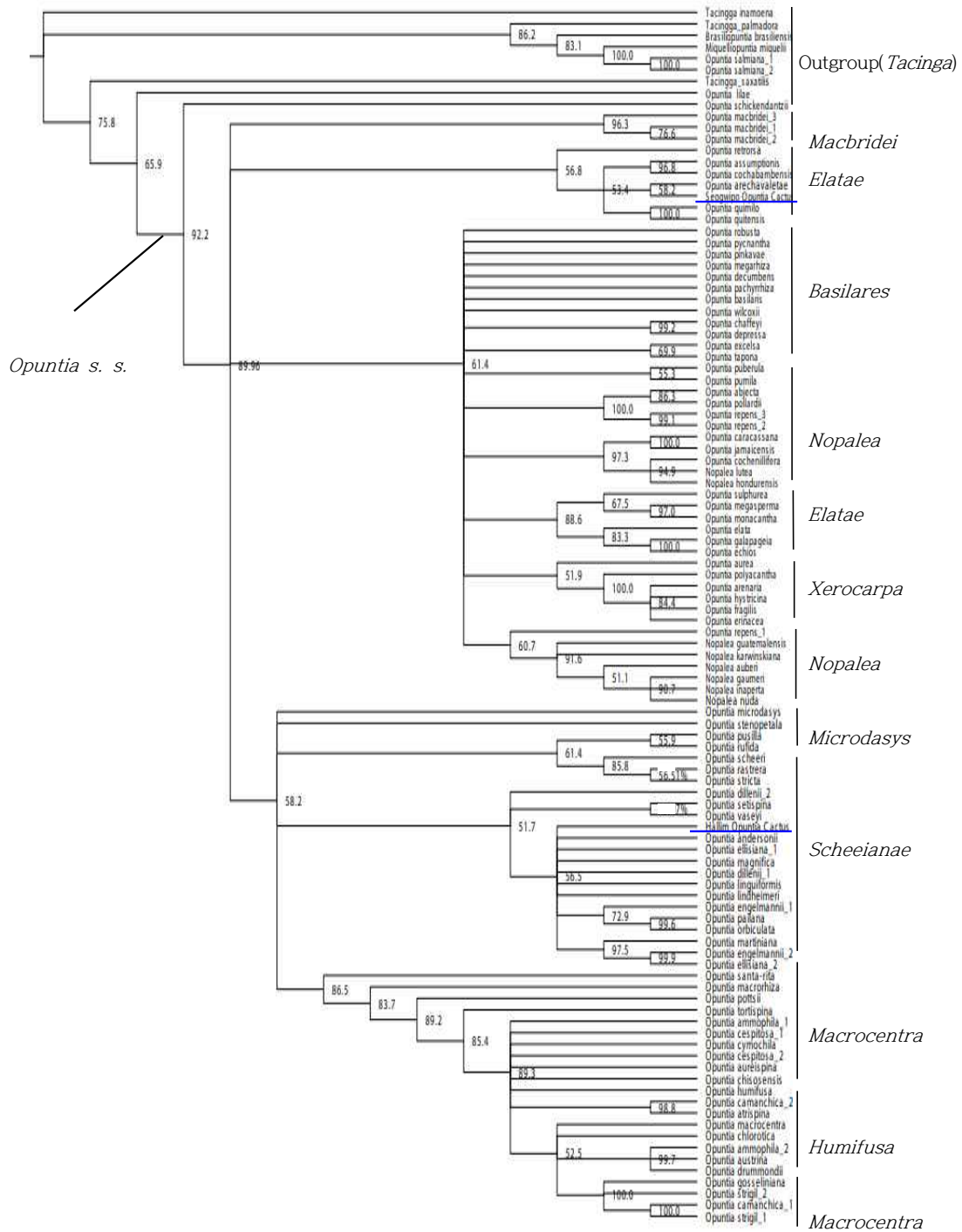


- occurrence/3759979394
- Royal Botanic Gardens Kew, Taxonomy, accessed on 15. May. 2022.,  
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:323260-2>.
- Rural Development Administration, Board, accessed on 21. September.  
2022.,[https://www.rda.go.kr/board/board.do?prgId=day\\_farmclctinfoEntry  
&dataNo=100000447677&mode=view](https://www.rda.go.kr/board/board.do?prgId=day_farmclctinfoEntry&dataNo=100000447677&mode=view)
- Shaw, J., E.B. Lickey, E.E. Schilling and R.L. Small. 2007. Comparison of whole chloroplast genome sequences to choose noncoding regions for phylogenetic studies in angiosperms: The tortoise and the hare III. *Am. J. Bot.*, 94: 275-288.
- Solitis, D.E., P.S. Solitis and J.J. Doyle(Eds). 1998. *Molecular systematics of plants II; DNA sequencing*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA (USA).
- Speg. 1905. *Opuntia arechavaletae* Speg. *Anal. Mus. Buenos Aires.*, 11: 520.
- Taberlet, P.G., P. Ludovic, P. Guy and J. Bouvet. 1991. Universal primers for amplication of three non-coding regions of choroplast DNA. *Plant Molecular Biology*, 17: 1105-1109.
- Taylor, N. and D. Zappi. 2004. Cacti of Eastern Brazil. *Cactus and Succulent J.*, 77(1): 43.
- Thompson, J.D., T.J. Gibson, F. Jeanmougin and D.G. Higgins. 1977. The CLUSTAL-X windows interface: Flexible strategies for multiple sequence alignment adied by quality analysis tools. *Nucleic Acids Resesarch*, 25: 4876-4882.
- Wagner, W. L. Herbst, D. R. Sohmer, S. H. 1999. *Manual of the flowering plants of Hawaii*. Revised edition. Bernice P. Bishop Museum special publication. University of Hawai'i Press/Bishop Museum Press, Honolulu, p. 420.
- Wallace, R.S. and S.L. Dickie. 2002. Systematic implications of chloroplast

- DNA sequence variation in subfam. Opuntioideae (Cactaceae), Succulent Plant Research, 6: 9-24.
- White, T.J., T. Bruns, S. Lee And J.W. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, and T.J. White. PCR protocols: A guide to methods and applications. Academic Press, San Diego, California (USA), pp. 315-322.
- Wikipedia, accessed on 10. November. 2022. [https://pt.wikipedia.org/wiki/Opuntia\\_dillenii#/media/Ficheiro:Opuntia\\_dillenii\\_\(Los\\_Sauces\)\\_02\\_ies.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Opuntia_dillenii#/media/Ficheiro:Opuntia_dillenii_(Los_Sauces)_02_ies.jpg)
- Yang, Y.S., B.K. Choi and H.S. Oh. 2020. A taxonomic review and nomenclature of the *Opuntia ficus-indica* (L). Mill. in Jeju Island. Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture, 38(4): 68-73. (in Korean with English abstract).
- Yang, Y.S. and H.S. Oh. 2021. Phylogenetic relationship between two taxa of *Opuntia* in Jeju Island. Korean J. Plant Res., 34(5): 451-461. (in Korean with English abstract).
- Yang, Y.S., B.K. Choi and H.S. Oh. 2022. Morphological Characteristics and Systematics Analysis of a New Forma of *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. f. *jejuensis* J. K. Kim ex Y. S. Yang from Jeju Island, Korea. Korean J. Plant Res., 35(6): 805-819.

## APPENDIX

Appendix 1. The genealogical tree showing phylogenetic relationships among *Opuntia* s.s. including Jeju taxon. The Clade name recognized by Britton and Rose (1920) was applied. Bayesian inference support values are shown on the branch nodes.



Appendix 2. Genbank (NCBI) accession number(nrITS). (for Taxon in jeju)

ID	Species	nrITS	ID	Species	nrITS	ID	Species	nrITS	ID	Species	nrITS
1	<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i>	JF786876	28	<i>Opuntia cespitosa_2</i>	JF786921	55	<i>Opuntia lilae</i>	JF786955	82	<i>Opuntia repens_2</i>	JF786993
2	<i>Miqueliopuntia miquelii</i>	JF786889	29	<i>Opuntia chaffeyi</i>	JF786922	56	<i>Opuntia macbridei_1</i>	JF786957	83	<i>Opuntia repens_3</i>	JF786994
3	<i>Nopalea auberi</i>	JF786890	30	<i>Opuntia chisosensis</i>	JF786923	57	<i>Opuntia macbridei_2</i>	JF786958	84	<i>Opuntia retrorsa</i>	JF786995
4	<i>Nopalea cochenillifera</i>	JF786891	31	<i>Opuntia chlorotica</i>	JF786924	58	<i>Opuntia macbridei_3</i>	JF786990	85	<i>Opuntia robusta</i>	JF786996
5	<i>Nopalea gaumeri</i>	JF786894	32	<i>Opuntia cochabambensis</i>	JF787046	59	<i>Opuntia macrocentra</i>	JF786959	86	<i>Opuntia rufida</i>	JF786997
6	<i>Nopalea guatemalensis</i>	JF786895	33	<i>Opuntia cymochila</i>	JF786927	60	<i>Opuntia macrorhiza</i>	JF786960	87	<i>Opuntia salmiana1</i>	JF786998
7	<i>Nopalea hondurensis</i>	JF786896	34	<i>Opuntia decumbens</i>	JF786928	61	<i>Opuntia magnifica</i>	JF786962	88	<i>Opuntia salmiana2</i>	JF786999
8	<i>Nopalea inaperta</i>	JF786898	35	<i>Opuntia depressa</i>	JF786929	62	<i>Opuntia martiniana</i>	JF787061	89	<i>Opuntia santa-rita</i>	JF787001
9	<i>Nopalea karwinskiana</i>	JF786899	36	<i>Opuntia dillenii_1</i>	JF787010	63	<i>Opuntia megarrhiza</i>	JF786964	90	<i>Opuntia scheeri</i>	JF787002
10	<i>Nopalea lutea</i>	JF786900	37	<i>Opuntia dillenii_2</i>	JF787011	64	<i>Opuntia megasperma</i>	JF786965	91	<i>Opuntia schickendantzii</i>	JF787003
11	<i>Nopalea nuda</i>	JF786901	38	<i>Opuntia drummondii</i>	JF786930	65	<i>Opuntia microdasys</i>	JF786966	92	<i>Opuntia setispina</i>	JF787005
12	<i>Opuntia abjecta</i>	JF787021	39	<i>Opuntia echios</i>	JF786932	66	<i>Opuntia monacantha</i>	JF786967	93	<i>Opuntia stenopetala</i>	JF787008
13	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila</i> 1	JF786903	40	<i>Opuntia elata</i>	JF786934	67	<i>Opuntia orbiculata</i>	JF786968	94	<i>Opuntia stricta</i>	JF787009
14	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila</i> 2	JF786904	41	<i>Opuntia ellisiana_1</i>	JF786935	68	<i>Opuntia pachyrrhiza</i>	JF786970	95	<i>Opuntia strigil_1</i>	JF787012
15	<i>Opuntia x andersonii</i>	JF786905	42	<i>Opuntia ellisiana_2</i>	JF786936	69	<i>Opuntia pailana</i>	JF786972	96	<i>Opuntia strigil_2</i>	JF787014
16	<i>Opuntia arechavaletae</i>	JF786906	43	<i>engelmanniivar. engelmanni_1</i>	JF786937	70	<i>Opuntia pinkavae</i>	JF786976	97	<i>Opuntia sulphurea</i>	JF787015
17	<i>Opuntia arenaria</i>	JF786907	44	<i>engelmanniivar. engelmanni_2</i>	JF786938	71	<i>Opuntia pollardii</i>	JF786978	98	<i>Opuntia tapona</i>	JF787016
18	<i>Opuntia assumptionis</i>	JF787007	45	<i>engelmanniivar. lindheimeri</i>	JF786939	72	<i>Opuntia polyacantha</i>	JF786979	99	<i>Opuntia tortispina</i>	JF787020
19	<i>Opuntia atrispina</i>	JF786908	46	<i>engelmanniivar. linguiformis</i>	JF786940	73	<i>Opuntia pottsii</i>	JF786980	100	<i>Opuntia vaseyi</i>	JF787024
20	<i>Opuntia aurea</i>	JF786909	47	<i>Opuntia erinacea</i>	JF786941	74	<i>Opuntia puberula</i>	JF786981	101	<i>Opuntia wilcoxii</i>	JF787025
21	<i>Opuntia aureispina</i>	JF786910	48	<i>Opuntia excelsa</i>	JF786942	75	<i>Opuntia pumila</i>	JF786983	102	<i>Tacinga inamoena</i>	JF787027
22	<i>Opuntia austrina</i>	JF786911	49	<i>Opuntia fragilis</i>	JF786945	76	<i>Opuntia pusilla</i>	JF786984	103	<i>Tacinga palmadora</i>	JF787028
23	<i>Opuntia basilaris</i>	JF786913	50	<i>Opuntia galapageia</i>	JF786947	77	<i>Opuntia pycnantha</i>	JF786987	104	<i>Tacinga saxatilis</i>	JF787029
24	<i>Opuntia camanchica_1</i>	JF786917	51	<i>Opuntia gosseliniana</i>	JF786948	78	<i>Opuntia quimilo</i>	JF786988	105	<i>Opuntia stricta</i>	MW036301-MW036310
25	<i>Opuntia camanchica_2</i>	JF786973	52	<i>Opuntia humifusa</i>	JF786949	79	<i>Opuntia quitensis</i>	JF786989	106	<i>Opuntia monacantha jejuensis</i> f.	MW039581-MW039590
26	<i>Opuntia caracassana</i>	JF786918	53	<i>Opuntia hystricina</i>	JF786951	80	<i>Opuntia rastrera</i>	JF786991			
27	<i>Opuntia cespitosa_1</i>	JF786920	54	<i>Opuntia jamaicensis</i>	JF786952	81	<i>Opuntia repens_1</i>	JF786992			

Appendix 3. Genbank (NCBI) accession number (*rbcL*). (for Taxon in jeju)

ID	Species	rbcL	ID	Species	rbcL	ID	Species	rbcL	ID	Species	rbcL
1	<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i>	JF787155	28	<i>Opuntia cespitosa_2</i>	JF787198	55	<i>Opuntia lilae</i>	JF787233	82	<i>Opuntia repens_2</i>	JF787272
2	<i>Miqueliopuntia miquelii</i>	JF787164	29	<i>Opuntia chaffeyi</i>	JF787199	56	<i>Opuntia macbridei_1</i>	JF787236	83	<i>Opuntia repens_3</i>	JF787273
3	<i>Nopalea auberi</i>	JF787165	30	<i>Opuntia chisosensis</i>	JF787200	57	<i>Opuntia macbridei_2</i>	JF787237	84	<i>Opuntia retrorsa</i>	JF787274
4	<i>Nopalea cochenillifera</i>	JF787166	31	<i>Opuntia chlorotica</i>	JF787201	58	<i>Opuntia macbridei_3</i>	JF787269	85	<i>Opuntia robusta</i>	JF787275
5	<i>Nopalea gaumeri</i>	JF787169	32	<i>Opuntia cochabambensis</i>	JF787202	59	<i>Opuntia macrocentra</i>	JF787238	86	<i>Opuntia rufida</i>	JF787276
6	<i>Nopalea guatemalensis</i>	JF787170	33	<i>Opuntia cymochila</i>	JF787204	60	<i>Opuntia macrorhiza</i>	JF787239	87	<i>Opuntia salmiana1</i>	JF787278
7	<i>Nopalea hondurensis</i>	JF787171	34	<i>Opuntia decumbens</i>	JF787205	61	<i>Opuntia magnifica</i>	JF787241	88	<i>Opuntia salmiana2</i>	JF787279
8	<i>Nopalea inaperta</i>	JF787173	35	<i>Opuntia depressa</i>	JF787206	62	<i>Opuntia martiniana</i>	JF787242	89	<i>Opuntia santa-rita</i>	JF787280
9	<i>Nopalea karwinskiana</i>	JF787174	36	<i>Opuntia dillenii_1</i>	JF787289	63	<i>Opuntia megarhiza</i>	JF787244	90	<i>Opuntia scheeri</i>	JF787281
10	<i>Nopalea lutea</i>	JF787175	37	<i>Opuntia dillenii_2</i>	JF787290	64	<i>Opuntia megasperma</i>	JF787245	91	<i>Opuntia schickendantzii</i>	JF787282
11	<i>Nopalea nuda</i>	JF787176	38	<i>Opuntia drummondii</i>	JF787207	65	<i>Opuntia microdasys</i>	JF787246	92	<i>Opuntia setispina</i>	JF787284
12	<i>Opuntia abjecta</i>	JF787300	39	<i>Opuntia echios</i>	JF787209	66	<i>Opuntia monacantha</i>	JF787247	93	<i>Opuntia stenopetala</i>	JF787287
13	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila 1</i>	JF787178	40	<i>Opuntia elata</i>	JF787211	67	<i>Opuntia orbiculata</i>	JF787248	94	<i>Opuntia stricta</i>	JF787288
14	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila 2</i>	JF787179	41	<i>Opuntia ellisiana_1</i>	JF787212	68	<i>Opuntia pachyrrhiza</i>	JF787250	95	<i>Opuntia strigil_1</i>	JF787291
15	<i>Opuntia x andersonii</i>	JF787180	46	<i>Opuntia ellisiana_2</i>	JF787213	69	<i>Opuntia pailana</i>	JF787252	96	<i>Opuntia strigil_2</i>	JF787292
16	<i>Opuntia arechavaletae</i>	JF787181	42	<i>engelmanni</i> var. <i>engelmannii_1</i>	JF787214	70	<i>Opuntia pinkavae</i>	JF787256	97	<i>Opuntia sulphurea</i>	JF787294
17	<i>Opuntia arenaria</i>	JF787182	44	<i>engelmanni</i> var. <i>engelmannii_2</i>	JF787215	71	<i>Opuntia pollardii</i>	JF787258	98	<i>Opuntia taponia</i>	JF787295
18	<i>Opuntia assumptionis</i>	JF787286	45	<i>engelmanni</i> var. <i>lindheimeri</i>	JF787216	72	<i>Opuntia polyacantha</i>	JF787259	99	<i>Opuntia tortispina</i>	JF787299
19	<i>Opuntia atrispina</i>	JF787183	46	<i>engelmanni</i> var. <i>linguiformis</i>	JF787217	73	<i>Opuntia pottsii</i>	JF787260	100	<i>Opuntia vaseyi</i>	JF787303
20	<i>Opuntia aurea</i>	JF787184	47	<i>Opuntia erinacea</i>	JF787218	74	<i>Opuntia puberula</i>	JF787261	101	<i>Opuntia wilcoxii</i>	JF787304
21	<i>Opuntia aureispina</i>	JF787185	48	<i>Opuntia excelsa</i>	JF787220	75	<i>Opuntia pumila</i>	JF787262	102	<i>Tacinga inamoena</i>	JF787305
22	<i>Opuntia austrina</i>	JF787186	49	<i>Opuntia fragilis</i>	JF787223	76	<i>Opuntia pusilla</i>	JF787263	103	<i>Tacinga palmadora</i>	JF787307
23	<i>Opuntia basilaris</i>	JF787189	50	<i>Opuntia galapageia</i>	JF787225	77	<i>Opuntia pycnantha</i>	JF787266	104	<i>Tacinga saxatilis</i>	JF787308
24	<i>Opuntia camanchica_1</i>	JF787195	51	<i>Opuntia gosseliniana</i>	JF787226	78	<i>Opuntia quimilo</i>	JF787267	105	<i>Opuntia stricta</i>	OK032473
25	<i>Opuntia camanchica_2</i>	JF787253	52	<i>Opuntia humifusa</i>	JF787227	79	<i>Opuntia quitensis</i>	JF787268	106	<i>Opuntia monacantha</i> f. <i>jejuensis</i>	OK032474
26	<i>Opuntia caracassana</i>	JF787196	53	<i>Opuntia hystericina</i>	JF787229	80	<i>Opuntia rastrera</i>	JF787270			
27	<i>Opuntia cespitosa_1</i>	JF787197	54	<i>Opuntia jamaicensis</i>	JF787230	81	<i>Opuntia repens_1</i>	JF787271			

Appendix 4. Genbank (NCBI) accession number (*matK*). (for Taxon in jeju)

ID	Species	matK	ID	Species	matK	ID	Species	matK	ID	Species	matK
1	<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i>	JF786712	28	<i>Opuntia cespitosa_2</i>	JF786760	55	<i>Opuntia lilae</i>	JF786797	82	<i>Opuntia repens_2</i>	JF786836
2	<i>Miqueliopuntia miquelii</i>	JF786725	29	<i>Opuntia chaffeyi</i>	JF786761	56	<i>Opuntia macbridei_1</i>	JF786799	83	<i>Opuntia repens_3</i>	JF786837
3	<i>Nopalea auberi</i>	JF786726	30	<i>Opuntia chisosensis</i>	JF786762	57	<i>Opuntia macbridei_2</i>	JF786800	84	<i>Opuntia retrorsa</i>	JF786839
4	<i>Nopalea cochenillifera</i>	JF786727	31	<i>Opuntia chlorotica</i>	JF786763	58	<i>Opuntia macbridei_3</i>	JF786833	85	<i>Opuntia robusta</i>	JF786838
5	<i>Nopalea gaumeri</i>	JF786730	32	<i>Opuntia cochabambensis</i>	JF786764	59	<i>Opuntia macrocentra</i>	JF786801	86	<i>Opuntia rufida</i>	JF786840
6	<i>Nopalea guatemalensis</i>	JF786731	33	<i>Opuntia cymochila</i>	JF786767	60	<i>Opuntia macrorhiza</i>	JF786802	87	<i>Opuntia salmiana1</i>	JF786842
7	<i>Nopalea hondurensis</i>	JF786732	34	<i>Opuntia decumbens</i>	JF786768	61	<i>Opuntia magnifica</i>	JF786804	88	<i>Opuntia salmiana2</i>	JF786843
8	<i>Nopalea inaperta</i>	JF786734	35	<i>Opuntia depressa</i>	JF786769	62	<i>Opuntia martiniana</i>	JF786805	89	<i>Opuntia santa-rita</i>	JF786845
9	<i>Nopalea karwinskiana</i>	JF786735	36	<i>Opuntia dillenii_1</i>	JF786854	63	<i>Opuntia megarhiza</i>	JF786807	90	<i>Opuntia scheeri</i>	JF786847
10	<i>Nopalea lutea</i>	JF786736	37	<i>Opuntia dillenii_2</i>	JF786855	64	<i>Opuntia megasperma</i>	JF786808	91	<i>Opuntia schickendantzii</i>	JF786848
11	<i>Nopalea nuda</i>	JF786737	38	<i>Opuntia drummondii</i>	JF786770	65	<i>Opuntia microdasys</i>	JF786809	92	<i>Opuntia setispina</i>	JF786850
12	<i>Opuntia abjecta</i>	JF786865	39	<i>Opuntia echios</i>	JF786772	66	<i>Opuntia monacantha</i>	JF786810	93	<i>Opuntia stenopetala</i>	JF786852
13	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila 1</i>	JF786739	40	<i>Opuntia elata</i>	JF786774	67	<i>Opuntia orbiculata</i>	JF786811	94	<i>Opuntia stricta</i>	JF786853
14	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila 2</i>	JF786740	41	<i>Opuntia ellisiana_1</i>	JF786775	68	<i>Opuntia pachyrrhiza</i>	JF786813	95	<i>Opuntia strigil_1</i>	JF786856
15	<i>Opuntia x andersonii</i>	JF786741	42	<i>Opuntia ellisiana_2</i>	JF786776	69	<i>Opuntia pailana</i>	JF786815	96	<i>Opuntia strigil_2</i>	JF786857
16	<i>Opuntia arechavaletae</i>	JF786742	43	<i>engelmanniivar. engelmanni_1</i>	JF786777	70	<i>Opuntia pinkavae</i>	JF786819	97	<i>Opuntia sulphurea</i>	JF786859
17	<i>Opuntia arenaria</i>	JF786743	44	<i>engelmanniivar. engelmanni_2</i>	JF786778	71	<i>Opuntia pollardii</i>	JF786821	98	<i>Opuntia tapona</i>	JF786860
18	<i>Opuntia assumptionis</i>	JF786846	45	<i>engelmanniivar. lindheimeri</i>	JF786779	72	<i>Opuntia polyacantha</i>	JF786822	99	<i>Opuntia tortispina</i>	JF786864
19	<i>Opuntia atrispina</i>	JF786744	46	<i>engelmanniivar. linguiformis</i>	JF786780	73	<i>Opuntia pottsii</i>	JF786824	100	<i>Opuntia vaseyi</i>	JF786868
20	<i>Opuntia aurea</i>	JF786745	47	<i>Opuntia erinacea</i>	JF786781	74	<i>Opuntia puberula</i>	JF786825	101	<i>Opuntia wilcoxii</i>	JF786869
21	<i>Opuntia aureispina</i>	JF786746	48	<i>Opuntia excelsa</i>	JF786783	75	<i>Opuntia pumila</i>	JF786826	102	<i>Tacinga inamoena</i>	JF786870
22	<i>Opuntia austrina</i>	JF786747	49	<i>Opuntia fragilis</i>	JF786786	76	<i>Opuntia pusilla</i>	JF786827	103	<i>Tacinga palmadora</i>	JF786872
23	<i>Opuntia basilaris</i>	JF786750	50	<i>Opuntia galapageia</i>	JF786788	77	<i>Opuntia pycnantha</i>	JF786830	104	<i>Tacinga saxatilis</i>	JF786873
24	<i>Opuntia camanchica_1</i>	JF786756	51	<i>Opuntia gosseliniana</i>	JF786789	78	<i>Opuntia quimilo</i>	JF786831	105	<i>Opuntia stricta</i>	OK032475
25	<i>Opuntia camanchica_2</i>	JF786816	52	<i>Opuntia humifusa</i>	JF786790	79	<i>Opuntia quitensis</i>	JF786832	106	<i>Opuntia monacantha</i>	OK032476
26	<i>Opuntia caracassana</i>	JF786757	53	<i>Opuntia hystricina</i>	JF786792	80	<i>Opuntia rastrera</i>	JF786834			
27	<i>Opuntia cespitosa_1</i>	JF786759	54	<i>Opuntia jamaicensis</i>	JF786793	81	<i>Opuntia repens_1</i>	JF786835			

Appendix 5. Genbank(NCBI) Accession Number including the genus *Opuntia* in Korea (*trnL-F*, *matK* and *nrITS*)

ID	Species	<i>trnL</i>	<i>matK</i>	<i>nrITS</i>
1	<i>Opuntia arechavaletae</i>	JF712714	JF786742	JF786906
2	<i>Opuntia camanchica</i>	JF712728	JF786756	JF786917
3	<i>Opuntia cespitosa</i>	JF712731	JF786759	JF786920
4	<i>Opuntia drummondii</i>	JF712742	JF786770	JF786930
5	<i>Opuntia ellisiana</i>	JF712747	JF786775	JF786935
6	<i>Opuntia engelmannii</i> var. <i>engelmannii</i>	JF712749	JF786777	JF786937
7	<i>Opuntia erinacea</i>	JF712753	JF786781	JF786941
8	<i>Opuntia excelsa</i>	JF712755	JF786783	JF786942
9	<i>Opuntia humifusa</i>	JF712762	JF786790	JF786949
10	<i>Opuntia lilae</i>	JF712769	JF786797	JF786955
11	<i>Opuntia macrocentra</i>	JF712773	JF786801	JF786959
12	<i>Opuntia macrorhiza</i>	JF712774	JF786802	JF786960
13	<i>Opuntia megacantha</i>	JF712778	JF786806	JF786963
14	<i>Opuntia microdasys</i>	JF712781	JF786809	JF786966
15	<i>Opuntia monacantha</i>	JF712782	JF786810	JF786967
16	<i>Opuntia pachyrrhiza</i>	JF712785	JF786813	JF786970
17	<i>Opuntia polyacantha</i>	JF712794	JF786822	JF786979
18	<i>Opuntia quimilo</i>	JF712804	JF786831	JF786988
19	<i>Opuntia santa-rita</i>	JF712818	JF786845	JF787001
20	<i>Opuntia scheeri</i>	JF712819	JF786847	JF787002
21	<i>Opuntia stenopetala</i>	JF712825	JF786852	JF787008
22	<i>Opuntia stricta</i>	JF712826	JF786853	JF787009
23	<i>Opuntia strigil</i>	JF712829	JF786856	JF787012
24	<i>Opuntia humifusa</i> 3 (Korea)	KJ735938	KJ735947	KJ735929
25	<i>Opuntia humifusa</i> 2 (Korea)	KJ735939	KJ735948	KJ735930
26	<i>Opuntia humifusa</i> 1 (Korea)	KJ735940	KJ735949	KJ735931
27	<i>Opuntia humifusa</i> for. <i>jeollaensis</i> 3 (Korea)	KJ735941	KJ735950	KJ735932
28	<i>Opuntia humifusa</i> for. <i>jeollaensis</i> 2 (Korea)	KJ735942	KJ735951	KJ735933
29	<i>Opuntia humifusa</i> for. <i>jeollaensis</i> 1 (Korea)	KJ735943	KJ735952	KJ735934
30	<i>Opuntia stricta</i> 3 (Korea)	KJ735935	KJ735944	KJ735926
31	<i>Opuntia stricta</i> 2 (Korea)	KJ735936	KJ735945	KJ735927
32	<i>Opuntia stricta</i> 1 (Korea)	KJ735937	KJ735946	KJ735928
33	<i>Opuntia monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> 3 (Korea)	OP070934	OP070928	OP070940
34	<i>Opuntia monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> 2 (Korea)	OP070935	OP070929	OP070941
35	<i>Opuntia monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> 1 (Korea)	OP070936	OP070930	OP070942



Appendix 6. Genbank(NCBI) Accession Number in *Elatae* series (*Psbj*-*petA*, *atpB*-*rbcl*, *trnL*-F, *matK* and *rITS*)

ID	Species	<i>Psbj</i> - <i>petA</i>	<i>atpB</i> - <i>rbcl</i>	<i>trnL</i> -F	<i>matK</i>	<i>rITS</i>
1	<i>Opuntia arechavaletae</i>	JF787496	JF787181	JF712714	JF786742	JF786906
2	<i>Opuntia cochabambensis</i>	JF787609	JF787202	JF712736	JF786764	JF787046
3	<i>Opuntia echios</i>	JF787522	JF787209	JF712744	JF786772	JF786932
4	<i>Opuntia galapageia</i>	JF787535	JF787225	JF712760	JF786788	JF786947
5	<i>Opuntia megasperma</i>	JF787550	JF787245	JF712780	JF786808	JF786965
6	<i>Opuntia monacantha</i>	JF787552	JF787247	JF712782	JF786810	JF786967
7	<i>Opuntia quimilo</i>	JF787569	JF787267	JF712804	JF786831	JF786988
8	<i>Opuntia quitensis</i>	JF787570	JF787268	JF712805	JF786832	JF786989
9	<i>Opuntia retrorsa</i>	JF787575	JF787274	JF712814	JF786839	JF786995
10	<i>Opuntia sulphurea</i>	JF787592	JF787294	JF712832	JF786859	JF787015
11	<i>Opuntia monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> 1	OP070931	OP070937	OP070934	OP070928	OP070940
12	<i>Opuntia monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> 2	OP070932	OP070938	OP070935	OP070929	OP070941
13	<i>Opuntia monacantha</i> f. <i>jejuensis</i> 3	OP070933	OP070939	OP070936	OP070930	OP070942