



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](#)

석사학위논문

제주도 서귀포와 한림지역에 자생하는
손바닥선인장속(*Opuntia*) 선인장 개체군의
계통분류학적 연구

제주대학교 교육대학원

생물교육전공

양 영 수

2019년 8월

제주도 서귀포와 한림지역에 자생하는
손바닥선인장속(*Opuntia*) 선인장 개체군의
계통분류학적 연구

지도교수 오 흥 식

양 영 수

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2019년 6월

양영수의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장

안근래



위 원

김정식



위 원

오흥식



제주대학교 교육대학원

2019년 6월



A Study on the Systematic Classification of the
Cactus populations of Genus *Opuntia* in Seogwipo
and Hallim area of Jeju Island

Young-Soo Yang

(Supervised by Professor Hong-Shik Oh)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree
of Master of Education

2019. 6.

This thesis has been examined and approved

Keun Jae Ahn

Thesis director, Keun-jae Ahn. Prof. Faculty of Science Education

Jeongsik Kim

Hong shik Oh

June 2019

Date

Department of Biology Education
GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION
JEJU NATIONAL UNIVERSITY



<국문초록>

제주도 서귀포와 한림지역에 자생하는
손바닥선인장속(*Opuntia*) 선인장 개체군의 계통분류학적 연구

양 영 수

제주대학교 교육대학원 생물교육전공

지도교수 오홍식

제주도 서귀포 지역과 한림 지역에는 줄기, 열매, 꽃의 모양, 크기 및 개화시기와 열매 수량도 다른 유형의 손바닥선인장이 분포하고 있다. 이중 한림 지역에 분포하는 손바닥선인장은 *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*란 학명으로 쓰이고 있으나 서귀포 지역 손바닥선인장에 대해서는 분류학적 위치도 밝혀지지 않은 실정이다. 이에 본 연구는 제주도 서귀포와 한림 지역에 분포하는 손바닥선인장 개체군간의 유연관계를 밝히고, 분류학적 위치를 정립하기 위하여 이루어졌다. 연구결과, 핵 DNA의 nrITS 구간과 Plastid인 matK, rbcL 구간 분석을 통해서 집단 간 공통적인 유전적 변이가 있다는 것이 확인되었다. 그리고, 서귀포 손바닥선인장은 25 *Opuntia arechavaletae* 와 진화적으로 가까운 종이고, 한림 손바닥선인장은 120 *Opuntia scheeri*, 110 *Opuntia rastrera*와 유연관계가 가까운 종이라는 것을 알게 되었다. 지금까지 한국에서 *Opuntia*속내 종간 비교연구 분석이 이루어지지 않았던 점을 감안할 때 이번 연구를 통해 얻은 형태학적, 분자유전학적 결과는 국내에서 *Opuntia*속에 대한 보다 심도 있는 연구가 이루어지게 되는 계기가 될 것이라 판단된다. 그리고 현재 미기록종인 서귀포 지역 손바닥선인장에 대한 학명은 부여되지 않은 상태이며, 한림 지역 손바닥선인장의 학명도 *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*로 오기했을 가능성 있는바 국내 *Opuntia*속에 대한 분류학적 위치에 대해서는 재검토되어야 할 것이다.

목 차

국문초록	i
목 차	ii
표 목차	iv
그림 목차	v
I. 서론	1
II. 연구방법	3
1. 재 료	3
2. 분석 방법	5
1) 형태학적 분석	5
2) 분자유전학적 분석	5
(1) 표본처리	7
(2) 유전자 marker의 선정	7
(3) 실험방법	7
3) 계통분류학적 분석	9

Ⅲ. 결과 및 고찰	9
1. 제주 손바닥선인장 개체군간의 형태 비교	9
2. 제주 손바닥선인장 개체군간의 분자유전학적 비교	16
3. 제주 두 지역 손바닥선인장 개체군간의 계통분류학적 위치	20
Ⅳ. References	27
V. Abstract	32
Appendix	34

List of Tables

Table 1. Morphological character of <i>Opuntia</i> Cactus in Jeju Island.	5
Table 2. Primary collection sites and populations for nrITS gene analysis	6
Table 3. Second collection sites and populations for MatK, rbcL genes analysis.....	6
Table 4. DNA regions and associated primers.....	7
Table 5. PCR Mixture Conditions.....	8
Table 6. PCR Cycle Conditions.....	8
Table 7. Flower size of <i>Opuntia</i> Cactus in Jeju (100 EA).....	11
Table 8. Average Size of fruit of <i>Opuntia</i> Cactus in Jeju (100 EA)	13
Table. 9. Spine size of <i>Opuntia</i> Cactus in Jeju(100 EA).....	15
Table 10. Estimates of Evolutionary Divergence between Sequences of Seogwipo and Hallim <i>Opuntia</i>	18

List of Figures

- Fig. 1. Cactus classification system..... 1
- Fig. 2. Populations of *Opuntia* Cactus in Seogwipo and Hallim area of Jeju Island..... 4
- Fig. 3. Map showing the distribution of Seogwipo habitats(●) and Hallim habitats(◎) on Jeju Island 4
- Fig. 4. Cladode size on the stem face of *Opuntia* Cactus in Jeju. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm..... 10
- Fig. 5. Photograph of the flower of Seogwipo *Opuntia*. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm..... 12
- Fig. 6. Photograph of the flower of Hallim *Opuntia*. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm..... 12
- Fig. 7. Flower buds on the stem face of *Opuntia* Cactus in Jeju..... 12
- Fig. 8. Photograph of fruit of *Opuntia* Cactus in Jeju. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm..... 14
- Fig. 9. A peculiar phenomenon of Seogwipo *Opuntia* Cactus..... 14
- Fig. 10. Photograph of the thorn of *Opuntia* Cactus in Jeju. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm..... 15

Fig. 11. Mutation patterns of nrITS gene sequences within Jeju <i>Opuntia</i> Genus populations (Bioedit program)	17
Fig. 12. Evolutionary relationships of taxa of Seogwipo and Hallim <i>Opuntia</i> (NJ tree from the analysis of the nrITS)	17
Fig. 13. Genetic variation pattern in MatK gene between Jeju <i>Opuntia</i> Genus populations	19
Fig. 14. Genetic variation pattern in rbcL gene between Jeju <i>Opuntia</i> Genus populations	20
Fig. 15. Tree of nrITS Gene in Jeju <i>Opuntia</i> Genus and <i>Opuntia</i> Genus registered in NCBI (For FigTree program)	21
Fig. 16. Tree of Plastid(rbcL and matK) Gene in Jeju <i>Opuntia</i> Genus and <i>Opuntia</i> Genus registered in NCBI (For FigTree program).....	22
Fig. 17. Tree of nrITS and Plastid(rbcL and matK) Gene in Jeju <i>Opuntia</i> Genus and <i>Opuntia</i> Genus registered in NCBI (For FigTree program).....	23
Fig. 18. Duplication clade of phylogeny of <i>Opuntia</i> s.s.....	23
Fig. 19. South American Clades and North American Clades	24
Fig. 20. Putative dispersal pathway of <i>Opuntia</i> clades	24
Fig. 21. Tree of nrITS and Plastid(rbcL and matK) Gene(with 92 <i>Opuntia monacantha</i>) in <i>Opuntia</i> Genus registered in NCBI (For FigTree program).....	25

Fig. 22. Tree of Duplication clade's Gene.26

I. 서 론

선인장은 선인장과(Cactaceae)에 속하는 다육식물들을 통칭하는 데 건조한 지역에서는 강우가 많은 시기에 체내에 수분을 비축하고 건조기에 그 수분을 이용하여 생육한다. 건조한 지역에서 수분의 손실을 최소화하기 위해서 선인장은 표면적을 축소하였고, 그로 인해 잎이 가시로 변화되거나, 소실, 줄기의 단축 및 뿌리의 감소가 일어났다. 전 세계 3,000여종의 다육식물 중 남아메리카 대륙으로부터 퍼져나가 건조한 환경에 특히 강하게 진화된 2,000여종의 식물이 선인장이다 (Anderson, 2001). 선인장은 신선의 손바닥을 닮았다고 해서 손바닥선인장 또는 부채모양을 띠고 있어 부채선인장이라고 한다. 우리나라에 자생해 오는 손바닥선인장(*Opuntia* spp.)의 경우는 제주도의 서귀포 손바닥선인장과 한림 손바닥선인장이 있다.

선인장과는 선인장아과, 의사엽선인장아과, 부채선인장아과, 나뭇잎선인장아과로 네 개의 아과(Subfamily)로 나눌 수 있으나(Fig. 1), 선인장의 분류에 대해서는 계통분류학적으로 거의 연구된 바 없어 종과 속을 명확히 구분하는 것이 사실상 어려운 실정이다.

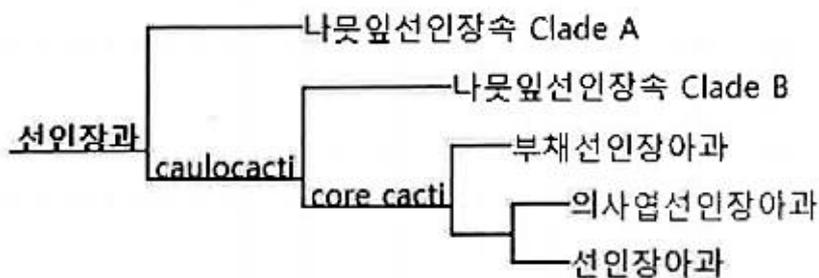


Fig. 1. Cactus classification system.

선인장과의 손바닥선인장속(*Opuntia*)은 약 200여종이 속하는 큰 속(Genus)에 해

당된다(Anderson, 2001). 한국에는 제주지역에 서식하는 손바닥선인장(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*), 남해안 지역과 충청, 경북, 전라도 지역에 서식하는 선인장(*Opuntia humifusa*)이 분포하는 것으로 보고되었다(Park *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2016). 하지만 제주지역에 서식하는 손바닥선인장은 두 종류로 서귀포 손바닥선인장과 한림 손바닥 선인장이 있다. 서귀포 손바닥선인장은 예로부터 해안가 근처 담장 옆에 서식하였으며 민간요법으로 널리 이용되어왔는데, 혈액순환을 원활하게하고 노화억제, 암 발생 및 콜레스테롤을 낮추는 역할을 하며(Frenandez *et al.*, 1992), 항산화, 해독, 진통 작용(Xinwenfeng Publishing Co., 1982; Ahn, 1989; Kim, 1996; Chung, 2000)과 면역세포의 활성화(Shin and Kim, 1998) 등에 효과가 있다고 전해져 왔다. 또한 한림 지역 손바닥선인장은 학명이 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*인데, 생명자원정보서비스([https:// www.bris.go.kr](https://www.bris.go.kr))의 웹사이트에 올라와 있는 한국과학기술정보연구원에서 제공한 국문 일반명은 선인장으로 소개하고 있다.

한림 지역 손바닥선인장의 열매에 대해서는 건강 식품화를 위한 연구(Lee *et al.*, 2002; Feugang *et al.*, 2006; Hawng *et al.*, 2017)가 많이 이루어져 왔다. 또한 서귀포 손바닥선인장은 최근 들어 ‘서귀포 백년초의 기능성 원료 제조’(Kwon *et al.*, 2017), ‘서귀포 백년초내 Taxifolin 추출 및 항산화성 연구’(Kwon *et al.*, 2017), ‘서귀포 백년초의 항당화 및 항균 기능 특성’(Yang *et al.*, 2017), 서귀포 손바닥선인장 외관과 성분 특성 연구(Koh *et al.*, 2017; Koh *et al.*, 2018) 등의 연구가 이루어져 국립종자원에 출원(Kwon *et al.*, 2017) 되는 등 연구 성과가 발표되면서 연구의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

한편 분류학적 연구로는 한림 지역 손바닥선인장(*Opuntia ficus - indica* var. *Saboten*)의 nrITS 유전자 분석(In *et al.*, 2006)이 있고, 서귀포 해안가 및 애월 지역 해안가에 서식하는 서귀포 손바닥선인장에 대한 외부형태학적 연구(Koh *et al.*, 2018)가 이루어진 바 있으나 지금까지 분류체계를 정확히 할 수 있는 계통분류학적 연구는 진행된 바 없다.

우리나라의 *Opuntia*속 간의 계통분류학적 연구가 이루어진 바 없고, 제주도 *Opuntia*속에 대한 분류체계가 정립되지 않아 제주도에 자생하는 *Opuntia* 두 선인장 개체군의 형태학적 비교와 분자유전학적 비교를 통한 종적 특성에 대한 연구는

매우 필요한 실정이다. 그리고 이 두 *Opuntia*속 선인장과 NCBI에 등재된 140개의 *Opuntia*속 선인장(Lucas *et al.*, 2012)들의 nrITS와 plastid의 matK 및 rbcL의 분자유전학적 분석을 통한 계통유연관계를 밝혀 분류학적 위치를 명확히 할 필요가 있다.

이에 본 연구는 두 손바닥선인장의 외부 형태학적 형질인 줄기(엽상), 꽃, 열매, 가지(잎)의 형질 비교를 통해 서로 다른 종임을 밝히고, DNA 염기서열 비교를 통한 *Opuntia*속내 유연관계 및 계통분류학적 연구를 통해서 *Opuntia*속간의 분류학적 위치를 재검토하기 위하여 이루어졌다.

II. 연구 방법

1. 재 료

제주도에 서식하는 손바닥선인장속에 속하는 2종 (한림 손바닥선인장, 서귀포 선인장)을 대상으로 2017년 6월부터 12월까지 자생지 (한림 손바닥선인장 : 한림읍 월령리, 대정읍 무릉리, 대정읍 서평리, 대정읍 가파도, 대정읍 마라도, 제주시 우도 지역과, 서귀포 손바닥선인장 자생지인 서귀포시 공천포, 서귀포시 하례리, 서귀포시 보목동, 서귀포시 호근동, 서귀포시 태평로, 제주시 애월)에서 채집하였다. 채집된 대상은 외부 형태적 연구와 줄기에서 DNA 염기서열을 분석하는데 이용되었다.

서귀포 손바닥선인장의 국명은 왕 선인장(Koh *et al.*, 2018)이고, 한림 손바닥선인장은 선인장(<https://www.bris.go.kr>)으로 등록되어 있다. 또한 서귀포 손바닥선인장은 학명이 없고, 한림 손바닥선인장은 *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*로 불리고 있다. 두 지역 손바닥선인장 모두 선인장과의 손바닥선인장속(부채선인장속)에 속하며, 서귀포 손바닥선인장은 2 ~ 5m 이상 성장하며, 줄기는 길고 폭이

좁은 편이고, 한림 손바닥선인장은 1m미만으로 성장하며, 줄기는 상대적으로 짧고 폭이 조금 넓은 편이다(Fig. 2). 두 종 모두 해안가 현무암 바위 사이 및 물이 잘 빠지는 흙에서 서식한다. 두 가지 손바닥선인장은 제주도에 서식하는 손바닥선인장으로 분포지는 Fig. 3에 제시한 바와 같다.



A. Seogwipo *Opuntia* Cactus

B. Hallim *Opuntia* Cactus

Fig. 2. Populations of *Opuntia* Cactus in Seogwipo and Hallim area of Jeju Island.



Fig. 3. Map showing the distribution of Seogwipo habitats(●) and Hallim habitats(◉) on Jeju Island.

2. 분석 방법

1) 형태학적 분석

한림 월령리의 군락과 호근동 서귀포 군락에서 각각 개체군들의 생육상태, 줄기(엽상경), 꽃, 열매, 가시의 형질을 관찰한 후 분석하였다(Table 1).

Table 1. Morphological character of *Opuntia* Cactus in Jeju Island.

	Character	character state
1	Growth state	Evergreen(forest tree , shrub)
2	Cladode shape	measurement
3	Cladode size	measurement
4	Flower petal	measurement
5	Flower color	measurement
6	Flower size	measurement
7	Flower bud color	measurement
8	Fruit size	measurement
9	Fruit color	measurement
10	Thorn size	measurement
11	Number of Thorn	measurement

2) 분자유전학적 분석

한림지역 손바닥선인장 유전자분석을 토대로 서귀포 손바닥선인장과 의 nrITS Marker로 비교분석 하기 위해 본 실험에 사용한 한림, 서귀포 손바닥선인장을 Table 2에 제시한 지역에서 1차 채집하였다. 서귀포 손바닥선인장은 애월지역 4 곳, 보목 2곳, 호근동, 공천포, 하례리, 서귀포 여고 뒤 해안가(태평로) 각각 한곳에서 하였고, 한림 손바닥선인장은 한림지역 4곳, 서평리 2곳, 무릉리, 가파도, 마라도, 우도 각각 한곳에서 하였다. *Opuntia*속 간 유연관계를 연구하기 위해서는 엽록체 DNA(rbcL, MatK) 유전자 분석이 필요하여(Park *et al.*, 2010) 2차 채집을 10개 지역 같은 장소에서 각각 2개체씩 20개체를 더 채취하였다(Table 3).

Table 2. Primary collection sites and populations for nrITS gene analysis.

Species	Sample Number (DNA No.)	Locality	Individual
Seogwipo <i>Opuntia</i> Cactus	Seogwipo-01~04	Jeju Aewol	4
	Seogwipo-05~06	Seogwipo Bomok	2
	Seogwipo-07	Seogwipo Hoguen	1
	Seogwipo-08	Seogwipo Gongchenpo	1
	Seogwipo-09	Seogwipo Harae	1
	Seogwipo-10	Seogwipo Taepyungro	1
Seogwipo <i>Opuntia</i> Cactus 10 individuals			
Hallim <i>Opuntia</i> Cactus	Hallim-01~04	Jeju Hallim Wolryung	4
	Hallim-05~06	Seogwipo Daejung Seopyung	2
	Hallim-07	Seogwipo Daejung Mureung	1
	Hallim-08	Seogwipo Daejung Gapado	1
	Hallim-09	Seogwipo Daejung Marado	1
	Hallim-10	Jeju Wudo	1
Hallim <i>Opuntia</i> Cactus 10 individuals			

Table 3. Second collection sites and populations for MatK, rbcL gene analysis.

Species	Sample Number (DNA No.)	Locality	Individuals
Seogwipo <i>Opuntia</i> Cactus	Seogwipo-01~08	Jeju Aewol	8
	Seogwipo-09~12	Seogwipo Bomok	4
	Seogwipo-13~14	Seogwipo Hoguen	2
	Seogwipo-15~16	Seogwipo Gongchenpo	2
	Seogwipo-17~18	Seogwipo Harae	2
	Seogwipo-19~20	Seogwipo Taepyungro	2
Seogwipo <i>Opuntia</i> Cactus 20 individuals			
Hallim <i>Opuntia</i> Cactus	Hallim-01~08	Jeju Hallim Wolryung	8
	Hallim-09~12	Seogwipo Daejung Seopyung	4
	Hallim-13~14	Seogwipo Daejung Mureung	2
	Hallim-15~16	Seogwipo Daejung Gapado	2
	Hallim-17~18	Seogwipo Daejung Marado	2
	Hallim-19~20	Jeju Wudo	2
Hallim <i>Opuntia</i> Cactus 20 individuals			

(1) 표본처리

확보된 재료를 깨끗이 세척하고 액체 질소에 동결시켜서 -80°C 에 보관하면서 DNA를 추출하였다.

(2) 유전자 marker의 선정

엽록체 DNA인 rbcL, matK와 핵 DNA 인 nrITS 유전자를 선정하여(Table 4) 제주 손바닥선인장 두 개체군을 집단 변이 양상을 비교하고, 두 집단의 계통유연관계를 살펴보았다. nrITS 유전자는 *Opuntia Cactus*과 같은 근연종 간의 유연관계를 확인하는 부위이다(Oh *et al.*,2010). rbcL 유전자는 Dark reaction에서 이산화탄소를 처음으로 환원시켜 고정하는 것에 관여하며, 모계유전을 통한 유연관계를 확인하는 부위이다(Simpson, 2011). matK 유전자는 일반적으로 식물들의 유연관계를 폭넓게 사용하는 부위이다(Oh, 2010). *Opuntia Cactus* 내 유연관계를 알아보기 위한 nrITS, rbcL, matK 유전자 영역의 외국종에 대한 정보는 미국 NCBI(GeneBank)를 통하여 얻었다.

Table 4. DNA regions and associated primers.

Region	Primer name: sequence or reference
rbcL	rbcL. Op : 5'-ACAACAAAACAACAAGGTCTACTC-3'
matK	matK5: (http://www.kew.org/barcoding/update.html)
nrITS	ITS4 : White <i>et al.</i> (1990)

(3) 실험 방법

① PCR Amplification

Table 5. PCR Mixture Conditions

Reagent	1 Tube
10X Taq PCR Buffer	3 μ l
2.5mM dNTP Mixture	2.4 μ l
Primer F, R (10pmole/ μ l)	1 μ l
Template(20ng/ μ l)	1 μ l
Dr. MAX - Taq(2.5 U/ μ l)	0.3 μ l
Distilled Water (HPLC Grade)	22.3 μ l
Total reaction volume	30 μ l

Table 6. PCR Cycle Conditions.

Step	Temp.	Time	Cycles
Initial Denaturation	94°C	5 min	1
Cycling	Denaturation	94°C	30 sec
	Annealing	55°C	30 sec
	Extension	72°C	1 min
Final Extension	72°C	10 min	1
Hold	4°C	∞	

② Purification of PCR Products

Montage PCR Clean up kit (Millipore)를 사용하여 PCR 제품에서 PCR 프라이머 및 dNTP를 제거하였다.

③ Sequencing

염기서열 분석은 Big Dye 터미네이터 주기 염기서열 분석 키트 v.3.1 (Applied Biosystems, USA)을 이용하였으며, 시퀀싱 제품은 서울 매크로젠 주식회사의 Applied Biosystems 모델 3730XL 자동화 DNA 시퀀싱 시스템 (Applied Biosystems, USA)에 의뢰하여 분석하였다.

3) 계통분류학적 분석

염기서열 결정을 통하여 연구 대상종의 DNA 염기서열이 완전하게 확인된 후에는 분자 진화학적인 관점에서 근연종들과의 서열을 분석하였다. clustalX 프로그램을 이용하여 alignment하고, Bioedit ver. 7.2.6.2.을 사용하여 alignment한 염기서열을 Edit 과정을 통하여 재정렬한 다음 alignment data matrix는 이후 분자 진화학적인 분석에 필요한 data 형태인 fasta파일로 전환하였고, MEGA v6.0 프로그램의 Neighbor-Joining 알고리즘을 이용하여 계통수를 작성하였다. 하지만 nrITS 유전자의 *Opuntia*속 간 유연관계는 서귀포와 한림 선인장의 Bootstrap 값이 낮아 다시 clustalX 프로그램을 이용하여 alignment한 fasta파일을 nxs파일로 저장하여 MrBayes-3.2.5_WIN32_x86프로그램으로 실행한 후 분석하였다. 이때 나온 결과인 con.tre파일을 각 종간의 계통 유연관계를 밝히는 분자계통도를 작성하였고, 분자계통도의 확인은 FigTree v1.4.3 프로그램을 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 제주 손바닥 선인장 개체군간의 형태 비교

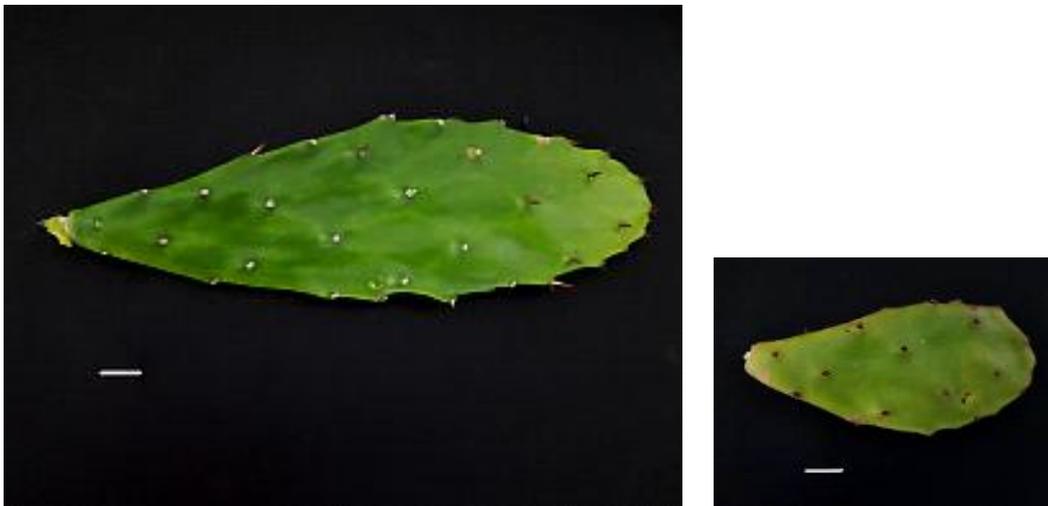
제주 손바닥선인장 간의 생육상태, 줄기(엽상경), 꽃, 열매, 가시의 형질로 확연히 분류하였으며, 외부형태학적 특징은 다음과 같다.

1) 생육 상태

채집 지역의 모든 군락에서 서귀포 손바닥선인장은 2 ~ 5m이상 까지 자랐고, 한림 손바닥선인장은 1m 채 넘지 않게 성장하였다. 이 결과로 서귀포 손바닥선인장은 본줄기가 곧게 자라고 가지가 뻗어나간 형태의 다육성 교목이고, 한림 손바닥선인장은 줄기가 사방으로 퍼져나간 형태인 다육성 관목이라는 것을 판단하게 되었다(Fig. 2).

2) 줄기(엽상경)

관찰결과, 서귀포 손바닥선인장은 줄기(엽상경, cladode)의 모양이 도란형(Obovate) 또는 난형(Ovate)이라(Koh *et al.*, 2018)는 결과와 달리 줄기 시작과 끝의 폭이 좁은 장타원형(Oblong)에 가까운 형태를 띠는 것으로 나타났다. 또한 한림 손바닥선인장은 도란형(Obovate)의 형태를 띠고 있었다(Fig. 4). 서귀포 손바닥선인장은 본줄기에서 1년 자란 엽상경의 크기는 장축(길이) 26cm, 단축(폭) 12cm이었다. 그리고, 한림 손바닥선인장의 경우는 같은 조건의 엽상경의 크기가 장축(길이) 15cm, 단축(폭) 8cm이었다. 이 결과로 서귀포 손바닥선인장이 한림 손바닥 선인장보다 줄기(엽상경)의 크기가 장축, 단축 모두 길고 폭이 크다는 것을 알게 되었다.



A. Seogwipo

B. Hallim

Fig. 4. Cladode size on the stem face of *Opuntia* Cactus in Jeju. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm.

3) 꽃

제주도의 손바닥선인장은 5월에서 7월 사이에 개화하기 시작한다고 보고(Kim *et al.*, 2016; Koh *et al.*, 2018)하였으나, 관찰결과, 서귀포 손바닥선인장은 5월 중순부터 6월 말까지 개화하기 시작해서 초겨울인 12월에도 피어있는 것이 관찰되었다. 한림 손바닥선인장은 6월 중순부터 7월 초까지 개화하며, 30일 내에

꽃이 졌다.

꽃망울의 색은 서귀포 손바닥선인장은 붉은색을 띠며, 한림 손바닥선인장은 녹색을 띠었다. 서귀포 손바닥선인장의 꽃이 엽상경 주위에 달리고, 꽃의 크기가 5cm라는 종전 연구(Koh *et al.*, 2018)와는 달리 엽상경의 주변뿐만 아니라 엽상경 앞면 위에도 있었고(Fig. 7), 꽃의 직경은 약 6cm ~ 7cm였다. 한림 손바닥선인장의 꽃의 직경은 5cm ~ 6cm였다.

Table 7. Flower size of *Opuntia* Cactus in Jeju(100 EA). (Unit=cm)

Habitat	Seogwipo	Hallim
Size		
Mean ± SD	6.42 ± 0.26	5.48 ± 0.18

꽃잎(tepal)은 약 30여 개로 다양한 모양과 크기를 가지는데, 서귀포 손바닥 선인장의 바깥쪽 꽃잎은 작고, 꽃잎이 안쪽으로 갈수록 크기가 커지고 뒷면에 자주색 줄무늬를 (Labra *et al.*, 2003; Lim, 2011; Majure and Puente, 2014; Omweri *et al.*, 2016; Koh *et al.*, 2018) 가지고 있었다(Fig. 5). 한림 손바닥선인장의 경우는 자주색 줄무늬가 없고 노란색을 띠고 있었다(Fig. 6).

꽃의 관찰 결과 서귀포 손바닥선인장의 개화시기가 한림 손바닥선인장 보다 개화시기가 1개월 빠르며 피어있는 기간도 3개월 이상 길다는 것을 알 수 있었다. 또한 서귀포 손바닥선인장이 한림 손바닥선인장 보다 꽃의 직경이 1cm 정도 크고, 일반적인 손바닥선인장의 꽃잎 배열은 바깥쪽이 크고 안쪽으로 갈수록 작아지는데, 서귀포 손바닥선인장은 특이하게 꽃잎의 배열이 반대라는 것을 알 수 있었다. 그리고, 바깥쪽 꽃잎도 노란색 바탕에 자주색 줄무늬가 있는 특이한 점이 있다는 것을 알게 되었다.



A. View from above



B. Overview

Fig. 5. Photograph of the flower of Seogwipo *Opuntia*. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm.



A. View from above



B. Overview

Fig. 6. Photograph of the flower of Hallim *Opuntia*. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm.



A. Seogwipo



B. Hallim

Fig. 7. Flower buds on the stem face of *Opuntia* Cactus in Jeju.

4) 열매

열매는 두 지역 손바닥선인장 모두 꽃이 피는 시기부터 다음 해까지 줄기에 달리는 것으로 보고되었으나(Koh *et al.*, 2018), 관찰 결과, 특이하게 서귀포 손바닥선인장은 3년 동안 녹색에서 차츰 붉은색으로 변하였고, 과육도 3년간 성장하다가 3년 뒤에는 성장을 거의 멈추고 떨어졌다. 두 지역 손바닥 선인장이 똑같은 환경조건(토양 및 장소)에서 자라는 것을 확인하기 위하여 서귀포 호근동에서 성장하고 있는 두 개체군을 비교하였다(Table 8).

Table 8. Average Size of fruit of *Opuntia* Cactus in Jeju(100 EA). (Unit=cm)

	Seogwipo	Hallim	etc
2016	4.25 ± 0.12 *	3.8 ± 0.09 *	Select the first green fruit in Sep 2016 (Long length * Short length)
Mean ± SD	2.23 ± 0.11	2.1 ± 0.08	
2017	5.27 ± 0.24*	4.0 ± 0.25 *	
Mean ± SD	4.25 ± 0.19	3.1 ± 0.23	
2018	7.14 ± 0.30 *	none	
Mean ± SD	4.8 ± 0.27		

열매 모양은 서귀포 손바닥선인장은 자두 모양에 가깝고, 한림 손바닥선인장은 긴 항아리 모양을 띠었다. 성숙한 열매의 크기도 서귀포 손바닥선인장은 지름이 장경 7cm ~ 8cm, 단경 5cm에 가까웠고, 한림 손바닥선인장은 장경 5cm ~ 6cm, 단경 3cm 정도로 작았다(Fig. 8). 또한 서귀포 손바닥선인장은 열매에 꽃망울이 맺히는 특이한 현상이 관찰되었으며, 다른 식물에서는 줄기에서 열매가 자라는 것이 일반적이지만 서귀포 손바닥선인장은 열매에서 줄기가 자라는 현상도 관찰할 수 있었다(Fig. 9). 이 결과로 서귀포 손바닥선인장 열매가 한림 손바닥선인장 열매보다 장경 3cm이상, 단경 1.7cm이상 크다는 것과 서귀포 손바닥선인장의 열매에서 줄기가 자라는 현상을 보아 열매의 자좌(areole)가 줄기의 자좌와 같은 기능을 가진다는 결론을 얻었다.



Fig. 8. Photograph of fruit of *Opuntia* Cactus in Jeju. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm.



Fig. 9. A peculiar phenomenon of Seogwipo *Opuntia* Cactus.

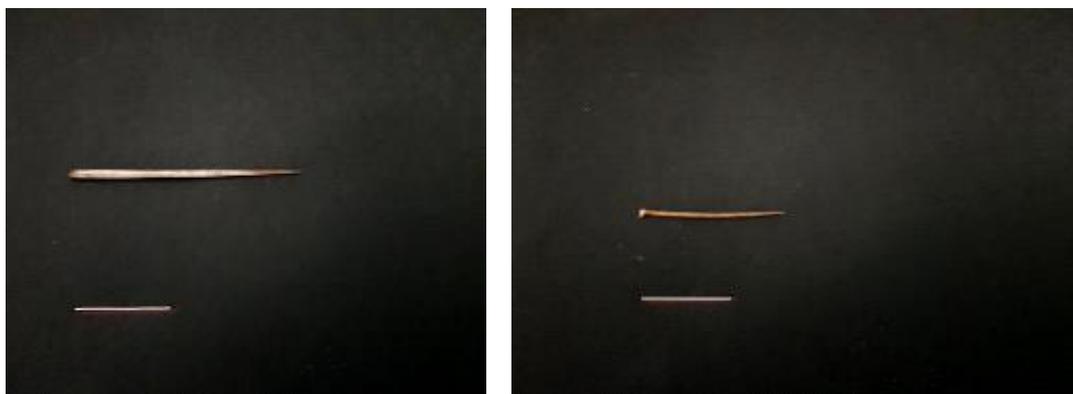
이런 특이한 점을 관찰하고 난 후 서귀포와 한림지역의 손바닥선인장 1년생 열매 500개를 각각 서귀포시 호근동에 재배지에 파종한 결과, 서귀포 손바닥선인장은 모두 새로운 개체로 자라났으나, 한림지역의 손바닥선인장 열매는 새로운 개체로 자라지 않았다. 앞에서 제시한 바와 같이 선인장 열매에서 꽃망울이 발생하는 경우와 그 열매에서 줄기가 자라난다는 사실은 아직까지 학계에 보고 된 바 없는 매우 의미 있는 결과이다. 서귀포 손바닥선인장 열매는 2년간 자라고 한림 손바닥선인장 열매는 1년만 자라는 사실을 확인해 볼 때 낙화 후 6개월 된 한림 손바닥선인장 열매를 파종하여 연구를 진행할 필요가 있을 것이라 사료된다.

5) 가시

1년생의 서귀포와 한림의 두 손바닥선인장 모두 가시가 거의 없고 있어도 작고 비늘모양의 앞만 있어서 2년생 이상의 엽상경에서 가시를 조사한 결과 서귀포 손바닥선인장의 엽상경 표면에는 2 ~ 5mm의 자좌(areole)가 3 ~ 8cm (마디 쪽의 간격이 짧고 마디에서 멀어질수록 간격이 넓다) 간격으로 배열되어있었다. 한림 손바닥선인장 또한 엽상경이 서귀포 손바닥선인장보다 작은 크기임에도 자좌의 크기(자좌간 간격 3 ~ 6cm)가 2 ~ 5mm로 비슷하게 관찰되었다. 서귀포 손바닥선인장의 강모(Spine)의 길이는 4cm가 넘었고, 한림 손바닥선인장은 3.4cm 정도 였다(Table 9). 자좌는 선인장의 성장점으로 실제로는 변형된 잎눈이다. 자좌에서 가시, 잎, 곁가지 그리고 꽃이 발생한다. 자좌에서 강모 주위에는 수많은 미세한 미모가시(Glochids)가 둘러싸고 있었다. 이 결과를 통해서 서귀포 손바닥선인장은 한림 손바닥선인장보다 엽상경의 자좌 간격이 2cm이상 크며, 강모가 0.7cm 정도 크다는 것을 알 수 있었다(Fig. 10).

Table 9. Spine size of *Opuntia* Cactus in Jeju(100 EA). (Unit=cm)

Habitat	Seogwipo	Hallim
Size		
Mean ± SD	4.13 ± 0.21	3.42 ± 0.23



A. Seogwipo

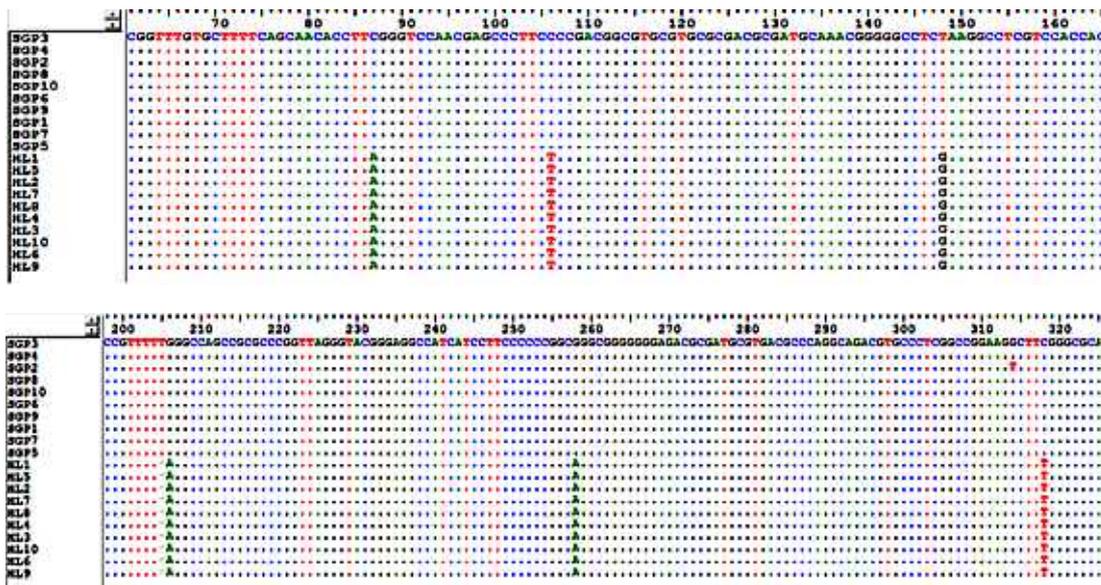
B. Hallim

Fig. 10. Photograph of the thorn of *Opuntia* Cactus in Jeju. The Scale Bar across the bottom of each photograph is 2cm.

2. 제주지역 손바닥선인장 개체군의 분자유전학적 비교

1) 제주도 손바닥 선인장 집단간 nrITS 유전자 염기서열

Bioedit 프로그램으로 (Hall, 1999) 작성한 서귀포 손바닥선인장과 한림 손바닥선인장 개체군 간의 nrITS 유전자 657bp 염기서열의 집단간 변이 양상을 알아본 결과, 염기서열 중 총 8개 bp에서 일관되게 변이가 나타나는 부분이 있다는 것을 알게 되었다(Fig. 11). 변이가 나타나는 염기서열 87bp에서 서귀포 손바닥선인장은 C, 한림 손바닥선인장은 A, 106bp에서 서귀포 손바닥선인장은 C, 한림 손바닥선인장은 T, 148bp에서 서귀포 손바닥선인장은 T, 한림 손바닥선인장은 G, 206bp에서 서귀포 손바닥선인장은 G, 한림 손바닥선인장은 A, 258bp에서 서귀포 손바닥선인장은 G, 한림 손바닥선인장은 A, 318bp에서 서귀포 손바닥선인장은 C, 한림 손바닥선인장은 T, 554bp에서 서귀포 손바닥선인장은 G, 한림 손바닥선인장은 A, 580bp에서 서귀포 손바닥선인장은 C, 한림 손바닥선인장은 T로 변이가 있는 것으로 나타났다. 제주도 손바닥선인장 개체군간 nrITS 유전자 염기서열 비교와 NJ Tree를 통해서 유전적 변이 차이가 많았고, 확연히 다르게 분지된 것을 보아 서로 다른 종이라고 판단할 수 있었다(Fig. 12).



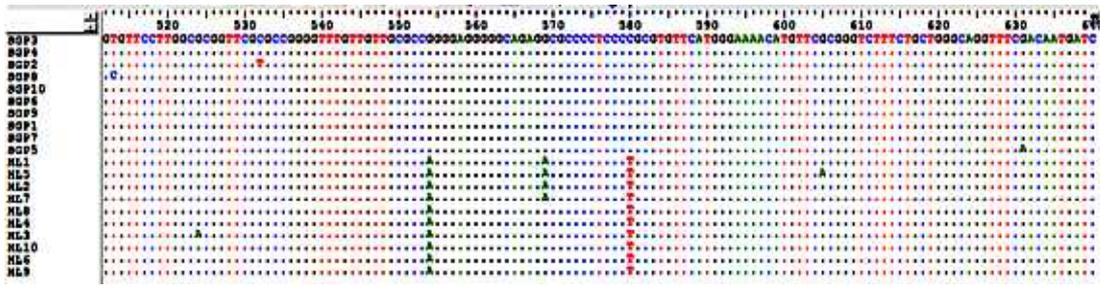


Fig. 11. Mutation patterns of nrITS gene sequences within Jeju *Opuntia* Genus populations (Bioedit program).

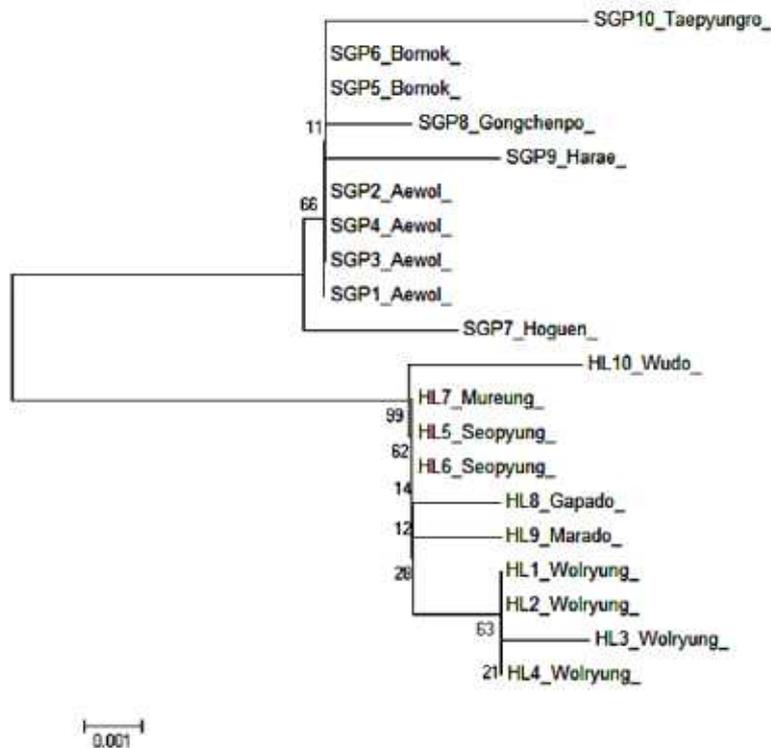


Fig. 12. Evolutionary relationships of taxa of Seogwipo and Hallim *Opuntia*(NJ tree from the analysis of the nrITS).

nrITS의 Evolutionary history는 Neighbor-Joining method (Saitou *et al.*, 1987.)을 사용하여 분석하였으며, Bootstrap test를 1000번을 반복 실행하였다(Fig. 12). 관련된 분류군이 함께 모일 수 있는 복제 tree의 비율(확률)이 Branch 옆에 표시 되었다(Felsenstein, 1985). tree는 Phylogenetic tree를 추론하는 데 사용된 Evolutionary distance와 동일한 단위로 branch 길이로 축척하여 그렸다.

Evolutionary distance는 Maximum Composite Likelihood 방법(Tamura, 2004)을 사용하여 계산되었으며, 사이트 당 염기 치환 수의 단위로 나타났다. 이 분석은 20개의 염기 서열로 진행되었다. 포함 된 코돈 위치는 1st + 2nd + 3rd + Noncoding이다. Gap과 누락 된 데이터가 있는 모든 Position은 제거되었다. 최종 데이터 세트에는 총 657개의 Position이 있다. Evolutionary analyses은 MEGA6(Tamura, 2013)에서 수행되었다(Fig. 12).

두 손바닥선인장 염기서열 간 site 별 염기 치환 결과는 Table. 10에 제시하였다. bootstrap test를 1000번 처리한 결과 값으로 이 분석은 Maximum Composite Likelihood model에 의해 진행되었다(Tamura *et al.*, 2004). 서귀포 손바닥선인장 개체군내 변이는 0.000~0.008까지 나타났고, 한림 손바닥선인장 개체군내 변이는 0.000~0.006으로 나타났다. 두 손바닥선인장 개체군간 변이는 0.012 ~ 0.020로 나타났으며, 서귀포 태평로 개체와 한림 월령 3번째 개체간의 변이가 0.020으로 가장 높았다. 이 결과로부터 서귀포 손바닥선인장 개체군내 변이 차이가 한림 손바닥선인장간 변이차이보다 0.002더 커서 종내 변이가 조금 더 잘 일어난다는 것을 알게 되었다.

Table. 10. Estimates of Evolutionary Divergence between Sequences of Seogwipo and Hallim *Opuntia*(Over average 0.009).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SGP4																				
SGP5	0.000																			
SGP7	0.003	0.003																		
SGP9	0.003	0.003	0.006																	
SGP10	0.005	0.005	0.008	0.008																
SGP2	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005															
SGP3	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.000														
SGP8	0.002	0.002	0.005	0.005	0.006	0.002	0.002													
SGP6	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.000	0.000	0.002												
SGP1	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.000	0.000	0.002	0.000											
HL1	0.014	0.014	0.017	0.017	0.019	0.014	0.014	0.015	0.014	0.014										
HL3	0.015	0.015	0.019	0.019	0.020	0.015	0.015	0.017	0.015	0.015	0.002									
HL2	0.014	0.014	0.017	0.017	0.019	0.014	0.014	0.015	0.014	0.014	0.000	0.002								
HL4	0.014	0.014	0.017	0.017	0.019	0.014	0.014	0.015	0.014	0.014	0.000	0.002	0.000							
HL7	0.012	0.012	0.015	0.015	0.017	0.012	0.012	0.014	0.012	0.012	0.002	0.003	0.002	0.002						
HL10	0.015	0.015	0.017	0.019	0.020	0.015	0.015	0.017	0.015	0.015	0.005	0.006	0.005	0.005	0.003					
HL5	0.012	0.012	0.015	0.015	0.017	0.012	0.012	0.014	0.012	0.012	0.002	0.003	0.002	0.002	0.000	0.003				
HL8	0.014	0.014	0.017	0.017	0.019	0.014	0.014	0.015	0.014	0.014	0.003	0.005	0.003	0.003	0.002	0.005	0.002			
HL9	0.014	0.014	0.017	0.017	0.019	0.014	0.014	0.015	0.014	0.014	0.003	0.005	0.003	0.003	0.002	0.005	0.002	0.003		
HL6	0.012	0.012	0.015	0.015	0.017	0.012	0.012	0.014	0.012	0.012	0.002	0.003	0.002	0.002	0.000	0.003	0.000	0.002	0.002	

nrITS는 핵 DNA의 유전자로 변이가 커서 종내 변이로 볼 수 있는 경향이 있기 때문에 확실한 Plastid 유전자 비교 분석 연구가 필요하다(Clegg, 1993; Soltis *et al.*, 1998). 그러나 지금까지 연구된 바 없는 nrITS 유전자 연구에서 두 개체군 간 8개의 변이 양상이 있다는 것을 처음 알게 되어 서귀포와 한림 손바닥선인장은 분자유전학적으로도 서로 다른 종이라는 결론을 얻을 수 있었기에 그 의미는 매우 크다 하겠다.

2) 제주도 손바닥 선인장 개체군간의 MatK, rbcL 유전자 염기서열의 변이 양상

첫 번째 채집과 다르게 두 번째 채집은 같은 지역의 개체를 2배 채집하여 서귀포, 한림 손바닥 선인장 각각 20개체로 MatK, rbcL 유전자 염기서열을 확인한 결과 MatK 유전자의 길이는 832bp이고, rbcL 유전자의 길이는 506bp로 나타났다. 그리고 BioEdit 프로그램을 사용하여 정렬한 후 집단 간 변이 양상을 확인한 결과 (Fig. 13, 14), MatK 유전자에서는 한림 손바닥선인장 8개체가 562bp에서 T대신 C로 변이가 약하게 나타난 것으로 볼 수 있고, rbcL 유전자에서는 375bp에서 한림 손바닥선인장은 C, 서귀포 손바닥선인장은 T로 모두 다르게 구분되어 염기서열 변이 패턴이 존재함을 알 수 있었다. 따라서 MatK, rbcL 두 유전자가 유전적 변이가 작은 Plastid 임을 감안할 때 두 개체군은 서로 다른 종이라는 결론을 얻게 되었다.

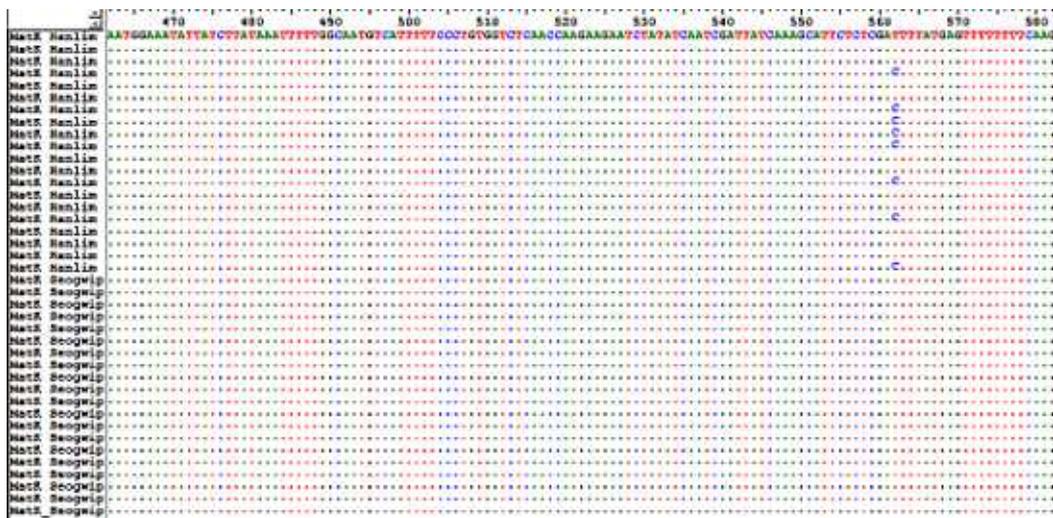


Fig. 13. Genetic variation pattern in MatK gene between Jeju *Opuntia* Genus populations.

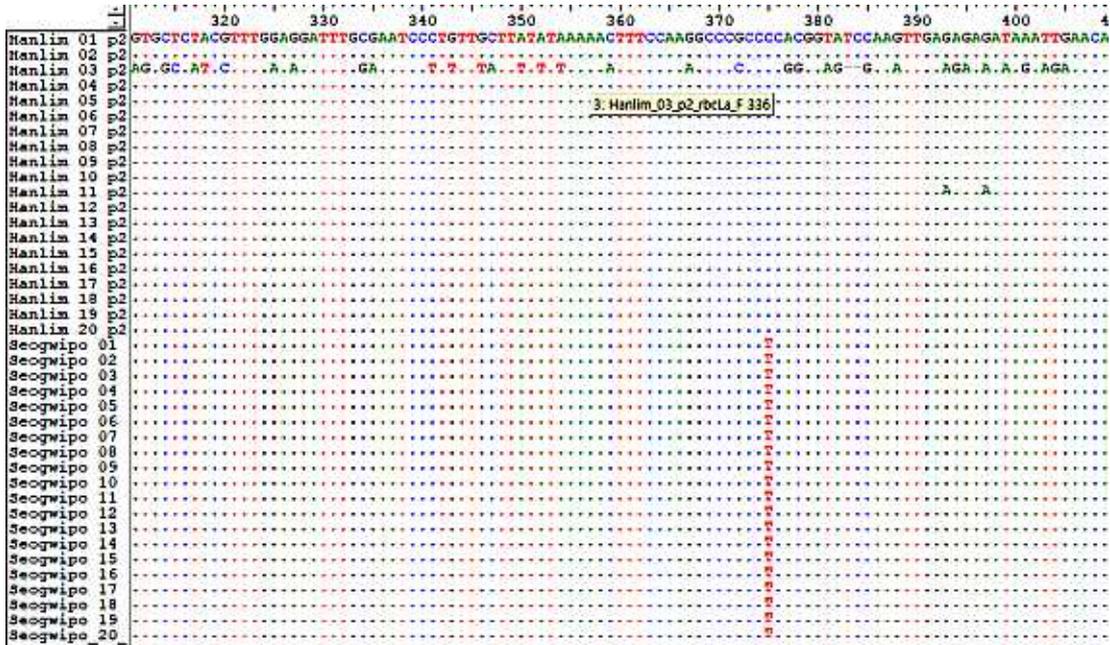


Fig. 14. Genetic variation pattern in rbcL gene between Jeju *Opuntia* Genus populations.

3. 제주도 두 지역 손바닥선인장 개체군간 계통분류학적 위치

지금까지 제주지역 손바닥선인장 개체군의 위치를 유전자 수준에서 연구된 바 없어 핵 DNA인 nrITS 유전자, nrITS and Plastid(rbcL and matK) 유전자를 통한 계통분류학적 유연결과를 밝힌 결과의 의미는 크다. 두 손바닥선인장 개체군의 계통분류학적 위치를 찾기 위해 Genbank (NCBI)에서 nrITS, rbcL, matK 유전자 140종을 찾았고(Appendix 1, 2, 3), 서귀포와 한림 손바닥선인장 유전자를 포함한 142종의 유전 염기서열을 서로 연결하여 만든 파스타 파일로 NJ tree를 작성하였다(Appendix 4.). 하지만 Bootstrap 값이 낮은 것이 많고 *Opuntia* s.s. 의 분류 계통학적 분류군(clade)으로 명확히 나누어지지 않아서 nxs 파일로 FigTree 프로그램을 실행하였다. 그 결과 nrITS 유전자의 염기서열만 FigTree 프로그램으로 실행한 Tree에서 141 Hallim(한림 손바닥선인장)은 Bootstrap 값이 77로 같이 그룹을 이루고 있는 종은 60 *Opuntia ellisiana_1*, 54 *Opuntia dillenii_2*, 24 *Opuntia andersonii*, 86 *Opuntia magnifica*, 64 *engelmannii* var. *lindheimeri*, 123 *Opuntia setispina*, 87 *Opuntia martiniana*, 120 *Opuntia*

scheeri, 110 *Opuntia rastrera*, 53 *Opuntia dillenii_1*, 62 *engelmannii var. engelmannii_1*, 63 *engelmannii var. engelmannii_2*, 61 *Opuntia ellisiana_2*, 65 *Opuntia engelmannii var. linguiformis* 이다. 그리고, 142 Seogwipo (서귀포 손바닥선인장)는 25 *Opuntia arechavaletae* 종과 함께 분류되어 있다(Fig. 15.). 이러한 결과로부터 141 Hallim(한림 손바닥선인장)은 Scheerianae clade에 포함되며, 142 Seogwipo (서귀포 손바닥선인장)는 Elatae clade에 포함된다 (Lucas *et al*, 2012)는 사실을 알 수 있었다.

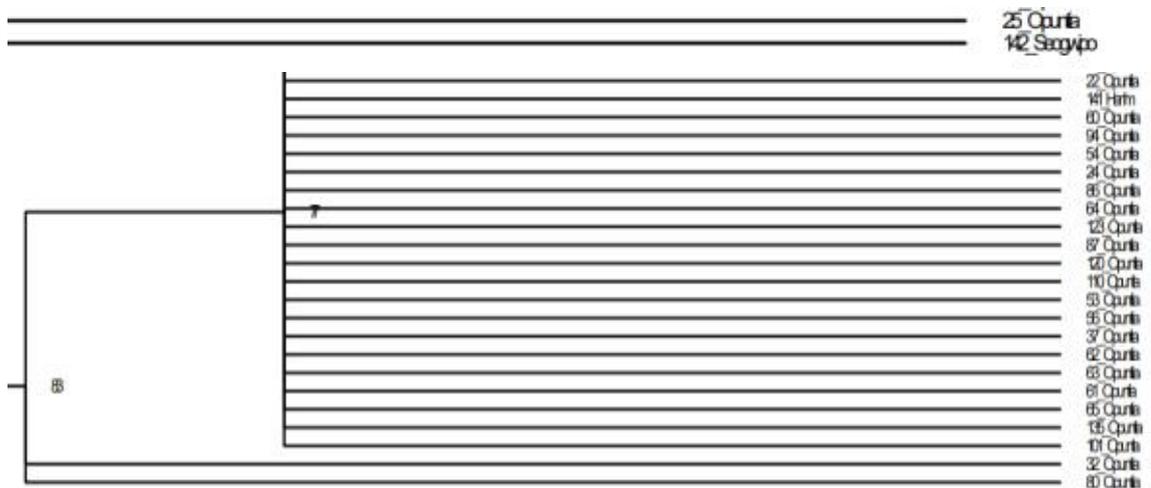


Fig. 15. Tree of nrITS Gene in Jeju *Opuntia* Genus and *Opuntia* Genus registered in NCBI (with 141 Hallim, 142 Seogwipo).

반면 Plastid(*rbcL* and *matK*) 유전자의 염기서열만 FigTree 프로그램으로 실행한 Tree에서 141 Hallim(한림 손바닥선인장)과 142 Seogwipo(서귀포 손바닥선인장)은 Bootstrap 값이 98에 가까운 자매종으로 나타났다(Fig. 16). 하지만 Plastid 유전자로만 알아보는 Putative progenitors는 Consolea clade, Basiarese clade, Nopalea clade, Humifusa clade, Scheerianae clade, Macrocentra clade, Sister to Tacinga, Brasiliopuntia (Majure *et al*, 2012)만 유의미하고, 여기에서는 Plastid(*rbcL* and *matK*) 유전자의 염기서열을 통해 두 종이 구별되지 않고 자매종으로 나타난 것으로 보아 향후 *Opuntia* 속간 유연관계 연구에서는 Plastid(*rbcL* and *matK*) 유전자만 염기서열을 비교하는 것은 옳지 않다는 결론을 내렸다.

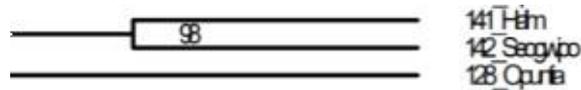


Fig. 16. Tree of Plastid(rbcL and matK) Gene in Jeju *Opuntia* Genus and *Opuntia* Genus registered in NCBI(with 141 Hallim, 142 Seogwipo).

따라서 좀 더 정밀한 분석을 하기 위해서 nrITS and Plastid(rbcL and matK) 유전자의 염기서열을 FigTree 프로그램으로 실행한 Tree에서는 141 Hallim(한림 손바닥선인장)이 120 *Opuntia scheeri*, 110 *Opuntia rastrera*와 Bootstrap 값이 69였으며(Fig. 17) Scheerianae clade에 포함되었고, Scheerianae clade와 공통적으로 포함된 종은 120 *Opuntia scheeri*, 110 *Opuntia rastrera*, 123 *Opuntia setispina*, 93 *Opuntia orbiculata*, 96 *Opuntia pailana*, 60 *Opuntia ellisiana_1*, 61 *Opuntia ellisiana_2*, 86 *Opuntia magnifica*, 87 *Opuntia martiniana*, 24 *Opuntia andersonii*, 54 *Opuntia dillenii_2*, 63 *Opuntia engelmannii var. engelmannii_2*, 53 *Opuntia dillenii_1*, 65 *Opuntia engelmannii var. linguiformis*, 62 *Opuntia engelmannii var. engelmannii_1*, 64 *Opuntia engelmannii var. lindheimeri* 였다(Lucas *et al*, 2012). nrITS 유전자만으로 분석한 것 보다 Scheerianae clade와 공통적으로 포함된 종이 두 종(93 *Opuntia orbiculata*, 96 *Opuntia pailana*) 더 포함되어 있다(Fig. 17). 그리고 Scheerianae clade에는 없는 97 *Opuntia phaeacantha*이 포함되어 있는데, 기존 연구(Lucas *et al*, 2012)에서는 Scheerianae와 Macrocentra 두 clade에 중복되어 있어서 뺀 종이다(Fig. 18).

142 Seogwipo(서귀포 손바닥선인장)는 Elatae clade에 포함되어 있으며, Elatae clade와 공통적으로 포함되어 있는 종은 25 *Opuntia arechavaletae*, 108 *Opuntia quimilo*, 109 *Opuntia quitensis* 이다. 25 *Opuntia arechavaletae* 종과는 Bootstrap 값이 82로 유연관계가 매우 크고 옆 branch의 108 *Opuntia quimilo* 와 109 *Opuntia quitensis* 는 Bootstrap 값이 100인 자매종으로 나타났다(Fig. 18).

nrITS 유전자 하나로 분석한 연구와 마찬가지로 nrITS and Plastid(rbcL and matK) 유전자로 분석한 연구 결과에서도 141 Hallim(한림 손바닥선인장)이 Scheerianae Clade에 포함되어 있고, 142 Seogwipo(서귀포 손바닥선인장)도 Elatae clade에 포함된 것으로 나타났다. Elatae clade인 142 서귀포 손바닥선인장은 South American Clades에 포함되어 southwestern South America 지역에서 태평양을 건너 제주도로 이동한 것으로 볼 수 있고, Scheerianae clade인 141 한림 손바닥선인장은 North American Clades에 포함되어있으며(Fig. 19), southwestern South America 지역에서 the western North American desert 지역으로 아메리카 대륙에서도 가장 멀리 이동하였고, 다시 제주도로 태평양을 건너 이동한 것으로 볼 수 있다(Fig. 20).

South American Clades

► Elatae

Opuntia arechavaletae, *Opuntia galapageia*
Opuntia quitensis, *Opuntia arechavaletae*
Opuntia megasperma, *Opuntia retrosa*,
Opuntia echios, *Opuntia elata*,
Opuntia assumptionis, *Opuntia sulphurea*
Opuntia cochabambesis, *Opuntia quimilo*

North American Clades

► Scheerianae

Opuntia scheeri, *Opuntia rastrera*
Opuntia setispina, *Opuntia orbiculata*
Opuntia pailana, *Opuntia ellisiana*
Opuntia magnifica, *Opuntia martiniana*
Opuntia andersonii, *Opuntia dillenii*
Opuntia engelmannii var. *engelmannii*
Opuntia dillenii,
Opuntia engelmannii var. *linguiformis*
 ,var. *engelmannii*, var. *lindheimeri*

Fig. 19. South American Clades and North American Clades(Lucas *et al*, 2013).

► A(southwestern South America) : ***Elatae***
 ► A(southwestern South America) → B(Caatinga) : ***Tacinga***
 ► A(southwestern South America) → B(Caatinga) → D(northern South America (Caribbean region)) : ***Brasiliopuntia***
 ► A(southwestern South America) → C(Central Andean valleys) : ***Macbridei***
 ► A(southwestern South America) → F(western North American desert region) : ***Basilares*** → E(tropical dry forests) : ***Nopalea***
 ► A(southwestern South America) → F(western North American desert region) : ***Macrocentra*, *Scheerianae*** → G(southeastern United States) : ***Humifusa***

Fig. 20. Putative dispersal pathway of *Opuntia* clades(Lucas *et al*, 2012).

지금까지 제주 손바닥선인장의 기원에 대해서는 정확히 알 수 없어 북미멕시코에서 유입된 종(Kang *et al.*, 1989)으로 발표하였으나, 서귀포 손바닥선인장은 남아메리카 대륙, 한림 손바닥선인장은 북아메리카에서 유입된 귀화식물이라 추정된다.

서귀포 손바닥선인장은 *Opuntia monacantha* Haw(Koh *et al.*, 2018), 한림 손바닥선인장은 *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*(In *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2016)로 기재하고 있다. 기존연구에서는 Elatae clade에 25 *Opuntia arechavaletae* (142 서귀포 손바닥선인장과 Bootstrap 값이 82)와 92 *Opuntia monacantha* (25 *Opuntia arechavaletae* 와 Bootstrap 값이 69)가 함께 포함되어 있다(Lucas *et al.*, 2012). 90 *Opuntia megasperma*, 129 *Opuntia sulphurea*, 114 *Opuntia retrosa*, 72 *Opuntia galapageia*, 57 *Opuntia echios*, 59 *Opuntia elata*, 27 *Opuntia assumptionis*, 48 *Opuntia cochabambesis* 모두 Elatae clade에 92 *Opuntia monacantha*와 함께 포함되어 있는 종이다. 그러나, 142 서귀포 손바닥선인장이 92 *Opuntia monacantha*와 분자 계통학적으로 가깝기는 하지만 자매종으로 볼 수 없다는 결론을 얻을 수 있었다(Fig. 21).

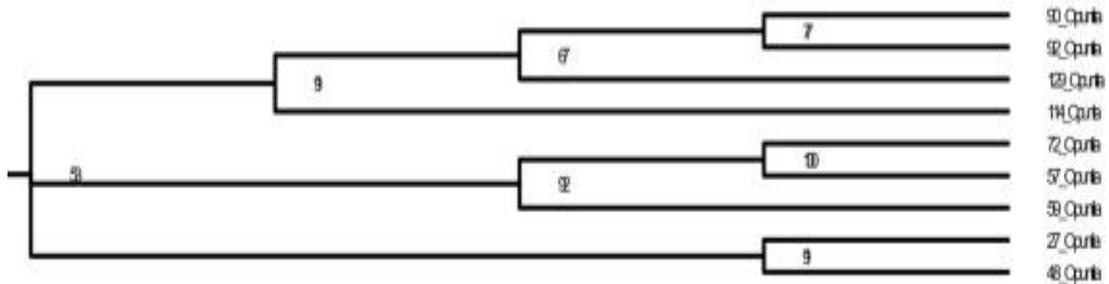


Fig. 21. Tree of nrITS and Plastid(rbcL and matK) Gene(with 92 *Opuntia monacantha*) in *Opuntia* Genus registered in NCBI.

그리고 이번 연구 데이터에서 NCBI에 등록된 *Opuntia*속 68, 69 둘 다 *Opuntia ficus-indica*이다. 68, 69 *Opuntia ficus-indica*를 포함한 33 *Opuntia Bakeri*, 36 *Opuntia Bisetosa*, 58 *Opuntia eichlamii*, 88 *Opuntia megacantha*, 98 *Opuntia pilifrea*, 100 *Opuntia pittieri*, 122 *Opuntia schummanii*, 124

Opuntia soederstromiana, 131 *Opuntia tomentosa*(Fig. 22.) 모두 Scheerianae clade에 없다. Nopalea와 Basilares clade에 모두 포함된 분자유전학적으로 분류가 어려운 종이다(Fig. 18). 35 bella의 경우는 Brasiliopuntia Tacinga와 Nopalea 그리고 Basilares 세 개의 clade와 중복되어 있다(Lucas *et al.*, 2012). 따라서 141 한림 손바닥선인장은 Scheerianae clade에 포함되어 있으나 *Opuntia ficus-indica*는 Scheerianae clade에 포함되지 않았으므로 141 한림 손바닥선인장은 *Opuntia ficus-indica*가 아니라는 결론을 도출할 수 있다.

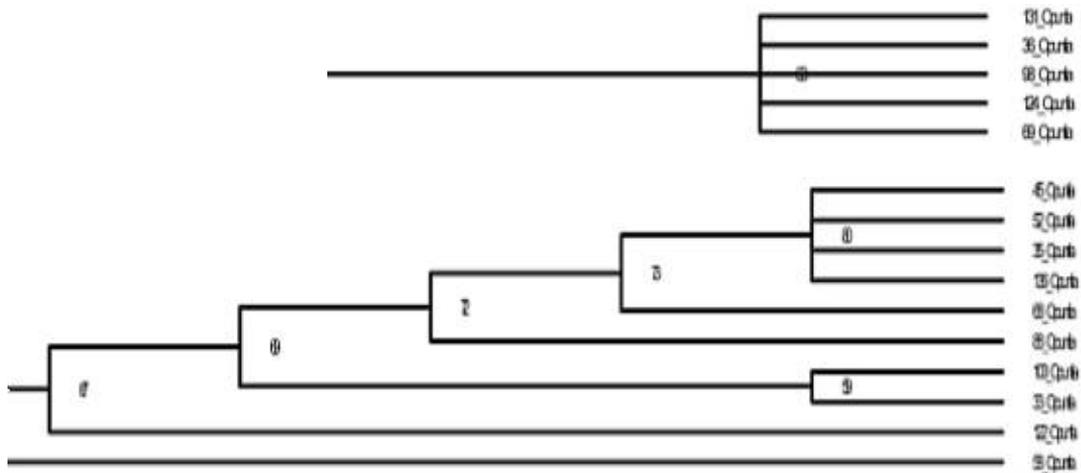


Fig. 22. Tree of Duplication clade's Gene.

결국 141 한림 손바닥선인장은 Fig. 17에서 제시한 바와 같이 Scheerianae clade에서 120 *Opuntia scheeri*, 110 *Opuntia rastrera* 와의 Bootstrap 값이 69로 tree에서 볼 때 진화적으로 매우 가깝다고 볼 수 있다. 형태학적으로 볼 때에도 *Opuntia ficus-indica*는 6m이상 자라는 다육성 교목상 식물이나 한림 손바닥선인장은 1m 미만의 다육성 관목상 식물이다(Anderson, 2001). 141 한림 손바닥선인장은 Scheerianae clade에 포함된 종으로서 앞으로 더 많은 핵유전자와 Plastid를 이용한 분자유전학적 분석을 통해서 *Opuntia*속의 분류학적 체계를 규명하기 위한 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

IV. References

- Ahn, D. K. 1998. Illustrated book of Korean Medicinal herbs. Kyohaksa. 497. (in Korean)
- Anderson, E. F. 2001. The Cactus Family, Timber Press, Portland, OR (USA). 484-525.
- Bio Resource Information Service Website (in Korean)
(<https://www.bris.go.kr/portal/resource/book/selectResourceBookDtInfo.do?lfrMnno=KISTI0037X00558&gubun=2&siteGb=P&menuNo=200200>)
- Catalan, P., E. A. Kellogg and R. G. Olmstead, 1997. Phylogeny of Poaceae subfamily Pooideae based on chloroplast *ndhF* gene sequences. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 8(2): 150-166.
- 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)
- Clegg, M.T. 1993. Chloroplast gene sequences and the study of plant evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 90(2): 363-367.
- Felsenstein J. (1985). Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution*, 39(4): 783-791.
- Fernandez, M. L., E. C. K. Lina. 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.
- Feugang, J. M., P. Konarski, D. Zou, F. C. Stintzing and C. Zou. 2006. Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia spp.*) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, 11: 2574-2589.
- Hawng, J. S., S. B. Im, I. I. Lee, T. R. Kim and D. O. Kim. 2016. Effects of *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten* Ripe Fruits on Protection of Neuronal PC-12 Cells and Cholinesterase Inhibition. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 48(1): 86-91

- 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 with English abstract)
- Kang, S. H., G. S. Lee, B. W. Kim and S. Y. Kim. 1989. Latest Flower Horticulture Detail, Sunjinmunhwasa, Seoul. 479. (in Korean)
- 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. The Korean Society of Food Preservation, 23(5): 711-717. (in Korean with English abstract)
- Kim, T. J. 1996. Korea Resource Plants Book, Hyanmunsa, Seoul. 559. (in Korean)
- Koh, S. C., J. K. Kim, G. P. Kim and Y. S. Yang. 2017. Morphological and phylogenetic analysis of *Opuntia monacantha* Haw., an unrecorded plant in Korea. Proceedings of Plant Resources Society of Korea, 2017(1): 201. (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 Journal of Plant Resources, 31(1): 32-36. (in Korean with English abstract)
- Kwon, J. H., T. Y. Kim, J. K. Kim and J. Y. Kim. 2017. Beauty Industrialization of Seogwipo Jaekook Backyoncho. The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry Abstracts of Spring Research Papers: 264-264. (in Korean)
- 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)
- Kwon, J. H., T. Y. Kim, J. K. Kim, Y. S. Yang and J. Y. Kim. 2017. Extraction of Taxifolin and Antioxidant Activity in Seogwipo. The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry Abstracts of Spring Research Papers: 265-265. (in Korean)

- 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.
- Labra, M., F. Grassi, M. Bardini, S. Imazio, A. Guiggi, S. Citterio, E. Banfi and S. Sgorbati. 2003. Genetic relationships in *Opuntia* Mill. genus (Cactaceae) detected by molecular marker. Plant Sci., 165: 1129-1136.
- Lee, J. C., H. R. Kim, J. KIM, And Y. S. Jang. 2002. Antioxidant Property of an Ethanol Extract of the Stem of *Opuntia ficus-indica* var. Saboten. J. Agric. Food Chem., 50: 6490-6496
- 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
- Lim, T. K. 2011. *Opuntia monacantha*. In Edible Medicinal and Non-medicinal Plants, Volume 1. Fruits, Springer, Berlin, Germany, 683-686.
- Lucas, C., R. P. Majure, M. P. Griffith, S. Walter, S. Pamela, J. Soltis and D. E. Soltis. 2012. Phylogeny of *Opuntia s. s.* (CACTACEAE): Clade Delineation, Geographic Origins, And Reticulate Evolution. American Journal of Botany, 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.
- 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.
- Oh, S. H. 2010. Phylogeny and systematics of Crossosomatales as Inferred from chloroplast atp β , matK, and rbcL sequences. Korean J. Pl. Taxon. 40(4): 208-217.

- Oh, S. H., L. Chen, S. H. Kim, Y. D. Kim, and H. Shin. 2010. Phylogenetic Relationship of *Physocarpus insularis* (Rosaceae) Endemic on Ulleung Island: Implications for Conservation Biology. *J. Plant Biol.*, 53: 94-105.
- Park, K. R., J. H. Lee, S. T. Kim, S. T. Lee, M. Y. Kim, S. P. Hong, Y. J. 2010. *Plant Systematics (A Phylogenetic Approach) Third Edition*: 112-115.
- Park, C. M., B. H. Kwak, S. H. Park, H. Kim and D. Y. Rhyu. 2013. Comparison of biological activities of *Opuntia humifusa* and *Opuntia ficus-indica*. *Korean Journal of Plant Resources*, 26(5): 519-525. (in Korean with English abstract)
- Shin, T. G. and S. H. Kim. Radiation protection effect of *Opuntia cactus*. *Jeju Life Science Research*, 1(1): 25-32. (in Korean with English abstract)
- Simpson, M. G. 2011. *Plant systematics*. world science, Seoul(in Korean).
- Solitis, D. E., P. S. Solitis and J. J. dolye(Eds). 1998. *Molecular systematics of plants II; DNA sequencing*. Kluwer Academic, Boston.
- Saitou, N. and M. Nei. 1987. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4: 406-425.
- Tamura, K., G. Stecher, D. Peterson, A. Filipski and S. Kumar. 2013. Mega6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30: 2725-2729.
- Tamura K., M. Nei and S. Kumar. 2004. Prospects for inferring very large phylogenies by using the neighbor-joining method. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 101: 11030-11035.
- 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[eds.], *PCR protocols: A guide to methods and applications*, 315-322, Academic Press, San Diego, California, USA.
- Xinwenfeng Publishing co. 1982. *The Encyclopedia of Chinese Medicine*

Zhongyao Da Cidian, Xinwenfeng Publishing Co., Taipei, Taiwan. pp. 482-484.

Yang, Y. S., J. H. Kwon, T. Y. Kim, J. K. Kim and J. Y. Kim. 2017. Characterization of anti-glycation and antibacterial activity of Seogwipo. Applied Chemistry of Engineering Abstracts of Spring Research Papers: 409-409. (in Korean)

V. Abstract

A Study on the Systematic Classification of the Cactus populations of Genus *Opuntia* in Seogwipo and Hallim area of Jeju Island

Young-Soo Yang

Major in Biology Education, Graduation School of Education,
Jeju National University

(Supervised by Professor Hong-Shik Oh)

In Seogwipo and Hallim areas of Jeju Island, there are different types of *Opuntia* cactus in stem, fruit, flower shape, size, flowering time and fruit quantity. The *Opuntia* cactus distributed in the Hallim area is *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten* is known as a scientific name, but the taxonomic position of *Opuntia* cactus in Seogwipo area has not been revealed yet. This study was conducted to identify the relationship between the populations of *Opuntia* cactus distributed in Seogwipo and Hallim areas in Jeju Island and to establish the taxonomic location. The results of the study showed that there is a common genetic variation between the groups through the analysis of nrITS gene and plasmid matK and rbcL gene. And Seogwipo *Opuntia* cactus is an evolutionary close species to *Opuntia arechavaletae*, and Hallim *Opuntia* cactus is close to *Opuntia scheeri* and *Opuntia rastrera*. Considering that there has not been any comparative analysis of *Opuntia* species in Korea until now,

the morphological and molecular genetic results obtained from this study will be a more in-depth study on *Opuntia* species in Korea. And the current unrecorded species, Seogwipo *Opuntia* cactus, has not been given a scientific name, and the The Hallim *Opuntia* cactus is a potential misuse of the scientific name *Opuntia ficus-indica* var. *Saboten*, so further studies are needed to review the taxonomic review of the *Opuntia* genus in Korea.

Appendix 1. Genbank(NCBI) Accession Number. (nrITS)

ID	Species	nrITS	ID	Species	nrITS	ID	Species	nrITS	ID	Species	nrITS
1	<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i>	JF786876	37	<i>Opuntia boldingii</i>	JF786916	73	<i>Opuntia gosseliniana</i>	JF786948	109	<i>Opuntia quitensis</i>	JF786989
2	<i>Consolea corallicola_1</i>	JF786877	38	<i>Opuntia bravoana_1</i>	JF787038	74	<i>Opuntia humifusa</i>	JF786949	110	<i>Opuntia rastrea</i>	JF786991
3	<i>Consolea corallicola_2</i>	JF786878	39	<i>Opuntia bravoana_2</i>	JF787039	75	<i>Opuntia hystricina</i>	JF786951	111	<i>Opuntia repens_1</i>	JF786992
4	<i>Consolea moniliformis</i>	JF786880	40	<i>Opuntia camanchica_1</i>	JF786917	76	<i>Opuntia jamaicensis</i>	JF786952	112	<i>Opuntia repens_2</i>	JF786993
5	<i>Consolea nashii_1</i>	JF786881	41	<i>Opuntia camanchica_2</i>	JF786973	77	<i>Opuntia leucotricha1</i>	JF786953	113	<i>Opuntia repens_3</i>	JF786994
6	<i>Consolea nashii_2</i>	JF786882	46	<i>Opuntia caracasana</i>	JF786918	78	<i>Opuntia leucotricha2</i>	JF786954	114	<i>Opuntia retrorsa</i>	JF786995
7	<i>Consolea rubescens_1</i>	JF786883	43	<i>Opuntia cespitosa_1</i>	JF786920	79	<i>Opuntia lilae</i>	JF786955	115	<i>Opuntia robusta</i>	JF786996
8	<i>Consolea rubescens_2</i>	JF786884	44	<i>Opuntia cespitosa_2</i>	JF786921	80	<i>Opuntia lucayana</i>	JF786956	116	<i>Opuntia rufida</i>	JF786997
9	<i>Consolea spinosissima</i>	JF786885	45	<i>Opuntia chaffeyi</i>	JF786922	81	<i>Opuntia macbridei_1</i>	JF786957	117	<i>Opuntia salmiana1</i>	JF786998
10	<i>Miqueliopuntia miquelii</i>	JF786889	46	<i>Opuntia chisosensis</i>	JF786923	82	<i>Opuntia macbridei_2</i>	JF786958	118	<i>Opuntia salmiana2</i>	JF786999
11	<i>Nopalea auberi</i>	JF786890	47	<i>Opuntia chlorotica</i>	JF786924	83	<i>Opuntia macbridei_3</i>	JF786990	119	<i>Opuntia santa-rita</i>	JF787001
12	<i>Nopalea cochenillifera</i>	JF786891	48	<i>Opuntia cochabambensis</i>	JF787046	84	<i>Opuntia macrocentra</i>	JF786959	120	<i>Opuntia scheeri</i>	JF787002
13	<i>Nopalea gaumeri</i>	JF786894	49	<i>Opuntia cubensis</i>	JF786925	85	<i>Opuntia macrorhiza</i>	JF786960	121	<i>Opuntia schickendantzii</i>	JF787003
14	<i>Nopalea guatemalensis</i>	JF786895	50	<i>Opuntia cymochila</i>	JF786927	86	<i>Opuntia magnifica</i>	JF786962	122	<i>Opuntia schumannii</i>	JF787004
15	<i>Nopalea hondurensis</i>	JF786896	51	<i>Opuntia decumbens</i>	JF786928	87	<i>Opuntia martiniana</i>	JF787061	123	<i>Opuntia setispina</i>	JF787005
16	<i>Nopalea inaperta</i>	JF786898	52	<i>Opuntia depressa</i>	JF786929	88	<i>Opuntia megacantha</i>	JF786963	124	<i>Opuntia soederstromia</i>	JF787006
17	<i>Nopalea karwinskiana</i>	JF786899	53	<i>Opuntia dillenii_1</i>	JF787010	89	<i>Opuntia megarhiza</i>	JF786964	125	<i>Opuntia stenopetala</i>	JF787008
18	<i>Nopalea lutea</i>	JF786900	54	<i>Opuntia dillenii_2</i>	JF787011	90	<i>Opuntia megasperma</i>	JF786965	126	<i>Opuntia stricta</i>	JF787009
19	<i>Nopalea nuda</i>	JF786901	55	<i>Opuntia drummondii</i>	JF786930	91	<i>Opuntia microdasys</i>	JF786966	127	<i>Opuntia strigil_1</i>	JF787012
20	<i>Opuntia abjecta</i>	JF787021	56	<i>Opuntia durangensis</i>	JF786931	92	<i>Opuntia monacantha</i>	JF786967	128	<i>Opuntia strigil_2</i>	JF787014
21	<i>Opuntia acaulis</i>	JF786902	57	<i>Opuntia echios</i>	JF786932	93	<i>Opuntia orbiculata</i>	JF786968	129	<i>Opuntia sulphurea</i>	JF787015
22	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila 1</i>	JF786903	58	<i>Opuntia eichlamii</i>	JF786933	94	<i>Opuntia oricola</i>	JF786969	130	<i>Opuntia tapona</i>	JF787016
23	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila 2</i>	JF786904	59	<i>Opuntia elata</i>	JF786934	95	<i>Opuntia pachyrrhiza</i>	JF786970	131	<i>Opuntia tomentosa_1</i>	JF787017
24	<i>Opuntia x andersonii</i>	JF786905	60	<i>Opuntia ellisiana_1</i>	JF786935	96	<i>Opuntia pailana</i>	JF786972	132	<i>Opuntia tomentosa_2</i>	JF787018
25	<i>Opuntia arechavaletae</i>	JF786906	61	<i>Opuntia ellisiana_2</i>	JF786936	97	<i>Opuntia phaeacantha</i>	JF786974	133	<i>Opuntia tortispina</i>	JF787020
26	<i>Opuntia arenaria</i>	JF786907	62	<i>engelmanniivar. engelmanni_1</i>	JF786937	98	<i>Opuntia pilifera</i>	JF786975	134	<i>Opuntia</i> sp. no.1	JF787022
27	<i>Opuntia assumptionis</i>	JF787007	63	<i>engelmanniivar. engelmanni_2</i>	JF786938	99	<i>Opuntia pinkavae</i>	JF786976	135	<i>Opuntia</i> sp. no.2	JF787023
28	<i>Opuntia atrispina</i>	JF786908	64	<i>engelmanniivar. lindheimeri</i>	JF786939	100	<i>Opuntia pittieri</i>	JF786977	136	<i>Opuntia vaseyi</i>	JF787024
29	<i>Opuntia aurea</i>	JF786909	65	<i>engelmanniivar. linguiformis</i>	JF786940	101	<i>Opuntia pollardii</i>	JF786978	137	<i>Opuntia wilcoxii</i>	JF787025
30	<i>Opuntia aureispina</i>	JF786910	66	<i>Opuntia erinacea</i>	JF786941	102	<i>Opuntia polyacantha</i>	JF786979	138	<i>Tacinga inamoena</i>	JF787027
31	<i>Opuntiaa ustrina</i>	JF786911	67	<i>Opuntia excelsa</i>	JF786942	103	<i>Opuntia pottsii</i>	JF786980	139	<i>Tacinga palmadora</i>	JF787028
32	<i>Opuntia bahamana</i>	JF787032	68	<i>Opuntia ficus-indica 1</i>	JF786943	104	<i>Opuntia puberula</i>	JF786981	140	<i>Tacinga saxatilis</i>	JF787029
33	<i>Opuntia bakeri</i>	JF786912	69	<i>Opuntia ficus-indica 2</i>	JF786944	105	<i>Opuntia pumila</i>	JF786983	141	<i>Hanlim</i>	unrecorded
34	<i>Opuntia basilaris</i>	JF786913	70	<i>Opuntia fragilis</i>	JF786945	106	<i>Opuntia pusilla</i>	JF786984	142	<i>Seogwipo</i>	unrecorded
35	<i>Opuntia bella</i>	JF786914	71	<i>Opuntia fuliginosa</i>	JF786946	107	<i>Opuntia pycnantha</i>	JF786987			
36	<i>Opuntia bisetosa</i>	JF786915	72	<i>Opuntia galapageia</i>	JF786947	108	<i>Opuntia quimilo</i>	JF786988			

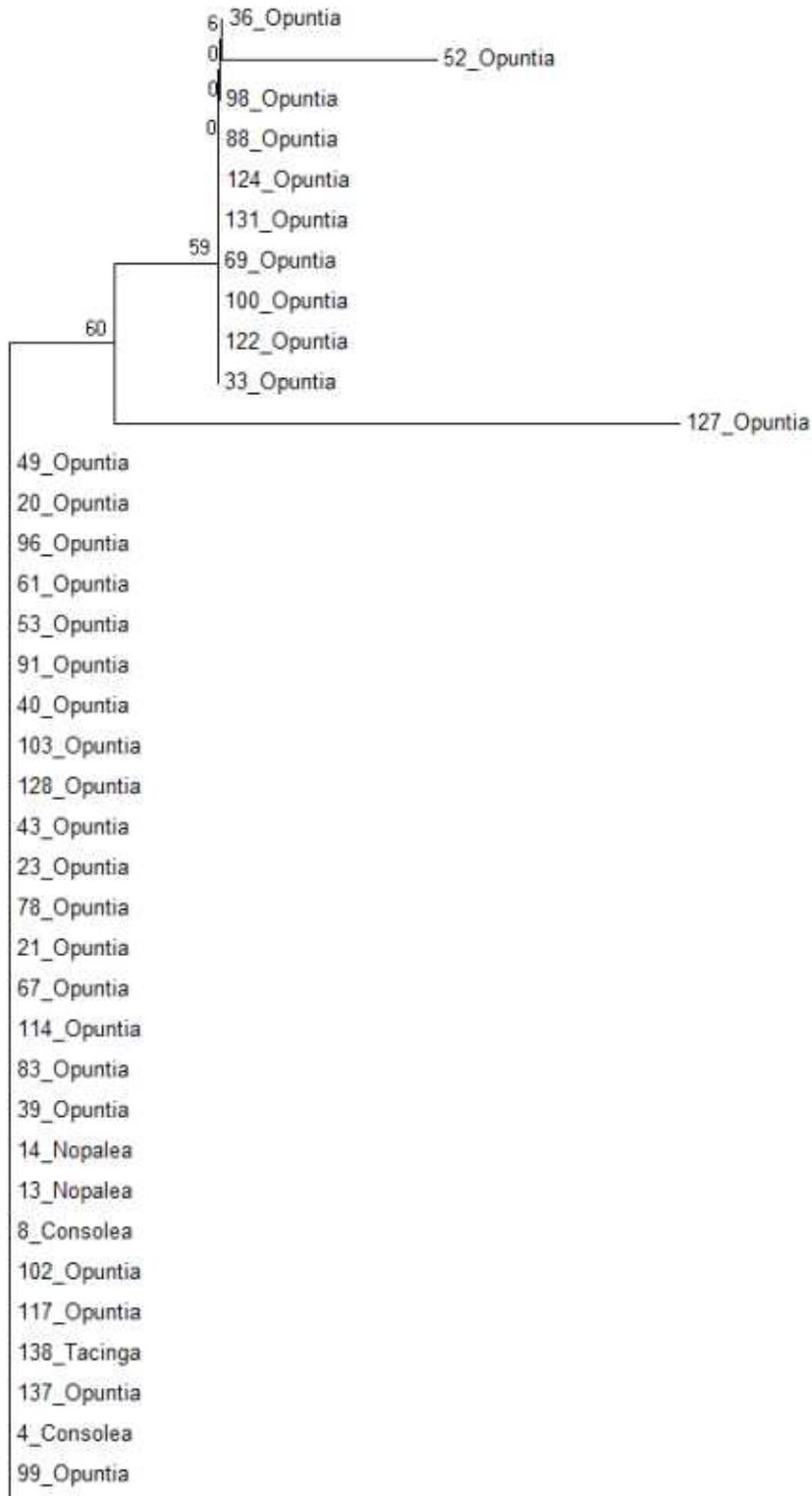
Appendix 2. Genbank(NCBI) Accession Number. (rbcl)

ID	Species	rbcl	ID	Species	rbcl	ID	Species	rbcl	ID	Species	rbcl
1	<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i>	JF787155	37	<i>Opuntia boldingii</i>	JF787192	73	<i>Opuntia gosseliniana</i>	JF787226	109	<i>Opuntia quitensis</i>	JF787268
2	<i>Consolea corallicola_1</i>	JF787156	38	<i>Opuntia bravoana_1</i>	JF787193	74	<i>Opuntia humifusa</i>	JF787227	110	<i>Opuntia rastrea</i>	JF787270
3	<i>Consolea corallicola_2</i>	JF787157	39	<i>Opuntia bravoana_2</i>	JF787194	75	<i>Opuntia hystricina</i>	JF787229	111	<i>Opuntia repens_1</i>	JF787271
4	<i>Consolea moniliformis</i>	JF787158	40	<i>Opuntia camanchica_1</i>	JF787195	76	<i>Opuntia jamaicensis</i>	JF787230	112	<i>Opuntia repens_2</i>	JF787272
5	<i>Consolea nashii_1</i>	JF787159	41	<i>Opuntia camanchica_2</i>	JF787253	77	<i>Opuntia leucotricha1</i>	JF787231	113	<i>Opuntia repens_3</i>	JF787273
6	<i>Consolea nashii_2</i>	JF787160	46	<i>Opuntia caracasana</i>	JF787196	78	<i>Opuntia leucotricha2</i>	JF787232	114	<i>Opuntia retrorsa</i>	JF787274
7	<i>Consolea rubescens_1</i>	JF787161	43	<i>Opuntia cespitosa_1</i>	JF787197	79	<i>Opuntia lilae</i>	JF787233	115	<i>Opuntia robusta</i>	JF787275
8	<i>Consolea rubescens_2</i>	JF787162	44	<i>Opuntia cespitosa_2</i>	JF787198	80	<i>Opuntia lucayana</i>	JF787234	116	<i>Opuntia rufida</i>	JF787276
9	<i>Consolea spinosissima</i>	JF787163	45	<i>Opuntia chaffeyi</i>	JF787199	81	<i>Opuntia macbridei_1</i>	JF787236	117	<i>Opuntia salmiana1</i>	JF787278
10	<i>Miqueliopuntia miquelii</i>	JF787164	46	<i>Opuntia chisosensis</i>	JF787200	82	<i>Opuntia macbridei_2</i>	JF787237	118	<i>Opuntia salmiana2</i>	JF787279
11	<i>Nopalea auberi</i>	JF787165	47	<i>Opuntia chlorotica</i>	JF787201	83	<i>Opuntia macbridei_3</i>	JF787269	119	<i>Opuntia santa-rita</i>	JF787280
12	<i>Nopalea cochenillifera</i>	JF787166	48	<i>Opuntia cochabambensis</i>	JF787202	84	<i>Opuntia macrocentra</i>	JF787238	120	<i>Opuntia scheeri</i>	JF787281
13	<i>Nopalea gaumeri</i>	JF787169	49	<i>Opuntia cubensis</i>	JF787203	85	<i>Opuntia macrorhiza</i>	JF787239	121	<i>Opuntia schickendantzii</i>	JF787282
14	<i>Nopalea guatemalensis</i>	JF787170	50	<i>Opuntia cymochila</i>	JF787204	86	<i>Opuntia magnifica</i>	JF787241	122	<i>Opuntia schumannii</i>	JF787283
15	<i>Nopalea hondurensis</i>	JF787171	51	<i>Opuntia decumbens</i>	JF787205	87	<i>Opuntia martiniana</i>	JF787242	123	<i>Opuntia setispina</i>	JF787284
16	<i>Nopalea inaperta</i>	JF787173	52	<i>Opuntia depressa</i>	JF787206	88	<i>Opuntia megacantha</i>	JF787243	124	<i>Opuntia soederstromia</i>	JF787285
17	<i>Nopalea karwinskiana</i>	JF787174	53	<i>Opuntia dillenii_1</i>	JF787289	89	<i>Opuntia megarhiza</i>	JF787244	125	<i>Opuntia stenopetala</i>	JF787287
18	<i>Nopalea lutea</i>	JF787175	54	<i>Opuntia dillenii_2</i>	JF787290	90	<i>Opuntia megasperma</i>	JF787245	126	<i>Opuntia stricta</i>	JF787288
19	<i>Nopalea nuda</i>	JF787176	55	<i>Opuntia drummondii</i>	JF787207	91	<i>Opuntia microdasys</i>	JF787246	127	<i>Opuntia strigil_1</i>	JF787291
20	<i>Opuntia abjecta</i>	JF787300	56	<i>Opuntia durangensis</i>	JF787208	92	<i>Opuntia monacantha</i>	JF787247	128	<i>Opuntia strigil_2</i>	JF787292
21	<i>Opuntia acaulis</i>	JF787177	57	<i>Opuntia echios</i>	JF787209	93	<i>Opuntia orbiculata</i>	JF787248	129	<i>Opuntia sulphurea</i>	JF787294
22	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila 1</i>	JF787178	58	<i>Opuntia eichlamii</i>	JF787210	94	<i>Opuntia oricola</i>	JF787249	130	<i>Opuntia tapona</i>	JF787295
23	<i>Opuntia humifusa</i> var. <i>ammophila 2</i>	JF787179	59	<i>Opuntia elata</i>	JF787211	95	<i>Opuntia pachyrrhiza</i>	JF787250	131	<i>Opuntia tomentosa_1</i>	JF787296
24	<i>Opuntia x andersonii</i>	JF787180	60	<i>Opuntia ellisiana_1</i>	JF787212	96	<i>Opuntia pailana</i>	JF787252	132	<i>Opuntia tomentosa_2</i>	JF787297
25	<i>Opuntia arechavaletae</i>	JF787181	61	<i>Opuntia ellisiana_2</i>	JF787213	97	<i>Opuntia phaeacantha</i>	JF787254	133	<i>Opuntia tortispina</i>	JF787299
26	<i>Opuntia arenaria</i>	JF787182	62	<i>engelmanniivar. engelmanni_1</i>	JF787214	98	<i>Opuntia pilifera</i>	JF787255	134	<i>Opuntia</i> sp. no.1	JF787301
27	<i>Opuntia assumptionis</i>	JF787286	63	<i>engelmanniivar. engelmanni_2</i>	JF787215	99	<i>Opuntia pinkavae</i>	JF787256	135	<i>Opuntia</i> sp. no.2	JF787302
28	<i>Opuntia atrispina</i>	JF787183	64	<i>engelmanniivar. lindheimeri</i>	JF787216	100	<i>Opuntia pittieri</i>	JF787257	136	<i>Opuntia vaseyi</i>	JF787303
29	<i>Opuntia aurea</i>	JF787184	65	<i>engelmanniivar. linguiformis</i>	JF787217	101	<i>Opuntia pollardii</i>	JF787258	137	<i>Opuntia wilcoxii</i>	JF787304
30	<i>Opuntia aureispina</i>	JF787185	66	<i>Opuntia erinacea</i>	JF787218	102	<i>Opuntia polyacantha</i>	JF787259	138	<i>Tacinga inamoena</i>	JF787305
31	<i>Opuntia ustrina</i>	JF787186	67	<i>Opuntia excelsa</i>	JF787220	103	<i>Opuntia pottsii</i>	JF787260	139	<i>Tacinga palmadora</i>	JF787307
32	<i>Opuntia bahamana</i>	JF787187	68	<i>Opuntia ficus-indica 1</i>	JF787221	104	<i>Opuntia puberula</i>	JF787261	140	<i>Tacinga saxatilis</i>	JF787308
33	<i>Opuntia bakeri</i>	JF787188	69	<i>Opuntia ficus-indica 2</i>	JF787222	105	<i>Opuntia pumila</i>	JF787262	141	<i>Hanlim</i>	unrecorded
34	<i>Opuntia basilaris</i>	JF787189	70	<i>Opuntia fragilis</i>	JF787223	106	<i>Opuntia pusilla</i>	JF787263	142	<i>Seogwipo</i>	unrecorded
35	<i>Opuntia bella</i>	JF787190	71	<i>Opuntia fuliginosa</i>	JF787224	107	<i>Opuntia pycnantha</i>	JF787266			
36	<i>Opuntia bisetosa</i>	JF787191	72	<i>Opuntia galapageia</i>	JF787225	108	<i>Opuntia quimilo</i>	JF787267			

Appendix 3. Genbank(NCBI) Accession Number. (matK)

ID	Species	matK	ID	Species	matK	ID	Species	matK	ID	Species	matK
1	<i>Brasiliopuntia brasiliensis</i>	JF786712	37	<i>Opuntia boldinghii</i>	JF786753	73	<i>Opuntia gosseliniana</i>	JF786789	109	<i>Opuntia quitensis</i>	JF786832
2	<i>Consolea corallicola_1</i>	JF786713	38	<i>Opuntia bravoana_1</i>	JF786754	74	<i>Opuntia humifusa</i>	JF786790	110	<i>Opuntia rastrea</i>	JF786834
3	<i>Consolea corallicola_2</i>	JF786714	39	<i>Opuntia bravoana_2</i>	JF786755	75	<i>Opuntia hystericina</i>	JF786792	111	<i>Opuntia repens_1</i>	JF786835
4	<i>Consolea moniliformis</i>	JF786716	40	<i>Opuntia camanchica_1</i>	JF786756	76	<i>Opuntia jamaicensis</i>	JF786793	112	<i>Opuntia repens_2</i>	JF786836
5	<i>Consolea nashii_1</i>	JF786717	41	<i>Opuntia camanchica_2</i>	JF786816	77	<i>Opuntia leucotricha1</i>	JF786795	113	<i>Opuntia repens_3</i>	JF786837
6	<i>Consolea nashii_2</i>	JF786718	46	<i>Opuntia caracasana</i>	JF786757	78	<i>Opuntia leucotricha2</i>	JF786796	114	<i>Opuntia retrorsa</i>	JF786839
7	<i>Consolea rubescens_1</i>	JF786719	43	<i>Opuntia cespitosa_1</i>	JF786759	79	<i>Opuntia lilae</i>	JF786797	115	<i>Opuntia robusta</i>	JF786838
8	<i>Consolea rubescens_2</i>	JF786720	44	<i>Opuntia cespitosa_2</i>	JF786760	80	<i>Opuntia lucayana</i>	JF786798	116	<i>Opuntia rufida</i>	JF786840
9	<i>Consolea spinosissima</i>	JF786721	45	<i>Opuntia chaffeyi</i>	JF786761	81	<i>Opuntia macbridei_1</i>	JF786799	117	<i>Opuntia salmiana1</i>	JF786842
10	<i>Miqueliopuntia miquelii</i>	JF786725	46	<i>Opuntia chisosensis</i>	JF786762	82	<i>Opuntia macbridei_2</i>	JF786800	118	<i>Opuntia salmiana2</i>	JF786843
11	<i>Nopalea auberi</i>	JF786726	47	<i>Opuntia chlorotica</i>	JF786763	83	<i>Opuntia macbridei_3</i>	JF786833	119	<i>Opuntia santa-rita</i>	JF786845
12	<i>Nopalea cochenillifera</i>	JF786727	48	<i>Opuntia cochabambensis</i>	JF786764	84	<i>Opuntia macrocentra</i>	JF786801	120	<i>Opuntia scheeri</i>	JF786847
13	<i>Nopalea gaumeri</i>	JF786730	49	<i>Opuntia cubensis</i>	JF786765	85	<i>Opuntia macrorhiza</i>	JF786802	121	<i>Opuntia schickendantzii</i>	JF786848
14	<i>Nopalea guatemalensis</i>	JF786731	50	<i>Opuntia cymochila</i>	JF786767	86	<i>Opuntia magnifica</i>	JF786804	122	<i>Opuntia schumannii</i>	JF786849
15	<i>Nopalea hondurensis</i>	JF786732	51	<i>Opuntia decumbens</i>	JF786768	87	<i>Opuntia martiniana</i>	JF786805	123	<i>Opuntia setispina</i>	JF786850
16	<i>Nopalea inaperta</i>	JF786734	52	<i>Opuntia depressa</i>	JF786769	88	<i>Opuntia megacantha</i>	JF786806	124	<i>Opuntia soederstromia</i>	JF786851
17	<i>Nopalea karwinskiana</i>	JF786735	53	<i>Opuntia dillenii_1</i>	JF786854	89	<i>Opuntia megarhiza</i>	JF786807	125	<i>Opuntia stenopetala</i>	JF786852
18	<i>Nopalea lutea</i>	JF786736	54	<i>Opuntia dillenii_2</i>	JF786855	90	<i>Opuntia megasperma</i>	JF786808	126	<i>Opuntia stricta</i>	JF786853
19	<i>Nopalea nuda</i>	JF786737	55	<i>Opuntia drummondii</i>	JF786770	91	<i>Opuntia microdasys</i>	JF786809	127	<i>Opuntia strigil_1</i>	JF786856
20	<i>Opuntia abjecta</i>	JF786865	56	<i>Opuntia durangensis</i>	JF786771	92	<i>Opuntia monacantha</i>	JF786810	128	<i>Opuntia strigil_2</i>	JF786857
21	<i>Opuntia acaulis</i>	JF786738	57	<i>Opuntia echios</i>	JF786772	93	<i>Opuntia orbiculata</i>	JF786811	129	<i>Opuntia sulphurea</i>	JF786859
22	<i>Opuntia humifusa var. ammophila 1</i>	JF786739	58	<i>Opuntia eichlamii</i>	JF786773	94	<i>Opuntia oricola</i>	JF786812	130	<i>Opuntia tapona</i>	JF786860
23	<i>Opuntia humifusa var. ammophila 2</i>	JF786740	59	<i>Opuntia elata</i>	JF786774	95	<i>Opuntia pachyrrhiza</i>	JF786813	131	<i>Opuntia tomentosa_1</i>	JF786861
24	<i>Opuntia x andersonii</i>	JF786741	60	<i>Opuntia ellisiana_1</i>	JF786775	96	<i>Opuntia pailana</i>	JF786815	132	<i>Opuntia tomentosa_2</i>	JF786862
25	<i>Opuntia arechavaletae</i>	JF786742	61	<i>Opuntia ellisiana_2</i>	JF786776	97	<i>Opuntia phaeacantha</i>	JF786817	133	<i>Opuntia tortispina</i>	JF786864
26	<i>Opuntia arenaria</i>	JF786743	62	<i>engelmanniivar. engelmanni_1</i>	JF786777	98	<i>Opuntia pilifera</i>	JF786818	134	<i>Opuntia</i> sp. no.1	JF786866
27	<i>Opuntia assumptionis</i>	JF786846	63	<i>engelmanniivar. engelmanni_2</i>	JF786778	99	<i>Opuntia pinkavae</i>	JF786819	135	<i>Opuntia</i> sp. no.2	JF786867
28	<i>Opuntia atrispina</i>	JF786744	64	<i>engelmanniivar. lindheimeri</i>	JF786779	100	<i>Opuntia pittieri</i>	JF786820	136	<i>Opuntia vaseyi</i>	JF786868
29	<i>Opuntia aurea</i>	JF786745	65	<i>engelmanniivar. linguiformis</i>	JF786780	101	<i>Opuntia pollardii</i>	JF786821	137	<i>Opuntia wilcoxii</i>	JF786869
30	<i>Opuntia aureispina</i>	JF786746	66	<i>Opuntia erinacea</i>	JF786781	102	<i>Opuntia polyacantha</i>	JF786822	138	<i>Tacinga inamoena</i>	JF786870
31	<i>Opuntiaa ustrina</i>	JF786747	67	<i>Opuntia excelsa</i>	JF786783	103	<i>Opuntia pottsii</i>	JF786824	139	<i>Tacinga palmadora</i>	JF786872
32	<i>Opuntia bahamana</i>	JF786748	68	<i>Opuntia ficus-indica 1</i>	JF786784	104	<i>Opuntia puberula</i>	JF786825	140	<i>Tacinga saxatilis</i>	JF786873
33	<i>Opuntia bakeri</i>	JF786749	69	<i>Opuntia ficus-indica 2</i>	JF786785	105	<i>Opuntia pumila</i>	JF786826	141	<i>Hanlim</i>	unrecorded
34	<i>Opuntia basilaris</i>	JF786750	70	<i>Opuntia fragilis</i>	JF786786	106	<i>Opuntia pusilla</i>	JF786827	142	<i>Seogwipo</i>	unrecorded
35	<i>Opuntia bella</i>	JF786751	71	<i>Opuntia fuliginosa</i>	JF786787	107	<i>Opuntia pycnantha</i>	JF786830			
36	<i>Opuntia bisetosa</i>	JF786752	72	<i>Opuntia galapageia</i>	JF786788	108	<i>Opuntia quimilo</i>	JF786831			

Appendix 4. NJ Tree of *Opuntia* Genus in Jeju and *Opuntia* Genus registered in NCB InrITS Gene(For MEGA program).



Appendix 4. (Continued)

38_Opuntia	
139_Tacinga	
121_Opuntia	
70_Opuntia	
5_Consolea	
19_Nopalea	
132_Opuntia	
15_Nopalea	
82_Opuntia	
59_Opuntia	
130_Opuntia	
95_Opuntia	
141_Hanlim	
80_Opuntia	
64_Opuntia	
28_Opuntia	
133_Opuntia	
74_Opuntia	
87_Opuntia	
110_Opuntia	
63_Opuntia	
55_Opuntia	
	25_Opuntia
101_Opuntia	
34_Opuntia	
71_Opuntia	
140_Tacinga	
118_Opuntia	
66_Opuntia	
7_Consolea	
16_Nopalea	
12_Nopalea	
48_Opuntia	
57_Opuntia	
115_Opuntia	
51_Opuntia	
134_Opuntia	
60_Opuntia	

Appendix 4. (Continued)

24_Opuntia	
44_Opuntia	
50_Opuntia	
47_Opuntia	
30_Opuntia	
125_Opuntia	
56_Opuntia	
65_Opuntia	
135_Opuntia	
113_Opuntia	
	3_Consolea
	64 6_Consolea
	2_Consolea
27_Opuntia	
89_Opuntia	
79_Opuntia	
26_Opuntia	
58_Opuntia	
9_Consolea	
42_Opuntia	
18_Nopalea	
129_Opuntia	
90_Opuntia	
45_Opuntia	
104_Opuntia	
32_Opuntia	
94_Opuntia	
86_Opuntia	
85_Opuntia	
46_Opuntia	
73_Opuntia	
97_Opuntia	
116_Opuntia	
37_Opuntia	
77_Opuntia	
93_Opuntia	
	136_Opuntia
112_Opuntia	

Appendix 4. (Continued)

