

미크로네시아 웨노섬 서식 망그로브 식물의 분류 및 항산화 활성

정영재¹, 황진익², 서승석², 박미례², 김동균³, 박종범³, 이택건^{2*}
¹신경대학교 생명공학과, ²한국해양과학기술원 남해특성연구부, ³신라대학교 생명과학과

Classification and Antioxidant Activities of Mangrove Plants in Weno Island, Micronesia

Youngjae Chung¹, Jinik Hwang², Sung-Suk Suh², Mirye Park², Donggiun Kim³,
Jongbum Park³ and Taek-Kyun Lee^{2*}

¹Department of Life Science and Biotechnology, Shin Gyeong University

²South Sea Environment Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology

³Department of Biological Science, Silla University

요약 망그로브 식물은 중금속의 sink로 작용하며, 페놀성 화합물의 함량이 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 최근에 망그로브 식물을 이용한 phytoremediation과 천연항산화제 개발을 위한 연구가 활발히 수행되고 있다. 이 연구에서는 미크로네시아 웨노섬에 서식하고 있는 4속 6종의 망그로브 식물에 대하여 분류 및 각 종의 잎에서의 항산화 활성을 분석 비교하였다. 6종의 계통관계를 조사하기 위한 분자마커로 엽록체 유전자인 *rbcL* (large subunit of ribulose-bisphosphate carboxylase)이 사용되었다. 그 결과 *Xylocarpus*, *Sonneratia*, *Rhizophora* 속 순으로 계통적 유사도가 높았으며 *Excoecaria* 속이 가장 유사도가 낮았다. 한편 6종의 망그로브 줄기 껍질의 페놀성 화합물 함량은 *R. apiculata*와 *X. granatum*에서 가장 높게 나타났으며 (1.10 mM/mg), *R. stylosa* (0.73 mM/mg)와 *S. alba* (0.72 mM/mg)에서 가장 낮았다($p < 0.05$). 또한 DPPH와 ABTS 방법을 이용한 분석 결과, *R. apiculata*, *X. granatum*, *X. moluccensis* 및 *E. agallocha*는 높은 항산화 활성을 보인 반면, *S. alba*는 가장 낮은 활성을 보였다. 이러한 결과는 *R. apiculata*의 줄기껍질이 천연 항산화제 개발을 위한 좋은 원료가 될 수 있음을 의미한다.

Abstract Mangrove plants serve as a sink of heavy metals and contain phenolic compounds at a high level. Therefore, with mangrove plants, recent studies to develop phytoremediation and natural antioxidants have been conducted in the commercial and academic fields. In the present study, six mangroves in Weno Island of Micronesia were investigated for their phylogenetic relationship and antioxidant activities. First, to determine the phylogenetic relationship among them, *rbcL* (large subunit of ribulose-bisphosphate carboxylase), one of the chloroplast genes, was used as a molecular marker. According to the data, *Xylocarpus*, *Sonneratia* and *Rhizophora* showed close similarity but not *Excoecaria*. The levels of phenolic compounds in the bark were abundant in *R. apiculata* and *X. granatum*, accounting for 1.10 mM/mg, while *R. stylosa* and *S. alba* contained the low amounts, representing 0.73 mM/mg and 0.72 mM/mg, respectively ($p < 0.05$). In addition, bark extracts from *R. apiculata*, *X. granatum*, *X. moluccensis*, and *E. agallocha* had high antioxidant activities through the DPPH radical scavenging activity and ABTS analysis, whereas *S. alba* showed the lowest activities. These results suggest that the bark of *R. apiculata* can be used as a good source for the development of natural antioxidants.

Key Words : Antioxidant activities, Classification, Mangrove, Phenolic compounds, *rbcL*

본 논문은 한국해양과학기술원 연구과제(PE99234)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Taek-Kyun Lee(Korea Institute Ocean Science & Technology)

Tel: +82-55-639-8630 email: tklee@kiost.ac

Received August 11, 2014

Revised September 5, 2014

Accepted September 11, 2014

1. 서론

망그로브 식물은 열대 및 아열대 지방에 널리 분포하고 있는 목본 식물이다[1]. 망그로브 생태계는 연안의 생태학적 균형을 유지하는데 중요한 역할을 담당하고, 식품, 목재 및 외부로부터의 보호 등을 제공하는 가장 생산적이고 역동적인 생태계 중의 하나이다[2,3]. 그러나 최근 증가하고 있는 전지구적인 온난화, 환경변화 및 인간활동 때문에 망그로브 식물 또는 망그로브 생태계는 빠르게 파괴되고 있다[4]. 특히 경제적 및 의학적 목적의 남획으로 인하여 망그로브의 유전적 다양성이 크게 소실되고 있다[5]. 더 중요한 위협요인은 인간활동의 결과로 인한 망그로브 식물 서식지의 파괴이며, 그 결과로 전지구적인 망그로브 식물의 감소지역이 확대되고 있다[6]. 망그로브가 서식하고 있는 국가에서는 망그로브의 소실을 막기 위하여 망그로브 식물의 보존과 지속적인 관리에 관심을 기울이고 있다. 망그로브 생태계 내에서의 식물종의 유전적 구조는 아직까지 잘 이해되지 않고 있으나[7], 망그로브 식물의 유전적 다양성을 연구하는 것은 이 종들을 보호하기 위한 효과적인 방법을 얻는데 있어서 중요하다[8].

츄크(Chuuk) 주는 4개의 주로 이루어진 미크로네시아 연방(Federated States of Micronesia, FSM)에 속해 있다. 츄크는 많은 산호초로 둘러싸여 있으며, 부분적으로 수몰된 화산섬으로 구성되어 있다[9]. 츄크에서의 망그로브 식물은 펠람, 건설자재 등으로 이용되고, 생태학적으로는 수질유지, 쓰나미로부터의 보호, 어류 서식처 제공 및 생태관광 활동 등 생태학적으로 중요하다[10]. 망그로브 식물은 미크로네시아 전체 육지 면적의 12-15% 차지하고 있다[11]. 특히 망그로브가 서식하고 있는 지역에서는 망그로브의 잎 또는 줄기의 껍질을 설사, 소화불량, 코피, 눈병, 염증, 인후염 및 상처치료 등 민간요법으로 사용되고 있다[12]. 망그로브 줄기의 물 추출물은 항균활성을 보이며[13], 외과수술 후 회복에 효과가 있는 것으로 알려져 있다[14]. 이러한 망그로브의 효능은 나무껍질에 다량 함유되어 있는 탄닌성분의 활성에 기인하는 것이며, *Rhizophora* 속의 나무껍질에는 10-36% 정도의 탄닌을 포함하는 페놀성 화합물이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다[15].

형태학적 마커와는 달리, 분자마커는 환경에 덜 영향을 받고, 식물 그룹 사이의 유전적 연관관계를 나타내는

데 매우 유용하다[16]. DNA 마커는 유전형을 특정화하고, 다른 마커보다 더 정확하게 유전적 연관관계를 측정할 수 있게 해 준다[17]. DNA 기반 유전마커는 최근에 다양한 식물분류 연구로 적용되어 왔고, 미래의 분자유전학이나 식물분류학에서 중요한 역할을 담당할 것으로 예상되고 있다[7]. 과거 수십년간 분자생물학적 방법을 통한 식품원료 및 의약품질을 동정은 일반적으로 되었고, 가장 최근의 도구 중의 하나는 DNA 바코드이다[18,19]. 염록체 유전자인 *rbcL* (large subunit of ribulose-bisphosphate carboxylase)과 *matK* (maturase K)는 식물 분자분류를 위한 중심 DNA 바코드이고, *trnH-psbA* (chloroplast *trnH-psbA* intergenic spacer)와 ITS (nuclear internal transcribed spacer)는 보조적인 DNA barcodes로 받아들여지고 있다[20]. 이러한 바코드들은 PCR에 의해서 쉽게 증폭되고, 종관별을 위해 염기서열 분석이 된다[21].

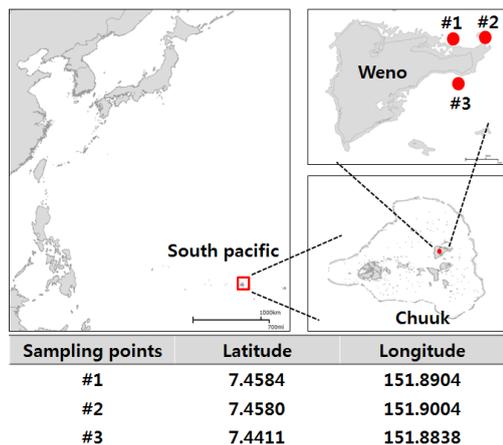
이 연구에서는 미크로네시아 츄크의 수도섬인 웨노섬에 서식하고 있는 4속 6종의 망그로브 식물을 채집하여 형태학적인 특징을 관찰하고, 분류키를 작성하여 손쉬운 분류가 가능하도록 하였다. *rbcL* 유전자를 분자마커로 선정하여 계통분류를 수행하여 형태적인 분류의 결과를 뒷받침하였다. 또한 이들 6종의 망그로브 식물의 줄기껍질(bark)에 포함되어 있는 페놀성화합물 함량 및 항산화 활성을 비교하여 산업적 활용 가능성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 망그로브 식물의 채집

망그로브 식물은 2013년 2월에 미크로네시아 츄크의 웨노섬 동쪽 연안에서 채집했다. 웨노섬의 망그로브는 섬을 둘러싸고 전체적으로 분포하지만, 망그로브림 즉 홍수림을 이루는 3개 지점을 선정하여 채집을 수행하였다[Fig. 1]. 채집한 망그로브 재료는 분자생물학적 분석을 위해 진공팩으로 포장하여 실험실로 옮겨져서 세척한 후 동결건조하였다. 특히 줄기의 껍질(bark)은 동결건조과정 중에 분리하여 건조하였다. 건조된 시료는 미세분말로 만들어 페놀성 화합물 및 항산화 활성 분석에 사용하였다. Gallic acid, DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazil) 및 ABTS [2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt] 등은

Sigma Chemicals Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였으며, 다른 시약들은 99% 이상 순도를 가진 것을 실험에 사용하였다. 또한 분류학적 연구를 위한 확증표본용 재료는 꽃이나 열매가 달린 줄기 끝 부분을 채집하였고, 실험실 운반, 건조 후 표본을 제작하였다.



[Fig. 1] Stations for mangrove sampling in Weno island

2.2 망그로브 genomic DNA 추출

망그로브의 gDNA는 CTAB extraction method [22]를 일부 수정하여 추출하였다. 망그로브 시료는 액체질소하에서 막자사발을 사용하여 분쇄했고, 미세분쇄를 위해 cover glass를 첨가하였다. 망그로브 샘플 20 µg과 CTAB buffer [2 g hexadecyl trimethyl-ammonium bromide (CTAB), 10 mL 1 M Tris pH 8.0, 4 mL 0.5 M EDTA pH 8.0, 28 mL 5 M NaCl] 500 µL를 혼합하고 55°C에서 1 시간 배양하였다. 배양 후 500 µL의 chloroform을 첨가하고 10분 동안 원심분리(13,000 rpm)하였다. 원심분리에서 얻어진 상층액을 수거해서 새로운 튜브에 옮겼다. 7.5 M 50 µL의 ammonium acetate, 200 µL의 isopropanol을 첨가하고 얼음에서 1 h 동안 반응시킨 후, 10 min 원심분리하였다. 상층액을 제거하고 70% 에탄올을 사용해서 두 차례 세척한 후 50 µL 증류수로 pellet을 녹여 gDNA를 추출했다.

2.3 분자마커를 이용한 망그로브 종판별

남태평양의 서식하는 망그로브의 분자생물학적 종판별을 위해 *rbcL* (1,5-bisphosphate carboxylase large subunit) 유전자를 분자마커로 사용했으며, *rbcL* 유전자에 대한 프라이머를 디자인하고(Forward 5'-AAAT-

TGACTTATTATACTCCT-3', Reverse 5'-AAA-GTTCCTCCACCGAATTGTAG-3') PCR을 수행하였다. PCR 조건은 annealing 온도 55°C에서 40 cycle 수행하였다.

2.4 망그로브 조직 추출물 준비

동결건조된 망그로브 줄기껍질 5 g을 200 mL의 메탄올에 넣고 24시간 동안 150 rpm에서 추출하였고, 원심분리(5 000 rpm, 5 min, Sorvall, USA)하였다. 망그로브 추출물은 건조시키고 4°C 암처에서 보관하였다. 추출물은 증류수로 재현탁하여 페놀성화합물 함량 및 항산화 활성 분석에 사용하였다.

2.5 페놀성 화합물 정량

망그로브 식물 줄기껍질의 페놀성 화합물 함량은 Kim 등[23]의 방법에 따라 실시하였다. 망그로브 추출물 0.5 mL와 에탄올 0.5 mL 첨가한 후 Folin-Ciocalteu 시약 0.5 mL, 1 mL의 7.5% Na₂CO₃를 첨가하고, 증류수로 최종 10 mL를 맞추었다. 60°C 배양기에서 20분간 발색시킨 후, 765 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 대조군으로는 50% 에탄올을 사용하였고, gallic acid를 사용하여 구한 검량 곡선으로부터 시료 중의 페놀성 화합물 함량을 계산하였다.

2.6 항산화 활성분석

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 측정은 Lu와 Foo의 방법[24]에 따라 실시하였다. 시료 0.2 mL에 0.1 mL의 DPPH (16 mg/100 mL EtOH) 용액을 첨가하고 10분간 상온에서 반응시킨 후, 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료를 첨가하지 않은 대조군과 비교하여 유리 라디칼 소거 활성을 백분율(%)로 나타내었다. 계산식은 아래와 같다.

$$\text{Inhibition (\%)} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

(A₀=대조군 흡광도 A₁=실험군 흡광도).

실험은 3번 반복 수행하였으며, 결과는 평균값±SD로 표시하였다.

ABTS 분석은 Kambayashi 등[25]의 방법을 일부 수정하여 수행하였다. ABTS 용액은 증류수를 사용하여 7 mM 농도로 희석하였고, potassium persulfate는 2.45 mM로 제조하였다. ABTS radical 측정 12-16시간 전에 두 용액을 혼합하였고, 암처에 두었다. 망그로브 추출물과 혼합하

기 전 PBS buffer (pH 7.4)를 사용하여 ABTS 용액을 희석하였다. 10 µL의 망그로브 추출물과 희석된 ABTS 용액 2.99 mL을 혼합한 후, 5분간 반응시켰다. 반응물은 흡광도 745 nm에서 측정하였고, 망그로브 추출물을 첨가하지 않은 대조군과 비교하여 %로 나타내었다. 실험은 3번 반복 수행하였으며, 결과는 평균값±SD로 표시하였다.

2.6 통계분석

통계분석은 SPSS 통계 소프트웨어를 사용하여 수행하였다. 데이터의 normality와 homogeneity는 ANOVA로 확인하였고, 실험구 간의 차이는 one-way ANOVA와 Duncan's multiple range test로 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

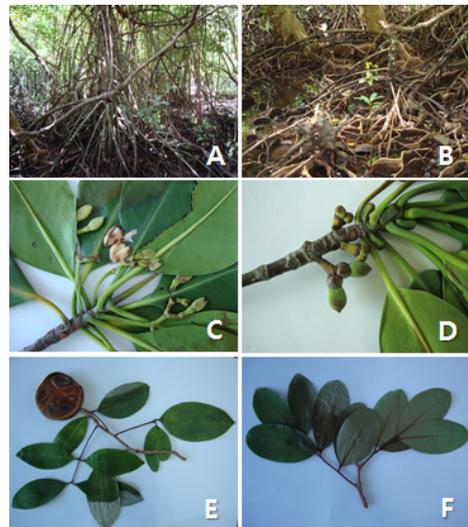
3.1 외부 형태적 특징을 이용한 웨노섬 망그로브의 분류

미크로네시아 웨노섬에 서식하고 있는 망그로브 식물의 뿌리 구조와 잎 모양 등을 중심으로 형태적 분류를 수행하였다. 그 결과, 뿌리의 구조는 아치나 긴 막대모양, 판상, 원뿔 모양의 3가지 유형으로 구분되었다. 잎은 전체적 모양과 광택, 잎 선단부의 돌기나 가시가 종 구분에 이용되었다.

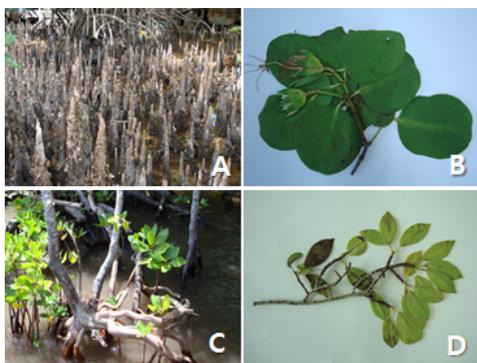
1. 뿌리는 지상의 원줄기에서 자라난다
2. 잎과 줄기를 자르면 맹독성 유즙이 나온다. 식물체는 관목이고, 뿌리는 원줄기 기부에서 사방으로 퍼지고, 잎은 광택이 없고, 끝에 뾰족한 가시모양의 돌기가 없다.
----- *Excoecaria agallocha*
2. 잎과 줄기를 잘라도 맹독성 유즙이 나오지 않는다. 식물체는 관목내지 야교목이다.
3. 뿌리는 아치모양의 긴 막대모양이다.
4. 잎맥부분에 둥근모양의 단단한 구조가 있으며, 잎 아래 부분에 선명한 갈색 반점이 있다.
----- *Rhizophora stylosa*
4. 잎맥부분에 둥근모양의 단단한 구조가 없으며, 잎 아래 부분에 선명한 갈색 반점이 없다.
----- *Rhizophora apiculata*
3. 뿌리는 판상이다.
5. 잎 끝이 둔하다(둔두 또는 원두).
----- *Xylocarpus granatum*
5. 잎 끝이 뾰족하다(첨두).
----- *Xylocarpus moluccensis*
1. 뿌리는 지하뿌리에서 솟아나며 원뿔모양이다.
----- *Sonneratia alba*

Rhizophora stylosa, *R. apiculata*, *Xylocarpus moluccensis*, *X. granatum* 이상 4종은 레드망그로브에 포함된다. 4종 모두 지지근이 있지만, *R. stylosa*와 *R. apiculata*는 원줄기에서 뻗어 나온 막대 모양의 stilit 뿌리를 가지고 있으며(Fig. 2A), *X. moluccensis* 및 *X. granatum*는 줄기 하부에 판처럼 발달하는 buttress 뿌리를 가지고 있었다(Fig. 2B). *Rhizophora* 속의 두 종은 잎맥 부분과 잎 뒷면의 갈색반점으로 구분되었다. 즉, *R. stylosa*의 경우 잎맥 부분에 둥근모양의 단단한 구조가 있으며, *R. apiculata*와는 달리 잎 뒷면에 선명한 갈색 반점이 있다(Figs. 2C, 2D). *Xylocarpus* 속의 두 종은 잎 모양으로 구분할 수 있었다. *X. moluccensis*는 잎 끝이 뾰족한 첨두였으며(Fig. 2E), *X. granatum*은 잎 끝이 둔한 둔두나 원두였다(Fig. 2F).

블랙 망그로브에 속하는 *Sonneratia alba*는 땅속 뿌리로 부터 솟아나는 원뿔 모양의 pneumatophores 뿌리 구조를 가지고 있으며, 잎은 둥근 타원 모양이었다(Figs. 3A, 4B). 화이트 망그로브에 속하는 *Excoecaria agallocha* (Figs. 3C, 3D)의 뿌리는 레드 망그로브와 같이 원줄기 기부에서부터 사방으로 퍼진 stilit 또는 buttress 형태로 관찰되었다. *E. agallocha*의 큰 특징 중의 하나는 잎과 줄기를 자르면 맹독성의 유즙이 분비되었으며, 줄기는 밝은 갈색으로 다른 종과는 확연히 구분되었다.



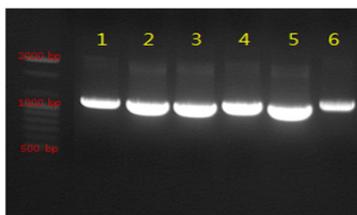
[Fig. 2] Four species of red mangroves. A, Roots of *Rhizophora*; B, Roots of *Xylocarpus*; C, Leaves of *R. stylosa*; D, Leaves of *R. apiculata*; E, Leaves and fruits of *X. moluccensis*; F, Leaves of *X. granatum*.



[Fig. 3] Black and white mangroves. A, Root of *S. alba*; B, Leaves of *S. alba*; C, Stem and root of *E. agallocha*; D, Leaves of *E. agallocha*.

3.2 분자마커를 이용한 웨노섬 망그로브의 분류

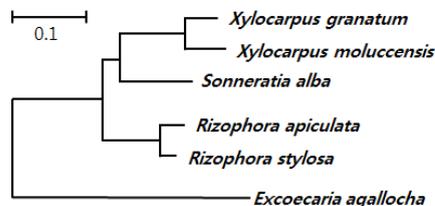
외부 형태학적 형질을 기반으로 하였던 웨노섬에 서식하는 망그로브의 종 판별을 분자분류학적으로 입증하기 위해, 망그로브 잎조직으로부터 *rbcL* 유전자를 클로닝하고 염기서열을 분석하였다. 샘플링을 수행한 6종의 망그로브로부터 CTAB method를 통해 genomic DNA를 추출하였고, *rbcL* primer를 이용하여 PCR을 수행했다 [Fig. 4].



[Fig. 4] PCR products of *rbcL* gene from six species of mangrove plants. Lane 1, *R. stylosa*; Lane 2, *R. apiculata*; Lane 3, *X. granatum*; Lane 4, *X. moluccensis*; Lane 5, *S. alba*; Lane 6, *E. agallocha*.

약 1,000 bp의 사이즈로 증폭된 *rbcL* 유전자의 염기서열은 바이오니아 서열 분석팀을 통해 분석되었다. 분석한 염기서열은 NCBI blast를 통해 상동성이 높은 유전자와 matching하였을 때 각각 형태적 분류 결과와 동일한 결과를 얻었다. 분석된 염기서열은 mega 5 program을 통해 maximum likelihood tree method로 분석하였다. 결과에 의하면, *E. agallocha*가 가장 먼저 분지되는데, 이는 *E. agallocha*만이 잎과 줄기에서 유독성 유즙을 분비하는

특징으로 나머지 5종과 구분했던 형태학적 결과와 일치하였다. 나머지 5종 중 *Xylocarpus* 속은 *Rhizophora* 속보다는 *Sonneratia* 속과 더 가깝게 묶이는 점은, 망그로브를 줄기의 상대적 명암 차이(블랙, 화이트)와 발아하는 뿌리의 색깔(레드)로 망그로브를 구분해 사용하는 블랙, 레드, 화이트 망그로브라는 용어에는 식물의 계통적 의미는 없다고 할 수 있다. 또한 지하 뿌리로부터 원뿔상의 많은 호흡근(기근)을 돌출시키는 *Sonneratia* 속 식물과 원줄기 기부에서 세워진 판상의 뿌리가 발달하는 *Xylocarpus* 속이 한 분계조로 묶이고, 원줄기에서 아치상 또는 곧은 곧봉상의 뿌리가 지면을 향해 발달하는 *Rhizophora* 속이 나중에 묶이는, 전체적으로는 단계원적 분화과정을 보인다[Fig. 5].



[Fig. 5] Phylogenetic tree of six mangroves in Weno island.

3.3 망그로브 식물조직의 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성

재료로 이용한 6종의 망그로브 식물의 산업적 활용성을 검토하기 위하여 줄기껍질(bark)의 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성을 분석하였다. 페놀성화합물 함량은 gallic acid를 표준시약으로 사용하여 얻은 검량곡선에 기초하여 분석하였으며, 추출물 시료 mg 당 μg 으로 표시하였다. 6종의 망그로브 식물별 페놀성화합물의 함량은 0.72-1.10 mM/mg으로, *R. apiculata*와 *X. granatum*의 함량이 높았다($p < 0.05$). 반면에 *R. stylosa* (0.73 mM/mg)와 *S. alba* (0.72 mM/mg)의 함량이 6종 중 가장 낮았다 [Table 1].

망그로브 줄기껍질 추출물의 항산화 활성은 DPPH 및 ABTS 기법을 사용하여 분석하였다. *R. apiculata*, *X. granatum*, *X. moluccensis* 및 *E. agallocha*의 DPPH 항산화 활성결과는 82.50-84.85%로 높은 항산화 활성을 나타냈으며, *S. alba*의 활성(59.55%)이 가장 낮은 것으로 나타났다[Table 1]. ABTS를 이용한 항산화 활성 결과도 DPPH 방법의 결과와 유사하였는데, *S. alba*의 활성

(26.56%)이 가장 낮게 나타났다. 특이적인 것은 4종의 레드망그로브와 1종의 블랙망그로브 추출물에서의 항산화 활성은 페놀성화합물의 함량과 비례하는 결과가 얻어졌으나, 화이트망그로브인 *E. agallocha*의 경우 페놀성 화합물의 함량이 낮은데도 불구하고 항산화 활성은 높은 것으로 나타났다[Table 1].

[Table 1] Total phenolic contents and antioxidant activities of six mangroves in Weno island.

Species	Phenolics (mM/mg)	DPPH (%)	ABTS (%)
<i>R. apiculata</i>	1.10±0.03	84.85±2.12	42.18±1.42
<i>R. stylosa</i>	0.73±0.05	78.83±2.63	36.97±2.52
<i>X. granatum</i>	1.10±0.02	83.96±1.94	41.59±1.81
<i>X. moluccensis</i>	0.91±0.03	82.50±2.21	40.94±3.26
<i>S. alba</i>	0.72±0.01	59.55±2.46	26.56±2.54
<i>E. agallocha</i>	0.75±0.01	84.31±2.81	41.75±3.15

4. 결론

본 연구에서는 마이크로네시아 웨노섬에 자생하고 있는 4속 6종의 망그로브에 대한 외부 형태학적 및 분자계통학적 연구, 그리고 이들의 항산화 활성에 대해 조사하였다. 형태학적 형질에 근거한 웨노섬 망그로브의 분류와 *rbcL* 유전자 분석을 통해 이들 사이의 계통학적 관계를 파악할 수 있었다. 또한 망그로브의 높은 항산화 활성을 관찰하였다. 이러한 결과들은 앞으로 망그로브에 대한 기초학문적 연구와 상업적 응용에 대한 토대를 제공할 수 있다.

References

[1] M. Lakshmi, M. Parani, A. Parida. "Molecular Phylogeny of Mangroves IX: Molecular Marker Assisted Intra-specific Variation and Species Relationships in the Indian Mangrove Tribe Rhizophoraceae". *Aquatic Bot* 74, 201 - 217, 2002.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770\(02\)00105-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770(02)00105-5)

[2] P. Sahoo, S. Jena, S. Mohanty, A. B. Das. "Molecular Phylogenetic Relationships among Four Species of the Mangrove Tree Genus *Bruguiera* (Rhizophoraceae), as Revealed by Chromosome and RAPD Markers". *Rev Biol Trop* 55(2), 437-448, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v55i2.6023>

[3] D. M. Alongi. "Mangrove Forests: Resilience, Protection

from Tsunamis, and Responses to Global Climate Change". *Estuarine Coastal Shelf Sci* 76, 1-13, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>

[4] Q. F. He, H. Q. Fan, Zh. Ch. Mo, "Impacts of Human Disturbance on Coastal Mangrove Wetlands". *Wetlands Sci Management*, 5(3), 44-46, 2009.

[5] T. L. Maguire, P. Saenger, P. Baverstock, R. Henry. "Microsatellite Analysis of Genetic Structure in the Mangrove Species *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. (Avicenniaceae)". *Mole Ecol*, 9, 1853-1862, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-294x.2000.01089.x>

[6] S. S. Das, S. Das (Sur), P. Ghosh. "Optimization of DNA Isolation and RAPD-PCR Protocol of *Acanthus volubilis* Wall., a Rare Mangrove Plant from Indian Sundarban, for Conservation Concern". *European J Exp Biol* 3(6), 33-38, 2013.

[7] S. S. Das, S. Das (Sur), P. Ghosh. "Phylogenetic Relationships among Three Species of the Mangrove Genus *Avicennia* Found in Indian Sundarban, as Revealed by RAPD Analysis". *Asian J Plant Sci Resear* 4(2), 25-30, 2014.

[8] S.-B. Chen, W.-Y. Ding, J.-B. Qiu, G.-Y. Wang, Z.-M. Zhou, J.-F. Chen, W.-M. Ai, C.-Y. Wang, Q.-L. Xie. "The Genetic Diversity of the Mangrove *Kandelia obovata* in China Revealed by ISSR Analysis". *Pak J Boy* 42(6), 3755-3764, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/110.1086/499611>

[9] T. G. Cole, K. C. Ewel, N. N. Devoe. "Structure of Mangrove Trees and Forests in Micronesia". *Forest Ecol Management* 17, 95-109, 1999.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00474-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00474-5)

[10] K. C. Ewel, R. R. Twilley, J. E. Ong. "Different Kinds of Mangrove Forests Provide Different Goods and Services". *Global Ecol Biogeogr Lett* 7, 83-94, 1998.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.1998.00275.x>

[11] C. D. MacLean, T. G. Cole, C. D. Whitesell, M. C. Falanruw, A. H. Ambacher. "Vegetation Survey of Kosrae, Pohnpei, Truk, and Yap Federated States of Micronesia. Resource Bulletin PSW. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station". *USDA Forest Service PSW-24* Berkeley, California, USA, 1998.

[12] J. F. Morton. "Atlas of Medicinal Plants of Middle America. Bahamas to Yucatan". *Springfield, IL*. 1981.

[13] G. Melchor, M. Armenteros, O. Fernández, E. Linares, I. Fragas. "Antibacterial Activity of *Rhizophora mangle* Bark". *Fitoterapia* 72, 689-691, 2001.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0367-326X\(01\)00294-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0367-326X(01)00294-5)

[14] O. Fernandez, J. Z. Capdevila, G. Dalla, G. Melchor.

“Efficacy of *Rhizophora mangle* Aqueous Bark Extract in the Healing of Open Surgical Wounds. *Fitoterapia* 73, 564-568, 2002.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0367-326X\(02\)00229-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0367-326X(02)00229-0)

[15] J. K. Patra, Y. K. Mohanta. “Antimicrobial Compounds from Mangrove Plants: A Pharmaceutical Prospective”. *Chin J Integr Med* 20(4), 311-320, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11655-014-1747-0>

[16] E. C. Oliveira, A. T. Amaral Júnior, L. S. A. Gonçalves, G. F. Pena, S. P. Freitas Júnior, R. M. Ribeiro, M. G. Pereira. “Optimizing the Efficiency of the Touchdown Technique for Detecting Inter-simple Sequence Repeat Markers in Corn (*Zea mays*)”. *Gen Mol Resear* 9, 835-842, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/vol9-2gmr767>

[17] V. Rana, K. Thakur, R. Sood, V. Sharma, T.R. Sharma. “Genetic Diversity Analysis of *Tinospora cordifolia* Germplasm Collected from Northwestern Himalayan Region of India”. *J Genetics* 91, 99-103, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12041-012-0137-7>

[18] M. Li, H. Cao, P. P.-H. But, P.-C. Shaw. “Identification of Herbal Medicinal Materials Using DNA Barcodes”. *J Systematics Evol* 49(3), 271-283, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1759-6831.2011.00132.x>

[19] H. A. Ramadan. “Sequence of Specific Mitochondrial 16S rRNA Gene Fragment from Egyptian Buffalo is Used as a Pattern for Discrimination between River Buffaloes, Cattle, Sheep and Goats”. *Mol Biol Reports* 38(6), 3929-3934, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11033-010-0509-0>

[20] W. J. Kress, D. L. Erickson. “A Two-Locus Global DNA Barcode for Land Plants: the Coding *rbcl* Gene Complements the Non-coding *trnH-psbA* Spacer Region”. *PLoS One* 2(6), e508, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0000508>

[21] M. Li, K.-L. Wong, W.-H. Chan, J.-X. Li, P. P.-H. But, H. Cao, P.-C. Shawa. “Establishment of DNA Barcodes for the Identification of the Botanical Sources of the Chinese ‘Cooling’ Beverage”. *Food Control* 25, 758-766, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.12.008>

[22] M. A. Saghai-Marooif, K. M. Soliman, R. A. Jorgensen, R. W. Allard. “Ribosomal DNA Spacer-length Polymorphisms in Barley: Mendelian Inheritance, Chromosomal Location and Population Dymnamic”. *Proc Natl Acad Sci USA*, 81, 8014-8018, 1984.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.81.24.8014>

[23] S. Kim, S. Woo, H. Yun, S. Yum, E. Choi, J.-R. Do, J.-H.

Jo, D. Kim, S. Lee, T.-K. Lee. “Total Phenolic Contents and Biological Activities of Korean Seaweed Extracts”. *Food Sci Biotechnol.* 14(6), 798-802, 2005.

[24] Y. Lu, L. Y. Foo. “Antioxidant and Radical Scavenging Activities of Polyphenols Apple Pomace”. *Food Chem*, 68, 81-85, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00167-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00167-3)

[25] Y. Kambayashi, N. T. Binh, H. W. Asakura, Y. Hibino, Y. Hitomi, H. Nakamura, K. Ogino. “Efficient Assay for Total Antioxidant Capacity in Human Plasma Using a 96-Well Microplate.” *J Clin Biochem Nutr.* 44(1), 46 -51, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3164/jcfn.08-162>

정 영 재(Youngjae Chung)

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학박사)
- 1997년 3월 ~ 2007년 2월 : 서남대학교 생명과학과 교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 신경대학교 생명공학과 교수

<관심분야>

식물형태 및 계통분류학, 식물유전자원학

황 진 익(Jinik Hwang)

[정회원]



- 2008년 2월 : 신라대학교 생물학과 (이학학사)
- 2007년 9월 ~ 2011년 2월 : 한국해양연구원 인턴연구원
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 대학원 석·박사 통합과정 재학

<관심분야>

해양환경독성학, 해양분자생물학

서 승 석(Sung-Suk Suh)

[정회원]



- 2002년 9월 : 서울대학교 생물학과 (이학석사)
- 2012년 3월 : 오하이오 주립대 생화학 (이학박사)
- 2012년 3월 ~ 2013년 8월 : 오하이오 주립대 의과대 (포닥)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 한국해양과학기술원 연수연구원

<관심분야>

해양환경독성학, 해양분자생물학

박 종 범(Jongbum Park)

[정회원]



- 1981년 2월 : 성균관대학교 생물학과 (이학석사)
- 1989년 8월 : 성균관대학교 생물학과(식물형태학) (이학박사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 생물과학과 교수

<관심분야>

식물형태학, 식물조직배양

박 미 례(Mirye Park)

[정회원]



- 2010년 2월 : 동아대학교 생명과학 전공 (이학석사)
- 2011년 10월 ~ 2012년 8월 : 한국해양연구원 남해특성연구부 인턴연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 한국과학기술연합대학원 대학교 석·박사 통합과정 재학

<관심분야>

해양환경독성학, 해양분자생물학

이 택 건(Taek-Kyun Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 성균관대학교 생물학과 (이학석사)
- 1998년 2월 : 성균관대학교 식물분자생리학 (이학박사)
- 1998년 9월 ~ 2000년 8월 : 한국해양연구원 연수연구원
- 2000년 9월 ~ 현재 : 해양과학기술원 남해특성연구부 책임연구원

<관심분야>

환경분자생리학, 해양환경독성학

김 동 균(Donggiun Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 성균관대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
- 1999년 3월 : 미국오하이오대학교 대학원 생물학과 (식물학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 생물과학과 교수

<관심분야>

식물학, 생화학, 분자생물학, 생리학