

Flavonoid Profiles of *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. and *Q. serrata* Murray (Fagaceae) in Mt. Seorak, Korea: Taxonomical and Ecological Implications

Jin Hee Park*

Department of Biology, College of Natural Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

Received September 18, 2014 / Revised October 11, 2014 / Accepted October 16, 2014

In this study, the distribution patterns of *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Korea were investigated, and the possibility of introgressive hybridization and gene flow between *Q. mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Seorak was inferred by flavonoid analyses. The most critical factor in the vertical and horizontal distribution patterns of *Q. mongolica* and *Q. serrata* was the temperature, in accordance with latitude and altitude. The species showed a zonal distribution, with a *Q. mongolica* zone in the upper area and a *Q. serrata* zone in the lower area. In Mt. Seorak, Central Korea, the range of the vertical distribution of *Q. mongolica* was generally above an altitude of 100 m, whereas that of *Q. serrata* was an altitude of 0-400 m (-500) and rarely above an altitude of 500 m. However, in Mt. Jiri, Southern Korea, *Q. serrata* was found up to an altitude of 1,000~1,200 m, whereas the frequency of *Q. mongolica* was reduced at lower elevations and the species was rare below an altitude of 300 m, although pure stands were found on higher mountain slopes above an altitude of 1,200 m. The altitudinal distribution of the two species overlapped, where the two species occurred together. The leaf flavonoid constituents of thirty-four individuals of *Q. mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Seorak and Mt. Jiri, Korea were examined. Twenty-four flavonoid compounds were isolated and identified. These were glycosylated derivatives of flavonols kaempferol, quercetin, isorhamnetin, myricetin. Five compounds among the flavonoid compounds were acylated. Kaempferol 3-O-glucoside, quercetin 3-O-glucoside, quercetin 3-O-galactoside, and its acylated compounds were major constituents and present in all individuals. *Quercus mongolica* is distinguished from *Q. serrata* by the presence of quercetin 3-O-arabinosylglucoside, a high concentration of three acylated compounds (kaempferol 3-O-glucoside, quercetin 3-O-glucoside, and quercetin 3-O-galactoside), and a relatively low concentration or lack of rhamnosyl flavonoid compounds. Intraspecific variations, however, were found in the flavonoid profiles of *Q. mongolica* and *Q. serrata*, and the flavonoid profiles of individuals belonging to the two species in a hybrid zone (sympatric zone) tended to be similar, qualitatively and quantitatively. These findings strongly suggest that gene exchange or gene flow occurs through introgressive hybridization between *Q. mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Seorak.

Key words : Flavonoid chemistry, interspecific hybridization, *Quercus mongolica*, *Quercus serrata*, vertical distribution patterns

서 론

참나무속(*Quercus* L.)은 너도밤나무과(Fagaceae)에 속하는 상록성 또는 낙엽성의 교목 및 관목으로 북반구 온대지역을 중심으로 약 450종이 널리 분포한다[12, 19, 30, 39]. 본 속 식물은 열역에 달리면서 늘어지는 미상화서인 옹화서, 반구형인 각두, 횡단면이 원형이며 각두 당 1개인 견과 등의 특징에 의해 과내 다른 속 식물들과 구분된다[3, 12, 13, 19, 33, 35, 38, 44].

참나무속은 각두 포린의 형태에 따라 크게 참나무아속(subgen. *Quercus*)과 가시나무아속(subgen. *Cyclobalanopsis* (Oerst.) C. K. Schneid.)으로 나누어지며, 참나무아속은 비늘 모양의 포린을 가져 각두 포린이 합생하여 동심원상의 층을 형성하는 가시나무아속과는 뚜렷이 구별된다[3, 12, 38, 45].

본 연구 대상인 신갈나무(*Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb.) 및 졸참나무(*Q. serrata* Murray)가 속하는 참나무아속은 전 세계적으로 약 350종을 포함하며, 아시아, 유럽, 북미, 북아프리카 등 북반구의 아한대에서 열대지역에 이르기까지 널리 분포한다[12, 19, 38]. 우리나라에는 참나무아속 6종과 가시나무아속 6종 등 12종이 생육한다[26].

참나무속은 속내 종간 잡종교잡이 흔히 일어나는 대표적인 분류군중의 하나로 많은 잡종들이 보고되어 왔다[3, 23, 24, 32, 37, 39, 40, 47, 48]. 본 속은 타가수분을 주로 하고 바람에 의해 수분이 이루어지는 것으로 알려져 있으며, 대부분의 종

*Corresponding author

Tel : +82-55-772-1340, Fax : +82-55-772-1349

E-mail : parkjh23@gnu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

간에 생식적 격리가 거의 일어나지 않아 지역적으로 "syngameon"을 형성하는 대표적인 분류군으로 인식되고 있다[10, 11]. 참나무속에 있어 이런 잡종화 현상은 본 속 종들이 $x=12$, $2n=24$ 로 모두 동일한 염색체수를 가져 핵형적인 장벽이 없으며, 이들의 개화기가 비슷하고, 풍매화인 점 등에 의해 쉽게 일어나는 것으로 이해되고 있다[20, 21, 23]. 참나무속은 잡종개체들과 그 부모종 개체들간에도 교잡이 일어나며, 이러한 교잡이입(introgressive hybridization)으로 인해 각 분류군의 변이의 폭 및 잡종분류군의 인식에 있어 많은 혼란과 어려움이 있어 왔다[11, 22, 23, 40].

본 연구 대상 두 종, 신갈나무(*Q. mongolica*)와 줄참나무(*Q. serrata*)는 형태적으로 뚜렷이 구분되는 분류군으로서, 신갈나무는 견과외의 크기와 모양, 각두 및 포린의 크기와 모양, 잎의 형태, 크기, 잎 상하면의 털의 종류 및 분포 양상, 소지의 직경 및 소지의 털에 있어서 줄참나무와 뚜렷이 차이가 나며, 이는 한국산 참나무아속 6종에 대한 주성분분석에서 기여율이 가장 높은 주성분 1과 2를 축으로 한 배열에서도 두 종은 뚜렷이 구분되어 위치한다[43].

그러나 두 종은 같은 절(Section *Prinus*)에 속하며 두 종간에 잡종이 보고되어 있다[4, 5, 23, 26, 43]. Lee [23, 26], Chang and Lee [5], Park et al. [43] 및 Chang [4] 등은 우리나라에 분포하는 신갈나무와 줄참나무 간에 교잡에 기원한 잡종분류군으로서의 물참나무(*Q. × grosseserrata* Blume = *Q. × crispula* Blume)가 분포하는 것으로 보고하였다. 이들 중 Lee [23, 26]는 다양한 양상의 중간체로서의 중간 잡종형이 분포하는 것으로 보고하였으며, Chang and Lee [5] 및 Chang [4]은 한국에는 신갈나무에 가까운, 즉, 신갈나무로 교잡이입중인 물참나무가 주로 존재하는 것으로 언급하였고, Park et al. [43]은 한국산 참나무아속의 수리분류학적 분석에서 두 종간 잡종분류군으로 이용된 개체들이 두 종의 중간형을 나타내거나 다소 줄참나무에 가까운 형태를 띤다고 언급한 바 있다.

한편, Lee [27]는 Lee [23, 26]와 Chang and Lee [5] 등에 의해 *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 중간 잡종으로 인식된 물참나무(*Q. grosseserrata* = *Q. crispula*)를 *Q. mongolica*의 변종[*Q. mongolica* var. *crispula* (Blume) Ohashi = *Q. mongolica* var. *grosseserrata* (Blume) Rehder & E.H. Wilson]으로 인식하여 신갈나무의 종내 변이체로 인식하기도 하였다.

본 연구에서는 설악산에 분포하는 신갈나무와 줄참나무 개체들을 대상으로 분포 양상을 파악하고, 두 종간에 다양한 형태의 중간형이 보고되어 잡종화 가능성이 높으므로 이에 두 종 간의 잡종화에 의한 교잡이입 가능성을 고도에 따른 두 종 개체들의 flavonoid 조성 변이를 통해 이해하고자 하였다.

Flavonoid compound는 관속식물에 널리 분포하는 2차 대사산물로서, 다양한 flavonoid compound들의 조성 양상은 관속식물의 진화 과정과 밀접한 상호관계가 있는 것으로 밝혀져 있어 분류군간의 분화 정도 및 진화 경로를 규명하는데 있어

매우 유용한 형질로 인식되고 있다[9, 34, 46]. 또한, flavonoid compound는 관속식물의 여러 분류군에 있어 잡종의 기원을 규명하는데 있어서도 매우 유용한 것으로 밝혀져 있으며, 일반적으로 분류군간 잡종의 flavonoid profile에는 조상분류군들의 flavonoid 조성상의 특징이 모두 나타나는 것으로 보고되어 있다[1, 29, 50].

재료 및 방법

분포조사

본 연구에서는 1999년 10월부터 2007년 7월까지 본 연구의 주 대상지인 설악산(양양, 속초) 및 지리산(구례, 남원)의 신갈나무와 줄참나무 개체들을 대상으로 고도를 따라 올라가면서 채집조사와 동시에 육안으로 생육 및 분포상황을 관찰하였다. 조사 기간에 채집된 개체의 표본은 서울대학교 자연과학대학 생명과학부 표본관(SNU)에 확정표본으로 소장하였다.

플라보노이드 분석 재료

본 연구에서는 2000년 9월 본 연구의 주 대상지인 설악산 오색-대청봉 구간에서 채집한 신갈나무와 줄참나무 개체들 및 설악산 기슭인 속초의 저고도 지대에서 채집한 신갈나무 개체들, 그리고 1999년 10월 및 2000년 9-10월 지리산에서 채집된 신갈나무 및 줄참나무 개체들을 사용하였다. 지리산의 신갈나무와 줄참나무의 flavonoid 분석은 두 종의 flavonoid 조성의 종간 변이 및 종내 개체군간 지역적 변이의 비교를 위한 것이다. 채집된 개체들의 표본은 서울대학교 자연과학대학 생명과학부 표본관(SNU)에 확정표본으로 소장하였다.

Flavonoid 분석

본 연구의 주 대상인 설악산 지역의 고도 별로 분포하는 신갈나무, 줄참나무 2종 32개체 및 두 종의 지역간 플라보노이드 조성 변이를 비교하기 위한 목적으로 포함된 남부지방인 지리산의 고지대 신갈나무 및 저지대 줄참나무 각 1개체 등 총 34개체에 대해 그 flavonoid 조성을 two-Dimensional Thin Layer Chromatography (2-D TLC)와 paper Chromatography (1-D PC), High Performance Liquid Chromatography (HPLC)를 사용하여 분석하였다(Fig. 1). 이들 개체 중 2종에 속하는 2개체의 재료는 flavonoid의 구조 동정을 위해 사용하였으며(full analysis), 나머지 개체들은 2-D TLC와 HPLC profile을 사용하여 그 flavonoid 조성을 확인하였다.

추출 및 일차정제(Extraction and preliminary purification): Flavonoid compound의 추출 및 일차 정제는 Park [41] 및 Mun and Park [36]의 방법을 변형하여 사용하였다. 즉, 상온에서 건조시킨 약 5-10 g의 잎을 분쇄하여 이로부터 85% aqueous methanol (MeOH) 200 ml로 2회, 50% MeOH 200 ml로 1회씩 상온에서 각각 12시간 flavonoid compound를 추

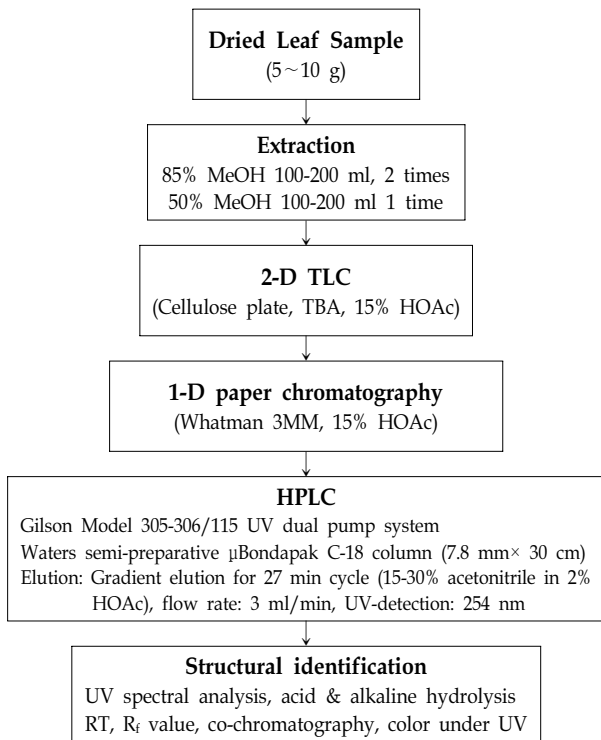


Fig. 1. Outline of flavonoid analysis.

출한 뒤, 이를 여과하여 rotary vacuum evaporator로 농축시켰다. 농축된 추출액은 chloroform과 ethyl acetate (EtOAc)를 사용하여 flavonoid compound만을 추출하였으며, 그 결과 얻어진 flavonoid compound를 포함하는 EtOAc fraction을 다시 rotary vacuum evaporator를 사용하여 소량으로 농축, cellulose thin layer chromatography plate (Merck, thickness 100 μm, 20 cm × 20 cm)에 소량 spotting한 뒤 이를 TBA (*tert*-butanol-acetic acid-water, 3:1:1, v/v/v)와 15% HOAc (15% acetic acid in water)를 용매로 하여 2차원 전개시켜 UV light 하에서 각 분류군에 분포하는 flavonoid compound의 profile을 확인하였다. 이후, 상기한 2-dimensional TLC 상에서 확인된 flavonoid compound를 분리하기 위하여 동일 EtOAc fraction을 Whatman 3MM chromatography paper위에 가는 band 모양으로 streaking한 후 15% HOAc를 solvent로 하여 1차원으로 전개시켰다. 그 결과 paper chromatogram 상에서 분리된 각 flavonoid band를 가늘게 자른 후 100% MeOH로 elution하여 농축, 여과한 후 이를 high performance liquid chromatography (HPLC)를 사용하여 포함되어 있는 flavonoid compound들을 완전히 분리, 정제하였다.

High Performance Liquid Chromatography: HPLC는 UV detector가 장착된 Gilson Model 305-306/115UV Dual Pump System을 사용하였으며, column은 reverse phase column인 Waters semi-preparative μBondapak C-18 column (7.8 mm × 30 cm)을 사용하였다. 상기한 방법으로 일차 분리, 농축한

각 flavonoid sample은 2% HOAc에서 acetonitrile의 농도를 15%에서 30%로 27분에 걸쳐 변화시킨 gradient elution 방법 (15-30% acetonitrile in 2% HOAc, flow rate 3ml/ min, 27 min cycle)을 사용하여 순수 분리, 정제하였으며, 분리가 잘 되지 않는 일부 compound의 분리, 동정을 위해서 gradient elution 방법을 약간 변형(15-31% acetonitrile in 2% HOAc, flow rate 3ml/ min, 33 min cycle)하거나 isocratic elution을 이용하였다. Flavonoid compound의 검출은 254 nm에서 0.5-1 a.u.f.s. sensitivity로 수행하였으며, 각 peak의 absolute retention time은 stopwatch를 사용하여 측정하였다. HPLC상에서 분리된 flavonoid peak들은 그 구조 동정을 위해 각각 collection되었으며, 완전한 구조 동정을 위한 충분한 양을 확보하기 위하여 각 sample당 6-10회 반복하여 동일한 조건하에서 HPLC를 수행하였다.

구조 동정 (Structural identification): HPLC에서 분리 정제한 각 flavonoid compound는 UV spectral analysis, acid 및 alkaline hydrolysis, partial hydrolysis, cellulose TLC 상에서의 R_f value, UV light에서의 색깔 및 HPLC 상에서의 RT (retention time), co-chromatography 등의 방법[17, 31, 34, 36, 41]을 이용하여 그 구조를 동정하였다. 또한 acylated flavonoid compound의 존재를 확인하기 위하여 일부 compound에 대한 mild alkaline hydrolysis [34]를 수행하였다. 각 flavonoid compound에 결합되어 있는 sugar를 동정하기 위한 acid hydrolysis는 7% HCl 수용액을 사용하여 100°C의 water bath에서 60분 동안 수행하였으며, diglycoside의 경우 결합되어 있는 sugar의 순서를 밝히기 위해 partial hydrolysis [31, 34]를 병행하였다. 가수분해한 수용액은 EtOAc로 aglycone을 추출, 제거하였으며, 남은 수용액을 1-2방울 정도로 농축한 뒤 TLC를 사용하여 포함되어 있는 sugar를 동정하였다. Sugar 동정을 위한 TLC는 상기한 방법에 의해 얻어진 농축액을 standard sugar들과 함께 cellulose TLC plate에 spotting 한 후, n-butanol-ethyl acetate-acetic acid-pyridine-water (35:35:5:25:15, v/v/v/v/v)로 전개하였다[41]. 그 결과 분리된 sugar spot들을 aniline hydrogen phthalate 용액으로 발색시켜 standard sugar와 그 spot위치 및 발색색깔을 비교하여 동정하였다[34]. 또한 acylated flavonoid compound의 존재를 확인하기 위하여 일부 compound에 대한 alkaline hydrolysis[15]를 수행하였다.

2D-TLC와 HPLC profile을 이용한 flavonoid 조성 분석: 다수 개체의 분석을 위해 2D-TLC와 HPLC profile을 이용하여 flavonoid 조성을 분석하였다. 분석은 건조한 잎 3 g 정도를 사용하였으며, 추출용액 양을 건조한 잎의 무게에 비례되게 낮추었을 뿐 추출 및 농축과정은 위의 full analysis와 동일한 방법으로 flavonoid 성분을 추출하였고, 2-D TLC의 spot의 위치, 진하기와 HPLC의 RT (retention time) 및 peak 높이를 이용하여 각 개체의 flavonoid 조성 성분을 정량·정성분석

하였다.

결과 및 고찰

분포 특성

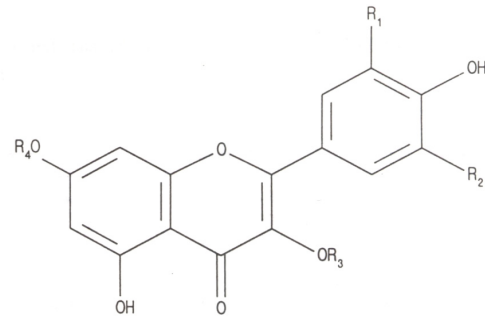
우리나라 신갈나무와 졸참나무의 해발 고도에 따른 분포는 지역에 따라 차이가 난다[18; Park, Pers. Observ.]. 지리산이 위치한 남부지방의 경우 졸참나무는 저지대에서 해발 1,000 m에 이르기까지 분포하며, 해발 800 m 이상으로 고도가 높아지면서 밀도가 낮아진다[18; Park, Pers. Observ.]. 신갈나무의 경우, 해발 1,200 m 이상의 고지대에서는 신갈나무가 순림을 이루며, 점차 고도가 낮아짐에 따라 빈도가 낮아지다가 해발 300 m 이하 저지대에서는 거의 발견되지 않는다[18; Park, Pers. Observ.]. 한편, 중부지방의 경우, 졸참나무는 저지대에서 주로 발견되고 해발 500 m 이상의 고도(남부지방은 그 한계가 거의 해발 1,000 m에 이르고 드물게 1,200-1,300 m에 달하기도 하며, 제주도의 경우 1,235 m에 이른다)에서는 거의 발견되지 않는다[18; Park, Pers. Observ.]. 졸참나무의 고도에 따른 이러한 분포 현상은 위도가 높아질수록 두드러져서 북부지방의 개마고원을 한계로 그 이북의 지역에는 저지대에서도 거의 관찰되지 않는 것으로 알려져 있다[16, 18]. 한편, 신갈나무는 중부지방에서 해발 100 m 정도의 저지대에서도 흔히 관찰되며, 해발 600-800 m 이상의 고도에 이르면 다른 참나무류와 거의 혼생하지 않고 산정에서는 대개 신갈나무가 순림을 이룬다[18]. 신갈나무는 우리나라 낙엽성 참나무 가운데 유일하게 냉온대 영역에서 해발고도가 높아질수록 그 출현빈도와 피도가 높아지는 경향을 보인다[18].

신갈나무와 졸참나무는 서로 다른 분포양상을 보이며 신갈나무가 내륙적이면서 대륙성 기후 입지의 특성을 가지며 냉온대 산지대를 중심으로 생육하는 특징을 갖는 반면, 졸참나무는 한반도 남부 저산지대의 해발고도가 낮고 온난한 상대적으로 해양성 기후를 나타내는 입지 특성을 갖는다[18]. 그러나, 두 종은 특정한 높은 고지대를 제외한 우리나라 전 지역에서 동소적으로 함께 생육하며, 중간 교잡이 일어나는 것으로 알려져 있다[4, 5, 22, 23, 43].

Flavonoid 분석

지리산 및 설악산에 분포하는 신갈나무 및 졸참나무 2종 34개체의 flavonoid 조성을 분석한 결과, 이 개체들의 잎 추출액으로부터 모두 24가지의 서로 다른 flavonoid compound들이 분리, 동정되었으며, 이들의 화학구조, UV spectral data 및 2D TLC상에서의 Rf 값, HPLC 상에서의 retention time, UV light 하에서 색깔 등의 화학적 특성은 Fig. 2와 Table 1, 2에 수록하였다. 또한, 이들 compound들의 2D TLC상에서의 mobility는 Fig. 3에 나타내었으며, 신갈나무 및 졸참나무 2종 34개체에 있어서의 이들 compound들의 분포는 Table 3에 표

Flavonols



- Kaempferol: R₁ = H, R₂ = H, R₃ = H, R₄ = H
- Quercetin: R₁ = OH, R₂ = H, R₃ = H, R₄ = H
- Myricetin: R₁ = OH, R₂ = OH, R₃ = H, R₄ = H
- Isorhamnetin: R₁ = OCH₃, R₂ = H, R₃ = H, R₄ = H
- R₃ = galactose, glucose, arabinose, rhamnose, arabinosylglucose, rhamnosylglucose

Fig. 2. Chemical structure of flavonoid compounds found in *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Seorak and Mt. Jiri, Korea.

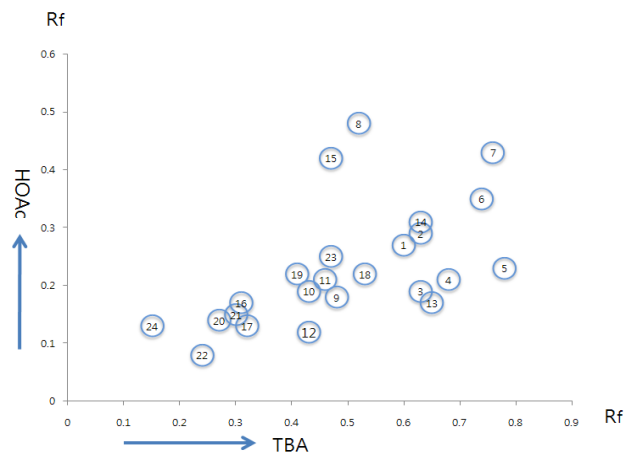


Fig. 3. Composite chromatogram (TLC) of flavonoid compounds in *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Seorak and Mt. Jiri, Korea showing mobilities in two chromatographic solvents. Compound numbers correspond to those in Table 2.

시하였다.

지리산 및 설악산에 분포하는 신갈나무 및 졸참나무 개체들에 분포하는 flavonoid compound들은 flavonol인 kaempferol, quercetin, isorhamnetin 및 myricetin에 당이 결합된 flavonol glycoside이었으며, 분리된 compound 중 주요 flavonoid compound는 kaempferol 3-O-galactoside, kaempferol 3-O-glucoside, quercetin 3-O-galactoside, quercetin 3-O-glucoside 및 isorhamnetin 3-O-glucoside와 이들의 acylated compound인 acylated kaempferol 3-O-glucoside, acylated quercetin 3-O-galactoside, quercetin 3-O-glucoside (compounds 1-2, 9-11, 16-18; Fig. 2, Table 2, 3)로 조사한 34개체 모두에 분포하였다(Table 3). 이들 flavonoid compound에 결합되어

Table 1. UV spectral data of flavonoid compounds in *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Seorak and Mt. Jiri, Korea

Compound						Compound					
MeOH	NaOMe	AlCl ₃	AlCl ₃ / HCl	NaOAc	NaOAc/ H ₃ BO ₃	MeOH	NaOMe	AlCl ₃	AlCl ₃ / HCl	NaOAc	NaOAc/ H ₃ BO ₃
1. Kaempferol 3-O-galactoside						13. Quercetin 3-O-arabinoside (II)					
350	403	406	404	391	357	355	409	434	402	384	376
298	328	353	346	311	301	297sh	329	336sh	359	326	307sh
267	277	306	303	275	268	258	274	303sh	305	271	262
		275	276					275	269		
2. Kaempferol 3-O-glucoside						14. Quercetin 3-O-rhamnoside					
351	403	394	394	354	356	351	400	432	398	382	368
303	326	352	347	302	299	298sh	328	329sh	352	324	262
267	277	305	302	269	267	256	272	302sh	300sh	274	
		275	275					276	271		
3. Kaempferol 3-O-arabinoside (I)						15. Quercetin 3-O-arabinosylglucoside					
349	403	398	398	357	354	356	412	429	399	380	377
304	325	350	346	303	299	300sh	329	304sh	360	327	296
267	277	305	302	268	267	258	274	276	300	272	262
		275	275						270		
4. Kaempferol 3-O-arabinoside (II)						16. Quercetin (acyl) 3-O-galactoside					
348	405	399	396	355	355	358	420	431	407	395	380
303	326	350	345	302	298	298sh	335	363	360	307	299
267	275	303	300	268	267	269	279	307sh	300sh	270	267
		276	276			260sh		276	273		
5. Kaempferol 3-O-arabinoside (III)						17. Quercetin (acyl) 3-O-glucoside					
349	405	398	398	356	355	355	414	433	401	395	380
305	325	351	346	302	297	300sh	330	303sh	361	307	300
266	276	304	302	267	267	268	274	276	300sh	269	265
		274	274			262sh			275		
6. Kaempferol 3-O-rhamnose						18. Isorhamnetin 3-O-glucoside					
349	404	402	397	384	357	359	422	405	402	376	379
306	328	355	346	310	302	300sh	330	367	359	300sh	262
266	277	305	302	275	267	257	280	303	298sh	265	
		275	276					269	268		
7. Kaempferol 3-O-glycoside						19. Isorhamnetin (acyl) 3-O-glycoside					
346	398	394	390	393	354	361	424	406	410	377	380
302sh	322	344	338	310	264	301sh	333	366	358	305sh	264
264	274	303	399sh	274		272	284	303	297sh	269	
		274	274			257		266	265		
8. Kaempferol 3-O-rhamnoglucoside						20. Myricetin 3-O-galactoside					
350	400	400	394	395	355	365	415	438	406	391	384
296	325	354	346	311	298	306	330	314sh	369	325	303
267	276	306	302	275	268	260	272sh	272	309	272	261
		275	275						272		
9. Kaempferol (acyl) 3-O-glucoside						21. Myricetin 3-O-glucoside					
350	390	399	395	383	350	364	418	431	404	390	386
294sh	315	355	347	307	294	307	326	314	360	325sh	302
267	275	305	300sh	275	266	257	272sh	273	309	270	260
		274	274						273		
10. Quercetin 3-O-galactoside						22. Myricetin 3-O-arabinoside					
361	422	437	402	403	380	362	414	430	404	382	380
300sh	332	304sh	361	322	302sh	303sh	326	312	361	324sh	300
270sh	282	275	300sh	272	264	257	270	272	309	269	258
259		268							272		
11. Quercetin 3-O-glucoside						23. Myricetin 3-O-rhamnoside					
360	417	430	402	385	381	356	409	428	400	369	375
302sh	331	304sh	363	324sh	303sh	305sh	319	314	361	313sh	301
257	282	275	297sh	267	263	258	267	272	308	266	258
			269						273		
12. Quercetin 3-O-arabinoside (I)						24. Myricetin (acyl) 3-O-glucoside					
360	421	438	407	372	380	367	425(d)	433	408	369	390
302sh	328	305sh	360	302sh	301sh	297sh	330	312sh	367	313sh	294
258	279	275	301sh	266	263	265	271sh	274	307	268	265
			268						274		

sh = shoulder, d = decomposition

Table 2. Chromatographic properties of flavonoid compounds identified from individuals of *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Seorak and Mt. Jiri, Korea

Compound	RT			R _f value		Color	
	(min) ¹	(min) ²	α	TBA	HOAc	UV	UV/NH ₃
1. Kaempferol 3-O-galactoside	12.15	16.50	1.18	0.60	0.27	purple	yellow
2. Kaempferol 3-O-glucoside	12.60	17.70	1.22	0.63	0.29	purple	yellow
3. Kaempferol 3-O-arabinoside I	13.75	19.35	1.33	0.63	0.19	purple	yellow
4. Kaempferol 3-O-arabinoside II	14.20	20.10	1.38	0.68	0.21	purple	yellow
5. Kaempferol 3-O-arabinoside III	15.10	21.30	1.47	0.78	0.23	purple	yellow
6. Kaempferol 3-O-rhamnoside	15.55	22.50	1.51	0.74	0.35	purple	yellow
7. Kaempferol 3-O-glycoside	15.90	23.10	1.54	0.76	0.43	purple	yellow
8. Kaempferol 3-O-rhamnosylglucoside	11.60	16.10	1.13	0.52	0.48	purple	yellow
9. Kaempferol (acyl) 3-O-glucoside	12.10	16.40	1.17	0.48	0.18	purple	yellow
10. Quercetin 3-O-galactoside	11.05	14.25	1.07	0.43	0.19	purple	yellow
11. Quercetin 3-O-glucoside	11.20	14.50	1.09	0.46	0.21	purple	yellow
12. Quercetin 3-O-arabinoside I	12.25	16.60	1.19	0.43	0.12	purple	yellow
13. Quercetin 3-O-arabinoside II	12.50	17.15	1.21	0.65	0.17	purple	yellow
14. Quercetin 3-O-rhamnoside	12.70	17.90	1.23	0.63	0.31	purple	yellow
15. Quercetin 3-O-arabinosylglucoside	9.60	11.75	0.93	0.47	0.42	purple	yellow
16. Quercetin (acyl) 3-O-galactoside	10.05	12.45	0.98	0.31	0.17	purple	yellow
17. Quercetin (acyl) 3-O-glucoside	10.30	12.90	1.00	0.32	0.13	purple	yellow
18. Isorhamnetin 3-O-glucoside	12.80	18.20	1.24	0.53	0.22	purple	yellow
19. Isorhamnetin (acyl) 3-O-glycoside	11.60	15.70	1.13	0.41	0.22	purple	yellow
20. Myricetin 3-O-galactoside	9.40	11.30	0.91	0.27	0.14	purple	yellow
21. Myricetin 3-O-glucoside	9.50	11.55	0.92	0.30	0.15	purple	yellow
22. Myricetin 3-O-arabinoside	10.50	13.20	1.02	0.24	0.08	purple	yellow
23. Myricetin 3-O-rhamnoside	10.80	13.65	1.05	0.47	0.25	purple	yellow
24. Myricetin (acyl) 3-O-glucoside	8.65	10.00	0.83	0.15	0.13	purple	yellow

RT=absolute retention time. $\alpha=RT^2/RT^1$ (standard: compound 17). Solvents: TBA=*tert.*-butanol:acetic acid:water (3:1:1, v/v/v); HOAc=acetic acid:water (15:85, v/v).

RT¹ is 27 min cycle elution program, RT² is 33 min cycle elution program.

있는 당의 glucoside종류는 galactose, glucose, arabinose, rhamnose 등 단당류와 이들 단당류 두 분자가 결합된 이당류인 arabinosylglucose, rhamnosylglucose이었다(Fig. 2, Table 2). 이들 sugar는 모두 3-OH group에 결합되어 있었으며, 이 중 glucose는 mono- 또는 diglycoside의 형태로 분석된 모든 개체에서 가장 흔하게 나타났다(Fig. 2, Table 2, 3). 또한 compound 7 및 19는 flavonol glycoside이었으나 극히 소량 존재하여 결합되어 있는 sugar를 동정하지 못하였다(Table 2).

한편, 지리산 및 설악산에 분포하는 신갈나무 및 졸참나무 2종 34개체로부터 서로 다른 5 종류의 acylated flavonoid compound (compounds 9, 16-17, 19, 24)가 분리 동정되었다(Table 2). 이들 compound에 대해 alkaline hydrolysis [34]를 수행한 결과, compound 9는 kaempferol 3-O-glucoside로, compound 16과 17은 각각 quercetin 3-O-galactoside, quercetin 3-O-glucoside로 변화하였으며, 또한 compound 19는 isorhamnetin 3-O-glucoside로, compound 24는 myricetin 3-O-glucoside로 각각 변화하였다. 그러나, 이들 compound에 결합되어 있는 acyl group의 종류와 결합 위치는 동정하지 못하였다.

Flavonoid 분석 결과, 한국산 신갈나무와 졸참나무는 flavonoid 조성에 있어 차이가 있는 것으로 밝혀졌으며, 각 종은 종내 변이가 존재하는 것으로 나타났다(Table 3). 신갈나무의 flavonoid 조성은 acylated flavonol인 acylated kaempferol 3-O-glucoside, acylated quercetin 3-O-galactoside 및 acylated quercetin 3-O-glucoside (compounds 9, 16-17)가 다량 나타나며, diglycoside인 quercetin 3-O-arabinosylglucoside (compound 15)가 분포한다는 점에서 졸참나무의 flavonoid 조성구분된다. 이들(compounds 9, 16-17)은 kaempferol 3-O-glucoside (compound 2), quercetin 3-O-galactoside 및 quercetin 3-O-glucoside (compounds 10-11)와 더불어 신갈나무의 주요 flavonoid compound인 것으로 나타났다(Table 3). 한편, 같은 절(Section *Prinus*)에 속하는 졸참나무의 flavonoid 조성은 rhamnosyl flavonol compound (compounds 6, 14, 23)가 전 개체에 걸쳐서 나타나고 또한 신갈나무에 비해 다량으로 나타나는 특징을 갖는다.

한국산 신갈나무와 졸참나무의 flavonoid 조성은 소수의 compound (compounds 4-5, 7, 15)에 있어서 정성적인 차이와 함께 상기한 바와 같이 여러 compound (compounds 3, 6, 9,

Table 3. Distribution of flavonoids in the individuals of *Q. mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Seorak and Mt. Jiri, Korea

Taxon/group	Kaempferol										Quercetin							Isorhammetin					Myricetin			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
(m/alt.)	gal	glu	ara	ara	ara	rham	gly	rham	(acyl)	gal	glu	ara	ara	rham	ara	(acyl)	(acyl)	glu	(acyl)	gal	glu	ara	rham	(acyl)		
			I	II	III			glu	glu		I	II			glu	gal	glu	gly						glu		
<i>Q. mongolica</i> 인자																										
설악 1630신갈	+	++	+	tr			tr	+++	+++	+++	+				+	++	+++	+	+	+	+	+	tr			
설악 1490신갈	+	++	+	tr			+	+++	+++	+++	+		++		+	++	+++	+	+	+	+	tr	+			
설악 1420신갈	+	++	+	tr		tr		++	+++	+++	+	tr			+	++	+++		+	+	+	+	+			
설악 1410-1신갈	+	+	+				+	++	+++	+++	+				tr	+	++	+	+	+	+	+	+			
설악 1410신갈	+	++	+	tr		+	tr	+++	+++	+++	+		++		tr	+	++	+	+	+	+	+	+			
설악 1380신갈	+	++	+	tr			tr	++	+++	+++	+		++		+	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 1370신갈	+	++	+	tr			tr	++	+++	+++	+		+		+	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 1270신갈	+	++	+	tr			tr	++	+++	+++	+	tr			+	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 1100-1신갈	+	+	+	tr				++	+++	+++	+				+	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 1100신갈	+	+	+	tr				++	+++	+++	+				+	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 1080신갈	+	++	+				+	+++	+++	+++	+		tr		+	++	+++	+	+	+	+	tr	tr			
설악 1070신갈	+	++	+				+	+++	+++	+++	+		+		+	++	+++	+	+	+	+	tr	tr			
설악 1040신갈	+	++	+	tr				++	+++	+++	+				tr	++	+++	++	+	+	+	+	+			
설악 1030신갈	+	++	+					+++	+++	+++	+	+			tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 910(=950)신갈	+	++	+					+++	+++	+++	+		tr		tr	+	++	+	+	+	+	+	+			
설악 790신갈	+	++	+			+		+++	+++	+++	+		+		tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 740신갈	+	++	+	+			+	+++	+++	+++	+		+		tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 630신갈	+	++	+	tr				+++	+++	+++	+				tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 500-1신갈	+	++	+					++	+++	+++	+				tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 500신갈	+	++	+	tr				+++	+++	+++	+				tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 410신갈	+	++	+	tr		+		++	+++	+++	+		++		tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 350(2)신갈	+	+	+					++	+++	+++	+				tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악 350B신갈	+	++	+					++	+++	+++	+				tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악관 맨먼곳신갈	+	++	+					+++	+++	+++	+				tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
설악관 벌동영신갈	+	++	+					+++	+++	+++	+				tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
속초 매햄9신갈	+	+	tr					++	+++	+++	+		++		tr	++	+++	+	+	+	+	+	+			
속초 IV신갈	+	++	+	+				++	+++	+++	+		+++		tr	++	+++	+	+	+	+	++	++			
<i>Q. serrata</i> 인자																										
설악 380-1졸참	+	++	tr			+		+	+++	+++	++	+	++		+	+	+	+	+	+	+	+	+			
설악 380졸참	+	++	tr			++		+	+++	+++	++	+	+++		+	+	+	+	+	+	+	+	+			
설악 350(1)졸참	+	++	+			++		tr	+++	+++	+		+++		tr	+	+	+	+	+	+	+	+			
설악 350C졸참	+	++	tr			+		+	+++	+++	+		+++		+	+	+	+	+	+	+	+	+			
설악 350길 건너 졸참	+	++	tr			++		+	+++	+++	+		+++		+	+	+	+	+	+	+	+	+			
지리산지역																										
지리산 노고단 신갈*	+	++	+	+				++	+++	+++	+	+	++		+	++	+++	+	+	+	+	+	+			
지리산 화엄계곡 졸참*	+	+	tr			++		+	+++	+++	+	tr	+++		+	+	+	+	+	+	+	+	+			

Compound numbers correspond to those in Tables 1, 2. tr, detected by only HPLC; +, light spot; ++, spot of average intensity; +++, heavy spot, +(+) slightly denser spot rather than +. * is analyzed by complete analysis.

10, 12-14, 16-17, 23)에 있어서 정량적인 차이가 나며, 종내 개체 간에는 고도에 따라서 정량적 또는 정성적인 조성 변이가 관찰되었다(Table 3).

Compound 3 (Kaempferol 3-O-arabinoside I)의 경우, 신갈나무 앞에는 소량(+) 함유되어 있으나 졸참나무 앞에는 극소량(tr)만 함유되어 있어 정량적인 차이가 나는 flavonoid compound로서, 이는 지리산 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서도 확인되는 사실이다(Table 3). 대부분의 설악산 신갈나무 개체들은 '4'의 량을 함유하나 저지대의 일부 신갈나무 개체('속초 맨위9신갈' 개체)는 'tr'로 극소량을 가지며, 반면 대부분의 설악산 졸참나무 개체들은 'tr'로 극소량을 함유하나 일부 졸참나무 개체('설악 350(1)졸참' 개체)는 '4'의 량을 함유한다. 이는 단순한 개체변이라기 보다는 서로 동소적으로 분포하여 교잡이입 중이거나 교잡이입된 개체여서 나타나는 현상일 가능성이 높다고 사료된다.

Compound 4 (Kaempferol 3-O-arabinoside II)의 경우, 대부분 신갈나무 개체들 앞에 극소량 또는 소량 함유되어 있으나 졸참나무의 경우 1개체의 앞에서만 극소량 함유되어 있는 정성적으로 차이가 있는 flavonoid compound로서, 이 또한 지리산 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서도 확인된다(Table 3). 설악산 신갈나무 개체들이 대체로 compound 4를 함유하나 저지대의 신갈나무 개체들은 대부분 함유하고 있지 않으며, 반면 대부분의 설악산 졸참나무 개체들은 compound 4를 함유하지 않으나 일부 졸참나무 개체('설악 350길 건너졸참' 개체)는 'tr(극소량)'의 량을 함유한다(Table 3). 동소적으로 분포하는 상대 종(신갈나무↔졸참나무)과 유사한 flavonoid compound 조성을 갖는 이러한 양상은 compound 3의 양상과 비슷하다(Table 3).

Compound 6 (Kaempferol 3-O-rhamnoside)은 신갈나무에 비해 rhamnosyl flavonol compound가 상대적으로 다량 나타나는 졸참나무의 flavonoid 조성 특징을 잘 드러내는 compound들(compounds 6, 14, 23) 중의 하나로, 신갈나무 개체들 중 일부 개체들에 소량 또는 극소량으로 나타나, 졸참나무의 경우 전 개체에서 나타나며, 이러한 경향은 지리산 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서도 확인된다(Table 3). 설악산 신갈나무 개체들은 compound 6을 함유함에 있어서 개체 간 변이를 나타내며 졸참나무와 동소적으로 분포하는 저지대 신갈나무 개체들의 compound 6 함유량이 고지대 개체들보다 훨씬 높은 것이 확인되었다(Table 3). 동소적으로 분포하는 상대 종(신갈나무↔졸참나무)과 유사한 flavonoid compound 조성을 갖는 이러한 양상은 compound 3, 4의 경우와 비슷하다(Table 3). 두 종의 개체들에서 나타나는 이러한 양상은 단순한 개체변이라기보다는 서로 동소적으로 분포하여 교잡이입 중이거나 교잡이입된 개체여서 나타나는 현상일 가능성이 높다고 사료된다.

Compound 14 (Quercetin 3-O-rhamnoside)도 상기의 com-

ound 6처럼 신갈나무에 비해 rhamnosyl flavonol compound가 상대적으로 다량 나타나는 졸참나무의 flavonoid 조성 특징을 잘 드러내는 compound들(compounds 6, 14, 23) 중의 하나이다. 설악산 신갈나무 개체들의 compound 14 함유 여부 및 함유량은 개체 간에 변이가 있으나, 졸참나무의 경우 전 개체에서 신갈나무보다 다량으로 나타나며, 이러한 경향은 또한 지리산 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서도 똑같이 나타난다(Table 3). 설악산 신갈나무 개체들 중 졸참나무와 동소적으로 분포하는 저지대 신갈나무의 경우 거의 모든 개체들이 compound 14를 함유하며 일부 개체('속초 IV신갈')는 졸참나무처럼 다량(+++) 함유하는 것으로 확인되었다(Table 3). 이러한 현상은 동소적으로 분포하는 상대 종(신갈나무↔졸참나무)과 유사한 flavonoid compound 조성을 갖는 상기 언급한 Compound 3, 4, 6에서의 현상과 비슷하다(Table 3).

Compound 23 (Myricetin 3-O-rhamnoside)도 또한 상기의 compound 6, 14처럼 신갈나무에 비해 rhamnosyl flavonol compound가 다량 나타나는 졸참나무의 flavonoid 조성 특징을 잘 드러내는 compound들(compounds 6, 14, 23) 중의 하나로, 신갈나무 개체들에 소량, 극소량 함유되어 있거나 또는 전무하기도 하는 등 개체 간에 변이가 있으나, 졸참나무의 경우 거의 전 개체에서 다량으로 나타난다. 이러한 경향은 또한 지리산 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서도 나타난다(Table 3). Compound 23의 경우도 compound 14의 함유 양상과 유사하게 졸참나무와 동소적으로 분포하는 저지대 신갈나무의 경우 거의 모든 개체들이 compound 23을 함유하는 것으로 확인되었다(Table 3). 이러한 현상은 동소적으로 함께 생육하는 상대 종(신갈나무↔졸참나무)과 유사한 flavonoid compound 조성을 갖는 경향을 나타낸 상기 언급한 compound 3, 4, 6, 14에서의 현상과 동일한 양상이다(Table 3).

상기한 바와 같이 설악산에서의 고도에 따른 신갈나무, 졸참나무의 flavonoid 조성 변이는 두 종간에 유전자 교류(gene exchange) 혹은 이동(gene flow)이 일어나고 있음을 강하게 암시한다고 사료된다. 이는 다시 말해서 두 종 간에 교잡이 일어나며, 동시에 어느 쪽이든 부모종 개체로의 계속적인 역교배를 거쳐 교잡 이입 현상이 일어나고 있음을 암시한다. 참나무속에서 이러한 유전자 교류는 다른 분류군에 비해 흔히 발견되는 현상으로 북미와 유럽 및 일본에서도 보고된 바가 있다[2, 7, 8, 11, 14, 49]. 신갈나무와 졸참나무 간에 서로 교배가 잘 일어나며 상기한 바와 같이 두 종간 유전자 교류가 자주 일어나고 있음을 암시하는 결과로 볼 때, 형태적으로 신갈나무와 졸참나무의 중간적인 특징을 나타내며 다양한 형태 변이를 나타내는 물참나무(*Q. crispula* Blume = *Q. grosseserrata* Blume)는 신갈나무와 졸참나무 두 종을 부모종으로 하는 교잡에 의해 생겼을 가능성이 높으며, 따라서 본 연구 결과는 물참나무를 독립된 종 또는 신갈나무의 변종(*Q. mongolica* var. *crispula* = *Q. mongolica* var. *grosseserrata*)으로 인식한 Chung

[6], Lee [27] 및 Lee [28]의 견해보다는 신갈나무와 졸참나무 간의 잡종분류군으로 인식한 Lee [23, 26], Chang [4] 및 Park [42]의 견해와 부합된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 "차세대에코이노베이션기술개발사업 생물자원이용기술연구단(2011-2015)"으로부터 지원받았습니다.

References

- Alston, R. E. and Turner, B. L. 1963. Natural hybridization among four species of *Baptisia* (Leguminosae). *Am J Bot* **50**, 159-173.
- Bacilieri, R., Ducouso, A., Petit, R. J. and Kremer, A. 1996. Mating system and asymmetric hybridization in a mixed stand of European oaks. *Evolution* **50**, 900-908.
- Camus, A. 1936-1954. *Les chênes. Monographie du genre Quercus (et Lithocarpus)*. *Encyclopedie Economique de Sylviculture*. Vols. 6-8, Paul Lechevalier: Paris. (in French).
- Chang, C. S. 2007. Fagaceae, pp. 268-274. In: Park, C.-W. (ed.), *The genera of vascular plants of Korea*. Academy Publishing Co. : Seoul.
- Chang, J. S. and Lee, T. 1984. A biosystematic study on natural populations of *Quercus mongolica* Fisch. in Korea and Japan. *Korean J Pl Taxon* **14**, 71-85.
- Chung, T. H. 1957. *Korean Flora*, Vol. 1. *Woody Plants*, pp. 87-106, Sinjisa: Seoul. (in Korean).
- Chybicki, I. J. and Burczyk, J. 2010. Realized gene flow within mixed stands of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) L. revealed at the stage of naturally established seedling. *Mol Ecol* **19**, 2137-2151.
- Ducouso, A., Michaud, H. and Lumaret, R. 1993. Reproduction and gene flow in the genus *Quercus* L. *Ann For Sci* **50**, 91-106.
- Gornall, R. J. and Bohm, B. A. 1978. Angiosperm flavonoid evolution: A reappraisal. *Syst Bot* **3**, 353-368.
- Grant, V. 1981. *Plant Speciation*, Ed. 2., Columbia Univ. Press: New York.
- Hardin, J. W. 1975. Hybridization and introgression in *Quercus alba*. *J Arnold Arbor* **56**, 336-363.
- Huang, C., Zhang, Y. and Bartholomew, B. 1999. Fagaceae, pp. 314-400. In: Wu, Z. Y. and Raven, P. H. (eds.), *Flora of China*, Vol. 4. *Cycadaceae through Fagaceae*. Missouri Botanical Garden Press: St. Louis.
- Hutchinson, J. 1967. *The genera of flowering plants*, vol. 2, pp. 126-132, Clarendon press: Oxford.
- Ishida, T., Hattori, K., Sato, H. and Kimura, M. 2003. Differentiation and hybridization between *Quercus crispula* and *Q. dentata* (Fagaceae): insights from morphological traits, amplified fragment length polymorphism markers, and leafminer composition. *Amer J Bot* **90**(5), 769-776.
- Isobe, T., Ito, N. and Noda, Y. 1980. Minor flavonoids of *Polygonum nodosum*. *Phytochemistry* **19**, 1987.
- Kim, J. W. 1992. Vegetation of Northeast Asia: On the syntaxonomy and syngelography of the oak and beech forests. Ph.D. Dissertation, University of Vienna, Vienna. (in English with Korean, Japanese, Chinese, and German summary).
- Kim, M. H., Park, J. H. and Park, C. W. 2000. Flavonoid chemistry of *Fallopia* sect. *Fallopia* (Polygonaceae). *Biochem Syst Ecol* **28**, 433-441.
- Kim, Y. H. 2013. Spatial distribution patterns of seven summer-green *Quercus* species in Korea. M.S. Thesis, Keimyung Univ., Daegu, Korea. (in Korean).
- Kubitzki, K. 1993. Fagaceae, pp. 301-309. In: Kubitzki, K., Rohwer, J. G. and Bittrich, V. (eds.), *The families and genera of vascular plants*, Vol. II. *Flowering plants. Dicotyledons: Mongoliid, Hamamelid and Caryophyllid families*. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, Germany.
- Lee, J. H. and Hashizume, H. 2004. Currence of trees of the *Quercus fabri* type in open-pollinated families of *Quercus dentata*. *J Korean Forest Soc* **93**, 471-476.
- Lee, T. B. 1956. Chromosome numbers in *Quercus*. *Commemoration Theses, Fiftieth Anniversary, College of Agriculture, Seoul Natl Univ* 35-41.
- Lee, T. B. 1961a. Phylogenetic study of the subgenus *Lepidobalanus* of the genus *Quercus* in Korea (1). *Res Bull Korean Agr Soc* **7**, 87-108.
- Lee, T. B. 1961b. Phylogenetic study of the subgenus *Lepidobalanus* of the genus *Quercus* in Korea (2). *Seoul Univ J Biol Ser* **10**, 97-141.
- Lee, T. B. 1961c. Triple hybrid of the oak in Korea. *Korean J Bot* **4**, 16-20.
- Lee, T. B. 1964. Trichome types of *Q. acutissima* x *Q. variabilis* Nakai. *J Suwon For Soc* **5**, 12-14.
- Lee, T. B. 1980. *Illustrated Flora of Korea*, pp. 274-280, Hyangmunsu: Seoul.
- Lee, W. T. 1996. *Lineamenta florae Koreae*, Vol. 1, pp. 172-181, Academy Publishing Co.: Seoul.
- Lee, Y. N. 1996. *Flora of Korea*, pp. 66-70, Kyohak Publishing Co.: Seoul.
- Levy, M. and Levin, D. A. 1971. The origin of novel flavonoids in *Phlox* allotetraploids. *Proc Natl Acad Sci USA* **68**, 1627-1630.
- Mabberley, D. J. 1987. *The plant book*, Cambridge Univ. Press: Cambridge.
- Mabry, T. J., Markham, K. R. and Thomas, M. B. 1970. *The systematic identification of flavonoids*, Springer-Verlag: New York.
- MacDougal, D. T. 1907. Hybridization of wild plants. *Bot Gaz* **43**, 45-58.
- Maleev, V. P. 1985. Genus 367. *Quercus* L., pp. 254-279. In: Komarov, V. L. (ed.), *Flora of the U.S.S.R.* Vol. 5. Koeltz Scientific Books: Koenigstein, Germany.
- Markham, K. R. 1982. *Techniques of Flavonoid Identification*, Academic Press: New York.
- Melchior, H. 1964. Reihe Fagales, pp. 44-51. In: Melchior, H. (ed.), *A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien*, vol. 2. *Angiospermen*, 12th ed. Gebruder Borntraeger: Berlin (in German).

36. Mun, J. H. and Park, C. -W. 1995. Flavonoid chemistry of *Polygonum* sect. *Tovara* (Polygonaceae): A systematic survey. *Pl Syst Evol* **196**, 153-159.
37. Nakai, T. 1926. Notulae ad plantas Japoniae et Coreae. 31. *Bot Mag (Tokyo)* **40**, 161-171.
38. Nixon, K. C. 1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Ann For Sci* **50**, 25-34.
39. Nixon, K. C. 1997. Fagaceae, pp. 436-506. In: Flora of North America Editorial Committee (ed.), *Flora of North America*, Vol. 3. *Magnoliophyta: Magnoliidae and Hamamelidae*. Oxford Univ. Press: New York.
40. Palmer, E. J. 1948. Hybrid oaks of North America. *J Arnold Arbor* **29**, 1-48.
41. Park, C. -W. 1987. Flavonoid chemistry of *Polygonum* sect. *Echinocaulon*: A systematic survey. *Syst Bot* **12**, 167-179.
42. Park, J. H. 2009. A systematic study of *Quercus* L. subgenus *Quercus* (Fagaceae) in Korea: Analyses of morphological variation and flavonoid chemistry. Ph.D. Dissertation, Seoul National University, Seoul.
43. Park, J. H., Chung, M. G., Sun, B. Y., Kim, K. J., Pak, J. H. and Park, C. -W. 2005. Numerical analysis of *Quercus* L. subgenus *Quercus* (Fagaceae) in Korea. *Korean J Pl Taxon* **35**, 57-80.
44. Prantl, K. 1889. Fagaceae, pp. 47-58. In: Engler, A and Prantl, K. (eds.), *Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten insbesondere den Nutzpflanzen, bearbeitet unter Mitwirkung zahlreicher hervorragender Fachgelehrten, III. Teil. 1. Abteilung*. Verlag von Wilhelm Engelmann: Leipzig. (in German).
45. Schneider, C. K. 1906. *Illustriertes handbuch der Laubholzkunde*, pp. 161-211, Verlag von Gustav Fischer: Jena, Germany. (in German).
46. Swain, T. 1975. Evolution of flavonoid compounds, pp. 1096-1129. In: Harborne, J. B., Mabry, T. J. and Mabry, H. (eds.), *The Flavonoids Part 2*. Academic Press: New York.
47. Trelease, W. 1917. Naming American hybrid oaks. *Proc Am Philos Soc* **56**, 44-52.
48. Uyeki, H. 1932. Cupuliferae novae Koreae. *Acta Phytotax Geobot* **1**, 253-257.
49. Whittemore, A. T., and Schaal, B. A. 1991. Interspecific gene flow in sympatric oaks. *Proc Natl Acad Sci USA* **88**, 2540-2544.
50. Wyatt, R. and Hunt, D. M. 1991. Hybridization in North American *Asclepias*. II. Flavonoid evidence. *Syst Bot* **16**, 132-142.

초록 : 설악산 신갈나무와 졸참나무의 플라보노이드 조성과 분류학적, 생태학적 의미

박진희*

(경상대학교 생물학과)

본 연구에서는 우리나라 설악산 지역을 중심으로 신갈나무와 졸참나무 두 종의 수직분포 양상을 관찰하고, 두 종간의 교잡이입 및 유전자 전달 가능성을 플라보노이드 분석을 통해 추론하고자 하였다. 중부지방인 설악산의 신갈나무와 졸참나무의 수직분포는 남부지방인 지리산에서와는 차이가 난다. 설악산의 경우, 해발 100 m 이상 거의 전 고도에서 신갈나무가 나타나나 졸참나무는 해발 500 m 이상에서는 드물게 나타나며 500 m 이하에서 신갈나무와 혼생한다. 지리산의 경우, 졸참나무의 수직 분포 범위는 해발 0-1,200 m로 설악산에 비해 훨씬 넓으며, 신갈나무는 높은 해발고도에서는 순림을 이루지만 해발 1,000 m 이하에서는 고도가 낮아질수록 빈도가 낮아지고 해발 300 m 이하에서는 거의 분포하지 않는다. 전반적으로 우리나라에서 신갈나무는 높은 고도에서, 졸참나무는 낮은 고도에서 생육하나 상당한 범위의 고도 구간에서 두 종은 혼생한다. 설악산 지역의 신갈나무와 졸참나무 32개체와 지리산 고지대 및 저지대에 분포하는 신갈나무, 졸참나무 각 1개체 등 총 34개체를 대상으로 잎의 플라보노이드 성분을 분석한 결과, 이들로부터 총 24종류의 서로 다른 화합물이 분리, 동정되었다. 이들 플라보노이드 화합물은 모두 flavonol인 kaempferol, quercetin, myricetin 및 isorhamnetin에 당이 결합된 flavonol glycoside이었으며, 이 중 5개는 acylated flavonoid compound이다. 이들 중 kaempferol 3-O-glucoside, quercetin 3-O-glucoside와 quercetin 3-O-galactoside 및 이들의 acylated compounds가 주요 성분으로 두 종의 모든 개체에서 나타났 다. 신갈나무의 플라보노이드 조성은 acylated kaempferol 3-O-glucoside, acylated quercetin 3-O-galactoside 및 acylated quercetin 3-O-glucoside가 다량 나타나고, 졸참나무에서는 나타나지 않는 diglycoside인 quercetin 3-O-arabinosylglucoside가 분포하는 특징을 가진다. 졸참나무의 flavonoid 조성은 3개의 rhamnosyl flavonol compounds가 전체 졸참나무 개체에 걸쳐서 나타나고 또한 이들 compound가 신갈나무에 비해 다량으로 나타나는 특징을 갖는다. 신갈나무와 졸참나무 두 종간에는 이러한 정량·정성적인 플라보노이드 조성 차이와 함께 소량으로 분포하는 몇몇 compound들에 있어서 정성적인 차이도 나타나 두 종은 플라보노이드 조성에 있어 뚜렷이 구분된다. 한편, 두 종의 플라보노이드 조성은 고도에 따라 종내 개체 간 변이가 있으며, 동소적으로 분포하는 두 종 개체들의 플라보노이드 조성은 대체로 정량적 또는 정성적으로 상대 종의 플라보노이드 조성을 닮는 경향이 있었다. 이러한 현상은 두 종간에 교잡이입을 통한 유전자 교환이 일어나고 있음을 강하게 암시한다.