



생태복원용 붉나무, 싸리, 족제비싸리의 밀원가치 평가

김현준, 박지민, 원상재, 나성준*

국립산림과학원 산림특용자원연구과

Evaluation of Honey Production of *Rhus chinensis*, *Lespedeza bicolor*, and *Amorpha fruticosa* for Ecological Restoration

Hyun-Jun Kim, Ji-Min Park, Sang-Jae Won and Sung-Joon Na*

Special Forest Resources Division, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Republic of Korea

Abstract

This study assessed the honey plant potential by analyzing the nectar volume, and sugar content in the floral nectar of *Rhus chinensis*, *Lespedeza bicolor*, and *Amorpha fruticosa*, three species commonly used for ecological restoration in Korea. Regarding the flowering periods, *R. chinensis* bloomed for 37 days, from August 25 to September 30; *L. bicolor* for 34 days, from June 1 to July 4; and *A. fruticosa* for 24 days, from May 8 to June 1. The variations in flowering periods among these species may facilitate a continuous supply of nectar resources, thereby extending their availability period. The amount of nectar secreted per flower was $0.12 \pm 0.01 \mu\text{L}$ for female and $0.14 \pm 0.04 \mu\text{L}$ for male in *R. chinensis*, $0.10 \pm 0.02 \mu\text{L}$ for *L. bicolor*, and $0.14 \pm 0.02 \mu\text{L}$ for *A. fruticosa*. All three species secreted nectar for two days. The sugar content per flower was $0.05 \pm 0.00 \text{ mg}$ for female and $0.07 \pm 0.00 \text{ mg}$ for male of *R. chinensis*, $0.05 \pm 0.00 \text{ mg}$ for *L. bicolor*, and $0.07 \pm 0.01 \text{ mg}$ for *A. fruticosa*. Considering flower abundance and growth characteristics, the estimated honey production was approximately 29.2 kg/ha for female and 61.3 kg/ha for male of *R. chinensis*, 9.8 kg/ha for *L. bicolor*, and 145.3 kg/ha for *A. fruticosa*. These findings indicate that *R. chinensis*, *L. bicolor*, and *A. fruticosa* possess nectar producing potential and could serve as valuable nectar sources in addition to their current role in ecological restoration efforts.

Keywords

Apiculture, Honey plants, Honey yield, Nectar secretion, Sugar content

서론

밀원식물(Honey plant)은 화밀(Nectar)과 화분(Pollen) 등을 생산하여 꿀벌 등 화분매개자의 주요 먹이자원으로 이용되는 식물이다(Kim and Lee, 1989). 양봉산업은 밀원 식물이 꿀벌에게 화밀 등의 먹이자원을 제공하고, 꿀벌은 밀원식물의 수분을 돕는 공생관계에 근간에 두고 있으며, 사람은 꿀벌 사육, 밀원식물 식재·관리를 통해 양봉산물을 얻는 구조이다. 따라서 양봉산업의 규모를 확대하기 위해서는 꿀벌의 먹이자원인 밀원식물에 대한 보급 및 식재

가 반드시 수반되어야 한다(Na *et al.*, 2023).

국내 양봉산업의 규모를 살펴보면, 양봉농가는 2011년 1만 9천호에서 2020년 2만 9천호로 10년간 152% 증가했고, 봉군수는 같은 기간 175% 증가했지만, 천연꿀 생산량은 2007~2011년 2만 5천톤에서 2016~2020년 1만 3천톤으로 오히려 감소했다(농림축산식품부, 2022). 이러한 국내 양봉산업의 규모와 벌꿀 생산량과 생산액이 반대 경향을 보이는 현상은 국내 최대 밀원수인 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)의 면적 및 개체수 감소, 이상기후에 의한 채밀여건 악화 등 다양한 원인이 복합적으로 작용

한 결과이며, 특히 밀원자원의 종 다양성이 낮은 것이 큰 원인으로 지목되고 있다(Park *et al.*, 2025b).

이와 같은 국내 양봉산업의 문제점을 해결하기 위해서 다양한 밀원자원의 발굴과 식재 확대에 대한 요구가 증가하고 있다(Kim *et al.*, 2022b). 이와 더불어, 밀원자원의 다양성 확보는 영양적으로 균형 잡힌 화밀 공급을 통해 양봉산물 생산량을 높이는 데 그치지 않고, 꿀벌의 강건성 유지에도 중요한 역할을 한다(Carter *et al.*, 2006; Nepi, 2014). 지금까지 보고된 국내 밀원식물은 625종으로 확인되었지만(Kim and Lee, 1989; Jang, 2008), 밀원식물의 가치 평가를 통해 잠재적 꿀 생산량을 제시한 연구는 아까시나무, 광나무(*Ligustrum japonicum*), 아왜나무(*Viburnum odoratissimum* var. *awabuki*), 피나무(*Tilia amurensis*), 칠엽수(*Aesculus turbinata*) 등 일부 수종에 불과하다(Kim *et al.*, 2022b; Na *et al.*, 2025; Park *et al.*, 2025a). 본 연구에서 수행한 붉나무(*Rhus chinensis*), 싸리(*Lespedeza bicolor*), 족제비싸리(*Amorpha fruticosa*)는 밀원식물로 보고되었으나, 이에 대한 밀원가치 평가 연구는 전무한 실정이다.

붉나무는 윗나뭇과(Anacardiaceae)에 속하는 아교목으로 전국의 해발고가 낮은 산지에 생육한다. 암수딴그루이며, 꽃은 8~9월에 새가지 끝에서 백색의 원추상꽃차례에 모여 달린다(Kim and Kim, 2011). 민속식물학적으로 어린 잎을 나물로 식용하였으며, 열매나 잎에 생긴 충영(오배자)은 약용으로 사용하였다(Chung *et al.*, 2017).

싸리는 콩과(Fabaceae)에 속하는 관목으로 전국에 분포하며, 높이 1.5~3 m 정도로 자란다. 꽃은 7~8월에 잎겨드랑이에서 나온 2~7 cm의 총상꽃차례에 홍자색의 양성화가 모여 달린다(Kim and Kim, 2011). 전통적으로 싸리의 어린 잎과 열매는 식용으로, 줄기는 빗자루, 바구니, 낚시 도구 등 생활도구를 만드는 데 이용하였으며, 생울타리 식재용으로도 활용되는 쓰임새가 많은 나무이다(Chung *et al.*, 2017).

족제비싸리는 콩과에 속하는 관목으로 높이 2~3 m 정도로 자라며, 전국의 숲 가장자리, 도로변 및 하천 일대에 주로 분포한다. 꽃은 5~6월에 길이 7~15 cm의 수상꽃차례에 짙은 자색의 양성화가 조밀하게 모여 달린다(Kim and Kim, 2011). 약리학적으로 뿌리 에탄올추출물은 항암효과, 수피 메탄올추출물은 면역활성이 있는 것으로 밝혀진 바 있다(Kim *et al.*, 2005).

현재 붉나무, 싸리, 족제비싸리는 생태복원 녹화식물로

활용도가 높으며, 주로 임도, 고속도로, 일반도로 등의 성토 및 절토지의 친환경 녹화 피복용으로 이용하여 산사태 및 낙석 방지, 지반 안정성 확보 기능이 있다(Ji *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2007). 또한, 녹화식물을 활용한 산림훼손지의 친환경적인 복원은 주기능의 목적 외에 경관성 및 생태적 기능 회복에 중요한 소재로 제시된 바 있다(Kim *et al.*, 2007).

따라서, 본 연구에서는 생태복원용 녹화식물인 붉나무, 족제비싸리, 싸리를 대상으로 개화 특성, 화밀분비량, 꽃 하나당 유리당 함량 및 단위면적당 꿀 생산가능량을 조사해 밀원가치를 평가함으로써 세 수종의 다목적 이용 방안을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 생장 및 개화 특성 조사

붉나무는 2024년 경기도 수원시 소재의 수원수목원에 식재된 10개체를 대상으로 생장 및 개화 특성 조사하였다. 싸리와 족제비싸리는 2024년 국립산림과학원 산림생명자원연구부(수원) 연구시험포지에 3년생 묘목을 대상으로 생장 및 개화 특성을 조사하였다.

생장 특성은 수고(m), 근원경(cm), 수관 폭(m)을 조사하였으며, 개체당 개화량은 건전한 개체 10본 이상을 대상으로 본당 화서 수를 전수 조사한 후, 개체별 15개의 화서를 대상으로 화서당 꽃 수를 조사하여 전체 꽃 수를 산출하였다. 다만, 화서 내 꽃이 규칙적으로 분포하지 않은 싸리는 개체별 꽃 수를 전수 조사하였다. 개화 시기는 조사구의 누적 개화율이 5% 이상 개화한 시기를 개화 시작일, 누적 개화율이 30~70% 유지되는 시기를 개화 최성기, 누적 개화율이 95% 이상이며, 개화한 꽃이 모든 낙화한 시점을 개화 종료일로 판단하여 조사하였다(Kim *et al.*, 2022b).

2. 화밀분비량 측정

화밀분비 특성 조사를 위해 병충해의 피해를 받지 않고, 정상적으로 생육하고 있는 개체를 각 3본씩 선정하였다. 각 개체별로 방위와 위치를 고려하여 화서를 선정한 후, 꿀벌 등 화분매개자에 의한 화밀을 손실을 방지하기 위해 교배봉투(Pollination bag)를 설치하였다. 개화 시점을 명

확히 구분하기 위해 교배봉투 설치 이전에 개화한 꽃은 미세가위를 이용하여 모두 제거하였고, 교배봉투를 씌운 후 다음 날 오전에 개화된 꽃을 대상으로 빠짐없이 라벨을 실시하였다. 본 연구에서는 개화 1일차와 개화 2일차를 구분하여 오후(14:00)까지 누적된 화밀을 수집함으로써 개화 기간 동안 누적된 총 화밀량과 일자별 화밀분비 패턴을 조사하였다. 이후 화밀분비량 측정을 위해 각 개체마다 최소 100개 이상의 꽃을 대상으로 원심분리기법(Kim *et al.*, 2022a)을 이용하여 화밀을 수집하였다. 수집된 화밀은 100 μ L syringe를 이용해 정량하였으며, 유리당 함량 분석을 위해 80% 에탄올(v/v) 10배액을 첨가한 후, 0.45 μ m centrifugal filter에 정제하여 냉동(-20°C) 보관하였다.

3. 유리당 함량 분석

유리당 함량은 HPLC Ultimate 3000 (Dionex, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 분석하였다. Column은 Aminex 87P (Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 사용하여 오븐 온도는 80°C로 유지하였다. 이동상은 3차 증류수를 이용하여 유속은 0.5 mL/min 조건으로 분석하였으며, RI-101 detector (Shodex, Tokyo, Japan)로 검출한 후 적분계에 의한 외부표준법으로 계산하였으며(Linear regression equation, $R^2 > 0.999$), 표준품으로는 자당(Sucrose), 포도당(Glucose), 과당(Fructose) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

4. 본당 및 단위면적당 꿀 잠재생산량 추정

본당 잠재적 꿀 생산량(Honey production, g/tree)은 화밀분비량(μ L/flower), 단위용량당 유리당 함량(μ g/ μ L) 및 본당 개화량(ea/tree)을 곱해 산출하였으며, 추가적으로 실제 천연꿀이 15% 이상의 수분이 포함되어 있다는 선행 연구 결과를 반영하여 Petanidou (2003)가 제시한 honey potential을 대입하였다. 또한, 재식밀도에 따른 ha당 생립 본수를 산출하여 ha당 잠재적 꿀 생산량(Honey yield; kg/ha)을 구하였으며, 모든 계산에는 단위변환을 위한 환산을 적용하였다.

$$\begin{aligned} \text{Honey production (g/tree)} &= \text{Nectar volume } (\mu\text{L/flower}) \\ &\times \text{Free sugar content } (\mu\text{g}/\mu\text{L}) \times \text{Number of flower (ea/tree)} \\ &\times 1.15 \text{ (Honey potential)*} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{*Honey potential} &= \text{sugar content : honey} = 85 : 100 \\ &\text{(Petanidou, 2003)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Honey yield (kg/ha)} &= \text{Honey production (g/tree)} \\ &\times \text{Number of trees (ea/ha)} \end{aligned}$$

5. 통계 분석

조사된 자료는 평균±표준편차(means±standard deviation, S.D.) 값으로 나타냈고, 실험값의 통계 분석은 SPSS for Window ver. 26 (IBM, Armonk, NY, USA)를 이용하여 수종별 1일차와 2일차 간 화밀분비량, 단위용량당 유리당 함량 및 꽃 하나당 유리당 함량을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 생장 및 개화 특성

밀원가치 평가를 위하여 붉나무, 싸리, 족제비싸리의 생장 및 개화 특성을 조사하였다(Table 1). 붉나무 암주(雌株, female tree) 10본의 평균 수고는 3.2±1.1 m, 근원경은 3.9±0.7 cm, 수관 폭은 2.0±0.4 m였으며, 본당 화서수(7.7±2.2개)와 화서당 꽃 수(26,321.3±8,861.6개)를 기반으로 본당 개화량을 산출한 결과, 201,355.7±56,876.8개의 꽃을 개화하는 것으로 나타났다. 한편, 붉나무 수주(雄株, male tree) 10본의 평균 수고는 3.3±1.4 m, 근원경은 4.0±1.0 cm, 수관 폭은 1.8±0.7 m였으며, 본당 화서수(10.4±5.3개)와 화서당 꽃 수(24,583.3±18,006.9개)로 본당 개화량을 산출한 결과 255,663.2±129,667.4개의 꽃을 피우는 것으로 추정되었다(Fig. 1A, B). 붉나무의 개화 기간은 8월 25일부터 9월 30일까지 약 37일간 개화하였고, 개화 최성기는 9월 10일 전후였다. 붉나무 수꽃의 화피는 반곡하고 수술은 5개이며 수술대는 흰색으로 기부에서 화밀을 분비하였다. 암꽃의 화피는 반곡하지 않고 암꽃의 수술은 헛수술(Staminodes)이며 연한 황색의 암술대는 3개로 기부에서 화밀을 분비하였다.

싸리 30본의 평균 수고는 2.4±0.2 m, 근원경은 3.9±0.4 cm, 수관 폭은 0.9±0.3 m였으며, 본당 985.9.2±663.5개의 꽃을 피우는 것으로 확인되었다(Fig. 1C, D). 싸리의 개화 기간은 6월 1일부터 7월 4일까지 약 34일간 개화하였고, 개화 최성기는 6월 27일 전후였다. 싸리의 꽃은 콩과

Table 1. Results of survey on the growth and flower characteristics of 3 honey plants

Characteristics	<i>Rhus chinensis</i>		<i>Lespedeza bicolor</i>	<i>Amorpha fruticosa</i>
	Female	Male		
Growth characteristics (n > 10)				
Tree height (m)	3.2 ± 1.1	3.3 ± 1.4	2.4 ± 0.2	2.0 ± 0.2
Diameter at root collar (cm)	3.9 ± 0.7	4.0 ± 1.0	3.9 ± 0.4	3.5 ± 0.7
Crown diameter (m)	2.0 ± 0.4	1.8 ± 0.7	0.9 ± 0.3	0.7 ± 0.1
Flower characteristics (n = 3)				
Number of flower (ea/tree)	201,355.7 ± 56,876.8	255,663.2 ± 129,667.4	985.9 ± 663.5	10,839.0 ± 3,875.2
- Number of inflorescence per tree	7.7 ± 2.2	10.4 ± 5.3	-	32.5 ± 11.6
- Number of flower per inflorescence	26,321.3 ± 8,861.6	24,583.3 ± 18,006.9	-	333.2 ± 55.5
Start date of flowering	8/25		6/1	5/8
Peak period of flowering	9/10		6/27	5/15
End data of flowering	9/30		7/4	6/1
Total flowering days	37		34	24

식물의 일반적인 화관 형태인 접형화관 (Papilionaceous corolla)으로 화관은 5장이고, 기판(Standard petal)은 다른 화관에 비해 길며, 익판(Wing petal)은 일반적으로 용골판(Keel petal)보다 짧다. 용골판은 2장으로 내부 수술과 암술을 감싸 보호하는 역할을 하며, 암술대 기부에서 화밀 분비가 이루어졌다.

죽제비싸리 30본의 평균 수고는 2.0 ± 0.2 m, 근원경은 3.5 ± 0.7 cm, 수관 폭은 0.7 ± 0.1 m였으며, 본당 화서수(32.5 ± 11.6개)와 화서당 꽃 수(333.2 ± 55.5개)를 기반으로 본당 개화량을 산출한 결과 10,839.0 ± 3,875.2개의 꽃을 피우는 것으로 확인되었다(Fig. 1E, F). 죽제비싸리의 개화 기간은 5월 8일부터 6월 1일까지 약 24일간 개화하였고, 개화 최성기는 5월 15일 전후였다. 죽제비싸리는 콩과식물의 일반적인 꽃 구조인 기판, 익판, 용골판이 있는 접형화관과 차이가 있었는데, 익판과 용골판이 없었고, 기판 1개가 수술과 암술을 감싸고 있으며, 암술대 기부에서 화밀 분비가 이루어졌다.

2. 화밀분비량 및 유리당 함량

원심분리기를 이용하여 개화 1일차와 2일차의 누적 화밀분비량 및 유리당 함량을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 붉나무 암꽃의 화밀분비량은 개화 1일차 0.12 ± 0.03 μL/flower, 개화 2일차 0.12 ± 0.01 μL/flower로 유의적인 차이는 없었으며(p = 0.689), 화밀 내 단위용량당 유리당 함량은 1일차 319.42 ± 6.79 μg/μL, 2일차 414.86 ± 26.84 μg/μL

로 개화 2일차에서 유의하게 높았다(p < 0.01). 화밀분비량과 단위용량당 유리당 함량을 이용하여 꽃 하나당 유리당 함량을 산출한 결과, 개화 1일차 0.04 ± 0.00 mg/flower, 개화 2일차 0.05 ± 0.00 mg/flower로 조사되어 개화 2일차가 유의하게 높았다(p < 0.001). 붉나무 수꽃의 화밀분비량은 개화 1일차 0.14 ± 0.04 μL/flower, 개화 2일차 0.07 ± 0.01 μL/flower로 유의한 차이를 보였으며(p < 0.05), 화밀 내 단위용량당 유리당 함량은 1일차 497.73 ± 5.23 μg/μL, 2일차 596.48 ± 36.10 μg/μL로 개화 2일차에서 유의하게 높았다(p < 0.01). 꽃 하나당 유리당 함량은 개화 1일차 0.07 ± 0.00 mg/flower, 개화 2일차 0.04 ± 0.00 mg/flower로 조사되어 개화 1일차가 유의하게 높은 것으로 확인되었다(p < 0.001).

붉나무 암꽃, 수꽃의 화밀분비량, 단위용량당 유리당 함량, 꽃 하나당 유리당 함량은 수꽃이 높게 나타났다. 자웅이주 식물인 이나무(*Idesia polycarpa*)는 수꽃이 암꽃보다 화밀분비량, 단위용량당 유리당 함량, 꽃 하나당 유리당 함량이 높았다(Kim et al., 2020). 쉬나무(*Tetradium daniellii*)는 수꽃이 화밀분비량이 높았으나, 단위용량당 유리당 함량은 암꽃이 높았으며, 꽃 하나당 유리당 함량은 수꽃과 암꽃이 차이가 없었다(Kim et al., 2014). 반면, *Cucurbita pepo*, *Eurya japonica*, *Euterpe precatoria*는 암꽃이 수꽃보다 화밀분비량과 유리당 함량이 유의하게 높았으며, 수분매개자가 화밀 보상이 낮은 수꽃에서 보상이 높은 암꽃으로 순차 이동하는 전략이 확인되었다(Küchmeister et al.,

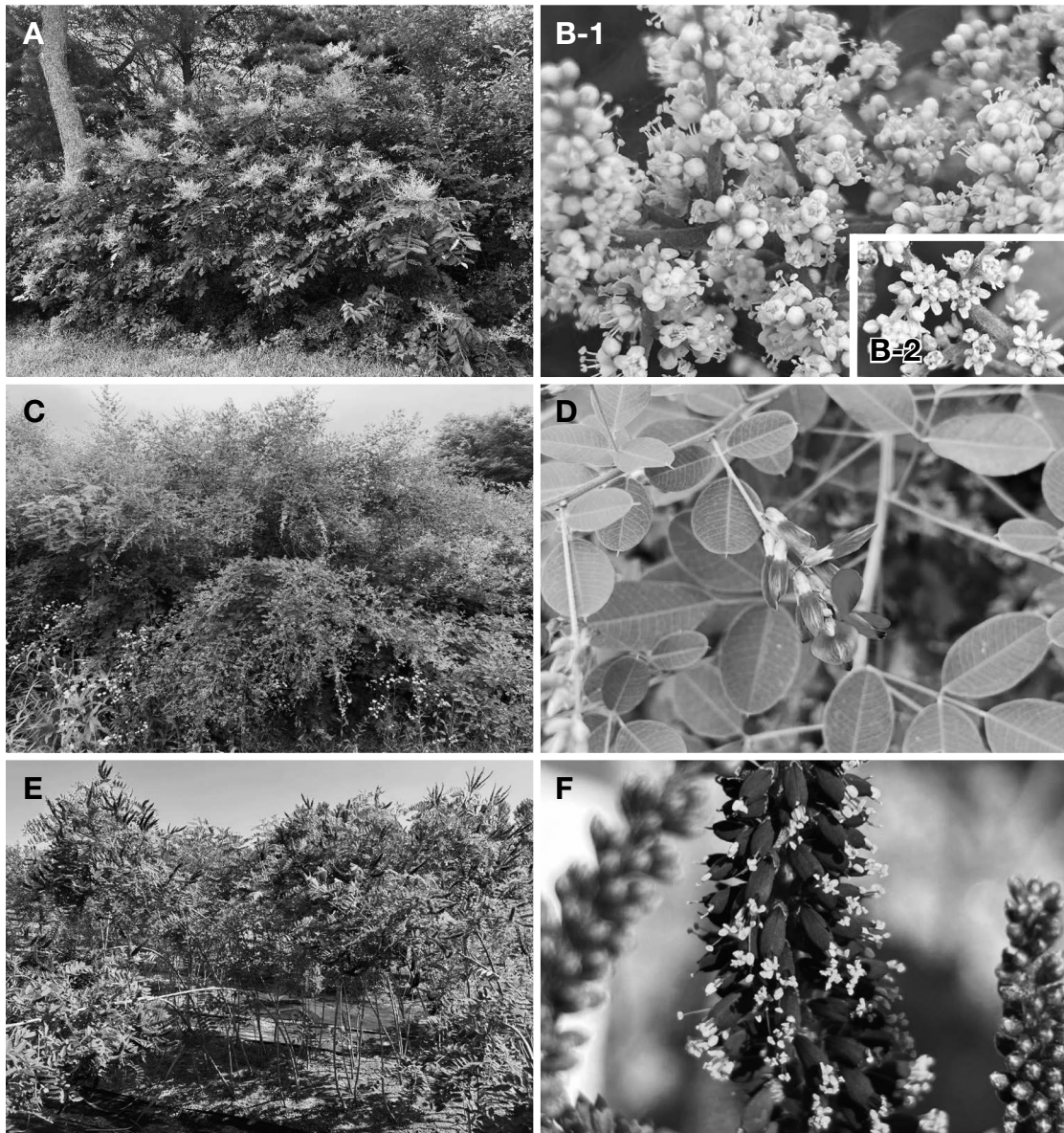


Fig. 1. Tree shape and floral characteristics of *R. chinensis* [A, B-1 (male flower), and B-2 (female flower)], *L. bicolor* (C, D), and *A. fruticosa* (E, F).

1997; Nepi and Pacini, 2001; Tsuji *et al.*, 2020). 이러한 종별 암·수꽃 간 화밀 특성 차이는 수분매개자의 순차적 방문을 유도하는 공진화적 적응(co-evolutionary adaptation) 결과로 해석된다. 따라서 자웅이주 식물의 암·수꽃 화밀 분비 동태를 개화 단계별로 정밀히 분석하는 추가적인 연구가 필요하다.

싸리의 화밀분비량은 개화 1일차 $0.10 \pm 0.02 \mu\text{L}/\text{flower}$, 개화 2일차 $0.05 \pm 0.02 \mu\text{L}/\text{flower}$ 로 확인되었으며 ($p < 0.01$), 화밀 내 단위용량당 유리당 함량은 1일차 $540.54 \pm$

$13.19 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, 2일차 $544.91 \pm 10.30 \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 로 유의적인 차이는 없었다 ($p = 0.643$). 화밀분비량과 단위용량당 유리당 함량을 이용하여 꽃 하나당 유리당 함량을 산출한 결과, 개화 1일차 $0.05 \pm 0.00 \text{ mg}/\text{flower}$, 개화 2일차 $0.03 \pm 0.00 \text{ mg}/\text{flower}$ 로 조사되어 개화 2일차가 유의하게 높았다 ($p < 0.001$).

족제비싸리의 화밀분비량은 개화 1일차 $0.06 \pm 0.01 \mu\text{L}/\text{flower}$, 개화 2일차 $0.14 \pm 0.02 \mu\text{L}/\text{flower}$ 로 확인되었으며 ($p < 0.001$), 화밀 내 단위용량당 유리당 함량은 1일차

Table 2. The nectar volume, free sugar content, nectar sugar content of 3 honey plants

Nectar characteristics	Day 1	Day 2	t-value	p-value
<i>R. chinensis</i> (Female)				
Nectar volume (μL/flower)	0.12 ± 0.03	0.12 ± 0.01	-0.418	>0.05
Free sugar content (μg/μL)	319.42 ± 6.79	414.86 ± 26.84	-7.031	<0.01
- Sucrose (μg/μL)	311.61 ± 6.07	410.76 ± 20.30	-9.494	<0.001
- Glucose (μg/μL)	4.51 ± 1.17	8.76	-	-
- Fructose (μg/μL)	3.30 ± 0.14	3.56	-	-
Nectar sugar content (mg/flower) ^z	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.00	-8.360	<0.001
<i>R. chinensis</i> (Male)				
Nectar volume (μL/flower)	0.14 ± 0.04	0.07 ± 0.01	2.492	<0.05
Free sugar content (μg/μL)	497.73 ± 5.23	596.48 ± 36.10	-5.576	<0.01
- Sucrose (μg/μL)	484.93 ± 5.09	593.27 ± 36.58	-6.044	<0.01
- Glucose (μg/μL)	8.45 ± 1.01	6.27	-	-
- Fructose (μg/μL)	4.35 ± 0.22	3.36	-	-
Nectar sugar content (mg/flower)	0.07 ± 0.00	0.04 ± 0.00	16.966	<0.001
<i>L. bicolor</i>				
Nectar volume (μL/flower)	0.10 ± 0.02	0.05 ± 0.02	3.800	<0.01
Free sugar content (μg/μL)	540.54 ± 13.19	544.91 ± 10.30	-0.487	>0.05
- Sucrose (μg/μL)	424.36 ± 9.82	409.57 ± 8.10	2.182	>0.05
- Glucose (μg/μL)	62.29 ± 1.85	73.91 ± 0.91	-9.524	<0.001
- Fructose (μg/μL)	53.89 ± 1.56	61.94 ± 1.31	-7.446	<0.001
Nectar sugar content (mg/flower)	0.05 ± 0.00	0.03 ± 0.00	34.010	<0.001
<i>A. fruticosa</i>				
Nectar volume (μL/flower)	0.06 ± 0.01	0.14 ± 0.02	-8.606	<0.001
Free sugar content (μg/μL)	632.61 ± 71.37	486.58 ± 74.19	4.303	<0.01
- Sucrose (μg/μL)	471.89 ± 52.01	363.48 ± 59.52	4.126	<0.01
- Glucose (μg/μL)	77.01 ± 9.15	59.12 ± 9.93	4.005	<0.01
- Fructose (μg/μL)	83.71 ± 11.36	63.98 ± 10.26	3.958	<0.01
Nectar sugar content (mg/flower)	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0.01	-5.141	<0.001

^zNectar volume (μL/flower) × Free sugar content (μg/μL)

632.61 ± 71.37 μg/μL, 2일차 486.58 ± 74.19 μg/μL로 나타났다 ($p < 0.01$). 화밀분비량과 단위용량당 유리당 함량을 이용하여 꽃 하나당 유리당 함량을 산출한 결과, 개화 1일차 0.04 ± 0.01 mg/flower, 개화 2일차 0.07 ± 0.01 mg/flower로 조사되어 개화 2일차가 더 높은 것으로 확인되었다 ($p < 0.001$).

식물체의 화밀분비량은 기온, 습도 등 기상요인에 의해 가변성이 있으며, 동일 과(family) 내에서 꽃 구조가 유사하더라도 꽃의 크기와 화밀샘 발달 정도에 따라 차이를 보인다(Jakobsen and Kristjansson, 1994; Burquez and Corbet, 1998; Shinjushin, 2025). 본 연구에서 수행한 싸리와 족제비싸리의 화밀분비량은 같은 콩과식물인 아까시

나무 화밀분비량(1.5 ± 0.5 ~ 2.3 ± 0.2 μL/flower)과 비교했을 때 낮은 수치를 보였다(Park *et al.*, 2025a). Shinjushin (2025)은 콩과식물의 화밀샘은 주로 수술과 암술 사이에 위치하며, 고리(ring)·관(tube)·초승달(crescent) 형태로 꽃 기부에 발달한다고 보고하였다. 이러한 화밀샘 형태 차이는 꽃의 크기와 관련 있으며, 꽃이 클수록 화밀샘의 분비층이 다층으로 넓게 분포하여 많은 화밀을 분비하지만, 꽃이 작으면 화밀샘이 꽃받침 또는 수술대 기부에 좁게 퍼져 있어 화밀분비량이 적다고 보고하였다. 따라서 콩과식물인 싸리, 족제비싸리 및 아까시나무의 수종별 화밀분비량 차이는 개화기의 기상 요인뿐만 아니라 꽃의 크기 및 화밀샘의 발달 양상 등 형태 특성에 의해서도 영향을 받는

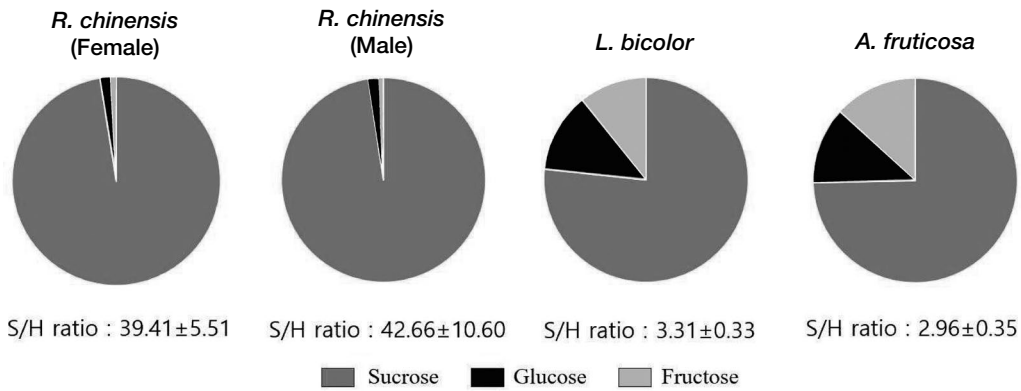


Fig. 2. Sugar composition in collected floral nectar of 3 honey plants.

Table 3. Estimation of honey production considering the nectar and flowering characteristics from 3 honey plants.

Nectar characteristics	<i>R. chinensis</i>		<i>L. bicolor</i>	<i>A. fruticosa</i>
	Female	Male		
Nectar sugar content (mg/flower)	0.04±0.00	0.07±0.00	0.05±0.00	0.07±0.00
Number of flower per tree	201,355.7±56,876.8	255,663.2±129,667.4	985.9±663.5	10,839.0±3,875.2
Estimated honey production (g/tree)	11.7 (9.2~17.6)	19.9 (5.7~32.5)	0.1 (0.0~0.2)	0.9 (0.3~1.6)
Number of plants per hectare	2,500 (2.0×2.0 m)	3,086 (1.8×1.8 m)	161,667	165,556
Estimated honey yield (kg/ha)	29.2 (22.9~43.9)	61.3 (17.7~100.2)	9.8 (1.8~24.7)	145.3 (53.6~259.0)

것으로 판단된다.

수종별 화밀 내 유리당 구성을 분석한 결과, 과당(sucrose) 함량이 붉나무 암주 97.49±0.32%, 붉나무 수주 97.62±0.47%, 싸리 76.68±1.75%, 족제비싸리 74.64±2.00%로 가장 높게 나타났다. 화밀에 포함된 유리당 조성은 일반적으로 화분매개 곤충의 선호에 영향을 주는 중요한 요인으로 알려져 있다. 과당 함량이 높은 화밀은 꿀벌을 포함한 긴 혀를 가지는 화분매개자들이 선호하는 반면, hexose (glucose, fructose) 함량이 높은 화밀은 파리 등 짧은 혀를 가지는 화분매개자들이 선호하는 것으로 알려졌다. 또한, sucrose와 hexose 비율에 따라 sucrose-dominant (ratio > 1.0), sucrose-rich (0.5~1.0), hexose-rich (0.1~0.5), hexose-dominant (ratio < 0.1) 등 4개 등급으로 구분된다 (Baker and Baker, 1983; Cnaani *et al.*, 2006). 본 연구에서 수행된 수종별 화밀의 S/H ratio는 붉나무 암주 39.41±5.51, 붉나무 수주 42.66±10.60, 싸리 3.31±0.33 및 족제비싸리 2.96±0.35로 sucrose-dominant 등급에 속하였다 (Fig. 2). Sucrose-dominant 등급은 sucrose 함량이 높은 화밀 구성으로 꿀벌의 에너지 효율성과 선호도에 영향을 주

는 것으로 보고된 바 있다 (Baker and Baker, 1983; Nicolson and Thornburg, 2007). 따라서 밀원자원로서의 붉나무, 싸리, 족제비싸리 화밀의 유리당 구성은 꿀벌의 방화 빈도에 영향을 주어 최종적으로 채밀량 증가 등에 기여할 것으로 판단된다.

3. 붉나무, 싸리, 족제비싸리의 잠재적 꿀 생산량 추정

붉나무, 싸리, 족제비싸리의 화밀 특성과 개화 특성을 이용하여 본당 꿀 생산량을 추정한 결과는 Table 3과 같다. 붉나무의 꽃 하나당 유리당 함량 및 본당 개화량을 이용하여 본당 꿀 생산량을 산출한 결과, 암주는 11.7 g, 수주는 19.9 g의 꿀 생산이 가능한 것으로 나타났다. 또한, 수관 폭 (암주: 2 m, 수주: 1.8 m)을 고려하여 ha당 암주 2,500본, 수주 3,086본을 식재한다고 가정할 경우, 암주는 29.2 (22.9~43.9) kg, 수주는 61.3 (17.7~100.2) kg의 꿀 생산이 가능할 것으로 추정되었다. 싸리의 본당 꿀 생산량은 0.1 g으로 ha당 161,667본을 식재하였을 때 (수관 폭 0.9 m) 잠재적 꿀 생산량이 9.8 (1.8~24.7) kg으로 확인되었으며, 족제비싸리는 0.9 g의 본당 꿀 생산량과 165,556본의 ha당

생립본수(수관 폭 0.7 m)를 통해 145.3 (53.6~259.0) kg의 꿀을 생산할 수 있을 것으로 추정되었다.

본 연구와 동일한 방법으로 수행된 다양한 경관·조림 수종의 잠재적 꿀 생산량 연구에서 아왜나무 125.4 kg/ha, 광나무 120.4 kg/ha, 피나무 87.6 kg/ha, 칠엽수 71.8 kg/ha, 쥐똥나무 41.6 kg/ha, 아까시나무 24.9~31.9 kg/ha로 보고하였다(Kim *et al.*, 2022b; Na *et al.*, 2025; Park *et al.*, 2025a). 본 연구대상종인 붉나무 암주는 칠엽수, 붉나무 수주는 아까시나무와 유사한 잠재적 꿀 생산량을 나타냈으며, 족제비싸리는 아왜나무, 광나무와 유사한 결과를 확인하였다. 붉나무, 족제비싸리의 밀원자원 기반 다목적 이용 방안을 고려하였을 때, 성토 및 절토지에 생태복원용으로 주로 활용되는 조림수종을 대체하거나, 기존 교목 사이의 하층식생을 구성하는 밀원수종으로 적합할 것으로 판단된다. 싸리는 기존 밀원식물과 비교할 때 잠재적 꿀 생산량은 낮게 나타났으나, 생태복원용의 주기능뿐만 아니라 우수 밀원수인 아까시나무와 밤나무 개화시기 사이 무밀기에 꿀벌의 강건성 유지를 위한 보완적 밀원식물로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구 결과는 생태복원용 붉나무, 싸리, 족제비싸리는 임도, 고속도로, 일반도로 등의 성토 및 절토지의 친환경 녹화 피복용으로 이용하여 산사태 및 지반 안정성을 확보하는 동시에 밀원자원으로서 다목적 활용을 제시하는 데 의의가 있다. 또한, 붉나무, 싸리, 족제비싸리는 주요 밀원 식물인 아까시나무, 밤나무, 헛개나무와 개화시기 차이로 인해 꿀벌 등 화분매개자가 연속적으로 밀원자원을 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 생태복원용 녹화식물인 붉나무, 싸리, 족제비싸리를 대상으로 개화 특성, 화밀분비량, 꽃 하나당 유리당 함량, 잠재적 꿀 생산량 등 밀원가치를 평가하였다. 붉나무는 8월 중순, 싸리는 6월 초순, 족제비싸리는 5월 초순에 개화하였다. 붉나무 암주, 붉나무 수주, 싸리, 족제비싸리의 화밀분비량은 각각 $0.12 \pm 0.01 \mu\text{L}/\text{flower}$, $0.14 \pm 0.04 \mu\text{L}/\text{flower}$, $0.10 \pm 0.02 \mu\text{L}/\text{flower}$, $0.14 \pm 0.02 \mu\text{L}/\text{flower}$ 이며, 화밀 내 유리당 함량은 각각 $0.05 \pm 0.00 \text{mg}/\text{flower}$, $0.07 \pm 0.00 \text{mg}/\text{flower}$, $0.05 \pm 0.00 \text{mg}/\text{flower}$, 0.07 ± 0.01

mg/flower 로 나타났다. 본당 개화량 및 생장 특성을 고려하여 단위면적당 꿀 생산량(kg/ha)을 조사한 결과, 붉나무 암주는 29.2 kg/ha, 붉나무 수주는 61.3 kg/ha, 싸리는 9.8 kg/ha, 족제비싸리는 145.3 kg/ha의 꿀 생산이 가능한 것으로 추정되었다. 따라서 붉나무, 싸리, 족제비싸리는 임도, 고속도로 등의 성토 및 절토면의 친환경 녹화 피복용뿐만 아니라 밀원자원로서 다목적 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 일반연구사업 “밀원자원 발굴 특성·평가 및 다목적 이용 방안 연구(Project No. FG 0403-2023-01-2025)”의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 농림축산식품부. 2022. 양봉산업 육성 및 지원 종합계획.
- Baker, H. G. and I. Baker. 1983. Floral nectar sugar constituents in relation to pollinator type. pp. 117-114. in Handbook of experimental pollination biology, eds. by C. E. Jones & R. J. Little. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Burquez, A. and S. A. Corbet. 1998. Dynamics of production and exploitation of nectar: Lessons from *Impatiens glandulifera* Royle. pp. 130-152. in Nectary Biology, eds. by B. Bahadur. Dattsons, London, UK.
- Carter, C., S. Shafir, L. Yehonatan, R. G. Palmer and R. Thornburg. 2006. A novel role for proline in plant floral nectars. *Naturwissenschaften* 93(2): 72-79.
- Chung, J. M., S. H. Cho, Y. S. Kim, K. S. Kong, H. J. Kim, C. H. Lee and H. J. Lee. 2017. Ethnobotany in Korea: The Traditional Knowledge and Use of Indigenous Plants. Korea National Arboretum, Pocheon, Korea. pp. 599, 626, 709.
- Cnaani, J., J. D. Thomson and D. R. Papaj. 2006. Flower choice and learning in foraging bumblebees: Effects of variation in nectar volume and concentration. *Ethology* 112(3): 278-285.
- Jakobsen, H. B. and K. Kristjansson. 1994. Influence of temperature and floret age on nectar secretion in *Trifolium repens* L. *Ann. Bot.* 74: 327-334.
- Jang, J. W. 2008. A study on honey plants in Korea - The kind of honey plants in Korea and around a former scanning electron microscope form structure of the pollen -. De-

- partment of Natural Resources, Ph.D. Thesis, Daegu Univ., Korea. pp. 1-134.
- Ji, B. Y., D. H. Jung, K. S. Chun and J. Y. Kim. 2006. Pull-out strength characteristics of revegetation species root used for forest road slope. *J. Korean Soc. For. Sci.* 95(1): 45-49.
- Kim, J. H., D. H. Kim, J. H. You, M. C. Kwon, H. J. Lee and H. Y. Lee. 2005. Anticancer and immune activities of the extracts from *Amorpha fruticosa* L. *Korean J. Medicinal Crop Sci.* 13(1): 41-47.
- Kim, J. S. and T. Y. Kim. 2011. Woody Plants of Korean Peninsula. Dolbegae, Seoul, Korea. pp. 417, 429, 532.
- Kim, M. S., S. H. Kim, J. H. Song and H. S. Kim. 2014. Analysis of secreted nectar volume, sugar and amino acid content in male and female flower of *Evodia daniellii* Hemsl. *J. Korean Soc. For. Sci.* 103(1): 43-50.
- Kim, N., H. Song, G. Park, G. Jeon, S. Lee and B. Lee. 2007. An analytical study on the revegetation methods for highway slopoe. *J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech.* 10(2): 1-15.
- Kim, T. W. and Y. M. Lee. 1989. The state and propagation plans of honey plants in Korea. *Korean J. Apiculture* 4(1): 9-18.
- Kim, Y. K., J. H. Song, M. S. Park and M. S. Kim. 2020. Analysis of netctar characterisitics of *Idesia polycarpa*. *J. Korean Soc. For. Sci.* 109(4): 512-520.
- Kim, Y. K., S. J. Na, H. Y. Kwon and W. G. Park. 2022a. Compariosn of nectar volume and sugar content according to nectar sampling method: Focusing on the capillary tube and centrifuge method. *Korean J. Apiculture* 37(1): 25-34.
- Kim, Y. K., S. J. Na, H. Y. Kwon and W. G. Park. 2022b. Evaluation of hoeny production of *Ligustrum japonicum* and *Viburnum odoratissimum* var. *awabuki* in the Southern Part of Korea. *Korean J. Apiculture* 37(1): 35-44.
- Küchmeister, H., I. Silberbauer-Gottsberger and G. Gottsberger. 1997. Flowering, pollination, nectar standing crop, and nectaries of *Euterpe precatoria* (Arecaceae), an Amazonian rain forest palm. *Plant Syst. Evol.* 206: 71-97.
- Na, S. J., H. M. Choi, J. M. Park, Y. I. Choi and Y. K. Kim. 2023. Evaluation of the honey plant potential of five cultivated crops. *Korean J. Apiculture* 38(3): 267-274.
- Na, S. J., J. M. Park, H. Y. Kwon and Y. K. Kim. 2025. Assessment of floral nectar and amino acid yield in eight landscape trees for enhanced pollinator food resources in urban forests. *Plants* 14(13): 1924.
- Nepi, M. 2014. Beyond nectar sweetness: the hidden ecological role of non-protein amino acids in nectar. *J. Ecol.* 102(1): 108-115.
- Nepi, M. and E. Pacini. 2001. Effect of pistil age on pollen tube growth, fruit development and seed set in *Cucurbita pepo* L. *Acta Soc. Bot. Pol.* 70(3): 165-172.
- Nicolson, S. W. and R. W. Thornburg. 2007. Nectar Chemistry. pp. 215-264. in *Nectaries Nectar*, eds. by S. W. Nicolson, M. Nepi and E. Pacini. Springer, Dordrecht.
- Park, J. M., S. J. Na, H. Y. Kwon and Y. K. Kim. 2025a. Evaluation of nectar characteristics and potential honey production of *Robinia pseudoacacia*. *J. Korean Soc. For. Sci.* 114(1): 84-93.
- Park, J. M., Y. K. Kim, H. Y. Kwon and S. J. Na. 2025b. The value of *Ligustrum obtusifolium* as a supplementary nectar source: Quantitative analysis of nectar composition and honey production. *Korean J. Apiculture* 40(1): 89-95.
- Petanidou, T. 2003. Introducing plants for bee-keeping at any cost? Assessment of *Phacelia tanacetifolia* as nectar source plant under xeric Mediterranean conditions. *Plant Syst. Evol.* 238: 155-168.
- Sinjushin, A. 2025. Floral nectaries in Leguminosae: Structure, diversity, and possible evolution. *Bot. Rev.* 91: 51-76.
- Tsuji, K., K. Kobayashi, E. Hasegawa and J. Yoshimura. 2020. Dimorphic flowers modify the visitation order of pollinators from male to female flowers. *Sci. Rep.* 10: 9965.