



하늘타리와 노랑하늘타리(박과)의 형태학적 및 해부학적 특성 비교 연구

지희원^{1#} · 최원락^{2,3#} · 최중원⁴ · 송준호^{5†}

Comparative Study on the Morphological and Anatomical Characteristics of *Trichosanthes kirilowii* var. *kirilowii* and *T. kirilowii* var. *japonica* (Cucurbitaceae)

Heewon Ji^{1#}, Won Rak Choi^{2,3#}, Jung Won Choi⁴, and Jun-Ho Song^{5†}

ABSTRACT

Received: 2026 March 26
1st Revised: 2026 April 04
2nd Revised: 2026 April 14
3rd Revised: 2026 April 20
Accepted: 2026 April 20
Published: 2026 April 30

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.



Background: The genus *Trichosanthes* (Cucurbitaceae) comprises biennial and perennial herbs distributed across East Asia and Australia. The roots of *T. kirilowii* var. *kirilowii* have traditionally been used in the herbal medicine *Trichosanthis Radix*. The two varieties, var. *kirilowii* and var. *japonica*, are distributed in Korea; however, their morphological similarities make them difficult to distinguish, and the taxonomic status of var. *japonica* remain understudied. Therefore, we investigated the micromorphological and anatomical characteristics of the *T. kirilowii* complex in Korea. **Methods and Results:** External morphological and micromorphological traits of leaves and roots were examined using stereomicroscopy, light microscopy, and scanning electron microscope (SEM), while anatomical characteristics were analyzed using a digital slide scanner. The results clearly distinguished the two varieties based on their external morphological and anatomical traits. **Conclusions:** Lenticels on roots, leaf epidermal cell size, mesophyll cell density, and starch granule density in the root parenchyma were useful diagnostic characteristics. These findings provide morphological and anatomical evidence supporting the recognition of *T. kirilowii* var. *japonica* as an independent species, *T. japonica*. Further studies incorporating diverse populations and multi-disciplinary approaches are required to validate these diagnostic traits and assess their potential as a source of herbal medicines.

Key Words: Anatomy, Scanning Electron Microscope, *Trichosanthes kirilowii* var. *kirilowii*, *Trichosanthes kirilowii* var. *japonica*, *Trichosanthis Radix*

서 언

하늘타리속 (*Trichosanthes* L.)은 박과 (Cucurbitaceae Juss.)에 속하는 분류군으로, 전 세계 90–100여 종으로 구성되고, 중국, 일본, 인도, 말레이시아, 호주 등지에 분포하며, 특히 동남아시아에서 종 다양성이 높은 것으로 알려져 있다 (Rugayah and de Wilde, 1999; Cooper and de Boer, 2011). 국내에는 하늘타리 (*T. kirilowii* Maxim. var. *kirilowii*)와 노랑하늘타리

[*T. kirilowii* var. *japonica* (Miq.) Kitam.] 두 종이 분포하는 것으로 알려져 있으며, 최근에는 미기록 식물로 보고된 붉은 하늘타리 [*T. cucumeroides* (Ser.) Maxim. ex Franch. & Sav.]를 포함하여 총 3종이 분포하는 것으로 인식되고 있다 (Kim, 2020; Kim *et al.*, 2020; Korea National Arboretum, 2022).

본 속 식물은 이년생 (biennial) 또는 다년생 초본 (perennial herb)으로, 대부분 자웅이주 (dioecious)이고, 주로 술 모양으로

[†]Corresponding author: (Phone) +82-43-261-2298 (E-mail) jhsong@chungbuk.ac.kr

[#]Heewon Ji and Won Rak Choi contributed equally to this paper.

¹충북대학교 생물학과 박사과정생 / Ph.D. student, Department of Biology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

²충북대학교 약학대학 박사과정생 / Ph.D. student, College of Pharmacy, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

³SK케미칼 Pharma연구소 연구위원 / Research Fellow, SK Chemicals Pharma R&D, SK Chemicals, Seongnam 13494, Korea

⁴SK케미칼 Pharma연구소 매니저 / Manager, SK Chemicals Pharma R&D, SK Chemicals, Seongnam 13494, Korea

⁵충북대학교 생물학과 교수 / Professor, Department of Biology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

갈라진 (fimbriate) 화판 (petal)을 갖는 것이 특징이다. 또한 열매는 박과 (pepo)로, 구형 (globose), 난형 (ovoid), 타원형 (ellipsoid) 또는 방추형 (fusiform)의 형태를 가지며, 이러한 형질에 의해 다른 속과 구분된다 (Schaefer and Renner, 2011; de Boer *et al.*, 2012).

하늘타리속 식물의 일부 분류군은 다양한 아시아 국가에서 잎이나 열매가 식용으로 이용되며, 전초를 포함한 다양한 부위가 해열제, 진통제 및 소화제로 사용되는 등 식품 및 약재로서 경제적 가치가 높은 분류군을 포함한다 (Ram and Srivastava, 1999; Kumar *et al.*, 2012; Godbole and Patil, 2024). 그중 하늘타리의 뿌리와 종자는 한국을 비롯한 여러 국가에서 약재로 활용되고 있는 것으로 알려져 있다 (Lily, 1980).

대한민국약전 (The Korean Pharmacopoeia, KP)에는 하늘타리를 기원으로 하는 한약 (생약) 품목인 괭루근 (栝樓根, 생약명: *Trichosanthis Radix*)과 괭루인 (栝樓仁, 생약명: *Trichosanthis Semen*)이 수재되어 있다 (Ministry of Food and Drug Safety, 2024; Korea Institute of Oriental Medicine, 2026). 이 중 괭루근은 하늘타리 또는 중국에 자생하는 쌍변괭루 (*T. rosthornii* Harms) 뿌리의 표피를 제거한 것으로, 진해, 이노, 해열, 지갈 및 당뇨병 치료 등에 사용하는 것으로 알려져 있다 (Lee *et al.*, 2001; Joo *et al.*, 2018). 또한 하늘타리의 뿌리에서 생합성되는 트리코산틴 (trichosanthin)은 항암 및 항바이러스 등 생리활성을 가지는 것으로 보고되어 있다 (Byers *et al.*, 1990; Tuya *et al.*, 2017).

한편 하늘타리의 변종인 노랑하늘타리는 하늘타리와 형태적으로 매우 유사하나, 대한민국약전에서는 괭루근의 기원종으로 포함되어 있지 않다. 반면, 일본약국방 (The Japanese Pharmacopoeia, JP)에는 하늘타리와 *T. bracteata* (Lam.) Voigt와 함께 해당 분류군이 수재되어 있어 (Korea Institute of Oriental Medicine, 2026), 동북아시아 약전 간 기원종에 차이가 존재한다 (Ministry of Health, Labour and Welfare, 2022).

국내에서 노랑하늘타리를 기원으로 한 약재는 위품으로 분류되지만, 하늘타리와의 분포 지역 중첩 및 형태적 유사성으로 인해 하늘타리로 오인될 가능성이 높다. 이에 따라 위품 약재가 유통될 우려가 있다. 특히 괭루근은 주로 절편 또는 분말 형태로 가공·유통되므로, 육안에 의한 정품과 위품의 구별에는 한계가 있는 것으로 보고되어 있다 (Park *et al.*, 2021; Xue *et al.*, 2023).

노랑하늘타리는 그 분류학적 위치에 대해 다양한 이견이 제기되어 왔다. 해당 분류군은 Miquel (1865)에 의해 처음 보고되었으며, 엽선 (apex)이 3갈래로 갈라지고 심장저 (cordate)를 갖는 등의 형질을 근거로 신종 *Gymnopetalum japonicum* Miq.으로 발표되었다. 이후 Regel (1869)은 이를 *Trichosanthes*

속으로 이전 (generic transfer)하여 *Trichosanthes japonica* (Miq.) Regel로 처리하였으며, Kitamura (1943)는 하늘타리와 뚜렷한 차이는 없으나 종자의 색이 더 어둡고 가장자리에 뚜렷한 테두리가 없다는 점을 근거로 하늘타리의 변종으로 격하시켜 *T. kirilowii* var. *japonica* (Miq.) Kitam.로 인식하였다. 현재까지도 국내에서는 노랑하늘타리를 하늘타리의 이명으로 인식하거나 (Chang *et al.*, 2014), 변종으로 인식하는 견해 (Kim, 2020), 혹은 독립된 종으로 처리하는 견해 (Park *et al.*, 2021) 등 다양한 분류학적 해석이 공존하고 있다.

약재의 감별에 있어 외부 형태학적 형질뿐만 아니라 미세형태학적 및 해부학적 형질은 효과적인 감별과 식물의 분류학적 연구에 유용한 접근법으로 활용되고 있다 (Song *et al.*, 2020; Antunes *et al.*, 2023; Eum *et al.*, 2025; Lee *et al.*, 2025). 이에 현미경적 검경을 통한 미세형태학적 및 해부학적 형질 분석을 바탕으로 명확한 감별 기준을 확립할 필요가 있다. 또한 노랑하늘타리는 현재 분류학적 위치가 불분명하며, 분류 체계에 따라 기원종의 범위가 달라질 수 있으므로 하늘타리와의 비교 연구가 필수적이다. 그러나 괭루근의 기원종인 하늘타리와 동속 근연 분류군인 노랑하늘타리를 대상으로 한 종합적인 미세형태학적 및 해부학적 비교 연구는 아직 수행된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 현미경을 이용한 미세형태학적 및 해부학적 접근을 중심으로 하늘타리와 노랑하늘타리의 형태학적 및 해부학적 특성을 분석하였다. 이를 통해 두 분류군을 명확히 구분할 수 있는 진단 형질을 규명하고, 효과적인 감별 기준을 제시하고자 하였다. 나아가 다양한 형질에 대한 종합적 분석을 바탕으로 노랑하늘타리의 분류학적 위치를 재검토하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구 재료

본 연구에 사용된 하늘타리와 노랑하늘타리는 국내 자생지와 경상남도 함양군 안의면에 위치한 경상남도농업기술원 약용자원연구소 (Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services)의 재배지에서 채집하였다. 채집한 생체 시료의 일부는 70% 에탄올 (ethanol)에 고정하여 액침표본으로 제작하였으며, 나머지는 석엽표본으로 제작하여 충북대학교 생물학과 식물표본관 (표본관 코드: CBU)에 보관하였다 (Fig. 1). 채집한 분류군은 외부 형태를 바탕으로 1차 동정하였으며, 두 종류의 삽입-결실 마커를 사용하여 2차 동정을 수행하였다. 각 분류군으로 3개체씩을 실험에 사용하였다.

2. 외부 형태학적 형질

뿌리의 외부 형태 및 표면은 디지털 카메라 (digital camera; Tough TG-6, Olympus, Tokyo, Japan)와 실체현미경 (stereo



Fig. 1. Voucher specimens of the *Trichosanthes kirilowii* complex used in this study. A; Dried specimen of *T. kirilowii* var. *kirilowii*, B; Dried specimen of *T. kirilowii* var. *japonica*, C; Liquid-preserved specimen and medicinal material of *T. kirilowii* var. *kirilowii*, D; Liquid-preserved specimen and processed medicinal material of *T. kirilowii* var. *japonica*.

microscope; S9D, Leica, Wetzlar, Germany)을 이용하여 관찰하였다.

3. 미세형태학적 형질

잎의 미세형태학적 형질을 관찰하기 위해 액침 시료를 에탄올 시리즈 (50%, 70%, 90%, 95%, 100%)에서 각 1시간씩 탈수하였다. 이후 임계점 건조기 (critical point dryer; SPI-13200J-AB, SPI Supplies, West Chester, PA, USA)를 이용하여 시료를 건조하였으며, 건조된 시료는 알루미늄 스티브 (aluminium stub; 01501-BA, SPI Supplies, West Chester, PA, USA)에 카본테이프를 고정하였다. 이어서 이온 증착기 (ion sputter coater; G10, COXEM, Daejeon, Korea)를 이용하여 백금으로 45초간 증착한 후, 주사전자현미경 (scanning electron microscope; EM-30, COXEM, Daejeon, Korea)을 이용하여 가속 전압 3 kV, 작동 거리 (working distance) 5.4–6.3 mm에서 관찰하였다.

또한 잎 표면의 수층벽 형태, 기공복합체 및 모용을 자세히 관찰하기 위해 잎을 5% 차아염소산 (NaClO)에 1시간 처리하여 조직을 투명화한 후, 핀셋으로 표피를 분리하여 광학현미경 (light microscope; Leica DM3000 LED, Leica, Wetzlar, Germany)을 이용해 관찰하였다.

4. 해부학적 형질

해부학적 형질을 관찰하기 위해 시료를 70% 에탄올에 고정 한 후, 자동조직처리기 (automatic tissue processor; STP120 Spin Tissue Processor, Myr, Tarragona, Spain)를 이용하여

조직처리 후 파라핀 블록 (paraffin block)을 제작하였다. 이후 조직절편기 (microtome; Finesse ME Microtome, Thermo Shandon, Cheshire, UK)를 이용하여 파라핀 블록을 10 μm 두께로 절단하였다. 절단된 절편은 슬라이드글라스에 부착한 후 Safranin O와 Fastgreen FCF로 이중염색하여 영구표본을 제작하였다.

제작된 영구표본은 디지털 슬라이드 스캐너 (digital slide scanner; 3DHistech Panoramic Desk II DW, 3DHistech Kft., Budapest, Hungary)를 이용하여 스캔한 후, 뷰어 프로그램 (viewer program; CaseViewer software version 2.4.0, 3DHistech Kft., Budapest, Hungary)을 통해 관찰하였다. 정량적 형질은 개체당 3개씩, 총 10 부위를 무작위로 선별한 후 분석 프로그램 (Digimizer version 6.3.0, MedCalc Software, Ostend, Belgium)을 이용하여 총 30회 측정하였다.

5. 통계 분석

정량적 형질의 측정값은 평균 ± 표준편차 (mean ± standard deviation)로 제시하였으며, 일부 결과는 SPSS 28.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.)을 이용하여 Student's *t*-test를 수행함으로써 통계적 유의성을 검증하였다.

결 과

1. 외부 형태학적 형질

하늘타리 (*T. kirilowii* var. *kirilowii*)와 노랑하늘타리 (*T. kirilowii* var. *japonica*)의 식엽, 액침 및 약재 표본을 바탕으

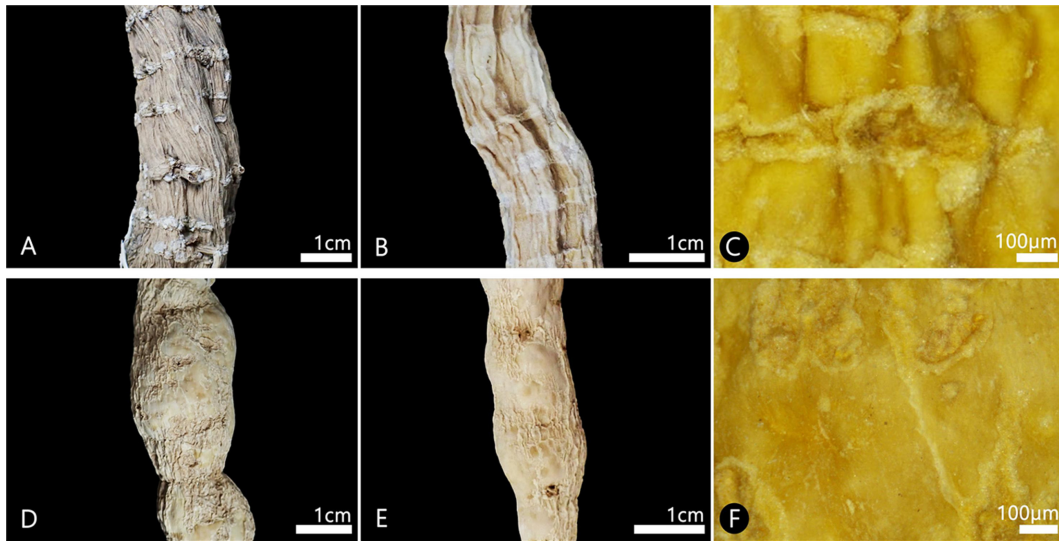


Fig. 2. Root external morphology of the *Trichosanthes kirilowii* complex. A-C; *T. kirilowii* var. *kirilowii*, D-F; *T. kirilowii* var. *japonica*. A, D; Periderm intact, B, C, E, F; Periderm removed.

로 두 분류군의 외부 형태학적 형질을 비교하였다.

두 분류군 모두 덩굴성 줄기를 가지며 덩굴손 (tendrils)이 발달하였다 (Fig. 1). 잎은 호생 (alternate)이고, 단엽 (simple)이

며, 장상 (palmate)의 형태를 나타내었다. 그러나 하늘타리의 잎은 5-7갈래로 깊게 갈라지는 반면, 노랑하늘타리의 잎은 3갈래 또는 드물게 5갈래로 얇게 갈라져 형태적 차이가 확인되

Table 1. Comparison of leaf micromorphological characteristics between *Trichosanthes kirilowii* var. *kirilowii* and *T. kirilowii* var. *japonica*.

	<i>T. kirilowii</i> var. <i>kirilowii</i>	<i>T. kirilowii</i> var. <i>japonica</i>
Stomatal position	Amphistomatic	Amphistomatic
Stomatal type	Anomocytic	Anomocytic
Adaxial side		
Stomatal length (μm)	27.50 ± 1.59	22.67 ± 2.06
Stomatal width (μm)	15.17 ± 1.57	14.38 ± 1.28
Epidermal cell arrangement	Isodiametric	Isodiametric
Anticlinal wall	Undulate	Undulate
Periclinal wall	Slightly convex	Slightly convex
Trichome type/density	Simple multi-cellular/moderate	Simple multi-cellular/moderate
Abaxial side		
Stomatal length (μm)	26.28 ± 2.96	23.05 ± 2.42
Stomatal width (μm)	16.97 ± 1.74	16.34 ± 2.22
Epidermal cell arrangement	Isodiametric	Isodiametric
Anticlinal wall	Undulate	Undulate
Periclinal wall	Slightly convex	Slightly convex
Trichome type/density	Simple multi-cellular/moderate	Simple multi-cellular/sparse
Petiole		
Epidermal cell arrangement	Isodiametric	Isodiametric
Anticlinal wall	Straight	Straight
Periclinal wall	Slightly convex	Slightly convex
Trichome type/density	Simple multi-cellular/sparse	Simple multi-cellular/sparse

었다. 꽃은 단성화 (unisexual flower)로, 암꽃 (pistillate, female flower)과 수꽃 (staminate, male flower) 모두 술 모양으로 갈라진 백색 화관을 가지는 것으로 확인되었다. 열매는 박과로, 하늘타리는 주로 구형의 형태를 나타낸 반면, 노랑하늘타리는 주로 타원형의 형태를 보였다.

두 분류군의 뿌리는 모두 방추형 (fusiform) 또는 원추형 (conical)으로 비후된 괴근 (tuberous root)의 형태를 나타내었다 (Fig. 2A, D). 표피는 거칠고, 주피 (periderm)는 세로로 갈라지거나 불규칙한 무늬를 보였으며, 주피를 제거하지 않은 뿌리의 색은 연갈색부터 황갈색까지 다양하게 나타났다. 반면

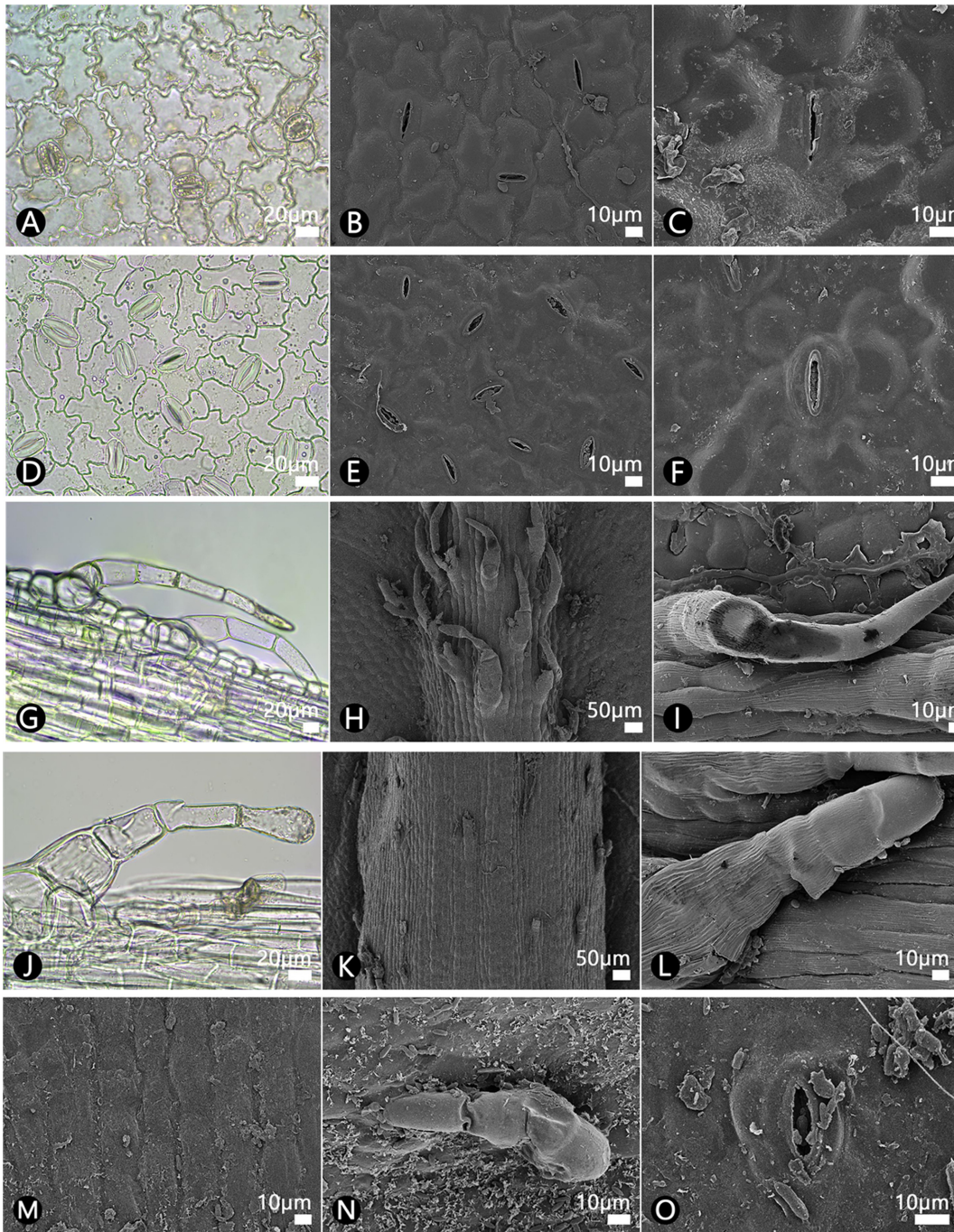


Fig. 3. Light and scanning electron micrographs of leaf micromorphology of *Trichosanthes kirilowii* var. *kirilowii*. A-C; Adaxial epidermis, D-F; Abaxial epidermis, G-I; Adaxial midvein, J-L; Abaxial midvein, M-O; Petiole.

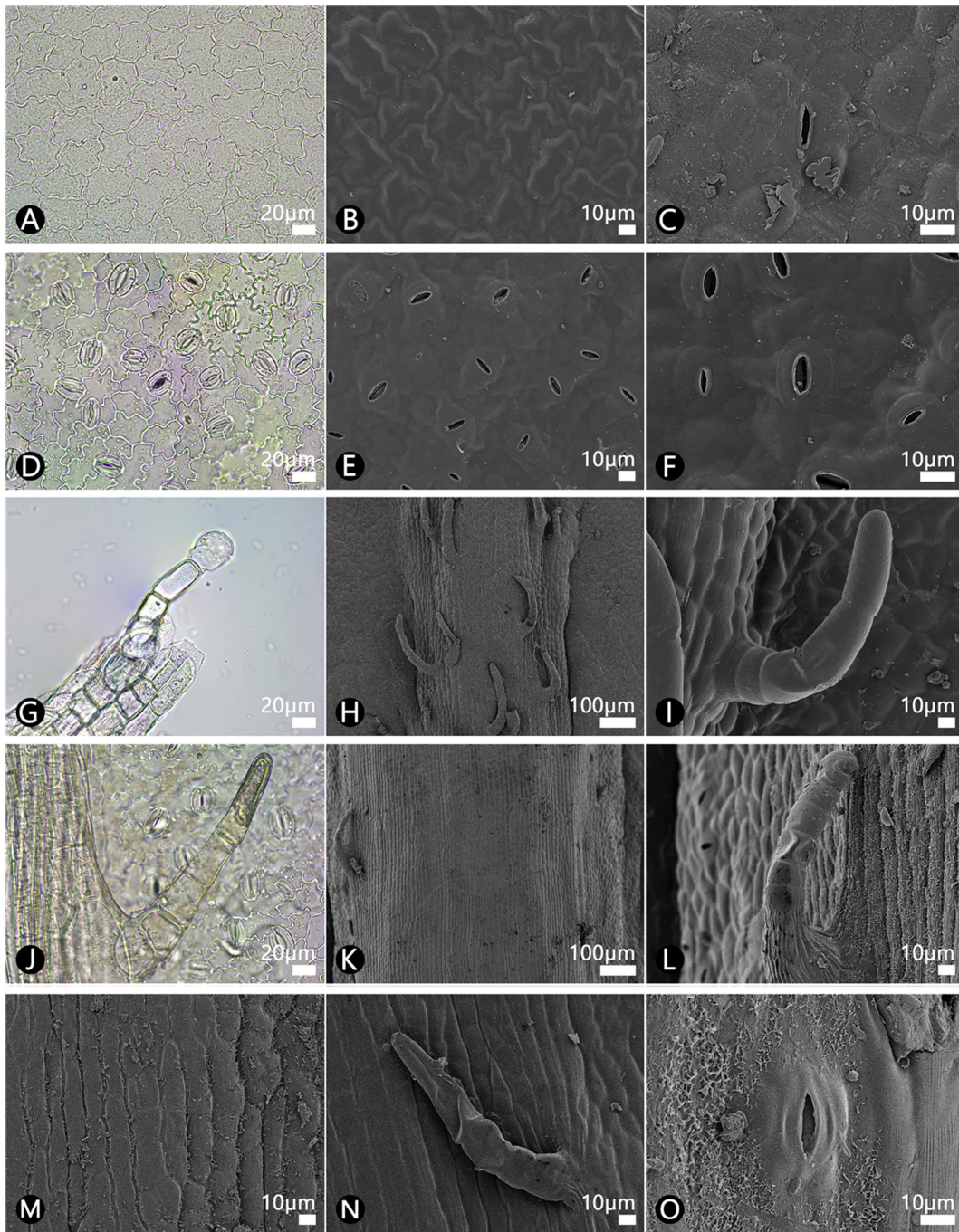


Fig. 4. Light and scanning electron micrographs of leaf micromorphology of *Trichosanthes kirilowii* var. *japonica*. A-C; Adaxial epidermis, D-F; Abaxial epidermis, G-I; Adaxial midvein, J-L; Abaxial midvein, M-O; Petiole.

주피를 제거한 뿌리의 색은 황백색을 띠었다.

한편 뿌리 표면에서는 두 분류군에서 뚜렷한 차이가 관찰되었다. 하늘타리의 경우, 땅속 성장 방향을 기준으로 표면에 백색의 피목 (lenticel)이 가로 방향으로 분포하는 반면, 노랑하늘타리에서는 이러한 구조가 관찰되지 않았다. 이러한 차이는 주

피를 제거한 시료에서도 동일하게 확인되었다 (Fig. 2B, C, E, F).

2. 미세형태학적 형질

광학현미경 및 주사전자현미경을 이용하여 하늘타리와 노랑

하늘타리의 잎 표피 미세형태학적 형질을 관찰하였다.

두 분류군은 잎의 향측면 (adaxial = upper side)과 배측면 (abaxial = lower side) 모두에서 기공복합체 (stomatal complex)가 존재하는 양면기공엽 (amphistomatic leaves)으로 확인되었으며, 기공복합체의 유형은 모두 불규칙형 (anomocytic)이었다 (Table 1; Fig. 3A-F; Fig. 4A-F). 공변세포 (guard cell)의 평균 크기 (길이 × 너비)는 향측면의 경우, 각각 하늘타리에서 $27.50 \times 22.67 \mu\text{m}$, 노랑하늘타리에서 $22.67 \times 14.38 \mu\text{m}$ 로 나타났으며, 배측면의 경우, 하늘타리에서 $26.28 \times 16.97 \mu\text{m}$, 노랑하늘타리에서 $23.05 \times 16.34 \mu\text{m}$ 로 나타났다.

표피세포 (epidermal cell)의 배열 (arrangement)과 형태 (shape)는 두 분류군에서 유사하게 나타났다. 향측면과 배측면 모두에서 표피세포는 등방형 (isodiametric)으로 배열되었으며, 수층벽 (anticlinal wall)은 파상형 (undulate), 병층벽 (periclinal

wall)은 약간 볼록 (slightly convex) 한 형태를 보였다.

모용 (trichome)의 분포 양상에서는 두 분류군 모두 양면의 주맥 (midvein)에서 다세포 단모 (simple multi-cellular trichome)가 관찰되었다 (Fig. 3G-L; Fig. 4G-L). 다만, 노랑하늘타리의 배측면에서는 모용이 산재한 반면, 향측면에서는 중간 밀도로 분포하였고, 하늘타리는 양면에서 모두 중간 밀도로 분포하였다.

엽병 (petiole) 표피세포를 관찰한 결과, 두 분류군 모두 세포는 등방형으로 배열되었으며, 수층벽은 직선형 (straight), 병층벽은 약간 볼록한 형태를 나타내었고, 단세포 단모가 산생하였다 (Fig. 3M-O; Fig. 4M-O).

3. 해부학적 형질

하늘타리와 노랑하늘타리의 잎과 뿌리의 횡단면을 관찰하여 두 분류군의 해부학적 형질을 비교하였다.

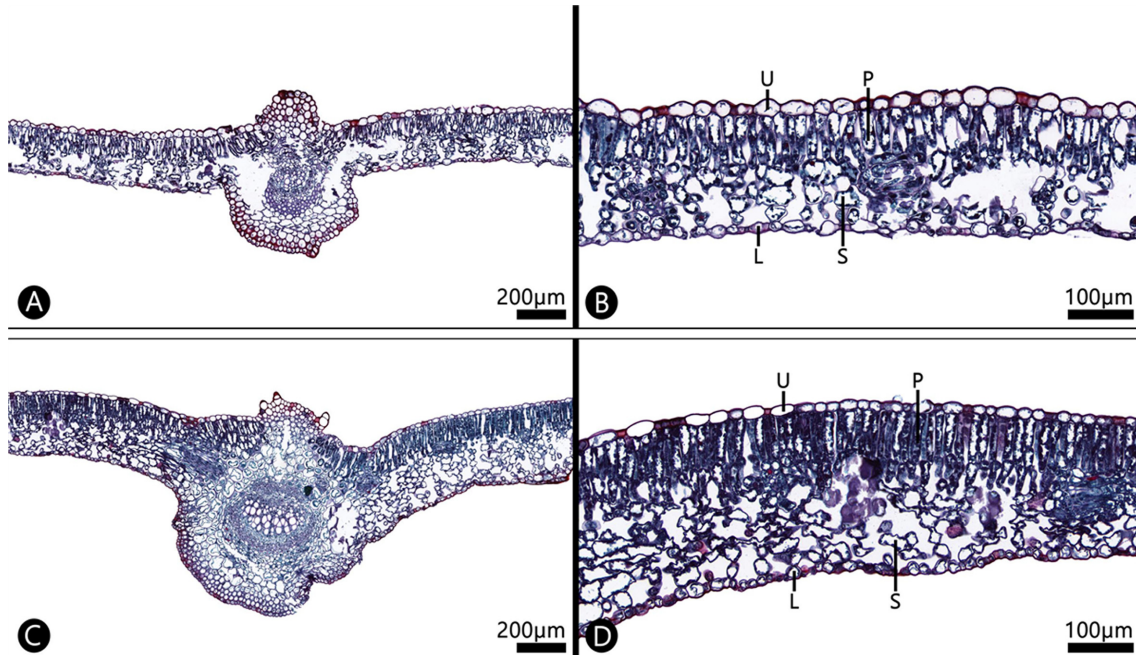


Fig. 5. Leaf cross-sections of *Trichosanthes kirilowii* complex. A-B; *T. kirilowii* var. *kirilowii*, C-D; *T. kirilowii* var. *japonica*. L; Lower epidermis cell, P; Palisade parenchyma cell, S; Spongy parenchyma cell, U; Upper epidermis cell.

Table 2. Comparison of anatomical characteristics between *Trichosanthes kirilowii* var. *kirilowii* and *T. kirilowii* var. *japonica*.

	<i>T. kirilowii</i> var. <i>kirilowii</i>	<i>T. kirilowii</i> var. <i>japonica</i>	<i>P</i> <
Leaf			
Upper epidermal cell area (μm^2)	709.57 ± 262.56	258.98 ± 154.44	0.001
Lower epidermal cell area (μm^2)	369.01 ± 26.35	186.58 ± 33.48	0.001
Number of palisade cell (per 200 μm)	13.85 ± 1.03	20.05 ± 1.82	0.001
Root			
Number of parenchyma cell (per 200 μm^2)	52.33 ± 8.50	37.10 ± 3.61	0.001
Number of starch granule (per cell)	21.60 ± 10.33	10.40 ± 4.92	0.001

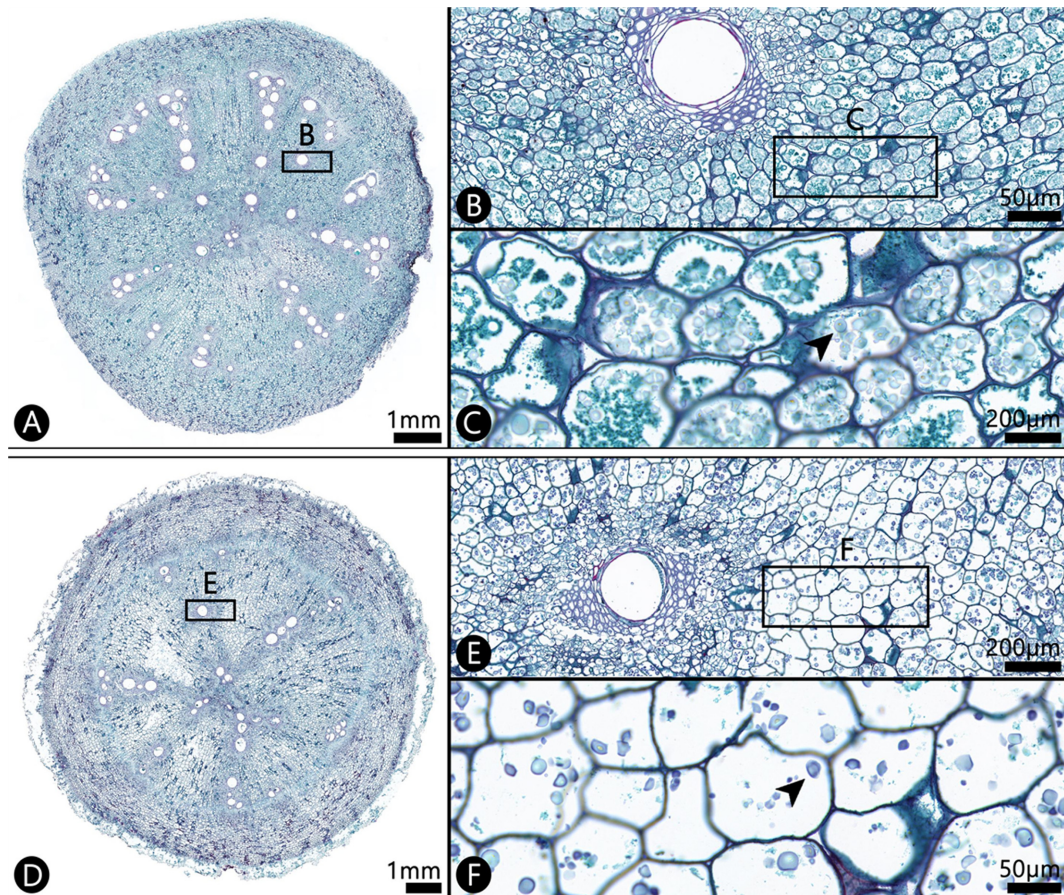


Fig. 6. Root cross-sections of the *Trichosanthes kirilowii* complex. A-C; *T. kirilowii* var. *kirilowii*, D-F; *T. kirilowii* var. *japonica*. Arrows indicate starch granules.

두 분류군의 잎 중륵 (midvein)에서 유관속 (vascular bundle)은 사부 (체관, phloem)가 목부 (물관, xylem)의 양쪽에 위치하는 복병립유관속 (bicollateral bundle)으로 관찰되었다 (Fig. 5A, C). 또한, 잎은 향측면에서 책상조직 (palisade parenchyma tissue), 배측면에 해면조직 (spongy parenchyma tissue)이 발달한 배복성 (dorsiventral)의 엽육구조로 확인되었다 (Fig. 5B, D).

일정 단위길이 (200 μm) 당 책상조직의 평균 개수는 하늘타리에서 13.85개, 노랑하늘타리에서 20.05개로 나타나 노랑하늘타리에서 밀도가 더 높은 것으로 확인되었으며, 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($P \leq 0.001$; Table 2).

한편 상표피와 하표피의 평균 면적은 하늘타리에서 각각 709.57 μm^2 와 369.01 μm^2 , 노랑하늘타리에서 각각 258.98 μm^2 와 186.58 μm^2 로 나타났다. 두 분류군 모두 상표피의 면적이 하표피보다 넓었으며, 하늘타리의 표피 면적이 노랑하늘타리보다 유의하게 큰 것으로 확인되었다 ($P \leq 0.001$; Table 2).

뿌리 해부학적 형질을 관찰한 결과, 두 분류군 모두에서 주피, 유세포, 유관속형성층 (vascular cambium), 방사조직 (ray

tissue), 그리고 2기 목부와 2기 사부가 관찰되었다 (Fig. 6A, D). 두 분류군의 기본적인 뿌리 구조는 유사하였으나, 유세포의 밀도에서 차이가 나타났다.

단위 면적 (μm^2) 당 유세포의 평균 개수는 하늘타리에서 52.33개, 노랑하늘타리에서 37.1개로, 하늘타리에서 유의하게 더 높은 밀도로 확인되었다 ($P \leq 0.001$; Table 2; Fig. 6B, E).

또한 유세포 내 저장물질에서도 차이가 확인되었다. 하나의 유세포에 포함된 전분립 (starch granule)의 평균 개수는 하늘타리에서 21.6개, 노랑하늘타리에서 10.4개로 나타났다 ($P \leq 0.001$; Table 2; Fig. 6C, F).

고찰

본 연구에서는 팔루근의 기원종인 하늘타리와 하늘타리의 동속 근연종인 노랑하늘타리의 외부 형태학적 형질, 잎의 미세형태학적 형질, 그리고 잎과 뿌리의 해부학적 형질을 상세히 분석하고, 각 형질에 따른 두 분류군의 차이를 확인하였다.

외부 형태학적 형질을 관찰한 결과, 하늘타리는 잎의 결각 형태를 기준으로 노랑하늘타리와 명확히 구분되었다. 두 분류군 모두 장상엽의 형태를 나타내었으나, 개화기 및 결실기에 노랑하늘타리는 잎이 대부분 3갈래로 얇게 갈라지는 반면, 하늘타리는 5-7갈래로 비교적 깊게 갈라지는 특징을 보였다. 이러한 결과는 기존의 연구 결과와 일치하며, 해당 형질은 개화기 이전에도 두 분류군을 식별할 수 있는 유용한 형질로 판단된다 (Kim, 2020; Park *et al.*, 2021).

뿌리의 경우, 두 분류군 모두 방추형 또는 원추형으로 비후된 형태를 나타내었으며, 하늘타리의 뿌리 표면에서만 가로 방향의 피목 (껍질눈)이 관찰되었다. 또한 주피를 제거하여 유통 약재인 팔루근과 동일한 상태로 가공한 후에도 피목의 흔적이 확인되었다. 이러한 결과는 대한민국약전, 중화인민공화국약전, 홍콩약전 등 동북아시아 주요 약전과 국내 한약재관능검사해설서에 제시된 외부 성상의 내용과 일치한다 (HKCMS Office, 2011; Chinese Pharmacopoeia Commission, 2020; National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, 2022; Ministry of Food and Drug Safety, 2024). 따라서 본 연구에서는 하늘타리의 뿌리 표면에 피목이 존재하는 반면, 노랑하늘타리에서는 피목이 나타나지 않는 경향성이 확인되었다. 동일 시기와 동일한 환경 조건에서 확보한 다양한 시료를 통해 형질의 일관성을 확인하였으나, 생육 단계 및 지역적 개체 변이에 대한 영향 역시 고려할 필요가 있다. 따라서 향후 다양한 지역의 야생 개체를 포함한 추가적인 분석이 필요하다. 이를 통해 해당 형질의 감별 가능성을 보다 정밀하게 검증해야 하겠다.

주사전자현미경을 이용한 잎 표피의 미세형태학적 형질 관찰 결과, 기공복합체의 분포와 배열, 세포벽의 형태, 모용의 분포 및 밀도 등 대부분의 형질에서 두 분류군 간 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 이러한 잎의 미세형태학적 형질은 주변 환경과 밀접한 연관이 있는 것으로 알려져 있으며, 이를 통해 분류군의 서식 환경을 유추할 수 있다 (Evert, 2006). 다습한 환경에 서식하는 식물의 잎은 일반적으로 이면기공엽 (hypostomatic)이고, 수층벽은 파상형이며, 무모이거나 (glabrous) 모용이 산생 (sparsely pubescent)하는 특징을 보인다. 반면 건조한 환경에 서식하는 건생식물 (xerophyte)은 대체로 양면기공엽을 나타내고, 수층벽은 직선 또는 곡선 형태를 가지며, 모용의 밀도가 높은 것으로 알려져 있다 (Mott *et al.*, 1982; Gifford and Foster, 1989). 본 연구에서 하늘타리와 노랑하늘타리의 잎 표피를 관찰한 결과, 두 분류군 모두 양면기공엽이면서 파상형 수층벽과 중간 밀도의 모용 분포를 나타내어, 다습 및 건조 환경에 대한 적응 형질을 동시에 지니는 것으로 확인되었다. 하늘타리는 한국, 일본, 중국과 같은 온대지역부터 인도, 베트남, 호주 등 열대지역까지 널리 분포하는 것으로 알려져 있다 (Plants of the World Online, 2026). 따라서 하

늘타리는 한국과 일본에만 제한적으로 분포하는 노랑하늘타리에 비해 서식 환경에 따른 잎 표피 형질의 변이 폭이 더 클 것으로 예상된다. 실제로 동일 환경 조건과 지역에 서식하는 두 분류군 간에는 잎 표피의 미세형태학적 형질에서 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 향후 열대 및 아열대 지역의 개체군을 포함하여 연구를 확장할 경우, 잎 표피 미세형질과 서식 환경 간의 상관관계를 보다 명확히 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

디지털 슬라이드 스캐닝을 이용한 잎의 해부학적 형질 관찰 결과, 유관속조직, 표피조직 및 엽육조직 등 주요 조직의 배열 양상이 확인되었다. 본 연구에서는 동일한 환경 조건에서 확보한 시료를 활용하여, 형질 변이가 환경적 요인에 기인했을 가능성을 최소화하고자 하였다. 그 결과, 잎의 해부학적 형질 중 상·하 표피세포의 면적과 책상조직의 밀도에서 두 분류군 간 유의한 차이가 나타났다. 이러한 결과는 잎 표피세포의 크기와 면적이 종간 유의한 변이를 보이며, 기공 형질 및 세포 형태와 함께 종 구분을 위한 유용한 해부학적 지표로 활용될 수 있다는 기존 연구와도 일치한다 (Zhang *et al.*, 2013; Sanusi *et al.*, 2023; Batool *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2025). 특히 상표피 형질은 하표피에 비해 상대적으로 안정성이 높아 분류학적 가치가 큰 것으로 보고되어 있다 (Zhang *et al.*, 2013). 또한 책상조직의 세포 밀도 역시 분류군 간 유의한 차이를 나타내는 해부학적 형질로 확인되었으며, 이는 산분꽃나무속 (*Viburnum* L.)을 대상으로 한 연구에서도 유사하게 보고된 바 있다 (Borsuk *et al.*, 2024). 그러나 책상조직 밀도의 종간 차이는 구조적 변이를 반영하는 중요한 형질인 동시에 기능적 적응과 밀접하게 연관되어 있으며, 서로 다른 구조가 유사한 광합성 성능으로 수렴할 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 해당 형질은 단독적인 분류 기준으로 사용되기보다는 다른 해부학적 및 형태학적 형질과 함께 해석될 필요가 있다 (Borsuk *et al.*, 2024). 비록 영양 형질에서 나타나는 생태적·기능적 요인의 영향을 배제할 수는 없으나, 본 연구에서 확인된 두 해부학적 형질에서는 분류군 간 뚜렷한 차이를 보였다. 다만 향후 보다 다양한 개체를 포함한 분석과 함께 미세컴퓨터단층촬영 (Micro Computed Tomography, Micro-CT)와 같은 3차원 구조 분석 기법을 활용한 정밀한 연구를 통해, 이러한 형질 차이가 종을 구분할 수 있는 진단 형질로서의 유효성을 갖는지에 대한 추가적인 검증이 필요하다.

현재까지 두 분류군의 뿌리에 대한 조직학적 비교 연구는 보고된 바 없다. 본 연구에서는 유세포의 높은 밀도와 세포당 전분립 축적량이 많은 특징을 바탕으로 하늘타리를 노랑하늘타리와 구별할 수 있음을 확인하였다. 또한 모든 시료를 동일 시기와 동일 지역에서 확보한 동일 연령의 개체로 구성함으로써, 생육 단계 및 토양 조건에 따른 변이를 효과적으로 통제하였으며, 이에 따라 해당 형질이 유의한 감별 지표로 활용

될 수 있음을 제시하였다. 다만 하늘타리의 뿌리 무게 및 생체량은 생육 기간과 환경 요인에 따른 저장근 발달과 밀접하게 연관되어 있어, 동일 종 내에서도 높은 변이를 나타내는 것으로 보고된 바 있다 (Ju *et al.*, 2019; Heo *et al.*, 2023). 따라서 이러한 형질의 분류학적 유용성을 보다 명확히 평가하기 위해서는 다양한 생육 조건과 개체군을 포함한 추가적인 검증이 필요하다. 한편, 토양의 비옥도와 생물학적 비료 처리 여부에 따라 뿌리의 건중량과 다당류 (polysaccharides), 단백질 (proteins; trichosanthin) 함량이 달라질 수 있음이 보고된 바 있다 (Jiang *et al.*, 2018). 따라서 두 분류군 간 차이뿐만 아니라, 토양 생태계의 건강성과 재배 뿌리 형질 간의 상관관계를 규명하기 위한 체계적인 후속 연구가 요구된다. 또한 뿌리는 주요 약용 성분의 축적 부위로서, 이러한 생체량의 차이는 기능적 및 산업적 가치와 직접적으로 연관된다. 이에 따라 약용 뿌리의 형성이 본격화되는 3년생 이상의 개체를 대상으로 표본 수를 확대하여, 두 분류군 간 보다 정밀한 비교·분석을 수행할 필요가 있다.

한편, 다중오믹스 (multi-omics) 접근을 통해 하늘타리의 기관별 조직 특이적 대사산물 축적 양상과 약용 성분 생합성에 관여하는 핵심 유전자 및 전사인자를 규명한 연구 (Gao *et al.*, 2026)와 같이, 노랑하늘타리에 대해서도 성분 분석과 효능, 안전성 및 유효성 검증을 포함한 체계적인 연구가 필요하다. 이를 통해 해당 분류군의 기능적 특성을 종합적으로 평가하고, 하늘타리의 대체 자원으로서의 활용 가능성을 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 현미경적 기법을 활용하여 하늘타리와 노랑하늘타리의 다양한 형질을 종합적으로 비교·분석하였다. 그 결과, 외부 형태학적 형질뿐만 아니라 잎의 해부학적 형질 (상·하표피 세포 크기 및 책상조직 밀도)과 뿌리의 조직학적 형질 (유세포 밀도, 세포 당 전분립 함량)의 차이를 통해 두 분류군을 구분할 수 있음을 확인하였다. 특히 일부 핵심 형질은 괄루근의 감별에 유용한 진단 지표로 활용될 수 있음을 확인하였으며, 기원종과 유사종 간의 형태적 차이를 규명하였다. 이러한 결과는 노랑하늘타리를 독립된 종으로 인식한 기존의 분류학적 견해 (Park *et al.*, 2021)를 지지하는 근거를 제공한다. 다만, 관찰된 개체 수가 제한적이므로 본 연구 결과만으로 분류군 간 차이를 명확히 규명하는 데에는 한계가 있다. 따라서 개체 변이의 범위와 형질의 안정성을 보다 정밀하게 평가하기 위해서는 다양한 개체군을 포함한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 형태적 형질에 기반한 감별을 넘어, 뿌리와 종자의 화학분류학적 특성, 성분 분석 및 약리적 효능 평가를 포함한 다각적인 접근이 요구된다. 이를 통해 노랑하늘타리의 괄루근 및 괄루인으로서의 활용 가능성을 보다 명확히 규명하고, 효과적인 재배 기술 확립을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

시료 확보에 도움을 주신 경상남도농업기술원 약용자원연구소 관계자분들께 감사드립니다. 본 연구는 한국연구재단 G-랩 프(LAMP) 사업(Grant No. RS-2024-00445180) 및 SK케미칼 (과제번호: 2024091322)의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ajuru MG and Okoli BE. (2013). Comparative vegetative anatomy of some species of the family Cucurbitaceae Juss. in Nigeria. *Research Journal of Botany*. 8:15.
- Antunes KA, Monteiro LM, Almeida VP, Monchak IT, Perera WH, Heiden G, Guarino ESG, Santos VLP, Farago PV, Raman V, Khan AI and Manfron J. (2023). Authentication and quality control of the Brazilian traditional herb “Espinheira-Santa”(*Monteverdia ilicifolia*) by morpho-anatomy and microscopy. *Microscopy and Microanalysis*. 29:1809-1821.
- Batool T, Zafar M, Elshikh MS, Mustafa AEZMA, Ahmad M, Makhkamov T, Islamov S, Sotiboldiyeva D, Yuldashev A, de Oliveira MS, Majeed S, Bakhramov I and Musthafa MM. (2025). Foliar epidermal micromorphology: A contribution to the taxonomy of family Oleaceae. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 72:1853-1880.
- Byers VS, Levin AS, Waites LA, Starrett BA, Mayer RA, Clegg JA, Price MR, Robins RA, Martin D and Baldwin RW. (1990). A phase I/II study of trichosanthin treatment of HIV disease. *Aids*. 4:1189-1196.
- Chang CS, Kim H and Chang KS. (2014). Provisional checklist of vascular plants for the Korea Peninsula flora(KPF). *Designpost*. Paju. Republic of Korea. p.367.
- Chinese Pharmacopoeia Commission. (2020) *Pharmacopoeia of the People's Republic of China*. 2020 ed. China Medical Science Press, Beijing, People's Republic of China.
- Cooper WE and de Boer HJ. (2011). A taxonomic revision of *Trichosanthes* L.(Cucurbitaceae) in Australia, including one new species from the Northern Territory. *Austrobaileya*. 8:364-386.
- da Silva EM, Magalhaes CDS and Randau KP. (2025). Comparative anatomical, histochemical, and phytochemical characterization of species of the genus *Cucumis* L. *Microscopy Research and Technique*. 88:658-667.
- de Boer HJ, Schaefer H, Thulin M and Renner SS. (2012). Evolution and loss of long-fringed petals: A case study using a dated phylogeny of the snake gourds, *Trichosanthes* (Cucurbitaceae). *BMC Evolutionary Biology*. 12:108. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-12-108> (cited by 2026 Mar 26).
- Eum AH, Kang YC and Song JH. (2025). Study of Distyly and Sexual Dimorphism in *Forsythia koreana*(Oleaceae), which potential alternative resources for Forsythiae Fructus. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 35:91-101.
- Evert RF. (2006). *Esau's plant anatomy: Meristems, cells, and tissues of the plant body: Their structure, function, and development*. Third Edition. John Wiley and Sons. Hoboken. USA.
- Gao H, Li X, Wang C, Li Y, Liu T, Chang N and Li H. (2026).

- Integrated multiomics profiling elucidates the spatiotemporal metabolic dynamics and regulatory networks of the bioactive components of *Trichosanthes kirilowii*. *Frontiers in Plant Science*. 17:1735703. <https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1735703> (cited by 2026 Mar 26).
- Gifford EM and Foster AS.** (1989). *Morphology and evolution of vascular plants*. Third Edition. WH Freeman. New York. USA.
- Godbole SA and Patil MJ.** (2024). Ethnobotanical and pharmacological potential of *Trichosanthes* species. *International Journal For Multidisciplinary Research*. 6:1-12.
- Heo JY, Cho YN, Lee SE, Kim YS and Lee HS.** (2023). Collection and characterization of genetic resources for *Trichosanthes kirilowii* Maxim. Symposium and Annual Meeting of the Korean Society of Medicinal Crop Science. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11465691> (cited by 2026 Mar 26).
- HKCMS Office.** (2011). *Hong Kong Chinese Medicine Medica Standards*(Vol. 9). Department of Health: The Government of Hong Kong Special Administrative Region: Hong Kong, China. p.339-353.
- Jiang CH, Xie HP, Li K, Xie YS, Chen LJ, Wang JS and Guo JH.** (2018). Evaluation of root-knot nematode disease control and plant growth promotion potential of biofertilizer Ning shield on *Trichosanthes kirilowii* in the field. *Brazilian Journal of Microbiology*. 49:232-239.
- Joo SJ, Kim YG and Kang Y.** (2018). A study on propagation of the *Trichosanthes Radix*(*Trichosanthes kirilowii* Maxim. Root) using tissue culture techniques. *Korean Herbal Medicine Informatics*. 6:135-144.
- Joo SJ, Yoon AR, Kim YG, Moon BC, Komakech R and Kang Y.** (2019). *In vitro* propagation of *Trichosanthes kirilowii* Maxim. through nodal segment shoot proliferation. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*. 55:702-709.
- Kim YD.** (2020). Cucurbitaceae Juss. In *Flora of Korea* Editorial Committee (eds.). *Flora of Korea*(Vol. 4a). Dilleniidae: Paeoniaceae to salicaceae. Junghaengsa. Incheon. Republic of Korea. p.69-73.
- Kim K., Kim JH, Cho YH, Kim SS and Kim JS.** (2020). A new distribution record of *Trichosanthes cucumeroides*(Ser.) Maxim. ex Franch. and Sav.(Cucurbitaceae) in Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy*. 50:356-360.
- Kitamura S.** (1943). *Trichosanthes kirilowii* Maxim. var. *japonica* (Miq.) Kitam. *Journal of Japanese Botany*. 19:2.
- Korea Institute of Oriental Medicine.** (2026). *Defining Dictionary for Medicinal Herbs* [Korean, 'Hanyak Giwon Sajeon']. <https://oasis.kiom.re.kr/herblich/hminfo/hbmcod/hbmcodList.do> (cited by 2026 Mar 18).
- Korea National Arboretum.** (2022). *Checklist of Vascular Plants in Korea*(Native Plants). <http://www.nature.go.kr/kpni.index.do> (cited by 2026 Mar 18).
- Kumar N, Singh S and Gupta R.** (2012). *Trichosanthes dioica* Roxb.: An overview. *Pharmacognosy Reviews*. 6:61.
- Lee JH, You IS, Kim SK, Lee KN, Chung WY, Han DS and Baek SH.** (2001). The inhibitory effects of *Trichosanthes kirilowii* root against cadmium induced cytotoxicity(III). *Korean Journal of Pharmacognosy*. 32:15-21.
- Lee JM, Kang YC and Song J-H.** (2025). Comparative study of floral micromorphology from Rosae Rugosae Flos and Rosae Chinensis Flos(Rosaceae). *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 35:298-307.
- Liu W, Xie Y, Zou L, Luo Y and Li L.** (2025). Leaf morphology and taxonomic significance in six *Phalaenopsis* s. l.(Orchidaceae) species from China. *Flora*. 326:152710. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2025.152710> (cited by 2026 Mar 18).
- Lily MP.** (1980). *Medicinal plants of east and southeast asia: Attributed properties*. Massachusetts Institute of Technology Press. Massachusetts. USA. p.118-119.
- Ministry of Food and Drug Safety.** (2024). *The Korean Pharmacopoeia*, 12th ed. Cheongju, Republic of Korea: Ministry of Food and Drug Safety. p.1717.
- Ministry of Health, Labour and Welfare.** (2022). *The Japanese standards for non-pharmacopoeial crude drugs*. Tokyo, Japan: Ministry of Health, Labour and Welfare.
- Miquel FAW.** (1865). *Prolusio Florae Japonicae*. *Annales Musei Botanici Lugduno-Batavi*. 2:69-84.
- Mott KA, Gibson AC and O'Leary JW.** (1982). The adaptive significance of amphistomatic leaves. *Plant, Cell and Environment*. 5:455-460.
- National Institute of Food and Drug Safety Evaluation.** (2022). *The dispensatory on the visual and organoleptic Examination of herbal medicine*. Cheongju, Republic of Korea: Ministry of Korean Food and Drug Safety. p.77-78.
- Park I, Song J-H, Yang S, Chae S and Moon BC.** (2021). Plastid phylogenomic data offers novel insights into the taxonomic status of the *Trichosanthes kirilowii* complex (Cucurbitaceae) in south Korea. *Frontiers in Plant Science*. 12:559511. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.559511> (cited by 2026 Mar 18).
- Plants of the World Online.** (2026). *Trichosanthes kirilowii*. Royal Botanic Gardens, Kew and Missouri Botanical Garden. Available online: <https://powo.science.kew.org/> (accessed on 25 Mar 2026).
- Ram D and Srivastava U.** (1999). Some lesser known minor cucurbitaceous vegetables their distribution, diversity and uses. *Indian Journal of Plant Genetic Resources*. 12:307-316.
- Regel E.** (1869). VI. *Annotations Botanicae*. Index seminum, quae Hortus Botanicus Imperialis Petropolitans pro mutua commutatione offert. *Accedunt Animadversiones Botanicae Nonnullae*. St. Petersburg. 1868:77-92.
- Rugayah EA and de Wilde WJJO.** (1999). *Conspectus of Trichosanthes*(Cucurbitaceae) in Malesia. *Reinwardtia*. 11:227-280.
- Sanusi AS, Aina SA, Ashidi JS, Omotoye O, Johnson A, Agbolade OF and Anuoluwapo O.** (2023). Taxonomic significance of leaf epidermal attributes of some herbaceous species of *Euphorbia* L.(Euphorbiaceae) in Nigeria. *African Scientist*. 24:454-464.
- Schaefer H and Renner SS.** (2011). Cucurbitaceae. In Kubitzki K. (ed.). *The families and genera of vascular plants*(Vol. 10). Flowering plants. Eudicots: Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae. Springer. Heidelberg. Germany. p.112-174.
- Song J-H, Yang S and Choi G.** (2020). Taxonomic implications of leaf micromorphology using microscopic analysis: A tool for identification and authentication of Korean Piperales. *Plants*. 9:566. <https://doi.org/10.3390/plants9050566> (cited by 2026 Mar 18).

- 18).
- Tuya N, Wang Y, Tong L, Gao W, Yu R and Xue L.** (2017). Trichosanthin enhances the antitumor effect of gemcitabine in non-small cell lung cancer via inhibition of the PI3K/AKT pathway. *Experimental and Therapeutic Medicine*. 14:5767-5772.
- Xue Z, Chen G, Zhang D, Guo L, Zheng Y and Zhan Z.** (2023). Herbal textual research on trichosanthis fructus and trichosanthis radix in famous classical formulas. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*. 29:62-74.
- Zhang XX, Zhang HY, Xu WB and Yu SX.** (2013). Leaf epidermal characters and their taxonomic significance in Balsaminaceae, China. *Guihaia*. 33:528-537.