

철쭉나무 (*Rhododendron schlippenbachii*)에 대한 엽상 지의류 *Dirinaria applanata*의 병원성 조사

오순옥 · 고영진¹ · 허재선^{2*}

중국과학원 곤명식물연구소, ¹순천대학교 식물학과, ²순천대학교 환경교육과

Effects of Lichen Colonization of *Dirinaria applanata* on the Death of *Rhododendron schlippenbachii*

Soon-Ok Oh, Young Jin Koh¹ and Jae-Seoun Hur^{2*}

¹Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China

²Department of Plant Medicine, ³Department of Environmental Education, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

(Received on November 28, 2006)

Lichen thalli of *Dirinaria applanata* heavily colonized on the twigs of dead or dying *Rhododendron* trees in Solok island, Jeonnam province in Korea. Pathogenesis of the lichen on the trees was investigated to find out the possibility of lichen as a causal agent. Histological examination of the lichen colonized twigs was attempted with differential staining technique. Lichen-forming fungus colonized only on the surface of bark and there was no direct penetration of fungal hyphae into the plant tissues. Symbiotic algae of the lichen was also examined. The isolated algal cells were inoculated on artificially induced wounds of the healthy trees. Histological examination of the inoculated tissues showed that some algal cells were successfully colonized inside the tissues without any pathogenic symptoms, even 2 months later. The extract of the lichen thalli was also examined using 10% of DMSO solution. Treated tissues showed no pathogenic symptoms, even 4 weeks later. The results suggested that the lichen was not directly involved in the death of the trees.

Keywords : *Dirinaria applanata*, Lichen-forming fungus, *Rhododendron schlippenbachii*, Pathogenesis

지의류는 “곰팡이와 광합성을 하는 공생체의 연합체이며, 특별한 구조를 지닌 지의체(thallus)라는 안정된 생장체를 형성하는 것”이라고 정의되고 있다(Hawksworth, 1988a). 지의류는 단독 생명체가 아니라 종속영양체인 곰팡이(fungi)와 광합성을 통해 먹이를 생산할 수 있는 독립영양체인 녹조류(green algae), 남조류(cyanobacteria) 또는 녹조와 남조 모두 공생 관계를 유지하고 있는 생명체이다. 따라서 조류는 광합성 통해 합성한 탄수화물을 공생 곰팡이에게 건네주고 대신 지의류의 몸체(지의체: thallus)를 이루는 곰팡이는 무기양분과 수분을 조류에게 공급하며 UV와 건조 등과 같은 환경 스트레스로부터 조류세포를 구조적으로 보호하는 서식처 제공 역할을 한다. 이러

한 공생관계는 단독 생활체에 비하여 공생 곰팡이와 조류 모두에게 생존 전략적으로 매우 유리하며, 다른 생물체들이 서식하기 어려운 극한 환경에서도 충분히 장기간에 걸쳐 생존할 수 있는 능력을 발휘하게 한다. 하지만 공생관계 유지를 위하여 곰팡이와 조류는 서로 상대방에 의존적이며 이를 위하여 상대방을 정교하게 제어하는 기작들을 발전시켜 왔다. 따라서 이러한 정교한 제어 기작은 지의류의 대표적인 특징인 매우 낮은 성장률로 대표되며, 지의체의 인공배양이나 공생체들의 단독 인공 배양이 어려운 이유가 되고 있지만 현재까지 이러한 제어 기작들에 대해 정확하게 밝혀진 바가 거의 없다(Ahmadjian, 1993).

지의류를 이루고 있는 지의류형성곰팡이의 95% 이상이 자낭균류에 속하지만, 공생조류와 함께 생활하는 이유 때문에 필요한 영양원을 획득하기 위하여 식물병원성 곰팡이와 같은 기생성을 발휘할 필요가 없으며, 대부분 식

*Corresponding author

Phone)+82-61-750-3383, Fax) +82-61-750-3308

E-mail) jshur1@sunchon.ac.kr

물체에 부착하여 사는 지의류는 식물체에 병원성을 나타내지 않는 것으로 알려지고 있다(Brodo 등, 2001). 식물체에 병원성을 나타내는 지의류로는 유일하게 열대종인 *Strigula complanta*이 보고되고 있다(Smith와 Hawksworth, 1975). 이 지의류는 *Camellia* 식물과 같이 매우 두꺼운 잎 표면에 자라면서, 공생조류와 지의류가 잎 표피(epidermis)를 뚫고 들어가, 큐티클이나 다른 세포 밑에 침입하여 생장함으로써 잎을 갈변시켜 식물체에 병을 유발하는 것으로 알려지고 있다. 하지만 이러한 예외적인 현상도 지의류의 독립적 공생관계를 강조하는 예로 이용될 정도로 지의류의 식물체 비병원성은 일반적인 특징이다. 하지만 자연상태에서 지의류가 부착하여 성장하는 관목이나 교목이 고사하는 것을 종종 관찰할 수 있으며, 이에 대한 해석은 여전히 다양하다. 원인을 정확하게 알 수는 없지만 지의류가 정착하여 성장하는 과정에서 식물체 고사가 발생한다는 가설(Hale, 1983)과, 식물체가 다른 이유로 먼저 고사되기 시작하면서 식물체 잎이 제거되고 따라서 다량의 광을 필요로 하는 지의류가 서식하기 좋은 환경이 제공되어 고사되는 식물에 다량의 지의류가 부착하여 서식하게 된다는 가설(Brodo 등, 2001)이 일반적이다. 따라서 전후관계나 원인에 대해서는 정확히 알지는 못하지만, 식물체 고사와 지의류의 번성이 함께 관찰되는 것은 사실이며, 이러한 전후 관계 규명은 지의류학자 뿐만 아니라, 식물병리학자와 조경업자 및 농민 모두의 관심사가 되고 있다.

본 연구는 지난 수년간 전남 소록도에서 관상용으로 관리되던 철쭉나무들이 고사되기 시작하였고, 고사된 철쭉나무에 다량의 지의류가 정착 번성하고 있다는 보고를 접하고, 철쭉나무의 고사와 지의류의 병원성에 대한 관계 규명을 위하여 실시하게 되었다. 이를 위하여 지금까지 문헌에 보고된 식물병원성 기능 인자에 대하여 조사하기 위하여 지의류형성곰팡이 균사의 식물체 감염 여부, 공생조류에 의한 병원성 여부, 지의체 대사산물에 의한 식물체 피해 여부에 대하여 검증 실시하였다.

재료 및 방법

지의류 채집 및 동정. 본 연구에 이용된 지의류는 2004년 12월에 전라남도 소록도에서 고사된 철쭉나무 가지에서 채집하였으며(Fig. 1) 공시 표본은 한국지의류연구센터 표본실에 보관되어 있다. 공생조류 분리는 채집 후 2일 안에 지의체 선단부 조직을 이용하여 실시하였으며, 상온에서 풍건한 지의체는 -20°C 냉동고에 보관하였다가 지의류 대사물질 추출을 위하여 이용하였다. 지의류 동정

은 일본지의도감(Yoshimura, 1974)의 분류기준에 의하여 형태적 동정을 실시하였다.

병원성 미생물 감염 여부 조사. 지의체가 부착되어 고사된 철쭉나무 가지에서 살균 처리된 면도칼을 이용하여 표면에 부착된 지의체를 제거하고 고사된 철쭉가지를 이용하여 무균 조각으로 다양한 크기의 박편 시료를 제작한 다음, 2% 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액에 1분간 침지시켜 표면 소독을 실시하고 60% 에탄올 용액에 30초간 살균한 후 멸균수로 3회 세척하고 filter paper를 이용하여 건조를 시켰다. 감자한천배지(PDA), 영양배지(NA)와 지의류형성곰팡이 분리 및 배양용 배지인 malt-yeast extract(MY) 배지(Yoshimura 등, 2002)에 각각 치상한 후 20°C에서 배양하면서 PDA와 NA 배지는 7일 후에, MY 배지는 8주 후에 관찰하여 병원성 미생물 출현 여부를 조사하였다.

식물조직염색. 지의류형성곰팡이 균사의 식물체 내 침입 여부를 알아보기 위하여 고사조직의 분별염색을 실시하였다(Dhingra와 Sinclair, 1985). 지의체가 부착되어 자라는 철쭉 가지를 광학현미경으로 관찰하여 마이크로돔으로 조직관찰이 가능한 두께로 잘라서 1% safranin 용액을 1분 동안 처리하고 증류수로 2~3번 세척한 후 picroaniline을 1분 동안 처리하고 증류수로 2~3번 세척한 후 다시 picroethanol(ethanol 0.4% picric acid)을 2~3방울 처리하고 바로 식물 조직 내의 picroethanol을 제외한 여분의 picroethanol을 제거하고 clove oil을 10분 동안 2~3번 교환하여 처리하였다. xylene으로 clove oil을 씻어내고 balsam oil을 처리한 후 광학현미경으로 조직을 관찰하였다.

지의체에서 공생조류 분리. 지의류 공생조류의 병원성 여부를 알아보기 위하여 공생조류의 인공접종을 실시하였다. 이를 위하여 우선 지의체로부터 지의류 공생조류 분리를 실시하였다(Yoshimura 등, 2002). 지의체를 약 1 cm 크기로 잘라낸 후 지의체 표면의 이물질과 부생균들을 제거하기 위하여 2시간동안 흐르는 물로 씻어내고 1% 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액으로 1분 동안 표면 살균한 후 멸균수로 2회 세척하였다. 살균 처리된 지의체 조각을 막자사발에 넣고 3 ml 멸균수를 첨가하여 잘게 부순 후에 지의체 조각을 180 µm, 100 µm 크기의 Nylon Net Filter로 각각 여과하여 100 µm filter에 남아있는 지의체 조각을 해부현미경 하에서 관찰하였다. 조류를 포함한 지의체 조각만을 선별하여 malt-yeast extract(MY)가 함유된 24 well plate의 배지위에 치상하여 18°C의 광상태에서 4주간 배양하였다. 순수 분리된 조류는 계대하여 18°C의 광상태에서 배양하면서 접종원으로 이용하였다.

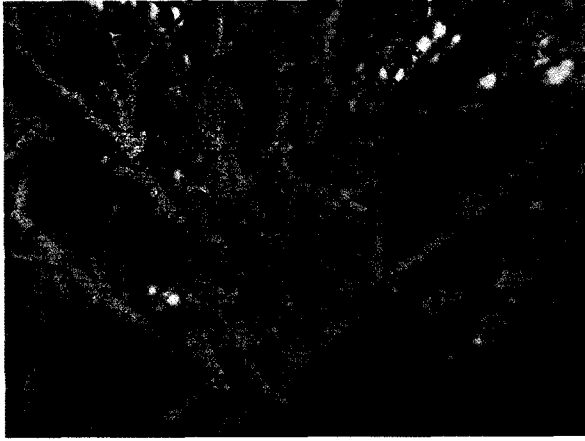


Fig. 1. Dead or dying *Rhododendron* trees colonized by *Dirinaria applanata*. Small thalli of *Parmotrema autrosinense* was also present on the branch (black arrows).

공생조류 접종. 분리 배양된 공생조류를 Bold's basal medium(Yoshimura 등, 2002) 100 ml에 접종하고 2주 동안 18°C에서 12시간씩 광처리를 하면서 110 rpm에서 진탕배양한 후 3000 rpm에서 5분 동안 원심 분리하여 조류 세포만을 회수한 후 1M NH₄Cl buffer에 현탁시켜 공생조류 접종원(10⁵ cells/ml)을 준비하였다. 온실에서 관리한 건전한 철쭉 가지에 3 cm 간격으로 약 0.2 cm 깊이로 침상처를 내고 멸균수로 흠뻑 적신 거즈를 한 겹으로 상처부위를 덮고, 공생조류 접종원을 상처부위 위에 흘러내릴 정도로 충분히 접종한 후, 수분증발 방지를 위해 1% agar에 적신 거즈를 덮고, 충분한 수분이 유지될 수 있도록 비닐을 덮어 3일간 유지한 후 20°C 온실에서 옮겨 60일간 재배하면서 발병 여부와 상처접종부위의 조직 관찰을 실시하였다. 대조구는 1M NH₄Cl buffer만을 접종한 철쭉나무를 이용하였다.

지의체에서 2차 대사산물 추출 및 처리. 지의체가 생성, 분비하는 다양한 대사산물에 의한 식물체 피해 여부를 알아보기 위하여 지의체로부터 지의류 2차 대사산물을 추출하여 처리를 실시하였다. 이를 위하여 풍건된 지의체 5 g에 200 ml acetone을 첨가하여 상온에서 24시간 2회 진탕 추출하여 총 400 ml의 acetone 추출액을 회수 여과한 후(Whatman No. 1), 감압장치를 이용하여 추출액을 농축시켜 농축 잔재물(320 mg)을 회수하였다. 농축 잔재물에 10 ml 10% DMSO로 첨가하여 다시 용해시킨 후 여과 회수한 용액을 최종 처리하여 추출액으로 이용하였다. 대사산물 농도에 따른 피해정도의 차이를 알아보기 위하여 최종 추출액을 1/5로 희석한 추출용액과 최종 추출액을 각각 철쭉 가지의 선단부에 수차례 도포하여 건조시킨 후에 20°C 온실에서 옮겨 30일간 재배하면서 발

병 여부와 처리부위의 조직 관찰을 실시하였다.

결 과

지의류의 동정. 고사된 철쭉나무 가지에 밀착되어 자라는 지의류는 *Dirinaria applanata*로 동정되었다. 이 지의류는 주로 평지의 수목이나 바위에 착생하여 자라는 엽상체 지의류로 회녹색을 띄고 있으며, 기물에 매우 밀착되어 자라고, 지의체 표면에 가루모양의 분아(soredia)가 산재되어 있어 비교적 쉽게 구별이 가능한 종이다(Fig. 1, Fig. 2A). 지의체 열편(lobe)은 함께 자라 하나의 융합된 지의체를 이루며, 가장자리는 방사형으로 뻗어 각 열편이 뚜렷하게 구별되지만 중심부는 정확하게 분지된 모양을 구별할 수 없다. 일본, 오키나와, 대만, 동남아시아 지역에 분포하며, 우리나라의 경우에도 저지대 수목 주간에 부착되어 자라며 흔히 볼 수 있는 종이다. 주요 함유물질

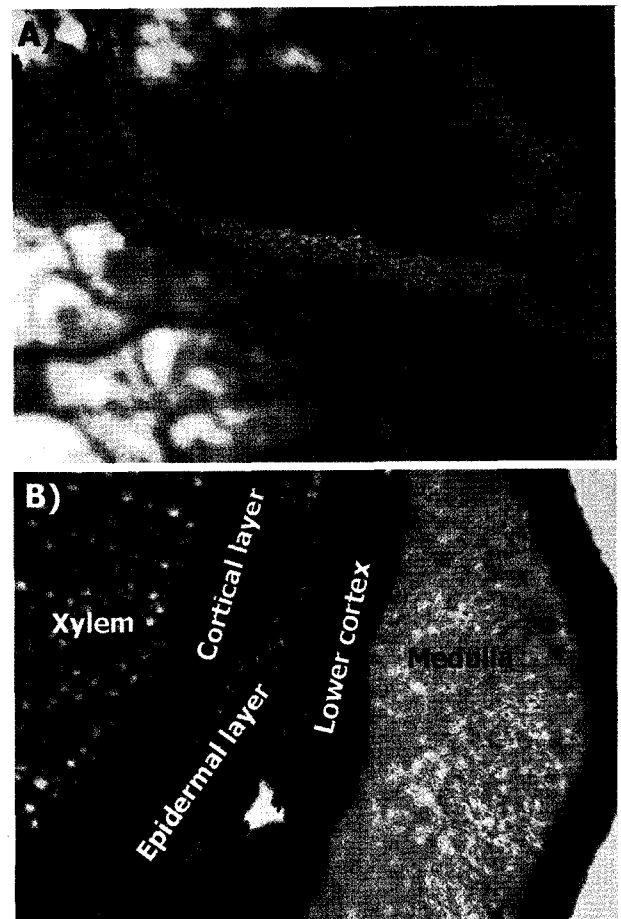


Fig. 2. Lichen-forming fungus of *Dirinaria applanata* colonized on the surface of bark (A). There was no direct penetration of fungal hyphae into the plant tissues (B). (Light blue: fungal hyphae, Red: plant tissue, ×40).

로는 atranorin, divaricatic acid를 지니고 있으며 종종 zeorin을 함유하는 경우도 있다(Yosimura, 1974).

고사 철쭉나무로부터의 병원성 미생물 감염 여부. 표면 살균하여 PDA와 NA 배지에 치상한 철쭉나무 조직으로부터 곰팡이나 세균이 출현하지 않았으며, 지의류형성 곰팡이 분리 배지에 치상한 철쭉으로부터 2개월 경과 후에도 어떠한 곰팡이도 출현하지 않았다.

지의류형성곰팡이 균사의 식물조직 침입 여부. 지의류가 부착되어 고사된 철쭉 조직 부위(Fig. 2A)를 절편하여 분별염색을 실시하여 관찰한 결과, 지의류형성곰팡이 균사의 직접적인 침입을 확인할 수 없었다(Fig. 2B). 일반적으로 곰팡이 균사가 침입한 식물조직을 염색할 경우, 식물 목질부는 붉은색으로, 곰팡이 균사는 파란색으로 달리 염색된다. Fig. 2의 B에서 볼 수 있듯이 지의류가 부착된 식물체 표피 윗부분에 있는 지의류 수층(medulla)의 지의류형성곰팡이는 뚜렷하게 파란색으로 염색되었지만, 지의류의 하피층(갈색층) 밑에 있는 식물체 부위는 뚜렷하게 붉은색으로만 염색되었음을 알 수 있었다. 따라서 지의류가 부착된 식물체 부위에서 지의류형성곰팡이의 균사가 철쭉나무의 수피조직 안으로 직접 침입하지 않았음을 확인할 수 있었다.

지의류 공생조류의 병원성 여부. 지의류 공생조류를 분리, 배양하여 상처 접종한 결과, 공생조류가 식물체 조

직 내로 성공적으로 유입되어 생존하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3A). 하지만 공생조류를 접종한 철쭉에서 2개월이 지난 후에도 식물병이라 진단할 수 있는 뚜렷한 외부 병징을 보이지 않았으며, 접종 부위의 조직에서도 정상 조직과 마찬가지로 뚜렷한 병적인 조직 변화가 관찰되지 않았다(Fig. 3B).

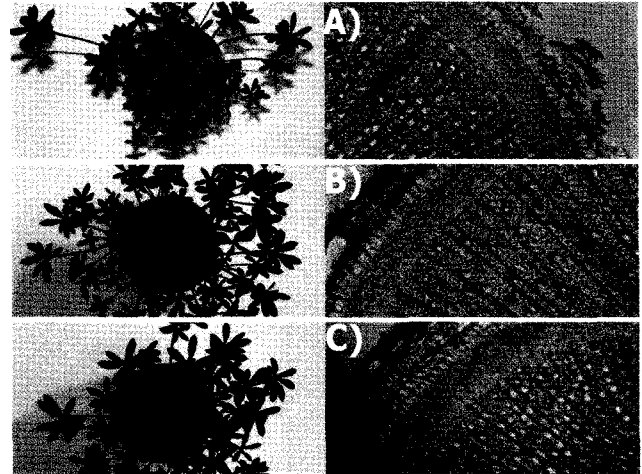


Fig. 4. Rhododendron trees (left) and tissues examined by light microscopy (right) treated with DMSO (control) (A), diluted (B), and concentrated lichen extract (C). Lichen extract-treated trees and tissues showed no distinctive symptoms or pathogenic damages. Magnification= ×40.

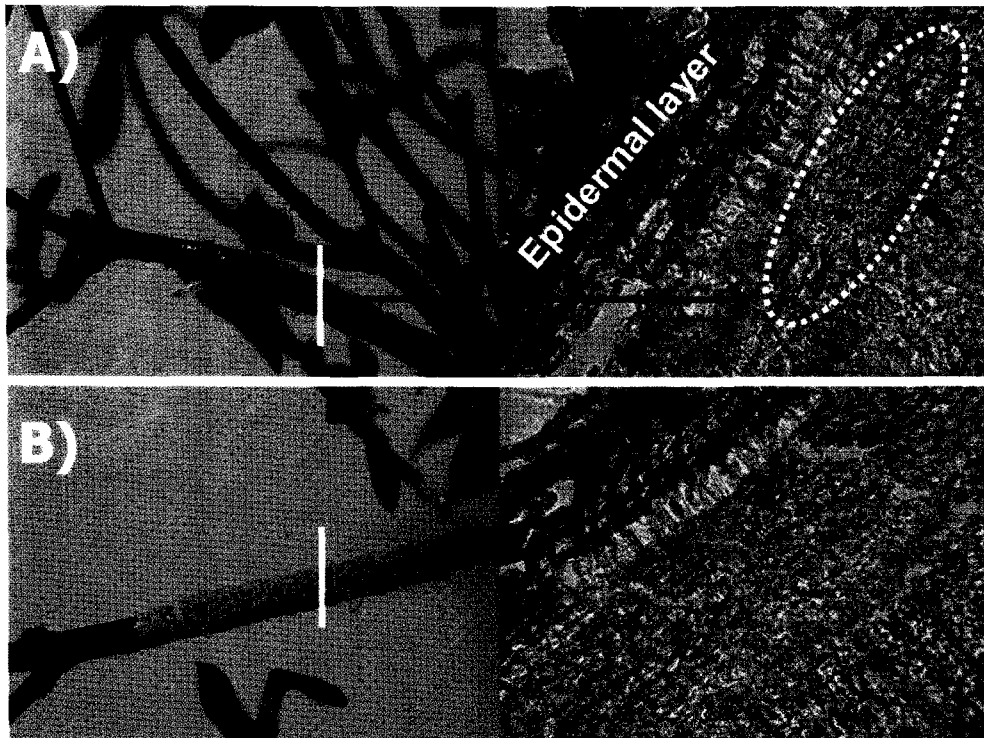


Fig. 3. Histological examination of the inoculated tissues showed that some algae cells successfully colonized inside the tissues without any pathogenic symptoms even, 2 months later (A: algal cell inoculated, B: control, ×40).

지의류 대사산물에 의한 식물체 피해 여부. 지의류 대사산물에 의한 식물체 피해 여부를 알아보기 위하여 지의류 추출액을 제조하여 처리한 결과, 처리농도에 상관없이 처리된 부위에서 1개월이 경과한 후에도 외관상으로 식물병이라고 진단할 수 있는 뚜렷한 병징이 나타나지 않았으며, 처리 조직을 관찰한 결과 대조구 식물체 조직과 별다른 차이를 보이지 않았다(Fig. 4A, B, C).

고 찰

지금까지 지의류가 식물체에 기생을 하거나 피해를 유발하는 것으로 알려진 사례는 그리 많지 않다. 열대나 아열대의 다양한 관속식물 잎 표면에 부착하여 살고 있는 지의류들이 식물에 피해를 유발한다고 알려져 있지만, 이 경우에도 지의류형성곰팡이에 의한 피해라기보다는 공생조류인 *Cephaleos*와 *Phycopeltis* 속에 속하는 사상성 녹조류가 비공생 상태로 잎 표면에서 이상 증식하여 큐티클층이나 책상조직과 같은 그 이하의 세포층으로 침입하여 성장함으로써 식물체에 피해를 유발하여 식물병원성 생물체로 간주되고 있다(Hawksworth, 1988b; Smith와 Hawksworth, 1975). 본 조사에서도 지의류가 번성하여 왕성하게 자라고 있는 식물체 조직을 살펴 본 결과, 식물체 내로의 지의류형성곰팡이가 균사의 직접적인 침입을 확인할 수 없었으며, 지의류 공생조류를 상처 접종한 결과에서도 식물체 조직 내에 공생조류가 서식하고 있음에도 불구하고 뚜렷한 병징을 살펴 볼 수 없었다. *D. applanata* 지의류의 공생조류는 *Trebouxia* 속에 속하는 전혀 다른 조류이며, 지의류 정착 부위가 잎이 아닌 가지라는 점에서도 공생조류가 자연적으로 침입하여 병을 일으키기에는 물리적으로 어렵다는 것을 추정해 볼 수 있다. Hale(1983)은 식물체 표면에 부착하여 서식하고 있는 지의류가 식물체 피해를 유발할 수 있다고 하였는데, 그에 의하면 왕성하게 성장하는 수목의 코르크층(cork)이나 피층(cortex) 안으로 지의류의 무수한 가근(rhizines)들이 침입할 수 있으며, 이럴 경우 지의류 균사가 피목(lenticle)을 차단하고 코르크층을 수평으로 갈라지게 함으로써 수목 표피에서의 공기 교환을 증가시켜 간접적으로 코르크 세포를 두껍게 함으로서 궁극적으로 수분 손실이 증가하고 결국 식물체가 왜소해지고 피해를 받게 된다는 것이다. 하지만 *D. applanata* 지의류는 가근이 없으며 하피층이 정착 부위인 식물체 표면에 단단히 밀착되어 있기 때문에 이 경우에도 지의류에 의한 철쭉나무의 고사를 충분히 설명할 수 없다. 따라서 철쭉나무의 고사가 적어도 지의류의 생물적 요인인 지의류형성곰팡이와 공생조류에 의한 직접적인 피

해 가능성은 매우 희박하다고 할 수 있다.

지의류에서 생성되는 1차, 2차 대사산물들은 약리적 작용이 뛰어난 것으로 알려지고 있으며, 대표적으로 usnic acid와 같은 탄닌 성분들은 항균작용이 매우 우수한 천연 물질로 밝혀졌다. 또한 미국 농무부 농업연구소(ARS)는 최근 연구결과 usnic acid가 카로티노이드 합성을 억제함으로써 새로운 천연물 제초제로 이용 가능하다는 보고를 하였으며, 이러한 지의류 탄닌 성분들은 항히스타민, 항바이러스, 항세균 활성도 높은 것으로 알려지고 있다(Ingólfssdóttir, 2002). 이러한 화합물의 대부분은 지의류만이 가지고 있으며 주로 지의류형성곰팡이가 합성하는 것으로 알려지고 있다(Elix 등, 1984; Galun와 Shomer-Ilan, 1988). 지의류 물질은 종자 발아를 억제하거나 수목의 관속조직으로 유입되어 피해를 유발할 수 있다고 알려지고 있지만, 대부분 난용성이기 때문에 수목의 관속조직에 유입되어 피해를 일으키는 것은 거의 불가능할 것으로 여겨진다(Brodo 등, 2001). *D. applanata*의 지의류 주요 물질인 atranorin과 divaricatic acid의 경우, 물에 대한 용해도 매우 낮고, 항균활성이나 기타 생리활성이 거의 없는 것으로 알려지고 있다(Kristmundsdóttir 등, 2005). 실제로 지의류 추출액을 DMSO에 녹여 식물체 표면에 처리한 경우에도 특별한 병징이나 조직의 변화가 관찰되지 않았기 때문에 지의류 대사물질이 철쭉의 고사에 관여하였을 가능성도 매우 희박할 것으로 여겨진다.

본 연구의 실험적인 결과로 지의류가 직접적으로 식물병을 일으키는 것으로 보기는 어렵다는 결론을 낼 수 있었다. 경험적으로 원인이 무엇이든지 간에 건강한 나무에 비하여 죽었거나 죽어가는 나무에 지의류가 더욱 왕성하게 정착하고 성장하는 것이 일반적으로 관찰되는 현상이며, 이는 아마도 지의류에 의한 직접 또는 간접적인 피해의 결과라기보다는 병든 나무나 고사한 나무에서 잎의 손실이 심해지고 결과적으로 채광에 더욱 유리하여 더 많은 광이 식물체 표면에 도달함으로써 지의류의 성장을 촉진시킨 결과로 해석하는 것이 더 합리적일 것 같다. 죽은 나무의 수피가 살아있는 나무의 수피보다 훨씬 느리게 떨어져 나오기 때문에 지의류에게는 더욱 유리한 정착 부위로 작용한다(Brodo 등, 2001). 그러나 Hale(1983)의 가설처럼 철쭉나무의 줄기에 부착하여 지의류가 성장함에 따라 철쭉나무의 표피에 물리적 압박을 가하게 되고 왕성하게 성장을 거듭한 지의류가 철쭉나무의 상단부에 있는 잎까지 뒤덮어 버림으로써 철쭉나무는 줄기에서 2차 성장과 앞에서 광합성을 방해받아 고사하게 되었을 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 본 연구에서 철쭉나무의 고사의 원인 규명을 위해 시도하였던 지의류의 생물학적,

화학적 요인의 관련성은 극히 낮을 것으로 판단되며, 정확한 인과관계 규명을 위해서는 앞으로 생태학적 및 생리학적 측면에서 지의류와 식물체의 상호작용에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

요 약

지난 수년간 전남 소록도에서 관상용으로 관리되던 철쭉나무들이 고사되기 시작하였고, 고사된 철쭉나무에 다량의 지의류가 정착 번성하고 있다는 보고를 접하고, 철쭉나무의 고사와 지의류의 병원성에 대한 관계 규명을 위하여 본 조사를 실시하게 되었다. 이를 위하여 지금까지 문헌에 보고된 식물병원성 가능 인자에 대하여 조사하기 위하여 지의류형성곰팡이 균사의 식물체 감염 여부, 공생조류에 의한 병원성 여부, 지의체 대사산물에 의한 식물체 피해 여부에 대하여 검증을 실시하였다. 지의류가 정착된 철쭉나무 가지를 절편하여 분별염색을 실시하여 조직을 관찰한 결과, 고사된 조직 내에 지의류형성곰팡이 균사의 직접적인 감염을 확인할 수 없었으며, 공생조류를 분리하여 인위적으로 접종한 결과, 공생조류가 식물체 조직 내에서 생존하고 있음에도 불구하고 뚜렷한 병발생이나 병징이 나타나지 않았다. 지의류 대사물질에 의한 식물조직의 피해를 알아보기 위하여 지의류 추출액을 처리한 결과에서도 뚜렷한 병징 발생 유도나 조직 피해가 관찰되지 않았다. 따라서 본 실험 결과로 지의체가 직접적으로 식물병을 일으키는 것으로 보기는 어렵다는 결론을 낼 수 있었으며 식물체 고사와 지의류의 번성간의 인과관계에 대한 고찰을 하였다.

감사의 글

본 연구는 과기부 유전자원지원활용사업(Grant M10508 050002-06N0805-00212)의 연구비 지원으로 수행된 것이기에 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- Ahmadjian, V. 1993. *The Lichen symbiosis*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 1-7.
- Brodo, I. M., Sharnoff, S. D. and Sharnoff, S. 2001. *Lichens of North America*. Yale University Press, New Haven and London. pp. 54-61.
- Dhingra, O. D. and Sinclair, J. B. 1985. *Basic Plant Pathology Methods*. CRC Press, Inc. Florida, USA. pp. 274-275.
- Elix, J. A., Whitton, A. A. and Sargent, M. V. 1984. Recent progress in the chemistry of lichen substances. *Progress in the Chemistry of Organic Natural Products* 45: 103-224.
- Galun, M. and Shomer-Ilan, A. 1988. Secondary metabolic products. In: *CRC Handbook of Lichenology Vol. III*, ed. by M. Galun, pp. 3-8. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Hale, M. E., Jr. 1983. *The Biology of Lichens*. Edward Arnold, Baltimore, USA. pp. 137-138.
- Hawksworth, D. L. 1988a. The variety of fungal-algal symbioses, their evolutionary significance, and the nature of lichens. *Botanical Journal of the Linnean Society* 96: 3-20.
- Hawksworth, D. L. 1988b. Effects of algae and lichen-forming fungi on tropical crops. In: *Perspectives of Mycopathology*, ed. V. P. Agnihotri, K. A. Sarbhoy and D. Kumar, Malhorta Publishing House, New Delhi. pp. 76-83.
- Ingólfssdóttir, K. 2002. Molecules of interest: usnic acid. *Phytochemistry* 64: 729-736.
- Kristmundsdóttir, T., Jónsdóttir, E., Ögmundsdóttir, H. M. and Ingólfssdóttir, K. 2005. Solubilization of poorly soluble lichen metabolites for biological testing on cell lines. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 24: 539-543.
- Smith, A. L. and Hawksworth, D. L. 1975. *Lichens*. Richmond Publishing Co. Ltd., Richmond, England. pp. 269-270.
- Yoshimura, I. 1974. *Lichen flora of Japan in color*. Hoikusa publishing Co. Osaka, Japan.
- Yoshimura, I., Yamamoto, Y., Nakano, T. and Finnie, J. 2002. Isolation and culture of lichen photobionts and mycobionts. In: *Protocols in lichenology: culturing, biochemistry, ecophysiology and use in biomonitoring*, ed. by I. Kranner, R. P. Beckett and A. K. Varma, pp. 3-33. Springer-Verlag, New York.