

NIE Issue Brief

NIE IB 17-02(통권 5호) 2017년 1월 31일 | 발행처 : 국립생태원 | 발행인 : 이희철 | www.nie.re.kr

식물을 살리는 내생균 : 생태적 복원을 향한 내생균의 생물다양성 연구

국립생태원 생태연구본부 생태기반연구실 어 주 경

1. 들어가며

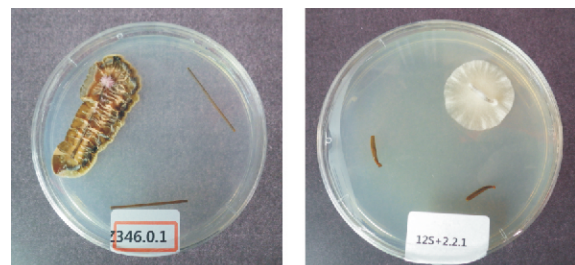
내생균(endophytic fungi)은 식물체 내에 존재하고 있으며, 일정기간 동안 어떠한 병증도 유발하지 않는 균류다. 이들은 모든 관속식물에 분포하고 있으며, 숙주식물(host plant)과 다양한 관계를 맺는다. 건조 등 환경스트레스에 대한 저항성 향상, 2차 대사산물(secondary metabolite) 생성을 통해 초식동물의 먹이활동에 대한 저항성 증가 등으로 식물의 생장에 긍정적인 역할을 한다. 내생균은 식물체가 분포하는 모든 지역, 모든 환경에 존재할 수 있다. 이들은 유성생식(sexual reproduction)과 무성생식(asexual reproduction)을 통해 번식해왔으며, 오랜 시간을 통해 숙주식물과 특이적인 진화적 관계를 형성했다.

2. 내생균의 생태

균계(Kingdom fungi)는 식물계(Kingdom plant)에 비해 풍부한 생물다양성을 보인다. 학자에 따라서는 내생균만으로도 현재 식물계의 종(species) 수 추정치를 상회한다고 본다¹⁾. 내생균의 생물다양성은 숙주식물의 지리적 분포 이상의 다양한 생태적 지위(ecological niche)를 점유하면서 발생한다.

내생균의 분포에 영향을 주는 요인은 강수량, 고도 그리고 숙주식물 존재 여부 등이다²⁾. 강수량과 고도는 지리적인 원인으로 강수량이 높은 지역은 지리적으로 저위도다. 숙주식물은 생물적 원인으로 숙주식물에 비특이적인 균과 특이적인 균이 존재한다. 고유한 식물 종에서 새로운 내생균들이 지속적으로 발견된다. 따라서 고유종과 공생하는 내생균 연구에 관심이 많다. 위에 언급한 지리적인 원인과 생물적인 원인을 모두 고려한다면, 열대지역이나 아열대지역의 고유종과 공생하는 내생균에 대한 연구가 중요해진다. 이 외에도 내생균의 생물다양성에는 단기적인 기상현상이나 서식처의 교란, 오염물질, 숙주식물 주변의 식물상 등이 영향을 미친다.

3. 내생균의 형태적 다양성



〈그림〉 침엽에서 분리·배양 중인 내생균

1) Cannon, 1997b. Diversity of the Phyllachoraceae with special reference to the tropics. In: Hyde KD, ed. Biodiversity of Tropical Microfungi. Hong Kong: Hong Kong University Press. 255-278.

2) Saikkonen K. 2007. Forest Structure and Fungal Endophytes. Fungal Biology Reviews 21(2-3):67-74.

형태적 다양성은 눈에 보이는 형태형질에 대해서 즉각적이고, 직관적으로 확인할 수 있기 때문에 인류 역사 초기부터 발생한 개념이다. 그러나 이를 위해서는 관심 있는 분류군³⁾에 대한 지식과 형태 변이에 대해 경험적 체득이 필요하다. 균류(fungi)에 있어서는 특히, 미시적인 특징을 관찰해야 하고, 자연으로부터 분리·배양할 수 있는 기술이 필요하기 때문에 동·식물에 비해서 연구가 더디다.

내생균은 크게 자낭균(Ascomycota)⁴⁾과 담자균(Basidiomycota)⁵⁾으로 구성되어 있다. 자낭균은 약 65,000 종이, 담자균은 약 32,000 종이 보고되었으나 분류학적인 계급 설정과 기재는 미완성이다. 자낭균에서는 Dothideomycetes(약 19,000 종)가 종 다양성이 가장 높으며, 담자균에서는 Agaricomycetes(약 21,000 종)가 종 다양성이 가장 높다⁶⁾. 현재에도 분류체계는 불완전하기 때문에 균류를 분리·배양하기 위해서 온·습도 등의 조건과 함께 양분의 공급 등을 제어하여 포자 형성을 자극한다.

균류에 있어서 생식형질인 포자의 형성 유무가 형태적 종 동정(identification)에 있어서 매우 중요하다. 내생균에는 포자를 형성하지 않는 그룹(mycelia sterilia)에 대한 처리가 중요하다. 연구결과에 따라 다르지만, 약 11~54% 정도의 비율로 mycelia sterilia가 발견된다⁷⁾. 형태적 종 동정에서 mycelia sterilia는 어떠한 분류학적 계급도 부여되지 않는다. mycelia sterilia에는 형태형(morphotype)이라 개념이 도입됐고, 이들을 결정할 수 있는 기준도 제시되고 있

다. 모든 형태형질이 각각의 형태형들을 구별하기에는 충분치 않기 때문에 분자생물학적인 방법과 결합되어야만 하나의 분류군으로 범주화할 수 있다⁸⁾.

4. 내생균의 유전적 다양성

최근 분자생물학적인 방법의 발전은 현재까지 알려진 균계의 형태적 다양성 보다 더 풍부한 유전적 다양성과 새로운 종의 발견을 시사한다. 균류에서는 분자적 종 동정을 위해 rDNA 지역을 사용한다. Internal transcribed spacer(ITS) 지역은 현재까지 유력하게 사용된다. 그 외에도 cytochrome c oxidase 1 gene(CO1), beta-tubulin 2 gene(tub2), RNA polymerase II gene(RPB2) 등이 종 간이나 종 이하 분류군을 동정하는데 유용하다.

미생물 연구에서 분리·배양을 통한 전통적인 방법은 전체 미생물의 1~3%만 규명할 수 있다. 이는 내생균에 있어서도 동일하다. 따라서 배양되지 않는 내생균에 대한 접근도 요구된다. 배양되지 않는 내생균에 대해서 클로닝(cloning)⁹⁾이나 denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE)¹⁰⁾ 또는 차세대 염기서열 분석(next generation sequencing, NGS)¹¹⁾ 등을 통해 균의 전체 군집구조를 알 수 있다. 이를 통해 전통적인 방법에 비해 압도적으로 다양한 내생균이 숙주식물과 공생한다는 결과를 볼 수 있다. 특히, 차세대 염기서열 분석을 통해서 배양되지 않는 내생균에 대해서 분자생태학적인 모니터링이 가능하며, 내생균과 환

3) 생물의 분류단위로 다른 생물들과 구분되는 동일 생물군

4) 자낭 속에 포자를 형성하는 균류

5) 담자기에 포자를 형성하는 균류

6) Petersen J. 2013. The Kingdom of Fungi, Princeton University Press, 18-23.

7) Fisher J, Petrini O, Petrini E, Sutton C. 1994. Fungal endophytes from the leaves and twigs of *Quercus ilex* L. from England, Majorca and Switzerland. New Phytologist, 127(1):133-137.

8) Lacap D, Hyde K, Liew E. 2003. An Evaluation of the Fungal 'Morphotype' Concept based on Ribosomal DNA Sequences. Fungal Diversity 12:53-66.

9) 미량의 유전자를 대장균 내 벡터(vector)에 삽입하여 복제하는 기술

10) 유전자 증폭산물을 아크릴아마이드 겔 상에서 변형시켜 증폭산물의 분리능을 향상시킨 전기동영의 한 방법

11) 차세대 염기서열 분석이라고도 하며, 목표하는 환경 내 모든 유전자를 증폭·병렬 처리하여 대량의 염기서열을 동시에 분석하는 방법

경 그리고 숙주식물 간에 어떠한 생태적 기능이 수행되는지 보다 실제적인 해석을 할 수 있다.

5. 내생균의 기능적 다양성

식물과 내생균의 관계는 매우 복잡적이다. 내생균은 숙주식물의 생장을 촉진하거나 숙주식물을 가해하는 초식 동물에 대해 방어하기도 하지만 오히려 숙주식물의 생장을 방해하거나 내생균 그 자체가 숙주식물에 따라 병원성을 발휘하는 등 그 범위가 매우 넓다.

최근의 연구들은 내생균이 숙주식물에 미치는 영향이 “식물 종-내생균 복합체”에 따라 다르다고 한다. 특정 식물에서는 생장을 촉진하는 내생균이 다른 식물 종에서는 병원균이나 중립적인 존재로 나타난다. 따라서 내생균은 일정 수준의 숙주특이성이나 선호(Preference)현상이 있다고 본다.

일반적으로 식물은 초본과 목본으로 나누어진다. 내생균과 숙주식물 관계는 생활사를 고려하여 진화적 관점에서 파악해야 한다. 초본의 경우 곤충과 같거나 곤충보다 빠른 생활사를 전개하기 때문에 숙주식물의 빠른 대응이 가능하다. 따라서 단기간에 새로운 유전형질을 산포하여 초식 동물의 먹이활동이나 병원균에 적응할 수 있다. 결과적으로 초본성 숙주식물은 단기간에 다양한 유형과 집단으로 발전할 수 있으며, 내생균은 태생적으로 발달하여 적응·산포된다.

목본의 경우 생활사가 초식 동물이나 병원균에 비해 대단히 길다. 한 개체의 생활사가 마무리되어 다음 개체로 유전형질이 전달되는 게 매우 더디다. 그렇기 때문에 초식 동물이나 병원균의 진화속도를 따라잡을 수 없다. 따라서 초본과는 달리 균과 공생하는 전략을 택했으며, 생태적인 상호작용이 필요했다. 특히, 균과의 상호작용

으로 초식 동물이나 병원균의 침입을 저지할 수 있는 2차 대사산물이나 저항성 등을 획득한 것으로 보인다. 따라서 동일한 내생균이라 하더라도 초본이나 목본에서 그 역할과 기능이 다르다. 그리고 숙주식물이 어떠한가에 따라 내생균이 생산하는 2차 대사산물의 종류나 양 등이 다를 수밖에 없다¹²⁾.

6. 내생균과 식물의 건강

내생균은 환경과 숙주식물 등에 따라서 생물다양성에 차이가 있다. 내생균과 숙주식물 간의 복합체는 형태적·유전적·기능적 다양성의 바탕이며, 진화적 적응의 산물이다. 지금까지 내생균 연구의 경향과 3가지 측면에서 생물다양성을 살펴보았다.

목본에 있어서 전 세계적인 산림쇠퇴가 발생하고 있다. 수목의 쇠퇴는 잎의 손실, 산림밀도의 감소 등 전반적인 생장과 활력 감소를 의미한다. 그 일례는 우리나라 고유종이자 기후변화 취약종인 구상나무(*Abies koreana* E. H. Wilson)이다. 특히, 동절기의 건조에 의한 수분스트레스의 증가와 그로 인한 고사가 주요 현상이다. 즉, 광합성에 필요한 수분공급이 제한되어 발생한 수분스트레스가 고사로 이어진다.

내생균은 초식 동물의 먹이활동이나 병원균을 억제하여 식물체를 보호하고 다른 식물 종과 생존경쟁에서 우위를 점하게 한다. 수분스트레스에 대한 저항성(건조 저항성)도 보고되고 있다. 따라서 생태적 복원에 우수한 내생균을 분리·배양 그리고 연구·선발하는 것은 건강한 구상나무를 복원하기 위해 필요한 선결과제이며, 진화적 관점에서도 매우 타당한 방법이다.

끝으로 고유종이나 희귀종을 복원하려는 노력은 지속적으로 이루어져 왔으나, 식물의 건강에 유용한 균류를 이용한 생태적인 복원은 거의 없었다. 따라서 우수한 내

12) Saikkonen K, Wali P, Helander M, Faeth H. 2004. Evolution of endophyte-plant symbioses. Trends in Plant Science 9(6):275-280.

생균 균주에 대한 연구를 통해 구상나무 등
국민적 관심 수종에 대해 생태적 복원을 수
행하는 것은 국립생태원에서 수행해야 할
주요 사명이라고 할 수 있다.