

## 송이 菌環의 發達에 따른 土壤의 理化學的 特性과 脫水素酵素의 活性 變化<sup>1\*</sup>

許泰鐵<sup>2</sup> · 朴 賢<sup>3</sup> · 鄭鎮炫<sup>3</sup> · 朱城賢<sup>2</sup>

### Changes in Soil Physicochemical Properties and Dehydrogenase Activity by the Formation of Fairy Ring of *Tricholoma matsutake*<sup>1\*</sup>

Tae-Chul Huh<sup>2</sup>, Hyun Park<sup>3</sup>, Jin-Hyun Chung<sup>3</sup> and Sung-Hyun Joo<sup>2</sup>

#### 요 약

송이산의 관리는 송이 균환의 환경관리를 의미한다. 따라서, 송이산의 관리는 송이 균환부를 건강하게 유지시키는 방법에 대한 집중적인 연구를 요구하며, 아울러, 균환부 생태계 내의 실질적인 활성을 평가하는 연구가 요구된다. 본 연구는 송이 균환부를 송이균의 통과 여부에 따라 균환 통과부, 균환부, 균환 예정지의 3개 지역으로 구분하여 토양의 이화학적 특성과 탈수소효소 활성에 차이가 있는지를 조사, 고찰한 것이다. 송이 균환의 발달에 따라 토양내 양이온의 함량은 뚜렷한 변화가 없었지만, 유효인산이나 탄소, 질소의 함량은 균환부와 균환 예정지 사이에 차이가 인정되었다. 또한, 송이 균환부 탈수소효소의 활성도는 일반 성숙토양에 비하여 훨씬 낮아 송이 균환부는 성숙도가 낮으며 유기물이 적은 토양에 발달됨을 알 수 있었다. 따라서, 송이산의 관리가 실질적으로는 송이 균환의 관리라는 것을 감안할 때, 송이산 관리의 기준으로 탈수소효소를 지표로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 낙엽급기의 처리를 위해서 유기물 분해도의 지표인 탈수소효소의 활성도 측정법을 활용하도록 추천할 수 있을 것이다.

#### ABSTRACT

The management of pine-mushroom forest means the environmental control for fairy ring of *Tricholoma matsutake*. Thus, the management demands intensive study for keeping healthy condition of the fairy ring, and that for the measurement of active portion of the soil ecosystem. This study was conducted to investigate the impact of *T. matsutake* fungus on the soil physicochemical properties and dehydrogenase activity by dividing the fairy ring into 3 regions such as 'zone of decayed mycorrhizae', 'zone of physiologically active mycorrhizae', and 'in front of fairy ring'. The passing of *T. matsutake* did not result in significant changes in cation contents of soils, but available phosphorus, carbon, and nitrogen contents were different between the soils of active mycorrhizal zone and that in front of fairy ring. The dehydrogenase activity around the fairy ring of *T. matsutake* was quite lower than that in general forest soils, which indicated that the fairy ring of *T. matsutake* was built up in the relatively immature soils which contain little organic matter. Thus, the dehydrogenase activity of soil was thought to be used as an index for the management of pine-mushroom forest with considering that the management

<sup>1</sup> 接受 1998年 3月 3日 Received on March 3, 1998.

<sup>2</sup> 慶北大學校 林學科 Department of Forestry, Kyungpook University, Taegu, Korea 702-701.

<sup>3</sup> 林業研究院 Forestry Research Institute, Cheongryangri-2 dong, Seoul, Korea 130-010.

\* 本 研究는 農林部 支援 現場隘路 研究課題의 一部로 遂行되었습니다.

practically means the environmental control for keeping good conditions for the development of fairy ring of *T. matsutake*. Especially, the dehydrogenase activity measurement can be recommended as a tool for time-decision of litter removal by floor raking since the activity is a good index of litter decomposition.

*Key words*: pine-mushroom forest, zone of physiologically active mycorrhizae, zone of decayed mycorrhizae.

## 서 론

송이는 우리나라의 임산물중 외화 획득률이 가장 높은 외생균근성 버섯이다. 약 1세기에 달하는 일본의 송이 연구결과(小川, 1991)를 토대로, 1970년대 이후 우리나라의 송이 연구는 발생환경 구명을 통한 생산성 향상의 측면에서 많은 연구가 수행되어 왔다(이태수 등, 1984; Park 등, 1997). 최근에는 실내의 균사배양을 통한 인공증식 연구가 추진되어 송이균을 인공배지에서 자라게 하고, 소나무에 인공 접종하는 것까지 성공한 단계이지만 아직 표고나 느타리처럼 인공적으로 재배할 수는 없는 실정이다(산림청, 1995).

송이가 발생하고 있는 환경을 고찰할 때, 송이 발생의 모체인 균환이 토양 조건의 영향을 많이 받음을 고려한다면, 송이 균환부 토양연구는 매우 중요하다. 송이 균환은 토양의 이화화학적 특성과 균근을 비롯한 토양미생물학적인 특성의 복합체이므로 균환에 대한 연구는 토양생태계를 종합적으로 고려한 연구가 되어야 한다.

송이산 토양의 이화학적 특성(류천인 등, 1980; 이태수 등, 1983)이나 미생물상(송현순과 민경희, 1991)에 대한 연구보고는 있지만, 개괄적인 토양의 이화학성 분석이나 토양미생물상 조사로는 송이 균환부 토양생태계의 동태를 설명하기 어렵다. 특히, 송이균은 한 곳에 정착하는 것이 아니라 이동하므로 송이 균환의 발달에 따른 토양생태계의 동태 변화를 알아야 송이산의 효율적인 관리가 가능할 것이다. 그러나, 토양생태계는 토양내 모든 생물과 각종 물질 변화가 이루어지고 있는 모체로서, 어떠한 환경변화가 가해져도 단기간 내에 뚜렷한 반응이 나타나지 않으므로 명확한 평가를 하기 어렵고, 모든 토양미생물이 활성을 가지고 토양 동태에 관여하는 것이 아니므로 토양 동태를 파악하려면 실질적인 활력을 지닌 미생물의 양이나 현상을 반영할 수 있는 기법

이 필요하다.

토양효소는 토양 생산성이나 토양미생물의 간접적인 정량 지표로 사용되며, 생화학적 순환능력 및 토양 오염의 부정적인 효과를 판단하는 기준으로 활용되기도 한다(Tate, 1995). 특히 탈수소효소(dehydrogenase)는 토양미생물의 전반적인 활성도 지표로 활용되는 효소로서(Burns, 1978; Serrwittling 등, 1995) 유기물 분해와 밀접한 관계가 있다. 반면, 균근성 균류인 송이는 유기물을 분해하는 능력이 거의 없고, 유기물 분해균이 많으면 오히려 송이 균의 활력이 낮아지는 것으로 보고되고 있으므로(小川, 1991) 탈수소효소의 정량을 통하여 송이 균환 주변의 활력을 역산(逆算)할 수 있을 것으로 여겨진다.

이에 따라, 본 연구는 외생균근균인 송이의 균환 발달에 따라 토양의 이화학적 특성과 탈수소효소 활성도의 변화를 파악하여 송이산 환경개선의 기준을 세우는 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구지 개황

연구 대상지는 강원도 홍천군 동면 노천리에 소재한 국유림으로서 이 지역은 강원도 홍천지역의 전형적인 송이 발생림이었다. 조사지역은 산정부에 위치한 남서사면으로, 표고(標高)는 약 450m에 달하였고 약 65년생의 소나무가 상층 수관을 우점하고 있었다. 상층 수관의 70%는 소나무(*Pinus densiflora*)가 차지하고 나머지 30%를 굴참나무(*Quercus variabilis*)가 점유하고 있었으며 하층식생으로는 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*)이 우점종이며 쪽동백(*Styrax shiraiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*) 등이 산재하고 있었다. 지질은 중생대 백악기에 형성된 흑운모 화강암류가 주종을 이루며 절리가 수직 방향으로 발달되어 있어 풍화작용이 급속히

일어나는 것으로 여겨졌으며, 조립질 화강암을 모재로 발달한 양질사토가 표층을 덮고 있는 갈색약건산림토양(B<sub>1</sub>)이었다.

## 2. 시료 채취 및 분석방법

토양시료는 송이 균환을 중심으로 균환 예정지, 활성 균환부, 균환 통과부로 나누어 물리성 분석시료 23개, 화학성 분석시료 13개를 채취하였다. 채취시기는 1996년 9월과 1997년 9월이었으며, 채취시 유기물층을 제거하고 0~20cm의 표층 토양을 채취하였다.

토양의 물리성은 삼상, 가비중, 토성, 통기성을 측정하였으며, 토양의 화학성은 pH와 치환성 양이온(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), 유효인산(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 전질소 및 탄소를 정량분석하였다(김동수, 1988).

탈수소효소의 활성도 측정은 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride(TTC)의 환원으로 생성되는 Triphenyl formazan(TPF)의 양을 측정하였다(Tabatabai, 1982). 아직까지 TTC를 이용하는 방법과 2-*p*-iodophenyl-3-*p*-nitrophenyl-5-phenyl tetrazolium chloride(INT)를 이용하는 방법에 대한 여러 가지 의견이 있지만(Chander와 Brookes, 1991; Gong, 1997; Trevors, 1984), TTC의 방법이 간단하면서도 그 결과는 큰 차이가 없으므로(Gong, 1997) 본 연구에서는 TTC 이용법을 사용하였다.

## 3. 통계분석

조사된 자료의 통계분석을 위해서 상관분석을 실시하였고, 분산분석을 실시하여 5% 유의수준

에서 차이가 인정될 경우에는 각 조사치 평균값을 Duncan's multiple range test를 통해 비교하였다(SAS, 1985).

## 結果 및 考察

### 1. 토양의 이화학적 특성

균환부 토양의 토성은 대부분 사질양토이었다. 점토와 미사의 함량이 균환 통과부에서 적었지만, 변이가 커서 통계적인 유의차는 없었다(Table 1). 토양의 삼상(三相)중 고상(固相)의 비율이 약 45% 내외로서 일반적으로 30~35%의 고상 비율을 지니는 갈색산림토양에 비하여 고상의 비율이 매우 높았다(임업연구원, 1989). 반면, 액상의 비율은 10% 미만으로 나타나 일반적인 갈색산림토양의 액상 비율인 10~20%에 비하여 낮았다. 가비중은 1.04~1.34(g/cm<sup>3</sup>)이었고 통기성은 0.08~0.49(m/sec)의 큰 변이를 나타내었지만 균환 발달에 따른 변화는 통계적인 유의차가 없었다.

토양 pH는 전반적으로 산성인 pH 4.56~4.62 이었는데, 송이 균환의 통과에 따른 차이는 인정되지 않았다(Table 2). 반면, 균환부가 균환 통과부나 균환 전방에 비하여 유효인산의 함량이 높게 나타났다. 즉, 토양 산도의 변화가 없음에도 불구하고 유효인산의 함량이 균환부에서 높게 나타난 것은 송이 균근에 의하여 인의 가용화가 촉진된 것을 추측해 해 준다(Allen, 1991).

한편, 균환부나 균환 통과부가 균환 전방에 비하여 토양내의 탄소와 전질소의 함량이 낮게 나타났다. 즉, 송이 균환은 균환이 없는 곳에 비하

**Table 1.** Soil physical properties around fairy ring of *Tricholoma matsutake* at the experimental sites (mean ± standard error).\*

	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )
In front of fairy ring	71.31 ± 3.66	22.61 ± 3.15	6.08 ± 0.72	1.16 ± 0.033
zone of physiologically active mycorrhizae	79.43 ± 6.23	14.54 ± 5.44	6.03 ± 1.77	1.19 ± 0.031
zone of decayed mycorrhizae	82.01 ± 2.48	14.05 ± 2.84	3.94 ± 0.94	1.18 ± 0.034
	Solid phase (%)	Gaseous phase (%)	Liquid phase (%)	Air permeability (m/sec)
In front of fairy ring	43.63 ± 1.27	49.60 ± 1.38	6.77 ± 0.32	0.33 ± 0.12
zone of physiologically active mycorrhizae	45.07 ± 1.19	47.09 ± 1.39	7.83 ± 0.37	0.20 ± 0.056
zone of decayed mycorrhizae	44.42 ± 1.32	49.00 ± 1.55	6.58 ± 0.76	0.19 ± 0.034

\* None of the physical properties were significantly different among the treatments at the 5% level.

여 유기물의 함량이 낮음을 시사하는데, 송이 균환이 유기물 함량이 낮은 토양에만 형성이 되는 것인지 송이 균환의 형성에 의하여 유기물의 함량이 낮아지게 되는 것인지는 구명하기 어려웠다. 또한, 토양내의 점토나 미사의 함량과 질소 또는 탄소량이 밀접한 상관관계가 있는 것으로 보고되었으나(Hassink, 1997), 본 연구에서는 그 상관관계가 뚜렷하지 않았다.

아울러, 송이 균근의 양분 흡수기능에 의하여 토양내의 칼륨, 칼슘이나 마그네슘 등 양이온의 함량에 변화가 생길 수 있을 것으로 예상하였지만(Stucki 등, 1992), 본 연구결과에서는 변이 폭이 커서 균환 발달에 따른 뚜렷한 차이를 찾을 수 없었다.

### 2. 탈수소효소의 활성도

일반적으로 성숙한 산림토양의 탈수소효소 활성도는 약 150~200 $\mu$ g TPF/g soil으로 보고하고 있다(박현, 1998). 그러나, 본 연구에서는 송이 균환의 전방은 50 $\mu$ g TPF/g soil 미만으로서 일반 토양의 약 1/3에 해당하는 수치를 나타내었고, 균환부 및 균환 통과부는 균환전단부의 10%에도 미치지 못하는 낮은 수치를 나타내었다(Fig. 1). 즉, 송이 균환이 형성되는 지역은 Song과 Min(1991)의 지적처럼 전반적인 미생물의 양이 적거나 활성도가 매우 낮은 토양으로서, 유기물 분해가 느린 것으로 추측할 수 있었다. 이는

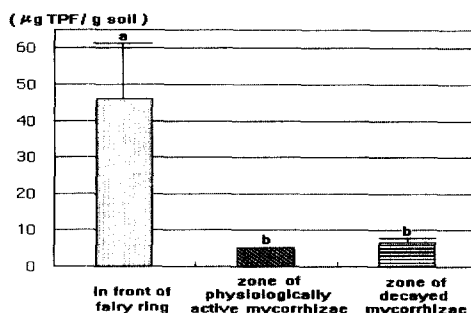


Fig. 1. Dehydrogenase activity in soil around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* at the experimental sites. The bars above each stem indicate standard error and the same letters above each bar indicate that the values were not significantly different at the 5% level.

탈수소효소의 활성과 탄소함량이 정의 상관관계( $r=0.791$ ,  $p<0.01$ )를 보여 유기물(또는 유기물 분해균) 함량이 높을수록 탈수소효소의 활성이 높게 나타나는 것을 통해서도 확인할 수 있었다. 즉, 서론에서 언급하였듯이, 균근균은 유기물을 분해하는 능력이 극히 낮으며(Allen, 1991) 송이는 유기물 분해균과의 경쟁에서 패퇴하는 경향이 크므로(小川, 1991), 송이 균의 활력이 높은 곳은 탈수소효소의 활성도가 낮다고 생각할 수 있다.

Table 2. Soil chemical properties around fairy ring of *Tricholoma matsutake* at the experimental sites (mean  $\pm$  standard error).

	pH	Available P (ppm)	C (%)	T.N (%)	C/N
In front of fairy ring	4.56 $\pm$ 0.06 <sup>a*</sup>	6.60 $\pm$ 0.99 <sup>b</sup>	2.77 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>	0.15 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	18.76 $\pm$ 2.08 <sup>a</sup>
zone of physiologically active mycorrhizae	4.62 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	13.46 $\pm$ 1.85 <sup>a</sup>	1.71 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	0.10 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>	21.97 $\pm$ 6.23 <sup>a</sup>
zone of decayed mycorrhizae	4.60 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	4.39 $\pm$ 0.71 <sup>b</sup>	1.47 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	0.07 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	21.58 $\pm$ 2.36 <sup>a</sup>

	Exchangeable cation(m.e./100g)			
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
In front of fairy ring	1.42 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	0.48 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	0.22 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.08 $\pm$ 0.004 <sup>a</sup>
zone of physiologically active mycorrhizae	0.96 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	0.41 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.17 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.09 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
zone of decayed mycorrhizae	1.12 $\pm$ 0.28 <sup>a</sup>	0.34 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	0.24 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.08 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>

\* The same letters within each column indicate that the values were not significantly different for each treatments at the 5% level.

### 종합 고찰

송이는 균근을 형성하는 균류로서, 송이 균환(菌環)의 발달은 균근성 균류인 송이의 영역이 형성됨을 의미한다. 따라서, 송이 균환의 발달은 일반적인 균근성 균류가 나타내는 토양의 변화를 초래하게 될 것으로 예상할 수 있는데, 그 대표적인 예로서 Stucki 등(1992)이 지적한 점토광물의 변화나 Allen(1991)이 지적한 유기물 분해균과의 경쟁관계 형성 등을 꼽을 수 있다. 본 연구에서는 양이온 함량의 변화나 토성의 변화 등 토양 구성물질의 변성은 뚜렷하게 나타나지 않았지만, 유효인산의 함량이나 탄소, 질소의 함량이 균환부와 균환 전방부 사이에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 탈수소효소의 활성은 일반 성숙토양에 비하여 훨씬 낮은 수치를 나타내어, 송이 균환은 성숙도가 낮으며 유기물이 적은 토양에 형성, 발달됨을 짐작할 수 있었다.

즉, 송이 균환은 균근성 균류의 특성을 뚜렷이 지님을 확인할 수 있었으며, 송이 균환부의 탈수소효소 활성도는 비슷한 토양형을 가진 다른 산림토양에 비하여 극히 낮음을 파악할 수 있었다. 이는 송이 산의 관리가 실질적으로는 송이 균환의 관리라는 것을 감안할 때, 송이산 관리의 기준으로 송이의 균근적인 특성을 이용하여 탈수소효소 등 토양효소를 지표로 활용할 수 있음을 시사한다. 특히, 송이 산에서 실행되는 낙엽꺾기 등의 처리를 위해서 유기물 분해도의 지표인 탈수소효소의 활성도를 측정하여 적당한 시기와 강도를 정할수 있을 것으로 여겨진다.

### 인용 문헌

1. 김동수. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청, 농업기술연구소. 450pp.
2. 류천인·남성우·이지열·이송규. 1980. 송이의 증산에 관한 연구. 한국균학회지 8 : 7-12.
3. 박 현. 1998. 탈수소효소, 탈질균 및 황산 환원균의 정량을 통한 온산공단과 마니산 산림토양의 동태 조사. 한국임학회지 87(1) : 106-112.
4. 산림청. 1995. 산주를 위한 새로운 임업기술. 서울, 삼정인쇄공사. 361pp.
5. 小川 眞. 1991. マツタケの生物學. 補訂版. 東京, 築地書館. 333pp.
6. 이태수·김영련·조재명·이지열·小川 眞. 1983. 한국의 송이 발생 송림의 현황에 관한 조사연구. 한국균학회지 11 : 39-49.
7. 이태수·박찬준·심우섭·김세현·주영환·오세원·조재명. 1984. 송이인공증식에 관한 연구(II)-캡 및 흡피복에 의한 송이의 품질 향상 및 증수. 임시연보 31 : 124-132.
8. 임업연구원. 1989. 산림토양단면도집. 서울, 서광문화사. 55pp.
9. Allen, M.F. 1991. The Ecology of Mycorrhizae. New York, Cambridge University Press, 184pp.
10. Burns, R.G. 1978. Soil Enzymes. New York, Academic Press. 380pp.
11. Chander, K. and P.C. Brookes. 1991. Is the dehydrogenase assay invalid as a method to estimate microbial activity in copper-contaminated soils? Soil Biol. Biochem. 23 (10) : 909-915.
12. Dick, W.A. and M.A. Tabatabai. 1993. Significance and Potential Uses of Soil Enzymes. Pages 95-127. In F. B. Mettings, Jr. ed. Soil Microbial Ecology. New York, Marcel Dekker. 646pp.
13. Gong, P. 1997. Dehydrogenase activity in soil : a comparison between the TTC and INT assay under their optimum conditions. Soil Biol. Biochem. 29(2) : 211-214.
14. Hassink, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. Plant and Soil 191 : 77-87.
15. Park, H., S.E. Kim and K.S. Kim. 1997. Effects on the pine mushroom yield of controlling environmental conditions at the pine stands in Namwon, Korea. J. Korean For. Soc. 86(3) : 399-404.
16. Paul, E.A. and F.E. Clark. 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. New York, Academic Press. 271pp.
17. SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Ver. 6 edit. Cary NC, USA. 378pp.
18. Serrawittling, C., S. Houot and E. Barriuso.

1995. Soil enzymatic response addition of municipal solid-waste compost. *Biology & Fertility of Soils* 20(4) : 226-236.
19. Song, H.S. and K.H. Min. 1991. Micro-fungal flora of *Tricholoma matsutake* producing and nonproducing sites in the forest of *Pinus densiflora*. *Kor. J. Mycol.* 19 : 109-119.
20. Stucki, J.W., H. Gan and H.T. Wilkinson. 1992. Effects of microorganisms on phyllosilicate properties and behavior. Pages 227-254. *In* Wagenet, R.J., P. Baveye and B.A. Stewart, eds. *Interacting Processes in Soil Science*. Boca Raton, Lewis Publ. 296pp.
21. Tabatabai, M.A. 1982. Soil Enzymes. Pages 903-947. *In* A.L. Page, ed. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbial properties.*(2nd ed.). ASA. Agronomy Special Publ. No. 9. Madison, WI. 1159pp.
22. Tate III, R.L. 1995. *Soil Microbiology*. New York, John Wiley & Sons. 398pp.
23. Trevors, J.T. 1984. Effect of substrate concentration, inorganic nitrogen, O<sub>2</sub> concentration, temperature and pH on dehydrogenase activity in soil. *Plant and Soil* 77 : 285-293.