

松茸 菌環에서의 根系 動態^{1*}

許泰鐵² · 朴 賢³ · 朱城賢²

Dynamics of Root Systems in the Fairy Rings of *Tricholoma matsutake*^{1*}

Tae-Chul Hur², Hyun Park³ and Sung-Hyun Joo²

요 약

송이 균환을 균환통과부, 자실체발생부, 활성균환부, 균환전진예정부로 나누어 근계 동태를 조사하였다. 균환내에서 상층수관의 70%를 점유하는 소나무의 뿌리가 전체 뿌리량의 약 60% 내외, 살아있는 뿌리 중 87%를 점유하고 있었다. 세균 함량조사에서는 다른 뿌리의 세균이 평균 13%를 차지한 것에 비하여 소나무 세균의 비율이 평균 45%로 나타나 상대적으로 소나무 세균의 비율이 높았다. 소나무의 뿌리량은 특히, 자실체발생부와 활성균환부에서 전체 뿌리의 약 70% 내외를 차지하고 있어, 이 두 부위에서는 소나무 뿌리가 송이 균환과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각되었다. 활성균환부에서의 소나무 세균의 비율이 평균 60.7%(1,087mg/100g soil)로 다른 부분에 비하여 약 2배를 나타내었는데, 이것은 활성균환부에서 소나무 세균이 활발한 성장을 할 수 있으며 송이 균환의 발달에 따른 균근의 형성으로 인하여 세균 발달이 촉진된 결과로 생각된다. 또한, 이 부위는 소나무 세균의 함량이 소나무 중근의 함량보다 3배에서 5배 정도 많은 것으로 나타나 송이 균환부는 소나무 뿌리의 생장이 왕성한 곳에 위치함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The dynamics of root system in the fairy rings of *Tricholoma matsutake* was investigated in four zones divided into 'zone of decayed mycorrhizae', 'zone of mycorrhizae for fruiting', 'zone of physiologically active mycorrhizae' and 'zone of roots free from mycorrhizal infection'. The roots of *Pinus densiflora* in fairy rings, which occupied 70% of upper crown, comprised about 60% and 87% of total roots and alive roots, respectively. The ratio of fine-roots of *P. densiflora* over total roots was relatively higher than other species since that of *P. densiflora* was about 45% while that of the other species was about 13% on research of fine-roots. Especially, the roots of pine comprised about 70% of total root in the zone of mycorrhizae for fruiting and the zone of physiologically active mycorrhizae, which indicated that the pine roots were closely related to the fairy rings of *T. matsutake*. The fine roots of *P. densiflora* in the zone of physiologically active mycorrhizae was about 60.7%(1,087mg/100g soil) which was about twice compared to that of other zones. It allowed us to suppose that the fine roots of *P. densiflora* can make active growth in the zone of physiologically active mycorrhizae, and the growth was promoted by the fairy ring formation of *T. matsutake*. In addition, we found 3~5 times higher amount of fine roots than that of medium roots of *P. densiflora* in this zone, which indicated that the fairy rings of *T. matsutake* locate in the region of active growth of *P. densiflora* roots.

Key word : dynamics of root system, *Tricholoma matsutake*, *mycorrhizae*, *Pinus densiflora*

¹ 接受 1999年 4月 21日 Received on April 21, 1999.

² 慶北大學校 林學科 Department of Forestry, Kyungpook University, Taegu, Korea Email : hjeep@chollian.net

³ 林業研究院 化學微生物科 Div. of Chemistry & Microbiology, Forestry Research Institute

* 本 研究는 農林部支援 現場隘路研究課題의 一部로 遂行되었습니다.

緒 論

송이(*Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Sing. 는 소나무(*Pinus densiflora*)와 활물공생(活物共生)하는 대표적인 외생균근성(外生菌根性) 버섯으로 우리나라 임산물 중 고소득 품목에 속해 농산촌의 소득증대에 크게 기여하고 있다. 최대 소비국인 일본에서는 송이 수요에 비하여 송이 생산량이 부족하여 다량의 송이를 수입하고 있는 실정인데, 그 중 우리나라의 송이가 다른 나라의 송이에 비하여 품질 면에서 경쟁력이 있는 것으로 인정받아 고가로 수출되고 있다.

송이는 아직까지 인공재배가 불가능하며 산림에서 채취하는 방법이 유일한 생산방식이므로, 송이의 지속적인 생산과 우량송이 생산을 위하여 송이 발생림의 환경조건을 밝히는 것은 매우 중요하다. 따라서, 현지 소나무림에서 환경을 개선하여 송이 생산량을 높이기 위한 연구의 필요성이 대두되었으며, 송이 발생림의 분포나 입지환경에 대한 개략적인 조사도 많이 수행되었다(류천인 등, 1980; 이태수 등, 1983). 송이 인공증식을 위한 여러가지 시도(이태수 등, 1984)와 송이 발생지 식생과 버섯상에 관한 연구(이경준 등, 1986; 나종성과 류정, 1992; Park 등, 1998) 등이 있었으며, 일본에서는 Ogawa(1975a)가 하나의 자실체를 발생시키기 위한 균사집단의 면적은 10~20cm²으로서 부피는 1,500~2,000cm³라고 보고하였고, 송이 시로(shiro)를 각 계절별, 부위별로 구분하여 균환이 변화되는 과정을 외형적으로 관찰, 보고하는 등, 송이의 생태적 특성을 명확히 파악하기 위한 연구는 많이 진행되었다. 그러나, 송이의 활물공생 기주로 인식되는 소나무 뿌리와 송이의 발생환경인 균환(菌環, fairy ring)과의 관련성에 대하여 구체적으로 조사된 것은 별로 없다.

송이 균환에는 토양의 이화학적 특성과 소나무 근계의 상태 및 균근균을 비롯한 토양미생물학적 특성이 복합적으로 작용하는데, 이를 종합적으로 이해하기 위해서는 균환의 발달에 따른 동태변화 연구가 필요하다(허태철 등, 1998). 송이 발생의 모체인 균환(菌環)은 토양 조건의 영향을 많이 받으며, 한 곳에 정착하는 것이 아니라 소나무 뿌리의 발달과 함께 이동하면서 발생한다. 따라서 송이 균환의 발생환경을 구명하고, 송이 균환의 발달에 따른 근계의 동태를 파악하는 일은 송이 발생림의 효율적인 관리와 지속적

인 생산을 위해 중요하다.

수목의 뿌리는 식물체를 지지하고, 식물에게 필요한 수분 및 영양분을 흡수할 뿐만 아니라 토양 미생물상을 발달시키는 중요한 요소이다(Waisel 등, 1991). 그러므로 뿌리의 동태를 연구하는 것은 식물생장에 필요한 양분섭취, 전달, 호흡 등을 파악할 수 있는 중요한 방법의 하나이다. 특히 뿌리의 흡수력이나 수목의 전반적인 생육에 가장 큰 영향을 미치는 세근(細根)은 계절적인 변화가 크며 유기물 순환(turnover)의 중요한 위치를 차지하고 있으므로 동태파악을 위한 연구의 필요성은 높지만 정확한 정량분석이 어렵다(Fogel, 1983).

따라서, 송이와 같은 외생균근 연구에서 뿌리의 성장경향은 지하부의 토양상태를 판단하기 위하여 필수적으로 연구되어야 하며, 송이와 소나무 세근과의 관계 구명은 송이 발생기작과 분포를 파악하는 데 중요한 방법이 될 것이다. 본 연구는 송이의 발생환경을 구명하고자 균환이 발달해 감에 따라 변화하는 토양생태계의 주요 구성인자 중, 소나무를 비롯한 수목의 근계 동태를 조사하였다.

材料 및 方法

1. 조사지 개황

강원도 홍천군 동면 노천리에 소재한 국유림으로 우리나라 영서지방의 전형적인 송이 발생림이다. 조사 지역은 7~8부 능선의 남서사면에 위치하였고, 표고(標高)는 약 450m에 달하였다.

본 연구대상지의 식생은 상층 수관의 70%를 소나무(*Pinus densiflora*)가 차지하고, 30%는 굴참나무(*Quercus variabilis*)를 비롯한 참나무류가 점유하고 있었으며, 하층식생으로는 산철쭉(*Rhododendron yedoense* var. *poukhanense*), 쪽동백(*Styrax shiraiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 꽃머느리밥풀(*Melampyrum roseum* Max.) 등이 산재하고 있었다.

토양형은 갈색전조산림토양(B₁)이고, 토성은 사질양토 내지는 양질사토가 주로 분포하였다. 전반적으로 경사가 급하고 국소적인 침식을 받고 있었다. 유효토심(有效土深)은 25~45cm에 달하고 B층 아래 30cm 이상 풍화모재층이 계속되고 있었다. 표층토양은 세립상의 구조를 나타내지만 심층부는 무구조를 나타내고 있었고, 토양구조의 발달

Table 1. Soil physicochemical properties for each horizon of the surveyed area.

Horizon	Depth (cm)	Texture	pH	OM (%)	TN (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (me/100g)	Exchangeable (me/100g)			
								K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
O	4-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A	0-10	SL	5.01	6.55	0.09	16.17	16.28	0.21	0.28	2.36	0.66
B	10-22	LS	5.01	2.96	0.08	7.78	15.15	0.16	0.29	1.16	0.46
B/C	22-30	S	5.68	1.07	0.13	4.95	14.09	0.22	0.26	1.38	0.58
C	30+	S	5.77	0.44	0.09	8.15	10.37	0.14	0.29	1.01	0.40

정도는 대체로 약하였다. 1~4cm 이내는 얇은 유기물층 아래 약산성의 양질사토가, 10cm 이내는 A층을 이루고 있었으며 그 아래로 건조한 사질토양이 펼쳐져 있었다(Table 1).

2. 조사구 선정 및 시료채취

1) 조사구 선정

조사구는 3년간(1995~1997)의 송이 자실체 발생위치를 조사하고, 균환의 진행방향과 위치를 표시하였으며, 자실체가 발생하지 않은 부분은 지표면을 긁어서 균환의 위치를 조사하여 4개의 균환을 선정하였다. 균환부(자실체 발생부와 활성균환부)의 평균 폭은 약 50cm 이었다.

2) 균환발달과정에 따른 조사구 구분

조사구의 구분은 송이 균환을 중심으로 균환통과부, 자실체발생부, 활성균환부(선단부), 균환전진예정부로 나누었으며 매 채취시 폭은 50cm로 통일하였고, 균환통과부는 자실체발생부에서 10cm 간격을 두고 후방 20cm까지로 정하였으며, 전체 균환부(자실체발생부, 활성균환부) 크기를 고려하여 자실체가 발생한 부분은 자실체발생부로 정하고, 5~10cm의 간격을 두어 균환이 전진하는 방향은 활성균환부로 정하였다. 두 부위의 길이는 균환부의 길이를 고려하여 10~20cm의 길이로 정하였다. 균환전진예정부는 활성균환부의 끝에서 10cm 간격을 두고 전방을 20cm까지로 구분하였다(Fig. 1).

The growth direction of fairy-ring →

- | | |
|--------------------------------------|---|
| I. zone of decayed mycorrhizae | III. zone of physiologically active mycorrhizae |
| II. zone of mycorrhizae for fruiting | IV. zone of roots free from mycorrhizal infection |

Fig. 1. Soil profile of the fairy ring of *Tricholoma matsutake*, which indicates divisions of surveyed site (adapted from Ogawa, 1975a.)

3) 시료채취 및 분류방법

채취 시기는 Ogawa(1975b)의 연구결과와 송이 균환의 발달을 고려하여 균환활동개시시기인 3월, 균환활동기인 6월, 자실체발생초기인 8월과 발생 후기인 10월로 선정하였으며 매 조사시 각 조사구에서 유기물을 깨끗이 제거하고, 직경 52mm의 토양채취기로 깊이 0~15cm의 표층토양을 3지점에서 채취하여 혼합한 시료 64점(4 시기×4 부위×4 조사구)을 실험실로 운반하였다.

운반한 시료는 허태철과 박현(1997)의 방법에 따라 뿌리를 선별하였으며, 60℃에서 24시간 건조한 후 정량하였다. 시각적, 형태적인 기준에 의해 살아 있는 뿌리와 죽은 뿌리의 구별을 행하였으며, 살아 있는 뿌리는 탄력성이 있고 반투명하

고 흰색에서 연한 갈색이며, 죽은 뿌리는 쉽게 부서지고 거칠고 회색이거나 전체가 검은 색이다. 특히, 송이 균근을 형성한 소나무의 세균은 정단부는 엷은 갈색을 띠고 중간부분은 짙은 갈색이나 검은색으로 다소 주름이 있으며, 다른 균근과는 달리 짧은 곤봉모양이나 산호형, Y자형이 아닌 일자형으로 형성되어 있었다.

4) 통계분석

계절별, 부위별로 각종 뿌리량의 차이를 판별하기 위하여 ANOVA를 실시한 후 5% 유의수준에서 통계적인 유의차가 인정될 경우에는 각 평균값의 차이를 Duncan's multiple range test를 통해 비교하였다(SAS, 1985).

Table 2. Changes in the amount of various roots around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* by season (means±standard errors; unit : mg/100g soil, n=4).

	month	zone of decayed mycorrhizae	zone of mycorrhizae for fruiting	zone of physiologically active mycorrhizae	zone of roots free from mycorrhizal infection
Total roots	March	1,244±172	1,230±193	1,381±124	1,425±325
	June	1,260±144	1,424±298	1,974±298	1,250±168
	August	1,329±171	1,356±265	1,833±319	1,868±229
	October	1,659±241	1,329±165	1,723±423	1,960±398
	Average	1,342±182	1,335±230	1,728±291	1,626±280
Fine roots of <i>Pinus densiflora</i>	March	454±59	672±185	597±159	615±264
	June	492±73 ^{b*}	766±351 ^{ba}	1,305±351 ^a	455±75 ^b
	August	487±148	963±247	1,349±280	775±207
	October	756±169	728±108	1,098±254	781±176
	Average	547±112 ^b	782±223 ^b	1,087±261 ^a	657±181 ^b
Medium roots of <i>Pinus densiflora</i>	March	173±39	169±41	245±96	231±74
	June	242±87	354±88	255±88	121±24
	August	253±43	164±45	200±95	395±72
	October	221±13	154±48	183±12	217±41
	Average	222±45	210±56	221±73	241±53
Fine roots of other plants	March	98±64	105±40	80±33	79±28
	June	244±79	78±31	108±31	271±134
	August	392±77 ^a	104±25 ^b	95±31 ^b	437±47 ^a
	October	291±75 ^{ba}	170±67 ^b	79±22 ^b	549±185 ^a
	Average	256±74 ^a	114±41 ^b	91±29 ^b	334±98 ^a
Medium roots of other plants	March	262±96	66±16	128±12	158±59
	June	68±4	109±67	131±67	222±60
	August	103±33	109±40	102±39	173±81
	October	124±14	144±56	130±69	172±20
	Average	139±36	107±45	123±47	181±55
Dead roots	March	255±57	215±21	330±48	339±71
	June	212±22	115±44	173±44	180±58
	August	92±43	41±15	86±14	87±13
	October	264±52	132±31	232±90	239±74
	Average	206±44 ^a	126±28 ^b	205±49 ^a	211±54 ^a

* The same letters indicate that the values were not significantly different at the 5% level.

結果 및 考察

송이발생지의 토양 100g중 평균 뿌리총량은 활성균환부(1,728mg), 균환전진예정부(1,626mg), 균환통과부(1,342mg), 자실체발생부(1,335mg)의 순으로 나타나 토양 내에서 중량 대비 1.3~1.7%를 차지하고 있었다.

토양 100g중 평균 소나무의 세균량은 활성균환부가 1,087mg로 가장 많았고, 자실체발생부(782mg), 균환전진예정부(657mg), 균환통과부(547mg) 순으로 측정되어 활성균환부에서의 소나무 세균 함량이 균환통과부의 약 2배를 나타내었다(Table 2). 즉, 활성균환부에서 소나무 세균이 활발한 성장을 하고 있으며, 송이 균환의 발달에 따른 균근의 형성으로 인하여 세균 발달이 촉진되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

계절적인 변화에서 소나무 세균 함량의 변화는 자실체발생초기(8월)가 가장 많은 것으로 나타났으며, 자실체발생후기(10월), 균환활동기(6월), 균환활동개시기(3월)의 순이었다. 즉, 소나무 세균은 균환활동개시기인 3월에 점차 성장을 시작하여 자실체발생초기인 8월까지 성장하였다가, 자실체발생후기인 10월에는 점차 생장이 정지해 가는 것으로 나타났다. 이 결과는, 소나무림에서 8월에 세균의 함량이 가장 높았다는 허태철과 박현(1997)의 보고와 비슷한 경향이었고, 양적으로는 활성균환부의 경우 인접한 송이 미발생림(평균 51~94 mg/100g soil)보다 약 10배나 많은 소나무

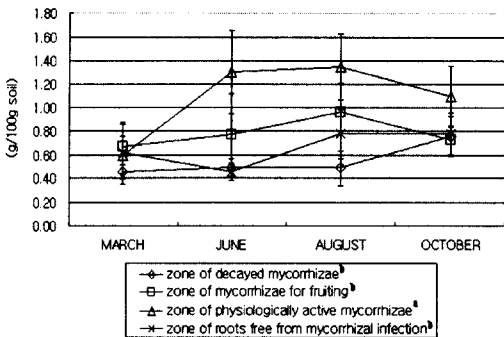


Fig. 2. Changes in the amount of fine roots of *Pinus densiflora* around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* by season. Bars represent standard errors and the same letters above each letter indicate that the values were not significantly different at the 5% level.

세균의 함량을 보였다(허태철과 박현, 1997). 이는 일본의 송이발생 소나무림의 활성균환부에서 세균 함량이 송이가 발생하지 않는 다른 소나무림보다 10배가 많다는 것(Ohara, 1994)과 같은 결과로서, 송이 균환의 활동과 더불어 소나무 세균의 활동도 매우 활발함을 알 수 있었다(Fig. 2).

토양 100g중 소나무 外 다른 뿌리의 평균 세균의 함량 변화는 균환전진예정부가 334mg으로 가장 많았으며 균환통과부(256mg), 자실체발생부(114mg), 활성균환부(91mg)의 순으로 나타났다(Table 2). 소나무 外 다른 수종의 세균 함량은 균환전진예정부와 통과부가 활성균환부와 자실체발생부에 비해서 약 2~3배 더 많았는데, 전자가 후자보다 상대적으로 다른 수종의 세균이 침입하기 용이한 부위라는 것을 알 수 있었다. 계절적인 경향을 보면, 3월에서 10월로 갈수록 소나무 外 다른 수종의 세균 함량은 증가하였지만, 통계적인 유의성은 없었다(Fig. 3).

소나무 중근의 토양 100g중 평균함량 변화를 살펴보면, 균환전진예정부(241mg), 균환통과부(222mg), 활성균환부(221mg)와 자실체발생부(210mg)의 순으로 함량의 변화를 보였다(Table 2). 계절적으로는 8월이 가장 많았고 6월, 3월, 10월의 순으로 함량의 변화를 보였는데, 이는 인접한 송이 미발생림의 경우 봄에서 겨울로 갈수록 소나무 중근 함량이 증가하는 경향을 보인 것과는 사뭇 다른 양상을 보였다(허태철과 박현, 1997). 특히 균환전진예정부의 소나무 중근의 변화가 큰 폭을 보였으나, 각 부위별, 계절별로 통계적인 차이가 없었다.

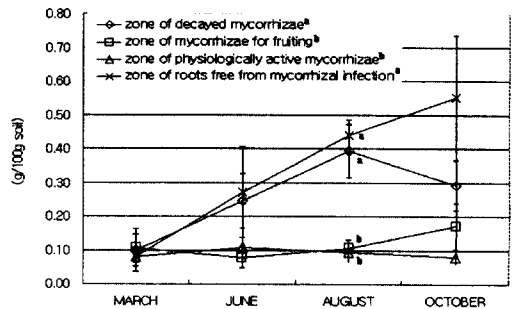


Fig. 3. Changes in the amount of fine roots except for those of *Pinus densiflora* around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* by season. Bars represent standard errors and the same letters above each letter indicate that the values were not significantly different at the 5% level.

소나무 外 다른 수종의 평균 중근 함량은, 토양 100g중 균환전진예정부(181mg)가 가장 많았으며 균환통과부(139mg), 활성균환부(123mg), 자실체발생부(107mg)의 순으로 나타났다. 계절적인 변화를 보면 균환통과부와 균환전진예정부에서 계절의 변화에 따라 증가하는 것을 볼 수 있었고, 활성균환부와 자실체발생부에서는 계절이 지남에 따른 변화가 적었다. 양적으로는 자실체발생후기(10월)가 가장 많았으나 유의성은 인정되지 않았다.

죽은 뿌리의 토양 100g중 평균함량 변화는 각 부위별로, 균환전진예정부에서 211mg로 가장 많았고 균환통과부(206mg), 활성균환부(205mg), 자실체발생부(126mg)의 순으로 함량의 차이를 보였다. 계절적인 경향을 살펴보면 균환활동개시기(3월)에 가장 많은 함량을 보였고 자실체발생후기(10월), 균환활동기(6월), 자실체발생초기(8월)의 순으로 나타났다. 이는 허태철과 박현(1997)이 지적했듯이 겨울동안 분해활동이 정지되어 죽은 뿌리가 봄에까지 남아있는 것으로 추론되며 10월부터 분해 기작이 서서히 멈추어 가는 경향을 볼 수 있었다(Fig. 4).

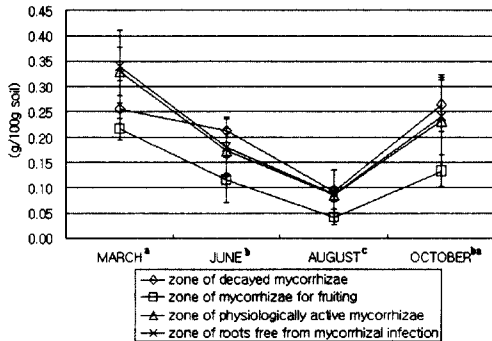


Fig. 4. Changes in the amount of dead roots around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* by season. Bars represent standard errors and the same letters above each letter indicate that the values were not significantly different at the 5% level.

뿌리 총량 중 소나무 세균이 차지하는 비율은 활성균환부(60.7%)와 자실체발생부(57.8%)가 가장 높은 반면, 균환전진예정부(39.1%)가 가장 적었다. 그러나 인접 송이 미발생림(허태철과 박현, 1997)에서 뿌리 총량 중 소나무 세균이 연평균 18%를 점유하고 있는 것과 균환전진예정부의 소나무

세균 비율을 비교할 때 약 2배 정도 높은 비율을 차지하고 있어 송이균이 점유하고 있는 부분의 토양에서는 상대적으로 소나무의 근계가 유리한 지위를 차지하고 있는 것으로 추론된다.

전체 뿌리량 중 소나무 外 다른 수종의 세균변이를 살펴보면 균환통과부(22.3%)와 균환전진예정부(20.4%)가 비슷한 비율을 보였으며 자실체발생부(7.6%)와 활성균환부(6.4%)가 비슷한 비율을 나타냈으며 균환통과부가 가장 많았다. 전체 뿌리량 중 죽은 뿌리의 비율은 균환통과부(14.7%), 균환전진예정부(14.2%), 활성균환부(12.6%), 자실체발생부(9.9%)의 순으로 나타나, 앞에서 서술한 다른 수종의 세균 함량과 비슷한 경향을 나타내었다. 소나무 중근과 다른 뿌리의 중근은 각 부위간의 차이점을 발견할 수 없었다(Fig. 5).

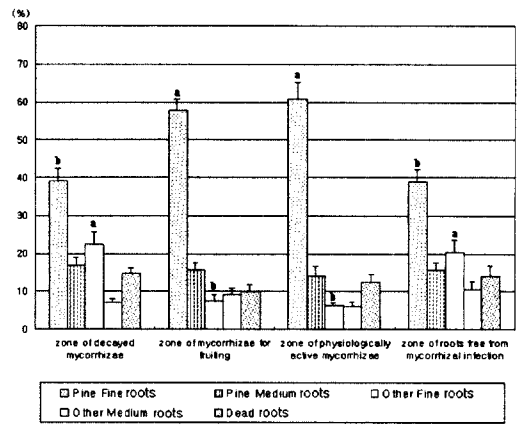


Fig. 5. The change of each part in the ratio of various roots around the fairy ring of *Tricholoma matsutake*. The same letters above each bar indicate that the values were not significantly different at the 5% level.

각 부위에 관계없이 전반적인 뿌리의 계절별 변화를 살펴보면 균환활동개시기(3월)에는 전체 뿌리중 소나무 세균의 비율은 42.9%로 가장 높았으며 죽은 뿌리가 차지하는 비율은 약 22.2%이었으며, 소나무 중근, 소나무 外 다른 뿌리 세균, 다른 뿌리 중근의 순으로 나타났다. 균환 활동기인(6월)에는 소나무 세균의 비율이 49.4%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며 3월에 비해 다른 뿌리 중근이 차지하는 비율이 조금 증가하였다. 자실체발생초기(8월)의 각 뿌리 비율은 소나무 세균이 53.9%로 가장 높았으며 다른 뿌리

세근이 17.9%, 소나무 중근이 15.8%, 다른 뿌리 중근, 죽은 뿌리 순으로 나타났다. 자실체발생후기(10월)에는 죽은 뿌리의 비율이 12.5%로 8월보다 가장 많은 증가를 보였으며, 소나무 세근, 다른 뿌리 세근, 소나무 중근, 죽은 뿌리, 다른 뿌리 중근의 순으로 나타났다(Fig. 6).

結 論

송이 균환에서 근계 동태를 조사한 결과, 균환이 점유하고 있는 부위에서 소나무 세근이 차지

하는 비율이 높았으며 송이의 자실체발생초기인 8월에 소나무 세근 함량이 많았다. 특히, 활성균환부에서 소나무 세근의 비율이 다른 부분보다 약 2배 정도 높았는데, 이는 송이 균근의 형성으로 인하여 세근의 발달이 촉진되는 효과로 볼 수 있었다.

송이 균환에서 소나무 세근 함량이 소나무 중근 함량보다 3배에서 5배 정도 많은 것을 보면, 송이 균환은 소나무 뿌리생장의 최선단부에 위치하는 것으로 추론할 수 있었고 특히, 소나무 세근의 동태에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6. Seasonal changes in the ratio of various roots around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* (FP : Fine roots of *Pinus densiflora*, MP : Medium roots of *P. densiflora*, FOR : Fine roots except for *P. densiflora*, MOR : Medium roots except for *P. densiflora*, DR : Dead root). The same letters indicate that the values were not significantly different at the 5% level.

한편, 소나무 外 다른 수종의 세균 함량은 균환 통과부와 균환전진예정부에서 가장 높게 나타나 송이의 활력이 높은 부위에 비해서 비교적 이 두 부위가 다른 수종의 세균들이 침입하기 쉬운 부분이었거나, 아직까지는 소나무와의 경쟁이 심하지 않는 장소임을 시사하였다.

죽은 뿌리의 양은 자실체발생부에서 가장 많았으며, 이 부위가 다른 부위에 비해 송이 균근이 형성되었다가 떨어져 나간 세균의 분해가 빠르게 진행된 것이라 추론된다.

이러한 결과를 볼 때 송이 균환의 발달은 근계 동태에 많은 영향을 주고 있으며 송이의 지속적인 생산을 위해서는 송이발생림의 근계 동태도 함께 파악해야 할 것이다.

引用文獻

1. 나종성·류 정. 1992. 송이 발생지의 식생과 주요 야생버섯 분포조사. 한국균학회지 20(2) : 144-149.
2. 류천인·남성우·이지열·이승규. 1980. 송이의 증산에 관한 연구. 한국균학회지 8 : 7-12.
3. 이경준·김양섭·이태수·김교수. 1986. 송이발생림과 미발생림의 버섯분포에 관한 비교연구. 한국임학회지 72 : 27-31.
4. 이재두 외 7인. 1995. 식물형태학. 아카데미서적. 312pp.
5. 이태수·김영련·조재명·이지열·小川 眞. 1983. 한국의 송이 발생 송림의 현황에 관한 조사연구. 한국균학회지 11 : 39-49.
6. 이태수·박찬준·심우섭·김세현·주영환·오세원·조재명. 1984. 송이인공증식에 관한 연구(II)-갹 및 흙 피복에 의한 송이의 품질 향상 및 증수. 임시연보 31 : 124-132.
7. 허태철·박 현. 1997. 두 가지 토양 채취기를 이용한 홍천 소재 소나무림의 근계동태분석. 한국임학회지 86(1) : 105-111.
8. 허태철·박 현·정진현·주성현. 1998. 송이

- 균환의 발달에 따른 토양의 이화학적 특성과 탈수소효소의 활성변화. 한국임학회지 87(2) : 270-275.
9. 小川 眞. 1991. マツタケの生物學. 補訂版. 東京, 築地書館. 333pp.
10. Fogel, R. 1983. Root turnover and productivity of coniferous forests. Plant and Soil 71 : 75-85.
11. Hosford, D., D. Pilz, R. Molina and M. Amaranthus. 1997. Ecology and Management of the Commercially Harvested American Matsutake Mushroom. USDA For. Serv. PNW-GTR-412. 68p.
12. McClaugherty, C.A., J.D. Aber. and J.M. Melillo. 1982. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. Ecology 63 : 1481-1490.
13. Ogawa, M. 1975a. Microbial ecology of mycorrhizal fungus, *Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Sing. in Pine forest I. Fungal colony ('Shiro') of *Tricholoma matsutake*. Bull. Gov. For. Exp. Sta. Japan 272 : 79-121.
14. Ogawa, M. 1975b. Microbial ecology of mycorrhizal fungus, *Tricholoma matsutake* (Ito et Imai) Sing. in Pine forest II. Mycorrhizae formed *Tricholoma matsutake*. Bull. Gov. For. Exp. Sta. Japan 278 : 21-49.
15. Park, H., K.H. Ka, C.I. Ryoo, K.S. Kim and H.J. Kim. 1998. Ectomycorrhizal mushroom occurrence around the fairy ring of *Tricholoma matsutake* at a pine-mushroom forest. Kor. J. Mycol. 26(3) : 306-313.
16. SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Ver. 6 edit. Cary NC, USA. 378pp.
17. Waisel, Y., A. Eshel and U. Kafkafi. 1991. Plant Root, The Hidden Half. Marcel Dekker, Inc. New York. 948pp.