

기계톱 작업에 사용되는 윤활유가 송이(*Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) Singer) 균사 생장에 미치는 영향

홍순천¹ · 박 현¹ · 가강현² · 강규석^{1,3*}

¹서울대학교 농림생물자원학부, ²국립산림과학원 산림생명자원연구부,

³서울대학교 농업생명과학연구원

Effect of Lubricant Used in Chainsaw Operations on Mycelial Growth of *Tricholoma matsutake* (S. Ito & S. Imai) Singer

Sun-Cheon Hong¹, Hyun Park¹, Kang-hyeon Ka² and Kyu-Suk Kang^{1,3*}

¹Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

²Department of Forest Bioresources, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

³Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

요약: 송이(*Tricholoma matsutake*) 생산량 감소는 소나무림의 노령화와 밀접한 연관을 가지고 있다. 노령화되는 송이 생산림은 숲 가꾸기 등의 산림 사업을 통해 송이 생산량을 유지할 수 있다. 그러나, 산림사업 과정에서 방출되는 윤활유에 대한 근거 없는 우려의 시각이 있다. 본 연구는 사업 과정에서 방출되는 윤활유를 정량화하고, 이를 송이 균사에 처리하여 생장 저해 여부를 확인하고자 하였다. 윤활유는 널리 사용되고 있는 광유계 체인오일, 생분해성 체인오일 그리고 합성유계 엔진오일 등 3개 종류를 사용하였으며, 윤활유 방출량은 실제 기계톱을 사용한 후 비산, 점적되는 오일의 양을 측정하였다. 숲 가꾸기 사업에 대한 시뮬레이션을 통해 토양에 표착되는 오일의 양과 침투하는 양을 계산하였다. 계산된 최종 오일의 양을 토대로 송이 균의 성장 저해 여부를 확인하기 위하여 광유계 체인오일은 8.16, 4.08 및 1.36n l/l, 합성유계 엔진오일은 7.98, 3.99 및 1.33n l/l 그리고 생분해성 체인오일은 8.52, 4.26 및 1.42n l/l로 각각 3단계의 농도로 실험을 진행하였다. 송이 균의 성장 저해 여부를 확인하기 위하여 앞서 설정한 오일 종류별, 농도별로 첨가된 *Tricholoma matsutake* media(TMM) 고체배지와 대조군 TMM 배지를 제조하여 송이균을 배양하였다. 광유계 체인오일을 첨가하여 30일 동안 배양한 결과, 대조군 보다 송이균 생장량이 우수하였다. 생분해성 체인오일의 경우에도 60일 배양 후 처리구가 대조군 보다 생장량이 높았다. 합성유계 엔진오일을 처리할 경우에는 배양 기간 사이에는 유의한 생장 차이를 보이지 않았지만 모든 처리구가 대조군 보다 생장이 우수하여 3종류의 윤활유 모두 송이 균사 성장 저해 여부를 확인할 수 없었다. 따라서, 송이 생산량을 높이기 위한 송이산 가꾸기와 같은 산림사업을 수행하는데 있어 윤활유 비산에 대한 부정적인 시각의 변화를 가져올 수 있기를 기대한다.

Abstract: The decline in pine mushroom (*Tricholoma matsutake*) production is closely linked to the aging of pine forests. Aged forests that produce *T. matsutake* can be managed to maintain productivity through forest tending practices. However, unfounded concerns regarding oil emission during forest practices hinder the management of pine forests, further decreasing the production of *T. matsutake*. This study assessed the amount of lubricant emission during forest practices and determined whether the emissions are harmful to *T. matsutake* growth. Three types of lubricants were selected: two commonly used chain oils (mineral chain oil and biochain oil) and one synthetic engine oil. The oil emissions were quantified by measuring the amount of lubricant that scatters and drips during chainsaw operation. Then, the amounts of oil that are deposited onto the soil and that penetrate the soil were calculated through a simulation of the forest tending operation. Based on the calculated amount of oil, three concentration levels were selected, and their inhibitory effects on the mycelial growth of *T. matsutake* were evaluated. According to the simulation results, we applied mineral chain oils at 8.16, 4.08, and 1.36 nl/l; synthetic engine oils at 7.98, 3.99, and 1.33 nl/l; and biochain oils at 8.52, 4.26, and 1.42 nl/l. To assess the effects on mycelial growth, we prepared a *T. matsutake* solid medium with and without oils. No significant effects on *T. matsutake* growth were observed. These results suggest that the perceived risks of oil emissions during forest practices may be unfounded. This finding could alter perspectives on forest practices, particularly those related to *T. matsutake* production, potentially leading to increased mushroom production.

Key words: forest practice, lubricant, mycelial growth, pine-mushroom productivity, *Tricholoma matsutake*

* Corresponding author
E-mail: kangks84@snu.ac.kr

ORCID
Kyu-Suk Kang  https://orcid.org/0000-0002-2368-5423

서 론

송이(*Tricholoma matsutake*, pine-mushroom (S. Ito & S. Imai) Singer)는 동양권에서 상품 가치가 높은 버섯 중 하나이다. 송이는 기주식물, 토양, 강수량 등 다양한 환경 조건이 충족되어야 발생하며, 인공 재배가 되지 않아 더욱 고가에 거래된다. 우리나라의 송이 생산량은 1985년 1,313톤의 최대 생산량(Koo and Bilek, 1998) 이후 계속해서 감소하고 있다(Korea Forest Service, 2015). 1970년대에는 남한 전 지역에서 생산되었지만, 이제는 한반도 남서지역에서 송이 생산이 급격히 줄어 해당지역 산림조합에서는 수매를 하지 않는다. 산림조합의 최근 5년간 자료에 따르면, 강원도에서 7개 시군, 경북에서는 12개 시군, 그리고 경남 1개 군에서 수매가 이루어지고 있다(Park et al., 2024). 이러한 경향은 숲의 천이와 산불, 병해충 등으로 인하여 송이 생산이 가능한 소나무림이 줄어들었기 때문이라고 평가되고 있다. 송이가 왕성하게 생산될 수 있는 소나무림은 4·5영급으로 보고된 바 있다(Hosford, 1997.). 그러나, 우리나라 산림의 영급 분포형이 심화되고 있어(Won et al., 2009) 송이 생산이 계속해서 감소할 것으로 예상된다.

Berch et al.(2007)은 송이 생산량 증가를 위해 숲 가꾸기 사업을 통한 송이산 환경 관리의 필요성을 제시하였다. 가지치기 등의 작업을 통해 산림의 울폐도를 낮추면, 빛이 들어올 수 있는 환경을 조성할 수 있다. 더불어 토양 위로 쌓이는 낙엽 등의 유기물을 제거하여 토양 속 유기물 함량 조절을 제안하였다. Kwon et al.(2018)은 금강산에서 송이 발생림과 비발생림을 비교하였는데 송이 발생림의 경우 숲 가꾸기 사업을 통해 하층 식생이 제거된 것으로 나타났다. 따라서, 송이 생산성을 높이기 위해서는 발생림의 환경 조성과의 연관성이 있는 울폐도 및 임분밀도 등의 관리 지침을 따라야 할 필요성이 있다.

송이산 숲가꾸기 사업의 시행 관련하여 산림조합에 자문을 구하였는데, 송이를 채취 및 생산하는 사람들은 노령림의 관리를 위한 각종 사업에 관하여 소극적이며, 비판적인 시각을 가지고 있는 경우가 많다. 특히, 생산자들은 숲 가꾸기 사업 중 기계톱 사용 과정에서 떨어지는 윤활유가 송이 생산량에 악영향을 미칠 것이라는 우려가 있어 사업 수행에 어려움이 있음을 설명하였다. 하지만, 실제로 기계톱에 사용되는 윤활유가 송이 균사 성장에 미치는 영향을 확인한 연구 결과는 없다. 이에 따라 본 연구는 숲 가꾸기 사업 과정에서 기계톱을 사용할 때 방출되는 윤활유의 양을 정확히 파악하고, 그 양이 송이 균에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 숲 가꾸기 사업 과정에서의 윤활유 방출량 조사

숲 가꾸기 현장에서는 기계톱의 윤활유로 체인오일 대신 차량의 엔진오일을 이용하는 경우도 있으며, 기계톱의 연료에 엔진오일을 섞는 경우가 있어 체인오일과 엔진오일을 실험에 사용하였다. 본 실험에서는 구성성분에 따라 광유계 체인오일(Mineral Chain oil, Husqvarna, Sweden), 생분해성 체인오일(X-GUARD Bio Chain Oil, Husqvarna, Sweden) 그리고 합성유계 엔진오일(Kixx D1 Turbo, GS Caltex, South Korea) 등 총 3개 종류에 대하여 균의 성장 저해 여부를 평가하였다. 송이 균사에 처리할 체인오일과 엔진오일의 양을 결정하기 위해 숲 가꾸기 작업 시뮬레이션을 수행하였다.

실제로 숲 가꾸기 작업 동안 지표면에 표착되는 양을 추정하기 위해서 전문가와의 인터뷰를 통해 적정량을 추정하였다. 국립산림과학원 산림기술경영연구소 담당 연구관의 자문에 따르면 평균적인 숲가베기 과정은 1ha 당 128시간이 소요되며, 이 때 기계톱 운영시간은 전체 작업 시간의 50~60%였다. 따라서 숲가베기를 할 때 1ha 당 약 64~77시간을 기계톱 운용시간으로 보고 이를 바탕으로 숲 가꾸기 작업을 1ha 할 때, 전기톱 실제 가동시간 60% 조건에서 1일 기준 근로(8시간) 동안 2명의 작업자가 수행하는 것으로 하였다.

숲 가꾸기 시뮬레이션은 총 3개의 거름종이 클러스터를 동시에 설치하고 그 위에서 5분간 전기톱을 작동시켜 비산, 점적되는 오일의 양을 확인하였다[Figure 1(A)]. 이러한 과정을 3번 반복하여 총 9개의 클러스터에 대한 데이터를 수집하였다. 하나의 클러스터를 기준으로 그 위에서 전기톱을 작동시키는 작업은 전기톱을 이용하여 벌목 또는 가지치기를 하는 과정에 해당되며, 다른 클러스터 위에서 전기톱을 작동시키는 작업은 전기톱을 들고 다른 임목을 향해 이동하는 과정으로 설정하였다.

송이 균사가 존재하는 토양 내부에 침투되는 오일의 양을 계산하기 위해 기름유출 사고가 났을 때의 조건대 모형을 설계하여 오일의 토양 침투량을 측정한 연구를 참고하였다(Cheong, 2005). 연구 결과 8L의 원유가 1m²에 표착되었을 때 지하 4~6cm의 토양 1kg에 침투된 원유의 양은 29.8g이었다. 따라서 해당 연구에서는 지표면 1m²에 8L의 오일이 표착되었을 때, 오일이 토양 질량의 3%를 차지한다고 제시하였다.

시뮬레이션 후, 오일이 방출된 모양에 따라 작은 점으로 흩뿌려진 경우는 비산의 형태로, 덩어리진 방울로 떨어진 경우는 점적으로 보았다[Figure 1(B)]. 각 클러스터별로 1

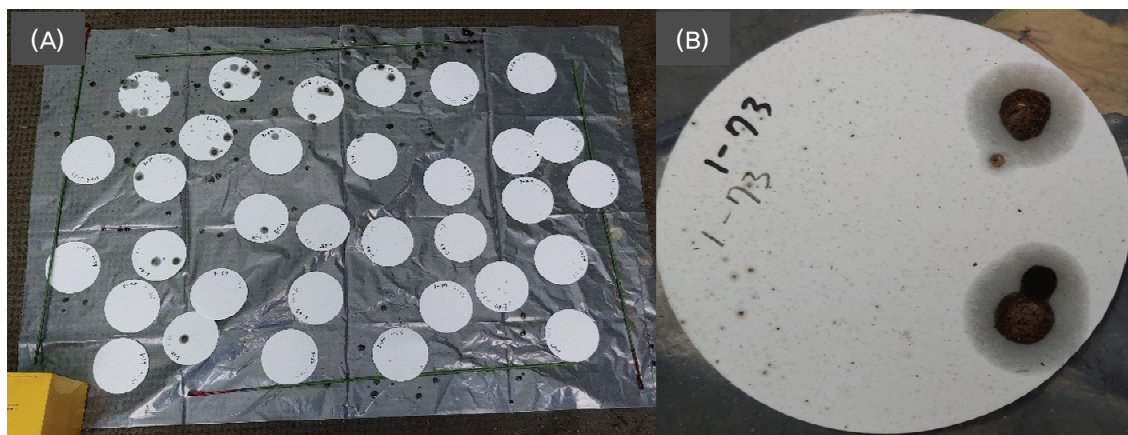


Figure 1. Oil emission experiment during chainsaw operation simulation; (A) array of 33 filter papers used to collect scattered oil droplets, (B) close-up of filter paper after the experiment showing oil spots.

개 거름종이에서 비산, 점적되는 오일양의 평균값을 구한 후 간벌 시 1m^2 당 지표면에 표착되는 오일의 질량을 계산하였다. 추가적으로 지표면의 오일이 지하로 침투되는 양을 계산하여 각 체인오일들과 엔진오일의 밀도를 이용해 배지에 첨가할 오일의 부피를 정하였다.

2. 윤활유 첨가 배지에서 송이균 성장량 측정

시물레이션을 통해 설정된 각 오일의 양을 기준으로 송이균 성장 저해 여부를 확인하기 위해 오일 종류별 3단계의 농도 조건을 설정하여 총 9개 실험구와 오일을 첨가하지 않은 대조구 1개를 대상으로 실험을 수행하였다. 송이균주는 국내 산림에서 자생한 자실체로부터 순수 분리된 것으로 국립산림과학원으로부터 분양 받아 실험에 사용하였다. 송이 균주를 배양하기 위하여 *Tricholoma matsutake* media(TMM) 고체배지(1L 기준 20g glucose, 20g agar, 1.5g yeast extract, 1.5g soytone) (Kim et al., 2005)를 사용하였으며, 오일의 종류에 따라 농도별로 배지에 첨가하였다.

윤활유의 농도가 미량이기 때문에 TMM 액체배지(1L 기준 20g glucose, 1.5g yeast extract, 1.5g soytone)에 오일을 첨가한 후 serial dilution을 사용하여 농도별로 배지를 제조하였다. 오일이 첨가된 9개의 TMM 액체배지 20mL를 TMM 고체배지 180mL에 첨가하여 실험용 배지를 만들었다. TMM 고체배지는 0.1N의 NaOH와 0.1N의 HCl을 사용하여 pH를 5.2로 맞춘 후 고온 조건에서 오일의 변성이 실험에 영향을 미치지 않기 때문에(Minami, 2017) 121°C 에서 15분 고압멸균하여 페트리 접시($90 \times 15\text{mm}$)에 15~20 mL씩 분주하였다.

분양 받은 송이 균주의 가장자리를 7mm 코르크 천공기로 잘라낸 뒤 메스로 잘린 부위를 TMM 고체배지로 옮겨 배양하였다. 접종원이 상치된 고체배지는 배양기에서 2

5°C 조건으로 암배양하였다. 배양일을 기준으로 30일 간격으로 송이 균사의 성장량을 확인하였다. 확인 방법으로는 송이 균사체의 8방위에서 mm 단위로 측정된 뒤 평균을 계산하였다. 통계분석을 위해 IBM SPSS Statistics 26을 이용하였으며, 각 측정일별로 대조구와 9개 처리구의 성장량에 대해 ANOVA와 Duncan 사후분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 숲 가꾸기 시업 과정에서의 윤활유 방출량

숲 가꾸기 시물레이션 후 클러스터별로 비산과 점적을 분류하여 계산한 오일양의 평균과 표준오차는 Table 1 및 Table 2에 나타난 바와 같다. 비산된 오일양의 평균은 시물레이션 5분 동안 1개의 거름종이에 0.0277~0.0342g이었으며(Table 1), 점적된 오일양의 평균은 시물레이션 5분 동안 1개의 거름종이에 0.0806~0.1227g이었다(Table 2). 시물레이션 결과를 바탕으로 향후 배지에 처리할 체인오일, 엔진오일의 양을 계산하기 위해 평균값을 포괄할 수 있는 오일의 비산 및 점적량으로 0.02, 0.06 및 0.12g을 선정하였다.

2020년 우리나라의 평균 임목축적은 $165.2\text{m}^3/\text{ha}$ 이며, 숲 가꾸기 작업에 적용하기 위해 평균 임목축적의 1/4인 $41.3\text{m}^3/\text{ha}$ 를 베어낸다고 가정하였다. 송이산이 천연림일 경우 작업에 어려움이 있어 속도가 느려지는 것을 반영하여 Mun et al.(2014)이 보고한 벌도 및 조제작업 시간을 1일 작업가능한 면적의 절반, 즉 소나무림은 33.48m^3 , 낙엽송림은 21.93m^3 으로 하여 ha 당 필요한 작업시간을 고려하였다. 이 때, 1일 근로시간을 6시간 작업 가능한 것으로 하였다(Mun et al., 2014).

앞서 제시한 기준에 따르면 1ha를 작업 시 1일 동안 2명

Table 1. Statistical information on dispersed oil including the number of filter papers used during a simulation of chainsaw operation for felling and pruning, the average amount of oil scattered per filter paper over 5 minutes, and the corresponding standard error.

	Number of filter paper	Average amount of oil (g/filter paper·5min)	Standard error
Cluster 1	18	0.0328	0.0013
Cluster 2	20	0.0342	0.0018
Cluster 3	16	0.0306	0.0017
Cluster 4	12	0.0277	0.0025
Cluster 5	12	0.0278	0.0012
Cluster 6	11	0.0199	0.0009
Cluster 7	22	0.0298	0.0014
Cluster 8	21	0.0277	0.0006
Cluster 9	24	0.0277	0.0008

Table 2. Statistical information about oil droplets dispersed during chainsaw operation simulation for logging and pruning, including the number of filter papers used, the average amount of oil dropped per filter paper over 5 minutes, and the corresponding standard error.

	Number of filter paper	Average amount of oil (g/filter paper·5min)	Standard error
Cluster 1	15	0.0930	0.0090
Cluster 2	13	0.1135	0.0108
Cluster 3	17	0.1184	0.0158
Cluster 4	21	0.1227	0.0179
Cluster 5	21	0.0929	0.0084
Cluster 6	22	0.1226	0.0161
Cluster 7	11	0.0806	0.0089
Cluster 8	12	0.1168	0.0164
Cluster 9	9	0.1010	0.0140

의 작업자가 필요하며 실제 가동시간 60%(4.8hr/day)을 곱하면 ha 당 9.6시간으로 산출되었다. 이 때, 낙엽송림의 데이터를 이용해 계산한 값이 기준값과 더 가까웠기 때문에 이를 오일의 농도 계산에 이용하였다. 1명이 작업할 경우로 가정하여 ha 당 소요시간을 계산하면 1ha = $1 \times 10^4 \text{m}^2$ 이므로 산출된 m^2 당 작업시간은 $1.13 \times 10^{-3} \text{hr}$ 이었다. 거름종이 1장의 면적은 약 $6.36 \times 10^{-3} \text{m}^2$ 이지만, 계산상의 편의를 위해 환산을 하지 않고 $1.13 \times 10^{-3} \text{hr/m}^2$ 를 기준으로 숲 가꾸기 시간을 계산하였다. 1시간을 60분으로 치환하여 계산할 시 지표면에 표착되는 오일의 양은 약 $2.71 \times 10^{-4} \text{g/m}^2$ 이었다.

Cheong(2005)의 연구에서는 조간대 모형을 사용하였기 때문에 수분이 적은 산림토양과 비교하였을 때 3%는 과대치로 판단될 수 있다. 하지만, 해당 수치를 그대로 적용함으로써 실제 숲 가꾸기 과정에서 산림토양에 오일이 침투되는 양보다 더 많은 양이 침투될 가능성을 고려하였다.

조간대 모형을 위해 조석변동을 재현으로 토양이 물 속에 들어갔다 나오는 과정이 반복되었으며, Cheong(2005) 연구에 사용된 Upper Zakum 원유의 밀도는 $8.55 \times 10^{-1} \text{kg/l}$ 이었다. Upper Zakum 원유 8ℓ의 질량은 6,840g으로 지하 4~6cm 토양 1kg에 침투되는 오일의 값은 약 $1.19 \times 10^{-7} \%$ 이었다.

토양에 존재하는 오일의 비율은 약 $1.19 \times 10^{-9} \%$ 이었으며, 토양 1kg에 존재하는 오일의 양은 약 $1.19 \times 10^{-6} \text{g}$ 이었다. 이 때, 토양 가비중을 1.3으로 가정하면 토양 1ℓ에 존재하는 오일의 양은 약 $1.55 \times 10^{-6} \text{g}$ 이므로 $1.55 \times 10^{-6} \text{g/l}$ 을 기준으로 최종적인 체인오일 및 엔진오일 처리 농도를 설정하였다.

광유계 체인오일, 합성유계 엔진오일 및 생분해성 체인오일의 밀도는 각각 0.860, 0.880 그리고 0.918g/ml 이다. 따라서 토양 1ℓ에 존재하는 오일의 부피는 광유계 체인오일이 약 $1.33 \times 10^{-6} \text{nℓ}$, 합성유계 엔진오일이 $1.36 \times 10^{-6} \text{nℓ}$ 그

리고 생분해성 체인오일이 $1.42 \times 10^{-6} \text{ nL}$ 이었다. 배지에 오일을 처리하기 위해 토양 1L 당 오일의 부피를 배지 1L 당 오일의 부피로 환산한 값을 Table 3에 제시하였다.

시뮬레이션 종합 결과, 광유계 체인오일은 L당 8.16nL (M1), 4.08nL(M2) 및 1.36nL(M3), 합성유계 엔진오일은 7.98nL(S1), 3.99nL(S2) 및 1.33nL(S3) 그리고 생분해성 체인오일은 8.52nL(B1), 4.26nL(B2) 및 1.42 nL(B3)로 계산되었다.

2. 윤활유 첨가 배지에서 송이균 성장량

송이균 배양 후 30일, 60일 및 90일 간격으로 균사의 성장량을 측정하였다(Figure 2). 통계 분석 결과 모든 날짜에서 집단 간 성장량 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 광유계 체인오일을 첨가하여 배양한 후 30일과 90일에서 유의확률은 0.01보다 작았으며($p = 0.00$), 배양 후 60일의 분석에서 유의확률은 0.05보다 작았다($p = 0.01$). Duncan 사후분석 결과, 송이균 배양 후 30일의 경우 M1 조건만 대조구와 통계적인 유의차를 보였는데, 대조구는 9.6mm의 성장량을 보인 반면, M1 조건은 10.3mm의 성장량을 보였다(Figure 2).

생분해성 체인오일의 배양 후 30일 분석 결과에서는 B3 조건이 B1, B2 조건보다 통계적으로 유의하게 낮은 값을 보였으며, B1과 B2 조건 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Figure 2). 배양 후 60일과 90일 모두에서 B2 조건이 다른 두 조건에 비해서 통계적으로 유의하게 성장량이 높았다(Figure 2). 즉, 송이균 배양 후 60일의 경우 대조구의 성장량이 18.3mm인 것과 비교하여 B2 조건에서 성장량이 21.7mm로 B2 조건에서의 성장량이 오히려 높은 것을 확인하였다. 송이균 배양 후 90일의 경우 M1 조건과 B2 조건에서 성장량이 각각 28.4, 30.9mm로 25.4mm의 성장량을 보인 대조구와 통계적인 유의차를 보였다. 즉, 대조구와 통계적인 유의차를 보이는 실험구들 모두 대조구보다 더 높은 성장량이 확인되었다(Figure 2).

합성유계 엔진오일의 경우, 배양 후 30일에 S2 조건의 성장량이 S1, S3조건보다 통계적으로 유의한 수준으로 성장량이 적었으며, 다른 두 조건 사이에는 유의한 차이가 없었다. 합성유계 엔진오일의 배양 후 60일과 90일 성장량 분석 결과, 세 농도 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

대조구와 비교할 때 오일이 처리된 배지에서 성장량 저

Table 3. Oil concentrations for three oils during a simulation of chainsaw operation.

Results of simulation (g/1filter paper-5min)	Mineral chain oil (nL/L)	Synthetic engine oil (nL/L)	Biochain oil (nL/L)
0.02	1.36	1.33	1.42
0.06	4.08	3.99	4.26
0.12	8.16	7.98	8.52

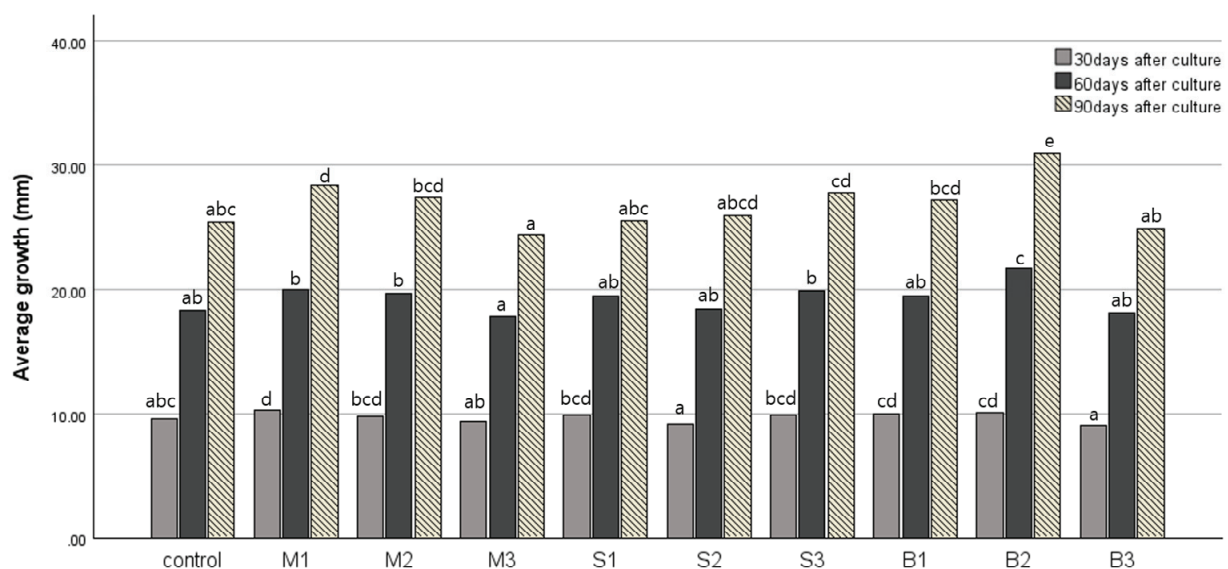


Figure 2. Average mycelial growth measured at 30, 60, and 90 days after exposure to different oil treatments: mineral chain oil (M), synthetic engine oil (S), and biochain oil (B). (a, b, c and d are results of Duncan post-hoc analysis).

하가 일관되게 나타나지 않았다. 이와 관련하여 선행연구들은 다양한 양상을 보였는데, Asemoloye et al.(2020)은 기름 오염이 빈번한 토양에서 *Mucor irregularis*와 *Aspergillus oryzae*를 분리한 뒤 엔진오일을 넣은 배지와 엔진오일을 넣지 않은 대조구 배지에 배양시켜 성장량을 비교하였다. *M. irregularis*는 오일이 10% 포함된 배지에서 성장량이 대조구의 59.96%였으며, 20% 포함된 배지에서 성장량은 대조구의 45.86%였다. *A. oryzae*는 엔진오일이 10% 포함된 배지에서 성장량이 대조구의 46.69%였으며, 20% 포함된 배지에서 성장량은 대조구의 39.40%로 낮은 성장량을 보였다.

Benguenab와 Chibani(2021)는 UE oil을 인위적으로 오염시킨 토양에서 *Aspergillus ustus*과 *Purpureocillium lilacinum*를 분리한 후 원유, 디젤, UE oil이 포함된 배지(각 오일별 2, 4, 6%)에 배양하여 오일이 포함되지 않은 대조구 배지와 성장속도(cm/day)를 비교하였다. *A. ustus*의 경우 원유 2% 조건에서 대조구에 비해 성장속도가 빨랐으며, *P. lilacinum*은 원유 6%, 디젤 4%, 6%, UE oil 2%, 6% 조건에서 대조구에 비해 성장속도가 느렸다.

본 연구의 성장량 결과는 Asemoloye et al.(2020)의 *Mucor irregularis*와 *Aspergillus oryzae* 성장량 결과 그리고 Benguenab와 Chibani(2021)의 *P. lilacinum* 성장속도 결과와는 반대의 양상이었다. 즉, 본 연구에서는 대조구와 통계적으로 유의한 차이를 보이는 실험구 모두 대조구보다 성장량이 많았다. 이러한 차이는 숲 가꾸기 과정에서 토양에 비산 및 점적되는 오일의 양이 매우 적은 양이라는 점이 원인일 수 있다. 실제 현장에서 송이균이 자라는 환경에서 토양에 침투되는 오일의 양이 실험 조건보다 더 적고, 토양 내에서 희석될 가능성을 고려하였을 때, 오일이 송이 균사 생장에 미치는 부정적인 영향은 크지 않을 것이다.

또한, 선행연구들은 오일을 분해할 수 있는 진균들을 대상으로 오일을 분해하면서 부정적인 영향을 받아 생장이 저해되었을 가능성이 있다. 송이균의 경우 오일에 대한 직접적 분해가 이루어지지 않기 때문에 저해가 발생하기 어려웠을 수 있다. 따라서, 오일 분해 능력이 없는 송이균과 직접 비교가 어려울 수 있으나 본 연구는 송이균과 윤활유의 상호작용에 대한 초기 연구로서 오일 처리 농도와 종류에 따른 송이 균사 생장에 미치는 영향에 대한 가능성을 제시하고 있다.

결론

송이 생산을 위해서는 소나무림의 지속적인 관리가 필요하다. 따라서 산림청은 ‘송이산 가꾸기’라는 지침서를

발간하여 생산성을 높이하고자 하는 노력을 해왔으나, 윤활유 방출량에 대한 우려로 시행을 꺼리는 경우가 있다. 본 연구에서는 윤활유 방출량 시뮬레이션을 통해 실제 숲 가꾸기 시업 동안에 비산, 점적되는 오일의 양을 제시하고자 하였다.

송이 균사 생장 저해 관련하여 다양한 유, 무기물을 이용한 연구가 수행되었다(Kang et al., 2018). 선행연구 결과 송이균은 NaCl 1% 이상, Cd이 존재하는 조건에서 생장이 저해되었으며 살충제 및 살선충제(Emamectin benzoate)가 존재하는 조건에서도 생장이 저해되었다. 연구 결과들을 통해 송이 균사는 생장이 매우 느리고 배양 조건이 까다로운 것이 밝혀졌다. 그러나, 오일 처리 조건들을 대조구와 비교하였을 때 저해 여부를 확인할 수 없었으며, 오히려 성장량이 높았던 조건들이 존재하였다. 이는 기계톱 사용 과정에서 토양에 오일이 비산 및 점적되더라도 최소한 송이 균사 생장에 부정적인 영향을 주지 않을 가능성을 시사한다.

본 연구는 비교적 제한된 실험 조건에서 수행되었으며, 현장에서 발생할 수 있는 윤활유의 변형이나 중금속 등 오염물질의 영향을 반영하지 않았다. 따라서, 윤활유가 송이 균사 생장에 미치는 영향을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 다양한 환경적 변수를 고려한 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구 결과는 윤활유 사용이 송이 생산에 부정적인 영향을 미치지 않을 가능성을 제시하고 있다.

감사의 글

본 연구는 산림청(국립산림과학원) 위탁과제(0525)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다. 군주 분양 및 실험 장소 제공 등에 도움을 주신 국립산림과학원 및 서울대학교 본부 학술림 관계자들께 감사드립니다.

References

- Asemoloye, M.D., Tosi, S., Daccò, C., Wang, X., Xu, S., Marchisio, M.A., Gao, W., Jonathan, S.G. and Pecoraro, L. 2020. Hydrocarbon degradation and enzyme activities of *Aspergillus oryzae* and *Mucor irregularis* isolated from nigerian crude oil-polluted sites. *Microorganisms* 8(12): 1912.
- Benguenab, A. and Chibani, A. 2021. Biodegradation of petroleum hydrocarbons by filamentous fungi (*Aspergillus ustus* and *Purpureocillium lilacinum*) isolated from used engine oil contaminated soil. *Acta Ecologica Sinica* 41(5): 416-423.

- Berch, S.M., Ka, K.-H., Park, H. and Winder, R. 2007. Development and potential of the cultivated and wild-harvested mushroom industries in the Republic of Korea and British Columbia. *Journal of Ecosystems and Management* 8(3): 53-75.
- Cheong, C.-J. 2005. Penetration of weathered oil and dispersed oil and its ecological effects on tidal flat-as infiltration of dissolved matter. *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy* 8(3): 134-139.
- ElHady, S., Amin, O., Elhussieny, A. and Fahim, I.S. 2023. Bioplastics, biodegradable plastics, and degradation in natural environments. In *Biodegradability of Conventional Plastics*. p.47-67.
- Hosford, D. 1997. Ecology and management of the commercially harvested American matsutake mushroom. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-412. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. pp. 68.
- Ka, K.H., Hur, T.-C., Park, H., Kim, H.-S. and Bak, W.-C. 2010. Mycelial growth and fairy-ring formation of *Tricholoma matsutake* from Matsutake-infected pine trees. *The Korean Journal of Mycology* 38(1): 16-20.
- Ka, K.H., Kim, H.-S., Jeon, S.-M., Ryoo, R., Jang, Y.S., Wang, E.-J. and Jeong, Y.S. 2017. Determination of the minimum size of seedlings with Matsutake mycelia that can survive in the field for Matsutake-infected pine tree production. *The Korean Journal of Mycology* 45(3): 188-195.
- Kang, J.-A., Ka, K.-H., Kim, J.Y. and Kim, S.H. 2018. Mycelial growth properties of domestically collected ectomycorrhizal *Tricholoma* mushrooms in various culture conditions. *The Korean Journal of Mycology* 46(3): 271-280.
- Kim, I.Y., Jung, G.R., Han, S.K., Cha, J.Y. and Sung, J.M. 2005. Favorable condition for mycelial growth of *Tricholoma matsutake*. *The Korean Journal of Mycology* 33(1): 22-29.
- Koo, C.D. and Bilek, E.M. 1998. Financial analysis of vegetation control for sustainable production of songyi (*Tricholoma matsutake*) in Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 87: 519-27.
- Korea Forest Service. 2015. Survey on production of forest products. Daejeon: Korea Forest Service.
- Kwon, H.-J., Kim, J.-W., Cha, D.-W. and Oh C.-H. 2018. Characteristics of plants according to the management characteristics of "National Important Agricultural Heritage" Uljin Geumgang Forest region. *Korea Society of Environment and Ecology* 28(2): 4-5.
- Minami, I. 2017. Molecular science of lubricant additives. *Applied Sciences* 7(5): 445.
- Mun, H.-S., Cho, K.-H. and Park, S.-J. 2014. An analysis of the operational productivity and cost for the utilization of forest-biomass (I)-the operational time and productivity. *Journal of Korean Society of Forest Science* 103(4): 583-592.
- Park, H., Han, H., Kang, K.-S. and Hong, S. 2024. Changes and prospects for pine-mushroom productivity in the Republic of Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 113(3): 282-291.
- Won, H.K., Kim, Y.H. and Kwon, S. D. 2009. Estimation of optimal harvest volume for the long-term forest management planning using goal programming. *Journal of Korean Society of Forest Science* 98(1): 125-131.

Manuscript Received : September 11, 2024

First Revision : October 23, 2024

Second Revision : October 29, 2024

Accepted : October 30, 2024