J. Korean Soc. For. Sci. Vol. 107, No. 1, pp. 1~15 (2018)
https://doi.org/10.14578/jkfs.2018.107.1.1

한국산림과학회지
JOURNAL OF KOREAN SOCIETY OF FOREST SCIENCE
ISSN 2586-6613(Print), ISSN 2586-6621(Online)
http://e-journal.kfs21.or.kr

신갈나무림에서 솎아베기가 임내환경과 자연버섯 발생에 미치는 영향

박용우 · 구창덕* · 최현빈 · 김진건 · 이희수 · 이화용
충북대학교 산림학과

Effect of Thinning on Environmental Factors and Wild Mushroom Fruting in *Quercus mongolica* Forest

Yong Woo Park, Chang Duck Koo*, Hyun Bin Choi, Jin Gun Kim, Hee Su Lee and Hwa Yong Lee
Department of Forestry, Chungbuk National University, Chungju 28644, Korea

요 약: 신갈나무 천연림에서 솎아베기가 임내 미기후 환경과 버섯 발생에 미치는 영향을 알아보기 위하여 약 45%의 솎아베기 후 4년이 경과한 신갈나무림에 토양온도, 대기온도, 수관통과우량 및 토양수분량의 변화를 조사하였다. 그 결과 솎아베기를 인하여 수관울폐율이 4월부터 10월까지 약 6% 가량 낮아졌고 토양온도와 대기온도가 8월까지 1~2℃ 이상 높아졌다가 9월 이후에는 차이가 점점 줄어들었다. 월별 평균 일교차는 10월까지 0.2~0.7℃ 가량 커졌고 이후부터는 차이가 없었다. 또한 7월~9월 동안 수관통과우량이 약 135 mm 더 많아졌고 단위시간당 수관통과우량도 최대 3.5 mm/h 많아졌다. 강우시 토양 수분량은 약 5% 이상 더 많아졌고 강우 전 수준으로 되는 기간이 약 4일가량 더 걸렸다. 솎아베기 지역의 7~9월의 버섯 발생 종은 55종으로 균근성 버섯은 10종, 부후성 버섯은 1종이 더 증가하였고. Shanon-Wiener 지수는 3.2로 0.5가량 더 높았다. 솎아베기 지역에서는 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*) 등이 더 빨리 발생하였으나, 진갈색주름버섯(*Agaricus subrutilescens*), 깔때기버섯속(*Clitocybe* sp.)은 더 늦게 발생하였다. 또한, 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*)은 우점도가 약 6%, 발생량이 약 1.5배가량 증가하였고, 뽕나무버섯속(*Amillaria* sp.)은 우점도가 약 30%, 발생량이 약 20배 가까이 증가하였다. 이와 같은 결과로 신갈나무림에서 솎아베기는 버섯발생에 영향을 주는 토양과 대기의 온도, 수관통과우량과 토양수분을 증가시키며 이는 버섯 발생 종의 다양성 증가, 종별 발생시기의 변화, 일부 균근성버섯과 뽕나무버섯속(*Amillaria* sp.)의 우점도와 발생량을 증가시킨다고 결론짓는다.

Abstract: In order to determine the effects of thinning on mushroom fruiting, microclimate and air temperature in *Quercus mongolica* forests, this study investigated changes in crown density, soil temperature, air temperature and throughfall in the natural *Q. mongolica* forest which was thinned by approximately 45% four years ago. The results showed that crown density was smaller than control by 6% from April to October, The soil temperature and air temperature in the thinned stands were significantly higher than those of the control by 1~2°C until August and differences in air and soil temperature. The average daily temperature difference was higher than control by 0.2~0.7°C until October. Throughfall from July to September in the thinned was approximately 135 mm higher than in the control. The maximum difference in throughfall per unit time was 3.5 mm/h. Soil moisture in the thinned site increased by approximately 5% compared with the control and reduced to the normal moisture after 4 days in both sites. 55 mushroom species were found in the thinned area between July and September. The thinned site contained 10 mycorrhizal mushrooms more than the control and 1 saprophytic mushroom species more than the control. Shannon-Wiener Index was 3.2, approximately 0.5 higher than the control. *Tylopilus neofelleus*, etc., occurred in the thinned site more quickly, but *Aaricus subrutilescens*, *Clitocybe* sp, occurred later. In the thinned site, the dominance of *Tylopilus neofellelus* and *Armillaria* sp. increased approximately 6% and 30% and yield about 1.5 times and 20 times, respectively. In conclusion, thinning in the *Q. mongolica* forest increased the soil and air temperature, soil

* Corresponding author
E-mail: koocdm@chungbuk.ac.kr
ORCID
Chang Duck Koo http://orcid.org/0000-0001-9508-8858

moisture, throughfall and the diversity of mushroom species, and advanced the period of occurrence, and increased dominance and yield of some mycorrhizal mushrooms and *Amillaria* sp.

Key words: *structure of stand, soil temperature, soil moisture, saprophytic mushroom, ectomycorrhizal mushroom*

서 론

산림에서 자연버섯은 유기물을 분해하고 이 과정에서 영양염류를 방출하여 산림생태계의 양분순환에 기여한다. 또한 인공재배가 안되고 자연적으로만 발생하는 균근성 버섯은 식물뿌리와의 공생관계를 통하여 기주식물에 물과 무기양분 등의 흡수 능력을 증가시키는 기능을 한다(Robert, 1980; Van Elsas and Trevors, 1997).

뿐만 아니라, 식용, 약용적 가치가 있는 자연버섯들은 지역 시장이나 마트 등에서 판매되어 지역주민들의 소득에 기여하기도 한다. 우리나라의 경우 '산림청 임산물 생산 조사'에서 표고, 송이, 느타리, 능이, 싸리버섯, 목이 등이 포함되어 있으며 이중 표고와 느타리를 제외한 자연버섯들은 주로 산림에서 채취하여 식용한다. 외국의 경우에도 젖버섯류, 꾀꼬리버섯류 등 다양한 버섯들의 거래가 이루어지고 있다(Schlosser and Blatner, 1995; RomÁn and Eric, 2006; Ka, 2010).

산림에서 버섯의 발생에 영향을 주는 요인들은 매우 다양하다. 온도, 습도, 강수량 등의 기후적인 요인들과, 고도, 경사, 토양 등 입지적인 요인들, 기주식물의 종류, 연령, 크기 등 산림 내 식생과 관련한 요인, 버섯의 종류 생활사 등 버섯 균 자체에 의한 요인 등이 있다(Newton and Haigh, 1998; Lee et al., 2005; Twieg et al., 2007; Lee, 2008; Jang, 2014) 특히 강수량과 온도는 그 해의 버섯 발생과 큰 상관관계를 가진다(Park et al., 2010; Kim and Jang, 2016). 산불이나 산림작업 등에 의한 교란은 위와 같은 요인들을 급격하게 변화 시켜 버섯의 발생에 영향을 미치기도 하는데(Daniel et al., 2005), 이전 연구들에 의하면 산불로 인하여 *Rhizina undulata*나, 일부 곰보버섯류의 발생이 촉진되었으나 *Leccinum corsicum*, *Boletus edulis*와 같은 외생균근성 버섯들의 발생은 크게 감소하였다(Horikoshi, 1986; Pablo et al., 2006; Winder and Keefer, 2008).

한편, 국내에서는 이제까지 산림에서 시행하는 조림, 숲 가꾸기, 갱신 등과 같은 작업들이 임분 구조의 변화, 임목의 생장, 토양 계류의 변화, 산사태 발생, 산불 방제(Park, 2004; Lee et al., 2009; Youn et al., 2011; Kim and Lee, 2012; Lee et al., 201) 등에 영향을 미치는 것으로 알려졌으나 자연버섯 발생의 변화와 관련된 연구는 거의 이루어지지 않았다. 외국의 경우 특히, 유럽에서는 이미 산림작업의 강도, 기간, 식생, 작업 방법 등에 의한 버섯 발생에 대하여 중장기적인 연구가 이루어지고 있으며 이와 관련된 산림경영형태로 'Mycosilviculture'를 소개하기도 하였다(Savoie and Largeteau, 2011). 그러나 여기에도 산림작업으로 인한 임내 미기후의 변화와 버섯 발생의 특징을 연구한 것이 거의 없고, 대부분의 연구가 침엽수림에서 이루어져 활엽수나 혼효림에 대한 연구도 미흡한 실정이다(Antonio et al., 2017). 따라서 본 연구에서는 우리나라 활엽수의 대표적인 수종인 참나무류 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 신갈나무림에서(Kim et al., 2013) 솎아베기(간벌)에 의해 변화된 임내 미기후 환경과 자연버섯의 발생 변화에 관하여 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

연구 대상지는 경상북도 문경시 동로면 명전리 산 29-1번지의 신갈나무림으로 천연림에 해당한다(36° 48' 06" N ~36° 48' 02" N, 127° 19' 03" E~127° 18' 54" E). 이 지역은 2012년에 솎아베기가 시행된 이후 약 4년 정도가 지났다. 고정조사구는 솎아베기가 시행된 시험구 3개(T1~T3), 시행되지 않은 대조구 2개(C1~C2)를 설치하였고 조사구의 크기는 20 m×20 m였다. 솎아베기 지역과 대조구와의 거리는 약 50~70 m로 하였다.

ha 당 입목수는 시험구가 평균 725±281그루로 이중 신갈나무는 평균 650±278그루였고 대조구가 평균 1300±141그루로 이중 신갈나무는 1175±106그루였다. 시험구에서 전체 입목의 평균흉고직경과 수고는 각각 17.7±5.0 cm, 14.4±3.5 m였고 이중 신갈나무의 평균흉고직경과 평균수고는 18.1±4.5 cm, 14.7±3.0 m였다. 대조구에서는 전체 입목의 평균흉고직경과 평균수고가 각각 16.6±5.0 cm, 14.6±3.0 m였고 이중 신갈나무의 평균흉고직경과 평균수고는 16.5± 4.6 cm, 14.5±2.8 m였다. 방위는 시험구가 북사면, 대조구가 북~북동으로 경사는 15~20°로 약간 급한 곳이었다(Table 1).

시험구의 평균 간벌률은 45±6.1%로 남아 있는 그루터기 중에서 직경 6 cm 이상이 되는 것이 ha 당 825±198개였으며 이중 신갈나무는 ha 당 616±218개였다. 솎아베기의 방식은 하층간벌로 그루터기 위치는 특별한 규칙성 없이 잔존목을 중심으로 1~2 m 사이에 있었다. 대조구

Table 1. Summary of high trees investgated and vegetation table of plant community in reaserch sites.

'Thin'=thinning, 'Con'=control

Site	No. High trees (*Q. mongolica*)/ha	DBH(cm) mean / minimum–maximum		Tree Height(m) mean / minimum–maximum		Thinning rate (%)
		Total High trees	*Q. mongolica*	Total High trees	*Q. mongolica*	
Thin-1	400(350)	23.4/14-32	23.4/14-32	15.4/11-23	14.4/11-21	50
Thin-2	900(900)	16.4/12-22	16.4/12-22	15.6/11-20	15.6/11-20	38
Thin-3	875(700)	16.4/6-26	17.8/10-26	16.4/6-19	13.7/6-19	46
Con-1	1200(1100)	17.1/8-32	16.8/8-28	14.0/8-20	13.9/8-18	.
Con-2	1400(1250)	16.1/8-26	16.2/8-26	15.1/8-20	15.2/8-20	.

Site		Thin-1	Thin-2	Thin-3	Con-1	Con-2
Altitude(m)		670	698	708	742	754
Aspect		N	N	N	N	NE
Slope(°)		20	15	20	15	20
Area(m2)		20 x 20	20 x 20	20 x 20	20 x 20	20 x 20
Number of species		13	13	18	13	15
Woody plant						
Acerpictum subsp.mono	S	.	.	.	.	1
Acer pseudosieboldianum	T2	.	.	1	1	
	S	2	2	2	.	.
Betula davurica	T2	.	.	5		.
Clerodendrum trichotomum	S	.	.		.	2
Cornus controversa	T1	.	.	.	1	.
	T2	.	.	5		.
Fraxinus rhynchophylla	T1	.	.	.	2	.
	T2	.	.	5	.	.
	S	.	2	2	.	2
Fraxinus sieboldiana	S	.	2		.	2
Kalopanax septemlobus	S	.	.	.	.	1
Larix kaempferi	T1	5	.	.	.	.
Lespedeza maximowiczii	S	2	.	2	.	2
Lindera obtusiloba	S	.	2	2	2	2
Magnolia sieboldii	S	.	.	1		2
Prunus sargentii	T2	.	.	1	.	.
Quercus mongolica	T1	9	9	9	9	9
Quercus variabilis	T1	.	.	.	.	2
Rhododendron mucronulatum	S	.	2		.	.
Rhododendron schlippenbachii	S	.	2	2	.	.
Rhus trichocarpa	S	.	2	.	.	.
Rubus crataegifolius	S	.	2	.	.	.
Styrax obassia	S	.	2	.	.	.
Symplocos chinensis	S	2	2	2	2	.
Weigela subsessilis	S	.	.	.	2	.
Herbs						
Ainsliaea acerifolia	H	2	2	2	2	2
Athyrium niponicum	H	2	2	2	2	.
Carex siderosticta	H	.	.	.	.	4
Dryopteris crassirhizoma	H	.	.	.	2	.
Hemerocallis fulva	H	2	2	.	3	2
Hosta longipes	H	2	2	2	.	.
Polygonatum odoratum	H	2	2	2	2	2
Syneilesis palmata	H	2	.	2		2

* T1 = canopy(first high trees), T2= understory(second high trees), S= shrub, H=herb.

에서는 벌채에 의한 그루터기는 없었으나 직경 6 cm 이상이 되는 고사목이 550±70.7그루로 이 중 신갈나무가 ha당 487±53그루였다. 각 조사구의 식생구조를 Westhoff and van der Maarel(1973)의 변환통합우점도를 이용하여 나타내었을 때 주요 초본류의 우점도는 목본에 비해 상대적으로 작으며 대부분의 종들의 출현빈도가 비슷하였으나 비비추(*Hosta longipes*)는 시험구에서만, 대사초(*Carex siderosticta*)와 관중(*Dryopteris crassirhizoma*)은 대조구에서만 우점하고 있었다(Table 1).

2. 임내 환경 조사

시험지에서 처리구와 대조구에서 월별 수관 울폐율의 변화는 어안렌즈가 달린 카메라(Coolpix 5700, NIKON)를 이용하여 4월부터 10월까지 각 조사구의 수관을 촬영한 후 전문분석프로그램(WinSCANOPY, Regent Instruments Inc.)을 이용하여 울폐율를 분석하였다. 임분내 대기온도와, 수관통과우량을 측정하기 위하여 자료수집장치(Watch Dog, Spectrum Technologies, Inc., USA)를 설치하였으며 이때 수관통과우량 수집장치(Rain bucket)는 지상에서 약 1m 높이에 설치하였다. 토양온도변화를 측정을 위한 센서(Campbell Scientific, 107)는 약 10 cm 깊이에 설치하였고 토양수분변화 측정을 위한 센서(Campbell Scientific, CS615)는 조사구내 위치를 상, 중, 하로 구역을 나누어 토양을 판 후 사면 방향으로 10~15 cm 부근에 설치하였다. 토양에 설치한 센서들은 안정을 위하여 약 4개월 이후의 자료를 자료수집장치(Campbell Scientific, CR10X)에 연결하여 수집하였다. 모든 자료수집장치들은 1시간 단위로 수집하였다.

3. 버섯 발생조사

2016년 7월부터 9월까지 2주 간격으로 각 조사구에서 발생한 버섯을 조사하였다. 발생한 버섯 자실체는 현장에서 사진 촬영하고 채집한 후 해부현미경과 광학현미경을 이용하여 외부형태와 미세구조의 특징을 관찰하였고, Park and Lee(2007), Choi(2015), Rokuya et al.(2012), Breitenbach and Kranzlin(1984) 등의 문헌정보를 이용하여 최종 동정하였다. 동정이 끝난 개체는 Seok et al.(2013)을 이용하여 분류하고 자실체의 개체수와 생체량을 측정하였다.

4. 자료 분석

각 환경요인별 차이에 대한 분석을 위해 Spss12 프로그램을 이용하여 T-test를 하였다. 시간당 수관통과우량은 3시간 이상 지속된 시기의 수관통과우량을 합산하고 이를 평균하였다. 버섯 발생의 다양성에 대한 분석은 Formula-1과 같이 Shannon-Wiener지수를 사용하였으며 (Shanon and Weaver, 1963), 각 버섯 종별 우점도는 Formula-2를 사용하여 구하였다.

$$H' = -\sum(Pi * lnPi) \quad \text{(Formula - 1)}$$

H' = Shannon-Wiener Index, Pi = proportion of total abundance represented by ith species, lnPi = log10 Pi

$$D = Ni/Nn * 100 \quad \text{(Formula -2)}$$

D = Dominance value(%), Ni = Number of individuals of a each species found in an area, Nn = Total of organisms of all species found in an area

결 과

1. 솎아베기에 의한 수관울폐도 변화

조사구에서 4월부터 10월까지 상층부수관의 울폐율 변화를 분석한 결과 4월에 시험구가 27.6±1.6%, 대조구가 33.6±0.9%로 조사기간 중 가장 낮은 울폐율을 보여 주다가 6월부터 시험구가 79±0.8%, 대조구가 83.±0.7%로 급격히 상승하고 8월 이후부터 약간씩 감소하는 패턴이 나타났다. 두 조사구를 비교 하였을 때 시험구가 대조구에 비해서 평균 5.6±1.2% 가량의 울폐율이 유의적으로 적어서 솎아베기 이 후 약 4년이 지났음에도 처리구에서의 상층부 수관이 더 열려 있는 것으로 나타났다(Figure 1).

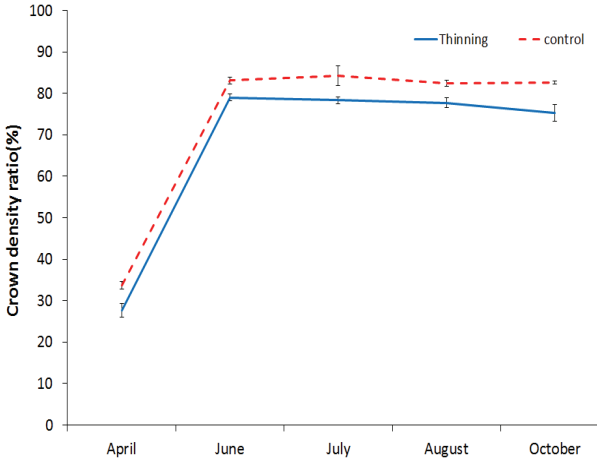

Figure 1. Crown density changes by thinning and control in *Quercus mongolica* forest from April to October. There are significantly different at the 0.05 probability level according to T-test. - Error bar = standard error.

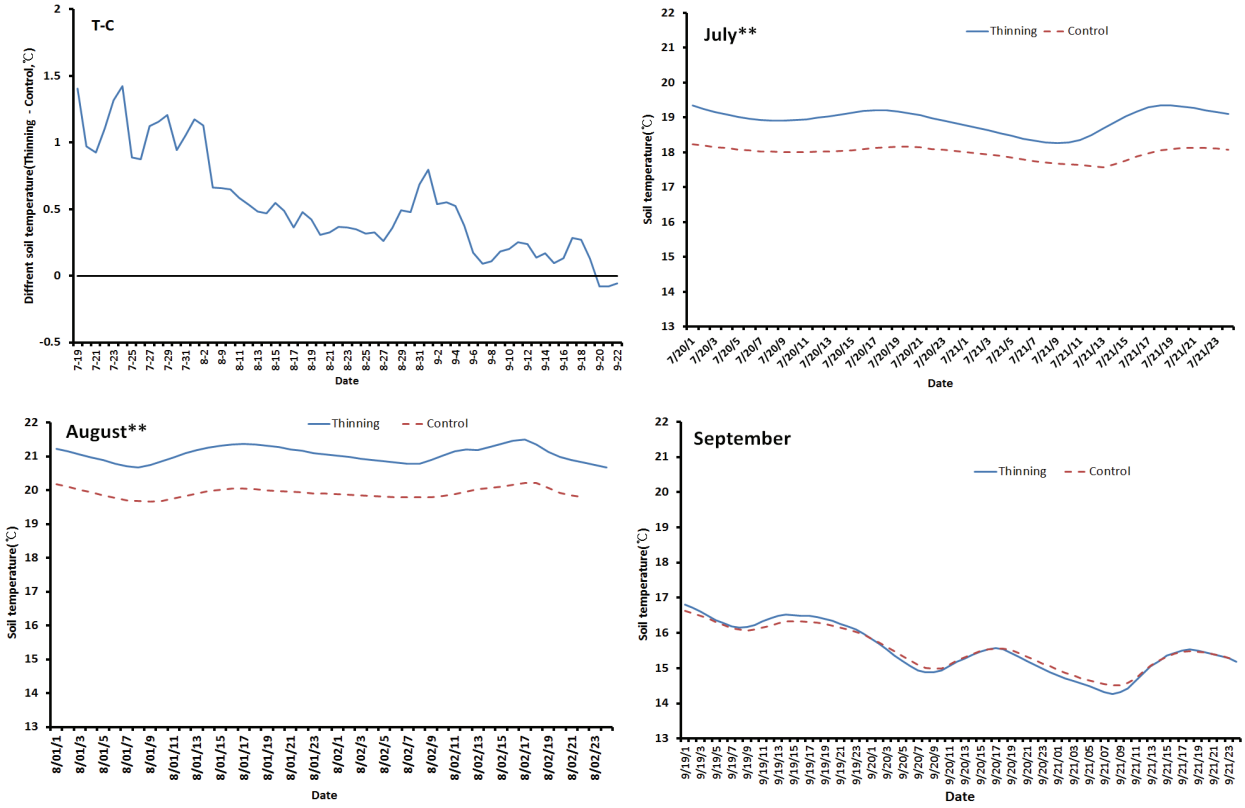

Figure 2. Soil Temperature changes by thinning and control in *Quercus mongolica* forest.; T-C = Difference in temperature of Thinnig to Control during July to September.
** = significantly difference at the 0.01 probability level according to T-test.

2. 솎아베기에 따른 토양온도 변화

시험구에서 7~9월까지 토양의 평균 온도는 19.3±2.0℃, 최고 온도는 21.5℃, 최저 온도는 16.8℃로 대조구에 비하여 평균 온도는 0.6℃, 최고 온도는 0.8℃가량 높아졌다. 시기적으로 7월 말(20~21일)에는 시험구의 토양 온도가 대조구에 비해 약 1.4℃ 가량 유의적으로 더 높아 가장 큰 차이 나타났다. 8월에도 시험구의 토양 온도가 대조구에 비해 약 0.5℃가량 유의적으로 더 높았다. 그러나 이후에 두 지역 간의 차이는 점차 줄어들어 9월에는 두 지역의 유의적 차이가 나타나지 않았으며 9월 말(20~21일) 이후에는 오히려 대조구의 토양 온도가 0.1℃이상 높아지기 시작하였다(Figure 2).

3. 솎아베기에 따른 임내 기온 변화

임내 기온은 시험구가 대조구에 비하여 유의적으로 높았으나 그 차이의 수준은 월별로 다르게 나타났다. 시험구에서 임내 평균 기온이 8월 중순에 약 27℃에 도달할 때까지 대조구에 비하여 1.1~1.4℃ 정도 유의적으로 높았고 9월부터는 그 차이의 수준이 적어지기 시작하여 12월에는 1℃ 이하의 차이만 나타났다(Figure 3).

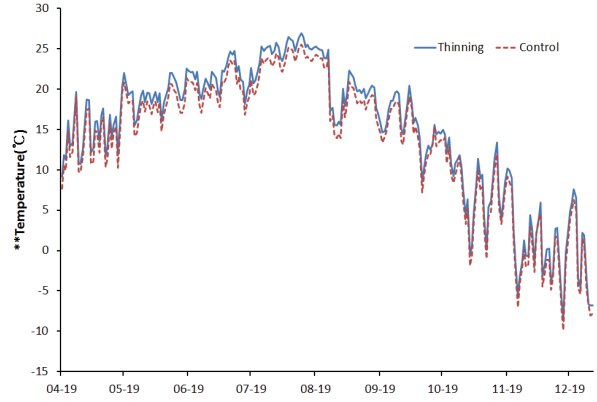

Figure 3. Daily average temperature change in the Quercus mongolica forest: Thinning was Higher than the control by 1~2°C until August and the difference decreased from September.
Soline line = Thinning. Dashed Line = Control,
** = significantly difference at the 0.01 probability level according to T-test.

4월부터 12월까지 월별 평균 일교차는 4월에 시험구가 10.8±2.4℃, 대조구가 10.4±2.5℃로 가장 높다가 7월에 시험구 5±0.9℃, 대조구 4.4±1.6℃로 될 때까지 지속적으로

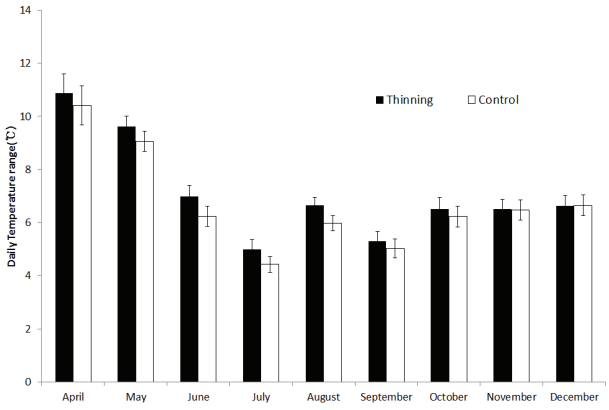

Figure 4. Average daily temperature range by thinning in *Quercus mongolica* forest: Thinning was higher than the control by 0.2～0.7°C from April to October in 2016. There was no statistically significant difference according to T-test.

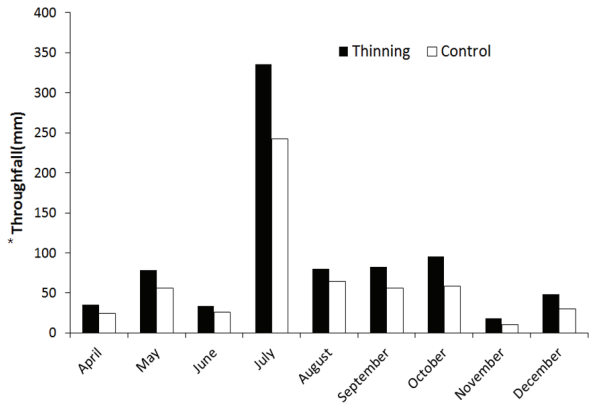

Figure 5. Thoughfall in thinned and unthinned *Quercus mongolica* forest stands from April to December in 2016.
* = significantly difference at the 0.05 probability level according to T-test.

감소하였다. 8월에는 시험구 6.6±1.5℃ 대조구 5.9±1.6℃로 6월 수준에 가까웠으나 9월에 다시 시험구 5.3±2.0℃, 대조구 5.0±1.9℃로 7월의 수준에 가깝게 감소하다. 10월부터는 12월까지 약 6.5℃ 정도의 차이가 꾸준히 유지되었다. 조사구별 시험구가 대조구에 비하여 다소 높은 일교차가 나타났으나 두 조사구 사이에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다(Figure 4).

4. 솎아베기에 따른 임내 수관통과우량과 토양 수분량변화

4월～12월까지 시험구의 수관통과우량은 대조구에 비하여 7월에 최대 93.2 mm에서 6월에 최소 7.1 mm 가량 유의적($p<0.05$)으로 많았다. 주요 버섯의 발생 기간인 7～9월의 수관통과우량은 전체 수관통과우량의 40% 차지할 만큼 많았으며 시험구에서 498.1 mm로 대조구의 362.4 mm에 비하여 135.7 mm 가량 많았다. 이 기간 동안 평균 수관통과우량은 시험구에서 166.0±146.7 mm로 대조구의 120.8±105.2 mm에 비하여 45.2±41.8 mm 가량 많았다(Figure 5). 3시간 이상 강우 시 임내에 도달하는 단위시간당 수관통과우량은 시험구가 대조구보다 최대 3.5 mm/hr, 최소 0.14 mm/hr 평균 0.6 mm/hr 가량 높았으며, 11 mm/hr의 강우시 까지는 단위시간당 수관통과우량이 많을수록 차이가 커지는 경향이 나타났다(Figure 6).

강우 시 시험구의 일평균 토양 수분량이 대조구에 비하여 약 5% 이상 유의적으로 많았다. 강우가 적은 8월 15일 이후부터는 두 지역 모두 토양 수분량이 지속적으로 감소하기 시작하였으며 토양 수분이 강우 전 상태인 약 12%에 도달하는 기간이 시험구에서는 약 10일로 대조구에 비해 약 4 일 더 길었다. 9월 토양 수분량은 지속적인 강우로 솎아베기 지역이 대조구에 비해 최대 8% 이상 더 많은 수준이 유지되었다(Figure 7).

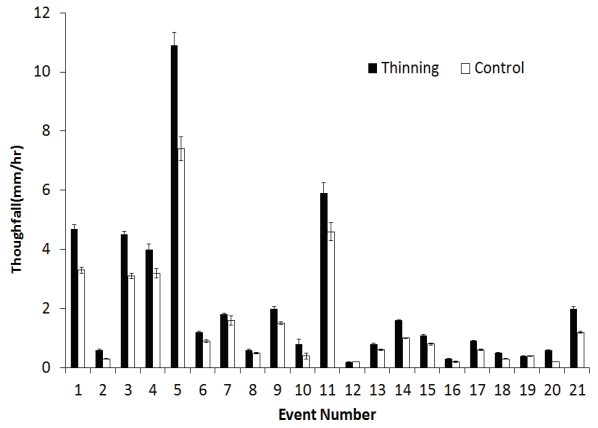

Figure 6. Thoughfall per unit time in thinned and unthinned *Quercus mongolica* forest stands from July to September in 2016. - Error bar = standard error.

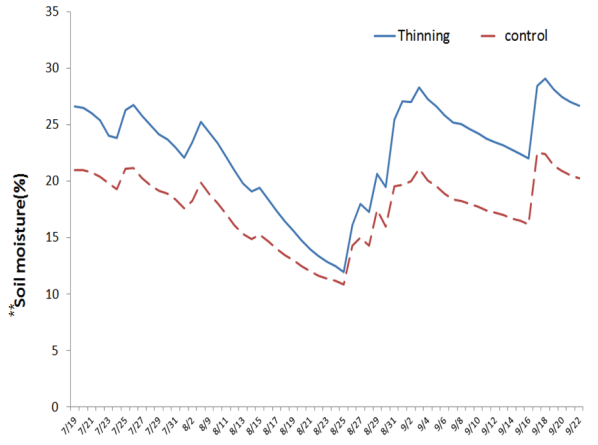

Figure 7. Change of daily average soil moisture from July 19 to September 22 in 2016 by thinning.
** = significantly difference at the 0.01 probability level according to T-test.

5. 솎아베기에 따른 임내 버섯 발생

2016년 7월~9월까지 총 버섯 발생종수는 시험구에서 55종으로 대조구에 비해 11종이 더 많이 발생했고 총 버섯의 생산량도 3149.9 g으로 대조구보다 702.6 g 더 많았다. 이를 생태형에 따라 수목의 뿌리와 공생하는 균근성 버섯과 목재, 낙엽, 낙지 등을 부후하는 부후성버섯으로 나누면 시험구에서 균근성 버섯은 39종, 부후성 버섯은 16종 발생하여, 대조구에 비해 균근성 버섯발생종수가 10종이 부후성 버섯은 1종 더 많았다. 버섯의 생산량은 시험구가 대조구보다 균근성버섯 생산량은 127.8 g 부후성버섯의 생산량은 574.8 g 더 많았다. Shannon-Wiener 지수는 시험구에서 균근성 버섯은 3.27로 대조구의 2.81에 비하여 약 0.5 가량 컸으나, 부후성 버섯은 시험구가 1.76 대조구가 1.86으로 큰 차이를 보이지 않았다(Table 2). 월별 버섯 발생종수를 살펴보면 7월과 8월에는 두 조사구에서 차이가 거의 없었으나 9월에는 시험구의 균근성버섯이 15종으로 대조구의 5종에 비하여 약 10종이 더 발생하였다. 시험구의 월별 Shannon-Wiener 지수는 7월에는 전체 2.58로 대조구에 비하여 약 0.9정도 컸으며 이는 다른 달에 비하여 가장 큰 차이가 나타난 시기였다. 생태형에 따라 균근성버섯은 대조구보다 0.5가량 작었으나 부후성 버섯은 약 1 정도 더 컸다. 8월에는 전체 2.26으로 대조구에 비해 약 0.3가량 더 작았고 균근성버섯은 대조구 보다 약 0.3 정도 더 컷으나 부후성버섯은 약 0.7 정도 더 작았다. 9월에는 전체 1.66으로 대조구에 비해 거의 차이가 없었고 균근성버섯은 약 1.5 정도 더 컸으나 부후성버섯은 약 0.7정도 작았다(Table 3).

솎아베기로 인하여 조사구내 우점도가 변화하였는데 균근성 버섯인 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*)의 우점도는 14.8%로 대조구에 비하여 약 4% 가까이 증가하였고 싸리버섯속(*Ramaria* sp.)은 대조구에 비해 약 18%가까이 감소하였다. 부후성 버섯으로 뽕나무버섯속의 우점도는 시험구에서 57.2%로 가장 높았고 이는 대조구에 비해 약 35%가량 크게 증가한 것이었다(Table 4, 5).

솎아베기로 인하여 버섯 발생의 시기와 발생량 또한 달라졌다. 두 조사구에서 모두 발생 한 19종의 버섯 중에서 시험구에서 먼저 발생한 종은 수원무당버섯(*Russula mariae*), 접시껄껄이그물버섯(*Leccinum extremiorientale*), 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*), 삿갓외대버섯(*Entoloma rhodopolium*)이었고 대조구에서 먼저 발생한 종은 진갈색주름버섯(*Agaricus subrutilescens*), 깔때기버섯속(*Clitocybe* sp.)이었다. 버섯 발생량은 시험구에서 뽕나무버섯속(*Armillaria* sp.)이 대조구에 비해 약 700 g 이상, 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*)이 약 500 g 더 많았던 반면 수원무당버섯(*Russula mariae*)과 목련무당버섯(*Ramaria* sp.) 철쭉버섯(*Rhodocollybia maculata*)은 대조구에서 더 많이 발생하였고. 특히, 수원무당버섯(*Russula mariae*)과 목련무당버섯(*Ramaria* sp.)은 시험구가 대조구보다 우점도와 발생량 모두 감소하였다(Table 6).

Table 2. Total mushrooms occurrence and Shannon-Wiener index from survey site.

	Thinning		Control	
	ECM	SAP	ECM	SAP
Number of species	39	16	29	15
Total weight(g)	2168.4	981.5	2040.6	406.7
Shannon-Wiener index	3.08	1.58	2.91	1.63

ECM = Ectomycorrhizal mushroom.
SAP = Saprophytic Mushroom.

Table 3. Change of monthly mushroom occurrence and Shannon-Wiener index from July to September, 2016 in survey sites.

	Thinning			Control		
	Total	ECM	SAP	Total	ECM	SAP
July	21(2.58)	13(1.76)	8(1.92)	20(1.66)	12(2.26)	8(0.95)
August	18(2.26)	15(2.55)	3(0.33)	19(2.56)	16(2.3)	3(1.03)
September	24(1.66)	15(1.97)	9(0.79)	12(1.72)	5(0.5)	7(1.05)

Value = The number of species(Shannon-Wiener index)
ECM = Ectomycorrhizal mushroom.
SAP = Saprophytic Mushroom.

Table 4. Change of dominant species of mycorrhizal mushrooms by thinning.

Family	Genus	Species	Thinning		Control	
			NOF	D. V. (%)	NOF	D. V. (%)
AMANITACEAE	Amanita	방추광대버섯(*Amanita excelsa*)			3	3.0
		애우산광대버섯(*Amanita farinosa*)	1	0.8		
		고동색광대버섯(*Amanita fulva*)			2	2.0
		달걀버섯(*Amanita hemibapha*)			2	2.0
		마귀광대버섯(*Amanita pantherina*)			6	6.0
		턱받이광대버섯(*Amanita spreta*)			1	1.0
		구슬광대버섯 (*Amanita sychnopyramis f. subannulata*)			2	2.0
		흰가시광대버섯(*Amanita virgineoides*)	1	0.8		
		독우산광대버섯(*Amanita virosa*)	2	1.6	5	5.0
BOLETACEAE	Boletellus	긴대밤그물버섯(*Boletellus elatus*)	1	0.8	2	2.0
	Boletus	그물버섯속(*Boletus* sp.)	1	0.8		
		수원그물버섯(*Boletus auripes*)	5	3.9		
		암갈색그물버섯(*Boletus brunneissimus*)	1	0.8		
		산속그물버섯아재비(*Boletus pseudocalopus*)	1	0.8		
		그물버섯아재비(*Boletus reticulatus*)			1	1.0
	Leccinum	접시껄껄이 그물버섯 (*Leccinum extremiorientale*)	1	0.8	2	2.0
	Phylloporus	노란길민그물버섯(*Phylloporus bellus*)	5	3.9		
	Pulveroboletus	갓그물버섯(*Pulveroboletus ravenelii*)	3	2.3		
	Retiboletus	회색망그물버섯(*Retiboletus griseus*)	3	2.3	1	1.0
		검은망그물버섯(*Retiboletus nigerrimus*)			1	1.0
	Tylopilus	노란대쓴맛그물버섯(*Tylopilus chromapes*)	2	1.6		
		제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*)	19	14.8	11	11.0
	Xerocomus	검은산그물버섯(*Xerocomus nigromaculatus*)	2	1.6		
SUILLACEAE	Suillus	큰비단그물버섯(*Suillus grevillei*)	1	0.8		
CANTHARELLACEAE	Cantharellus	애기꾀꼬리버섯(*Cantharellus minor*)	5	3.9		
CORTINARIACEAE	Cortinarius	끈적버섯속(*Cortinarius* sp.1)	2	1.6		
		끈적버섯속(*Cortinarius* sp.2)	1	0.8		
		끈적버섯(*Cortinarius violaceus*)	3	2.3	1	1.0
ENTOLOMATACEAE	Entoloma	삿갓외대버섯(*Entoloma rhodopolium*)	27	21.1	4	4.0
		외대덧버섯(*Entoloma sarcopum*)			8	8.0
GOMPHACEAE	Ramaria	싸리버섯속(*Ramaria* sp.)	3	2.3	20	20.0
		노랑싸리(*Ramaria flava*)	1	0.8		
GYROPORACEAE	Gyroporus	둘레그물버섯속(*Gyroporus* sp.)	2	1.6	1	1.0
		흰둘레그물버섯(*Gyroporus castaneus*)	1	0.8		
HYDNAGIACEAE	Laccaria	자주졸각버섯(*Laccaria amethystea*)			2	2.0
		졸각버섯(*Laccaria laccata*)			2	2.0
HYGROPHORACEAE	Hygrophorus	벚꽃버섯속(*Hygrophorus* sp.)	2	1.6		
		노란구름벚꽃버섯 (*Hygrophorus camarophyllus*)	1	0.8		
INOCYBACEAE	Inocybe	노란땀버섯(*Inocybe lutea*)	1	0.8		

Table 4. Continued.

Family	Genus	Species	Thinning		Control	
			NOF	D. V. (%)	NOF	D. V. (%)
RUSSULACEAE	Lactarius	노란젖버섯(*Lactarius chrysorrheus*)	5	3.9	2	2.0
		애기젖버섯(*Lactarius gerardii*)	1	0.8		
		당귀젖버섯(*Lactarius subzonarius)*	2	1.6	2	2.0
		끈적젖버섯(*Lactarius uvidus*)	2	1.6		
		잿빛젖버섯(*Lactarius violascens*)			1	1.0
	Russula	목련무당버섯(*Russula alboareolata*)	2	1.6	6	6.0
		검은무당버섯(*Russula albonigra*)			1	1.0
		수원무당버섯(*Russula bella)*	6	4.7	7	7.0
		청머루무당버섯(*Russula cyanoxantha*)	1	0.8		
		무당버섯(*Russula emetica*)	4	3.1		
		보라무당버섯(*Russula omiensis*)	1	0.8		
		흙무당버섯(*Russula senecis*)	4	3.1		
		포도무당버섯(*Russula xerampelina*)	2	1.6		
STROPHARIACEAE	Stropharia	포도버섯속(*Stropharia* sp.)			1	1.0
THELEPHORACEAE	Thelephora	단풍사마귀버섯(*Thelephora palmata*)			2	2.0
TRICHOLOMATACEAE	Tricholoma	송이버섯속(*Tricholoma* sp.)			1	1.0
		Total	128	100	100	100

NOF = Number of fruting.; D.V. = Dominance value.

Table 5. Change of dominant species of saprophytic mushrooms by thinning.

Family	Genus	Species	Thinning		Control	
			NOF	D.V.(%)	NOF	D.V.(%)
AGARICACEAE	Agaricus	주름버섯속(*Agaricus* sp.)			2	1.4
		숲주름버섯(*Agaricus silvaticus*)			3	2.1
		흰주름버섯(*Agaricus arvensis*)			3	2.1
		주름버섯(*Agaricus campestris*)			2	1.4
		진갈색주름버섯(*Agaricus subrutilescens*)	1	0.5	4	2.8
AGARICACEAE	Cystoderma	낭피버섯속(*Cystoderma* sp.)	1	0.5		
		참낭피버섯(*Cystoderma amiantinum*)			1	0.7
	Lycoperdon	말불버섯(*Lycoperdon perlatum*)			1	0.7
	Macrolepiota	큰갓버섯(*Macrolepiota procera*)			1	0.7
FOMITOPSIDACEAE	Laetiporus	붉은덕다리버섯(*Laetiporus miniatus*)			1	0.7
GLOEOPHYLLACEAE	Gloeophyllum	조개버섯(*Gloeophyllum sepiarium*)	29	14.4		
HYMENOCHAETACEAE	Phellinus	마른진흙버섯(*Phellinus gilvus*)	7	3.5		
MARASMIACEAE	Gymnopus	꽃애기버섯속(*Gymnopus* sp.)	2	1.0		
	Marasmius	종이꽃낙엽버섯(*Marasmius pulcherripes*)	6	3.0		
	Rhodocollybia	버터철쭉버섯(*Rhodocollybia butyracea*)	17	8.5	23	16.1
MYCENACEAE	Mycena	애주름버섯속(*Mycena* sp.)	1	0.5		
		맑은애주름버섯(*Mycena pura*)	9	4.5		
	Panellus	부채버섯(*Panellus stipticus*)	1	0.5		
PHALLACEAE	Mutinus	뱀버섯(*Mutinus caninus*)			1	0.7
PHYSALACRIACEAE	Armillaria	뽕나무버섯속(*Armillaria* sp.)	115	57.2	32	22.4
POLYPORACEAE	Trametes	구름송편버섯(*Trametes versicolor*)	3	1.5		
PSATHYRELLACEAE	Psathyrella	다람쥐눈물버섯(*Psathyrella piluliformis*)	3	1.5	1	0.7
TAPINELLACEAE	Pseudomerulius	곰우단버섯(*Pseudomerulius curtisii*)	1	0.5		
TRICHOLOMATACEAE	Clitocybe	깔때기버섯속(*Clitocybe* sp.)	2	1	2	1.4
	Collybia	밀애기버섯(*Collybia confluens*)	3	1.5	66	46.2
Total			201	100	143	100

NOF = Number of fruting.; D.V. = Dominance value.

Table 6. Change of occurrence days and weight of mushroom species by thinning.

Family	Genus	Species	July 10		July 19		August 5		September 22	
			Thin	Con	Thin	Con	Thin	Con	Thin	Con
AGARICACEAE	Agaricus	진갈색주름버섯 (Agaricus subrutilescens)						8.5g	0.7g	48.8g
AMANITACEAE	Amanita	독우산광대버섯 (Amanita virosa)					12.7g	37.8g		
BOLETACEAE	Boletellus	긴대밤그물버섯 (Boletellus elatus)					19.3g	39.9g		
	Leccinum	접시껄껄이 그물버섯 (Leccinum extremiorientale)	118.7g			24.6g				
	Retiboletus	회색망그물버섯 (Retiboletus griseus)			97.7g	35.1g				
	Tylopilus	제주쓴맛그물버섯 (Tylopilus neofelleus)			**613.4g**		**221.8g**	**332.3g**		
CORTINARIACEAE	Cortinarius	끈적버섯 (Cortinarius violaceus)					21.4g	14g		
ENTOLOMATACEAE	Entoloma	삿갓외대버섯 (Entoloma rhodopolium)			5.9g				85.6g	11g
GOMPHACEAE	Ramaria	싸리버섯속(Ramaria sp.)							**219.6g**	**62.2g**
GYROPORACEAE	Gyroporus	둘레그물버섯속 (Gyroporus sp.)							15.9g	5.6g
MARASMIACEAE	Rhodocollybia	버터철쭉버섯 (Rhodocollybia butyracea)	5.2g	4.4g	10.1g	36g			17.7g	1.3g
		철쭉버섯 (Rhodocollybia maculata)			**1.5g**	**33.2g**				
PHYSALACRIACEAE	Armillaria	뽕나무버섯속 (Armillaria sp.)							**757g**	**31.9g**
PSATHYRELLACEAE	Psathyrella	다람쥐눈물버섯 (Psathyrella piluliformis)			2g	1.1g				
RUSSULACEAE	Lactarius	노란젖버섯 (Lactarius chrysorrheus)					4.6g	8.6g		
		당귀젖버섯 (Lactarius subzonarius)							3.1g	2.3g
	Russula	목련무당버섯 (Russula alboareolata)			3.1g	65.8g	6.3g	180g		
		수원무당버섯 (Russula mariae)	6.1g		7.2			41.5g		
TRICHOLOMATACEAE	Clitocybe	깔때기버섯 속 (Clitocybe sp.)						6g	18.8g	

고 찰

1. 솎아베기와 임내 환경변화

신갈나무림에서 약 45%의 솎아베기를 통하여 평균 토양온도는 1～1.5℃, 일교차는 0.2～0.7℃까지 지속적으로 높아졌는데 이것은 잣나무나 방크스소나무, 낙엽송 임분에서 솎아베기를 하였을 때 토양온도가 1～2℃가량 증가되는 양상과 비교적 일치하였다(Bhatti et al., 2000; Hwang and Son, 2002). 이는 솎아베기가 상층 임관을 소개하여 임내 도달하는 광량을 많아지게 한 것이 원인으로 보통 시간이 지남에 따라 하층식생이 발달하면 토양에 도달하는 광량이 다시 줄어들어 토양온도가 이전 보다 감소하지만(Prevost, 2008) 본 연구의 조사 대상지는 모두 북사면으로 하층이나 중층식생의 발달이 빠르지 않아 솎아베기 후 지속적으로 토양온도가 높게 유지되었다고 할 수 있다. 한편, Hursh(1948)는 낙엽활엽수림의 임내 기온이 노출 지역에 비하여 여름철에는 1.2～1.9℃ 정도 낮고 겨울철에는 0.3～1.1℃가량 더 높다고 하였는데 본 연구 결과와 여름철 온도 차이는 유사하였으나 겨울철 온도 차이는 달랐다. 이는 약 65% 이상 남은 임목들

에 의해 형성된 수관층과 임분 구조의 영향으로 인한 것이라 생각된다.

시험구는 상층의 수관이 대조구에 비해 수관 울폐도가 약 6% 더 줄어들고 하층이나 중층의 구조가 발달하지 않았다. 이것은 임내 수관통과우량을 증가시킨 원인으로 수관 울폐도가 클수록 강우를 차단하기 때문에 임내 수관통과우량은 감소된다. 예로 서울의 도시 신갈나무림의 수관 울폐도가 90～95%이면 임 외 총 강수량이 3,734 mm일 때 수관통과우량은 71.9%에 해당하는 2,683 mm, 수간류는 11.5%에 해당하는 430 mm로 나머지 16%에 해당하는 621 mm가 수관에 의하여 차단되었다(Jin and Son, 2007).

토양의 수분량은 거의 대부분 강우에 의해서 공급되기 때문에 강우의 차단량은 토양의 수분과도 관계된다. 실제로 43년생 페트라참나무림에서 23%의 간벌 이후 첫해에 수관에서 임내로 유입되는 우량이 증대되었고 이로 인하여 REW(Relative Extractable Water) 값이 대조구에 비하여 최대 0.4 이상 높아졌다(Breda et al., 1995). Kang et al.(2014) 등도 잣나무림에서 솎아베기에 의하여 토양수분량이 7～8월 우기 때는 약 3%, 11월 건기 때는 6% 이상 더 높아졌다고 하였다.

시험구의 토양수분은 대조구에 비하여 지속적으로 더 많았고 토양수분의 감소도 4일가량 더 느리게 일어났다. 이것은 임내 식물들의 수분 흡수로 인한 것이라 할 수 있다. 특히, 솎아베기로 줄어든 잎의 증산 감소가 가장 큰 원인으로 생각 할 수 있다. 토양수분 조건이 열악할수록 잎의 수분퍼텐셜은 낮은 값을 나타내 뿌리에서 수분을 빨아드리려는 흡수력이 커진다(Chung et al., 2003). 더욱이, 활엽수는 도관을 통하여 토양수분을 수체로 이동시키기 때문에 대체로 임목의 직경이 클수록 도관의 크기와 양이 많아져 수체 내 이동하거나 저장되는 물의 양이 많아지며 큰 나무가 토양에서 흡수한 물의 양은 1일 수십에서 수백 리터에 달하기도 한다(Kozlowski et al., 1991). 따라서 시험구에서는 제거되고 남은 평균 직경 18 cm의 큰 나무가 대조구에 비해 ha 당 500 본 이상 적었기 때문에 이들의 증산을 통하여 빠져나가는 토양수분량도 훨씬 적었을 것이라 생각된다.

2. 솎아베기와 버섯 발생 변화

시험구에서는 전반적으로 버섯 발생 종의 다양성과 발생량이 증가되었고 이는 균근성버섯에서 두드러지게 나타났다. Simon et al.(2010)는 혼효림에서 간벌 직후 버섯 발생량이 더 적어졌으나 5년이 지난 후부터 12년까지 급격하게 증가하였고 이러한 현상은 균근성 버섯에서 두드러지게 나타났다고 하였으며, David et al.(2006)도 50년생 미송림에서 외생균근성 버섯인 꾀꼬리버섯류(Chanterelle)는 간벌을 시행한 직후에는 대조구보다 발생량과 개체 수가 적었으나 6년 후에는 대조구와 거의 같은 수준으로 회복되었다고 하여 본 연구와 유사한 결과를 보여 주었다.

7월에 균근성버섯의 발생 종수가 시험구와 대조군이 같았음에도 불구하고 Shannon-Wiener 지수가 더 작아진 이유는 어떤 특정종의 우점도가 다른 종들에 비하여 충분히 크게 되면 값이 작아지게 되는 Shannon-Wiener 지수의 특징으로 인한 것으로(Manuel, 2008) 시험구에서 발생한 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*)의 우점도와 발생량이 다른 종들에 비하여 월등했기 때문이다. 반대로, 9월에는 특정종의 우점보다는 종 수 자체가 많아 Shannon-Wiener 지수가 높아졌다고 할 수 있다. 이를 통해 솎아베기가 특정종의 발생량을 달라지게 한다는 것을 유추할 수 있다. Bradley and Stev(1996)에 의하면 80～100년생 로지폴소나무(*Pinus contorta*) 임분에서 솎아베기 20년 후 *Suillus* 그룹과 *Lactarius* 그룹의 발생량은 대조구보다 뚜렷하게 증가하였으나 *Hygrophorus* 그룹은 감소되었다고 하였고 Shaw et al.(2003)도 12년생 구주소나무(*Pinus sylvestris*) 조림지에서 50% 솎아베기 후 황소비단그물버섯(*Suillus bovinus*), 큰마개버섯(*Gomphidius roseus*), 전나무끈적버섯아재비(*Cortinarius semisanguineus*)의 발생량은 증가되었다고 하였다. 본 연구에서도 시험구에서 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*)과 뽕나무버섯속(*Armillaria* sp.), 싸리버섯속(*Ramaria* sp.)의 발생량은 증가하였으나 점박이버터버섯(*Rhodocollybia maculata*)과 수원무당버섯(*Russula mariae*) 등은 감소하였다. 이러한 결과들로부터 솎아베기가 특정 종들의 발생을 증가시키거나 감소시켜 임분 내 버섯의 천이에도 영향을 준다고 할 수 있다. 이를 참고로 하였을 때 시험구에서의 종 다양성은 앞으로도 지속적으로 증가될 것으로 예측된다.

솎아베기로 인한 버섯 발생 변화의 결과가 전반적으로 부후성버섯 보다 균근성버섯에 더 크게 나타난 이유는 기주와 공생 관계를 가지는 균근성버섯의 특징 때문이라 할 수 있다. Lin et al.(2015)에 의하면 삼나무(*Cryptomeria japonica*) 천연림에서 솎아베기는 균근성 버섯보다 부후성버섯의 다양성과 발생량을 더 감소시켰다고 하였으며 이것은 삼나무(*Cryptomeria japonica*)와 공생관계에 있는 버섯이 많지 않기 때문에 상대적으로 영향이 더 크게 나타난 것이라 하였다. 이와 달리 본 연구지와 같은 참나무림에서는 공생관계에 있는 균근성버섯균이 다양하고 이들은 균사 생장에서 부터 자실체 발생까지 토양 환경의 영향을 많이 받기 때문에 기주식물의 변화는 이들의 생장에 직간접적으로 영향을 미치게 된다(Nam et al., 2001; James and John, 2005; Nehls, 2008; Smith and read, 2008). 균근성버섯인 송이를 예로 들면 자실체 발생을 위

해서는 땅속의 송이 균사량이 충분히 축적되어야 하며, 그 다음으로 버섯 원기가 형성되고, 마지막으로 이 원기가 계속 자라서 버섯 수확으로 이어지도록 적당한 온도와 수분이 공급되어야 한다. 특히, 원기가 형성되어 지표면 위로 올라온 송이 원기는 토양온도 보다 기온에 더 큰 영향을 받게 되며 이 시기의 자실체 생장을 위해서는 충분한 토양수분의 공급이 필수적이다(Koo, 2000). 또한 Fernado et al.(2012)도 균근성 버섯인 그물버섯(*Boletus edulis*)과 젖버섯속(*Lactarius*)의 자실체 수확 모델에 적산된 일평균 온도를 가장 중요한 요인으로 적용하여 지속적인 온도 환경이 균사 생장과 자실체 발생에 중요하다고 하였다. 즉, 솎아베기로 인한 기주식물의 변화와 지속적으로 높아진 토양과 대기의 온도는 부후성버섯 보다는 균근성버섯의 생장에 더 직접적인 영향을 끼쳤다고 할 수 있다.

시험구에서 송이버섯속(*Tricholoma* sp.), 수원무당버섯(*Russula mariae*), 접시껄껄이그물버섯(*Leccinum extremiorientale*), 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*)은 대조구에 비하여 이른 시기에 발생하였다. Jang and Kim(2012)은 버섯 발생은 종에 따라 평균 온도, 최고 온도, 최저 온도에 영향을 받는 것이 다른데 특히, 균근성버섯인 광대버섯과, 그물버섯과 및 끈적버섯과에서는 최고온도에 영향을 많이 받았다고 하였다. 따라서 위의 버섯들은 솎아베기로 인하여 지속적으로 높아진 최고 온도에 영향을 받아 버섯 원기 형성과 자실체 발생이 빨라진 것이라 생각된다.

버섯의 균사생장과 자실체 발생에는 온도뿐만 아니라 수분요인도 크게 영향을 미친다(Lynne et al., 2014). 토양에 수분이 적어 수분퍼텐셜이 낮으면 버섯 균은 자실체를 발달 시킬 수 있는 충분한 물을 얻을 수 없고, 너무 많으면 토양 내 산소 공급이 감소하여 자실체 발달이 억제된다(Barroetavena et al., 2008; Moore et al., 2009). 토양과 기주식물로부터 수분을 공급받는 균근균의 특성상(Querejeta et al., 2003) 토양수분이 머물러 있는 시간이 조금 더 많은 솎아베기 지역에서 버섯균의 수분 흡수가 더 유리하였을 것이며 이는 9월의 균근성 버섯 발생의 다양성을 더 증가시켰을 것이라 생각된다.

솎아베기로 인하여 가장 큰 변화가 나타난 버섯은 뽕나무버섯속(*Amillaria* sp.)으로 우점도는 30% 이상, 발생량은 700 g 이상 증가하였다. 이는 버섯 자체의 생리 생태적 특징에 의하여 나타난 현상이라 할 수 있다. 뽕나무버섯의 생태적 특징은 토양 내에 균사와 근상균사속의 형태로 뻗어 있다가 기주가 되는 나무가 수세가 약해질 때 침투하여 버섯을 발생시킨다(Koo et al., 2017). 따라서 솎아베기로 인하여 그루터기가 ha 당 400～825개까지 증가하게 되면서 뽕나무버섯균이 침투할 수 있는 기주가 증가 하게 되어 버섯 발생량도 증가하게 된 것이다. 물론, 대조구에서도 고사목이 존재하기 때문에 뽕나무버섯의 발생이 없지는 않았으나 그루터기에서 발생하는 뽕나무버섯에 비하여 생산량은 훨씬 적었다. 한편, 뽕나무버섯균들은 기주식물에 아밀라리아뿌리썩음병을 일으키는 병원균으로도 잘 알려져 있으면서 국내에서는 천마 생산을 위해서 사용되는 등 상업적으로도 가치 있는 버섯이기도 하다(Shearer, 1992; Sung et al., 1995). 뿌리썩음병으로써의 뽕나무버섯(Amillaria)균을 제어하기 위하여 간벌을 하면 임내에서 뽕나무버섯(Amillaria)균의 확산은 증가하지만 그로 인한 잔존목들의 활력도와 저항성 증가로 피해 수준이 줄어들며 특히, 임령이 높은 임분에서 그 효과가 크다. 따라서 솎아베기는 뽕나무버섯의 생산과 뿌리썩음병 방제 효과를 동시에 얻을 수 있다. 그러나 뽕나무버섯(Amillaria)균의 종에 따라서 시간이 지남에 따라 효과가 감소하거나 더 부정적인 영향을 미치는 경우도 있기 때문에(Richard, 2003; Hood and Kimberlsey, 2009) 실제 적용에는 보다 신중한 판단이 있어야 할 것이다.

결 론

신갈나무 천연림에서 솎아베기가 임내 미기후 환경과 버섯 발생에 미치는 영향을 알아보기 위하여 약 45%의 솎아베기 후 4년이 경과한 지역의 토양온도, 대기온도, 수관통과우량 및 토양수분량의 변화를 조사하였다. 그 결과 수관울폐율은 4월부터 10월까지 대조구에 비하여 약 6%가량 유의적으로 작았다. 토양온도와 대기온도는 8월 까지 대조구에 비해 1～2℃ 이상 높았고 9월 이후에는 차이가 점점 줄어들었다. 시험구에서 월별 평균 일교차는 대조구에 비하여 10월까지만 0.2～0.7℃ 가량 컷으며 이후부터는 차이가 없었다. 7월～9월 동안 합산된 임내 수관통과우량은 시험구에서 약 135 mm 더 많았다. 단위시간당 수관통과우량도 대조구 보다 최대 3.5 mm/h 많았다. 토양 수분량은 강우시 대조구에 비해 약 5% 이상 증가 하였고 강우 이전 수준으로 되기까지 4일가량이 더 느려졌다. 솎아베기 지역에서 7～9월의 버섯 발생 종은 55종으로 대조구에 비해 균근성 버섯은 10종 더 많았고 부후성 버섯은 1종 더 많았다. 시험구에서 Shanon-Wiener 지수는 3.2로 대조구보다 0.5가량 높으며, 9월 균근성버섯 발생은 12종이 더 많았다. 두 처리구에서 총 19종의 버섯이 공통적으로 발생하였으나 솎아베기 지역에서는 대조구에 비해 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*) 등이 더 빨리 발생하였고, 진갈색주름버섯(*Agaricus subrutilescens*), 깔때기버섯속(*Clitocybe* sp.)은 대조구에서 더 빨리 발생하

였다. 또한, 대조구에 비하여 제주쓴맛그물버섯(*Tylopilus neofelleus*)은 우점도가 약 6%, 발생량이 약 1.5배가량 증가하였고, 뽕나무버섯속(*Amillaria* sp.)은 우점도가 약 30%, 발생량이 약 20배 가까이 증가하였다. 결론적으로 신갈나무림에서 솎아베기는 토양과 대기의 온도를 높이고 수관통과우량과 토양수분을 증가시켰으며 버섯발생 종의 다양성을 증가시켰고, 일부 균근성버섯과 뽕나무버섯속(*Amillaria* sp.)의 발생기간을 앞당기며 우점도와 발생량을 증가시켰다. 그러나 솎아베기로 인하여 변화된 이들 환경요인들과 버섯발생과의 보다 명확하고 수치적인 상관관계를 도출하기 위해서는 변화되는 임분의 구조와 환경요인 그리고 버섯 발생의 다양성과 발생패턴에 관한 장기간에 걸친 모니터링이 필요할 것이라 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 충북대학교 학술연구지원사업의 교내 연구비와 산림청의 산림과학기술개발사업(S121313 L120110)의 지원에 의한 것입니다.

References

Antonio, T., José A.B., Aragón, J.M. and Miguel., S. 2017. Is silviculture able to enhance wild forest mushroom resources? current knowledge and future perspectives. Forest Ecology and Management 402: 102-114.

Barroetavena C., La Manna, L. and Alonso, M.V. 2008. Variables affecting *suillus luteus* fruitification in ponderosa pine plantation in patagonia (Argentina). Forest Ecology and Management. 256: 1868-1874.

Bhatti, J.S., Fleming R.L., Foster N.W., Meng F.R., Bourque C.P.A. and Arp P.A. 2000. Simulations of pre- and post-harvest soil temperature, soil moisture, and snowpack for jak pine: comparison sith field observations. Forest Ecology and Management 138(1-3): 413-426.

Bradley, R.K. and Steve, A. 1996. The effects of silvicultural treatments on occurrence of mycorrhizal sporocarps in a *Pinus contorata* forest: a preliminary study. Biological Conservation 78(3): 313-318.

Breda, N., Granier, A. and Aussenac, G. 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). Three Physiology 15(5): 295–306.

Breitenbach, J. and Kranzlin, F. 1984. Fungi of switzerland Vol 3 boletes and agarics. lucenrne. Switzerland. pp.361.

Choi, H.P. 2015. An illustrated mushroom book. Academic book. Seoul. pp.981.

Chung, D.J. and Shin, M.Y. 2003. Growth properties and characteristics of water relation parameters for a forest of *Quercus variabilis* by environmental factors. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 5(4): 233-237.

Daniel, M.D., Melanie, D.J. and Kathy, J.L. 2005. Effects of forest management on fungal communities. pp. 833-847. In : John, D., James F.W., and Peter O. The fungal community: its organizaion and role in the ecosystem third edition. Taylor & Francis, NewYork.

David, P., Randy, M. and Jim, M. 2006. Effects of thinning toung forests on chanterelle mushroom production. Journal of Forestry 104(1): 9-14.

Fernado M.P., Sergio, M., Timo, P., José, A.B., Pedro, O.M., Jorge, A. and Juan M.A. 2012. Yield models for ectomycorrhizal mushrooms in *Pinus sylvestris* forests with special focus on *Boletus edulis* and *Lactarius* group *deliciosus*. Forest Ecology and Management 282(2012): 63-69.

Horikoshi, T., Tateishi, T. and Takahashi, F. 1986. Changes of fungus flora after fires in *Pinus densiflora* forest. Transactions Mycological Society of Japan 27(3): 283-295.

Hood, I.A. and Kimberley, M.O. 2009. Impact of *Armillaria* root disease and the effect of thinning in a late-rotation *Pinus radiata* plantation. Forest Pathology 39(6): 415-427.

Hursch, C.R. 1948. Local climate in the copper basin of tennessee as modified by the removal of vegetation. United States Dept Agriculture. Washington D.C. 774: pp.38.

Hwang, J.H. and Son, Y.H. 2002. Effects of thinning, liming and litter layer treatments on soil CO_2, efflux and litter decay in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantations. Journal of Korean Forest Science 91(4): 471-479.

Jang, S.K. 2014. Distribution of higher fungi in wolchulsan national park. The Korean Journal of Mycology. 42(1): 9-20.

Jang, S.K. and Kim, S.W. 2012. Relationship between higher fungi distribution and climatic factors in naejangsan national park. The Korean Journal of Mycology 40(1): 19-38.

James, W.B. and John, D. 2005. Diversity-functioning relationchips in ectomycorrhizal fungi communities. pp. 354-385. In : John, D., James F.W., and Peter O. The fungal community: its organizaion and role in the ecosystem third edition. Taylor & Francis, New York.

Jin, H.O. and Son, Y.H. 2007 Nutrient dynamics and water quantity of throughfall and stemflow in natural oak stands in korea. Korean Journal of Agrocultural and Forest Meteorology 9(1): 61-70.

Ka, K.H. 2010. Preference of mushroom and east-west 100 kinds of mushrooms. Sanrilmji. 2010(11): 68-70.

Kang, J.S., Shibuya M. and Shin C.S. 2014. The effect of forest ‐thinning work on tree growth and forest environment. Forest Science and Technology 10(1): 33-39.

Kim, J.Y. and Lee, K.J. 2012. Vegetational structure and the density of thinning for the inducement of the ecological succession in artificial forest, national parks: In case of chiaksan, songnisan, deogyusan, and naejangsan. Korean Journal of Environment and Ecology 26(4): 604-619.

Kim, S.H., Kim, J.C., Lee, S.W., Cho, H.G., Lim, J.S., Seo, S.A., Jung, I.B., Jang, G.M., Song, Y.H., Son, Y.M., Kim, S.H., Kim, R.H., Jung, J.H., Jung, D.J., Choi, G.M., Park, W.J., Lee, Y.J., Namgung, Y.C., Go, E.J., Kim, J.S., Park, G.S., Lee, K.H. and Sung, J. H. 2013. Assessment of the korea's forest resources 2006～2012. Korea Forestry Promotion Institute. Seoul. p.267.

Kim, S.W. and Jang, S.K. 2016. Relationship between climatic factors and occurrence of ectomycorrhizal fungi in byeonsanbando national park. The Korean Journal of Mycology 44(4): 220-232.

Koo, C.D. 2000 Correlation between production of *Tricholoma matsutake* and annual ring growth of *Pinus densiflora.* Journal of Korean Forest Society 89(2): 232-240.

Koo, C.D., Kim, J.G., Lee, H.Y., Park, Y.W. and Lee, H.S. 2017. Significance of *Armillaria* species in taxonomy, forest ecology and plant pathology. The Korean Journal of Mycology 45(1): 1-13.

Kozlowski, T.T., Karamer, P.J. and Pallardy, S.G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, New York. pp.657.

Lee, C.Y. 2008. Development Distribution of higher fungi as vegetation Mt. Deogyu. Department of Biology Graduate School, Woosuk University. pp.11-45.

Lee, J.Y., Han, S.H., Kim, S.J., Lee, S.H., Son, Y.M. and Son, Y.H. 2015. A meta-analysis on the effect of forest thinning on diameter growth and carbon stock in Korea. Journal of Korean Forest Society 104(4): 527-535.

Lee, S.H., Kim, J.S., Kim, H.E., Koo, C.D., Park, J.I., Sin, C.S. and Shin W.S. 2005. Effect of soil moisture and weather (atmospheric) conditions on the fruiting of *Sarcodon aspratus* in oak stand. Journal of Korean Forest Society 94(6): 370-376.

Lee, S.Y., Lee, M.W., Yeom, C.H., Kwon, C.G. and Lee, H.P. 2009. Comparative analysis of forest fire danger rating on forest characteristics of thinning area and non-thinning area on forest fire burnt area. Fire Science and Engineering 23 (4): 32-39.

Lin, W.R., Wang, P.H., Chen, M.C., Kuo, Y.L., Chiang, P.N., and Wang, M.K. 2015. The impacts of thinning on the fruiting of saprophytic fungi in *Cryptomeria japonica* plantations in central Taiwan. Forest Ecology and Management 336: 183-193.

Lynne, B., Ulf buntgen, Simon, E., Alan, C., GANGE, Einar H., Paul M. K., Aqilah M. and Havard K. 2014. Climate variation effects on fungal fruiting. Fungal Ecology 10 (2014): 20-33.

Manuel C.M.J. 2008. Ecology : Conceps and applications 4ed. The McGraw-Hill Companies. New York. p.374-377.

Moore, D., Gange, A. C., Gange, E. G. and Boddy, L. 2008. Fruit bodies : their production and development in relation to environment. pp.79-102. In: Boddy, L., Frankland, J. G. and West, P.(Eds.). Ecology of saprotrophic basidiomycetes. Elsevier. Amsterdam.

Nam, G.J., Pyo, H.H. and Moon, H.T. 2001. Seasonal diversity, production and nutrients concentration of mushrooms in an oak forest. Korean Journal of Ecology 24(5): 315-322.

Nehls, U. 2008. Mastering ectomycorrhizal symbiosis: the impact of carbohydrates. Journal of Experimental Botany 59(5): 1097-1108.

Newton, A.C. and Haigh, J. 1998. Diversity of ectomycorrhizal fungi in the UK: a test of the species-area relationship and the role of host preference, New Phytol 138: 619-627.

Pablo, M.P., Héctor, V., Penalver, Fernando P., Jaime O. and Juan, A.O.R. 2006. Early effect of wildfire on the diversity and production of fungal communities in Mediterranean vegetation types dominated by *Cistus ladanifer* and *Pinus pinaster* in Spain. Forest Ecology Management 225(1): 296-305.

Park W.H. and Lee, H.D. 2007. Wild fungi of korea. Kyohaksa. Seoul. pp.508.

Park, J.H. 2004. A Study of influence of forest management practices on the soil physical properties and facility of purifying water quality in *Pinus rigida* stands(1). Journal of Korean Forest Society 93(1): 1-9.

Park, Y.W., Koo, C.D., Lee, H.Y., Ryu, S.R., Kim, T.H. and Cho, Y.G. 2010. Relationship between macrofungi fruiting and environmental factors in songnisan national park. Korean Journal of Environment and Ecology 24(6): 657-679.

Prevost, M. 2008. Effect of cutting intensity on micro-environmental conditions and regeneration dynamics in yellow birch-conifer stands. Canadian Journal of Forest Research 38: 317-330.

Querejeta, J.I., Egerton‐Warburton, L.M. and Allen, M.F., 2003. Direct nocturnal water transfer from oaks to their mycorrhizal symbionts during severe soil drying. Oecologia 134(1): 55-64.

Richard, M.R. 2003. Short-term impact of thinning and fertilizer application on *Armillaria* root disease in regrowth karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) in western australia.

Forest Ecology and Management 176(1-3): 417-426.

RomÁn, M. and Eric, B. 2006. The marketing of *Lactarius deliciosus* in northern spain. Economic Botany 60(3): 284-290.

Robert, F. 1980. Mycorrhizae and nutrient cycling in natural forest ecosystems. New Phytologist 86: 199-212.

Rokuya I., Yoshio O. and Tsuguo H. 2012. Japanese mushrooms. Yama-kei Publishers. Tokyo. pp.639.

Savoie, J.M. and Largeteau, M.L. 2011. Production of edible mushrooms in forests: trends in development of a mycosilviculture. Applied Microbiology Biotechnology 89: 971-979.

Schlosser, W.E. and Blatner, K.A. 1995. The wild edible mushroom industry of washington, Oregon and Idaho: A 1992 survey. Journal of Forestry 93: 31-36.

Seok, S.J., Lim, Y.W., Kim, C.M., Ka, K.H, Lee. J.S., Han, S.K., Kim, S.O., Her, J.S., Hyun, I.H., Hong, S.K., Kim, Y.S. and Lee T.S. 2013. List of mushrooms in korea. The Korean Society of Mycology. Seoul. pp.576.

Shaw, P., Kibby, G. and Maves, J. 2003. Effects of thinning treatment on an ectomycorrhizal succession under scots pine. Mycological Research 107(3): 317-328.

Shanon, C.E. and Weaver, W. 1963. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. pp.14-16.

Shearer, B.L. 1992. The ecological implications of disease in the southern forest of southwestern Australia. pp. 99-113. In: Lewis, M. Research on the impact of forest management in south western australia. CALM occasional paper - Western Australia Department of Consevation and Land Management. Como.

Simon, E., Francois, A., Martina, P., Britta, E. and Andrea, R. 2010. Is forest mushroom productivity driven by tree groth? result from a thinning experiment. Annals of Forest Science 67(2010): 509.

Smith, S.E. and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. Academic press. Londond. Uk. pp.785.

Sung, J.M., Jung, B.S. Yang, K.J., Lee, H.K. and Harrington, T.C. 1995, Production of *Gastrodia elata* tuber using *Armillaria* spp. The Korean Journal of Mycology 23(1): 61-70.

Twieg, B.D., Durall, D.M. and Simard, S.W. 2007. Ectomycorrhizal fungal succession in mixed temperate forests. New Phytologist 176(2): 437-447.

Van Esas, J.D. and Trevors, J.T. 1997. Modern soil microbiology. Marcel Dekker, Inc. New York. pp.63-126.

Westhoff, V. and E. van der maarel. 1973. The braun-blanquet approach. pp. 167-726. In : R. H. Whittaker. Ordination and classification of communities(handbook of vegetation science). Springer Verlag. Hague.

Winder, R.S. and Keefer, M.E. 2008. Ecology of the 2004 morel harvest in the rocky mountain forest district of british columbia. Botany 86(1): 1152-1167.

Youn, H.J., Woo, C.S. and Lee, C.W. 2011. Effects of forest tending on landslide. Journal of Korean Forest Society 100(3): 417-422.

(Received: September 6, 2017; Accepted: February 18, 2018)