한국농림기상학회지, 제9권 제3호(2007)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 9, No. 3, (2007), pp. 188~194

양양지역 송이 발생과 기상요소의 상관관계

심교문[1]* · 고철순[2] · 이양수[1] · 김건엽[1] · 이정택[1] · 김순정[2]
[1]농업과학기술원, [2]양양군농업기술센터
(2007년 4월 3일 접수; 2007년 9월 13일 수락)

Correlation Coefficients between Pine Mushroom Emergence and Meteorological Elements in Yangyang County, Korea

Kyo-Moon Shim[1]*, Cheol-Soon Ko[2], Yang-Soo Lee[1], Gun-Yeob Kim[1], Jeong-Taek Lee[1], and Soon-Jung Kim[2]
[1]*National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea*
[2]*Yangyang-Gun Agricultural Technology Center, Yangyang, Korea*
(Received April 3, 2007; Accepted September 13, 2007)

ABSTRACT

The relationships between pine mushroom emergence and meteorological factors were analyzed with three years (from 2003 to 2005) of measurement data at Yangyang site, in order to evaluate the effect of micrometeorological environment on pine mushroom production. Pine mushroom was daily monitored and collected in the survey area during the its producing period (approximately one month). Pine mushroom production was highest in 2005 with the meteorological conditions of high temperature and frequent rainfalls in October. The production was lowest in 2004 due to dry conditions from mid September to late October. The meterological factors related to humidity (i.e., relative humidity, soil water content, and precipitation) were better correlated than those related to temperature (i.e., air and soil temperature, soil heat flux and solar radiation) with pine mushroom production. However, all of the correlation coefficients were statistically insignificant with values ranging from 0.15 to 0.46. Such poor correlations may be attributed to various other environmental conditions (e.g., topography, soil, vegetation, other fungi, the relationship between pine mushroom and pine forest) affecting pine mushroom production. We found that a mycelium requires a stimulation of low temperature (of three-day moving average) below 19.5°C, in order to form a mushroom primordium which grows to pine mushroom after 16 days from the stimulation. We also found that the pine mushroom production ended when the soil temperature (of three-day moving average) fell below 14.0°C.

Key words **: Correlation coefficient, Low temperature stimulation, Relative humidity**

I. 서 언

송이는 담자균아문(Basidomycotina) 주름버섯목(Agaricales) 송이과(Trichomataceae)에 속하는 버섯으로 학명은 *Tricholoma mastutake*(S. Ito et Imai) Sing. 이다. 표면은 담황갈색~밤갈색의 섬유상인편으로 덮혀 있으며 방사상으로 갈라져 흰색을 보이고 독특한 향기가 있다(Na and Ryu, 1992). 또한, 송이는 소나무와 땅속에서 균근공생을 맺고서 균사생장을 연중 계속하며, 지중온도가 19°C 이하로 떨어지는 9월과 10월에 버섯 원기가 형성되면서 발생한다(小川, 1991). 송이가 발생하려면 먼저 땅속의 송이 균사량이 충분히 축적되

Corresponding Author : Kyo-Moon Shim (kmshim@rda.go.kr)

어야 하며, 그 다음으로 버섯 원기가 형성되어야 하고, 마지막으로 이 원기가 계속 자라서 버섯 수확으로 이어지도록 적당한 온도와 수분이 공급되어야 한다(Koo, 2000). 따라서 송이 생산시기인 9월의 기상, 그 중에서도 강수량과 온도가 송이 생산에 큰 영향을 미친다. 실제로 송이 발생기간 동안의 기상이 송이 발생을 좌우한다는 것이 우리나라와 일본의 연구에서 증명된 바 있다(Kang *et al.*, 1989; Cho and Lee, 1995). 일본에서는 기상현상이 송이 발생에 50% 이상을 좌우하며, 8월에는 강수량이 많고 온도가 높을수록, 그리고 9~10월에는 강수량이 많을수록 송이 발생량이 증가한다고 보고하였다(富永, 1967). 우리나라에서는 조(1995)가 9월의 강수일수가 송이 발생량과 높은 정의 상관관계를 나타냄을 보고한 바 있고, 9월의 최저기온이 높을수록 송이 발생량이 대체로 많으므로, 송이 산에 햇빛이 충분히 들어오고 지온이 유지되도록 하는 조치가 필요하다는 연구보고가 있다(Park *et al.*, 1995). 그러나 이와 같은 연구결과는 월별 기상자료와 연간 송이 발생량을 토대로 한 분석결과이므로 기상요소와 버섯발생량의 상관성을 명확히 구명하는 데는 미흡하였다. 따라서 본 연구는 송이 자생지에 기상관측장비를 설치하여 이로부터 수집된 일별 기상자료와 송이 발생량의 상관분석으로 향후 송이의 인위적 재배관리를 위한 기상환경 분야의 기초 자료로 활용하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지역 개요

연구대상지역은 강원도 양양군 서면 논화리 산 141번지에 위치한 면적 10.4 ha내에 5개의 송이 균환구역을 대상으로 하였으며(Fig. 1), 약 3년(2003~2005년)에 걸쳐, 국지미기상의 관측과 송이 발생량의 정점조사를 함께 수행하였다. 본 조사지는 송이 자생지로서 소나무-산거울군락이 주축을 이루고 있다. 관목층에 신갈나무-철쭉군락, 진달래-구절초군락이 높은 피도로 분포되어 있다. 산림 층위구조의 식피율은 교목층이 70%, 아교목층이 17.5%, 관목층이 2.5%, 초본층이 77.7%로 일반적인 산림의 구조와는 다르게 관목층이 매우 빈약한 구조를 가지고 있다. 이러한 요인은 송이

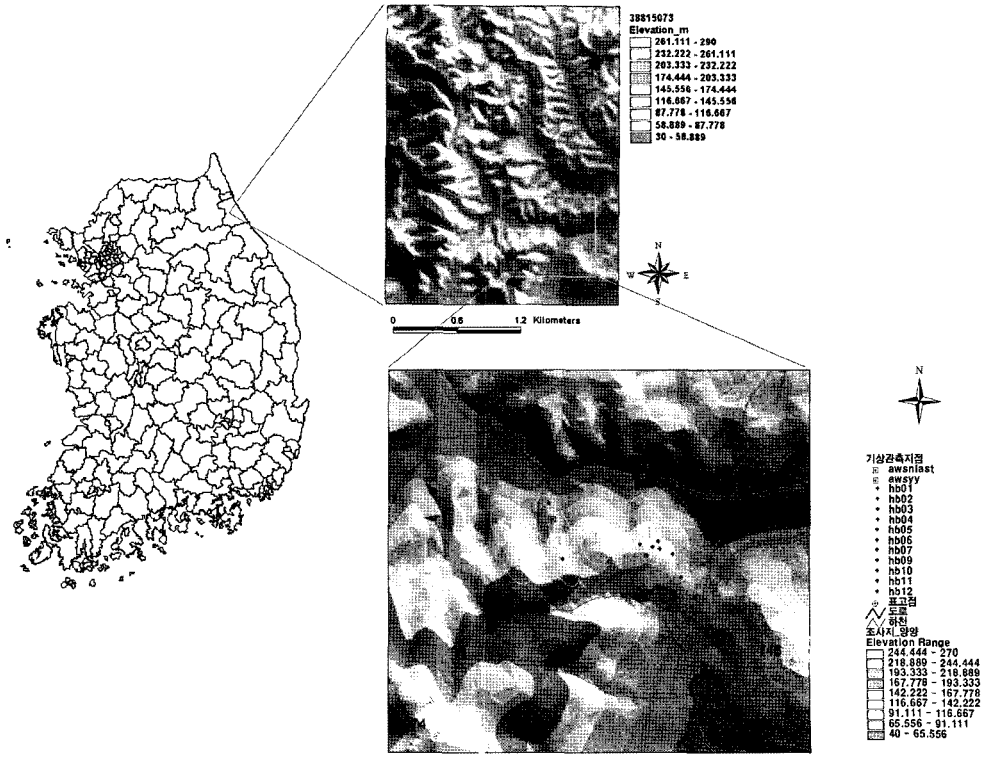

Fig. 1. Map of the study area with the locations of the micrometeorological measurements and pine mushroom survey.

Fig. 2. Photographs of automated weather system (left) and the measurements of air temperature and humidity (right) at Yangyang site.

균환 주변의 잡목을 제거하여 햇빛과 공기의 흐름을 개선시키기 위한 인위적인 관리 때문으로 판단된다. 그리고 송이 균환구역는 주로 10-20년생 소나무로 구성되어 있다.

2.2. 조사방법

송이 발생량은 발생초일(9월상/중순)부터 발생종일(10월상/중순)까지 약 한 달간 매일 그리고 오전(9~10시)에 조사하였다(채취 후, 네모머리핀으로 지점표시). 조사지의 국지미기상은 자동기상관측시스템 및 간이온습도 기록계(Model HOBO H8 Pro RH/Temp, Onset Computer Corporation, U.S.A)를 사용하여 관측하였다. 자동기상관측시스템은 두 곳에 설치하였으며 CR10X 자료집록기(Campbell Scientific Inc.)를 이용하여 온습도(HMP45C, Campbell Scientific Inc.), 지온(107, Campbell Scientific Inc.), 일사량(LI200X, Li-COR Biosciences), 토양수분(CS615, Campbell Scientific Inc.), 강우량(TE525, Campbell Scientific Inc.), 지중열 플럭스(HFT3, Campbell Scientific Inc.) 등의 기상요소들을 1분 간격으로 측정하고, 1시간 및 1일 간격으로 기록하였다. 그리고 간이온습도 기록계는 표고 및 사면별로 12곳에 설치하였고 30분 간격으로 측정하고 기록하였다.

2.3. 분석방법

관측된 기상요소별 일별 기상자료는 송이 발생(조사)일로부터 역으로 1~20일간 평균 기상값으로 재계산하여 송이 발생량의 상관분석에 이용되었다. 또한 지온과 송이의 발생초일/발생종일의 관련성 및 토양수분과 송이 발생량과의 관련성도 함께 검토하였는데, 이때 지온은 지표면으로부터 0.05m 깊이에서 측정하여 3일 이동 평균한 기상값을 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 조사지의 경과기상

Fig. 3은 2003년부터 2005년까지 3년간 송이 자생지에서 측정한 기상요소 중, 송이발생량과 관련이 깊은 지온(0.05 m)과 강수량의 추이를 월별로 나타낸 것이다. 3년간 송이 발생기간(8~10월)의 평균 지온은 17.8°C이었으며 2005년(평균지온 : 18.1°C)이 가장 높았고, 2003년(평균지온 : 17.4°C)이 가장 낮았다. 반면에 같은 기간 동안의 총강우량은 2005년이 475 mm로 가장 적었고, 2003년이 848 mm로 가장 많았다.

3.2. 조사지의 송이 발생량

송이 조사지를 크게 5개 송이균환구역으로 나누어 송이 발생수를 발생초일부터 발생종일까지 거의 매일 조사하여 기록하였는데, 그 조사결과를 정리하면 Table 2와 Table 3과 같다.

연도별로는 2005년에 가장 많은 송이가 발생하였는데, 이는 2005년 10월의 경과기상과 밀접한 관계가

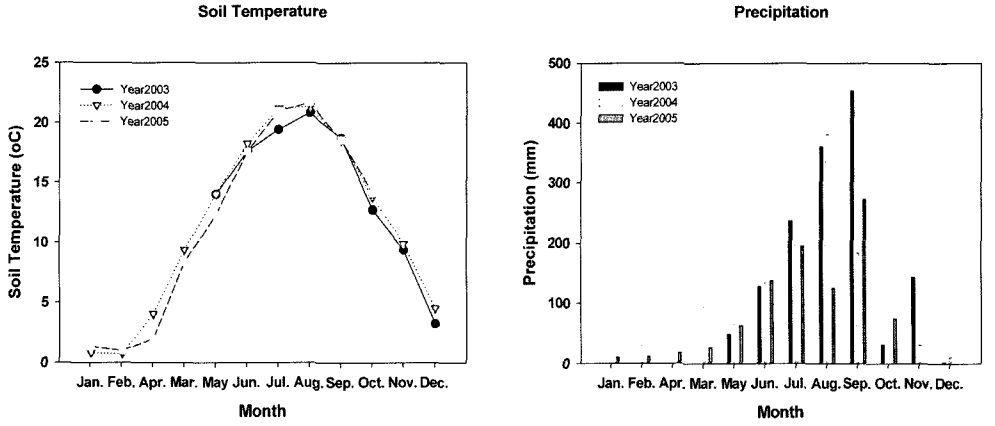

Fig. 3. Monthly mean soil temperature (at 0.05 m) and precipitation from 2003 to 2005 at a pine mushroom site in Yangyang.

Table 2. Yearly production of pine mushroom at Yangyang site.

Year	Pine mushroom production (unit : number)					
	Subtotal	1st Zone	2nd Zone	3rd Zone	4th Zone	5th Zone
2003	272	79	15	112	21	35
2004	169	51	31	47	17	23
2005	441	130	82	98	57	74
Total	882	260	128	257	95	132

Table 3. The number of daily collected pine mushroom at Yangyang site in 2005.

Date	Pine mushroom production (unit : number)					
	Subtotal	1st Zone	2nd Zone	3rd Zone	4th Zone	5th Zone
9/20	18	15	2	1	0	0
9/23	54	13	10	22	4	5
9/25	11	6	0	4	1	0
9/28	33	8	5	15	3	2
10/2	90	36	2	18	18	16
10/5	82	26	39	17	0	0
10/7	18	0	0	9	4	5
10/10	21	9	12	0	0	0
10/12	56	0	10	0	15	31
10/13	8	0	0	8	0	0
10/15	44	15	0	4	11	14
10/18	6	2	2	0	1	1
Total	441	130	82	98	57	74

있는 것으로 판단되었다. 즉, 10월의 고온과 자주 내린 비는 송이의 발생환경에 유리하게 작용하여 송이의 발생종일을 크게 늦추어 결과적으로 송이 발생량을 높이는 역할을 하였다. 반면에 2004년에는 9월의 적은 강우량과 10월의 무 강우현상으로 송이 발생종일이 상당히 앞당겨졌으며, 결과적으로 송이 발생량도 적게 조사되었다.

3.3. 송이 발생량과 기상요소의 관계

3.3.1. 온도관련 기상요소

송이 자생지에서 조사한 온도관련 기상요소는 기온, 지온, 지중열류량, 일사량 등이며, 이들과 송이 발생량의 상관관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 온도관련 기상요소는 전체적으로 송이 발생량과 아주 낮은 상관을 나타내었고, 발생 전 4~8일까지의 평균 기상이 발생량과 상대적으로 상관관계가 높았지만, 통계적으로는 유의하지 않았다.

3.3.2. 수분관련 기상요소

자생지에서 조사한 수분관련 기상요소는 상대습도, 토양수분, 강우량 등인데, 이들은 온도관련 기상요소보다 발생량과 상대적으로 높은 상관을 나타내었으며, 버섯발생 전 14~15일경이 가장 영향이 큰 것으로 조사되었다(Table 5). 수분관련 기상요소 중 토양수분(발생일로부터 역으로 15일간 평균)이 발생과 가장 높은 상관을 나타내었으며, 이때 토양수분은 약 18%이었다.

3.3.3. 발생초일 및 발생종일과 지온

일반적으로 일평균 기상은 날짜별 변동이 커서 생물계절을 추정하고 예측하는 분석에는 상대적으로 부적합하다. 따라서 이들 분석에는 3일 혹은 7일 이동 평균한 기상값을 많이 활용하고 있으며, 본 연구에서는

Table 4. Correlation coefficients between the pine mushroom emergence and meteorological elements related with temperature for each duration before checking date.

Meteorological elements		Duration before checking date (days)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Air temperature (0.5 m)	corelation (r)	0.16	0.10	0.16	**0.19**	0.18	0.17	0.12	0.04	0.01
	mean (°C)	15.69	15.73	15.85	15.95	16.07	16.15	16.21	16.35	16.43
Soil temperature (0.05 m)	corelation (r)	0.17	0.19	0.22	**0.22**	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10
	mean (°C)	16.04	16.11	16.20	16.29	16.38	16.44	16.51	16.59	16.67
Soil temperature (0.1 m)	corelation (r)	0.17	0.19	**0.22**	0.21	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10
	mean (°C)	16.16	16.23	16.31	16.40	16.48	16.54	16.61	16.69	16.76
Soil temperature (0.2 m)	corelation (r)	0.17	0.19	**0.21**	0.19	0.17	0.15	0.12	0.11	0.10
	mean (°C)	16.41	16.48	16.55	16.62	16.69	16.74	16.81	16.87	16.93
Soil heat flux (0.05 m)	corelation (r)	-0.11	-0.11	-0.02	0.08	0.11	**0.15**	0.10	-0.02	-0.06
	mean (MJm^{-2})	-1.62	-1.73	-1.64	-1.60	-1.50	-1.41	-1.50	-1.33	-1.26
Solar radiation	corelation (r)	**-0.28**	-0.24	0.00	0.03	-0.07	0.02	0.19	0.15	0.09
	mean (MJm^{-2})	1.45	1.41	1.43	1.43	1.47	1.46	1.46	1.51	1.52

Table 5. Correlation coefficients between the pine mushroom emergence and meteorological elements related with humidity for each duration before checking date.

Meteorological elements		Duration before checking date (days)								
		11	12	13	14	15	16	17	18	19
Relative humidity (0.5 m)	corelation(r)	0.40	0.40	0.41	**0.42**	0.41	0.39	0.34	0.32	0.32
	mean(%)	80.5	80.8	81.1	81.2	81.6	81.8	81.9	82.1	82.4
Soil water content (0.05 m)	corelation(r)	0.44	0.45	0.44	0.45	**0.46**	0.44	0.43	0.44	0.43
	mean(%)	17.4	17.5	17.5	17.6	17.7	17.7	17.7	17.8	17.8
Precipitation	corelation(r)	0.02	0.22	0.13	0.16	**0.27**	0.23	0.17	0.18	0.15
	mean(mm)	4.51	4.80	4.94	4.93	5.38	5.58	5.74	5.75	5.74

Table 6. The first and last emergence date, and period of pine mushroom production from 2003 to 2005.

Year	First emergence (date)	Last emergence (date)	Period (day)	Production (number)
2003	15 September	12 October	27	272
2004	8 September	9 October	31	169
2005	20 September	18 October	28	441

3일 이동평균값을 사용하였다.

2003년부터 2005년까지 조사지의 발생초일과 발생종일을 조사한 결과는 Table 6과 같다. 발생초일과 발생종일은 2004년에 가장 빨랐고, 다음으로 2003년이었으며, 2005년에 가장 늦었다. 그리고 발생기간은 2004년이 31일로 가장 길었고, 2005년과 2003년은 각각 28일과 27일로 비슷하였다.

연중 균사생장을 하는 이 버섯원기를 형성하기 위해서는 저온자극이 필요한데(小川, 1991), 본 연구결과에서는 버섯원기가 발생하려면 지하 0.05 m 깊이의 3일 이동평균된 지온이 19.5°C이하로 떨어지는 일시적인 저온자극이 있었으며, 이로부터 16일후에 버섯이 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 일시적인 저온자극 후 3일 이동평균 지온이 다시 21°C이상으로 상승하였을 경우에는 저온충격 효과가 없어져, 버섯이 발생하기 위해서는 다시 19.5°C이하의 저온자극이 필요한 것으로 조사되었다(Fig. 4). 예를 들어, 2005년의 경우 8월 22일에 3일 이동평균 지온이 19.5°C이하로 떨어지는 저온자극이 있었으나 8월 30일에 지온이 21.0°C이상 상승하여 저온자극이 상쇄되었으며, 9월 4일에 다시 19.5°C이하의 저온자극을 받고 그로부터 16일 후인 9월 20일에 그 해 첫 송이가 발견되었다

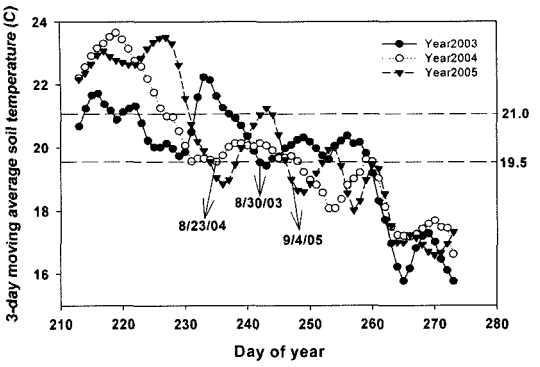

Fig. 4. Temporal changes of 3-day moving average of soil temperature from August to September at the pine mushroom site in Yangyang.

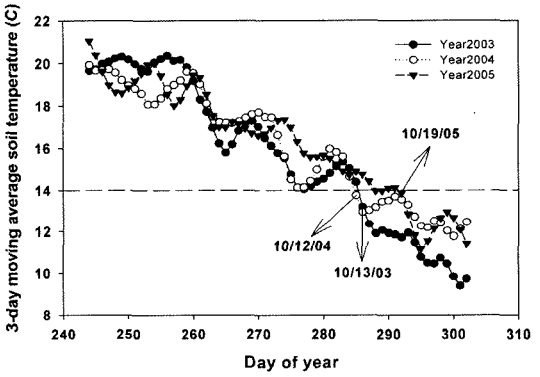

Fig. 5. Temporal changes of 3-day moving average of soil temperature from September to October at the pine mushroom site in Yangyang.

(Table 6).

발생종일도 지온과 밀접한 관계가 있는 것으로 조사되었다. 즉, 발생종일의 예측기준을 3일 이동평균지온 14°C이하로 하였을 때, 실측한 발생종일과 상당히 유사하였다(Table 6, Fig. 5).

3.3.5. 발생량과 토양수분

발생시기의 적당하고 잦은 강우는 토양수분을 일정하게 유지시켜 발생에 좋은 영향을 주는 것으로 조사되었다. 2005년에는 9월부터 10월까지 약 7일 간격으로 강우현상이 있었으며, 토양수분은 15~20% 범위로 유지되는 날짜가 다른 연도보다 월등히 많았다. 따라서 이 다른 해보다 늦게까지 발생하였고, 발생량도 많았다. 반면에 2004년에는 9월 하순부터 비가 전혀 내리지 않았으며, 그 결과 10월부터는 토양수분이 15% 이하로 떨어져 발생량에 나쁜 영향을 주었고, 2003년

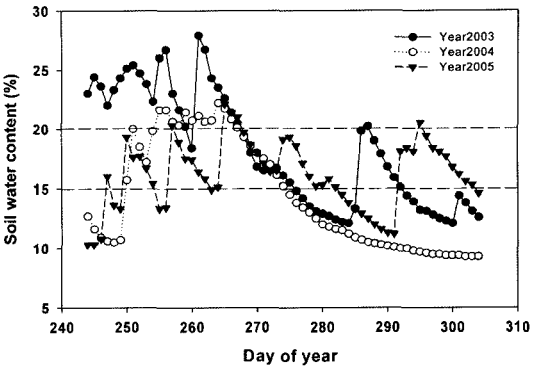

Fig. 6. Temporal change of soil water content during the pine mushroom production period.

에는 9월 중순까지 많은 강우로 토양수분이 적정이상으로 높아져 발생량에 악영향을 끼친 것으로 판단되었다(Table 6, Fig. 6).

적 요

지금까지 자생지의 기상환경평가는 주로 월별 기상자료와 연간 발생량을 토대로 하여 분석하였다. 또한, 기상자료도 발생 인근지역의 종관기상자료(기상청)를 주로 활용하였으므로, 기상요소와 버섯발생량의 상관성을 명확히 구명하는 데 효과적이지 못했다. 따라서 본 연구에서는 강원도 양양의 자생지에 기상측기를 설치하고, 3년간(2003~2005년) 자생지 주변의 기상환경과 버섯발생량을 측정 및 조사하여 이들의 상관관계를 분석하였다. 송이의 출현 개체수는 발생초일(9월상/중순)부터 발생종일(10월상/중순)까지 거의 매일 조사하여 기록하였다. 10월의 고온과 잦은 강우현상에 의해 발생종일이 늦추어진 2005년에 가장 많은 송이가 발생하였고, 9월의 적은 강우와 10월의 무 강우현상에 의해 발생종일이 앞당겨진 2004년에 송이가 가장 적게 발생하였다. 수분관련 기상요소(상대습도, 토양수분, 강우량)가 온도관련 기상요소(기온, 지온, 지중열류량, 일사량)보다 발생량과 상관성이 다소 높은 것으로 조사되었으나, 이들의 상관관계는 매우 낮았고(r=0.15~0.46), 통계적으로도 유의하지 않았다. 상관관계가 낮은 이유로는 발생량에 관여하는 인자가 기상요소뿐만 아니라 송이의 생물적 특징, 소나무와의 공생관계, 토양, 주변식생 등 다양한 인자가 존재하기 때문으로 생각되었다. 연중 균사생장을 하는 이 버섯원기를 형성하기

위해서는 저온자극이 필요한데, 본 연구에서는 지하 0.05 m 깊이의 3일 이동평균된 지온이 19.5°C이하로 떨어지는 일시적인 저온충격이 필요하며 이로부터 16일 후에 버섯이 발생하는 것으로 조사되었고, 송이의 발생종일은 3일 이동평균된 지온이 14°C이하로 떨어졌을 때 나타났다.

REFERENCES

Cho, D. H., and K. J. Lee, 1995: A relationship between climatic factors and matsutake productions in 29 sites during a 10-year period in Korea. *Journal of Korean Forest Society* **84**(3), 277-285. (in Korean with English abstract)

Kang, A. S., D. Y. Cha, Y. S. Kim, Y. H. Park, and C. H. You, 1989: Studies on analyzing meteorological elements related with yield of *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai) Singer. *Korean Journal of Mycology* **17**(2), 51-56. (in Korean with English abstract)

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. (in Korean with English abstract)

Na, J. S., and J. Ryu, 1992: Survey on the flora and main wild mushroom in *Tricholoma matsutake* producing sites. *Korean Journal of Mycology* **20**(2), 144-149. (in Korean with English abstract)

Park, H., K. S. Kim, and C. D. Koo, 1995: Effects of climatic condition in september on pine-mushroom (*Tricholoma matsutake*) yield and a method for overcoming the limiting factors in Korea. *Journal of Korean Forest Society* **84**(4), 479-488. (in Korean with English abstract)

조덕현, 1994: 송이 발생림의 기상조건과 송이 발생량과의 상관관계 및 입지환경 조사, 서울대학교 석사학위 청구논문.

富永保人, 1967: 氣象と マツタケ發生量との 關係について. 廣島農短大研究報告, 1-11.

小川眞, 1991: マツタケの生物學. 東京, 築地書館, 333pp.