

버섯 병재배 배지재료의 이화학적 특성과 활용

정종천* · 전창성 · 이찬중 · 오진아

농촌진흥청 국립원예특작과학원 버섯과

Physico-chemical Characteristics and Utilization of Raw Materials for Mushroom Substrates

Jong-Chun Cheong*, Chang-Sung Jhune, Chan-Jung Lee and Jin-A Oh

Mushroom Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

(Received August 13, 2010. Accepted October 11, 2010)

ABSTRACT: To provide a basic information on the chemical concentrations of different raw materials used in mushroom cultivation, the raw materials were collected from 13 *Flammulina velutipes*, 14 *Pleurotus eryngii*, and 8 *P. ostreatus* farms and analyzed to calculate moisture contents, pH, total carbon(T-C), total nitrate(T-N), total phosphate(T-P) and 13 different cations. In our results, the C : N ratios of cotton seed meal, beet pulp, and corn-cob were 6~17, 12~29 and 56~127, respectively. Depending on the companies which process these materials, the range of C:N ratio of soybean curd residue was approximately either 8~9 or 14~17 with wider range of C : N ratio of the raw materials imported from other countries without the detection of heavy metals. In this study, the formula was provided to calculate the composition of mixed media for mushroom cultivation based on the ingredient chart of different raw materials.

KEYWORDS : *Flammulina velutipes*, Mushroom substrates, *Pleurotus eryngii*, Raw materials

서 론

버섯 병재배 규모가 본격적인 보급단계이었던 1990년대에 1일 입병량을 기준으로 팽나무버섯의 경우 농가당 약 3천병에서 현재는 2~10만병으로 급증하였다(농촌진흥청, 2003). 재배 규모의 대형화는 균일한 품질의 배지재료 안정적인 공급과 미송톱밥의 장기간 야적을 위한 보다 넓은 공간이 필요하게 되었다. 변질되기 쉬워서 장기저장이 어려운 미강도 배지재료로 사용하기 어려운 점이 있다. 또한 축산농가에서 톱밥을, 유기농산물 생산농가에서 많은 양의 미강을 사용하면서 버섯재배농가와 구득경합에 의한 물량부족, 구입단가 상승 등으로 인하여 기존의 톱밥과 미강 위주에서 최근에는 콘코브, 면실박, 면실피, 비트펠프 등 다양한 재료를 사용하고 있으며 수입의존도가 증가하고 있다. 이와 같이 다양한 배지재료들은 각각 영양성분이 다르므로 그 특성을 파악한 후 사용해야 한다. 그러나 이와 관련한 체계적인 연구가 미흡한 실정이다. 이에 농가에서는 대체재료의 특성을 파악하지 않은 채로 농장마다 경험

적으로 배지재료를 혼합하여 재배하고 있으며, 특히 수입 배지의 경우 수입국 및 부산물의 처리공정에 따라 성분함량이 차이가 있으나, 공급되는 명칭에 따라 동일한 유효성분을 포함하는 것으로 취급되어 농가가 혼동하는 문제점을 안고 있다.

따라서 본 시험에서는 버섯재배 농장에서 사용하는 배지재료의 화학성분을 파악하고, 각 농장에 공급되고 있는 재료별 성분함량의 범위를 알아보고, 수입배지의 경우 수입국, 산출공정, 화학성분을 명시하여 재료에 대한 기초정보를 생산농가에 제공하고자 한다. 또한, 배지재료의 성분차이에 따른 요인을 분석하여 가급적 품질이 균일한 재료가 버섯재배 농가에 보급될 수 있도록 하고자 한다. 또한 배지재료의 성분함량을 알면 버섯 배지조제 시 이들의 배합비율을 결정하는데 유용한 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

시험균주

본 시험에 사용된 균주는 팽나무버섯(*Flammulina velutipes*; MKACC 51953)과 큰느타리버섯2호(*Pleurotus eryngii*;

*Corresponding author <E-mail : jccheong@korea.kr>

MKACC 52327) 보존균주를 이용하였다. 균의 증식을 위해서 PDA배지(potato dextrose agar<Difco-213400> 39 g, DW 1,000 ml)에서 25°C에 10일간 petri-dish에 배양하여 사용하였다.

시료의 수집과 조제

배지재료의 성분분석을 위하여 2006년도 3월부터 5월에 전국의 버섯 병재배 농가중 임의로 선정한 팽나무버섯 13개소, 큰느타리버섯 14개소, 느타리버섯 8개소에서 사용하고 있는 배지재료의 종류와 살균후의 재배용 배지를 시료로 수집하였다. 각 농가에서 배지재료를 수집하면서 산출장소, 재배버섯의 종류 등을 조사하였다(Table 1).

수집한 시료는 건조기(Yamato, SG-62)를 사용하여 80°C에서 24시간 건조한 후 무게를 달아서 수분함량을 계산하였고, 분쇄기(Tecator, Cyclotec-1093 Sample mill)로 0.5 mm 체를 사용하여 분말화한 후, 4.0±0.5°C로 유지되는 냉장실에 보관하였다.

배지재료 및 배지의 이화학적 분석

원소자동분석기(Leco, CHN-1000)를 이용하여 전탄소와 전질소 함량을 분석하고 전탄소량을 전질소량으로 나누어서 C/N율을 구하였다(LECO, 1996). 그리고 P₂O₅는 비색법으로, K₂O, CaO, MgO 등 양이온은 원자흡광분석법으로 분석하였다(김, 1985; AOAC, 1990). 배지의 수분함량은 건조 전과 80°C에서 24시간 건조 후의 무게를 달고, 건조전 무게에서 건조후 무게를 뺀 값을 건조전 무게로 나누어 백분율로 표시하였다. 배지의 pH는 시료 5 g을 증류수 25°C에

1시간동안 침출하고 수소이온농도측정기(Precisa PH-900)를 사용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

배지재료의 산출공정 및 활용

전국의 버섯 병재배 농가 35개소에서 배지재료 143점을 수집하였으며 동시에 시료의 산출장소, 재배버섯의 종류 등을 조사하였다(Table 1).

미송톱밥은 재료의 특성상 입자화 되어 있고 수분함량에 따라서 중량에 차이가 많기 때문에 구입 시에는 ‘톤(t)’ 단위가 아니고, ‘세제곱미터(m³, 루베)’ 단위로 거래되고 있다. 또한 미송톱밥은 버섯 병재배를 시작한 90년대 초에 비하여 제재소의 톱날이 가늘어져 톱밥의 입자가 매우 작아졌고, 이것을 사용한 배지는 공극이 적어 버섯재배에 어려움이 따른다고 한다. 그리고 병재배 규모가 10,000병 이상으로 확대되면서 과거와 같이 미송톱밥을 3~6개월간 야외발효하여 사용하려면 넓은 면적의 야외발효장과 선지급 톱밥 구입 비용은 경영비 부담이 크기 때문에 톱밥공급업체에서 야외발효를 실시한 것을 직접 구입하기도 한다. 포플러톱밥은 미루나무톱밥, 버드나무톱밥 등과 함께 ‘미루나무톱밥’으로 통칭하여 사용하고 있으며, 톱밥제조공장에서 주로 버섯재배용으로 생산하여 18~20 kg들이 포대로 공급하고 있다. 비트펄프, 면실박, 면실피, 콘코브는 수입에 의존하고 있으며 비트펄프와 면실박은 느타리버섯, 콘코브는 팽나무버섯 병재배에 주로 사용하고 있다. 옥수수피는 전분 생산공정의 부산물로서, 대두피는 식용유 생산공정의 부산물로서 주로 큰느타리버섯 병재배 배지의 첨가제로 이용하고 있다. 건비지는 두유와 배지밀 생산공정의 부산물로서 두부 생산공정의 부산물인 ‘생비지’와 구별하여 공급되고 있다. 미강은 국내의 도정공장 부산물을, 밀기울은 국내의 수입밀 제분공장 부산물을 구입하고 있다. 폐화석분말은 20 kg들이 포대에 담아서 공급하고 있다. 또한 한천 생산공정의 부산물은 일부 농가에서만 사용하고 있는데 생산공정상 2종류로 구분이 된다.

병재배 농가 배지재료 및 혼합배지의 이화학적 특성

버섯 병재배 시설농가 35개소에서 수집한 배지재료 143점의 이화학적 특성을 조사한 결과, 수분함량은 한천부산물이 70.4%, 미송톱밥 65.9%, 포플러톱밥 43.8% 순으로 높았으며 나머지는 10% 미만으로 낮은 편이었다. pH는 한천부산물이 9.7, 폐화석이 8.9 순으로 높고, 비트펄프 4.9, 옥수수피 5.3, 콘코브 5.6 순으로 낮았으며, 나머지는 6.1~6.8의 범위이었다. 탄소 함량은 폐화석분말 7.4%, 한천부산물 7.7%를 제외한 모든 재료들이 43.0% 이상이였으며, 특히 건비지, 미강, 미송톱밥, 포플러톱밥은 47.0% 이상으로 높았다. 질소 함량은 면실박이 6.8%, 건비지 5.1%로 높고, 혼합사료 2.8%, 미강과 밀기울이 2.5%, 대두피 2.2%로 다음 수준이며, 비트펄프 1.6%, 옥수수피 1.2%, 나머지는 1.0% 미만이었다. 그리고 미강은

Table 1. Producing site of raw materials used for mushroom substrates

Materials	Product site	Cultural mushrooms
Douglas fir sawdust	Saw mill	Winter mushroom, Eryngi
Poplar sawdust	Sawdust manufactory	Oyster mushroom, Eryngi
Beet pulp	<Import>	Oyster mushroom
Cotton seed meal	<Import>	Oyster mushroom, Eryngi
Cotton seed hulls	<Import>	Winter mushroom, Eryngi
Corn-cob	<Import>	Winter mushroom
Corn hulls	Starch manufactory	Eryngi
Soybean hulls	Soybean oil manufactory	Eryngi
Soybean curd residue	Soybean milk manufactory	Winter mushroom, Eryngi
Rice bran	Rice processing complex	Winter mushroom, Eryngi
Wheat bran	Flour mill	Winter mushroom, Eryngi
Oyster shell powder		Winter mushroom
Agar by-products		Winter mushroom
Ordered livestock feed	Feed mill	Winter mushroom, Eryngi

인산 4.4%, 칼리 1.4%, 마그네슘 1.8%, 망간이 1.1 mg kg⁻¹으로 다른 재료들 보다 많았다. 폐화석분말은 칼슘이 15.1%, 나트륨 1.3%, 알루미늄 16.2 mg kg⁻¹, 철분 8.2 mg kg⁻¹으로 다른 재료들 보다 많았고, 한천부산물도 나트륨 2.5%, 알루미늄 7.9 mg kg⁻¹, 철분 7.0 mg kg⁻¹이었다(Table 2).

살균 후 배지의 이화학성을 분석한 결과(Table 3, Fig. 1, 2), 수분함량은 팽나무버섯 배지가 평균 62.6%이고 낮은 곳은 54.6%, 높은 곳이 68.0%도 있었으며, 큰느타리버섯 배지는 평균 64.3%이고 59.2~68.3% 범위, 느타리버섯 병재배 배지는 평균이 68.4%이고 63.9~71.2% 범위로 농가에 따라 차이가 많았다. pH는 팽나무버섯 배지가 6.5±0.2, 큰느타리버섯 배지

6.1±0.4, 느타리버섯 병재배 배지 5.7±0.7 수준이었다. C/N율은 팽나무버섯과 큰느타리버섯 배지가 28±4이고, 느타리버섯 병재배용 배지는 21±2 수준이었다. 또한 Fig. 2에서 칼슘함량이 농가간에 차이가 많은 것은 폐화석 분말, 한천부산물 등 무기물 첨가재료의 종류 및 첨가량의 차이에 기인하는 것으로 생각한다. 그리고 Table 2와 3에서 배지재료 및 재배용 살균배지의 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn) 등 중금속 함량은 농경지토양의 ‘중금속 농도우려기준’(토양환경보전법시행규칙 제20조, 2001년도; Cd 1.5, Cr⁶⁺ 4.0, Cu 50, Ni 40, Pb 100, Zn 300 mg kg⁻¹) 및 전담과수원 등의 ‘토양오염우려기준(토양환경보전법시행

Table 2. Physico-chemical properties of raw materials used for mushroom substrates

Materials	No. of sample	Moisture (%)	pH (1 : 5)	T-C (%)	T-N (%)	C/N ratio	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)
Douglas fir sawdust	11	65.9	6.1	47.7	0.17	281	0.02	0.03	0.20	0.04	0.13
Poplar sawdust	6	43.8	6.8	47.1	0.16	294	0.04	0.09	0.54	0.08	0.04
Corn-cob	21	9.6	5.6	45.1	0.42	107	0.11	0.46	0.12	0.08	0.04
Cottonseed hulls	10	8.2	6.4	44.9	0.93	48	0.25	0.76	0.30	0.32	0.09
Beat pulp	20	9.2	4.9	43.1	1.59	27	0.20	0.40	1.02	0.50	0.66
Corn hulls	3	8.9	5.3	44.3	1.23	36	0.69	0.23	0.05	0.26	0.03
Rice bran	17	7.5	6.8	47.0	2.48	19	4.41	1.38	0.14	1.77	0.05
Wheat bran	9	8.6	6.5	43.6	2.45	18	1.87	0.59	0.16	0.78	0.06
Soybean curd residue	8	3.7	6.3	49.8	5.09	11	1.16	0.54	0.72	0.38	0.31
Cotton seeds meal	14	8.4	6.5	43.9	6.77	7	2.16	1.23	0.39	1.06	0.09
Soybean hulls	5	4.2	6.0	43.0	2.20	20	0.40	0.65	0.93	0.48	0.03
Oyster shell powder	9	5.6	8.9	7.4	0.11	67	0.19	0.44	15.08	0.56	1.31
By-products agar	2	70.4	9.7	7.7	0.18	43	0.08	0.77	0.69	0.94	2.45
Ordered livestock feed	8	8.6	6.1	43.1	2.83	15	2.15	0.70	1.56	0.87	0.40

Materials	Al (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr ⁶⁺ (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Douglas fir sawdust	0.94	tr	0.02	0.01	1.50	0.28	0.03	0.02	0.12
Poplar sawdust	0.34	tr	0.01	0.01	0.31	0.13	0.02	0.02	0.20
Corn-cob	2.85	tr	0.01	0.04	4.42	0.10	0.28	0.04	0.13
Cottonseed hulls	2.82	tr	0.01	0.04	2.09	0.13	0.03	0.01	0.15
Beat pulp	3.87	tr	0.01	0.04	3.66	0.39	0.04	0.01	0.14
Corn hulls	0.28	tr	0.01	0.02	0.48	0.06	0.02	0.04	0.21
Rice bran	0.21	tr	tr	0.04	0.60	1.11	0.01	0.01	0.47
Wheat bran	0.23	tr	tr	0.06	0.79	0.79	0.02	0.03	0.44
Soybean curd residue	0.28	tr	tr	0.05	0.71	0.23	0.02	0.08	0.28
Cotton seeds meal	4.39	tr	0.01	0.08	2.63	0.15	0.06	0.02	0.35
Soybean hulls	1.12	tr	0.01	0.05	3.11	0.13	0.04	0.02	0.41
Oyster shell powder	16.28	tr	0.03	0.03	8.15	0.69	0.02	0.04	0.22
By-products agar	7.88	tr	0.06	0.03	7.01	0.37	0.34	0.04	0.12
Ordered livestock feed	1.92	tr	0.01	0.10	2.19	0.85	0.05	0.01	0.55

Table 3. Physico-chemical properties of various mushroom cultivation substrates

Mushroom	No. of sample	Moisture (%)	pH (1:5)	T-C (%)	T-N (%)	C/N ratio	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)
<i>F. velutipes</i>	13	62.6	6.5	44.5	1.63	27	2.11	0.93	1.84	0.80	0.14
<i>P. eryngii</i>	14	64.3	6.1	44.4	1.59	28	1.38	0.45	1.69	0.60	0.19
<i>P. ostreatus</i>	8	68.4	5.7	44.5	2.14	21	0.64	0.49	1.03	0.45	0.19

Mushroom	Al (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr ⁶⁺ (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
<i>F. velutipes</i>	3.10	tr	0.01	0.05	2.79	0.62	0.21	0.01	0.28
<i>P. eryngii</i>	2.27	tr	0.02	0.06	6.40	0.55	0.09	0.01	0.30
<i>P. ostreatus</i>	2.35	tr	0.01	0.04	2.73	0.26	0.06	0.02	0.20

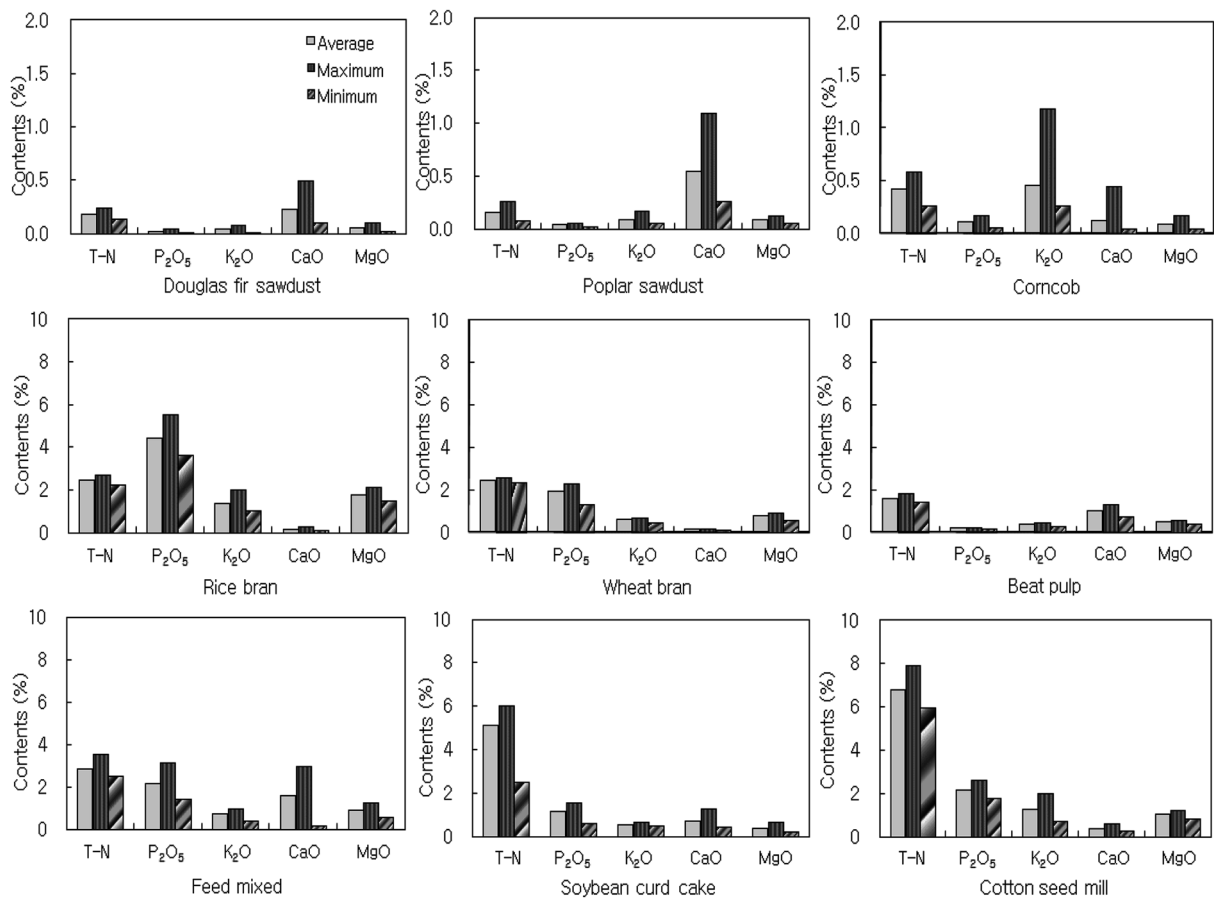


Fig. 1. Comparison of nutrition ingredient amount contained in raw materials.

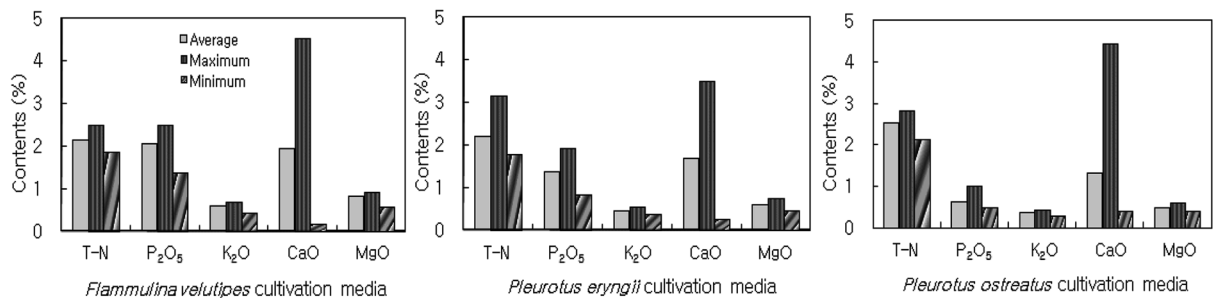


Fig. 2. Comparison of nutrition ingredient amount in various mushroom cultivation substrates.

규칙 제1조의5, 2009년도, Cd 4.0, Cr⁶⁺ 5.0, Cu 150, Ni 100, Pb 200, Zn 300 mg kg⁻¹)보다 훨씬 낮았다. 위에서 2001년도와 2009년도의 기준함량에 차이가 있는 점은 2001년도의 기준은 원소들의 추출방법이 황산추출법에 의한 것이며 (예외적으로 아연은 왕수추출) 2009년도의 기준은 모두 왕수추출법을 사용하는데, 왕수추출의 경우 황산추출법보다 원소들의 침출량이 많은데 기인한다. 본 시험에서는 칼리(K₂O), 칼슘(CaO), 마그네슘(MgO), 나트륨(Na₂O), 알루미늄(Al), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr⁶⁺), 구리(Cu), 철(Fe), 망간(Mn), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn) 등 양이온 13종 모두를 황산추출법에 의한 침출액으로 측정하였다.

배지재료 이화학적 특성의 활용방법

본 시험에서 농가 수집시료들의 이화학적 분석 결과는 동일한 명칭의 재료일지라도 질소, 칼리, 칼슘 등의 함량이 최고값과 최저값의 차이가 2~4배인 경우도 있었다(Fig. 1). 따라서 본 보고에 제시한 성분함량표는 배지재료의 성분함량 절대치로 보지 말고 상대적 비교를 위하여 활용하는 것이 좋을 것이다. 어떤 배지재료의 구입이 어려워지거나 가격이 급등하는 상황에서는 보다 구입이 용이하고 값싼 재료로 대체하여야 할 필요가 있다. 이때 여기에 제시한 배지재료들의 성분함량 평균치와 활용방법은 보다 빠르고 손쉽게 혼합배지의 영양성분 조성 비율을 결정하는 기준으로 사용이 가능할 것으로 본다. 즉 팽나무버섯, 큰느타리버섯, 느타리버섯 등 병재배 버섯의 배지재료를 배합할 때 각 재료의 성분함량을 참고하여 C/N율, 인산, 칼슘 등 영양수준을 맞추기 위하여 계산이 가능하다(Table 4, 5).

Table 4는 팽나무버섯 병재배 농가의 배지재료를 수집하면서 살균한 배지에 대한 재료별 혼합비율을 파악해 두었던 사례농가의 배지재료와 살균배지의 성분표이다. 그리고 Table 5에서 사례농가는 용량 1,100 ml, 병구 직경 65 mm PP (Polypropylene)병을 사용하고 있었으며 배지재료의 배합량은 건조무게로 환산하여 미송톱밥 30 g, 콘코브 100 g, 미강 90 g, 건비지 10 g, 주문배지 5 g, 폐화석 10 g으로 총 245 g이었다. 병당 배지량 245 g에 대한 각 재료별 혼합비율[A]은 미송톱밥 12%, 콘코브 41%, 미강 37%, 건비지 4%, 주문배지 2%, 폐화석 4%로 구해졌다. 이렇게 조성된 배지의 질소함량

Table 5. Computation method of total nitrogen content mixing materials using physico-chemical analysis chart

Materials	Using volume ^a (g)	Mixing ratio (%) [A]	T-N [B] (%)	Computation method (A × B, %)
Douglas fir sawdust	30	12	0.23	0.028
Corn-cob	100	41	0.46	0.189
Rice bran	90	37	2.43	0.893
Soybean curd residue	10	4	6.11	0.250
Ordered mixing materials	5	2	3.57	0.073
Oyster shell powder	10	4	0.13	0.005
Total	245	100		1.438

^aBottle volume and diameter of bottle are 1,100 ml and 65 mm, respectively

을 계산해 보면 배지재료 각각의 혼합비율[A]과 재료별 성분 분석표의 질소함량[B](Table 4와 같음)을 곱하여 미송톱밥 0.028%, 콘코브 0.189%, 미강 0.893%, 건비지 0.250%, 주문배지 0.073%, 폐화석 0.005%으로 총 1.438%이었다. 이 계산 값은 사례농가에서 수집한 살균배지를 직접 분석한 값 1.44% (Table 4)와 일치하였다.

따라서, 배지재료별 성분함량표를 이용하여 버섯 재배용 어떤 혼합배지의 성분조성을 계산하기 위한 방법으로 다음의 식을 제시한다.

*** 혼합배지의 성분함량(%)**

$$= \sum(\text{재료별 혼합중량비} \% \times \text{재료별 성분함량} \%) \div 100$$

적 요

본 시험은 버섯 병재배 농가에서 사용하고 있는 배지재료와 혼합배지의 수분함량, pH, 전탄소(T-C), 전질소(T-N), C/N율, 인산, 13종의 양이온 함량 등 이화학적 특성을 파악하여 기초 자료로 활용하고자 수행하였다. 전국의 병재배 농가에서 임의로 선정한 35농가 중 팽나무버섯 13개소, 큰느타리버섯 14개소, 느타리버섯 8개소에서 배지재료 143점과 혼합배지 35점의 시

Table 4. Physico-chemical properties collecting substrates from a cultivation farm *Flammulina velutipes*

Materials	Moisture (%)	pH (1 : 5)	T-C (%)	T-N (%)	C/N ratio	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)
Douglas fir sawdust	56.1	5.66	46.67	0.23	202	0.04	0.03	0.17
Corn-cob	11.8	6.97	35.51	0.46	77	0.13	0.29	7.05
Rice bran	10.2	6.58	46.83	2.43	19	4.77	1.38	0.10
Soybean curd residue	1.9	6.42	51.97	6.11	9	1.23	0.48	0.65
Ordered mixing materials	9.3	6.02	42.41	3.57	12	1.62	0.41	1.20
Oyster shell powder	4.5	8.30	8.79	0.13	68	0.19	0.33	15.54
Sterilized mixing materials	62.8	6.64	41.01	1.44	28	2.12	0.62	4.55

료가 수집되었다. 배지재료의 성분함량은 동일한 명칭의 재료라도 2~5배로 차이가 많은 경우도 있었다. 그리고 농가에서 수집한 버섯재배용 혼합배지의 C/N율은 팽나무버섯과 큰느타리버섯 배지가 28 ± 4 , 느타리버섯 병재배용 배지는 21 ± 2 의 범위에었으며 중금속 등 특정성분에 특이사항은 없었다. 그리고 배지재료별 성분함량표를 이용하여 버섯 재배용 혼합배지의 성분조성을 산출하기 위한 계산식을 제시하였다.

농촌진흥청, 2003. 농업과학기술 연구조사분석기준. p. 719.
 중금속농도우려기준(농경지토양). 토양환경보전법시행규칙 제20조. 환경부. 2001.
 토양오염우려기준(전답과수원등). 토양환경보전법시행규칙 제 1 조의 5. 환경부. 2009.
 A.O.A.C. 1990. Official method of analysis. 15th ed. Association of official analytical chemists. Washington, D.C.
 LECO Corporation. 1996. CHN-1000 elemental analyzer instruction manual. Form No. 200-516.

참고문헌

김영일. 1985. 비료분석법해설. 중앙문화사. pp. 748.