



Title	担子菌の子実体形成期における元素の挙動
Author(s)	関谷, 敦; SEKIYA, Atsushi; 三浦, 清 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 46(4), 941-958
Issue Date	1989-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21309
Type	departmental bulletin paper
File Information	46(4)_P941-958.pdf



担子菌の子実体形成期における元素の挙動

関谷 敦* 三浦 清** 香山 彊**

Behavior of Chemical Elements during Fruit Bodies Formation of the Basidiomycete

By

Atsushi SEKIYA*, Kiyoshi MIURA** and Tsutomu KAYAMA**

要 旨

本研究は、子実体生育に必要な元素の種類、量を解明することを目的として、分析を行い、その結果以下の知見を得た。①ヒラタケ子実体形成で、原基形成期にカルシウム、マンガンは取りこみ量及び濃度でも高い値を示し、原基形成に重要な役割をはたしていると推察される。②同一培地でのヒラタケ、タモギタケ、エノキタケ3種の子実体中の元素濃度の挙動で銅が、他の元素より菌の種類による濃度差があり、ヒラタケは、エノキタケの3.8倍、タモギタケの2.4倍であった。③部位（傘、茎）の違いによる元素濃度の挙動で、傘の方が茎より高い値であった。特に、窒素、亜鉛、リン、鉄で、傘/茎比が高かった。④ヒラタケを用い、培地の種類を変化させ、培地と子実体中の元素濃度を比較すると、培地より子実体の方が窒素で1.5~5.6倍、カリウムで2.3~5.2倍、亜鉛で1.3~2.9倍、銅で2.1~6.4倍高い値であった。他の元素は、培地の方が高い値であった。⑤ヒラタケの1次と2次収穫子実体の元素濃度は、銅と鉄濃度が特に異なり、また1次収穫前後の培地中の元素量を比較すると、特に収穫後培地において銅、窒素の減少が認められた。

キーワード： 担子菌、元素、子実体、培地、原子吸光分析。

1989年2月28日受理 Received February 28, 1989.

* 帯広営林支局新得営林署

Shintoku District Forest Office, Obihiro Regional Forest Branch Office.

** 北海道大学農学部林産学科産製造学講座

Laboratory of Chemical Technology of Forest Products. Department of Forest Products. Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

目 次

1 緒 言	942
2 実 験	943
2.1 供試菌及び培地試料	943
2.2 瓶培養方法	943
2.3 子実体収穫方法	944
2.4 灰化法	944
2.5 元素測定法	944
3 結果と考察	945
3.1 子実体形成過程での元素の挙動	945
3.2 3種類の菌での子実体の元素の挙動	951
3.3 子実体の部位（傘，茎）による元素の挙動	951
3.4 6種類の異なった培地での培地と子実体の元素の挙動	952
3.5 1次・2次収穫子実体と培地の関係	954
4 結 言	955
文 献	956
Summary	957

1 結 言

近年、食生活の多様化に伴い、食用きのこの需要が増加し、主要きのこ（乾しいたけ、生しいたけ、なめこ、えのきたけ、ひらたけ）の生産量は57年から61年の5年間に約3割増加した¹⁾。また、林家（5～500 ha）一戸当たりの林業粗収益中きのこ生産による収益は31%を占め、農林業以外に有力な産業基盤を持たない山村地域の安定収入源として重要な役割を果たしている。

このようにきのこ生産の増加に伴い、一部地域において原木不足が問題になってきた。そこで当研究室で、原料不足解消及び付加価値を高めるため、飼料として利用されているウイスキー大麦残渣及びビール大麦残渣を培地原料とし、タモギタケ菌で瓶培養を行った²⁾。その結果、鋸屑培地では、子実体収量（生重量）が40.5 gであったのに対し、ウイスキー大麦残渣培地では、108.7 g、ビール大麦残渣培地では、88.4 gと鋸屑培地より収量が2～3倍増加した。ヒラタケ菌も同様な結果であった。

しかし、ウイスキー・ビール大麦残渣培地で、タモギタケの1次収穫子実体は、傘が波うち、石づき部位が巨大化する奇形が発生した。一方ヒラタケは変化が認められなかった。また、鋸屑培地でのヒラタケ1次・2次収穫子実体を比較した場合、2次収穫子実体は収量が減少し、奇形が発生した。1次収穫子実体の収量（生重量）が、43.2 gであるのに対し、2次収穫子実体は、19.2 gであった。また2次収穫子実体は茎が太く、傘が巨大化した。以上のように、培地の種類及び収穫別により子実体収量や形態が異なる。

この理由として、1つには培地中の栄養物の相違、特に元素の種類及び量の相違による影響が考えられる。それらは生物にとって元素は生体構成成分や細胞内生化学的反応に利用する必須の栄養源であるからである。菌類も無機物を取りこみ生長し続けているが、栄養生長と生殖生長で、元素の要求度が異なる。

そのため、正常で収量の多い子実体を発生させる培地は、元素の種類、量ともにバランスがとれている培地であると推定される。

ところで、菌類の生長における元素の影響に関する研究は、1869年合成培地に無機物を添加し、*Ascophora higrans* の収量増加をもたらした報告に始まる⁹⁾。以後合成培地に元素の種類、量を変化させ、子実体形成への影響に関して研究が行われてきた⁴⁻⁸⁾。また、子実体の元素量を測定した研究も行われてきた⁹⁻¹⁶⁾。

しかしこれらの研究は、子実体形成に必要な元素の種類、量に関して詳細には検討されていない。また、同一培地で菌の違いによる元素濃度の相違、同一菌で培地の違いによる元素の挙動について報告はない。

そこで、本研究は、子実体生育に必要な元素の種類、量を解明することを目的として、まず、①ヒラタケ子実体形成における元素の取りこみ量及び濃度の分析、②同一培地でのヒラタケ、タモギタケ、エノキタケ3種の子実体中の元素濃度の挙動、③部位(傘、茎)の違いによる元素濃度の挙動、④ヒラタケを使用し、培地の種類を変化させた時の培地と子実体の元素の挙動、⑤ヒラタケ1次・2次収穫子実体と培地の関係について検討した。

なお、本研究を行うにあたり、本学演習林研究部氏家雅男教授に御協力頂き、深く感謝する次第である。

2 実 験

2.1 供試菌及び培地試料

供 試 菌：ヒラタケ菌 (*Pleurotus ostreatus* (Jacq ex Fr.) Qué1)

タモギタケ菌 (*Pleurotus cornucopiae* (Pers.) Rolland var. *citrinopileatus*)

エノキタケ菌 (*Flammulina velutipes* (Fr.) Sing)

培地試料：鋸屑 (ハルニレ, カンバ)

ウイスキー大麦残渣

ビール大麦残渣

2.2 瓶培養方法

(1) 子実体形成, 3種の菌比較, 部位別, 1次・2次収穫実験培地

鋸屑 (ハルニレ) 試料と米糠を容量比4:1に混合した。

(2) 培地種類別実験培地

① 鋸屑 (ハルニレ, カンバ), ウイスキー・ビール大麦残渣試料と米糠を容量比4:1に

混合した。

② 鋸屑（ハルニレ）試料と米糠を容量比4：1，3：1，2：1に混合した。

以上の混合物を（pf 4.2の含水率+30%）の含水率¹⁷⁾（鋸屑培地65%，ウイスキー大麦残渣培地74.3%，ビール大麦残渣培地73.8%）に調整し，850 ml容ポリ容器に詰めた。詰めこみ量は，1,000 ml容の容器の上で培地を8 meshの篩で振り，容器に自然充填された重量を1.25倍した重量を1,000 ml当たりの詰めこみ量とした。鋸屑培地は，100 ml当たり65 gとなり，1瓶に520 g詰めた。ウイスキー・ビール大麦残渣培地は，ともに100 ml当たり90 g，1瓶当たり720 gであった。

その後，120℃，1.2気圧で90分間滅菌し，一昼夜放冷後，予め培養した種菌（10 ml）を培地に接種した。接種した瓶は，温度23℃，湿度70%の暗所で菌まわしを行った。菌まわし終了後，ヒラタケ及びエノキタケは温度15℃，湿度90%，タモギタケは温度23℃，湿度90%の発茸室に移し，子実体発生を行った。

子実体形成の実験は培地を10個，他の実験は5個ずつ作製した。

2.3 子実体収穫方法

(1) 子実体形成実験

ヒラタケ菌を使用し原基から成熟子実体まで5段階に分け，収穫した。5段階は，原基形成段階（Primordium），傘茎に分化する前段階（Fruit body 1），傘茎に分化した段階（Fruit body 2），子実体成熟前段階（Fruit body 3），子実体成熟段階（Fruit body 4）である。各収穫日数は，接種後から数えて，24日，25日，26日，27日，28日であった。また，菌まわりが終了し，原基形成前に菌そうが厚くなる。このとき菌糸（Mycelium）を収穫した。

(2) 3種の菌比較，子実体部位別実験

3種の菌を使用して成熟子実体を，傘茎に分けて収穫した。

(3) 培地種類別実験

ヒラタケ菌を使用して6種類の培地〔鋸屑（ハルニレ，カンバ），ウイスキー・ビール大麦残渣試料と米糠の混合比4：1の培地，ハルニレ試料と米糠の混合比3：1及び2：1の培地〕で成熟子実体を収穫した。

(4) 1次及び2次収穫実験

ヒラタケ菌を使用し1次及び2次成熟子実体を収穫した。

2.4 灰化法

2.3で収穫した子実体を，80℃で絶乾にした後，湿式灰化法¹⁸⁾で灰化した。灰化使用混酸（硝酸，過塩素酸，硫酸）は精密分析用（SSG）を使用した。

10個又は5個ずつ作製した同一収穫子実体を混合し，3個ずつ灰化した。

2.5 元素測定法

元素は，11種類（炭素，窒素，カリウム，ナトリウム，マグネシウム，カルシウム，鉄，

銅, マンガン, 亜鉛, リン)測定した。炭素, 窒素は, C-N コーダー(柳本 MT-500)で, リンは, Vanado Molybdenum 法¹⁸⁾を用い分光光度計(日立 200 形)で, その他の無機物は原子吸光分光光度計(第2精工舎 SAS721)で測定した。マグネシウム, カルシウムの測定では, 灰化試料にストロンチウム 1,000 ppm を添加した。

3 結果と考察

3.1 子実体形成過程での元素の挙動

ヒラタケ子実体形成における1瓶あたりの各生育段階での子実体重量及び元素量の変化を Table 1 に示す。測定した 11 種類の元素量は原基で亜鉛より鉄が多い以外は子実体形成の全体を通して, 炭素, 窒素, カリウム, リン, マグネシウム, ナトリウム, カルシウム, 亜鉛, 鉄, 銅, マンガンの順であった。

また, 子実体形成過程における子実体重量変化を Fig. 1 に示す。子実体成熟に伴い重量が増加した。子実体の元素量すなわち, 培地(菌糸)から子実体への元素の取りこみ量は, 3 種類の型に分類される。第1番目は, 子実体重量の増加とともに元素量も増加する型で, Fig. 2 に示すように, 炭素, 窒素, カリウム, リン, 亜鉛, 銅の6種類である。第2番目は原基から傘, 茎に分化する段階まで元素量はほとんど変化なく, それ以後成熟子実体まで元素量が増加する型で, Fig. 3 に示すように, マグネシウム, 鉄の2種類である。第3番目は, 原基と子実

Table 1. Changes of element content and yield of fruit body (dry weight) during fruit body formation of *Pleurotus ostreatus*

element	*pr.	**fr. 1	***fr. 2	****fr. 3	*****fr. 4
yield (g)	2.4	2.7	3.7	5.1	6.3
C (g)	1.1	1.3	1.6	2.3	2.9
N (mg)	61.2	100.7	127.6	189.5	261.5
K (mg)	57.1	72.9	95.9	133.8	177.9
P (mg)	10.1	11.6	15.3	21.2	29.3
Mg (mg)	4.0	3.7	4.6	7.1	9.7
Na (mg)	1.6	1.2	1.5	2.1	2.2
Ca (μ g)	418.8	337.5	266.4	376.9	467.8
Zn (μ g)	109.4	158.0	172.1	291.6	357.5
Fe (μ g)	140.0	130.4	134.0	242.1	276.8
Cu (μ g)	71.1	77.1	108.9	135.2	183.2
Mn (μ g)	63.3	36.5	38.2	55.4	68.9

- *pr. : the stage of the primordium
 **fr. 1 : the stage before the differentiation of the pileus and stipe
 ***fr. 2 : the stage after the differentiation of the pileus and stipe
 ****fr. 3 : the stage before the mature fruit body
 *****fr. 4 : the stage of the mature fruit body

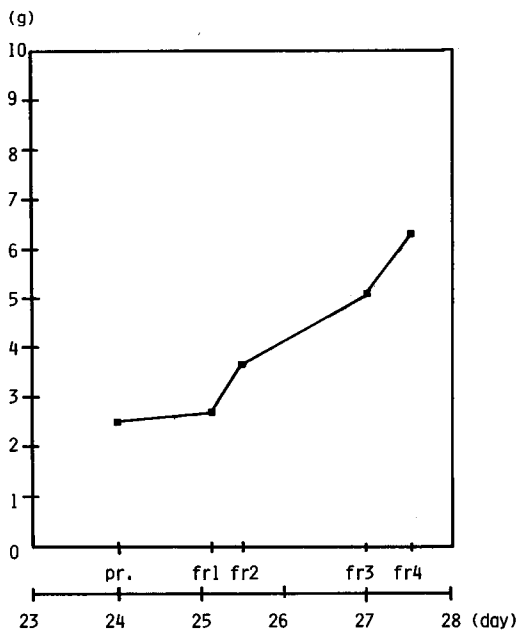


Fig. 1. Yield of fruit body (dry weight) during fruit body formation in *P. ostreatus*.

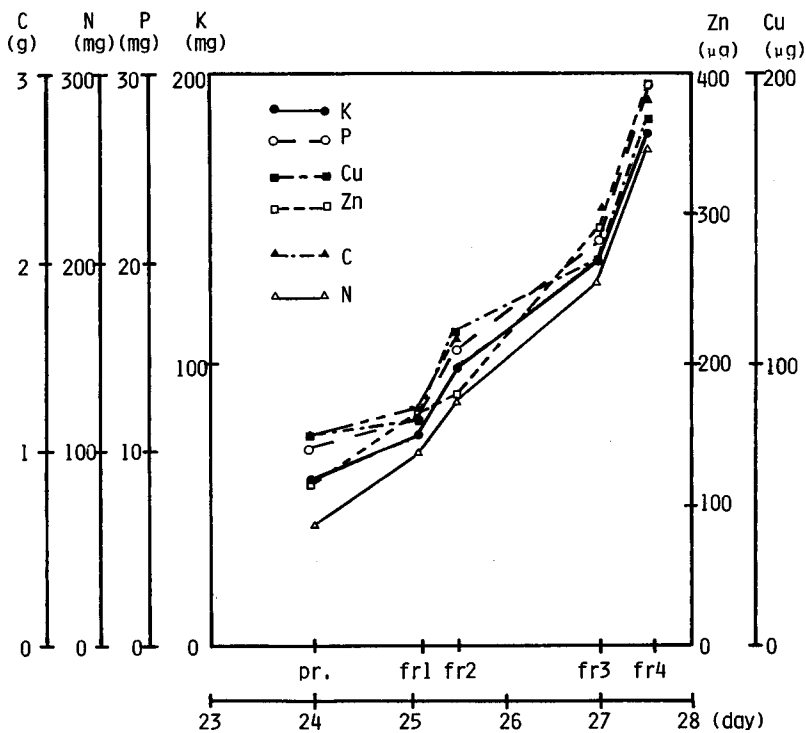


Fig. 2. Changes of element content during fruit body formation of *P. ostreatus*.

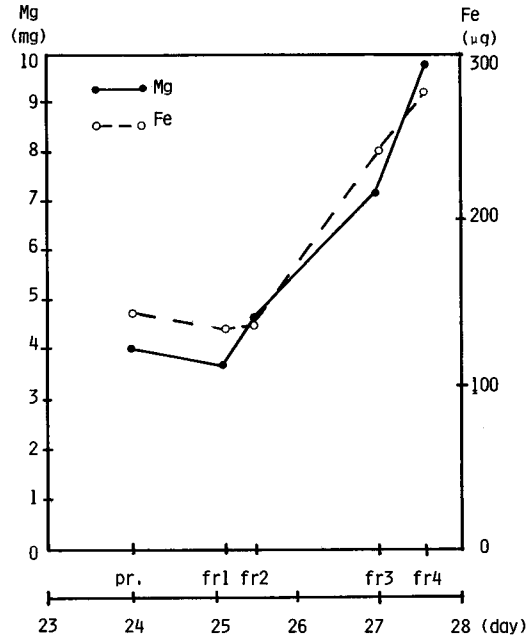


Fig. 3. Changes of element content during fruit body formation of *P. ostreatus*.

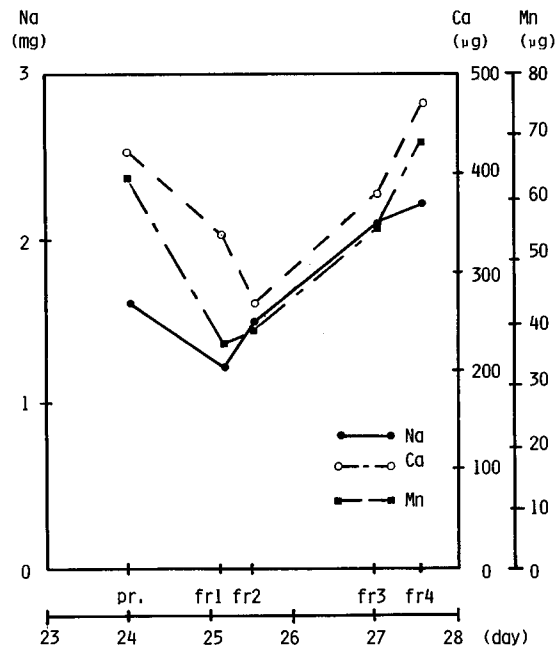


Fig. 4. Changes of element content during fruit body formation of *P. ostreatus*.

体成熟段階に多く、傘、茎に分化する前・後段階に少ない型で、Fig. 4 に示すように、ナトリウム、カルシウム、マンガンの3種類である。以上の結果より、子実体形成における元素の取り込みは、元素により異なることが明らかになった。また、第3番目の型の分化前・後段階に元素量が減少する挙動は、この時期に子実体から菌糸への元素の再転流が行われていると推察される。また、これら各元素の取りこみ量は、各子実体形成での最少必要量とは結論できないが、少なくとも各生育段階で取りこまれた量の元素があれば、生育可能であると思われる。

次に、各生育段階での元素濃度の変化を Table 2 に示す。元素 11 種類の濃度は、炭素、窒素、カリウム、リン、マグネシウム、ナトリウム、カルシウム、亜鉛、鉄、銅、マンガンの順であり、量の順序と一致した。また、菌糸と成熟子実体の比較で、炭素が同濃度以外、他の元素は菌糸の方が全て高い結果となった。

脇田⁹⁾は、エノキタケについて、カリウムとマグネシウムで子実体の方が高く、カルシウム、ナトリウム、リン、鉄、マンガンで菌糸の方が高いと報告している。田島ら¹²⁾は、アミズギタケについて、カルシウムで両者の差異は認められないと報告している。

しかし本研究では菌糸と原基の比較で、カルシウム、マンガン以外は菌糸の方が濃度が高いが、カルシウムにおいては、それぞれ 116 ppm と 171 ppm で 1.5 倍原基の方が濃度が高かった。また、マンガンでは、それぞれ 14 ppm と 26 ppm で 1.9 倍原基の方が高い結果となった。

原基から成熟子実体への元素濃度の変化は、4つの型に分類できる。第1番目は、原基から成熟子実体へのどの段階でもほとんど濃度差が認められない型で、Fig. 5 に示すように、炭素、リン、銅である。第2番目は、原基と分化後段階で濃度が低く他では高い型で、Fig. 6 に示すように、窒素、カリウム、亜鉛である。この2つの型は、元素量では Fig. 2 の型である。第3番目は、原基と子実体成熟前段階に濃度が高く、分化後段階に濃度が一番低い型で、Fig.

Table 2. Changes of element concentrations in *P. ostreatus* during fruit body formation

(/dry weight)

element	mycelium	pr.	fr. 1	fr. 2	fr. 3	fr. 4
C (%)	45.2	44.3	46.0	43.7	45.5	45.2
N (%)	6.1	2.5	3.7	3.4	3.7	4.1
K (ppm)	34260	23324	26874	25874	26352	28151
P (ppm)	7116	4138	4278	4127	4169	4633
Mg (ppm)	1925	1639	1372	1230	1389	1539
Na (ppm)	718	637	439	405	409	348
Ca (ppm)	116	171	125	72	74	74
Zn (ppm)	99	45	58	47	57	57
Fe (ppm)	64	57	48	36	48	44
Cu (ppm)	64	29	29	29	27	29
Mn (ppm)	14	26	14	10	11	11

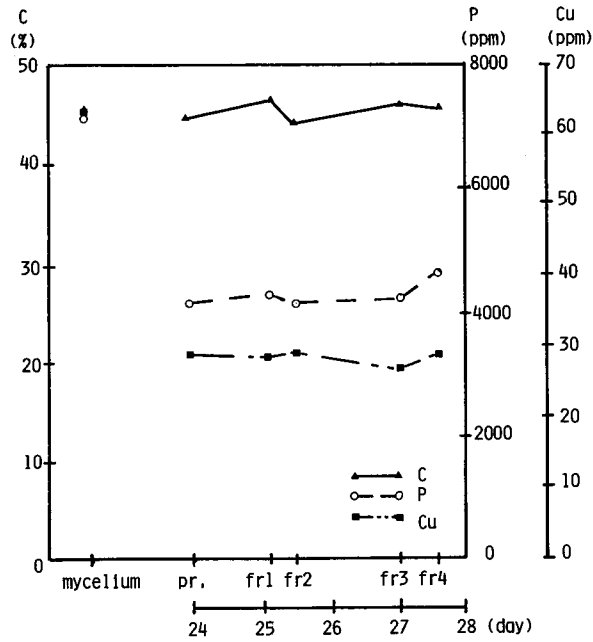


Fig. 5. Changes of element concentration during fruit body formation of *P. ostreatus*.

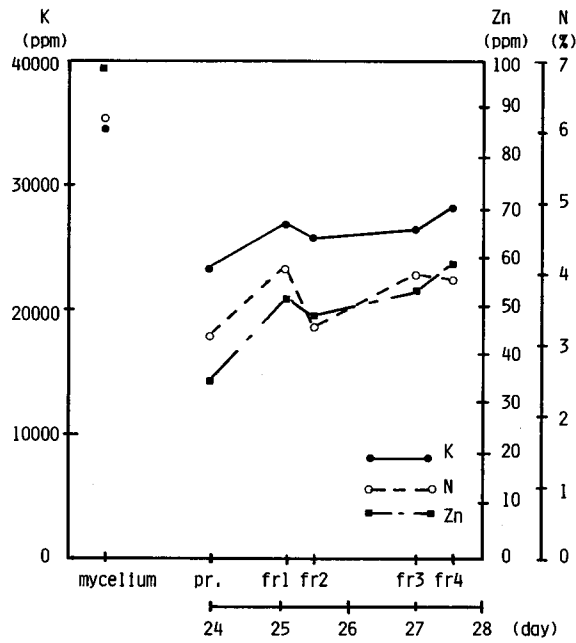


Fig. 6. Changes of element concentration during fruit body formation of *P. ostreatus*.

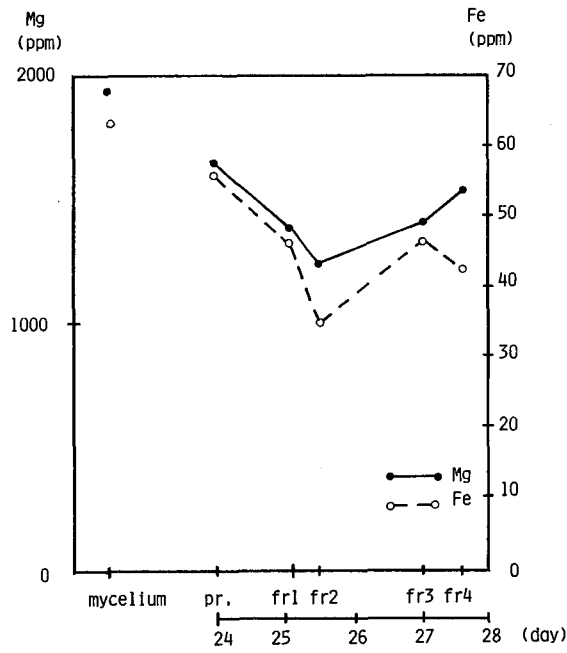


Fig. 7. Changes of element concentration during fruit body formation of *P. ostreatus*.

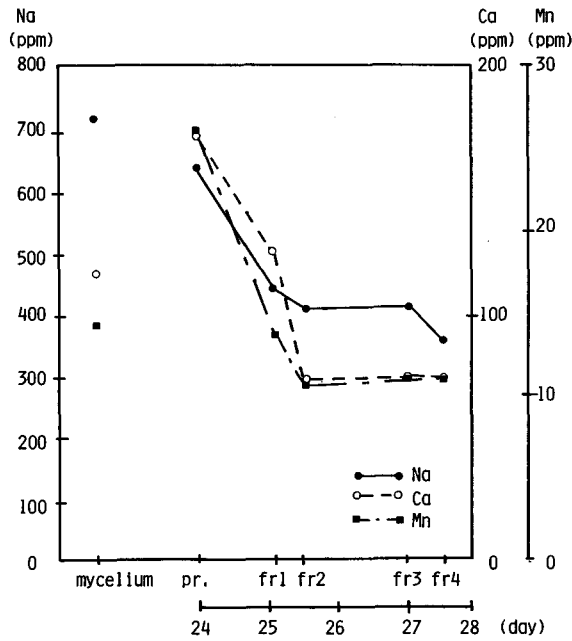


Fig. 8. Changes of element concentration during fruit body formation of *P. ostreatus*.

7に示すように、マグネシウム、鉄である。この型は、元素量ではFig. 3の型である。第4番目は、原基に濃度が高く以後低くなり、分化後段階から子実体成熟段階にかけて、ほとんど差がない型で、Fig. 8に示すように、ナトリウム、カルシウム、マンガンである。この型は、元素量ではFig. 4の型である。これら4つの型で、第4番目の型が濃度差が一番大きかった。特にカルシウム、マンガンが顕著で原基と成熟子実体を比較すると、カルシウムでは、それぞれ171 ppmと74 ppmで成熟子実体は原基の43%であった。また同様にマンガンも、それぞれ26 ppmと11 ppmで成熟子実体が原基の42%に相当し、低い濃度を示す結果となった。

以上の結果から、子実体形成で原基形成期に取りこみ量の多いカルシウム、マンガンは濃度でも高い値を示した。また菌糸との比較でも、カルシウム、マンガンだけが原基の方が高い値を示した。

田島ら¹²⁾はシイタケのカルシウムについて原基の濃度が分化後及び成熟子実体の20倍であり、分化後と成熟子実体は変わらないと報告している。

また、カルシウムは液体培地で*Schizophyllum commune* (スエヒロタケ)を使用した結果では、栄養生長には必要でなく生殖生長に効果的であるという報告⁸⁾、マンガンは液体培地で*Favolus arcularius* (アミスギタケ)の子実体を形成させたところ、原基形成を早めるという報告⁵⁾、*Pleurotus ostreatus* (ヒラタケ)での同様な報告⁶⁾とあわせて、カルシウム、マンガンは原基形成に重要な役割をはたしていると推定される。

3.2 3種類の菌での子実体中の元素の挙動

同一培地(ハルニレと米糠の混合比4:1培地)でのヒラタケ、タモギタケ、エノキタケ子実体中の元素の濃度をTable 3に示す。子実体の元素の濃度は、3種類の菌とも、炭素、窒素、カリウム、リン、マグネシウム、ナトリウム、カルシウム、亜鉛、鉄、銅、マンガンの順であった。3種の菌の比較で、炭素、カリウム、リンの3種類は、ほとんど変化なかった。マグネシウムは、エノキタケの濃度が他の2種類の菌より1.2倍高かった。ナトリウム、カルシウム、亜鉛、鉄は、タモギタケの濃度が他より高かった。ヒラタケが高い値を示したのは、銅であった。ヒラタケはエノキタケの3.8倍、タモギタケの2.4倍であった。以上の結果から、元素濃度は菌の種類により異なり、菌により特異的な元素が存在することが明らかになった。

川井ら¹⁶⁾は、ヒラタケ、タモギタケで、炭素、窒素を除き他の元素について調査した。数野ら¹⁵⁾は、ヒラタケで、炭素、窒素を除く他の元素について、菊池ら¹⁴⁾は、ヒラタケ、エノキタケで、炭素、窒素、リンを除く他の元素について、飯盛ら¹³⁾は、エノキタケで、カルシウム、マグネシウム、銅、鉄、亜鉛、マンガンについて、湿重量当たりで調査した。これらの結果は、リンで川井、数野の報告、ナトリウムで数野の報告が本研究より高い値を示した他はほぼ同レベルであった。

3.3 子実体の部位(傘, 莖)による元素の挙動

同一培地でのヒラタケ、タモギタケ、エノキタケの3種類の菌の子実体の部位(傘, 莖)

Table 3. Element concentrations in fruit body of *P. ostreatus*, *P. cornucopiae* and *Flammulina velutipes* (/dry weight)

species	part	C (%)	N (%)	K (ppm)	P (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)
<i>P. ostreatus</i>	pileus	45.5	7.2	32437	6250	1822	320	49.6	94.8	61.2	28.6	15.4
	stipe	45.1	2.7	26114	3865	1405	362	85.6	38.4	35.5	29.2	8.8
	*f. b.	45.2	4.1	28151	4633	1539	348	74.0	56.6	43.8	29.0	10.9
<i>P. cornucopiae</i>	pileus	44.1	5.8	21427	5038	1677	728	112.8	126.2	88.7	15.7	8.7
	stipe	46.6	2.3	28124	3026	1383	473	78.6	45.7	38.0	8.3	9.7
	*f. b.	45.3	4.1	24650	4068	1535	605	96.3	87.4	64.3	12.2	9.2
<i>F. velutipes</i>	pileus	49.0	3.9	23481	5380	1665	377	46.7	69.2	61.2	9.8	7.3
	stipe	46.0	2.0	29075	2754	2119	167	69.8	38.8	42.0	4.7	6.9
	*f. b.	47.7	3.1	25967	4218	1866	284	56.9	55.7	52.7	7.6	7.1

* f. b.: fruit body

の元素の濃度を Table 3 に示す。一般に傘の濃度が茎より同じか高い値であった。特に、窒素、亜鉛、リン、鉄で傘/茎比が高かった。

数野ら¹⁵⁾は、ヒラタケについて、飯盛ら¹³⁾は、エノキタケについて、数種の無機物を定量し傘の方が茎より同じか高いと報告している。これは、1つには酸化酵素は柄の上部や傘の周辺部のような活発に生長を行っている場所に集中して存在している報告¹⁹⁾があることから、酸化酵素を活性化させるため、無機物は傘の方が濃度が高いのかもしれない。

3.4 6種類の異なった培地での培地と子実体の元素の挙動

培地の種類を変化させ、子実体と培地の関係について検討した。Table 4 は試料 (ハルニレ、カンバ、ウイスキー大麦残渣、ビール大麦残渣) と米糠を 4:1 に混合した培地でヒラタケの子実体形成を行った際の 1 瓶あたりの培地中の各元素量と子実体重量及び元素の取りこみ量

Table 4. Element content of fruit body and culture media

(/bottle)

*culture media	part	dry weight (g)	C (g)	N (g)	K (mg)	P (mg)	Mg (mg)	Ca (mg)	Zn (mg)	Fe (mg)	Cu (mg)	Mn (mg)
harunire	fruit body	6.32	2.86	0.26	177.9	29.3	9.7	0.47	0.36	0.28	0.18	0.07
	culture medium	182	92.89	1.90	1820.0	1698.2	617.6	83.5	5.59	15.6	1.05	15.12
kanba	fruit body	3.06	1.31	0.17	104.8	18.5	6.7	0.16	0.27	0.11	0.10	0.05
	culture medium	182	94.84	1.90	1188.3	1465.2	504.8	39.3	7.01	20.5	0.94	17.52
whiskey barley residue	fruit body	14.91	6.93	1.03	353.4	76.7	25.7	1.14	1.55	0.57	0.44	0.22
	culture medium	189	92.07	6.37	1223.4	2554.5	702.3	44.1	12.92	44.9	2.55	21.10
beer barley residue	fruit body	15.35	7.27	0.86	322.4	65.8	25.4	0.86	1.24	0.55	0.44	0.25
	culture medium	181	96.51	7.10	1497.8	2813.7	800.8	44.4	11.47	29.7	2.66	22.45

* culture media : sample rice bran ratio is 4:1

Table 5. Element content of fruit body and culture media

(/bottle)

harunire-rice bran ratio of culture medium	part	dry weight (g)	C (g)	N (g)	K (mg)	P (mg)	Mg (mg)	Ca (mg)	Zn (mg)	Fe (mg)	Cu (mg)	Mn (mg)
4:1	fruit body	6.32	2.86	0.26	177.9	29.3	9.7	0.47	0.36	0.28	0.18	0.07
	culture medium	182	92.89	1.90	1820.0	1698.2	617.6	83.5	5.59	15.6	1.05	15.12
3:1	fruit body	12.26	5.44	0.26	303.8	53.2	17.4	0.86	1.26	0.43	0.19	0.15
	culture medium	182	92.82	2.18	1884.5	2029.3	695.3	81.6	6.39	16.4	1.12	18.22
2:1	fruit body	15.95	7.24	0.68	391.6	63.5	20.3	1.03	1.31	0.55	0.23	0.19
	culture medium	182	92.72	2.60	1981.6	2504.8	873.8	77.1	7.50	16.6	1.13	22.72

Table 6. Comparison of element concentrations in fruit bodies and in culture media

(/dry weight)

elements	culture media			fruit bodies		
	range	mean	*S. D.	range	mean	*S. D.
C (%)	50.8~ 52.1	51.2	0.4	42.0~ 47.3	45.3	1.5
N (%)	1.0~ 3.8	2.0	1.2	4.1~ 6.9	5.3	0.9
K (ppm)	6529~10888	8742	1747	21005~34270	26075	4220
P (ppm)	8051~14911	11881	2558	3983~ 6056	4742	688
Mg (ppm)	2774~ 4801	3817	635	1042~ 2185	1559	356
Ca (ppm)	215.9~458.8	337.5	106.9	53.2~ 76.1	65.7	8.6
Zn (ppm)	30.7~ 71.2	46.3	14.6	56.6~104.0	86.0	15.9
Fe (ppm)	85.7~247.5	130.8	57.6	34.7~ 43.8	37.1	3.2
Cu (ppm)	5.2~ 14.1	8.6	3.9	14.4~ 33.5	25.1	7.4
Mn (ppm)	83.1~124.8	106.6	14.6	10.9~ 17.5	13.8	2.4

* S. D.: standard deviation

を示す。また、ハルニレと米糠の混合比を4:1, 3:1, 2:1に変化させた培地で子実体形成を行い、そのときの培地中の元素量と子実体重量及び元素の取りこみ量をTable 5に示す。培地と子実体では元素量の多い順序が異なっていた。また、培地中から子実体に取りこむ割合(子実体の元素量÷培地の元素量×100)は元素で異なり、窒素、カリウム、銅は10~30%で、亜鉛が4~20%で、他の元素は10%未満であった。これらより、培地中の元素量が多ければ、それだけ子実体への取りこみ量が多くなるのではなく、子実体形成で培地元素を選択的に子実体へ取りこむことが明らかになった。

培地と子実体の濃度の関係をTable 6に示す。全培地で、培地より子実体の方が窒素で1.5~5.6倍、カリウムで2.3~5.2倍、亜鉛で1.3~2.9倍、銅で2.1~6.4倍高い濃度であった。他の元素は、培地の方が高い濃度であった。

Vogtら¹¹⁾は、36種の菌と4つの森林床で、窒素、リン、カルシウム、カリウム、マンガ

ン、ナトリウム濃度について調査し、窒素、カリウム、リンにおいて全森林床で子実体の方が、窒素で3倍、カリウムで4~22倍、リンで2~7倍高く、カルシウムは子実体の方が低いと報告している。また、Cromackら¹⁰⁾は、2つの森林床でカリウム、ナトリウム、亜鉛、リン、銅は子実体の方が著しく高濃度に蓄積されたと報告している。

3.5 1次・2次収穫子実体と培地の関係

鋸屑(ハルニレ)一米糠(4:1)培地でのヒラタケ1次及び2次収穫子実体絶乾重量は、それぞれ6.3188g, 3.0558gであり、1次と比較し2次は48%であった。また、2次収穫子実体は、茎が肥大し、傘が大きい奇形であった。1次・2次収穫子実体中の元素濃度について、Table 7に示す。全体では銅と鉄濃度が特に異なっていた。部位では傘で銅と窒素が異なり、それぞれ2次が1次の46%, 68%であった。茎は鉄、亜鉛、マンガンが異なり、傘とは逆にそれぞれ2次が1次の151%, 140%, 136%であった。

次に、1次収穫前後の培地中の元素量をTable 8に示す。1次収穫前後の培地中の元素量を比較すると、収穫後培地に銅、窒素で顕著な減少が認められた。

Kitamotoら⁷⁾は、基本液体培地から銅を除去した培地で、*Psilocybe panaeoliformis*(シビレタケ)子実体を形成した結果、異常子実体を引き起こす。また窒素濃度と子実体収量の関係で、ある最適窒素濃度で子実体収量は最大になり、窒素濃度が多くても少なくとも子実体収量減を引き起こすと報告している。

2次収穫子実体の収量減の理由として、1つは培地中の窒素量が1次収穫子実体に取りこ

Table 7. Element concentrations in first-, second-cultivated fruit bodies of *P. ostreatus*

		(/dry weight)										
	parts	C (%)	N (%)	K (ppm)	P (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)
first-fruit body	pileus	45.5	7.2	32437	6250	1822	320	49.6	94.8	61.2	28.6	15.4
	stipe	45.1	2.7	26114	3805	1405	362	85.6	38.4	35.5	29.2	8.8
	*f. b.	45.2	4.1	28151	4633	1539	348	74.0	56.6	43.8	39.0	10.9
second-fruit body	pileus	45.1	4.9	25406	4940	1786	283	66.4	72.7	75.1	13.1	12.8
	stipe	42.2	3.1	28898	5078	1657	299	64.2	53.7	53.6	32.9	12.0
	*f. b.	44.8	4.5	26252	4973	1755	287	65.9	68.0	69.8	17.9	12.6

* f. b.: fruit body

Table 8. Element content of culture media before and after first-cultivated fruit body of *P. ostreatus*

		(/bottle)									
		C (g)	N (g)	K (mg)	P (mg)	Mg (mg)	Ca (mg)	Zn (mg)	Fe (mg)	Cu (mg)	Mn (mg)
B: before		92.89	1.90	1820.0	1698.2	617.6	83.5	5.6	15.6	1.1	15.1
A: after		90.02	1.64	1642.1	1668.9	607.9	83.0	5.2	15.3	0.9	15.1
A/B×100		96.9%	86.3%	90.2%	98.3%	98.4%	99.4%	92.9%	98.1%	81.8%	100%

まれたため減少し、窒素量不足で2次収穫量が減少したのかもしれない。また、異常子実体発生の1つには銅不足も影響していると推察される。

4 結 言

本研究の最終目標は、子実体生育に必要な元素の種類、量を解明し、子実体収量を増加させることや生育日数の短縮である。例えば、2次収穫は、収量の減少や奇形を引き起こしたりするが、1次収穫後に子実体生育に必要な元素適量を添加することにより、収量増や正常な発生が可能になると推察される。つまり添加される元素の時期、種類、量が適切に行なわれることにより効率的なきのこ栽培をもたらすと思われる。すなわち、植物で肥料添加により収量増加をもたらすと同様にきのこにおいても肥料効果をもたらすものと考えられる。

そこで、本研究は、基礎的資料を得るためまず、培地と子実体中の元素の量及び濃度について、分析を行いその結果、以下の知見を得た。

1. 子実体形成過程での元素の挙動

(1) 培地(菌糸)から子実体への取りこみ量は、3種類の型に分類された。

- ① 子実体重量の増加とともに元素量も増加する型で、炭素、窒素、カリウム、リン、亜鉛、銅の6種類が認められた。
- ② 原基から傘、茎に分化する段階まで元素量はほとんど変化なく、それ以後成熟子実体まで元素量が増加する型で、マグネシウム、鉄の2種類が認められた。
- ③ 原基と子実体成熟段階に多く、傘、茎に分化する前・後段階に少ない型で、ナトリウム、カルシウム、マンガンの3種類が認められた。

また、分化前・後段階に元素量が減少する挙動は、この時期に子実体から菌糸への元素の再転流が行われていると推察される。

(2) 原基から成熟子実体過程での元素濃度の挙動で、4つの型に分類できた。

- ① 原基から成熟子実体へどの段階でもほとんど濃度差が認められない型で、炭素、リン、銅であった。
- ② 原基と分化後段階で濃度が低く他では高い型で、窒素、カリウム、亜鉛であった。
- ③ 原基と子実体成熟前段階に濃度が高く、分化後段階に濃度が一番低い型で、マグネシウム、鉄であった。
- ④ 原基に濃度が高く以後低くなり、分化後段階から子実体成熟段階にかけて、ほとんど差がない型で、ナトリウム、カルシウム、マンガンであった。

以上の結果から、子実体形成で原基形成期に取りこみ量の多いカルシウム、マンガンは濃度でも高い値を示した。これらは原基形成に重要な役割をはたしていると推定される。

2. 3種類の菌での子実体の元素の挙動

同一培地で11種類の元素の中で銅が、他の元素より菌の種類による濃度差があり、ヒラ

タケは、エノキタケの3.8倍、タモギタケの2.4倍であった。

3. 子実体の部位（傘、茎）による元素の挙動

同一培地で、濃度は傘の方が茎より高い値であった。特に、窒素、亜鉛、リン、鉄で、傘/茎比が高かった。

4. 6種類の異なった培地での培地と子実体の元素の挙動

培地中から子実体に取りこむ割合(子実体の元素量÷培地の元素量×100)は元素で異なり、窒素、カリウム、銅は10~30%で、亜鉛は4~20%で、他の元素は10%未満であった。

全培地と子実体の濃度の関係では、培地より子実体の方が窒素で1.5~5.6倍、カリウムで2.3~5.2倍、亜鉛で1.3~2.9倍、銅で2.1~6.4倍高い濃度であった。他の元素は、培地の方が高い濃度であった。

5. 1次・2次収穫子実体と培地の関係

2次収穫子実体は重量が、1次の48%であり、かつ形態が異常であった。1次・2次収穫子実体の元素濃度で、銅と鉄濃度が特に異なっていた。1次収穫前後の培地の元素量を比較すると、収穫後培地に銅、窒素で急激な減少が認められた。

文 献

- 1) 昭和62年度林業白書：62年度版。勸日本林業協会，1988.
- 2) 門屋 健：北大農林産学科卒論，p. 36，1984.
- 3) Raulin, J: Etudes chimiques sur la végétation, Ann. Sci. Nat. V. Bot., 11, 93, 1869.
- 4) Jacson W. Foster: THE HEAVY METAL NUTRITION OF FUNGE, Botan. Rev., 5, 207, 1939.
- 5) 北本 豊，葛西善三郎：アミスギタケの子実体形成に対する栄養環境の影響，農化誌，42，260，1968.
- 6) 杉森恒武，大山義郎，大道妙子：担子菌に関する研究。(第1報)担子菌における非炭水化物より菌糸体および子実体の生産，醸工誌，49，435，1971.
- 7) Yutaka Kitamoto, Takao Horikoshi, Noboru Hosoi and Yosio Ichikawa: Nutritional study of fruit-body formation in *Psilocybe Panaeoliformis* Trans. Mycol. Soc. Japan, 16, 268, 1975.
- 8) 大山義郎，吉田敏臣，田口久治：高速度子実体形成きのこの検索と *Schizophyllum commune* の栄養条件。醸工誌，54，131，1976.
- 9) 脇田正二：えのきたけの生化学的研究(第6報)菌糸体無機成分の経時的消長。農化誌，35，579，1961.
- 10) Kermit Cromack Jr, Robert L. Todd and Carl D. Monk: PATTERNS OF BASIDIOMYCETE NUTRIENT ACCUMULATION IN CONIFER AND DECIDUOUS FOREST LITTER, Soil Biol. Biochem., 7, 265, 1975.
- 11) K. A. Vogt and R. L. Edmonds: Patters of nutrient concentration in basidiocarps in western Washington, Can. Jour., Bot. 58, 694, 1980.
- 12) 田島俊雄，幸崎敏之：アミスギタケおよびシイタケにおける菌体カルシウムの分布，岐阜大農研報.，41，141，1984.
- 13) 飯盛和代，秀島百合子：えのき茸の無機成分。西九州大学佐賀短期大学紀要，15，67，1844.
- 14) 菊池正行，玉川勝美，広島紀以子，相原良之，三島靖子，関 敏彦，角田 行：食用きのこの金属濃度に関する調査研究。食衛誌，25，534，1984.
- 15) 数野千恵子，三浦 洋：ヒラタケの成分。日食工誌，32，338，1985.

- 16) 川井英雄, 菅原龍幸, 松沢睦子, 角屋佳代子, 青柳康夫, 細貝祐太郎: 食用キノコの無機質含有量. 日食工誌, 33, 250, 1986.
- 17) 関谷 教: 北大林産学科卒論, p. 37, 1983.
- 18) Laboratory of Plant Nutrition Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture Hokkaido Univ.: Procedures for routine chemical analysis of Plant, p. 1~12.
- 19) 柳田友道編: 微生物科学 3, 学会出版センター, p. 388, 1982.

Summary

The culture media and the fruit body samples were analyzed for the content and concentrations of C, N, K, P, Mg, Na, Ca, Fe, Cu, Zn, and Mn, to elucidate the sort and the amount of necessary elements in fruit body formation.

1. Fluctuations in the quantity of selected elements during fruit body formation in *Pleurotus ostreatus*.

(a) Three patterns of element accumulation in fruit bodies grown on culture media were observed.

(1) In the first type, the amount of an element in grams, the element content increased in conjunction with the dry weight of fruit bodies during fruit body formation. This was true for C, N, K, P, Zn and Cu.

(2) In the second type, the element content did not significantly change from the primordium stage to the stage of the differentiation of the pileus and stipe, but did increase thereafter up to the stage of the mature fruit body. This was true for Mg and Fe.

(3) In the third type, the element content of the primordium and the mature fruit body were high, but during the stages occurring before and after the differentiation of the pileus and stipe the element content was low. This was true for Na, Ca and Mn.

The decrease in element content before and after the differentiation of the pileus and stipe was presumed to be the result of the elements being recycled from the fruit body to the mycellium.

(b) Four patterns of element concentrations (% or ppm) from the primordium stage to the stage of the mature fruit body were observed.

(1) In the first type, element concentrations did not significantly change from the primordium to the mature fruit body stages. This was true for C, P and Cu.

(2) In the second type, the element concentrations during the primordium stage and after the completion of the differentiation of the pileus and stipe were low, but during other stages were high. This was true for N, K and Zn.

(3) In the third type, the element concentrations of the primordium and the premature fruit body were high, but concentrations after the complete differentiation of the pileus and stipe were lowest. This was found in the case of Mg and Fe.

(4) In the fourth type, the high concentrations of elements during the primordium stage decreased, with however, the rate of decrease leveling off to zero after the full differentiation of the pileus and stipe and remaining unchanged in the mature fruit body. This was found to be true for Na, Ca and Mn.

Ca and Mn were found in high concentrations as well as large amounts in the primordium during fruit body formation. It can be surmised that these element play a major role in

primordium formation.

2. Variations in the concentrations of elements in fruit bodies among the three species.

In the same culture medium, Cu concentrations among the three species showed significantly greater differences when compared to those of other elements. Cu in *P. ostreatus* was 3.8 times as high as in *Flammulina velutipes*, and was 2.4 times as high as in *P. cornucopiae*.

3. Variations in the concentrations of elements in distinct parts (pileus and stipe).

Generally element concentrations were higher in the pileus than in the stipe. Especially, with respect to N, Zn, P and Fe, the ratio of pileus versus stipe concentrations was high.

4. Comparison of element content and concentrations between fruit bodies and culture media.

The ratio of fruit body to culture medium element content $[(\text{grams in fruit body}) \div (\text{grams in culture medium}) \times 100]$ differed depending on the element. For N, K and Cu the ratios were 10~30%, for Zn 4-20%, and for the others less than 10%.

With respect to concentrations between the culture media and fruit bodies, 1.5~5.6 times more N, 2.3~5.2 times more K, 1.3~2.9 times more Zn, and 2.1~6.4 times Cu occurred in fruit bodies than in the culture media. The other elements in the culture media were higher than in fruit bodies.

5. The relationship between the first and second-cultivated fruit bodies and the culture media.

The weight of the second-cultivated fruit body was 48% of that of the first-cultivated fruit body, and the second-cultivated fruit body was abnormal.

Comparing the element concentrations of the first-cultivated fruit body with the second, Cu and Fe levels were especially different. It was found that concentrations of Cu and N decreased in the culture medium after the cultivation of the first fruit body.