

ナメコ菌床栽培における子実体の生育ステージと子実体成分との関係

高島 幸司*1・加藤 肇一*2・鍋島裕佳子*3・甲 知美*4

Effects of growth stage on constituents in fruit-body, *Pholiota nameko*
cultivated on sawdust substrate

Koji TAKABATAKE*1, Tadahito KATOH*2,
Yukako NABEJIMA*3, Tomomi KABUTO*4

ナメコ菌床栽培において子実体の生育ステージとその栄養成分との関係を検討した。生育ステージの進展に伴い子実体のキチン含有量、遊離アミノ酸総量、遊離糖・糖アルコール総量、有機酸総量は増加し、5'-ヌクレオチド含有量は減少した。総食物繊維量は生育ステージの影響を受けなかった。これらのことから、ナメコ菌床栽培における子実体の栄養成分に関して、子実体の生育ステージに応じて栄養成分の含有量が異なることが明らかになった。

1. はじめに

我が国においてナメコ (*Pholiota nameko*) は、主要な栽培きのこの一つであり、その生産量は1986年に2万トンを超え、1997年以降2010年まで2万4千トン~2万7千トンで推移した(1)。生産単価は1975年ではkg当たり762円であったが、2009年では388円まで低下し(1)、単価の下落傾向が長期にわたって継続していることから、新たな需要開拓が望まれている(2)。

ナメコが生産量が伸び悩み、生産単価が低迷している要因として調理方法が汁物、鍋物等に限定、特化していることが考えられる。また、ナメコの出荷規格は傘の径が10mm以上28mm未満、傘の膜が切れていないものがA級品として取り扱われ、傘の膜が切れたもの、傘の径が28mm以上のものは規格外品とされている(3)。一方、原木栽培されたナメコは傘の径が大きく、傘の膜が切れたものが多いので、前述の出荷規格に関係なく店頭にならべられ、野生ナメコに形態が類似していることから消費者に根強い人気があり、高値で販売されている。このような状況下で、炒め物、揚げ物に対応できる新たなナメコとして傘の開いた大粒のナメコが栽培され、販売が試みられている(4)。

きのこの主要成分には食物繊維、キチン、遊離アミノ酸、遊離糖・糖アルコール、有機酸等がある。食物繊維、キチンは抗便秘作用、血清コレステロール低下作用等、多くの機能性を有

し、遊離アミノ酸、遊離糖・糖アルコール、有機酸、5'-ヌクレオチドはきのこの嗜好性、呈味性に影響する(5)。我々は、菌床栽培のヤマブシタケの場合、子実体の生育ステージに応じて機能性成分、栄養成分の含有量が異なることを報告した(6, 7)。このことからナメコ菌床栽培においても生育ステージにより栄養成分の含有量が異なることが予想される。

また、規格外品である傘の開いた開傘ナメコの栄養成分に有用な特徴が明らかになれば、これまでの菌床ナメコと異なる栽培ナメコとして新たな需要開拓に繋がる可能性がある。

そこで本研究では、ナメコ菌床栽培において、傘の開いた状態を含む子実体の生育ステージ毎に子実体成分を測定して、子実体の生育ステージと子実体の栄養成分、呈味成分との関係を検討した。

2. 材料および方法

2.1 ナメコ菌床栽培

供試菌は市販ナメコ種菌(株)キノックスN002号を用いた。

広葉樹オガコ(砺波市 中村商会製)とフスマ(小矢部市 沼田製粉製)を気乾重量比で7:3に混合し、含水率を65%(湿量基準)に調整して供試培地とした。1,400ml ポリプロピレン製栽培ビンに供試培地を880g詰め、118℃・1.2気圧の条件で45分間、高圧滅菌処理をした。放

*1: 森林研究所, *2: 食品研究所, *3: 企画管理部, *4: 富山県農林水産部農業技術課

冷後、供試菌を約10g接種した。接種後、20℃、相対湿度70%にて30日間、前期培養を行い、さらに22℃、相対湿度70%にて30日間、後期培養を行った。培養終了後、菌掻き、注水処理（室温にて3時間）を行い、芽出し操作（18℃、相対湿度90%以上、照度300lux、10日間）で子実体原基を発芽させ、発生室（16～18℃、相対湿度90%以上、照度300lux）にて子実体の生育を促した。

子実体の生育ステージをJA全農長野の規格（3）に準拠して4期に区分して収穫した（図-1）。各生育ステージは、ステージ1（S-1）：子実体の傘径が18mm以下で規格Sに相当、ステージ2（S-2）：子実体の傘径が18～28mmで規格M、Lに相当、ステージ3（S-3）：子実体の傘径が28～35mmで、傘の菌膜が破れ始めたもので、規格外に相当、ステージ4（S-4）：子実体の傘径が35mm以上で、傘の菌膜は完全に破れ、傘が完全に開ききったものとした。培養基を発生室に移してS-1：9日後、S-2：10日後、S-3：12日後、S-4：15日後に子実体を収穫した。

2.2 子実体成分の測定

供試子実体を凍結乾燥して粉碎機で粉末にし、30メッシュ以下に粒径調整して試料とした。試料は分析に供するまで5℃にて保存した。

総食物繊維量は五訂日本食品標準成分表分析マニュアル（8）に準拠してプロスキー変法Iで測定し、倉沢ら（9）の方法によりキチン含有量を補正した。

遊離アミノ酸は、佐藤ら（10）、山田ら（11）の方法に準拠して行った。試料0.5gに70%エタノール溶液50mlを加え、1時間加熱還流後、濾過し、濾液を得た。さらに2回同様の方法で30分間抽出し、濾液を合わせて40℃で減圧濃縮後、0.02N-HClで50mlに定容して高速アミノ酸分析計（日立L-8500A）を用い、生体液分析法により非タンパク性アミノ酸10種類を含む遊離アミノ酸29種類を定量した。

遊離糖・糖アルコール及び有機酸は吉田ら（12）、村椿ら（13）の方法に準拠して行った。試料0.5gに80%エタノール溶液50mlを加え、1時間加熱還流後、濾過し、濾液を得た。さらに2回同様の方法で30分間抽出し、濾液を合わせて40℃で減圧濃縮してエタノールを除去し、蒸留水で50mlに定容した。抽出液のうち20mlをDowex 50W-X（H⁺、100～200メッシュ、2.2×5.0cm）とDowex WGR（OH⁻、20～50メッシュ、2.2×5.0cm）の接続カラムに通し、次いで100mlの蒸留水を通して非吸着透過液を減圧濃縮し、蒸留水で10mlに定容してHPLC（装置：Gilson Model 1302、カラム：資生堂 CAPCELLPAK NH₂、温度35℃、検出器：島津製作所 RID-10A）で遊離糖・糖アルコールを定量した。有機酸は80%エタノールで抽出し、エタノールを除去して50mlに定容した抽出液4mlに10%過塩素酸1mlを加えて除蛋白処理をした後、0.2N-HClで50mlに定容して有機酸分析計（有機酸分析システム 島津LC-VP）で定量した。

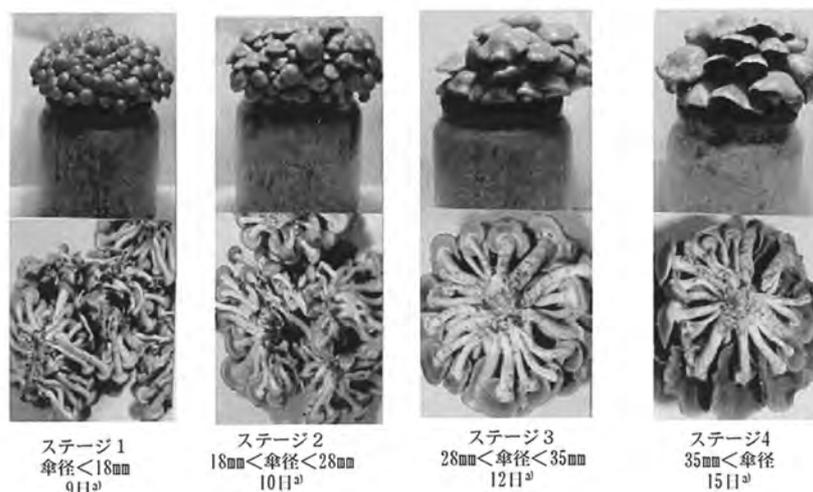


図-1 収穫区分したナメコ子実体の生育ステージ

a):培養基を注水処理した後、発生室に移し、子実体を収穫するまでの日数を示す。

5'-ヌクレオチドの測定は山田ら (11) , 奥崎ら (14) の方法に準拠して行った。試料約0.5gに冷5%PCA溶液30mlを加え冷却しながらホモ

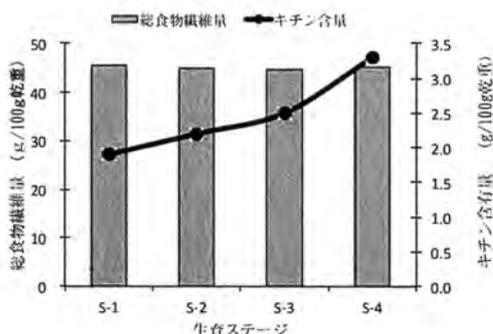


図-2 ナメコ子実体の総食物繊維量, キチン含量に及ぼす生育ステージの影響

ジナイズし, 0℃, 15,000rpmで10分間遠心処理して上澄み液を得た。残渣はさらに2回抽出を繰り返す, 全ての上澄み液を合わせて抽出液とした。抽出液のpHを2.2に調整したした後, 活性炭カラム (2.2×5.0cm) に通して吸着させ, 蒸留水で洗浄後, 14%アンモニア含有50%エタノール溶液で溶出する画分を濃縮乾固し, 高速液体クロマトグラフィー (HPLC) の溶出液で10mlに定容し, HPLC分析に供した。分析には, 東ソーHPLCシステムUV検出器 (UV-8020, 260nm) を用い, カラムはGL Science Inertsil ODS-2, 溶出液は5mM臭化テトラ-n-ブチルアンモニウムリン酸緩衝液, 流速0.8ml/min, カラム温度15℃で測定した。

表-1 ナメコ子実体の遊離アミノ酸含量に及ぼす生育ステージの影響 (mg/100g乾重)

	生育ステージ			
	S-1	S-2	S-3	S-4
Asp	69.7	55.3	31.8	53.3
Thr	43.8	37.4	38.5	46.4
Ser	60.8	57.1	60.3	69.6
Asn	67.2	52.3	49.5	82.0
Glu	293.9	259.1	261.8	350.9
Gln	254.6	198.9	178.8	391.1
Pro	76.6	66.7	76.6	89.7
Gly	47.6	38.1	31.4	30.1
Ala	318.8	294.1	294.2	274.8
Val	24.4	27.9	38.8	43.2
Cys	67.5	67.0	62.0	31.3
Met	7.1	3.9	4.0	4.5
Ile	43.7	23.8	25.1	28.2
Leu	10.6	52.6	61.4	72.2
Tyr	12.0	10.1	13.7	12.0
Phe	29.6	31.5	38.2	41.7
His	72.7	81.4	101.6	108.3
Arg	168.4	201.3	268.8	321.3
Lys	81.3	67.4	142.7	104.6
α-AAA	32.2	42.5	40.7	61.3
α-ABA	3.3	2.2	11.6	10.7
Cysthi	15.4	2.2	3.2	4.0
β-Ala	7.4	4.1	6.3	6.9
β-AiBA	3.8	9.3	11.0	10.1
γ-ABA	9.1	5.7	8.3	8.5
Orn	203.3	245.6	326.7	370.5
Sar	9.1	15.1	13.3	6.5
Cit	5.2	5.6	4.7	7.3
1Mehis	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
合計	2,038.7	1,958.0	2,204.5	2,640.6

N. D. : not detected, α-AAA: α-Aminoadipic acid, α-ABA: α-Amino-n-butyrac acid, Cysthi: Cystathionine, β-Ala: β-Alanine, β-AiBA: β-Aminobutyric acid, γ-ABA: γ-Aminobutyric acid, Orn: Ornithine, Sar: Sarcosine, Cit: citrulline, 1Mehis: 1-Methylhistidine

3. 結果

3.1 総食物繊維量, キチン

総食物繊維量, キチン含有量の結果を図-2に示す。総食物繊維量に関して, 全ての生育ステージを通して100g乾重量当たり44.6~45.5gとなり, 生育ステージ間での相違は認められなかった。

キチン含有量に関して, 100g乾重量当たりS-1:1.9g, S-2:2.2g, S-3:2.5g, S-4:3.3gとなり, 生育ステージの進展に伴いキチン含有量は増加した。

3.2 遊離アミノ酸

遊離アミノ酸含有量の結果を表-1に示す。いずれの生育ステージにおいてもグルタミン, グルタミン酸, アラニン, オルニチン, アルギニン, リジン, ヒスチジンの7種類で総量の68~73%と, 約7割を占め, 遊離アミノ酸の主要構成成分とその構成割合は, 生育ステージに関わらず一定傾向を示した。遊離アミノ酸総量は, S-1, S-2では同程度で推移し, S-3, S-4にかけて増加した。

個別の遊離アミノ酸量と生育ステージとの関係において4つのパターンが認められた。即ち, 1) S-1からS-3にかけて減少し, S-4において著しく増加するタイプ(グルタミン酸, グルタ

ミン), 2) S-1からS-2にかけて減少し, S-3でピークとなり, S-4でやや減少するタイプ(リジン, α -アミノ酪酸), 3) ステージが進展するに伴い含有量が減少するタイプ(アラニン, グリシン), 4) ステージが進展するに伴い含有量が増加するタイプ(オルニチン, アルギニン)が認められた。

3.3 遊離糖, 遊離糖アルコール

遊離糖, 遊離糖アルコールの含有量の結果を表-2に示す。総含有量は100g乾重量当たり, S-1:21.6g, S-2:24.1g, S-3:25.5g, S-4:26.3gとなり, 生育ステージの進展に伴って増加する傾向を示した。構成成分はいずれのステージにおいてもトレハロースが最も多く, 全体の89~92%と約9割を占めた。トレハロースはステージの進展に伴い増加する傾向を示し, トレハロースの増加が総量の増加に反映された。マンニトールは, 1.8~2.0gで推移した。アラビニトールは, 0.6~0.7gと微量でS-1, S-2で認められた。

3.4 有機酸

有機酸含有量の結果を表-3に示す。総有機酸量は100g乾重量当たり, S-1:2,600mg, S-2:2,800mg, S-3:3,000mg, S-4:3,600mgとなり, 子実体の生育ステージの進展に伴い増加した。

表-2 ナメコ子実体の遊離糖・糖アルコール含有量に及ぼす生育ステージの影響 (g/100g乾重)

子実体生育ステージ	アラビニトール	マンニトール	トレハロース	総量
S-1	0.6	1.8	19.2	21.6
S-2	0.7	1.9	21.5	24.1
S-3	0.0	2.0	23.5	25.5
S-4	0.0	2.0	24.3	26.3

表-3 ナメコ子実体の有機酸含有量に及ぼす生育ステージの影響 (mg/100g乾重)

子実体生育ステージ	酢酸	乳酸	コハク酸	フマル酸	リンゴ酸	ピロギロ酸	クエン酸	総有機酸量
S-1	21	209	91	251	1119	239	716	2,646
S-2	14	165	75	328	1417	228	567	2,794
S-3	11	209	93	395	1712	143	395	2,958
S-4	29	131	78	615	2161	383	209	3,606

表-4 ナメコ子実体のヌクレオチド含有量に及ぼす生育ステージの影響 (mg/100g乾重)

子実体生育ステージ	5'-CMP	5'-UMP	5'-AMP	5'-GMP	Total
S-1	110.3	19.6	27.8	11.4	169.1
S-2	49.5	19.2	29.2	4.7	102.6
S-3	68.8	3.9	26.5	5.3	104.5
S-4	15.4	1.2	26.9	5.8	49.3

いずれの生育ステージにおいてもリンゴ酸が最も多くなった。クエン酸とフマル酸に関して、S-1, S-2ではクエン酸がフマル酸より多くなり、リンゴ酸含有量に次いでクエン酸含有量が多くなった。S-3ではクエン酸含有量とフマル酸含有量が同量となり、S-4ではフマル酸含有量がクエン酸含有量より多くなった。リンゴ酸、クエン酸、フマル酸の3種類で79%~83%、ピログルタミン酸、乳酸を含めた5種類で96~97%占めた。有機酸の主要構成成分とその構成割合は生育ステージに関わりなく一定の傾向を示した。

生育ステージの進展に伴いクエン酸が減少し、リンゴ酸、フマル酸が増加する傾向を示し、リンゴ酸、フマル酸の増加が有機酸総量の増加に反映された。

3.5 5'-ヌクレオチド

5'-ヌクレオチド含有量の結果を表-4に示す。検出された5'-ヌクレオチドは、5'-CMP, 5'-AMP, 5'-UMP, 5'-GMPであり、それらの総量は169~49mg/100g乾重で生育ステージの進展に伴い著しく減少した。5'-CMPが生育ステージの進展に伴い著しく減少し、5'-ヌクレオチド総量の減少に反映した。

4 考察

ナメコ菌床栽培において、規格外の開傘ナメコの子実体成分に有用な栄養成分があるかどうかを明らかにするために、子実体の生育ステージの進展に伴う機能性、呈味性に関連する子実体成分の変化を検討した。

シイタケでは子実体の発育に伴って子実体中のキチンが増加し、子実体形成へのキチンの関与が指摘されている(15)。本研究においてもS-1からS-4にかけて子実体の発育に伴ってキチン含有量が増加したと考えられ、シイタケ、ヤマブシタケと同様の傾向を示した(7,15)。

このことから、ナメコの子実体形成にもキチンの関与が考えられる。

遊離アミノ酸に関して、S-1からS-4まで、生育ステージに関わりなくタンパク性アミノ酸ではグルタミン、グルタミン酸、アラニン、リジン、アルギニンの含有率が高く、非タンパク性アミノ酸ではオルニチンの含有率が高かった。この様な傾向は、113種類のキノコの遊離アミノ酸組成を分析し、アラニン、グルタミン酸、グルタミンが主成分としてキノコ類に広く認められ、非タンパク性アミノ酸ではオルニチンが高含有率を示すとする佐藤らの報告(10)と符合した。遊離アミノ酸総量は生育ステージの進展に伴い増加する傾向を示した。このことは、ヤマブシタケ(7)と異なって、ナメコ子実体では生育ステージの進展に伴い遊離アミノ酸の蓄積が必要とされていることを示唆している。

吉田ら(1216)は、45種の野生きのこの遊離糖・糖アルコールを定量し、総量の8割以上が1~3種類の遊離糖・糖アルコールで構成されていることを報告した。ヤマブシタケでは菌株、栄養材の栽培条件に関わりなくアラビニトール、トレハロースが遊離糖・糖アルコールの主要構成成分となり(17)、アラビニトール、マンニトール、トレハロースは、生育ステージに関わりなく、遊離糖・糖アルコールの主要構成成分であった(7)。エノキタケの遊離糖・糖アルコールの主要構成成分はアラビニトール、マンニトール、トレハロースであったと報告されている(18)。また、アラビニトール、マンニトール、トレハロースは栄養菌糸体から子実体への転流炭水化物であり(19)、アラビニトールは子実体でほとんど代謝されないため蓄積されることが報告されている(20, 21)。ナメコにおいてもトレハロースが生育ステージに関係なく主要構成成分となり約9割を占めた。また、トレハロース、マンニトールが栄養菌糸体から子実体への転流炭水化物として機能しており、

主としてトレハロースが担っていると推察される。そして、S-1, S-2では微量のアラビニトールを検出したが、S-3, S-4では検出しなかったことから、アラビニトールを子実体で代謝している可能性がある。

キノコ類の総有機酸量の8割以上が2~3種類の有機酸で構成されていることが報告されている(10)。本研究においても主要な有機酸としてリンゴ酸, クエン酸, フマル酸が認められ, 各生育ステージを通じて, これらの成分で全有機酸量の約8割を占めた。ヤマブシタケにおいて, リンゴ酸は菌株, 栄養材の栽培条件の影響を受けずに有機酸の主要成分になっており(17), 生育ステージの進展に伴って増加し, 子実体に蓄積される傾向を示した(7)。本研究では, ナメコにおいて生育ステージの進展に伴ってリンゴ酸に加え, フマル酸が増加し, クエン酸が減少する傾向を示した。このことはクエン酸からフマル酸, リンゴ酸へと経過するTCA回路と関連し, 子実体の成熟過程で呼吸代謝が活発になることを示唆している。

5'-ヌクレオチドに関して, 5'-CMPが生育ステージに伴って減少し, 特にS-3からS-4にかけて顕著に減少した。含有量の変化としては大きくはないが, 減少割合としては5'-UMPも5'-CMPと同様に顕著に減少した。5'-CMP, 5'-UMPの減少は子実体の生育過程, 胞子形成に伴う代謝と密接に関連していることが予想される。

ナメコ子実体の栄養成分は, 生育ステージが進展するにつれてキチン, 遊離アミノ酸, 遊離糖・糖アルコール, 有機酸の含有量は高くなり, 5'-ヌクレオチド含有量は少なくなった。また, 総食物繊維量は生育ステージの影響を受けなかった。これらのことから, ナメコ菌床栽培における子実体の栄養成分は, 生育ステージに応じて栄養成分の含有量が異なることが明らかになった。さらに規格外の開傘ナメコは, 呈味性, 機能性の観点からも特異性を有していることから, それらの特性を活かした調理, 加工を行うことにより新たな商品開発や需要に繋がるのが期待される。

引用文献

- 1) 林野庁経営課特用林産企画班 (2010) 特用林産物需給動態調査, 平成21年主要特用林産基礎資料。
- 2) 江口文陽ら (2002) ナメコの消費拡大と生産・経営の安定化に向けて, 特産情報 24 (1) : 8-14.
- 3) 増野和彦 (1994) ナメコ, きのこと栽培指標, 長野県 pp.120-144.
- 4) 江口文陽らナメコの消費拡大と生産・経営の安定化に向けて②, 特産情報 24 (2) : 20-22.
- 5) 吉田 博, 青柳康夫, 広井 勝, 川井英雄, 菅原龍幸, 横川洋子, 南出隆久 (1997) キノコの食品科学, キノコの科学 (菅原龍幸編), 朝倉書店, 東京, pp.51—142.
- 6) 高島幸司 (2005) ヤマブシタケの子実体生育に伴う数種生理的機能性の変化, 富山林技セ研報 18 : 16-22.
- 7) 高島幸司・加藤肇一・甲 知美 (2010) ヤマブシタケ菌床栽培における子実体の生育ステージと栄養成分との関係, 富山森林研報 3 : 8-13.
- 8) 科学技術庁資源調査会 (1997) 五訂日本食品標準成分表分析マニュアル, 科学技術庁資源調査会食品成分部会編, 大蔵省, 東京, pp.13-38.
- 9) 倉沢新一, 菅原龍幸, 林 淳三 (1991) 窒素含有多糖類 (キチン) を含むキノコ類中の酵素-重量法による食物繊維の定量-, 日本栄養・食糧学会誌 44 : 293-303.
- 10) 佐藤恵理, 青柳康夫, 菅原龍幸 (1985) キノコ類の遊離アミノ酸組成, 日食工誌 32 : 502-521.
- 11) 山田佳子, 佐々木弘子, 菅原龍幸 (1998) マイタケ (*Glifora frondosa*) 嗜好性に関する研究-各種嗜好成分の分析-, 日本食生活学会誌9 : 58-66.
- 12) 吉田 博, 菅原龍幸, 林 淳三 (1982) 食用キノコ類の遊離糖, 遊離糖アルコールおよび有機酸, 日食工誌 29 : 451-459.
- 13) 村椿孝行, 佐山晃司, 佐藤吉朗 (1986) マイタケ(*Grifola frondosa*)の子実体形成における成分変化, 日食工誌 33 : 181-185.
- 14) 奥崎政美・根岸由紀子・佐々木弘子・菅原龍幸 (1999) 日本および外国産マツタケの栄養成分と呈味成分の含有量について, 日本食生活学会誌 10 : 43-49.
- 15) 吉田 博, 菅原龍幸, 林 淳三 (1987) シ

- イタケの菌糸体ならびに子実体の発育過程における炭水化物および有機酸の変化, 日食工誌34: 274-281.
- 16) 吉田 博, 菅原龍幸, 林 淳三 (1984) キノコ類の遊離糖および遊離糖アルコール, 日食工誌31: 765-771.
- 17) 高島幸司・奥崎政美・根岸由紀子・佐々木弘子・菅原龍幸 (2001) ヤマブシタケ菌床栽培における子実体成分に及ぼす菌株・栄養剤の影響, 日本食生活学会誌 11: 370-374.
- 18) 高島幸司, 鍋島裕佳子, 加藤肇一 (2003) エノキタケ菌床栽培における子実体収量, 子実体成分に及ぼす菌床の影響, 日本応用きのこ学会誌11: 71-78.
- 19) Kitamoto, Y., Gruen, H.E. (1976) Distribution of cellular carbohydrates during development of the mycelium and fruitbodies of *Flammulina velutipes*, Plant Physiol., 58: 485-491.
- 20) Kitamoto, Y., Kikuchi, A., Mori, N., Ohga, S. (2000) Polyol metabolism in the mycelium and fruit-bodies during development of *Flammulina velutipes*, Mycoscience, 41: 461-465.
- 21) Kitamoto, Y., Kobayashi, A., Mori, N., Ohga, S. (2001) Metabolic function of glycogen phosphorylase and trehalose phosphorylase in fruit-body formation of *Flammulina velutipes*, Mycoscience, 42: 143-147

Summary

Relationships between growth stage and nutritional constituents in fruit-body, *Pholiota nameko*, cultivated on sawdust-based cultivation were investigated. Content of chitin, total free amino acid, total free sugar and free sugaralchol and total organic acid increased with the development of growth stage. On the other hand, content of total 5'-nuceotide decreased. Content of total dietary fiber was not influenced by the growth stage. These results suggested that nutritional constituents of fruit-body indicated remarkable differences among growth stages on sawdust based cultivation of *P.nameko*