

ナメコの鮮度劣化現象とその原因

三 浦 進

要旨：根切り袋詰めナメコの鮮度劣化現象を観察し、その原因を考察した。ナメコは袋内で活発に呼吸を行い、蓄積養分の減少、水や二酸化炭素の発生が起り、鮮度が劣化していくものと思われた。付着微生物による、発酵や腐敗の影響は軽微だった。保存温度10℃での品質保持日数は5~7日間であり、保存温度が低下する程、品質保持日数は長かった。

1 緒 言

1999年に石川県内の市場に出荷されたナメコの総量は約326 tであった。県内のナメコ生産施設は、県内消費量をまかなう生産能力を擁するが、県内産のシェアは72.5%に留まった。近年価格競争力に勝る他県産ナメコの入荷量が増加し、卸売価格の低下を招いている。背景として県内産ナメコのロットが小規模であることや、生産施設間で日持ちに差があることが、指摘されている。そこで生産施設間の品質の平準化と、品質向上をはかり、共販体制を強化することを目的に、鮮度保持対策の検討を開始した。

収穫したきのこの品質の劣化は、子実体の形態変化やしなび、変色、香りの変化などとして認識される。きのこは乾燥しやすく呼吸が活発である¹⁾ため、低温貯蔵あるいは密閉貯蔵が品質保持に有効であることが明らかとなっており、既に多くのきのこで実践されている。また富樫ら²⁾はマイタケ子実体の呼吸に由来する、自己消化水に着目して鮮度劣化現象を調べ、貯蔵温度が高いほど自己消化水の生成が多く、また包装資材のガス透過性の違いが、自己消化水の生成に影響を与えていることを明らかにした。

このようにきのこの鮮度を保持するには、呼吸を抑制することが重要である。しかし収穫後のきのこの鮮度劣化を引き起こす原因には、呼吸の他に褐変や、付着微生物による腐敗や発酵が考えられる。特に根切り、水洗処理を行い密封する袋詰めナメコでは、微生物の増殖が起りやすい。そこで今回、袋詰めナメコで生じる鮮度劣化現象の主因と、県内生産施設間の日持ち性の差異を明らかにするために、ナメコ子実体の保存試験を行った。

2 方 法

2. 1 供試試料

石川県内のナメコ生産施設6箇所では1999年11月に生産された、根切り水洗処理の100 g 袋詰めS寸ナメコ(試料A, B, C, D, E, Fとする)を用いた。包装資材は厚さ40 μ mで、ポリエチレンとポリプロピレンの3層構造である。袋詰めは実験開始当日に行われた。なお試料により種菌や培養条件は異なる。

2. 2 子実体の物理的性質

子実体の比重と含水率を、保存試験開始前に測定した。なおナメコ表面のぬめりは、液滴として直ちに自然落下するもののみ除去した。比重は浮力法により、次式から求めた。比重 $r = w \cdot \rho_h / (w - w')$ ここで w : ナメコ質量、 ρ_h : 20℃での水の密度、 w' : 水中でのナメコ質量。含水率は105℃の加熱乾燥法で次式より求めた。

$$\text{含水率 } u (\%) = (W_u - W_o) / W_u \times 100$$

W_u : 生重量 W_o : 全乾重量

2. 3 子実体の保存試験

6施設で生産された袋詰めナメコ子実体をそれぞれ1袋ずつ、5℃、10℃、15℃、20℃の暗所に10日間放置し、子実体形状の変化を目視により毎日観察すると共に、重量変化を測定した。菌傘の色は標準土色帳³⁾の色見本を基準に評価した。また子実体の品質保持日数は、鮮度劣化による子実体形状の変化が現れた日の前日までとした。

2. 4 子実体の微生物量

保存試験の開始前と終了時に、子実体表面に付着している微生物の量を測定した。10 gの子実体を50mlの滅菌水入りの200ml三角フラスコに入れ、140rpmで5分間震とうし、けん濁液を 10^{-1}

~10⁻⁴倍に希釈し、各0.1mlをLennox培地（トリプトン10%、酵母エキス5%、NaCl5%、グルコース1%、pH7.2、シクロヘキシミド60mg/l）と麦芽エキス培地（麦芽エキス20%、ペプトン1%、グルコース20%、寒天20%、pH5.6、ストレプトマイシン50mg/l）に塗抹し28℃で3日間培養し、出現したコロニーの数から、ナメコ子実体1g生重量当たりの微生物量を求めた。

2.5 二酸化炭素濃度の測定

子実体の保存試験に際し、15℃区の試料の袋内の二酸化炭素（CO₂）濃度をガスクロマトグラフィーで測定した。分析条件は、装置：島津GC14B、カラム：Unibeads C 60/80（3φ×2mSUS）、検出器：TCD、キャリアーガス：He、カラム温度：170℃5分間保持後、毎分20℃で200℃まで昇温、検出器温度230℃、注入口温度170℃とした。

3 結果と考察

3.1 供試材料の物理的性質と外部形態

県内6箇所の生産施設から収集したナメコは種菌や培養条件が異なるが、含水率は92.3%~95.2%で、違いはわずかであった（表1）。比重は試料Cが0.74と小さい値を示したが、それ以外の試料は0.82~0.86であった（表1）。なお林業試験場のスギ林内で得られた原木栽培のナメコ子実体は含水率95.9%、比重0.95であった。四訂日本食品標準成分表によるとナメコの水分は96.0%と示されており、今回の結果と近似していることから、栽培条件や品種が異なっても子実体の含水率に大きな変化は無いと考えられる。

一方比重は一部の菌床栽培ナメコで小さく、原木栽培ナメコで大きかった。比重の小さかった試料Cは、種菌が子実体発生温度の高い超早生品種であり、一方子実体発生時の温度変化の大きい、自然栽培のナメコで比重が大きかったことから、子実体発生時の温度すなわち子実体生長速度の長短が、比重に影響したと推察される。

試料の外部形状の違いで明らかな差異が認めら

表1 試料の物理的性質

	試料名						
	A	B	C	D	E	F	L
u (含水率)	93.9	92.3	92.4	93.8	94.5	95.2	95.9
r (比重)	0.84	0.83	0.74	0.85	0.82	0.86	0.95

注) 試料L：原木ナメコ

れたのは、菌傘の色だった。標準土色帳で黄2.5Y7/8に相当する黄色から明褐7.5YR5/8の褐色まで、色相の違いが観察された（図1）。キノコの菌傘の色は光条件で変化する⁴⁾が、今回の色相の違いも発生室の光環境を反映したものと考えられる。

3.2 外部形態の経時変化

袋詰めの子実体を5℃、10℃、15℃、20℃の各区に放置し経時変化を観察した。

20℃区では4日目に変化が現れた（図2）。6試料のうち3試料（A, D, E）でガスが発生し袋が膨張を始めた。その後3試料は5日目には袋内に水が発生し、子実体が軟弱化した。また6日目にはその内の2試料（D, E）で傘色の明度、彩度が低下し、褐7.5YR4/6相当の褐変が見られた（図3）。残りの試料Aでは以降も褐変は見られなかった。また試料Cは4日目に褐変し、その後ガスの発生と子実体の軟弱化が起きた。試料Bと試料Fは、6日目に子実体の軟弱化が見られ、試料Bは7日目に褐変が発生したが、試料Fは褐変しなかった。この結果ナメコ子実体の20℃区での品質保持日数は4試料（A, B, C, D, E）が3日間、2試料（B, F）が5日間だった。

15℃区では（図4）5日目に試料A, D, Eで子実体の軟弱化が、試料Cで褐変が見られ、7日目に水が発生し子実体が軟弱化した。20℃区で保存日数が5日間だった試料Bと試料Fはそれぞれ6日目と7日目に柄の水浸状化と子実体の肥大化が見られた（図5）が、軟弱化や褐変は試験期間中発生しなかった。従って15℃区での品質保持日数は4試料（A, C, D, E）が4日間、試料Bが

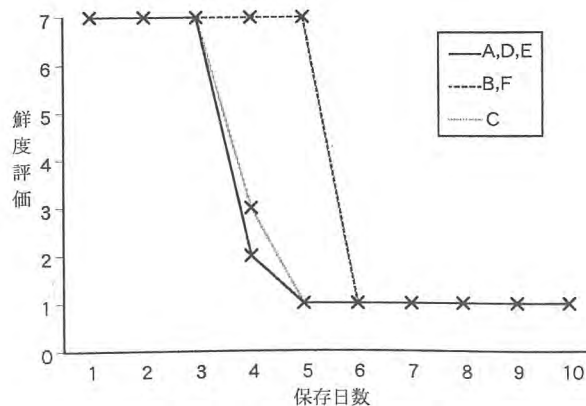


図2 20℃区の鮮度変化

鮮度評価 7：劣化無し 6：水浸状 5：肥大化
4：開傘 3：褐変 2：ガス発生
1：軟弱化

5日間、試料Fが6日間であった。

10℃区では(図6)6日目に試料Dで開傘が発生し(図7)、試料Eでガスの発生による袋の膨張と褐変が発生し、9日目には水が発生し子実体が軟弱化した。7日目に試料Cで柄の水浸状化や子実体の褐変が、試料Fで柄の水浸状化と開傘が起った。8日目に試料Aで柄の水浸状化、試料Bでガスの発生による袋の膨張が見られた。10℃区

の品質保持日数は、試料Eと試料Dが5日間、試料Cと試料Fが6日間、試料Bと試料Aが7日間であった。

5℃区では(図8)試料Fが7日目に柄の水浸状化と開傘し、8日目に試料Aで柄の水浸状化、9日目に試料Dで開傘、試料Eで子実体の肥大化が見られた。他の2試料に変化は認められなかった。



図1 保存1日目の試料



図5 柄の水浸状化と子実体の肥大化を呈した試料F



図3 軟弱化・褐変を呈した試料E



図7 開傘した試料D

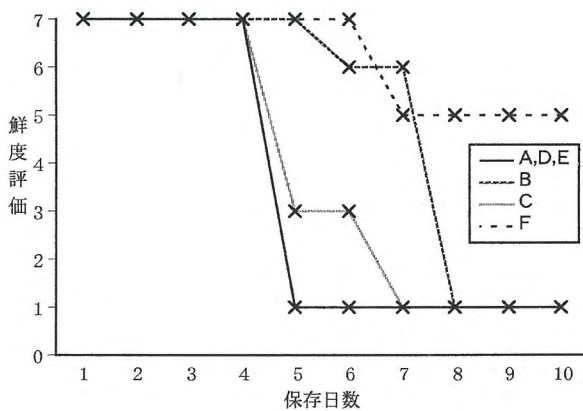


図4 15℃区の鮮度変化
鮮度評価は図2と同様

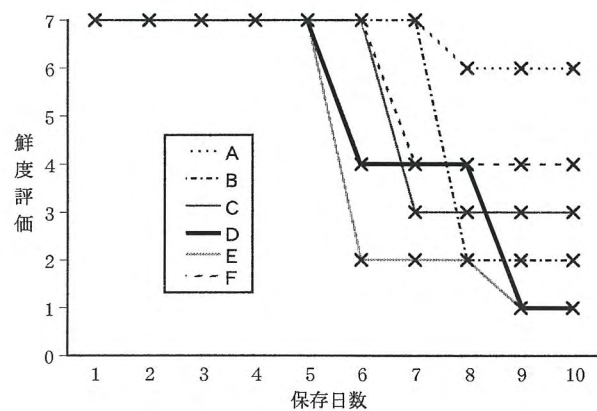


図6 10℃区の鮮度変化
鮮度評価は図2と同様

各温度区の結果から、袋詰めナメコ子実体の鮮度劣化現象は、第1段階として柄の水浸状化や子実体の肥大化、開傘がみられ、第2段階として褐変やガスの発生による袋の膨張、第3段階が水の発生に伴う子実体の軟弱化と経時的に変化していく(図9)ことが判明した。菌傘の褐変は、第3段階の子実体の軟弱化の後に発生したり、あるいは全く発生しないこともある。時に第1段階の劣化状況を示すナメコが販売されているが、今回の試験では品質保持日数を、第1段階の現象が現れた日の前日までとした。

20℃区では劣化速度が速く、急激に第3段階に進行するため、第1段階は不明確だった。また5℃区では10日間に現れた劣化現象は、第1段階のみであった。従って10日間に3段階全てが出現したのは、10℃区と15℃区であった。

褐変は保存温度に関わらず、試料に特有の傾向が認められた(図10)。すなわち試料Cは鮮度劣化の初期に褐変が起り、その後子実体の肥大化やガスの発生が起きた。また試料DとEは子実体の肥大化やガスの発生の後に、褐変が起った。一方試料AやFは10日間褐変は発生しなかった。これらの相違は、褐変の原因であるポリフェノールオキシダーゼ活性⁶⁾の発現量の品種間の差が原因と考えられるが、検討が必要である。

開傘は5℃区と10℃区でしばしば観察された。南出は、ナメコ子実体の開傘は20℃よりも6~10℃のほうが活発である⁵⁾としており、今回の結果と合致した。保存温度が高いと鮮度劣化が急速に進行し、開傘せずに軟弱化が起るが、低温で保存すると劣化の進行が緩慢なため、開傘が起りやすいこともひとつの原因と考えられる。小売店の冷蔵ケースは10℃前後であることが多く、開傘は柄の水浸状化と共に、初期の鮮度劣化を見分ける実用的な指標として有効であろう。

比重が0.74と小さい試料Cは、他の3試料(A, D, E)と各温度区の品質保持日数に差は見られなかった。含水率が等しい場合、比重の差は子実体中の空隙率の違いに起因し、低比重の子実体は菌糸密度が低く、物理的ストレスに弱い。従って低比重は鮮度劣化を促進する要因と成り得るが、今回の結果では比重が品質保持日数に与えた影響は小さかったと考えられる。

今回の結果、石川県内で生産された袋詰めナメコの品質保持日数は、10℃で5~7日間であり、

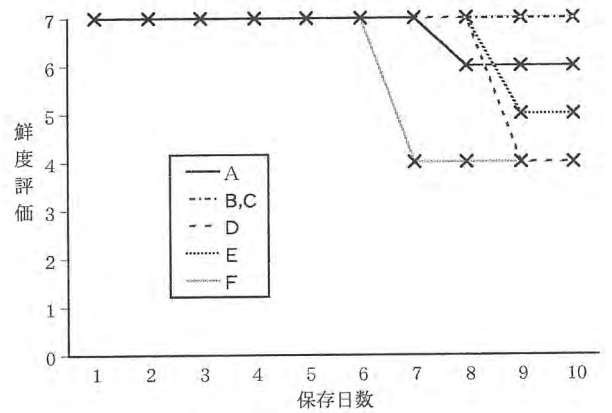


図8 5℃区の鮮度変化
鮮度評価は図2と同様

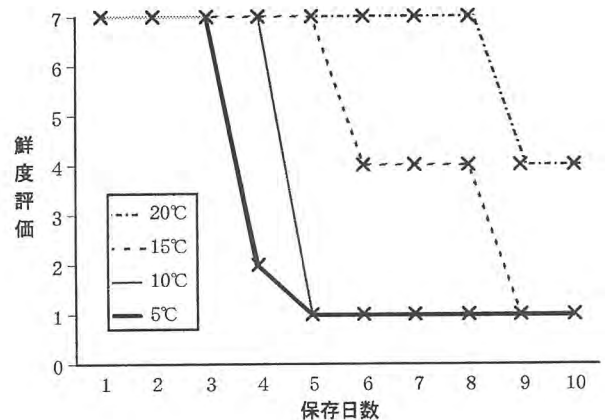


図9 試料Dの鮮度変化

* 7 : 劣化無し 6 : 水浸状 5 : 肥大化
4 : 開傘 3 : 褐変 2 : ガス発生 1 : 軟弱化

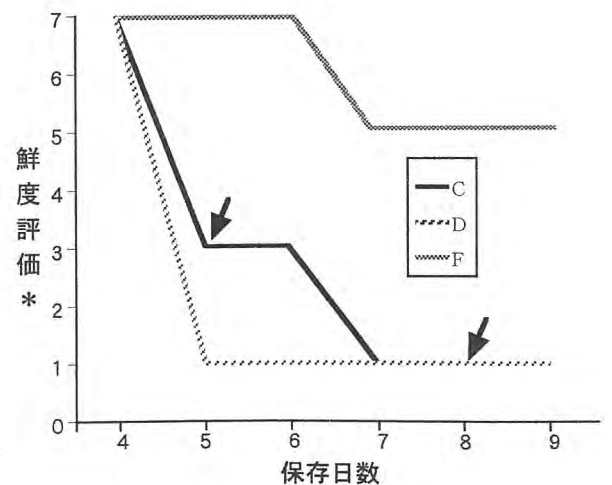


図10 鮮度劣化と褐変の発生時期
保存温度15℃、矢印は褐変の発生時期を示す

* 7 : 劣化無し 6 : 水浸状 5 : 肥大化
4 : 開傘 3 : 褐変 2 : ガス発生 1 : 軟弱化

生産施設による日持ちの差は最大4日間であった(表2)。品質保持日数は保存温度に左右され、氷結点までは温度が低いほど日数が延びるものと思われる。

3.3 微生物量と鮮度劣化

ナメコ生産施設の発生室は温度が一定で湿度が高いため、微生物が繁殖しやすい環境にあり、また収穫後の選別工程で子実体が水に濡れるため、ナメコ子実体は他のきのこよりも微生物汚染を受けやすい状況にある。微生物が大量に繁殖すると、腐敗や発酵が起り異臭の発生や食味の悪化、さらには組織形態の劣化が発生する。そこでナメコ子実体表面の微生物量を測定し、鮮度劣化との関係を調べた。

微生物量測定に際し、麦芽エキス培地上に形成されたコロニーは、顕微鏡観察により多極出芽が確認され、酵母であることを確認した。またLennox培地上に形成されたコロニーは、主に桿状の細菌であることを確認した。なお酵母、細菌ともに同定は行っていない。

6試料のナメコ子実体表面上に付着する酵母の数は、 $5 \times 10^7 \sim 1.3 \times 10^9$ 個/gであった。また細菌数は $2.5 \times 10^6 \sim 1.8 \times 10^8$ 個/gであった。試料間の菌体数の変動は、酵母と細菌で同一の挙動を示し、酵母の数が少ない試料は細菌量も少なかった(表3)。

比較のためにスギ林内で得られた原木栽培のナメコ子実体の菌体数を測定ところ、酵母が $2.5 \times$

10^8 個/g、細菌が 8.5×10^7 個/gであった。ナメコ子実体の微生物量は、栽培施設の発生室と選別工程の汚染状況を反映したと思われる。また今回の試料の微生物量は原木栽培ナメコと大差なく、子実体の微生物汚染は軽微と考えられる。

試料Dの当初の細菌量は 7.5×10^6 個/gであり、10日後に第1段階の鮮度劣化を呈した時に、 3.8×10^8 個/gであった。一方試料Eの当初の細菌量は 7.5×10^6 個/gで、鮮度劣化が第3段階に達した時、 9×10^8 個/gであった。両者の試料とも当初の細菌量は 7.5×10^6 個/gであり、10日後の差もわずかであった。初発の細菌量や菌の増殖率が同程度にもかかわらず、劣化速度が大きく異なったことから、試料Eでのガスの発生や子実体の軟弱化は、微生物活動が主因とは考え難い。 10^8 個程度の細菌量がナメコ子実体の鮮度劣化に及ぼす影響は、小さいものと思われる。しかし子実体が軟弱化して5日間経過後の細菌量は 10^{10} 個/gで、わずかに発酵臭が認められた。従って子実体の微生物量が 10^{10} 個/g程度に成ると、鮮度劣化に及ぼす影響は増大するものと思われ、微生物汚染を低レベルに維持することが重要である。特に夏期は、今回検出された微生物量を上回る可能性があるため、収穫・選別工程での汚染の防止と、低温管理により微生物の増殖を抑制することが求められる。

表2 試料の品質保持日数

保存温度	A	B	C	D	E	F
20℃	3	5	3	3	3	5
15℃	4	5	4	4	4	6
10℃	7	7	6	5	5	6
5℃	7	10	10	8	8	6

表3 子実体表面の微生物量

試料	保存前		10日後(10℃区)	
	細菌	酵母	細菌	酵母
A	4.0×10^7	3.3×10^8	1.4×10^8	1.9×10^9
B	1.8×10^8	1.3×10^8	1.8×10^8	8.5×10^8
C	1.8×10^8	3.5×10^8	4.5×10^8	4.4×10^9
D	7.5×10^6	8.5×10^7	3.8×10^8	5.0×10^7
E	7.5×10^6	6.5×10^7	9.0×10^8	2.0×10^8
F	2.5×10^6	5.0×10^7	1.3×10^9	1.0×10^8

単位：個/g

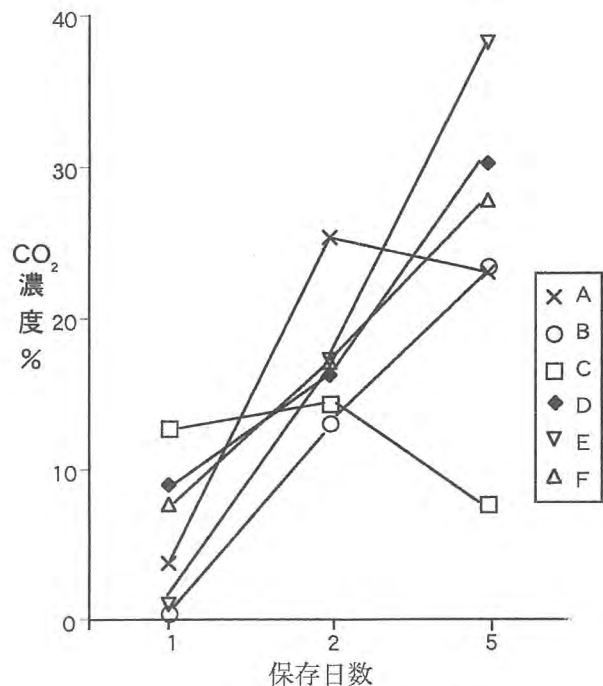


図11 15℃区のCO₂濃度の変化

3. 4 呼吸と鮮度劣化

包装内のCO₂濃度の変化を測定し(図11)、ナメコ子実体の呼吸と鮮度の関係を調べた。15℃区試料Eの初発のCO₂濃度は1.0%であった。水が発生し鮮度劣化が顕著になった5日目のCO₂濃度は、38.2%と大幅に増加していた。他の試料でも同様に、鮮度の劣化と共にCO₂濃度の増加が見られた。試料Cで5日目にCO₂濃度が低下したのは、測定時にピンホールが生じガスが流出したためである。

包装内でのCO₂や水の発生源にはナメコ子実体と微生物が考えられるが、バイオマス量は圧倒的にナメコが多く、発生したCO₂や水のほとんどは、ナメコ子実体の呼吸に由来すると考えられる。また劣化の進行が停滞した7日目のCO₂濃度は、32.0%と増加が見られなかった。子実体の劣化が進行して菌糸の生理活性が低下したことが原因であろう。

20℃で10日間保存したナメコ子実体の重量減少率は、平均19.1%であった。1日に子実体重量の約2%の有機物が呼吸基質として消費されたことになる。

このようにナメコ子実体は包装内で活発に呼吸を行い、菌体内の貯蔵養分の分解、水やCO₂の発生を招き、その結果ナメコ子実体の組織形態の劣化が起り、鮮度が劣化したものと考えられる。

4 終わりに

今回の包装ナメコの鮮度劣化は、呼吸に伴うナメコ子実体の組織形態の劣化が主な原因であった。

きのこの温度系数 Q_{10} は3~4以上と言われ⁵⁾、温度が10℃低下すると呼吸量は1/3~1/4に低下する。従って微生物汚染を低レベルに維持すると共に、出荷、流通、販売の各段階で、できる限り低温で管理することが、包装ナメコの鮮度を維持する基本であろう。今後ナメコの日持ちを改善するには、これらの基本を再確認すると共に、さらに栽培条件や物理的ストレスが呼吸量に及ぼす影響の解明や、包装形態の検討が必要と思われる。

5 謝 辞

ナメコを提供して頂きました、石川県なめこ生産組合の皆様へ深く感謝します。

6 参考文献

- 1) 古川久彦編：“きのこ学”，共立出版株式会社，東京，1992，p274-276.
- 2) 富樫 巖，宜寿次盛生，原田 陽：日本応用きのこ学会誌，6(3)，125-128(1998).
- 3) 小山正忠，竹原秀雄：“新版標準土色帖”，富士平工業株式会社，東京，1967.
- 4) 最新バイオテクノロジー全書編集委員会編：“きのこの増殖と育種”，農業図書，東京，1992，p210-211.
- 5) 菅原龍幸編：“キノコの科学”，朝倉書店，東京，1997，p126-130.
- 6) 村田容常，本間清一：日食工誌，45(3)，177-185(1998).