

続・キノコがトドマツを嫌うわけ

- 阻害物質の除去と子実体形成を中心として -

米山 彰 造

はじめに

食用キノコを栽培する場合に、培地原料としてトドマツのノコクズを用いると、広葉樹のノコクズを用いた場合に比べて培地中で生長する菌糸の速度が遅くなったり、キノコの収量が低下することが経験的に知られています。

菌糸生長が遅れる主要な原因の一つが、トドマツ木粉中の精油に70%含有される(+)-ジュバピオン(以後、ジュバピオンと記す)であることを、これまでの研究から明らかにしました。

しかし、精油やその主成分であるジュバピオンが菌糸生長だけでなく子実体(キノコ)収量にも影響を与えているのか否かの検討や、その効率的な除去法についての検討は、これまで行われておりませんでした。

そこで、ジュバピオンを主成分とする精油の子実体収量に対する影響をみるために、精油を除去したトドマツノコクズを調整し、これを用いて食用キノコを栽培してみました。この方法は、ジュバピオンそのものの子実体収量に対する影響を直接評価するものではなく、精油全体としての子実体収量に対する影響を評価しようというものです。

精油は揮発する性質があります。これを考慮して、効率的な精油の除去法をいくつか検討した結果、蒸気を用いる方法がよいことがわかりました。そこで、この方法を使ってノコクズを調製し、これを用いて食用キノコ5種類の栽培試験を行いました。

精油成分の除去方法と除去効率

精油成分の除去法として、栽培施設での適用を考慮して、以下の四つの方法について検討しました。

常温による貯蔵

林産試験場の製材工場で採取したトドマツノコクズを、折り径55×深さ80cmの麻袋におおむね一杯まで詰め、林産試験場倉庫内で5月から9月の4か月間貯蔵し、その精油量の変動を調べました。その結果を表1に示します。

表にみるとおり、貯蔵15日後から124日後に至る5回の測定を通じ、精油量が減少する傾向はみられませんでした。これは、精油の主成分であるジュバピオンが揮発しやすいモノテルペン類ではなく、もう少し分子量が大きく揮発しにくいセスキテルペン(これらの物質の性質については林産試だより1991年3月号に掲載)であることが原因と思われる。したがって、ジュバピオンを主成分とする精油を除去するためには、倉庫内のような温湿度変化の少ない場所に放置するだけでは不十分で、なんらかの積極的な処理を加えることが必要であることがわかりました。

蒸気を用いた精油の除去法

表1 トドマツ木粉中の精油量の経時的変化

測定回数 (回)	経過日数 (日)	サンプル乾物率 (%)	精油量 (%)
1	15	78.0	0.479
2	30	89.0	0.426
3	61	90.4	0.391
4	92	89.9	0.547
5	124	89.9	0.466

精油は揮発成分ですが倉庫内に貯蔵しておくだけでは減少しないことを考慮して、蒸気を用いる二つの除去方法について検討しました。一つは培地の殺菌に用いる高圧滅菌釜を半閉鎖系の容器として用いるオートクレープ法であり、もう一つはステンレス製の円筒容器を開放系の容器として用いる蒸籠法です。前者は蒸気温度は高いものの蒸気がノコズ粒子の表面に接触するだけ（ほとんどノコズ粒子の間を流れない）なのに対して、後者は蒸気温度は低いものの蒸気がノコズ粒子の間を連続的に通過するという点で、大きな違いがあります。

1) 高圧滅菌釜を用いる方法（オートクレープ法）

水分をおおむね50%に調整したノコズを、底が網目状のコンテナ（W50×D40×H10cm）に厚さ5cm程度に広げ、高圧滅菌釜（羽生田鉄工所製、内寸W90×D160×H90cm）に納め、蒸気を充満させました（図1）。その後排気バルブをやや開放したまま、釜内蒸気圧をおおむね0.5kgf/cm²に保ち、6、12、18時間にわたって蒸気をノコズに接触させました。

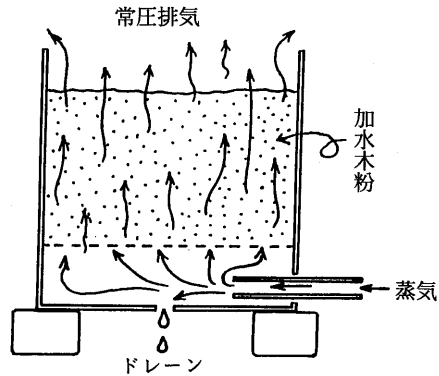
2) 上部を開放した円筒容器を用いる方法（蒸籠法）

円筒状のステンレス製の容器（内寸 64×H50cm）を用意し、底から10cmの部分に目皿としてス

テンレス製の網（1mm目）を取り付けました。そしてこの容器に上記と同様に50%に水分調整したノコズを容器一杯まで詰め、目皿の下部から蒸気を2、4、6時間にわたって通気しました（図2）。

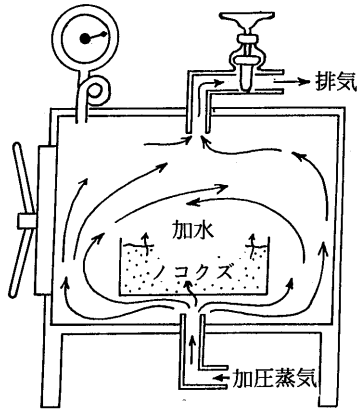
これらの方法で処理したノコズの精油量減少率と処理時間の関係を図3に示しました。

図から明らかなように、オートクレープ法では18時間の処理で精油量減少率は53.2%でしたが、蒸籠法では6時間で91.3%の減少率となりました。この原因は、蒸籠法では、蒸気が容器の底部から上部に向かってノコズ粒子の間を通過するのに対し、オートクレープ法では、0.5kgf/cm²の加压条件下にはありましたが、蒸気がノコズ粒子の間をほとんど移動せず、ノコズ粒子の表面に



* 常圧下で蒸気がノコズ粒子の間を通過する

図2 蒸籠法



* ノコズはオートクレープ内で加压蒸気に接触するのみ

図1 オートクレープ法

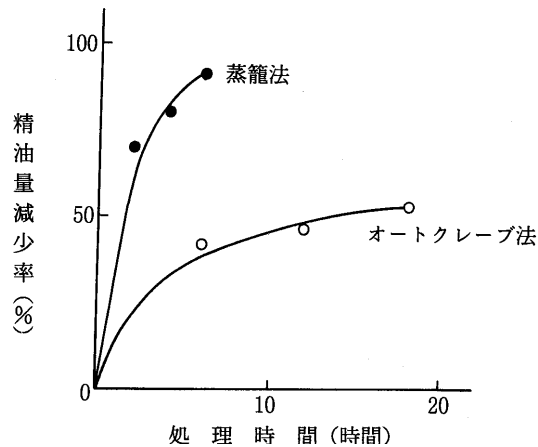


図3 蒸気処理によるトドマツノコズの精油量減少率

接触したにすぎないため、水との共沸で除去される精油の量に違いが生じたことにあると考えられます。このことは、精油の除去に対しては、使用する蒸気の温度や圧力の影響よりも、ノコズ粒子の間を通過する蒸気量の影響の方が大きいことを示しています。

今回の結果から、高温高圧の条件を用いなくても蒸気がノコズ粒子の間を通過さえすれば、大気圧下、100 の穏やかな条件でも効率的に精油を除去できることが明らかとなりました。

現在、栽培施設では長期間の散水処理が広く行われていますが、この方法を用いるなら、2時間という短時間でも精油量の70%を除去でき、原料処理の効率化につながる事が分かります。

散水処理モデル実験

上述のように、食用キノコの栽培施設では、新鮮なノコズ（トドマツやエゾマツなどの針葉樹だけでなく、ミズナラなどの広葉樹も含まれる）を培地原料として利用する場合、それらのノコズを屋外に堆積しスプリンクラーを用いて散水処理する施設が多くなっています。しかし、これらの施設では、経験論的な手法として自然堆積や散水堆積法を採用しているにすぎません。そこで、今回は理論的な根拠を得るためにトドマツノコズの阻害成分の主体である精油に着目し、その減少量をピペット洗浄槽（内容積8.9l）を用いた散水処理のモデル実験により定量的に把握しました。方法は図4に示すように、ガーゼ袋に入れたトドマツノコズ（絶乾量で626g）をピペット洗浄槽に詰めました。次いで流速1.78l/分の水道水を1日当たり120分間流してノコズを洗浄し、30日後に精油量を測定しました。なお、このピペット洗浄槽は、水道水が洗浄槽の上部に到達して、排水管内の溢水面を越えると、充滿した水が排水管内から流れ出す（5分/回）サイホン式になっています。

残存する精油量を測定した結果、0.011%でした。原料ノコズでは、0.588%の精油が含まれていたため、散水処理によって精油量が98%減少したことになります。

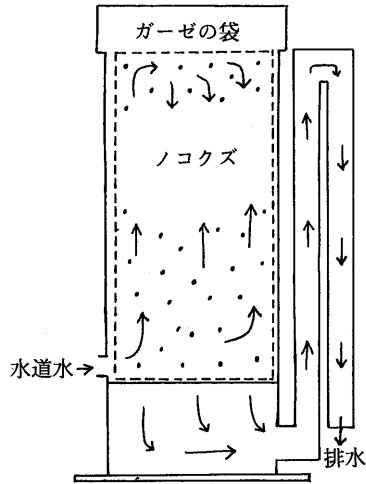


図4 ピペット洗浄槽によるモデル実験

以上から、トドマツノコズを用いる上で散水処理が精油を除去する方法としても有効であることが実験室的に確かめられました。また、処理時間は長いものの、精油の除去効果は蒸籠法と同等もしくはそれ以上であることも明らかとなりました。

食用キノコの栽培方法

カンバノコズ、トドマツノコズ、蒸籠法で6時間蒸煮して精油量が91.3%減少したトドマツ蒸煮処理ノコズを用い、それぞれ5種類の食用キノコの栽培試験を行いました。栽培条件を表2に、培地組成を表3にまとめて示します。

供試した食用キノコはヒラタケ、エノキタケ、タモギタケ（いずれも林産試験場の保存株）、ナメコ、マイタケ（いずれも市販株）です。培地は常法どおり殺菌（120 で瓶は60分間、袋は90分間高圧滅菌）して一夜放冷し、翌朝これにノコズ種菌を接種しました。

栄養添加物については、ヒラタケ、マイタケ、ナメコにはフスマ（江別製粉KK製）を用い、エノキタケには米ヌカを用いました。タモギタケの栽培には菌回りと収量の低下を避けるために、あらかじめふるって胚芽を除去した米ヌカを用いました。また、エノキタケについては、無処理トドマツに生重量の0.2%の消石灰を添加した区を設

表2 各食用菌の栽培条件

菌種	栽培形態	培養	熟成	吸水	菌掻き	芽出し・生育	
ヒラタケ	瓶 (800cc)	22~23°C 70% RH	無	3時間	有	12~13°C 85~95% RH	
エノキタケ							
マイタケ			28°C 70% RH 30日	無	無	無	18~19°C 85~95% RH
タモギタケ							
ナメコ	袋 (1 kg)	22~23°C 70% RH				12~13°C 85~95% RH	

表3 各食用菌の培地組成

菌種	木粉	培地重量(g)	培地水分(%)	栄養添加物量(g)	栄養添加物
エノキタケ	無処理トドマツ	445	67.0	71	米ヌカ
	蒸煮処理トドマツ	468	69.4	70	
	無処理カンバ	510	67.0	71	
	消石灰添加トドマツ	445	62.0	70	
タモギタケ	無処理トドマツ	447	64.7	88	フルイ米ヌカ
	蒸煮処理トドマツ	468	65.7	91	
	無処理カンバ	490	58.9	96	
ヒラタケ	無処理トドマツ	451	68.1	91	フスマ
	蒸煮処理トドマツ	456	70.0	91	
	無処理カンバ	472	64.3	92	
マイタケ	無処理トドマツ	439	69.2	71	フスマ
	蒸煮処理トドマツ	461	69.9	72	
	無処理カンバ	511	64.0	73	
ナメコ	無処理トドマツ	760	72.6	111	フスマ
	蒸煮処理トドマツ	844	75.2	109	
	無処理カンバ	904	68.7	115	

けました。

1瓶当たりの添加物量は表3のとおりです。ナメコは1袋当たりの量で示してありますが、これは800cc瓶に換算すると70gに相当する量です。培養期間はヒラタケ、エノキタケ、マイタケの3菌種については菌糸が培地全体に蔓延するまでとしました。タモギタケも同様の設定としましたが、菌糸が蔓延する前に発芽する瓶が多かったため、発芽を認めた段階で培養を終了しました。ナメコは熟成を兼ねて90日間培養しました。

菌糸が培地全体に蔓延した後、ヒラタケ、エノキタケは古い種菌を掻取る程度に菌掻きし、直ち

に水道水を瓶口まで満たして吸水し、3時間後に水切りをして発生室の棚に展開しました。マイタケは表面の厚い菌層膜を掻取ってキャップを再装着し、直ちに熟成室に移し、温度28℃、湿度70%で30日間熟成しました。

ナメコは培養終了後に菌床を袋から出し、従来の箱栽培方式のように、コンテナに有孔ポリシート(1mm)を敷き、その上に4~6個ずつ並べました。そして周囲に十分に吸水させたトドマツノコズを詰め、発生室の棚に展開しました。タモギタケは培養後、なるべく芽を損傷しないようにして紙栓を外し、発生室の棚に展開しました。

蒸煮処理ノコズを用いた食用菌の栽培結果

菌糸蔓延速度（日数）

培養中の800ccPP瓶および1kgPP袋の表面を観察し、培地全体に菌糸が蔓延するまでの日数を測定し、これをもとに各区での菌糸生長指数を算出しました。表4に無処理トマトを使ったときの菌糸の蔓延速度を100として、蒸煮処理トマトノコズ、カンパノコズおよび消石灰添加無処理トマトノコズ（エノキタケのみ）を使っ

たときの生長指数を示しました。表の数値は指数が大きいほど蔓延速度が速いことを意味していません。

その結果、蒸煮処理区と無処理区を比較するとエノキタケを除く4菌種はいずれも蒸煮処理の生長指数が大きくなっており、寒天培地上での結果（林産試だより1991年3月号に掲載）と同様の傾向を示しています。このことは、精油の除去により菌糸生長が促進されたことを意味します。

しかし表が示すように、蒸煮処理を行ったトド

表4 菌糸生長に対する処理効果

菌種	培地	栄養添加物量(g)	菌糸蔓延日数	生長指数*
エノキタケ	無処理	71	18.9	100
	蒸煮処理	70	21.5	88
	カンパ	70	17.0	111
	消石灰添加	70	20.0	95
タモギタケ	無処理	88	16.6	100
	蒸煮処理	91	15.1	110
	カンパ	96	14.9	111
マイタケ	無処理	71	37.0	100
	蒸煮処理	72	26.6	139
	カンパ	73	20.5	180
ナメコ	無処理	111	24.3	100
	蒸煮処理	109	20.9	116
	カンパ	115	19.3	126
ヒラタケ	無処理	91	14.7	100
	蒸煮処理	91	12.0	123
	カンパ	92	12.1	121

*無処理区の菌糸蔓延日数を100とした指数

表5 子実体収量に対する処理効果

菌種	培地	栄養添加物量(g)	子実体収量(g)	標準偏差	収量の指
エノキタケ	無処理	71	75.1	13.9	100
	蒸煮処理	70	85.1	10.2	114
	カンパ	70	153.9	6.3	205
	消石灰添加	70	124.6	10.6	166
タモギタケ	無処理	88	67.3	11.7	100
	蒸煮処理	91	80.6	11.8	120
	カンパ	96	65.5	7.4	97
マイタケ	無処理	71	50.7	6.7	100
	蒸煮処理	72	38.7	9.1	76
	カンパ	73	112.6	11.1	222
ナメコ	無処理	111	162.0	16.9	100
	蒸煮処理	109	167.2	18.5	103
	カンパ	115	224.9	25.4	138
ヒラタケ	無処理	91	103.7	5.5	100
	蒸煮処理	91	99.1	7.6	96
	カンパ	92	92.5	6.1	89

*無処理区の収量を100とした指数

マツノコクズを用いたとしても、マイタケ、ナメコ、エノキタケでは、菌糸生長がカンバと比較して劣っていました。したがって、菌糸生長の改善という観点からのみ見れば、これらのキノコの栽培に蒸煮処理したトドマツノコクズを用いる意味は低いと考えられます。

子実体収量

これまでは主に菌糸生長に着目した生物検定を行ってきましたが、最終目的は子実体収量の増加効果の有無を知ることです。表5に、各キノコのトドマツ無処理区の収量を100としたときの収量を指数で示しました。

表5において特に蒸煮処理区の収量の指数が120と高い値を示したタモギタケについては、ノコクズの影響を精査するために、栄養添加物を90g/瓶区より少なめに調整した70g/瓶、および80g/瓶区についても実験を行いました。図5に示した結果からわかるように70g/瓶、および80g/瓶区ともに90g/瓶区と同様に、おおむね20%の増収効果が得られています。また、蒸煮処理区はカンバ区の70gおよび90g区（実際の添加物は69gおよび、96g）と比較しても、トドマツ無処理区に対する以上に増収効果が認められました。

また表5の中で、タモギタケの次に収量の指数が114と高いエノキタケについてみると、子実体収量については蒸煮処理区は無処理区に比較して増加しているものの、カンバ区と比較すると劣っていました。しかし、栄養添加物として米ヌカ（90g/瓶）を用い、培地に消石灰（1g/瓶）を加えると、無処理のトドマツノコクズでもエノキタケの培地基材として使用可能になることが知られており、今回の試験でも培地に消石灰（培地重量の0.2%）を添加した区で子実体収量が向上（カンバ区205に対して166）しました。これらの事実は、精油以外にも子実体形成を阻害する要因がトドマツノコクズ中に存在する可能性を示しています。

一方、ヒラタケについては、菌糸生長の促進がみられたことから子実体増収効果を期待しました

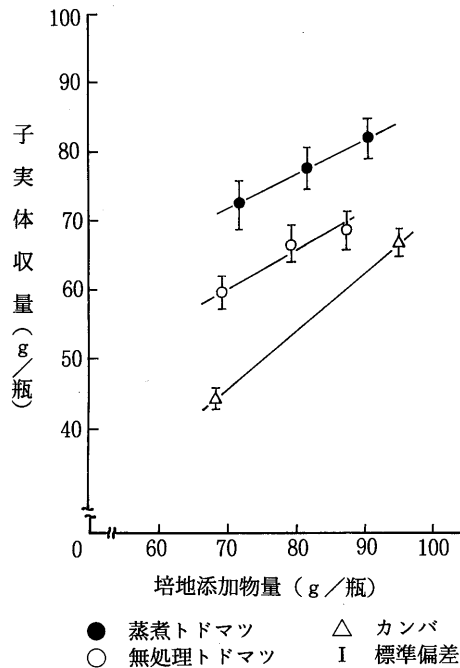


図5 タモギタケ栽培におけるノコクズ種類別の培地添加物量と子実体収量の関係

が、認められませんでした。さらに、ナメコでも増収効果が認められず、マイタケでは蒸煮することによって子実体収量が減少しています。したがって、これらの3菌種についても子実体収量の減少が精油以外の要因によって引き起こされているものと推定されます。

今後への課題

菌糸生長阻害物質の(+)-ジュバピオンを主成分とする精油の除去法と、その子実体形成に及ぼす影響について検討してきましたが、今回の実験結果から、蒸煮処理することにより、トドマツノコクズはカンバノコクズより優れたタモギタケの培地原料となることが明らかとなりました。

蒸煮処理は短時間で生育阻害物質を除去できるという利点があるのですが、エネルギーコストや装置・手法の簡便性、並びに精油以外の阻害成分の除去効果などを考慮すると、蒸煮処理の実用的な価値は散水処理法より低いと思われます。また、トドマツノコクズは、消石灰を培地に添加するという非常に簡単な方法で、エノキタケ、ヒラ

タケ、タモギタケの培地基材として一般に利用されております。

しかし、今回の試験によって、栄養生長（菌糸生長）を阻害する要因と、生殖生長（子実体形成）を阻害する要因が必ずしも一致しないという事実が明らかとなりました。食用菌を含む担子菌類の生理学的・生化学的研究が他の微生物に著しく遅れを取っている原因は、栄養生長から生殖生長へ

の移行が比較的困難なことから、ライフサイクルが長いことにあります。

今後はこのような困難さを克服しつつ、子実体形成のメカニズムを中心にしながら、経験論的な資料に理論的な裏付けを加える研究を行い、効率的な食用キノコの栽培技術の確立に努力していきたいと考えています。

（林産試験場 微生物利用科）