

下水汚泥堆肥のきのこ栽培への適用に関する研究

鹿児島高専 ○新原悠太郎 池田匠児 山田真義 山内正仁
鹿児島大学 八木史郎 北九州高専 黒田恭平 長岡技科大 山口隆司

1. はじめに

近年、全国各地で下水処理場由来のバイオマスを食料生産に利用した取り組みが盛んに行われている。食料生産の成功例としてイチゴ、トマトなどが挙げられるが、排出されるバイオマスの量に対して十分に利用できているとはいえない。今後、この取組みをさらに進展させるためには、生産作物の多様化が必要と考えられる。

本研究では、地域の有機性廃棄物から食用きのこを栽培し、有機性廃棄物を多段利用する研究を行っている。食用きのこは子実体形成過程でカリウムを培地から多量に吸収し、生長する特徴を持つ。しかし下水汚泥はカリウムが極端に少ないことから、これまできのこの培地栄養材としての利用は検討されてこなかった。今後下水汚泥をきのこ培地へ適用するためには、カリウムが豊富な資材と組み合わせる必要がある。鹿児島県では本格焼酎の生産や竹を利用した産業が盛んであり、それぞれ焼酎粕、竹廃材が年間を通して多量に排出される。これらの特徴はカリウム含有量が高いことである。このことから、下水汚泥とこれら地域資源の材料を利用したきのこ培地を調製することで、下水汚泥の新規利用法の開発に繋がると考えた。

本研究では、堆肥化された下水汚泥は多くの作物に利用され、マイナスイメージが払拭されていることに着目し、下水汚泥と地域のカリウム豊富なバイオマスとを組み合わせた下水汚泥堆肥を調製し、下水汚泥の用途拡大のため、きのこ（マッシュルーム）の栽培試験を国内初の試みとして実施した。

2. 試験方法

マッシュルーム栽培は従来、馬堆厩肥、牛堆厩肥やわら等をベースとした堆肥で栽培されているが、下水汚泥堆肥を利用して栽培試験を実施した報告はない。本試験では下水汚泥堆肥と牛糞堆肥を組み合わせ、下水汚泥堆肥の最適利用割合を調査した。表-1に培地組成を示す。堆肥だけを利用して培地水分率を60%に調整した場合、堆肥から水分が分離し、培地底面に水分が溜まり易くなること、培地が硬く通気性が悪くなることから、本試験ではまず、培地の物性を改善するために、マッシュルーム培地の基材として広く利用されている広葉樹おが屑を使用し、栽培試験を実施した。なお、下水汚泥堆肥(C/N;6.7,粗繊維 1.3g/100g 乾物)は繊維成分が少なく、牛糞堆肥(C/N比;16.4,粗繊維 42.8)に比べ保水性が悪いため、培地中に下水汚泥堆肥を多く利用する試験区では、広葉樹おが屑の使用量を増加させた。広葉樹おが屑を除く下水汚泥堆肥と牛糞堆肥の配合割合は下水汚泥堆肥100%試験区から25%ずつ変化させ、5試験区調製した。

これらの各配合割合で調製した培地は角形培養袋(MT-S25B、(有)三鬼工業)に2.5kgずつ充填し、60℃で4時間培地を殺菌した。殺菌した培地は5日間、培養室(温度20±1℃、湿度70±5%)に静置した。その後、培地の温度上昇(発酵)がないことを確認後、マッシュルーム種菌(日農100、日本農林種菌(株))をクリーンブースで100gずつ培地に添加し、培地に種菌を混込み、密閉後再び培養室(温度20±1℃、湿度70±5%)で30日間静置した。その後、培養室で培養袋の封を切り、培地表面の菌周り状況を定性的に評価した。またマッシュルーム菌糸に物理的刺激を与えるために、pHを7.0前後に炭酸カルシウムで調整したピートモス((有)ラテック、成分無調整)で培地表面を3cm程度被覆し、ピートモス表面が乾かないように1日1回培地ごとに水道水を霧吹きで散布し、10日間さらに培養室で培養を続けた。ピートモス表面に菌糸が伸長したことを確認後、発生室(温度18±1℃、湿度90±5%)に培地を移し、60日間、子実体形成を促した。発生室においても、培地表面が乾かないように、1日1回、水道水を霧吹きで散布した。なお、培養室、発生室では作業時のみ蛍光灯を点灯し、各試験区3菌床ずつ作製した。収穫は、子実体の傘と柄の間に隙間が見られる程度で行った。その後、収量(生重量)を調査し、子実体の形態学的特性(傘の直径、傘の厚さ)からサイズ分けを行った。子実体のサイズは、L(直径60.0mm以上)、M(直径40.0-59.9mm)、S(直径30.0-39.9mm)、SS(直径20.0-29.9mm)の4段階とした。また、子実体の一般成分を新食品分析法¹⁾に準じ分析した。さらに子実体中の重金属量を定量した。なお、これらの分析には全ての子実体を利用した。

3. 試験結果と考察

表-2に各試験区の培養30日目(覆土前)のマッシュルーム菌糸の菌周り状況を示す。下水汚泥堆肥のみを使用した試験区は他と比較して菌糸密度が低かった。また、牛糞堆肥のみを使用した試験区は、下水汚泥堆肥、牛糞堆肥を併用した試験区と比較して、培地表面の菌糸

表-1 培地組成

試験区	培地組成 (乾物重量%)			袋詰め 重量 (kg)	培地水 分率*
	水分調整材	栄養材			
	広葉樹おが屑	下水汚泥 堆肥	牛糞堆肥	(kg)	(%)
1 広葉樹おが屑+下水汚泥堆肥(100%)培地	55.0	45.0			60.5
2 広葉樹おが屑+下水汚泥堆肥(75%) +牛糞堆肥(25%)培地	50.0	37.5	12.5		60.4
3 広葉樹おが屑+下水汚泥堆肥(50%) +牛糞堆肥(50%)培地	40.0	30.0	30.0	2.5	60.2
4 広葉樹おが屑+下水汚泥堆肥(25%) +牛糞堆肥(75%)培地	30.0	17.5	52.5		60.3
5 広葉樹おが屑+牛糞堆肥(100%)培地	15.0		85.0		60.2

*培地調製後の水分率

表-2 培養30日目の菌周り状況

試験区	菌周り状況
1 下水汚泥堆肥(100%)培地	培地表面に菌糸が蔓延。所々、菌糸密度の高い箇所(コロニー形成)も見られる。
2 下水汚泥堆肥(75%) +牛糞堆肥(25%)培地	培地表面全体に菌糸が蔓延。培地表面全体の菌糸密度が高い。
3 下水汚泥堆肥(50%) +牛糞堆肥(50%)培地	培地表面全体に菌糸が蔓延。培地表面全体の菌糸密度が高い。
4 下水汚泥堆肥(25%) +牛糞堆肥(75%)培地	培地表面全体に菌糸が蔓延。培地表面全体の菌糸密度が高い。
5 牛糞堆肥(100%)培地	培地表面全体に菌糸が蔓延。培地表面全体の菌糸密度は、堆肥を併用した試験区よりやや低い。

密度が全体的にやや低かった。マッシュルーム菌糸は栄養生長期（菌糸伸長期間）には、放線菌や有用微生物などを捕食したり、セルロース、リグニン等の難分解性有機物を分解したりして生長する。中でもリグニン腐食複合体を分解利用することが報告されている²⁾。下水汚泥堆肥は粗蛋白質は高いが、粗繊維成分、可溶無窒素物は少ない。このことから、下水汚泥堆肥にはマッシュルーム菌糸が栄養生長期に利用するリグニン腐食複合体が少なく、菌糸伸長が他試験区と比較してやや抑制されたと推察される。また、馬廐肥を用いたマッシュルーム栽培では菌糸接種時の全窒素濃度は2.0~2.5%程度が最適とされている^{2,3)}。本試験では水分調整材として広葉樹おが屑を使用しているが、これを除き、堆肥のみで培地中の全窒素濃度を算出してみると、下水汚泥堆肥100%区では窒素濃度が3.7%程度と高い。さらに、担子菌は種菌により異なるが、栄養生長期および生殖生長期において窒素濃度の影響を受け易いことが報告されている³⁾。このことも、下水汚泥堆肥100%試験区において菌糸伸長がやや抑制された理由の一つと考える。

表-3に各試験区の収量(生)、発生個数、大きさ(傘径)ごとの発生個数を示す。収量は下水汚泥堆肥(25%)+牛糞堆肥(75%)区が252.9±2.3gと最も多く、ついで下水汚泥堆肥(50%)+牛糞堆肥(50%)区、下水汚泥堆肥(75%)+牛糞堆肥(25%)区の順であった。またこれらの試験区の収量は対照区の牛糞堆肥(100%)区と比較してそれぞれ1.8倍、1.6倍、1.2倍と多かった。これは、両堆肥に不足する成分が併用することで補われ、生殖生長期に利用吸収される蛋白態窒素およびセルロース、ヘミセルロース成分が培地中に多く含有されていたことが影響していると考えられる。一方、下水汚泥堆肥(100%)区では子実体発生は認められたが、他の試験区と比較して極端に少なかった。これは、生殖生長期に利用されるセルロース、ヘミセルロース成分が下水汚泥堆肥の成分特性から判断して少なかったことが影響したためと考えられる。発生個数についても、下水汚泥堆肥(25%)+牛糞堆肥(75%)区が34.3±3.7個と最も多く、ついで、下水汚泥堆肥(50%)+牛糞堆肥(50%)区の順であった。子実体の大きさは、全体的な傾向として、S、SS以下(40mm以下)のものが多かった。マッシュルーム栽培では、培地が乾燥し易い場合、培地表面からの蒸散を防ぐために、自己防衛として子実体は小型化しやすいたことが報告されている⁴⁾。本試験で使用したピートモス表面は乾燥し易く、このことが影響したと考えられる。表-4に各培地で栽培した子実体の一般成分の分析結果を示す。下水汚泥堆肥(100%)試験区で栽培した子実体は他の試験区と比較して、蛋白含有量が高く、炭水化物量が減少した。高橋らは、マッシュルーム栽培期間中、子実体の窒素量、糖量を定量し、子実体の累積発生量が少ない場合、子実体中の窒素量が増加し、糖量が減少することを報告している⁵⁾。下水汚泥堆肥(100%)区では累積発生量が45.1±3.3gと少ないため、子実体中の蛋白含有量が他の試験区と比較して高くなったと思われる。下水汚泥堆肥と牛糞堆肥を併用した試験区および牛糞堆肥(100%)区で栽培したマッシュルーム子実体の一般成分には顕著な差は認められなかった。また、本試験では子実体中の重金属含有量も調査した。その結果、Niについては試験区1,2,4,5で、Crについては試験区4,5で1~5mg/kgの範囲で検出された。しかしながら、一般的にマッシュルーム栽培に使用されている牛糞堆肥においてNi、Crが検出され、その含量と比較して差がないことから、マッシュルーム栽培に下水汚泥堆肥の使用は問題ないと考えられる。

表-3 各試験区の収量、個数および形状の調査結果

試験区	収量(生)		個数	大きさ(傘径)ごとの個数			
	(平均値±標準偏差)			SS(~30mm)	S(~40mm)	M(~60mm)	L(60mm以上)
	(g/菌床)	(本/菌床)	(本/菌床)				
1 下水汚泥堆肥(100%)培地	45.1±3.3	4.0±0.8	-	1.7±0.5	2.3±0.5	-	
2 下水汚泥堆肥(75%)+牛糞堆肥(25%)培地	172.1±5.4	13.0±1.4	2.0	4.7±1.7	5.3±0.9	1.0±0.8	
3 下水汚泥堆肥(50%)+牛糞堆肥(50%)培地	218.7±7.8	18.0±4.5	1.7±0.9	7.3±4.0	7.7±1.7	1.3±0.5	
4 下水汚泥堆肥(25%)+牛糞堆肥(75%)培地	252.9±2.3	34.3±3.7	13.0±3.6	12.7±1.2	8.0±1.6	0.7±0.5	
5 牛糞堆肥(100%)培地	140.5±13.1	14.0±4.2	4.0±3.6	4.7±3.3	5.0±2.9	1.0±0.3	

表-4 各試験区の一般成分分析結果

培地条件	蛋白質	脂質	炭水化物	灰分
	(g/100g乾物)			
1 下水汚泥堆肥(100%)培地	47.1	3.5	38.8	10.6
2 下水汚泥堆肥(75%)+牛糞堆肥(25%)培地	40.3	5.2	42.8	11.7
3 下水汚泥堆肥(50%)+牛糞堆肥(50%)培地	41.2	4.7	43.5	10.6
4 下水汚泥堆肥(25%)+牛糞堆肥(75%)培地	40.0	3.2	46.3	10.5
5 牛糞堆肥(100%)培地	44.4	4.9	39.6	11.1

4. おわりに

本研究で得られた知見を示す。

- 下水汚泥堆肥のみを使用した試験区は他と比較して菌糸密度が低かった。これは下水汚泥堆肥中に放線菌等の好熱性微生物の基質となるセルロース、リグニン等の難分解性有機物が少なく、マッシュルーム菌糸が生長過程で利用するリグニン腐食複合体が培地中に少なかったことが影響したと考えられる。
- 下水汚泥堆肥を牛糞堆肥と併用した試験区では牛糞堆肥単独試験区よりも収量が1.2~1.8倍増加した。また、子実体中にCd、Pb、As、T-Hgは検出されなかった。Ni、Crについては一部の子実体から検出されたが、一般的にマッシュルーム栽培に使用されている牛糞堆肥と同程度であったことから下水汚泥堆肥の使用は問題ないと考えられる。

参考文献：1) 社団法人日本食品科学工学会 新食品分析法編集委員会：新・食品分析法，光琳，1997.，2) きのこの基礎科学と最新技術：マッシュルーム栽培技術（橋本一哉 著）、（株）農村文化社，pp. 246-256. 1991.，3) 大森清寿，小出博志：キノコ栽培全科，社団法人 農山漁村文化協会，pp. 128-136，2008.，4) きのこの基礎科学と最新技術：マッシュルーム栽培技術（橋本一哉 著）、（株）農村文化社，pp. 246-256. 1991. 5) 高橋善次郎，岡信子：合成培地によるマッシュルーム培養-IX、東洋食品研究所研究報告書、第8号、pp. 346-353. 1968.