新規下水汚泥堆肥を用いたマッシュルーム栽培に関する基礎研究

鹿児島高専　○松木大真　丸野遥　徳田裕二郎　山田真義　山内正仁　都城高専　黒田恭平
大分高専　帆秋利洋　鹿児島大学名誉教授　八木史郎　長岡技術科学大学　山口隆司

1. はじめに

下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組みが産学官民の連携により盛んに行われている. 筆者等はこれまでに, 下水処理場由来のバイオマスの利用拡大を目指し, 市販の下水汚泥堆肥を用いてマッシュルーム (*Agaricus bisporus*) 栽培試験を実施した. その結果, 下水汚泥堆肥は牛糞堆肥と併用することでマッシュルーム栽培における培地材料として利用できることを明らかにした[1]. しかしながら既存の下水汚泥堆肥は保水性が悪く, 加えて菌糸の基質となる放線菌などの有用微生物やセルロース, リグニン等の繊維成分が少ない. このため, 下水汚泥堆肥のマッシュルーム培地への配合割合は, 17.5～30.0%に留まっている状況にある. 今後, 下水汚泥堆肥の培地への配合割合を増加させ, 更なる汚泥堆肥の利用促進を図るためにはマッシュルーム菌糸が利用可能な繊維成分を多く含む新規下水汚泥堆肥の製造が必要である.

本研究では, まず下水汚泥（脱水汚泥）に地域バイオマスを混合した新規下水汚泥堆肥の製造を試みた. つぎに, 本試験で製造した新規下水汚泥堆肥を用いてマッシュルーム栽培試験を実施し, 新規下水汚泥堆肥の子実体収量に与える効果を確認した.

2. 試験方法

2.1 堆肥材料の成分特性評価

本試験では, まず新規下水汚泥堆肥を調製するにあたり, 鹿児島県霧島市の国分隼人クリーンセンターで発生する下水汚泥（脱水汚泥）と竹おが屑, 米糠および甘藷焼酎粕乾燥固形物の一般成分（粗蛋白質：ケルダール法,（窒素・タンパク質換算係数 6.25）, 粗脂肪；ジエチルエーテル抽出法, 粗繊維；ろ過法, 粗灰分；直接灰化法, 可溶無窒素物；100-（水分+粗タンパク質+粗脂肪+粗灰分））, 無機成分（P_2O_5：バナドモリブデン酸アンモニウム吸光光度法, K_2O, CaO, MgO：フレーム原子吸光光度法）および重金属成分（T-Hg:還元気化原子吸光法, Ni:フレーム原子吸光光度法, Cd, Pb, As, Cr：ICP 質量分析法）を分析し, 各材料の成分特性を評価した. また, 各材料の C, N 量を全窒素・全炭素測定装置（NC-22A,（株）住化分析センター）で定量し, C/N 比を算出した. さらに各堆肥材料に含まれる繊維成分を ADF（酸性デタージェント繊維）, NDF（中性デタージェント繊維）はデタージェント分析法[2]でおよびリグニン量は P.J.Van Soest らの方法[3]で定量し, NDF と ADF の差からヘミセルロース, ADF とリグニンの差からセルロースを求めた.

2.2 新規下水汚泥堆肥の製造

表-1 に堆肥材料の配合割合を示す. 本試験では下水汚泥（脱水汚泥）, 竹おが屑の配合割合をそれぞれ 40%, 30%（何れも乾物重量%）に固定し, 米糠, および甘藷焼酎粕固形物（以下, 甘藷焼酎粕）の配合割合を変化させ, 混合資材の水分率を 60%（乾物重量 2.5kg, 現物重量 6.25kg）に調製後, 小型堆肥化実験装置「かぐやひめ」（富士平工業（株））を用いて堆肥化試験を実施した. 混合資材の切り返しは, 堆肥化開始後, 一週間以上経過し, 温度が低下し始めた時期に実施した. また, 切り返し後の温度上昇が 5℃以下で堆肥化終了とした. 堆肥の品質評価は, 温度の経時変化, 堆肥の物性・色, コンポテスターによる腐熟度判定の結果から総合的に判断し, 最適な配合割合を決定した. また, 最適な配合割合で調製した新規下水汚泥堆肥の窒素, 無機成分および重金属成分を 2.1 と同様な方法で分析し, 堆肥成分を評価した. さらに, 各材料の C/N 比, 各材料に含まれる ADF, NDF およびリグニン量についても 2.1 と同様な方法で分析した.

表-1 堆肥材料の配合割合

試験区	堆肥材料（乾物重量(%)）			
	下水汚泥（脱水汚泥）	竹おが屑	米糠	甘藷焼酎粕
1	40	30	30	－
2			20	10
3			15	15
4			10	20
5			－	30

2.3 新規下水汚泥堆肥を用いたマッシュルーム栽培試験

表-2 に培地配合割合を示す. 既存の下水汚泥堆肥は牛糞堆肥と比較して保水性が悪いため, 水分調整材の広葉樹おが屑の使用量を増加させた. また, 新規下水汚泥堆肥の子実体収量への効果を確認するため, 試験区 1 と試験区 2 の水分調整材の割合は同じとした. これらの各配合割合で調製した培地は角形培養袋に 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 6 日間, 培養室（温度 20±1℃, 湿度 70±5%）に静置後, マッシュルーム種菌（日農 100, ブラウン種, 日本農林種菌（株））をクリーンブース内で 100g ずつ培地に添加し, さらに, 袋を密閉後培養室（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, pH を 7.0 前後に炭酸カルシウムで調整したピートモスで培地表面を 3cm 程度被覆し, 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. 本

表-2 培地配合条件

試験区	配合割合（乾物重量%）			袋詰め重量	培地水分率
	水分調整材	栄養材			
	広葉樹おが屑	牛糞堆肥	下水汚泥堆肥	(kg)	(%)
1 牛糞堆肥(50%)+下水汚泥堆肥(50%)	40	30	30	2.5	60.4
2 牛糞堆肥(50%)+新規下水汚泥堆肥(50%)	40	30	30		60.5
3 牛糞堆肥(100%)	15	85	―		60.6

キーワード：下水汚泥堆肥　食料生産　きのこ栽培　資源化
連絡先：鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1・0995-42-9124

表-3 各堆肥材料の成分特性

堆肥材料	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	粗灰分	可溶無窒素物	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	リグニン	セルロース	ヘミセルロース
	(乾物%)											
下水汚泥（脱水汚泥）	34.8	12.3	24.2	9.8	18.9	2.96	0.29	0.35	0.18	4.9	32.5	9.1
竹おが屑	2.0	0.2	58.2	1.3	38.3	0.06	0.47	0.02	0.05	20.8	53.2	21.3
米糠	16.6	25.3	8.8	11.0	38.3	5.73	2.13	0.07	1.80	3.1	7.8	12.7
甘藷焼酎粕乾燥固形物	22.6	4.5	12.8	5.5	54.6	0.84	1.50	1.00	0.16	11.3	27.4	3.3

試験では１日１回，水道水を霧吹きで培地表面に散布した．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）を調査した．

3. 試験結果と考察

3.1 堆肥材料の成分特性評価

表-3に各堆肥材料の成分分析結果を示す．下水汚泥(脱水汚泥)は，米糠、甘藷焼酎粕と比較して粗蛋白質，粗繊維は多く，可溶無窒素物が少ない特性を持つことがわかった．また，下水汚泥にはきのこ子実体を形成させるために必要なK_2Oが0.29%(乾物)と極端に少ない一方で，P_2O_5が2.96%(乾物)と非常に多く含まれていることが明らかになった．竹おが屑はC/N比が大きく，粗繊維が58.2%(乾物)と多かった．なお重金属は下水汚泥で分析した全ての項目で検出された．しかし，その含有量は汚泥肥料公定規格の許容最大量の1/15～1/120以下であった．繊維成分については，下水汚泥はセルロース量が多く，ヘミセルロース，リグニンは少ないことがわかった．一方，竹おが屑は全ての繊維成分で他の資材より多く含まれており，堆肥調製において保水性に加え，菌糸の基質となる繊維成分を多く含む資材として有効活用できると考えられた．

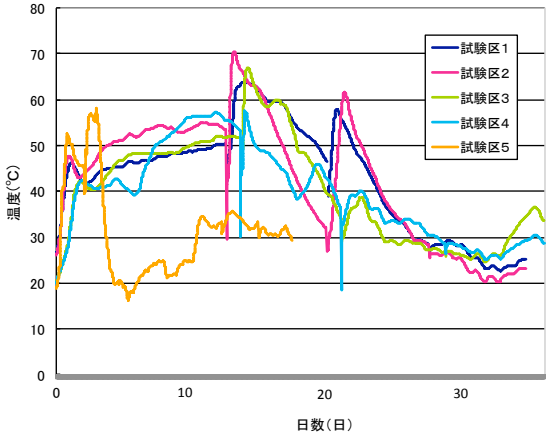

図-１ 堆肥の温度変化

3.2 新規下水汚泥堆肥の調製

図-1に各試験区の堆肥温度の推移を示す．米糠の含有率が高い試験区1，試験区2では同様な温度上昇が見られ，特に試験区2では堆肥温度が70℃まで達した．切り返しも4回実施され，堆肥化終了後の堆肥の色は黒褐色で塊も崩れやすく，資材の原形が殆ど認められない状況であった．またコンポテスター値も堆肥化が進んでいる目安とされる3以下であり，これらのことから，試験区2の脱水汚泥40%，竹おが屑30%，米糠20%，甘藷焼酎粕10%が最適な配合割合とした．**表-4**に新規下水汚泥堆肥の成分分析結果を示す．新規下水汚泥堆肥は既存の下水汚泥堆肥と比較してC/N比が6.7から11.0に上昇し，また竹おが屑を添加することで堆肥中の繊維成分が増加した．重金属含有量は汚泥肥料公定規格以下であった．

表-4 培地材料の成分特性

培地材料	C/N比	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	リグニン	セルロース	ヘミセルロース
	(乾物%)					(乾物%)		
下水汚泥堆肥*	6.7	5.83	0.69	11.7	0.96	4.8	13.6	N.D.
牛糞堆肥**	16.4	3.17	4.32	1.38	1.24	24.9	29.0	N.D.
新規下水汚泥堆肥	11.0	3.18	1.46	0.38	0.93	13.9	28.6	1.1

*かんとりースーパー(生産元:(株)山有，肥料の種類：汚泥発酵肥料，登録番号:生第80861号)

**地力堆肥(宮原畜産，肥料の種類:堆肥，届出を受理した県名:鹿児島県 鹿農林肥生 第2号)

表-5 子実体の収量結果

試験区	収量(生) (平均値±標準偏差) (g/菌床)	個数 (平均値±標準偏差) (個/菌床)
1 牛糞堆肥(50%)＋下水汚泥堆肥(50%)	363.3±10.6	34.0±5.2
2 牛糞堆肥(50%)＋新規下水汚泥堆肥(50%)	428.8±8.7	28.7±3.2
3 牛糞堆肥(100%)(対照区)	252.1±22.0	17.6±3.1

3.3新規下水汚泥堆肥を用いたマッシュルーム栽培試験

表-5にマッシュルーム子実体の収量(生)，発生個数を示す．収量は新規下水汚泥堆肥を用いた試験区2において，試験区3(対照区)の1.7倍，既存の下水汚泥堆肥を利用した試験区1の1.2倍に増加した．これは，下水汚泥に繊維成分を添加し，堆肥化したことで，菌糸の栄養生長，生殖生長過程で利用可能な有用微生物やリグニン，セルロース，さらにリグニン腐植複合体が既存の下水汚泥堆肥よりも多く含まれていたことが影響していると推察される．

4. おわりに

本研究では，下水汚泥(脱水汚泥)と地域農業副産物を用いて新規下水汚泥堆肥を調製し、その最適配合割合を堆肥温度の経時変化，堆肥の物性・色，コンポテスターによる腐熟度判定値から脱水汚泥40%，竹おが屑30%，米糠20%，甘藷焼酎粕10%とした．また，新規下水汚泥堆肥を用いたマッシュルーム栽培試験を実施し，下水汚泥堆肥中の繊維成分の増加により，菌糸の栄養生長，生殖生長が活発になり，子実体収量が牛糞堆肥区（対照区）の1.7倍，既存の下水汚泥堆肥を使用した試験区の1.2倍に増加した．今後は，本配合割合を用いて実規模の堆肥製造を試み，マッシュルームの量産化試験を実施する予定である．

<参考文献>1)山内ら：下水汚泥堆肥を用いたマッシュルーム栽培技術の開発，土木学会論文集G(環境)，Vol73，No.7，Ⅲ_397-Ⅲ405，2017. 2)自給飼料品質評価研究会編：三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック，(社)日本草地畜産種子協会，pp.6-21，pp.38-42，2009. 3) P. J. Van Soest etc. : Proc. Nutr. Soc.，32，p.123，1973.