

## 第7章 焼酎粕、でん粉粕を利用したきのこ栽培廃菌床の農地還元法の検討

### 7-1 はじめに

焼酎粕、でん粉粕の高付加価値の利用法として、きのこ栽培菌床としての利用がある。しかしきのこを栽培した後の廃菌床は、産業廃棄物として処理されなければならない。そこでこの廃菌床を有効に活用する方法として、肥料としての農地還元について検討した。

作物の生育は施用する窒素量によって大きく左右されるため、供試した廃菌床の窒素含有量により廃菌床の施用量を調整してコマツナの栽培試験を実施した。平成 21 年度は焼酎粕を利用した廃菌床とフスマを利用した標準廃菌床を供試し、平成 22 年度は焼酎粕廃菌床、標準廃菌床に加えてでん粉粕廃菌床を供試した。

また廃菌床の他の有効活用法として検討された飼料としての牛への給餌により発生する牛ふんの堆肥化についても検討した。これは廃菌床の他段階活用法として、位置づけられるものである。

廃菌床そのものによる平成 22 年度のコマツナ栽培試験において顕著な窒素飢餓がみられ、そのままでは農地還元が難しいことが示唆された。そこで廃菌床を土壌施用後 2 カ月程度の放置期間を置いた後コマツナの栽培を試みる試験と、廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥によるコマツナの栽培試験を実施し、農地還元法について肥効面からの総合的な評価を試みた。

### 7-2 実験方法

#### (1) 試料の肥料成分の分析

でん粉粕廃菌床、焼酎粕廃菌床、標準廃菌床及び試験製造した牛ふん堆肥の全炭素と全窒素は、CN コーダー (Macro Corder JM1000CN ジェイ・サイエンス社製) により定量した。カリウム、カルシウム、マグネシウム含量は、硝酸と過塩素酸による湿式灰化法<sup>1)</sup> による分解液を原子吸光光度計 (AA890 日本ジャーレルアッシュ社製) により濃度を測定し定量した。リン含量は硝酸と過塩素酸による湿式灰化法による分解液を、バナドモリブデン酸法<sup>2)</sup> に準じてリン濃度を測定し定量した。

#### (2) 廃菌床を給餌した牛の牛ふんの堆肥化

焼酎粕廃菌床を重量ベースで 0、5、10% の割合で飼料に混合して給餌し、得られた牛ふんをそれぞれ 0% 牛ふん、5% 牛ふん、10% 牛ふんとして供試した。

それぞれの試料の水分含量を測定し、エリンギ栽培廃菌床を混合して水分含量を 65% に調整し堆肥化材料とした。各牛ふんの水分含量とエリンギ栽培廃菌床の各牛ふん 3kg に対する混合量は、表 7-1 に示した。堆肥化は小型堆肥化実験装置 (かぐやひめ (畜試式) 富士平工業製) で行った。水分を調製した堆肥化材料を堆肥化容器にセットし、通気量 0.2 ~ 0.4L/分で運転した。

2~4 週間毎に堆肥化容器内の材料を取り出し、ポリエチレンシートの上に広げて混合し、再び堆肥化容器に戻してセットし、堆肥化における「切り返し」とした。「切り返し」の都

度、材料の一部をサンプリングし風乾後、CN コーダーで全窒素と全炭素を測定した。堆肥化装置内の材料の温度は、温湿度記録計（おんどとり TR-71Ui ティアンドディ社製）により 1 時間間隔で自動的に記録した。0%牛ふんは 147 日間、5%牛ふんと 10%牛ふんは 137 日間装置中で堆肥化した。

表 7-1 廃菌床を給餌した牛ふんの水分と堆肥化のためのエリンギ廃菌床添加量

|        | 水分 (%) 廃菌床添加量 ( |      |
|--------|-----------------|------|
| 0%牛ふん  | 85.7            | 1107 |
| 5%牛ふん  | 83.0            | 963  |
| 10%牛ふん | 85.4            | 1094 |

### (3) コマツナ種子を用いた簡易発芽試験による廃菌床中及び牛ふん堆肥中生育阻害物質の検定

供試した廃菌床または牛ふん堆肥 10.00g をポリ瓶にとり、蒸留水 100mL を加えて 30 分間振とうし、ろ紙（東洋ろ紙 No131）でろ過した。ろ液の EC はでん粉粕廃菌床 1.52mS/cm、焼酎粕廃菌床 1.54mS/cm、標準廃菌床 1.29 mS/cm、0%牛ふん堆肥 2.18 mS/cm、5%牛ふん堆肥 1.54 mS/cm、10%牛ふん堆肥 1.40 mS/cm であった。シャーレに敷いた発芽試験シート（たねピタ 富士平工業製）にコマツナ種子を付着させ、そこへそれぞれのろ液を 10mL ずつ添加し、30℃暗黒条件で 3 日間放置した。対照区として蒸留水を添加したシャーレも同様に準備した。3 日後、シャーレごとに対照区を 100%として発芽率を算出し、山口らの外観評価基準に従って発芽程度の外観評価を行った。

### (4) 焼酎粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナの栽培試験

栽培には直径 15cm のビニルポットを用い、鹿児島県農業試験場のほ場より採取した中粗粒灰色低地土を 1 ポットあたり 1.2kg つめて栽培した。焼酎粕廃菌床を 1 ポットあたり窒素 150mg 相当量施用した区を焼酎粕区とした。焼酎粕廃菌床の施用量をその 2 倍、4 倍にした区を、それぞれ焼酎粕 2 倍区、焼酎粕 4 倍区とした。フスマ廃菌床を 1 ポットあたり窒素 150mg 相当量施用した区をフスマ区とし、フスマ廃菌床の施用量をその 2 倍にした区を、フスマ 2 倍区とした。化学肥料区は、1 ポットあたり窒素、リン酸、加里それぞれ 150mg 相当量を硫酸アンモニウム、リン酸二水素カリウム、塩化カリウムで施用した。肥料を施用しない無肥料区を設けた。各試験区の肥料成分投入量は、表 7-2 に示した。なお pH を 6.5 に矯正するのに必要な苦土石灰を、1 ポットあたり 1.0g 施用した。

2008 年 11 月 6 日に、1 ポットあたり 3 か所に数粒のコマツナ（「照彩小松菜」トーホク）種子を播種した。適宜間引きを行い、11 月 26 日に 1 ポットあたり 3 株とした。12 月 12 日に各株の草丈と葉数を調査した。

12 月 24 日に地際から切断し、地上部を収穫した。草丈と葉数を調査し、通風乾燥機で風乾し重量を測定した後、粉砕した。ポットの土壌から根を回収し、水道水で洗浄し風乾した。重量を測定後、粉砕した。ポットの土壌は 2mm の篩でふるい、通過したものをそのまま又は風乾したものを土壌分析の試料とした。

表 7-2 焼酎粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナ栽培試験の区の設定

| 試験区名  | 資材施用量<br>(g/ポット) | 肥料成分投入量(mg/ポット) |                               |                  |
|-------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
|       |                  | N               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 焼酎粕   | 5.2              | 150             | 43                            | 82               |
| 焼酎粕2倍 | 10.4             | 300             | 86                            | 165              |
| 焼酎粕4倍 | 20.8             | 600             | 172                           | 329              |
| フスマ   | 12.2             | 150             | 603                           | 232              |
| フスマ2倍 | 24.4             | 300             | 1207                          | 464              |
| 化学肥料  |                  | 150             | 150                           | 150              |
| 無肥料   |                  | 0               | 0                             | 0                |

化学肥料区は硫酸アンモニウム、リン酸二水素カリウム、塩化カリウムを施用した。全てのポットにはpH=6.5に調整するために1.0gの苦土石灰を施用した。

粉砕した植物体試料をサリチル硫酸分解法<sup>3)</sup>で分解し、セミマイクロ蒸留法でアンモニアを蒸留して全窒素を定量した。マイクロウェーブ分解装置で硝酸分解して得た分解液を試料液とし、原子吸光光度法でカリウム、カルシウム、マグネシウムを、バナドモリブデン酸法でリンを定量した。

未風乾土壌を試料として、定法に従ってpHと電気伝導度(EC)を測定した。ハーパー法<sup>4)</sup>に準じて無機態窒素を定量した。風乾土を試料としてセミマイクロ Schollenberger 法<sup>5)</sup>に準じて酢酸アンモニウム溶液で土壌を交換・浸出し、浸出液中のカリウム、カルシウム、マグネシウム濃度を原子吸光光度計(AA890 日本ジャーレルアッシュ社製)により測定し、交換性カリウム・カルシウム・マグネシウム含量を定量した。酢酸アンモニウム浸出した土壌の塩化ナトリウム浸出液を水蒸気蒸留しアンモニア含量を測定し、陽イオン交換容量を定量した。可給態リン酸含量は、Truog 法<sup>6)</sup>に準じて定量した。

#### (5) でん粉粕・焼酎粕廃菌床を施用したコマツナの栽培試験

栽培には直径15cmのビニルポットを用い、鹿児島大学農学部唐湊果樹園のほ場より採取した中粗粒灰色低地土を1ポットあたり1.2kgつめて栽培した。化学肥料区は1ポットあたり窒素200mg、リン酸、加里それぞれ150mg相当量を硫酸アンモニウム、リン酸三ナトリウム、塩化カリウムで施用した。でん粉粕廃菌床、焼酎粕廃菌床、標準廃菌床を1ポットあたり窒素200mg相当量施用した区を、それぞれでん粉粕区、焼酎粕区、標準区とした。それぞれの廃菌床の施用量をその2倍にした区を、それぞれでん粉粕2倍区、焼酎粕2倍区、標準2倍区とした。肥料を施用しない無肥料区を設けた。各試験区の肥料成分施用量は、表7-3に示した。なおpHを6.5に矯正するのに必要な量として、苦土石灰を1ポットあたり0.8g施用した。

2010年4月14日に前述の試験区を設定し、コマツナ(「照彩小松菜」トーホク)種子を1ポットあたり3か所に5粒の種子を播種した。4月23日に間引きを行い、1ポットあたり3株とした。その後生育が鈍り、窒素飢餓の症状がみられたので(写真7-1)、5月7日に土壌を採取し、定法に従ってpHと電気伝導度(EC)を測定した。ハーパー法<sup>4)</sup>に準じて無機態窒素を定量した。

表 7-3 廃菌床を施用したコマツナ栽培試験の区の設定

| 試験区名   | 資材施用量<br>(g/ポット) | 肥料成分投入量(mg/ポット) |                               |                  |
|--------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
|        |                  | N               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 標準     | 41.2             | 200             | 149                           | 42               |
| 標準2倍   | 82.4             | 400             | 298                           | 83               |
| 焼酎粕    | 9.8              | 200             | 54                            | 108              |
| 焼酎粕2倍  | 19.6             | 400             | 109                           | 216              |
| でん粉粕   | 8.2              | 200             | 51                            | 56               |
| でん粉粕2倍 | 16.4             | 400             | 101                           | 111              |
| 化学肥料   |                  | 200             | 150                           | 150              |
| 無肥料    |                  | 0               | 0                             | 0                |

化学肥料区は硫酸アンモニウム、リン酸三ナトリウム、塩化カリウムを施用した。全てのポットにはpH=6.5に調整するために0.8gの苦土石灰を施用した。



写真 7-1 廃菌床を施用した小松菜の生育 (2010年5月7日)

#### (6) 廃菌床を施用して期間を置いた場合及び廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥を施用したコマツナ栽培試験

栽培には (5) と同様のポットと土壌を用いた。2010年7月29日に、(5) で設定した区のうち化学肥料区と無肥料区を除いた区を作った。土壌が乾燥したら適宜かん水しながら、ガラス温室内で放置した。

10月25日に、化学肥料区は (5) と同様に1ポットあたり窒素 200mg、リン酸、加里それぞれ 150mg 相当量を硫酸アンモニウム、リン酸三ナトリウム、塩化カリウムで施用した。0%牛ふん堆肥、5%牛ふん堆肥、10%牛ふん堆肥を1ポットあたり窒素 200mg 相

当量施用した区を、それぞれ0%牛ふん区、5%牛ふん区、10%牛ふん区とした。それぞれの牛ふん堆肥の施用量をその2倍にした区を、それぞれ0%牛ふん2倍区、5%牛ふん2倍区、10%牛ふん2倍区とした。各試験区の肥料成分投入量は、表7-4に示した。なおpHを6.5に矯正するのに必要な量として、苦土石灰を1ポットあたり0.8g施用した。7月29日に設定し放置していた廃菌床の試験区も合わせて、コマツナ（「照彩小松菜」トーホク）種子を1ポットあたり3か所に5粒の種子を播種した。11月2日に間引きを行い、1ポットあたり3株とした。

表7-4 廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥を施用したコマツナ栽培試験の区の設定

| 試験区名     | 資材施用量<br>(g/ポット) | 肥料成分投入量(mg/ポット) |                               |                  |
|----------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
|          |                  | N               | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 0%牛ふん    | 23.9             | 200             | 191                           | 207              |
| 0%牛ふん2倍  | 47.8             | 400             | 382                           | 413              |
| 5%牛ふん    | 20.7             | 200             | 176                           | 177              |
| 5%牛ふん2倍  | 41.4             | 400             | 352                           | 354              |
| 10%牛ふん   | 20.1             | 200             | 218                           | 194              |
| 10%牛ふん2倍 | 40.1             | 400             | 437                           | 389              |
| 化学肥料     |                  | 200             | 150                           | 150              |
| 無肥料      |                  | 0               | 0                             | 0                |

化学肥料区は硫酸アンモニウム、リン酸三ナトリウム、塩化カリウムを施用した。全てのポットにはpH=6.5に調整するために0.8gの苦土石灰を施用した。

播種時の各試験区の土壌を採取し、定法に従ってpHと電気伝導度(EC)を測定した。ハーパー法<sup>4)</sup>に準じて無機態窒素を定量した。風乾土を試料としてセミマイクロSchollenberger法<sup>5)</sup>に準じて酢酸アンモニウム溶液で土壌を交換・浸出し、浸出液中のカリウム、カルシウム、マグネシウム濃度を原子吸光光度計(AA890 日本ジャーレルアッシュ社製)により測定し、交換性カリウム・カルシウム・マグネシウム含量を定量した。酢酸アンモニウム浸出した土壌の塩化ナトリウム浸出液を水蒸気蒸留しアンモニア含量を測定し、陽イオン交換容量を定量した。可給態リン酸含量は、Truog法<sup>6)</sup>に準じて定量した。

12月7日に株ごとに草丈と葉数を測定し、12月9日に収穫した。地上部を切り取り、根部は土壌から取り出し洗浄し、それぞれ通風乾燥した。風乾重を測定後、粉碎した。全窒素は、サリチル硫酸分解法<sup>3)</sup>に準じて分解し、分解液中のアンモニアを蒸留して定量した。カリウム、カルシウム、マグネシウム含量は、硝酸と過塩素酸による湿式灰化法<sup>1)</sup>による分解液を原子吸光光度計(AA890 日本ジャーレルアッシュ社製)により濃度を測定し定量した。リン含量は硝酸と過塩素酸による湿式灰化法による分解液を、バナドモリブデン酸法<sup>2)</sup>に準じてリン濃度を測定し定量した。

### 7-3 結果と考察

#### (1) きのご栽培廃菌床の肥料成分等の含有量

表 7-5 にきのご栽培廃菌床の肥料成分等の含有量を示した。窒素含有量は、標準廃菌床で 4.87mg/g と非常に低かったのに対し、でん粉粕廃菌床で 26.8 mg/g 焼酎粕廃菌床で 22.4mg/g と高かった。これに伴い C/N 比も標準廃菌床では 88.9 と高く、農地に施用して作物を栽培した場合窒素飢餓の発生が懸念されるのに対して、でん粉粕廃菌床は 14.3 焼酎粕廃菌床は 19.4 と大幅に低くなった。

また廃菌床のリン含有量は 1mg/g 前後、カリウム含有量は 5mg/g 以下と非常に少なく、農地に施用する際にこれらの栄養元素の不足も懸念された。

表 7-5 きのご栽培廃菌床の肥料成分等の含有量 (mg/g)

|         | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | C   | C/N比 |
|---------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 標準廃菌床   | 4.87 | 0.79 | 0.42 | 7.57 | 0.89 | 433 | 88.9 |
| 焼酎粕廃菌床  | 22.4 | 1.21 | 4.58 | 10.6 | 0.96 | 435 | 19.4 |
| でん粉粕廃菌床 | 26.8 | 1.35 | 2.82 | 22.8 | 1.09 | 383 | 14.3 |

#### (2) 廃菌床を給餌した牛の牛ふんの堆肥化の効果

廃菌床をそのまま農地還元するだけでなく、より高度な多段階利用を目指して牛の飼料に混合して牛に給餌し、その牛の排泄した牛ふんを堆肥化して農地に還元する方法について検討した。焼酎粕廃菌床を牛の飼料に 5%及び 10%の割合で混合して給餌し、給餌した期間に排泄された牛ふんを回収し、小型堆肥化実験装置で堆肥化を行った。

図 7-1 に堆肥化中の温度の変化を示した。堆肥化実験装置に材料をセットして 1 週間の間に、0%牛ふんで 50°C、5%牛ふんと 10%牛ふんで 65°Cまで温度が上昇したが、その後は切り返し後にわずかな上昇は見られるものの、概ね気温より数°C高い程度で推移した。0%牛ふんで初期の温度上昇が小さかったのは、実験の実施時期の気温が低かったことによるものと考えられる。

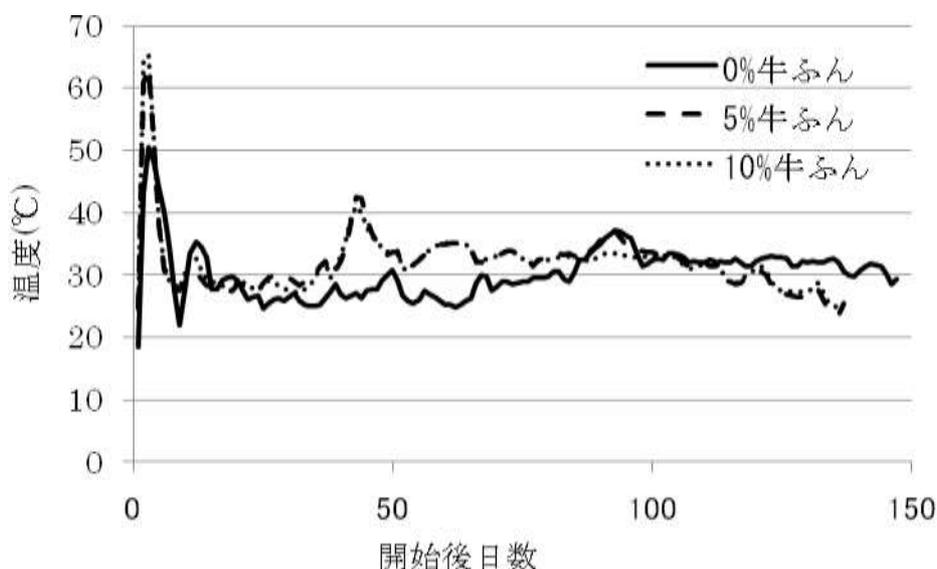


図 7-1 堆肥化中の温度の推移

図 7-2 に堆肥化中の炭素と窒素含有率の推移を、図 7-3 はそれに伴う炭素率 (C/N 比) の推移を示した。試料とした何れの牛ふんも、水分調整のためにエリンギ廃菌床を混合し堆肥化原料とした時点で炭素含有率は 45~46%、窒素含有率は 1.8~1.9% (いずれも乾物あたり) であった。牛ふんにより含有率変化の時期は異なったが、いずれの堆肥においても炭素含有率は低下し窒素含有率は上昇し、堆肥化終了時で炭素含有率は 41~44%、窒素含有率は 2.5~3.0% となり、炭素率も 25 前後から 14~17 程度まで低下し、ある程度良好な堆肥が製造できたと判断された。材料とした牛ふんにより堆肥化中の炭素や窒素の含有率の推移に違いがみられたが、これは今回の試験製造装置における試験的製造で見られたことであり、再現性がみられるかもわからないので検討の対象とはならないと判断している。

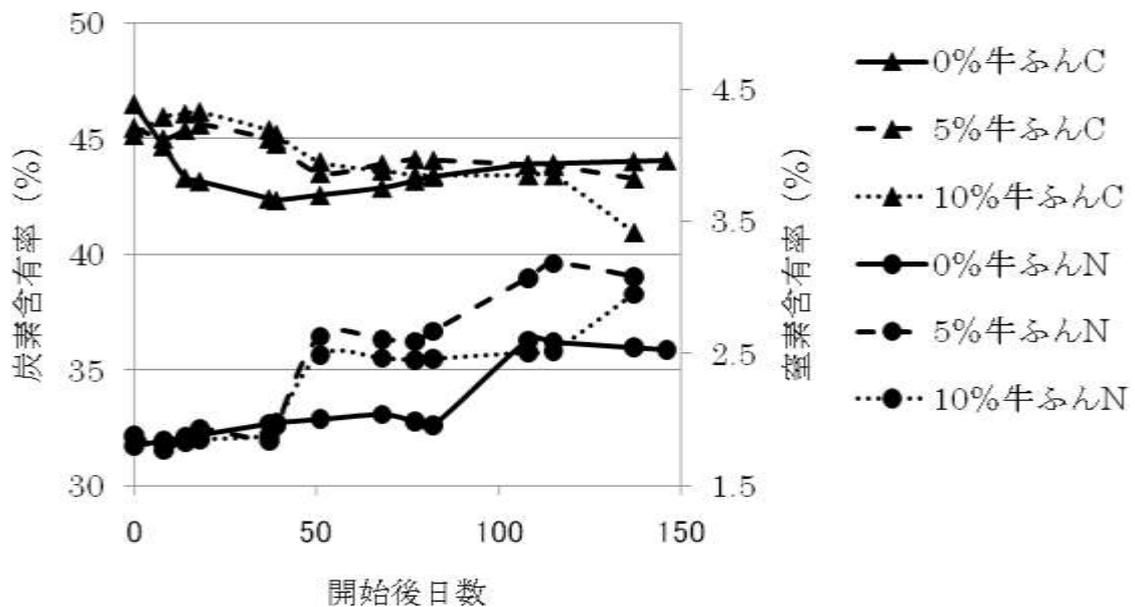


図 7-2 堆肥化中の炭素と窒素含有率の推移

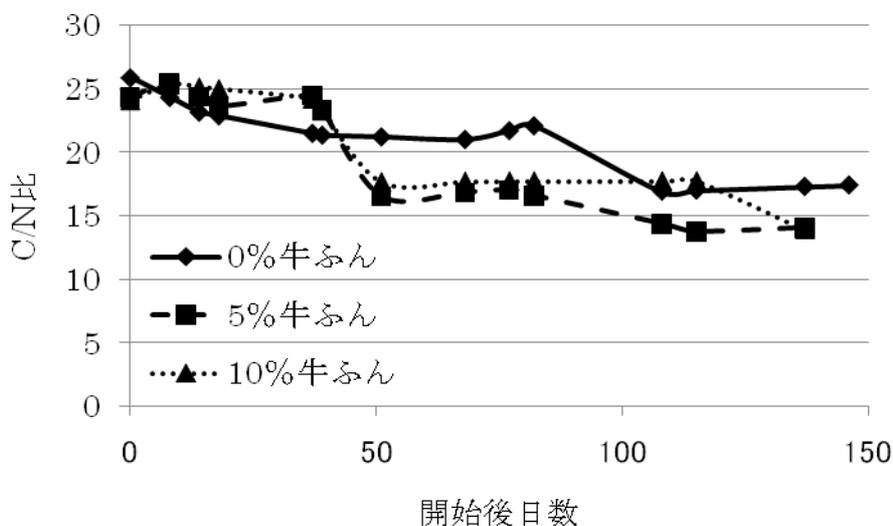


図 7-3 堆肥化中の炭素率の推移

表 7-5 に製造した牛ふん堆肥の肥料成分等の含有量を示した。焼酎粕廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥の窒素含有量は 30mg/g 前後であり、焼酎粕廃菌床で 22.4mg/g に比べると高まった。これに伴い C/N 比も 14 前後と、焼酎粕廃菌床の 19.4 に比べて低くなった。リンやカリウムの含有率も高まり、農地に肥料として施用しやすくなったと判断される。

表 7-6 に供試した廃菌床そのものの、表 7-7 に焼酎粕廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥のコマツナによる簡易発芽試験の結果を示した。でん粉粕、焼酎粕、標準の何れの廃菌床も発芽率が対照（水）に対して 80～90%であり、発芽した種子の外観評価も 3.2 点で、発芽率と合わせた総合評価で 7.2 点とやや植物の生育阻害が懸念される結果となった。これに対して焼酎粕を給餌した牛の牛ふん堆肥では、発芽率はほぼ 100%であり、発芽した種子の外観評価も 4.6～4.7 点、総合評価も 9.6～9.7 点で植物の生育阻害の恐れはなかった。

従ってきのこ栽培廃菌床をそのまま農地還元するよりは、廃菌床を飼料として牛に給餌し排泄される牛ふんを堆肥化し農地に還元する方が、肥料成分の面からも植物の生育阻害の懸念の面からも優れた方法であると考えられた。

表 7-5 廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥の肥料成分等の含有量 (mg/g)

|          | N    | P    | K    | Ca   | Mg   | C   | C/N比 |
|----------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 0%牛ふん堆肥  | 25.3 | 5.27 | 10.9 | 19.0 | 2.83 | 441 | 17.4 |
| 5%牛ふん堆肥  | 30.8 | 5.92 | 11.3 | 20.5 | 3.16 | 433 | 14.0 |
| 10%牛ふん堆肥 | 29.5 | 7.02 | 11.9 | 23.1 | 3.18 | 409 | 13.9 |

表 7-6 きこの栽培廃菌床抽出液によるコマツナ発芽試験の成績

|         | 発芽率         | 発芽率評価点 | 外観評価点     | 総合評価 |
|---------|-------------|--------|-----------|------|
| 標準廃菌床   | 83.3 ± 10.7 | 4      | 3.2 ± 0.5 | 7.2  |
| 焼酎粕廃菌床  | 90.0 ± 6.8  | 4      | 3.2 ± 0.2 | 7.2  |
| でん粉粕廃菌床 | 85.0 ± 11.7 | 4      | 3.2 ± 0.1 | 7.2  |
| 水(対照)   | 100         | 5      | 4.2 ± 0.2 | 9.2  |

4枚のシャーレの平均値を示した。誤差範囲は標準偏差で示した。

表 7-7 廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥抽出液によるコマツナ発芽試験の成績

|          | 発芽率         | 発芽率評価点 | 外観評価点     | 総合評価 |
|----------|-------------|--------|-----------|------|
| 0%牛ふん堆肥  | 100.0 ± 1.7 | 5      | 4.7 ± 0.2 | 9.7  |
| 5%牛ふん堆肥  | 101.5 ± 0.0 | 5      | 4.7 ± 0.1 | 9.7  |
| 10%牛ふん堆肥 | 99.5 ± 2.0  | 5      | 4.6 ± 0.1 | 9.6  |
| 水(対照)    | 100         | 5      | 4.7 ± 0.1 | 9.7  |

4枚のシャーレの平均値を示した。誤差範囲は標準偏差で示した。

### (3) 焼酎粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナの生育

写真 7-2 に、収穫直前の 12 月 22 日のコマツナの生育状況を示した。コマツナの生育は化学肥料区で最もよく、焼酎粕 4 倍区がそれに次いだ。焼酎粕区は施用量に応じて生育が

よくなり、標準施用量の区では無肥料区とほとんどかわらなかった。フスマ区は無肥料区よりも生育が劣り、施用量の多いフスマ2倍区の方が、生育が悪かった。フスマ区のコマツナは葉色も薄かった。

表7-8に、収穫時のコマツナの草丈、葉数と収穫時の乾物重を示した。草丈は化学肥料区が最も大きく、焼酎粕区がこれに次ぎ、フスマ区は無肥料区と差がなかった。葉数も同様の傾向であった。地上部乾物重も化学肥料区が最も大きく、焼酎粕4倍区がこれに次ぎ、焼酎粕2倍区・焼酎粕区・無肥料区は差がなかった。フスマ区は無肥料区よりも乾物重が小さく、フスマ2倍区が最も小さかった。焼酎粕廃菌床は施用量を増やすとコマツナの生育を増進したが、4倍の施用量でも化学肥料に及ばなかった。フスマ廃菌床の施用は、コマツナの生育を抑制した。



写真7-2 焼酎粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナの生育

表7-8 焼酎粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナの生育

|       | 12月24日      |            | 乾物重         |             |
|-------|-------------|------------|-------------|-------------|
|       | 草丈(cm)      | 葉数(枚)      | 地上部(g)      | 根(g)        |
| 焼酎粕   | 22.2 ± 0.13 | 6.4 ± 0.18 | 3.02 ± 0.17 | 0.65 ± 0.25 |
| 焼酎粕2倍 | 21.5 ± 1.30 | 5.8 ± 0.18 | 2.83 ± 0.25 | 0.58 ± 0.06 |
| 焼酎粕4倍 | 23.4 ± 1.16 | 7.2 ± 0.47 | 3.22 ± 0.23 | 0.51 ± 0.07 |
| フスマ   | 20.1 ± 0.69 | 6.0 ± 0.31 | 2.40 ± 0.16 | 0.49 ± 0.15 |
| フスマ2倍 | 19.6 ± 2.00 | 6.1 ± 0.47 | 2.18 ± 0.24 | 0.63 ± 0.14 |
| 化学肥料  | 26.0 ± 0.30 | 7.2 ± 0.64 | 4.42 ± 0.21 | 0.80 ± 0.27 |
| 無肥料   | 19.4 ± 0.13 | 6.3 ± 0.31 | 3.01 ± 0.40 | 0.60 ± 0.12 |

9個体の平均値で示した。誤差範囲は標準偏差を示した。

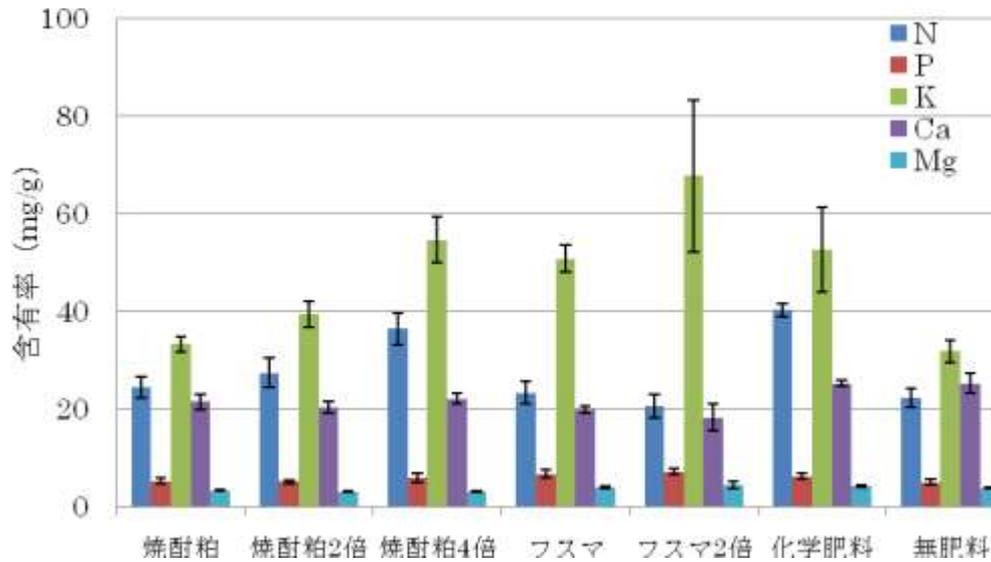


図 7-4 焼酎粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナの地上部養分含有率

図 7-4 に、コマツナ地上部の養分元素の含有率を示した。フスマ 2 倍区は無肥料区よりも窒素含有率が低く、フスマ区も低い傾向であった。フスマ廃菌床を施用した区のコマツナは葉色も薄かったことから、窒素欠乏状態になっていたものと考えられる。焼酎粕廃菌床を施用した区の窒素含有率は化学肥料区よりも低く、窒素で 4 倍量施用した焼酎粕 4 倍区でもやや低い傾向があり、焼酎粕廃菌床中の窒素の肥効はあまり高くないと考えられる。なおフスマ廃菌床を施用した区でカリウム含有率が高いのは、生育が悪かったことによる濃縮効果と考えられる。

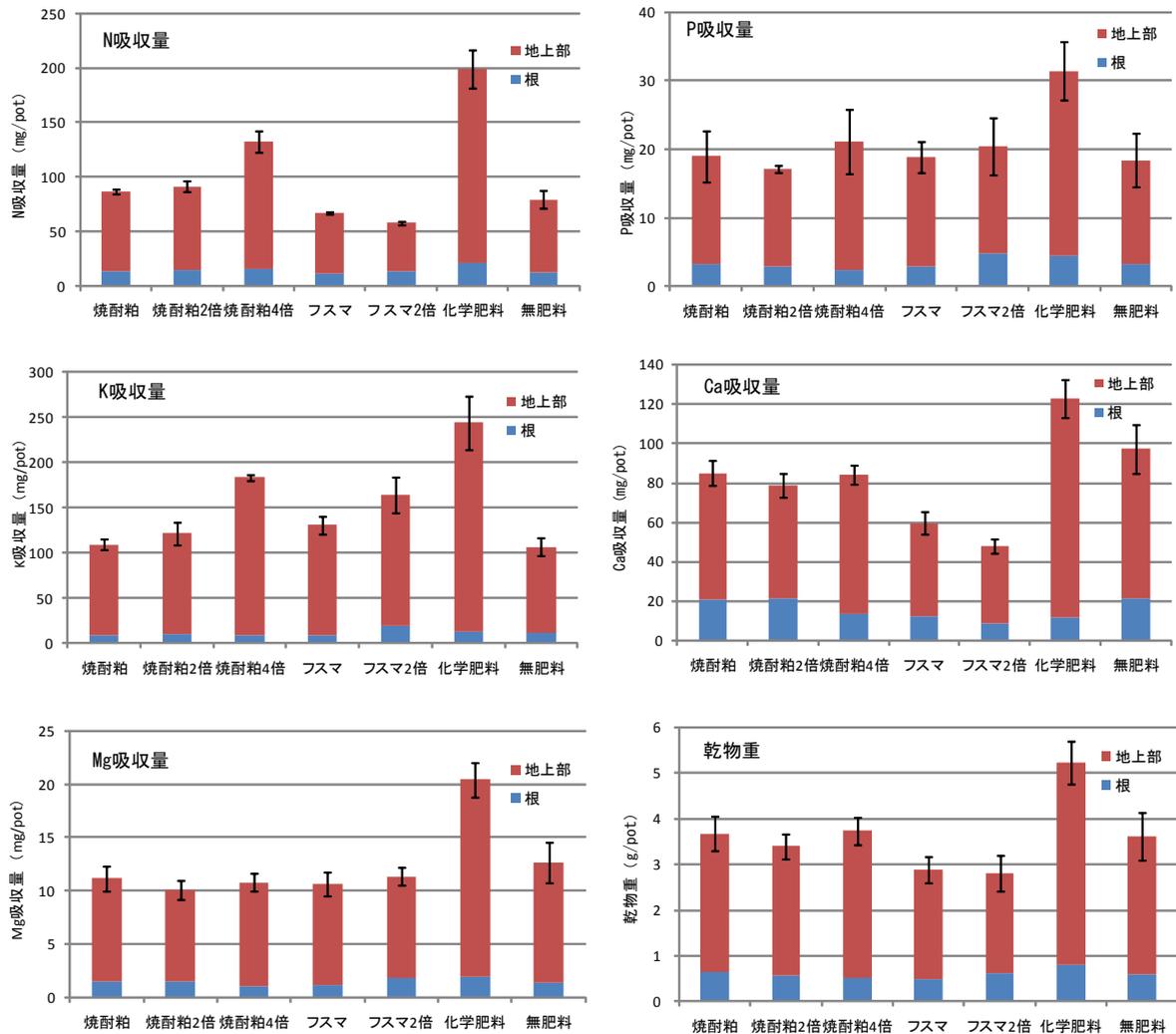


図 7-5 烧耐粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナの養分吸収量

図 7-5 に、コマツナの養分元素の吸収量を示した。窒素吸収量は化学肥料区が最も大きく、烧耐粕 4 倍区がこれに次ぎ、烧耐粕 2 倍区、烧耐粕区、無肥料区の順であった。烧耐粕 4 倍区でも化学肥料区より有意に小さく、烧耐粕廃菌床の窒素の肥効は化学肥料に比べかなり劣るものと思われる。フスマ区は無肥料区よりも窒素吸収量が小さく、土壌窒素の有機化が起こっている可能性がある。カリウム吸収量はフスマ区でも無肥料区より多く、それなりのカリウムの肥効はあったと思われるが、ポットあたりのカリウム施用量としては化学肥料区より多いにもかかわらず吸収量は化学肥料区より少なかったことから、カリウムの肥効も化学肥料よりは劣るものと考えられる。フスマ使った標準廃菌床はリンの含有率が高く、標準廃菌床を施用した区はリンの施用量が多かったにもかかわらず吸収量は無肥料区とほとんどかわらなかった。一方烧耐粕廃菌床はリンの含有率が低く、リン吸収量は無肥料区とほとんど同じレベルであった。烧耐粕廃菌床を施用した区はコマツナのリン含有率も低く、このことが生育の阻害要因になった可能性がある。カルシウムやマグネシウム吸収量も、烧耐粕廃菌床または標準廃菌床を施用した区は無肥料区と差がなく、カルシウムやマグネシウムの肥効もなかったものと考えられる。

表 7-9 焼酎粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナ栽培試験の播種前の土壌化学性

|       | pH  | EC<br>(mS/m) | 無機態窒素(mg/kg)    |                 | CEC<br>(cmol <sub>c</sub> /100g) | 交換性塩基(cmol/kg) |      |      | 可給態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(mg/kg) |
|-------|-----|--------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------|------|------|---|
|       |     |              | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> |                                  | Ca             | Mg   | K    |   |
| 焼酎粕   | 6.3 | 23.4         | 8.8             | 149.1           | 5.97                             | 2.74           | 0.32 | 0.57 | 672   |
| 焼酎粕2倍 | 6.3 | 24.8         | 4.2             | 165.6           | 6.12                             | 3.56           | 0.37 | 0.81 | 644   |
| 焼酎粕4倍 | 5.9 | 48.2         | 3.2             | 243.2           | 7.13                             | 4.05           | 0.40 | 1.15 | 661   |
| フスマ   | 6.3 | 16.8         | 0.9             | 112.9           | 6.71                             | 3.23           | 0.56 | 0.94 | 878   |
| フスマ2倍 | 6.4 | 16.4         | 1.9             | 79.4            | 6.69                             | 3.40           | 0.78 | 1.28 | 1192  |
| 化学肥料  | 5.1 | 61.2         | 1.6             | 256.2           | 6.11                             | 2.94           | 0.37 | 0.82 | 695   |
| 無肥料   | 6.0 | 17.1         | 0.7             | 105.2           | 5.94                             | 2.52           | 0.30 | 0.41 | 671   |

表 7-10 焼酎粕・フスマ廃菌床を施用したコマツナ栽培試験の栽培後の土壌化学性

|       | pH  | 無機態窒素(mg/kg)    |                 | CEC<br>(cmol <sub>c</sub> /100g) | 交換性塩基(cmol/kg) |      |      | 可給態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(mg/kg) |
|-------|-----|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------|------|------|---|
|       |     | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> |                                  | Ca             | Mg   | K    |   |
| 焼酎粕   | 6.7 | 3.0             | 27.8            | 6.50                             | 3.31           | 0.36 | 0.26 | 593   |
| 焼酎粕2倍 | 6.8 | 6.3             | 17.0            | 6.83                             | 3.59           | 0.39 | 0.33 | 599   |
| 焼酎粕4倍 | 6.7 | 5.9             | 91.2            | 7.44                             | 4.06           | 0.41 | 0.37 | 615   |
| フスマ   | 6.8 | 6.1             | 12.6            | 6.75                             | 3.32           | 0.56 | 0.42 | 868   |
| フスマ2倍 | 6.7 | 3.0             | 23.3            | 6.34                             | 2.71           | 0.63 | 0.52 | 1130  |
| 化学肥料  | 5.9 | 5.2             | 10.6            | 5.44                             | 2.86           | 0.33 | 0.23 | 653   |
| 無肥料   | 6.8 | 1.5             | 3.5             | 5.48                             | 2.67           | 0.30 | 0.20 | 644   |

表 7-9 と表 7-10 に、それぞれ栽培前と栽培後の土壌化学性の分析結果を示した。栽培前土壌において、フスマを含む廃菌床を施用した区は無機態窒素の含量が少なくなっており、特にフスマ 2 倍区は無肥料区よりも少なく、無機態窒素の有機化が起こっていたものと思われる。焼酎粕廃菌床を施用した区では、施用量が増えるに従って無機態窒素含量が増加しているが、窒素換算の施用量が4倍でも、無機態窒素含量は化学肥料区と同等であり、焼酎粕廃菌床中の窒素の肥効はそれほど高くないものと考えられる。栽培後の土壌において、焼酎粕廃菌床を施用した区ではやや可給態リン酸が少ない傾向がみられ、焼酎粕廃菌床ではリン含量が少ないことも、化学肥料に比べて肥効が劣る要因になっているものと思われる。

#### (4) でん粉粕・焼酎粕・標準廃菌床を施用した場合のコマツナの生育

でん粉粕廃菌床、焼酎粕廃菌床、標準廃菌床を窒素として 1 ポットあたり 200mg 施用して、すぐにコマツナを播種して栽培すると、写真 7-1 に示したように播種後 3 週目頃より生育が停止し、葉が黄化して強い窒素飢餓の様相を示した。特に C/N 比の高かった標準廃菌床を施用した区では顕著であり、やや窒素含量が高く C/N 比の低いでん粉粕廃菌床を施用した区ではやや窒素飢餓の症状が軽かった。

表 7-11 に 5 月 7 日採取した土壌の pH、EC、無機態窒素含量を示した。廃菌床を施用したいずれの区でも、無肥料区よりも EC は低く、無機態窒素はほとんど含まれておらず、生育不良の原因が窒素飢餓であることを示していた。

標準廃菌床は表 7-5 に示したように C/N 比が 88.9 と非常に高く、窒素飢餓が起こるのは当然と考えられるが、焼酎粕廃菌床は 19.4、でん粉粕廃菌床は 14.3 とそれほど高くな

く、これほど強い窒素飢餓起こるのは C/N 比からだけでは説明できない。焼酎粕やでん粉粕を利用した廃菌床中にはこれらに由来するアミノ酸や有機酸などの易分解性有機物が豊富に存在することが考えられ、そのことが窒素飢餓を誘発する要因となっている可能性がある。

窒素飢餓は微生物によって資化されやすい有機物が土壤に投入された時、土壤中の無機態窒素が植物に利用されない有機態窒素となることにより起こる。(3) の栽培試験で、焼酎粕廃菌床やフスマを含む標準廃菌床を施用して栽培したにも関わらず激しい窒素飢餓がみられなかったのは、栽培時期が冬季の地温が低い時期であったため微生物の活動がそれほど活発ではなく、無機態窒素の有機化も緩やかであったためと考えられる。また有機態となった窒素は時間の経過とともに徐々に無機化され、再び植物に利用される形態となる。したがって施用してすぐ作物を栽培した場合窒素飢餓が見られた廃菌床も、施用した後無機態窒素の有機化が終わり、次第に無機化が起こるようになった後に作物を播種すれば、窒素飢餓を回避して栽培することができるものと考えられる。

表 7-11 廃菌床を施用したコマツナ栽培土壤の化学性

| 試験区    | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | EC<br>(mS/m) | 無機態窒素 (m)          |                    |
|--------|--------------------------|--------------|--------------------|--------------------|
|        |                          |              | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N |
| 標準     | 6.2                      | 4.9          | 7.2                | 2.9                |
| 標準2倍   | 6.3                      | 5.5          | 7.2                | 2.2                |
| 焼酎粕    | 6.2                      | 4.1          | 6.6                | 2.2                |
| 焼酎粕2倍  | 6.3                      | 5.1          | 7.3                | 5.1                |
| でん粉粕   | 6.3                      | 4.3          | 7.2                | 2.9                |
| でん粉粕2倍 | 6.2                      | 5.8          | 8.0                | 2.9                |
| 化学肥料   | 4.9                      | 37.9         | 6.5                | 284.8              |
| 無肥料    | 5.8                      | 5.7          | 5.8                | 36.3               |

#### (5) 廃菌床を施用して期間を置いた場合及び廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥を施用した場合のコマツナの生育

写真 7-3 に、化学肥料区と各種廃菌床を施用した区の収穫時のコマツナの様子を示した。化学肥料区が最も生育がよく、でん粉粕廃菌床を施用した区がこれに次、標準区が最も生育が悪かった。写真 7-4 に、化学肥料区と各牛ふん堆肥区の収穫時のコマツナの様子を示した。化学肥料区に比べると牛糞堆肥を施用した区のコマツナは生育が劣ったが、0%牛ふん区と 5%牛ふん区の間には差が無く、10%牛ふん区は最も生育が悪かった。表 7-12 に、収穫時の各区のコマツナの草丈と葉数を示した。コマツナの草丈は化学肥料区が最も大きく、でん粉粕 2 倍区、でん粉粕区がこれに次、標準区は最も小さくなった。牛ふん堆肥を施用した区についてみると、0%牛ふん堆肥と 5%牛ふん堆肥を施用した区はでん粉粕区と同程度であり、10%牛ふん堆肥を施用した区は草丈が小さかった。葉数は化学肥料区が 6.9 枚で最も多く、標準区が 4.4 枚で最も少なかったが、その他の区は 6 枚前後で差は無かった。



写真 7-3 廃菌床施用後期間をおいて栽培した場合のコマツナの生育



写真 7-4 廃菌床を給餌した牛の牛ふん堆肥を施用した場合のコマツナの生育

図 7-6 に収穫時のコマツナの乾物重を示した。化学肥料区が根部、地上部とも乾物重が有意に他の区より大きく、標準区は地上部の乾物重が他の区より有意に小さかった。その他の区の間では、0%牛ふん堆肥や5%牛ふん堆肥を施用した区の地上部乾物重が他の区よりやや大きかった。草丈や葉数の結果と合わせて考えるとコマツナの生育は、化学肥料区が最もよく、0%牛ふん堆肥と5%牛ふん堆肥を施用した区がこれに次、10%牛ふん堆肥やでん粉粕廃菌床や焼酎粕廃菌床を施用した区がこれに次、標準廃菌床を標準量施用した区は生育が悪かった。0%牛ふん堆肥と5%牛ふん堆肥を施用した区では、施用量が2倍になると生育がよくなったが、その他の区では施用量が2倍になっても生育は変わらなかった。

図 7-7 にコマツナの窒素含有率を示した。化学肥料区とでん粉粕廃菌床は、地上部の窒素含有率が他の区の2倍程度と高かった。一方10%牛ふん堆肥を施用した区や標準区は、地上部の窒素含有率が低い傾向であり、生育の良否と地上部の窒素含有率とは関連があり、

窒素供給の多寡がコマツナの生育に最も影響を及ぼしたと考えられる。コマツナのリン、カリウム、カルシウム、マグネシウムの含有率（データは示していない）と生育との関係は、はっきりとした傾向は見られなかった。

表 7-12 廃菌床、廃菌床を給餌した牛ふん堆肥施用によるコマツナの生育

|          | 草丈         | 葉数        |
|----------|------------|-----------|
| 標準       | 12.8 ± 1.6 | 4.4 ± 0.5 |
| 標準2倍     | 21.8 ± 2.4 | 5.8 ± 0.8 |
| 焼酎粕      | 20.9 ± 1.9 | 5.9 ± 0.7 |
| 焼酎粕2倍    | 20.3 ± 1.4 | 5.7 ± 0.5 |
| でん粉粕     | 23.0 ± 3.6 | 6.0 ± 0.5 |
| でん粉粕2倍   | 26.1 ± 3.5 | 5.9 ± 0.6 |
| 0%牛ふん    | 23.7 ± 1.7 | 5.9 ± 0.3 |
| 0%牛ふん2倍  | 23.4 ± 2.2 | 6.3 ± 0.8 |
| 5%牛ふん    | 22.0 ± 1.7 | 6.4 ± 0.5 |
| 5%牛ふん2倍  | 22.3 ± 1.4 | 5.9 ± 0.6 |
| 10%牛ふん   | 19.9 ± 0.8 | 6.6 ± 0.5 |
| 10%牛ふん2倍 | 18.4 ± 1.6 | 5.7 ± 0.8 |
| 化学肥料     | 29.1 ± 1.3 | 6.9 ± 0.6 |

9個体の平均値を示した。誤差範囲は標準偏差で示した。

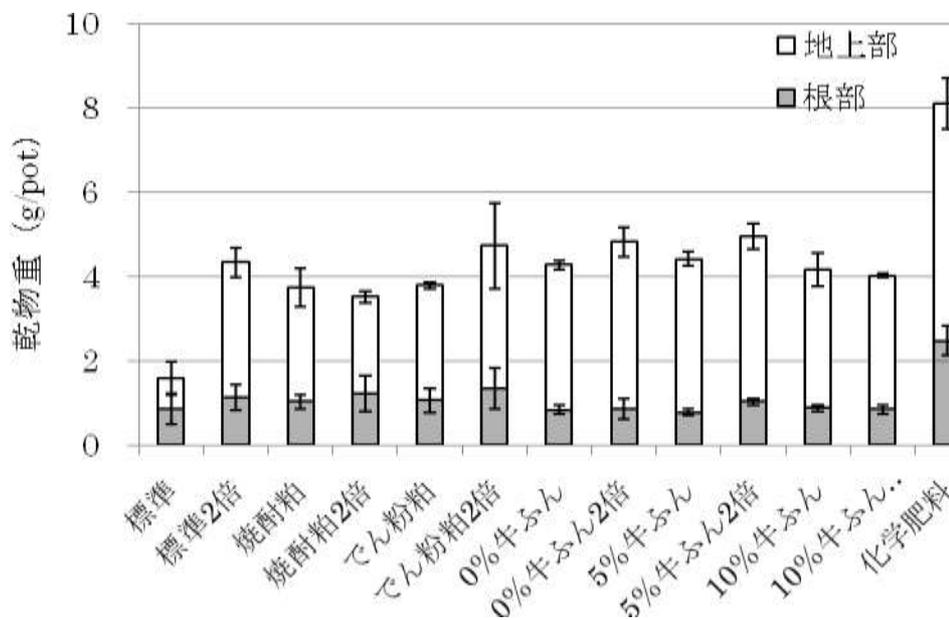


図 7-6 廃菌床、廃菌床を給餌した牛ふん堆肥施用によるコマツナの乾物重

表 7-13 に播種時の土壌化学性を示した。標準区は EC が低く、無機態窒素含量が 7.9mg/kg と少なく、標準区のコマツナの生育が劣ったのは窒素供給が少なかったためだと

考えられた。これに対して化学肥料区は無機態窒素含量 320mg/kg あまりと高く、このためコマツナ生育がよかったものと考えられる。牛ふん堆肥を施用した区では施用量が2倍の区のほうが、無機態窒素が多く、このために0%牛ふん堆肥や5%牛ふん堆肥を施用した区では、施用量2倍区の方がコマツナの乾物重が大きかった。10%牛ふん堆肥区の無機態窒素含量は0%牛ふん堆肥区や5%牛ふん堆肥区と差は無く、コマツナの生育がやや劣ったのは窒素供給量が少なかったことによるわけではないと考えられた。一方焼酎粕廃菌床とでん粉粕廃菌床を施用した区では、施用量が2倍になっても無機態窒素含量はほとんど増加せず、施用後3か月の間に一度有機化された窒素が無機化されて出てきた窒素に由来することを示していると考えられる。

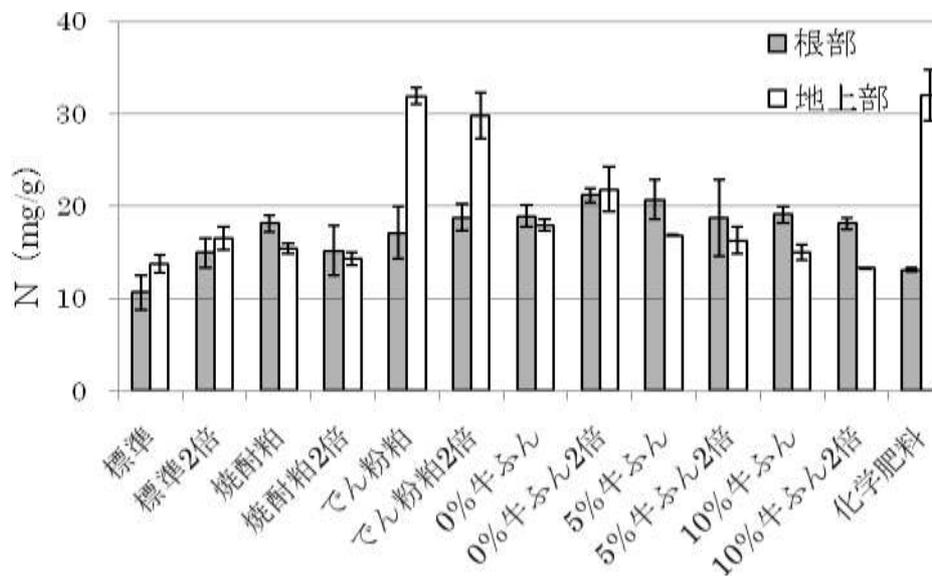


図 7-7 廃菌床、廃菌床を給餌した牛ふん堆肥施用によるコマツナの窒素含有率

表 7-10 廃菌床、廃菌床を給餌した牛ふん堆肥施用栽培試験の播種時の土壌化学性

| 試験区      | pH (H <sub>2</sub> O) | EC (mS/m) | 無機態窒素 (mg/kg)      |                    | 可給態リン酸 (mg/kg) | 交換性塩基 (cmol/kg) |      |      | CEC (cmol <sub>c</sub> /kg) |
|----------|-----------------------|-----------|--------------------|--------------------|----------------|-----------------|------|------|-----------------------------|
|          |                       |           | NH <sub>4</sub> -N | NO <sub>3</sub> -N |                | Ca              | Mg   | K    |                             |
| 標準       | 6.3                   | 5.8       | 3.6                | 4.3                | 110            | 7.30            | 0.96 | 1.05 | 12.6                        |
| 標準2倍     | 6.7                   | 7.1       | 3.6                | 83.4               | 123            | 8.07            | 1.29 | 0.98 | 12.8                        |
| 焼酎粕      | 5.7                   | 11.8      | 0.7                | 78.0               | 109            | 4.75            | 0.54 | 1.16 | 12.0                        |
| 焼酎粕2倍    | 6.0                   | 13.7      | 3.6                | 80.1               | 109            | 5.49            | 0.68 | 1.37 | 12.1                        |
| でん粉粕     | 5.6                   | 17.7      | 3.6                | 130.5              | 110            | 6.22            | 0.61 | 1.06 | 12.5                        |
| でん粉粕2倍   | 5.9                   | 19.3      | 2.2                | 128.5              | 108            | 6.75            | 0.60 | 1.09 | 12.5                        |
| 0%牛ふん    | 5.9                   | 19.0      | 0.7                | 133.2              | 82             | 5.98            | 1.00 | 1.21 | 12.2                        |
| 0%牛ふん2倍  | 6.0                   | 27.0      | 0.7                | 188.3              | 150            | 5.85            | 1.04 | 1.67 | 12.5                        |
| 5%牛ふん    | 5.7                   | 18.2      | 1.5                | 113.5              | 117            | 5.45            | 0.93 | 1.25 | 12.3                        |
| 5%牛ふん2倍  | 5.9                   | 20.6      | 3.7                | 177.4              | 121            | 5.29            | 0.90 | 1.27 | 12.3                        |
| 10%牛ふん   | 5.7                   | 16.3      | 3.6                | 114.8              | 109            | 4.99            | 0.77 | 1.05 | 11.8                        |
| 10%牛ふん2倍 | 5.9                   | 19.3      | 2.2                | 174.2              | 123            | 5.46            | 0.83 | 1.28 | 12.3                        |
| 化学肥料     | 5.1                   | 53.2      | 3.6                | 320.3              | 99             | 5.71            | 0.90 | 1.58 | 12.2                        |

#### 7-4 おわりに

本研究では、焼酎粕、でん粉粕をきこの栽培に利用した後の廃菌床を有効に活用する方法として、肥料としての農地還元について検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 焼酎粕やでん粉粕を利用した廃菌床は標準廃菌床に比べて窒素含有率が高く、炭素率が低いので、フスマを利用した標準廃菌床よりは農地還元しやすいものと考えられた。
- 2) 廃菌床を施用してコマツナを栽培すると、いずれの廃菌床でも窒素飢餓がみられた。焼酎粕廃菌床とでん粉粕廃菌床の炭素率は 20 以下であり、これらの施用で窒素飢餓がみられたのは易分解性の有機物が多いためではないかと考えられた。また地温の低い秋冬季に栽培すると、窒素不足の症状はみられたが窒素飢餓は起こらなかった。
- 3) 廃菌床を施用して 3 カ月ほど放置してコマツナを栽培すると窒素飢餓はみられず、土壌中の無機態窒素含量からみると、窒素の急激な有機化が終了し緩やかな無機化が起こるような状態になっているものと考えられた。
- 4) 廃菌床を給餌した牛の牛ふんは、通常の牛ふんと同様に堆肥化することができ、廃菌床に比べると窒素、リン、カリウムの含有率が高まり炭素率は低下して、より農地還元し易くなった。また堆肥化の際、廃菌床を水分調整資材として利用できることも実証できた。
- 5) 焼酎粕廃菌床やでん粉粕廃菌床、廃菌床を給餌した牛ふん堆肥でコマツナを栽培すると、窒素供給量が化学肥料区の 2 倍になるよう施用しても生育は化学肥料区に劣り、これは窒素供給が少ないことによるものであった。これらの資材の窒素肥効率を検討する必要があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 植物栄養実験法編集委員会：灰化法. 植物栄養実験法. pp125-128. 博友社, 東京. 1990.
- 2) 作物分析法委員会：全窒素. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. pp63-69. 養賢堂, 東京. 1975.
- 3) 作物分析法委員会：りん. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. pp69-73. 養賢堂, 東京. 1975.
- 4) 土壌環境分析法編集委員会：窒素. 土壌環境分析法. pp231-255. 博友社, 東京. 1997.
- 5) 土壌環境分析法編集委員会：土壌交換能 (CEC, AEC)、交換性陽イオン・陰イオン. 土壌環境分析法. pp208-222. 博友社, 東京. 1997.
- 6) 土壌環境分析法編集委員会：可給態リン酸. 土壌環境分析法. pp267-273. 博友社, 東京. 1997.