

## 副資材に竹チップを利用した堆肥製造の試み

河合 駿介<sup>1</sup>・大野 紗椰<sup>2,3</sup>・菊川 裕幸<sup>4</sup>・山下 多聞<sup>2</sup>

<sup>1</sup>島根大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup>島根大学生物資源科学部, <sup>3</sup>現 兵庫県立農業高校, <sup>4</sup>神戸学院大学現代社会学部

## Trial for compost production using bamboo chips as an auxiliary material

Shunsuke KAWAI<sup>1</sup>, Saya ONO<sup>2,3</sup>, Hiroyuki KIKUKAWA<sup>4</sup> and Tamon YAMASHITA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Natural Science and Technology, Shimane University, <sup>2</sup>Faculty of Life and Environmental Sciences, Shimane University, <sup>3</sup>Present: Hyogo Prefectural Agricultural High School, <sup>4</sup>Faculty of Contemporary Social Studies, Kobe Gakuin University

**Abstract** Abandoned bamboo forest is expanding and causes the social and environmental problems in Shimane Prefecture. We tried to find the way to utilize the expanding bamboo forest as resources, not as a troublemaker. Producing cow dung compost using bamboo culm chips is one of potential usage of bamboo in collaboration with husbandry in that area. We investigated the compost quality produced with various mixing ratio of fresh bamboo chips as an auxiliary material to cow dung. As results, highest temperature of the mixture of dung and bamboo chip was about 70°C during the first stage of fermentation. However, aerating operation following the first fermentation resulted lowering temperature during secondary fermentation or later. Lower temperature following the first fermentation suggested that composting processes seemed to end incompletely. Produced compost was served for cultivation experiments with Japanese mustard spinach. These cultivation experiments showed that compost produced with higher proportion of bamboo chip led greater biomass of plants, implying the compost with bamboo chip might enhance the growth rate. Our results revealed the bamboo chip has certain potential to replace the rice straws or husks when the chips were used as an auxiliary material to produce the cow dung compost.

**Keywords:** Abandoned bamboo forest, Bamboo culm chip, Composting, Cow dung,

### はじめに

タケ類は古くから工芸品や建材などの材料やタケノコを食用として利用されてきた。林野庁 (2024) によれば日本の竹林面積は 2022 年時点で約 17 万 5000 ha であり、九州地方と中国地方の竹林面積が大きい。島根県においても竹林面積は増加している (山中・笠松 2007)。各地で増加している竹林を構成するタケはイネ科マダケ属に属するマダケ *Phyllostachys reticulata* (Rupr.) K.Koch, ハチク *P. nigra* (Lodd. ex Loud.) Munro var. *henonis* (Mitford) Stapf ex Rendle, モウソウチク *P. edulis* (Carrière) Houz. などが知られている。それらのうちモウソウチクは 1700 年代に中国から移入され、カゴなどの日用品の原材料やタケノコ栽培のために利用されてきた。しかし、1970 年代にはいと安価な輸入タケノコやプラスチック製品の普及などによって竹林は利用されなくなった (柴田 2003, 鳥居 2003)。管理放棄された竹林は放置竹林と呼ばれ、社会学的、生物学的に様々な問題を引き起こしている。放置竹林の増加は生物多様性の減少 (阿久津ら 2012) や森林の公益的機能の発揮に支障を生じる可能性 (石賀ら 2001, 日浦ら 2004) が指摘されている。

近年、放置竹林の整備・伐採が行なわれており、伐採後の竹資源の有効利用法として、竹チップや竹炭などの農業分野への利用が検討されるようになった。例えば、竹炭の土壌改良資材としての利用 (南雲ら 2014)、竹チップのマルチング資材としての利用 (菊川 2016)、竹粉や竹炭から製造した水稻苗箱培土の開発 (矢内ら 2016) など数多くの報告がされている。竹チップを堆肥の副資材として利用した例としては、坂井ら (2005)、竹下・小山 (2014) や中村ら (2016) があり、竹チップが堆肥副資材として十分に使用できることを指摘した。環境保全的利用方法としては、竹炭を含むバイオ炭を農地へ施用することによって炭素を農地土壌に貯留させることにより、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の低減につなげることが期待されている。竹炭は炭素隔離だけでなく、土壌への施用により、作物の収量を増加させること (磯部ら 1996)、保水性や保肥性を増加させること (亀山ら 2016) などが報告されている。

本研究では、副資材としての竹チップの混和率が異なる複数種類の牛糞堆肥を作製し、堆肥の副資材としてタケを用いる場合の最適混和率を検討した。作製した堆肥

は、その化学性を調べ、植物種子発芽阻害試験を実施するとともに、コマツナ *Brassica rapa L. var. perviridis L.H.Bailey* を用いた栽培試験を行うことで副資材の混和率の異なる堆肥の肥効を評価した。

## 材料と方法

### 1) 供試試料

牛糞は新鮮な乳牛糞を脱水し含水率を 65% に調整したものを使用した。竹チップおよび竹炭は、島根県飯石郡飯南町の放置竹林において伐採した 2~3 年生および 5 年生のモウソウチク稈を使用した。竹チップはチップパーを用いて破碎を行った。竹炭は炭焼き施設で加工を行った。竹チップと竹炭の大きさは 5 mm~3 cm になるように破碎した。

### 2) 堆肥の作製

堆肥は牛糞と竹チップ、竹炭、モミガラのそれぞれの混和率を変えて 8 実験区を作製した。牛糞と副資材の混和率は重量比で行ない、各実験区の合計重量は 100 kg とした。牛糞と稈齢 2~3 年の竹チップはそれぞれ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 (以下, 9:1 区, 8:2 区, 若 7:3 区, 6:4 区), 稈齢 5 年の竹チップは 7:3 (以下, 老 7:3 区) とした。牛糞と竹炭の混和率は 9.5:0.5 (以下, 竹炭区) とした。対照区として牛糞のみの試験区を設定した (以下, 10:0 区)。また、比較対象として副資材としてモミガラを使用したモミガラ堆肥の試験区も設置した (以下, モミガラ区)。モミガラ堆肥は一般に販売されているものを使用した。

混和は 2022 年 9 月 26 日に行い、風雨の影響を受けない屋根の下で 46 日間の堆肥化を行った。乳牛糞は含水率が 65% になるように調整し、副資材は水分の調整を行わず竹チップは 40%, 竹炭は 7% の水分を含んでいた。牛糞と副資材が均一になるようにトロ舟の中で混和した後、コンクリート床に積み上げた。堆肥作製期間中、おんどり (TR-71wb, ティアンドディ社, 松本, 日本) とステンレス保護管センサー (TR-1220, ティアンドディ社, 松本, 日本) を使用した。積み上げた堆肥の中腹から中心部にむけてセンサーを挿入し、温度を 1 時間間隔で記録した。切り返しは 9 月 26 日の混和以降, 10 日目, 23 日目, 37 日目に行った。堆肥作製開始時, 終了時および切り返し時に、理化学性分析および発芽阻害試験のための試料を上部, 中部, 下部の 3 ヶ所から 100 g ずつ採取した。

### 3) 堆肥の理化学性分析

堆肥作成の主資材である牛糞, 副資材である竹チップと竹炭の含水率および pH(H<sub>2</sub>O), リン, カリウム, 全窒素, 全炭素を測定した。含水率は採取した試料を 105℃ で 48 時間乾燥させ、乾燥前生重量と乾燥後重量から算出した重量含水率を求めた (1 式)。pH(H<sub>2</sub>O) はガラス電極法を用いた pH メータ (HORIBA D-21LAB, 京都, 日本) を使用して測定した。リンおよびカリウムの測定は, 8 実験区で作成した堆肥をそれぞれ 65℃ で 48 時間乾燥後, 電動ミルで粉碎した試料 50 mg に硝酸 3 mL を加えて湿式灰化した。灰化した試料を超純水で希釈し, ICP-MS 8800 Triple Quad (Agilent Technologies 社, Hanover, Germany) を用いて測定した。全窒素と全炭素濃度は NC アナライザー (SUMIGURAPH NC-22F, 住化分析センター, 大阪, 日本) を用いて乾式燃焼法で測定し, そこから C/N 比を算出した。

$$\text{含水率}[\%] = \frac{\text{生重}[\text{g}] - \text{乾重}[\text{g}]}{\text{生重}[\text{g}]} \times 100 \quad \cdots 1 \text{ 式}$$

### 4) 発芽阻害試験

混和率 8 実験区の堆肥化 0 日目, 10 日目, 23 日目, 37 日目そして 46 日目の試料を大学に持ち帰り実験に供した。乾燥堆肥 5 g に熱水 50 mL を加えて振とうしたのち, ろ紙 (Advantec No.6, 東洋濾紙, 東京, 日本) によってろ過し熱抽出液を得た。発芽阻害試験にはコマツナ種子を用いた。シャーレ中に発芽試験シート (たねピタ!, 富士平工業, 東京, 日本) を敷き, コマツナの種子を 50 粒ずつ播種し, 熱抽出液 10 mL を添加した。インキュベーターを 30℃ に設定し, 暗黒条件下で培養を行った。10 mL の蒸留水を添加した対照区の発芽が十分に確認できた時点で発芽種子数を記録した。

### 5) 堆肥肥効評価

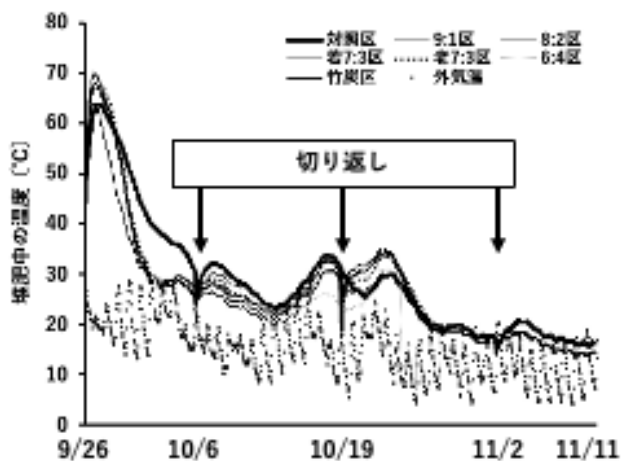
栽培試験には 1/10,000 アールのワグネルポットを使用し, 培土には市販の栽培用培土 (チッソ 270 mg L<sup>-1</sup>, リン酸 400 mg L<sup>-1</sup>, カリウム 270 mg L<sup>-1</sup>) を用い, 堆肥化 46 日目のそれぞれの堆肥を 7.57 g (75.7 kg a<sup>-1</sup>) 供試した。各ポットに市販のコマツナ種子 (夏楽天, タキイ交配) を 9 粒播種した。栽培は島根大学生物資源科学部 3 号館屋上で行い, ポット上部を遮光率 22% の白色寒冷紗で覆い, 灌水は土壌表面が乾燥した場合に適宜行った。2024 年 7 月 5 日に播種し, 3 週間栽培後, 収穫した。堆肥実験区ごとに 2 ポットで栽培した。収穫後, 全個体の最大葉長, 生重量を測定した。また, 通風乾燥機を用い 65℃ で 48 時間乾燥させ, 合計乾重量を測定した。各個体の乾重量に関して, 乾燥の際, 一部個体が破

損したため、各ポットの含水率をそれぞれの生重量に掛け合わせることで各個体の乾重量を求めた。統計解析をする際、2ポット合計で最大18株が得られこれらの株ごとの葉長と乾重量を用いた。Tukeyの $IQR \times 1.5$ 基準での外れ値を示した個体は解析から除いた。

## 結 果

### 1) 堆肥化

堆肥化に伴う発酵温度の推移を図1に示す。いずれの試験区でも混和から24時間内に発酵温度は $60^{\circ}\text{C}$ まで上昇した。すべての試験区において混和後、24時間前後で最高温度に到達した。各試験区の最高温度は $63.7^{\circ}\text{C}$  (10:0区)～ $70.2^{\circ}\text{C}$  (6:4区)であった。最高温度に達したのち、徐々に発酵温度は低下し、10日目および23日目の切り返し後は $30^{\circ}\text{C}$ 前後まで再び上昇したが、31日目以降の発酵温度は外気温の最高温度である $20^{\circ}\text{C}$ とほぼ同等の値で推移した。



線で示した。堆肥の切り返しは2022年10月6日、10月19日、11月2日の3回行った。6:4区は10月24日から11月2日の切り返し時までセンサーが露出していたため外気温を測定していた。

### 2) 堆肥の理化学性

含水率は全実験区において、混和後の日数経過に伴って徐々に低下した (表1)。混和0日目の含水率は各試験区において $54.8 \sim 64.2\%$ で、最大10%程度の違いが見られた。46日目には $35.8 \sim 55.3\%$ となり、試験区によって含水率のばらつきが生じた。10:0区と比べて、竹チップを混和した試験区では、含水率が低くなった。

46日間の堆肥化後の堆肥の化学性を表2に示した。すべての実験区において $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ はアルカリ性を示した。

C/N比は竹チップの混和率が高くなるにつれNの含有率の低下を反映し大きくなった。PとKも竹チップの混和率の増加にともない減少傾向にあるが、減少の程度はC/N比ほど顕著ではなかった。

表1 堆肥化に伴う含水率の推移 (%)

実験区	堆肥化日数				
	0日	10日	23日	37日	46日
10:0	64.2	59.8	59.1	56.2	55.3
9:1	61.8	56.1	51.8	48.8	46.5
8:2	59.3	54.1	52.3	48.1	44.6
若7:3	57.6	50.5	48.4	43.9	44.2
老7:3	57.2	52.6	46.7	43.5	40.3
6:4	54.8	48.7	45.1	40.5	35.8
炭9.5:0.5	60.7	56.2	53.8	47.8	44.3

注: 含水率は重量含水率とし、生重にしめる水分の重量百分率を1式により求めた。

表2 堆肥化後の堆肥の化学性

実験区	$\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$	N%	C%	C/N比	P%	K%
10:0	8.4	2.2	41.1	18.4	0.6	1.9
9:1	8.4	1.8	42.2	24.0	0.6	1.6
8:2	8.4	1.6	43.2	27.0	0.5	1.5
若7:3	8.3	1.4	42.7	31.3	0.4	1.2
老7:3	8.5	1.1	40.9	35.8	0.5	1.4
6:4	8.3	1.0	44.1	43.8	0.4	1.3
炭9.5:0.5	8.4	1.5	40.2	26.8	0.4	1.5

表3 堆肥化日数の異なる堆肥の熱水抽出液浸漬によるコマツナ種子発芽率の変化

実験区	堆肥化日数				
	0日	10日	23日	37日	46日
10:0	$89 \pm 5$	$94 \pm 4$	$91 \pm 10$	$89 \pm 3$	$93 \pm 2$
9:1	$75 \pm 17$	$93 \pm 5$	$95 \pm 2$	$90 \pm 4$	$94 \pm 4$
8:2	$74 \pm 11$	$93 \pm 2$	$94 \pm 9$	$94 \pm 5$	$77 \pm 19$
若7:3	$89 \pm 3$	$91 \pm 5$	$92 \pm 5$	$91 \pm 7$	$91 \pm 3$
老7:3	$73 \pm 9$	$91 \pm 1$	$86 \pm 12$	$93 \pm 3$	$86 \pm 6$
6:4	$85 \pm 6$	$93 \pm 4$	$97 \pm 1$	$91 \pm 6$	$81 \pm 1$
炭9.5:0.5	$90 \pm 5$	$97 \pm 3$	$97 \pm 1$	$93 \pm 3$	$87 \pm 3$

注) 表中の数値は3反復の平均値 $\pm$ 標準偏差SDを示す。

### 3) 発芽阻害試験

発芽阻害試験の発芽率の変化を表3に示した。牛糞と副資材の混和0日目の堆肥は、9:1区や8:2区、老7:3

区において発芽率が低かった。混和 10 日目以降のすべての実験区において発芽率が 90% 前後まで上昇したが、混和 46 日目の堆肥では一部の試験区で 80% 程度まで低下した。

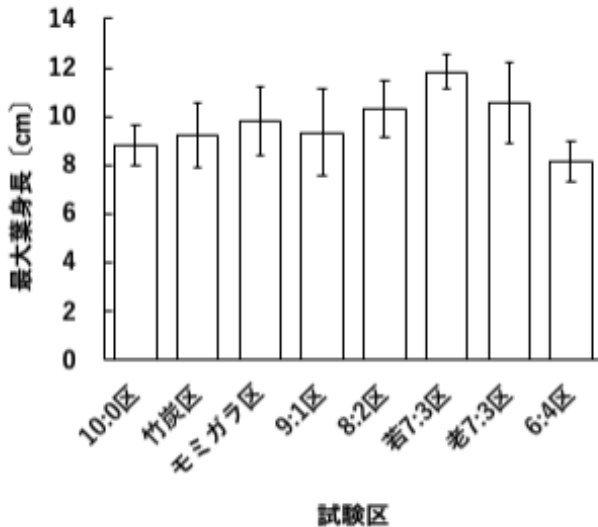


図2 各実験区で作製された堆肥を施用されたポットで栽培されたコマツナの最大葉長。図中のエラーバーは標準偏差SDを示す。サンプル数は10:0区から6:4区の順で 16, 14, 17, 15, 12, 11, 15, 17である。

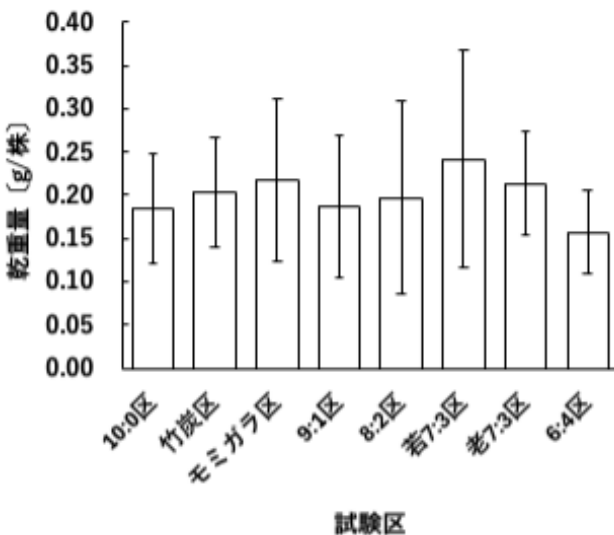


図3 各実験区で作製された堆肥を施用されたポットで栽培されたコマツナの乾重量。図中のエラーバーは標準偏差SDを示す。サンプル数は10:0区から6:4区の順で 17, 14, 18, 15, 15, 14, 15, 18である。

#### 4) コマツナ栽培試験

コマツナの栽培試験における最大葉長、乾重量の結果を図 2、図 3 に示した。一元配置の分散分析の結果、最大葉長は有意に異なる実験区があることを示し

( $p < 0.05$ )、乾重量は実験区間で有意な差は認められなかった( $p > 0.05$ )。最大葉長は、最大で若 7:3 区  $11.8 \pm 0.7$  cm、最小で 6:4 区  $8.2 \pm 0.8$  cm、堆肥のみの 10:0 区で  $8.8 \pm 0.8$  cm となった。竹チップの混和割合 0% から 30% までは混和割合に比例して最大葉長も大きくなった。しかし、7:3 区の老竹と若竹の比較によれば老竹区は若竹区よりも有意に最大葉長は小さくなった ( $p < 0.05$ , t-検定)。6:4 区の平均値は竹チップを含まない 10:0 区よりも小さな値を示した。

各試験区の乾重量は、最大葉長と同様に若 7:3 区が最大、6:4 区が最小となった。6:4 区以外の試験区では、10:0 区よりも大きな値を示した。

## 考 察

いずれの実験区でも混和から 24 時間内に発酵温度は  $60 \sim 70^\circ\text{C}$  まで上昇し一次発酵が生じたと考えられる。混和 23 日目前後の  $35^\circ\text{C}$  程度までの温度上昇は二次発酵であると考えられる。一次発酵は最高温度が  $60^\circ\text{C}$  以上で明確であったが、二次発酵は最高温度が  $35^\circ\text{C}$  程度にとどまり不明瞭であった。これは一実験区当たりの作製量が 100 kg と少なく、発酵による発熱量に対して外気への放熱量が比較的大きかったためであると考えられる。一次発酵では急激に温度が上昇したため、発熱量に対して放熱量の割合が比較的小なく温度が上昇したが、二次発酵では温度上昇が緩やかであったことから、発熱量に対して放熱量の割合が大きく、あまり温度が上昇しなかったと考えられた。また、3 回目の切り返し後に若干の温度上昇が見られたが、同様の理由および含水率の低下 (表 1) によって十分に温度が上昇しなかったと考えられた。各実験区において最大温度まで上昇したのち、1 回目の切り返しまで温度は低下したが、10:0 区は他の試験区と比べ緩やかに温度が低下した。これは副資材が混和されていないことで、牛糞の中に孔隙ができず、外気に触れる面積が少なかったことによって温度の降下が抑制されたと考えられた。竹チップ自体には堆肥化過程での温度上昇効果があることが報告されており (坂井ら 2005, 中村ら 2016)、竹チップの混和により発酵温度が低くなったとは考えにくい。ただし、6:4 区において 28 日目に発酵温度が急激に低下したのは、野生動物によって堆肥が掘り返され温度センサーが露出したためである。そのため、温度センサーを再設置した 34 日目までは外気温と同様の温度が記録されている。

宮竹ら (2007) は、堆肥化において資材の含水率が 60 % で反応速度および微生物増殖が最大を示すことを報告

している。本研究では全実験区において混和後の日数経過にともなって含水率は徐々に低下し、46日目には35.8～55.3%になった（表1）。各実験区における含水率の順位は0日目と46日目ではほぼ変わらず10:0区が一番高く、竹チップの混和率が大きくなるにつれて含水率は低くなった。これは副資材の牛糞にくらべ竹チップの含水率が低かったためであると考えられる。資材に十分な水分が残っていた混和後24時間以内に発酵温度が最大値を示したと考えられる。本研究で用いた主資材としての牛糞は水分調整により含水率は約65%、チップの含水率はさらに低く40%程度であったことから、混和により全体の含水率の低下が生じ、二次発酵以降の発酵が十分に進まなかったと考えられる。堆肥化の過程で含水率が10～15ポイント低下することから、混和時には牛糞で70%程度の含水率を確保することと、竹稈を伐採後すぐに破碎し含水率60%程度のものを牛糞に混和することで、堆肥化過程で必要な水分を維持する必要があると考えられる。さらに堆肥の乾燥具合を確認しながら繰り返し時に水分を補充することも有効だと考えられる。

土壌に竹炭を混和するとその表面細孔などによって微細な間隙が増加することが知られている（茂呂 2022）。そのため、10:0区以外の試験区では、牛糞に副資材が混和されることによって孔隙が生まれ、表面積が増加し、蒸発が行なわれやすくなったと考えられる。一方、10:0区では孔隙が少なかったと考えられ、含水率の低下が抑えられたと考えられた。そのため、副資材の大きさを変えるなどの調整が必要であると考えられる。

堆肥の腐熟度を検討する発芽阻害実験の結果、混和0日目では、9:1区や8:2区、老7:3区において発芽率が低かったが、それ以降はすべての試験区において発芽率が90%前後まで上昇した（表3）。しかし、46日目では一部の試験区で80%程度まで低下した。また、図1に示したように一次発酵以降の発酵が十分な温度に達していないため、十分な発酵が行なわれなかった可能性が考えられたがコマツナ種子の発芽率を大きく低下させるほどではなく、6週間あまりの堆肥化の結果、発芽を阻害する有害物質は多くは残されていないことが示唆された。竹下・小山（2014）は竹粉砕物はオガクズに比べ易分解性有機物の比率が高く5週間で完熟するとし、本研究の堆肥化期間6週間は適当な時間であったと考えられる。

堆肥化実験終了時の堆肥は、表2に示すようにPやKの含有率に大きな違いはみられなかった。一方、Nについては竹チップの混和率の大きな実験区で含有量低下が生じ、C/N比の上昇も認められた。中村ら（2016）は竹粉

の混和率の小さな実験区におけるC/N比の低下を報告し、チップと粉の違いはあるが、本研究の結果を支持するものである。堆肥化46日後の堆肥を用いたコマツナの栽培試験の結果、6:4区を除く竹チップを混和した試験区では、竹チップの割合が増加すると最大葉長と乾重量は増加する傾向が見られた。6:4区では10:0区よりも最大葉長と乾重量は低くなった。また多く利用されるモミガラを副資材に作製された堆肥を施肥した場合に比べ、最大葉長と乾物重は竹チップを副資材とした堆肥を施肥した実験区において大きくなる傾向にあった。本研究とは異なり、竹下・小山（2014）は葉菜類への施用では十分な効果がえられないとした。本研究では、竹チップの混和率によらずPとKの含有量に大きな違いがなく、竹チップの混和率の上昇にともないNの含有率は低下（C/N比は上昇）することから、竹チップ堆肥の肥効は主要肥料成分であるN、P、Kの付加によるものでない別の要因によるものである可能性が示唆された。本研究では稈齢を2～3年の比較的若い稈と稈齢5年以上の比較的古い稈を分けて実験に供した。無機肥料成分とは異なる若い稈に含まれるコマツナの生育を促進する何かが存在すると考えられる。

## まとめ

竹チップおよび竹炭を副資材として堆肥の作製を行った結果、一次発酵に伴う温度の上昇は認められた。一方で、その後の堆肥化にともなう温度上昇は外気温より若干高い値を示すにすぎなかった。そのため、本研究の堆肥作製においては腐熟が十分に進んでいないことが考えられた。また、含水率の低い竹チップや竹炭を副資材として使用する場合、堆肥全体の含水率の低下が比較的早く起こる可能性が考えられる。したがって、竹チップ等を副資材として使用するには含水率の調整を行う必要があると考えられた。

竹チップを副資材として作製した堆肥を使用したコマツナの栽培試験では、竹チップの混和率が高いほど最大葉長と乾重量が増加した。しかし、6:4区では10:0区よりも最大葉長、乾重量ともに小さい値を示した。したがって、竹の混和割合が高いほど作物の生育は良好であるが、一定割合を超えると作物の生育を阻害する、もしくは46日の堆肥化期間では腐熟が不十分である可能性が示唆された。本試験では二次発酵温度が十分に上昇しなかった堆肥を使用したため、C/N比も高く堆肥施用の効果が十分に発揮できなかったことが考えられる。今後は堆肥化期間中の含水率を60%以上に維持し、さらには堆肥

化期間を長くした堆肥を作製し、竹チップの堆肥の副資材としての可能性についてさらに検討を行う必要がある。また、適切な竹チップ混和堆肥の施用量を把握するために、堆肥の施用量に関する試験および無機成分以外の要素の探索を行う必要がある。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、堀江由起夫氏、加藤誠爾氏をはじめとする株式会社いいの皆様、島根大学森林生態環境学研究室、神戸学院大学現代社会学部菊川ゼミの学生各氏には多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 引用文献

- 阿久津 瞳・逢沢峰昭・松英恵吾・大久保達弘 (2012) 栃木県那須烏山市におけるモウソウチク林の分布と周辺群落への侵入. 宇都宮大学農学部演習林報告, 48: 139-151.
- 日浦啓全・有川 崇・ドウラ ドゥルガ バハドゥール (2004) 都市周辺山麓部の放置竹林の拡大にともなう土砂災害危険性. 日本地すべり学会誌, 41 (4): 323-334.
- 石賀裕明・道前香緒里・小寺洋導・拝藤幸太 (2001) 竹林進入による土壌組成の変化と環境問題. 島根大学地球資源環境学研究報告, 20: 83-86.
- 磯部勝孝・藤井秀昭・坪木良雄 (1996) 木炭の施用がサツマイモの収量に及ぼす影響. 日本作物学会紀事, 3: 453-459.
- 亀山幸司・岩田幸良・佐々木康一・成岡道男・宮本輝仁 (2016) 樹皮由来バイオ炭の砂丘地圃場への施用による土壌の保水性・保肥性改善効果. 農業農村工学会論文集, 301: I\_65-I\_74.
- 菊川裕幸 (2016) 竹チップのマルチングがダイズ品種 (丹波黒大豆) の栽培と雑草防除に及ぼす影響. 人と自然, 27: 103-108.
- 宮竹史仁・岩渕和則・阿部佳之・本田善文 (2007) 高い材料水分が堆肥温度および微生物活性に及ぼす影響. 農業機械学会誌, 69(2): 48-54.
- 茂呂和輝・伊藤直也・古澤 蘭・伊藤睦実・中島一豪・原田芳樹 (2022) 土壌改良資材としての竹炭の冷却効果. 日本緑化工学会誌, 47(4): 495-504.
- 南雲俊之・安藤真奈実・森 智郁 (2014) 竹炭の成分組成から見た土壌改良資材としての特徴. 日本土壌肥料学雑誌, 85(1): 37-42.

- 中村和久・瀧澤秀明・柳澤淳二 (2016) 堆肥化副資材としての竹粉の特性. 愛知農総試研報, 48: 153-156.
- 林 野 庁 (2024) 森林・林業統計要覧2024 [https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/youran\\_mokuzi2024.html](https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/youran_mokuzi2024.html) (2025 年 1 月 16 日閲覧)
- 坂井隆宏・脇屋裕一郎・式町秀明 (2005) キノコ廃菌床および竹チップを副資材として利用した乳牛ふんの堆肥化. 西日本畜産学会報, 48: 57-63.
- 柴田昌三 (2003) モウソウチクと日本人. 日本緑化工学会誌, 28(3): 406-411.
- 竹下美保子・小山 太 (2014) 乳牛ふん堆肥化における副資材としての竹粉碎物の利用. 福岡県農業総合試験場研究報告, 33: 34-38.
- 鳥居厚志 (2003) 周辺二次林に侵入拡大する存在としての竹林. 日本緑化工学会誌, 28(3): 412-416.
- 山中啓介・笠松治樹 (2007) 島根県における竹林拡大の実態とその要因. 島根県中山間地域研究センター研究報告, 3: 27-32.
- 矢内純太・中尾 淳・大迫敬義・宮藤久士・古田裕三・佐野新悟 (2016) 竹林間伐材を利用した竹粉および竹炭の水稻苗箱培土としての有効性. 日本土壌肥料学雑誌, 87(4): 241-246.