

論文

タケノコ皮の堆肥化における竹チップの混合が 低級脂肪酸とアンモニアの発生濃度に及ぼす影響^{*1}

谷崎ゆふ^{*2}・尾上 武^{*3}・森 康浩^{*4}・友清昇太^{*4}

谷崎ゆふ・尾上 武・森 康浩・友清昇太：タケノコ皮の堆肥化における竹チップの混合が低級脂肪酸とアンモニアの発生濃度に及ぼす影響 九州森林研究 75：79－83，2022 水煮タケノコ加工場でボイル後に排出されるタケノコ皮は、堆肥化過程で臭気物質を発生させる。本研究では、タケノコ皮に副資材として竹チップを混合して好気性分解を促すことで堆肥化中の臭気を抑制することを目的とした。臭気物質のうち、ある堆肥化施設でタケノコ皮が最も排出される時期に検出された低級脂肪酸とアンモニアに着目し、堆肥化中の濃度推移を調べた。タケノコ皮に竹チップを混合した（体積比2：1）堆肥は、タケノコ皮のみの堆肥と比べ、プロピオン酸を除く低級脂肪酸3種（ノルマル酪酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸）とアンモニアの最大発生濃度が10～25％にまで低減され、これら臭気物質の濃度が抑制されることが明らかとなった。さらに、堆積140日目におけるC/N比は28.7、アンモニア態窒素は0.047％、リン酸は3.9％、カリウム濃度は4.0％で、コマツナの初期生育を阻害することはなかった。

キーワード：タケノコ皮、竹チップ、堆肥、臭気

I. はじめに

福岡県は全国第1位のタケノコ生産量を誇る（農林水産省、2020）。その6割以上を占める水煮加工用タケノコの生産現場では、収穫した生タケノコを皮付きのままゆでた後、剥皮して調整したものを缶詰めにする（野中、2010）。加工時の廃棄率を50％（文部科学省、2015）とすると、ボイルされたタケノコ皮（以下、ゆで皮）の年排出量は県全体で約2,000～4,000tと見積もられる。大部分は廃棄処分されているが、一部の加工場では堆肥として活用されている（キタジマ食品株式会社・原、2006）。しかし、水分を多く含むため変敗しやすく、堆肥化の過程で発生する強烈な臭気が問題となっている。一方、同様に水分を多く含む臭気を発する有機物として家畜ふんがある。これらの堆肥化においては、臭気を抑えるため、通気性を確保し好気分解を促す副資材（公益社団法人 中央畜産会、2017）が混合される（中村ほか、2016）。近年、牛ふん堆肥化の副資材として竹粉砕物が用いられていることから（太田、2008；竹下・小山、2014；中村ほか、2016）、タケノコ生産圃場で伐竹・粉砕後に残置される竹チップをゆで皮堆肥の副資材とすることで、臭気を抑制しながら2つの未利用資源を活用できる可能性がある。しかし、タケノコ皮の堆肥化については研究例がほとんどなく、臭気の動態、堆肥の腐熟速度や品質など不明な点が多い。

そこで本研究では、ゆで皮に竹チップを混合して水分量を調整し、好気分解を促すことで、堆肥化中の臭気が抑制されるか検証するとともに、堆肥の品質についても調査した。

II. 材料と方法

1. 堆肥化

本研究は、技術を現場に円滑に導入できるように、福岡県八女市の水煮タケノコ加工会社のK社の無通気型堆肥化施設（約200m²）にて堆肥化を行った。同社は、4～5月の青果タケノコの集荷時期に最大で日量約16tのゆで皮が排出される、地域で最大規模の施設である。

施設内に25m²の試験区を2つ設け、いずれも2017年4月25日に堆肥原料を約1.5mの高さまで山型に堆積した。試験区は、堆肥原料をゆで皮のみとした「ゆで皮区」とゆで皮に竹チップを体積比で2：1に混合した「ゆで皮＋竹区」とした。後者の混合割合は、水分含量が80％以上のゆで皮と19.0％の竹チップ（表-1）を混合して、堆肥としての最適水分含量55～70％（財団法人 畜産環境整備機構、2005）に調整できた割合である。ゆで皮は、同社の加工場でモウソウチクの生タケノコをボイル後に圧搾機で水切りしたものを供試した。竹チップは、同社所有の管理竹林において試験開始直前に伐竹したモウソウチクをチップパーGS400D（株式会社大橋）で破碎したもの（チップサイズ：8mm以下）を供試した。切返しは、堆積19、33、46日目に堆積物をホイールローダーにて上部からすくって横に順次積み上げることで、天地を返した。また、堆積112日目に加水を行った。堆積140日目までを試験対象期間とした。

2. タケノコ皮堆積中の各指標の推移

1) 品温

品温は、堆積97日目までは1～7日おきに、それ以降は

^{*1} Tanizaki, Y., Onoue, T., Mori, Y., and Tomokiyo, S.: Effect of bamboo chip addition on the emission of volatile fatty acid and ammonia from bamboo shoot skin composts.

^{*2} 福岡県筑後農林事務所 Chikugo Office of Agriculture and Forestry, Chikugo, Fukuoka 833-0041, Japan

^{*3} 福岡県農林業総合試験場 Fukuoka Agr. & For. Res. Ctr., Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan

^{*4} 福岡県農林業総合試験場 資源活用研究センター Fukuoka Agr. & For. Res. Ctr. Ins. of Agr. & For. Res., Kurume, Fukuoka 839-0827, Japan

112, 139 日目に堆積物内部の深さ 50 cm (長尾ほか, 2016) を測定した。「ゆで皮区」はバイメタル式温度計 (株式会社佐藤計量器製作所), 「ゆで皮+竹区」はデータロガーおんどとり 51i (株式会社ティアンドデイ) を用いた。

2) 含水率

両試験区から 30 日毎に堆肥化過程のサンプルを採取した。具体的には、100~200 cm 間隔を空けた 3カ所から 30~50 cm の深さの約 100~200 g をビニール袋に採取して持ち帰り、実験室で混合した。このうち約半量を対象に乾燥前重量を測定し、これから 105 °C で 48 時間乾燥後の重量を差し引いた水分量を乾燥前重量で除して含水率 (湿量基準) を求めた。

3) pH および EC (電気伝導度)

2) で採取した残り半量を乳鉢ですり潰し、うち約 20 g に蒸留水 100 mL を加え 30 分間振とうした。上清の pH は pH メータ HM-25 R (東亜ディーケーケー株式会社), EC (電気伝導度) は EC メータ MC 226 (メトラー・トレド株式会社) にて 1 サンプルにつき 3 回測定し、平均値を求めた。

4) 臭気物質 (低級脂肪酸, アンモニア) 濃度

タケノコ皮の堆肥化工程における臭気物質に関しては報告例がないため、畜産施設で検出される低級脂肪酸, アンモニア (高原, 2006; 黒田, 2006; 道宗, 1997) の濃度推移について調べた。とくに低級脂肪酸については、「悪臭防止法に基づく規制地域及び規制基準 (平成 14 年 3 月 27 日福岡県告示第 473 号)」で特定悪臭物質に指定されているプロピオン酸, ノルマル酪酸, イソ吉草酸, ノルマル吉草酸を対象とした。

低級脂肪酸については、以下のように測定した。蓋をはずした 750 mL 容量タッパーを堆積物表面に被せタッパー底面にあけた 10 mm の穴にシリコンチューブを差し込み、10 L テドラバックに小型吸引ポンプ (近江オドエアサービス株式会社) を連結して臭気を吸引した。直ちに 200 mL シリンジを用いて、水酸化ストロンチウムでコーティングしたガラスビーズ 3 g 入り試料捕集管 (ジーエルサイエンス株式会社) にテドラバックから 3 L 捕集した。臭気試料の採取は 2017 年 4~9 月 (140 日間) に 1~16 日おきに延べ 23 回 (1 反復) 行った。試料は、特定悪臭物質測定の公定法 (環境省平成 29 年告示第 59 号) に従い、ガスクロマトグラフ GC-2014 B (株式会社島津製作所) にて分析した。試料捕集管に注射針を取り付け、180 °C に加熱してキャリアガス (窒素) を 50 mL/min で流しながら室温まで冷却後、ガスクロマトグラフ分析装置に接続した。試料捕集管にキャリアガスを流し、流量が十分安定していることを確認後、試料捕集管にギ酸 20 µL を注入し、試料捕集管を 180 °C に加熱して成分をガスクロマトグラフに導入した。カラム槽温度は 70 °C から 210 °C まで 14 °C/min で加熱昇温し 24 分保持した。カラムは内径 3 mm, 長さ 1 m とし、充填剤には FFAP+H₃PO₄ UnicarbonB (ジーエルサイエンス株式会社) を用いた。4 成分の濃度既知の標準溶液および段階希釈溶液を同様に分析装置に供し、クロマトグラムピーク面積から作成した検量線をもとに各サンプルの濃度を定量した。

一方、アンモニアについては、堆積物表面から約 10 cm 離れた位置で気体試料をアンモニア用検知管 (株式会社ガステック) に吸引し、読み取った目盛からアンモニア濃度を測定した。

3. タケノコ皮堆肥の品質

1) 腐熟度

堆肥化 140 日目に堆積物の腐熟度を判定するため、家畜ふん堆肥で用いられる発芽インデックス法 (池田ほか, 2006) にて検定した。2.3) の上清 40 mL を発芽インデックス測定キット (株式会社ジェイベック) 槽内に入れ、上清を吸収させた脱脂綿上にコマツナの種子を 30 粒播種した。25 °C 暗所で静置し、播種 5 日目の茎長をノギスで測定した。上清の代わりに蒸留水を入れて同様に生育させた茎長を対照として、以下の式により発芽インデックスを求めた。

$$\text{発芽インデックス (GI)} = (G / Gc) \times (L / Lc) \times 100$$

G: 堆肥抽出液の発芽数 Gc: 蒸留水の発芽数

L: 堆肥抽出液の平均茎長 Lc: 蒸留水の平均茎長

池田ほか (2006) にしたがって、150 以上を示した場合は腐熟が進んでいると判定した。

2) 化学成分

堆肥化 140 日目の堆積物について、両試験区から約 200 g を 3 点採取して混合し、風乾後粉碎したものを対象とした。成分分析は、いずれも土壤養分測定法委員会 (1983) に従った。全炭素量は C/N コーダ MT-700 (ヤナコテクニカルサイエンス株式会社) で測定し、全窒素量はガンニング変法でケルダール分解し、水蒸気蒸留法で定量した。アンモニア態窒素量は、10 % KCl 溶液で抽出し、水蒸気蒸留法で酸化マグネシウムを添加して 2 % ホウ酸溶液に捕捉し、1/50 規定硫酸で滴定した。リン酸はケルダール分解液をバナドモリブデン酸アンモニウム法にて、カリウムは乾式灰化後の塩酸抽出液を原子吸光分析法で測定した。

Ⅲ. 結果

1. タケノコ皮堆積中の各指標の推移

1) 品温

品温の推移を図-1 に示す。ゆで皮区は堆積 14 日目までは 30~35 °C と低く推移していたが、徐々に温度が上がり 50 日目の 3 回目切返し直後に約 70 °C まで急激に上昇した。その後も高い品温は維持され、139 日目で約 60 °C であった。一方、ゆで皮+竹区は 10 日目で約 50 °C と速やかに上昇し、24 日目には最高品温 79 °C に達した。その後 10 日間で約 40 °C まで下降したが、2 回目の切返し後再上昇し、約 60 °C を約 60 日間維持してその後漸減した。

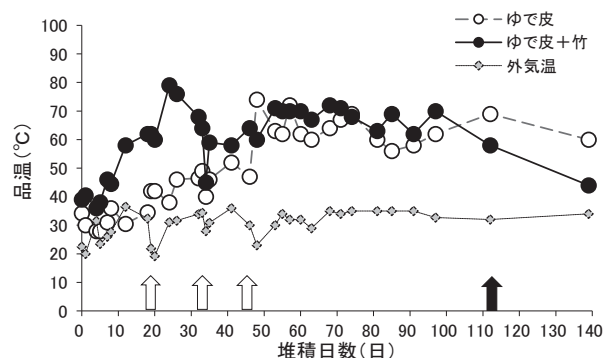


図-1. タケノコ皮堆積中の品温の推移

注) 白矢印は切り返しを, 黒矢印は加水を行ったタイミングを示す。

2) 含水率

含水率の推移を表-1に示す。ゆで皮区では、堆積期間中、常に80%を超えて高い値を維持していた。一方、ゆで皮+竹区は堆積開始時に66.9%であったものが120日目に57.7%と漸減し、堆積期間中はおおむね最適水分含量の55~70%（財団法人畜産環境整備機構，2005）の範囲内にあった。

表-1. タケノコ皮堆積中の含水率の推移

堆積日数(日)	0	30	60	90	120
ゆで皮	88.0	88.2	85.1	85.4	84.8
ゆで皮+竹	66.9	65.5	59.0	52.8	57.7

注) 値は湿量基準での含水率(%)を示す。

3) pHおよびEC(電気伝導度)

pHおよびECの推移を表-2に示す。ゆで皮区のpHは、堆積開始時は4.60、30日目は5.76と酸性であったが、60日目には8.35とアルカリ性となり、その後120日目まで8以上で推移した。ゆで皮+竹区のpHは、堆積開始時はゆで皮区より高い5.75で、30日目で8.40と高くなったが、その後中性付近で推移し、120日目に7.93となった。

一方、ECはゆで皮区で堆積開始時の1.06 mS/cmから120日目の4.59 mS/cmまで増加傾向にあったが、ゆで皮+竹区は堆積開始時の1.31 mS/cmから120日目の2.53 mS/cmと小幅な増加にとどまった。

表-2. タケノコ皮堆積中のpH・EC(電気伝導度)の推移

堆積日数(日)	0	30	60	90	120	
pH	ゆで皮	4.60	5.76	8.35	8.19	8.37
	ゆで皮+竹	5.75	8.40	6.91	6.86	7.93
EC(mS/cm)	ゆで皮	1.06	2.00	3.30	2.68	4.59
	ゆで皮+竹	1.31	2.04	1.99	2.08	2.53

4) 臭気物質(低級脂肪酸, アンモニア)濃度

低級脂肪酸4種の濃度の推移を図-2~5に示す。

プロピオン酸は、両区とも似た動態を示し、堆積直後から上昇し、堆積41日目にはゆで皮区で340 ppb、ゆで皮+竹区で307 ppbと最高濃度となった後、両区とも低濃度で推移した。しかし、97日目にゆで皮区のみ再び151 ppbと上昇した(図-2)。

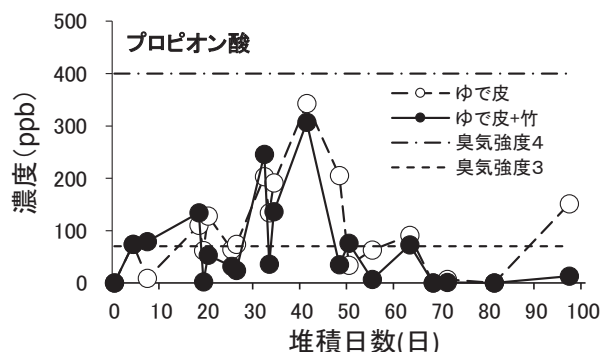


図-2. タケノコ皮堆積中のプロピオン酸の推移

注) 臭気強度4は「強いにおい」、臭気強度3は「らくに感知できるにおい」。

ノルマル酪酸は、ゆで皮区で48日目に73 ppbまで上昇がみられ55日目には最高濃度130 ppbとなったが、ゆで皮+竹区では常に40 ppb以下の低濃度で推移した(図-3)。

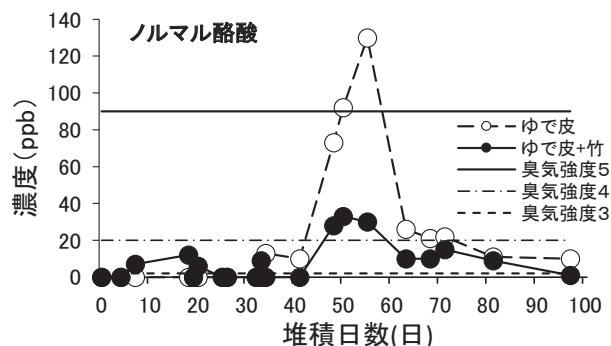


図-3. タケノコ皮堆積中のノルマル酪酸の推移

注) 臭気強度5は「強烈なにおい」、臭気強度4は「強いにおい」、臭気強度3は「らくに感知できるにおい」。

イソ吉草酸は、ゆで皮区で35日目に162 ppbの最高濃度を示したが、ゆで皮+竹区ではおおむね10 ppb前後で推移し、48日目以降は検出されなかった(図-4)。

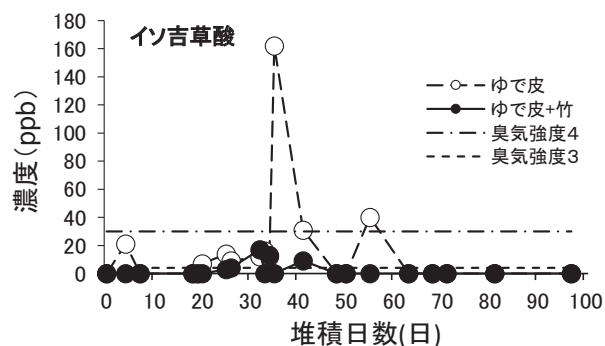


図-4. タケノコ皮堆積中のイソ吉草酸の推移

注) 臭気強度4は「強いにおい」、臭気強度3は「らくに感知できるにおい」。

ノルマル吉草酸は、ゆで皮区で25日目から104~238 ppbで推移し、35日目に最高濃度1309 ppbに達したが、48日目以降は40 ppb未満で推移した。ゆで皮+竹区では19日目に138 ppb、32日目に最高濃度196 ppb、34日目に106 ppbに達したが、35~48日目まで12~45 ppb、その後は検出されなくなった(図-5)。

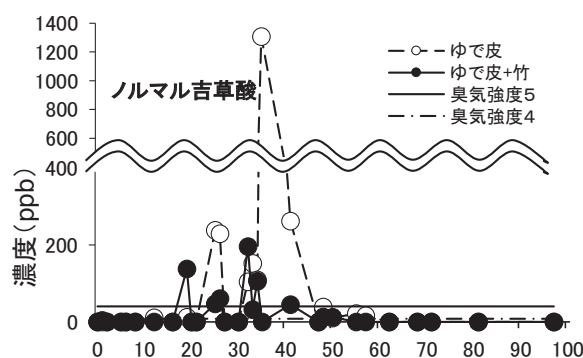


図-5. タケノコ皮堆積中のノルマル吉草酸の推移

注) 臭気強度5は「強烈なにおい」、臭気強度4は「強いにおい」。

アンモニア濃度の推移を図-6に示す。ゆで皮区で55日目に80 ppmと最高値を示し、その後90日目まで15~30 ppmで推移した。ゆで皮+竹区ではアンモニアが検出され続けたが、15 ppmを上回ることにはなかった。

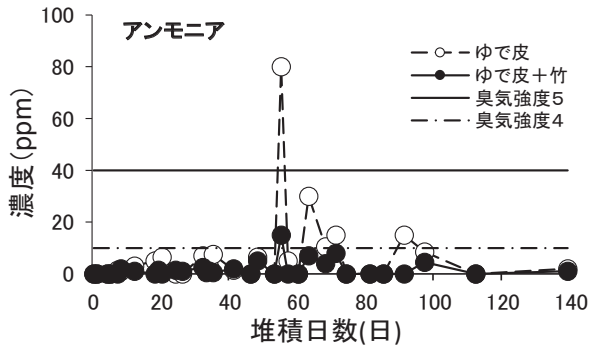


図-6. タケノコ皮堆積中のアンモニアの推移

注) 臭気強度5は「強烈なにおい」、臭気強度4は「強いにおい」。

2. タケノコ皮堆肥の品質

1) 腐熟度

堆肥化140日目の両区の発芽インデックス (GI) を図-7に示す。ゆで皮区は基準値150を大きく下回る12を示し、未熟と判定された。一方、ゆで皮+竹区は224で、腐熟が進んでいると判定された。

2) 化学成分

堆肥化140日目の両区の肥料成分値を表-3に示す。全炭素量はゆで皮区で14.2%，ゆで皮+竹区で38.7%であった。全窒素量はゆで皮区で1.0%，ゆで皮+竹区で1.4%であった。その結果、C/N比はゆで皮区で14.0，ゆで皮+竹区で28.7となった。アンモニア態窒素濃度はゆで皮区で0.112%，ゆで皮+竹区で0.047%とゆで皮区が高かった。一方、リン酸濃度はゆで皮区で3.3%，ゆで皮+竹区で3.9%，カリウム濃度はゆで皮区で3.6%，ゆで皮+竹区で4.0%と、いずれもゆで皮+竹区がやや高かった。

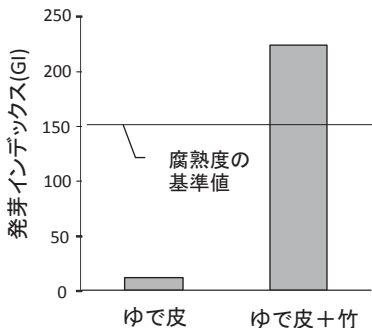


図-7. 堆積140日目のタケノコ皮堆肥の腐熟度

注) 150以上で腐熟が進んでいると判定する (池田ほか, 2006)。

表-3. 堆積140日目のタケノコ皮堆肥の肥料成分

試験区	乾物当たり成分含有量					
	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N 比	アンモニア態窒素 (%)	リン酸 (%)	カリウム (%)
ゆで皮	14.2	1.0	14.0	0.112	3.3	3.6
ゆで皮+竹	38.7	1.4	28.7	0.047	3.9	4.0

IV. 考察

タケノコの水煮加工場では、タケノコをゆでた後に剥皮する。したがって、圧搾機で水切りしているとはいえ排出直後のゆで皮の含水率は88.0%と高かった (表-1)。さらにタケノコ皮は1層1層重なり合う構造となっており、これらが水分を保持したまま固く吸着するため、切り返しを行っても容易に水分が抜けず、含水率は80%以上で3ヶ月ほど推移した (表-1)。このように含水率が高いゆで皮区の堆肥化は嫌気状態に進んだと推察された。堆肥化において、嫌気状態では低級脂肪酸にくわえ硫化水素などの硫黄化合物の濃度が高まる (道宗, 1997; 黒田, 2006)。われわれの予備調査において、ゆで皮が最も多く排出される時期の堆肥化施設の臭気をガスクロマトグラフィー質量分析計で分析したところ、低級脂肪酸のカプロン酸および硫黄化合物 (硫化水素、メチルメルカプタン、硫化ジメチル、二硫化ジメチル) は定量下限値未満であった。この1回の予備調査結果をもって、ゆで皮の堆肥化過程で硫黄化合物は発生していない、もしくは臭気に影響していないとは言えないが、本研究では4種の低級脂肪酸とアンモニアを対象に両試験区の発生動態を比較した。

低級脂肪酸の最高濃度が検出される時期は物質によって異なり、プロピオン酸、イソ吉草酸、ノルマル吉草酸は30日以上経過後、ノルマル酪酸は50日以上経過後に計測され、堆肥化中期でも数種の低級脂肪酸が発生することが明らかとなった。ゆで皮区は堆積物の自重や水分移動により内部に嫌気状態になる部分が多く生じ、嫌気状態で生成された低級脂肪酸 (黒田, 2006) が切り返し時に表面に露出し、一時的に高濃度で検出されたと考えられた。しかし、プロピオン酸を除けば、いずれの低級脂肪酸もゆで皮+竹区は、ゆで皮区と比べてほぼ全期間低く推移した (図-2~5)。このことから副資材添加によって嫌気状態が緩和されたものと推察された。

一方、アンモニアの最高濃度が検出された時期は両区とも49日目と63日目の堆肥化中期であった (図-3)。解砕した竹粉を家畜排せつ物と混合して堆肥化するとアンモニアが約4ヶ月間発生することが報告されているが (大島ほか, 2015)、本試験においても約3ヶ月間検出された。ただし、アンモニアについても低級脂肪酸と同様、ゆで皮+竹区がゆで皮区よりもほぼ全期間通じて低かった。

次に、実際にヒトが感知できる臭気強度 (0~5の6段階) について、悪臭防止法で規制される特定悪臭物質濃度との関係 (環境省, 2006) から各臭気物質を評価した。ノルマル酪酸の最高濃度はゆで皮区が130 ppbで臭気強度5に該当したのに対し、ゆで皮+竹区では33 ppbで臭気強度4と低かった。イソ吉草酸の最高濃度についてもゆで皮区が162 ppbで臭気強度4に該当したのに対し、ゆで皮+竹区では17 ppbで臭気強度3.5と低かった。アンモニアの最高濃度についてもゆで皮区が80 ppmで臭気強度5に該当したのに対し、ゆで皮+竹区では15 ppmで臭気強度4と低かった。これに対し、プロピオン酸は両区とも臭気強度3.5 (ゆで皮区340 ppb, ゆで皮+竹区307 ppb)、ノルマル吉草酸は両区とも臭気強度5 (ゆで皮区1309 ppb, ゆで皮+竹区196 ppb) と、最高値の臭気強度区分としては同じであった。しかし、今回調べた臭気物質濃度の最高値は、両者が拮抗していた

プロピオン酸を除く3つの低級脂肪酸およびアンモニアについて、ゆで皮+竹区で格段に低く抑えられていた。堆肥化時に発生する臭気は複合臭といわれており(小山ほか, 2011), 単体の臭気物質の濃度だけでは評価は難しいが, 実際に筆者らが試験中に切り返す際, ゆで皮区で感じた強烈な臭気をゆで皮+竹区ではさほど感じることにはなかった。以上のことから, ゆで皮に竹チップを混合して堆肥化することで, 堆肥化過程で検出される低級脂肪酸やアンモニアの発生濃度や臭気強度を少なくとも低減できることが明らかになり, ひいては臭気の発生を抑制できる可能性も示唆された。

このような竹チップを添加することによる臭気低減効果には, 以下の二つのメカニズムが考えられる。一つは, 堆積物内部の嫌気発酵が抑制され好気発酵が維持されたことによるものである。タケノコ皮の含水率が88%のとき, 竹チップを容積比2:1で混合すると含水率が約70%の原料となり(表-1), 通気性が確保された堆肥化条件(財団法人畜産環境整備機構, 2005)となる。その結果, 好気発酵が進み, 嫌気発酵由来の低級脂肪酸の濃度が低く推移したと考えられる。もう一つは, 竹チップの脱臭性能によるものである。脱臭剤の原料を検討する試験において, 竹チップはホルムアルデヒドの吸着能力がある可能性が示されており(高橋ほか, 2009), 本研究でも堆肥化過程で生じた臭気物質を竹チップが吸着したとも考えられたが, それには別途検証が必要である。

さらに本研究では, タケノコ皮堆肥の品質について, 竹チップ添加の有無で差異を調べた。堆肥化過程の温度推移は, ゆで皮区の温度上昇はゆるやかに70℃に達するのに50日間を要したが, ゆで皮+竹区は速やかに温度上昇し24日目には最高温度79℃になった。易分解性の動物性家畜ふんの堆肥化(財団法人畜産環境整備機構, 2005)と比べると, 植物性のタケノコ皮は両区とも堆肥化過程が長期化した。堆積140日目の発芽インデックス値からゆで皮区に比べ, ゆで皮+竹区はより早く完熟したと判断された(図-7)。また, これらの堆肥化物の肥料成分を分析した結果, ゆで皮区と比較してゆで皮+竹区はC/N比が高く, カリウム濃度がやや高かったことから(表-3), 稲わら堆肥などの植物系堆肥に近い性質と考えられた。

以上のことから, ボイルされたタケノコ皮に竹チップを添加して堆肥化すると, 堆肥化過程で発生する低級脂肪酸やアンモニアの発生濃度が低減するうえ, 堆肥化が促進され腐熟も早まることになった。タケノコ皮堆肥を普及するためには, 副資材の選択肢を増やすことや, 植物への施用効果を示す必要がある。竹チップよりも入手が容易な稲わらやおが屑などを副資材とした

ときの硫黄化合物まで含めた臭気物質の低減効果, できた堆肥を施用したときの土壌改良効果, 作物の増収効果などについては今後, 改めて検証が必要であろう。

V. 謝辞

本試験を実施するうえで材料および試験地を提供いただきましたK社のスタッフの皆様に対し, 深く謝意を表します。

引用文献

- 土壌養分測定法委員会編(1983)土壌養分分析法, p 205-212, 養賢堂, 東京
- 道宗直昭(1997)日本養豚学会誌34:139-144
- 福岡県(2007)有機質資材等の利用上の手引き, p 80-81
- 池田加江ほか(2006)福岡農総試研報25:135-139
- 環境省(2006)URL:https://www.env.go.jp/recycle/misc/facility_assess/(2020年5月7日利用)
- キタジマ食品株式会社・原 賢治(2006)発酵肥料の製造方法および発酵肥料, 特開2006-131487
- 公益社団法人中央畜産会(2017)おが粉代替敷料利活用マニュアル, pp 54
- 小山 太ほか(2011)日本畜産学会報82:397-404
- 黒田和孝(2006)日本養豚学会誌43:143
- 文部科学省(2015)日本食品標準成分表2015年版(七訂), 東京
- 長尾祐一ほか(2016)人間と環境42:17-27
- 中村和久ほか(2016)愛知農総試研報48:153-156
- 野中重之(2010)新特産シリーズタケノコ 栽培・加工から竹材活用まで, p.18-19, 147-148, 農山漁村文化協会, 東京
- 農林水産省(2020)URL:<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00501004&tstat=000001021191&cycle=7&tclass1=000001021192&tclass2=000001143866&tclass3val=0>(2021年8月27日利用)
- 大島一郎ほか(2015)日本暖地畜産学会報58:31-33
- 太田壮洋(2008)山口畜試研報23:59-64
- 高原康光(2006)環境技術35(12):886-888
- 高橋岩仁ほか(2009)環境情報科学論文集23:459-464
- 竹下美保子・小山 太(2014)福岡農総試研報33:34-38
- 財団法人畜産環境整備機構(2005)家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック, p 26, 42-45, 東京
- (2021年10月6日受付;2021年11月8日受理)