

生ごみコンポスト中の各態窒素濃度の経時変化

酒井 護、西尾孝之、北野雅昭

The time-dependent variation of the concentration of nitrite,
nitrate and ammonium in kitchen garbage compost

Mamoru SAKAI, Takayuki NISHIO and Masaaki KITANO

Abstract

Reducing the quantity of food-waste have been carried out to construct the "recycling-based society". Generation of the manure by composting is one of the methods for these. The unripened compost may be the cause of growth inhibition. This study examined a simplified method for measuring indicators of composting, and applied this method to the kitchen garbage compost to investigate the time variation of concentration of nitrate and so on. As a result, 1) a leaching test in the conditions of solid-liquid ratio (1:50) and shaking time (2 minutes) could be applied as a simplified method. 2) Nitrate ion was detected regardless of the pH value of the eluate. 3) Nitrite ion also detected when the pH value of eluate was less than 9. 4) Ammonium gas in the atmosphere of the kitchen garbage compost was not detected when the pH value of eluate was less than 8.

Key words: kitchen garbage compost, nitrate ion, simplified leaching test

I はじめに

高度な経済成長の結果、廃棄物の発生量の増大および廃棄物処理施設の立地の困難性、不法投棄の増大などが社会問題として顕在化してきた。そのため、大量生産・大量消費・大量廃棄型の経済社会から脱し、生産から処分に至るまでの物質の効率的な利用やリサイクルを促進することが求められるようになった。社会が持続的に発展するためには、環境への負荷が少ない資源循環型社会の形成が課題となってきたことから、「循環型社会形成推進基本法」が2000年に制定され、それと前後して5つのリサイクル関連法が成立した。

そのうち、食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律(2001年5月完全施行)では、国内で年間に約2,270万トン発生している[1]と推定されている食品廃棄物について発生抑制と減量化により最終処分量を減少させるとともに飼料や肥料等の原材料として再生利用するため、食品関連事業者ごとの再生利用等の実施率目標や発生抑制目標値が設定されている。農林水

産省のまとめによる2009年度の食品循環資源の再生利用等の実施率は、食品製造業者では93%と大きい割合である。しかし、流通経路の下流側すなわち食品卸売業では58%、食品小売業では36%、外食産業では16%と順に小さな割合となっている[1]。また、各家庭より排出されるごみの約30%の重量を占める生ごみは、本法律の対象ではないが、水分の含有率が70%を超えており[2]、焼却時の低位発熱量を低下させる。そのため、廃棄物の焼却による熱回収を一層進めるためには、生ごみを分離して処理をするなどこれまでの単純焼却以外の方法による中間処理(再生処理)が必要となる。一部の自治体では、食品由来廃棄物を分別収集したのちの処理方法としてバイオエタノール化の実証実験[3]やバイオガス化[4]などの手段が実施されている。

また、家庭や学校では、小規模な発生量に対応したコンポスト化が実施されている[5-7]。コンポスト化では、食品由来廃棄物中のたんぱく質や炭水化物などの高分子有機化合物を生物的にアミノ酸や糖などの低分子化合物に分解し、植物の肥料に再生利用する

ものである。その発酵の過程において腐熟が十分に進んでいない場合には、中間代謝物であるフェノール類などの有機酸による発芽阻害[8]や窒素飢餓による生育阻害[9,10]が発生することが指摘されている。家庭や学校で実施したコンポスト化による生成物を肥料として利用するためには、こうした阻害が発生しないことが求められる。

動植物の残渣を用いて作成したコンポストを農地で商業的に利用するため、発酵における腐熟度の判定手段として、これまで臭気やアンモニアなどの化学物質などを指標とした手法が提案されている[11-18]。これらは、機器分析により厳密な濃度を分析することにより実施されている。しかし、家庭や学校では、分析に必要な機器を備えていないことが多いため、簡易的な代替指標による測定方法が求められる。

本調査では、有機態窒素の代謝物のひとつであるアンモニアが、好気的な条件で硝化反応の進行により硝酸イオンとなることを腐熟の進行の目安とした。このため、コンポスト中に含まれる硝酸イオンを、水溶液(検液)に抽出するための単純な方法を検討した。また、その方法を実際の段ボールコンポストに適用し、検液中の各態窒素イオンの濃度とコンポスト雰囲気中のアンモニアガスの濃度を定期的に測定し、その経時的な変化を考察した。

II 簡易的な検液の作成に関する検討

固体試料中の各種イオンは水溶液(検液)に抽出したのちに測定される。その方法として、環境庁告示13号に基づく方法[19]と環境庁告示46号(土壤汚染対策法)に基づく方法[20]などがある。いずれの場合も固液比を1:10として6時間振盪により検液を作成する。しかし、簡易的な代替指標による測定のためであれば目的のイオンが短時間で溶出できかつ、加える蒸留水の量を多

くしろ過時にフィルターが目詰まりをしない方法により検液を作成する必要がある。

検討に用いたコンポストは、11月に調理くずを乾燥したものと一般的な土壌を混合し、6か月程度経過したものであり一部発酵が進んでいるが十分に腐熟していないものを使用した。

分析項目は、文献[11-18]を参考として、検液のpH、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)、硝酸性窒素および亜硝酸性窒素濃度とした。これらの測定に用いた機器は表1に示した通りである。1回の測定につき、同様の操作で3検体分析し、その平均および標準偏差により結果を評価した。

1) 固液比に関する検討

固液比は、1:10および1:20、1:50、1:100の4条件とし、コンポストに蒸留水を加え溶出試験を行った。振盪時間に関する検討は別途行うため、本検討では文献[19, 20]の半分の時間である3時間とした。振盪終了後ガラス繊維ろ紙(GS25)により吸引ろ過した。ただし、固液比が1:10および1:20の場合は、ろ紙が目詰まりしたため、あらかじめろ紙No.1で自然ろ過して得られたろ液を吸引ろ過した。固液比が1:50および1:100の場合は、そのまま吸引ろ過した。検液の分析結果を平均±標準偏差の形式で表2に示す。なお、亜硝酸性窒素はいずれの場合でも検出できなかった($<0.01\text{mg L}^{-1}$)ため表示していない。固液比が1:10および1:20の場合には、ろ過に一昼夜を要した。また、硝酸性窒素について、標準偏差と平均の比として表わされる標準誤差が、固液比1:50では0.15であるが、固液比が1:100では0.31と2倍であった。統計的には有意な差が見られていないが、バラツキが大きくなる可能性が懸念された。そのため、固液比は1:50とした。

表1 測定に使用した機器

測定項目	測定原理	メーカー	型番
検液のpH	ガラス電極	TOA	HM-5S
電気伝導度(EC)	電気伝導度計	TOA	CM-30S
酸化還元電位(ORP)	ガラス電極	セントラル科学	UC-23型
硝酸性窒素, 亜硝酸性窒素	イオンクロマトグラフ	東ソー	IC-2001

表2 固液比に関する検討の結果
(振盪時間は3時間)

固液比	pH	EC	ORP	硝酸性窒素
	-	mS cm^{-1}	mV	mg L^{-1}
1:10	6.0 ± 0.0	$3,670 \pm 79$	122 ± 1	2.02 ± 0.05
1:20	6.1 ± 0.0	$2,042 \pm 84$	133 ± 3	1.02 ± 0.08
1:50	6.0 ± 0.1	$1,061 \pm 2$	144 ± 2	0.53 ± 0.08
1:100	6.0 ± 0.1	588 ± 52	156 ± 2	0.29 ± 0.09

表 3 振盪時間に関する検討の結果
(固液比は 1:50)

固液比	pH	EC	ORP	硝酸性窒素
	-	mS cm ⁻¹	mV	mg L ⁻¹
1 分	5.3±0.0	875±119	144± 2	0.64±0.14
10 分	5.4±0.1	842±160	128± 7	0.42±0.16
30 分	5.5±0.0	1,054±52	123± 1	0.62±0.09
1 時間	5.8±0.1	966±137	108± 2	0.48±0.05
3 時間	6.0±0.1	1,061±2	144± 2	0.53±0.08
6 時間	6.4±0.2	997±61	105±23	0.48±0.11

2) 振盪時間に関する検討

以上の結果により固液比を 1:50 とし、振盪時間を 1 分、10 分、30 分、1 時間、6 時間の 5 条件で溶出試験を行った。検液の分析結果の平均値と標準誤差を表 3 に示す(3 時間の結果は、表 2 の数値である)。振盪時間が長くなれば pH が大きくなる傾向にあるが、硝酸性窒素の濃度に関しては、統計的にバラツキの範囲であることが確認された。振盪時間は硝酸性窒素濃度に影響を与えないため 1 分でも十分であると考えられた。しかし、実験に対する時間的な余裕を考慮するため、振盪時間を 2 分とした。これらの検討の結果、検液は、固液比 1:50 で 2 分間の振盪による溶出試験により作成した(以下、この条件で行う溶出試験を”簡易溶出試験”とする)。

Ⅲ 窒素酸化物濃度の経時変化

固液比の検討に用いた発酵が十分に進んでいないと考えられるコンポストおよび別途一般的な土壌と米ぬかの 3 種類を 6 月上旬に混合し段ボールコンポストを作成した。

試料を作成後、おおむね一週間ごとに一部を簡易溶出試験用の試験に分取し切返しを行った。切返し作

業では、空気との接触効率の向上を目的とし孔径 5 ミリメートルの篩を用いた篩分け作業とした。篩上に残った塊は、通過する程度の粒径となるようにすりつぶした。また、作成後 24 日目および 38 日目、81 日目に適当量の水分を補給し乾燥を予防した。

1) 測定項目と頻度

このコンポストについて、温度データロガー R-26 型を用いて 5 分ごとに温度を記録した。温度の測定は 87 日目(8 月下旬)まで実施した。

また、1 週間ごとに実施する切返しの直前に、コンポストを作成している段ボール雰囲気内のアンモニア濃度を検知管(北川式ガス検知管アンモニア 105SD)により測定した。また、切返し時に一部を取り出し、簡易溶出試験を実施し、検液の pH および EC、硝酸および亜硝酸性窒素濃度を測定した。さらにコンポストの水分および熱灼減量も合わせて測定した。これらの測定は、108 日目(9 月下旬)まで 15 回実施した。

2) 連続測定の結果

(1) 温度の変化

コンポストの温度変化を図 1 に示す。図中×印は、切

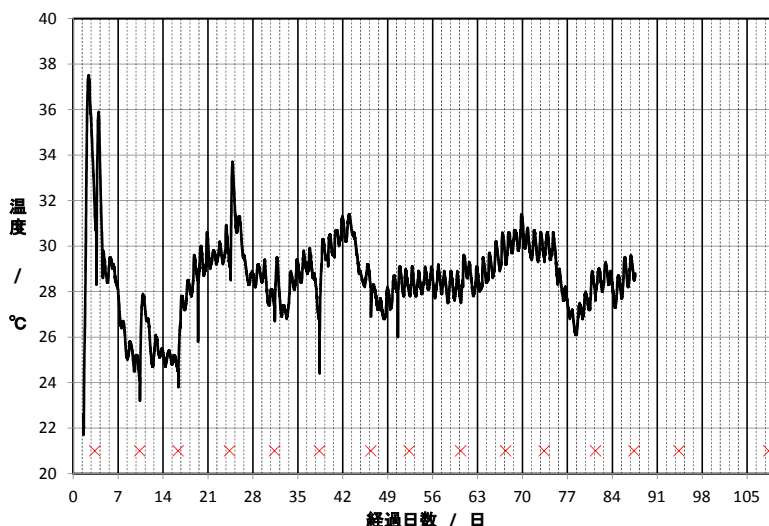


図 1 コンポストの温度変化

表 4 測定結果

経過 日数	検液中の濃度				固形分		段ボールの 空間
	pH	EC	硝酸性 窒素	亜硝酸性 窒素	水分	熱灼 減量	アンモニア
	—	mS cm ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	%	%	ppm
3	8.7	536	2.41	<0.01	27.5	18.0	
10	9.4	542	0.38	<0.01	22.2	19.6	>40
16	9.2	468	1.48	<0.01	13.2	13.5	>40
24	9.1	443	1.45	<0.01	8.9	14.3	>40
31	9.3	547	0.70	<0.01	14.5	16.2	36
38	9.3	441	0.58	<0.01	14.9	14.1	28
46	9.4	466	0.09	<0.01	25.0	12.6	24
52	9.4	440	0.48	<0.01	19.8	11.9	12
60	8.9	482	1.38	2.54	17.0	12.6	8
67	8.8	507	2.69	2.08	13.9	13.1	4
73	8.7	452	3.43	0.48	7.8	11.3	2
81	8.5	468	2.64	<0.01	6.3	11.1	2
87	7.8	420	4.60	1.47	19.8	11.6	<1
94	7.6	420	10.09	0.07	16.1	12.0	<1
108	7.3	463	13.21	0.06	9.5	12.3	<1

水分が斜体となっているものは、切返し時に水を補給したことを示す。

表 5 検液の pH と各態窒素の濃度

指標物質	簡易検出方法	基準
硝酸性窒素	バックテスト	pH が 9 未満になれば増加する傾向にある
亜硝酸性窒素	バックテスト	pH が 9 未満になれば検出されるが硝酸に酸化されれば濃度は小さくなる
アンモニア	検知管	pH が 8 未満で検出されなくなる

検液は、固液比 1:50 で 2 分間の振盪により作成する
 検液の pH は万能 pH 試験紙で測定可能である

返しおよび簡易溶出試験を行った日を示す。23 日目までの切返しでは、温度上昇が見られた。しかし、30 日目以降は、気温の推移によるもののみであり切返しによる温度上昇は確認できなかった。なお、本実験で使用したコンポストは、一部発酵が進んでいたものであり、温度上昇の幅は小さくなっていた。

(2) 各種指標物質の変化

各種指標物質の測定結果を表 4 に示す。また、検液の pH と切返し前に測定したコンポストを作成している段ボール雰囲気内のアンモニアガス濃度および検液中の硝酸性窒素濃度の変化を図 2 に示す。溶出液の pH は、52 日目以前は 9.0 以上であったが、60~81 日目は 8.5

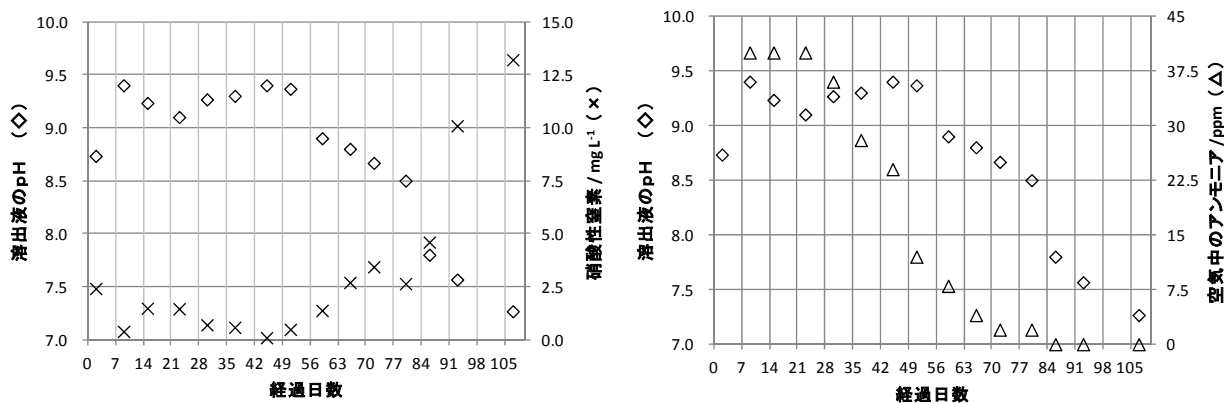


図 2 溶出液の pH(◇)と硝酸性窒素(左, ×)およびアンモニア(右, △)濃度の経時変化

～9.0の範囲、87日目以降は8.0以下であった。アンモニアガスは、24日目までは、40ppm超(測定不能)であったが、31日目以降は減少する傾向にあり、87日目以降は1ppm未満(測定不能)となった。溶出液中の硝酸性窒素は、60日目以前は、 2.5mg L^{-1} 以下で推移していたが、67日目以降は上昇する傾向にあった。なお、図には示していないが、60～87日目の測定では、亜硝酸性窒素も $0.1\sim 2.5\text{mg L}^{-1}$ の範囲で検出されていた。この実験結果は、

- 1) タンパク質の分解によりアンモニアが発生する。このアンモニアのうちコンポストに保持されるものもあるが、塩基性であればコンポストから拡散する。
- 2) 1)によって発生したアンモニアは、好気的な条件では亜硝酸から硝酸に順次酸化される。
- 3) 硝酸への酸化により、コンポストのpHが低下する。pHの低下によりアンモニアガスの発生および拡散が抑制される。

と考えられる。

つまり、コンポスト中の各種形態別窒素の濃度は、表5に示したようにpHとともに変化することから、pHを指標と考えることができる。また、今回の検討では、機器分析のみで測定したが、簡易的には表5中列の測定方法を用いて、経時変化の傾向を判断することができる。また、ECは、 $400\sim 550\text{mScm}^{-1}$ 程度で推移しており、pHなどとの関係は見られなかった。

IV まとめ

調理くず等を用いて作成した段ボールコンポストについて、腐熟度の目安とされる各態窒素の濃度の簡易的な検液の作成方法および経時変化とpHの関係を測定した結果、以下のことを明らかにした。

- ・ 各態窒素測定のための検液は、固液比1:50で2分間の振盪による簡易溶出試験により作成することが可能である。
- ・ 簡易溶出試験の結果、硝酸性窒素は、検液のpHに関係なく検出される。
- ・ 簡易溶出試験の結果、亜硝酸性窒素は、検液のpHが9未満になれば検出される。その後、硝酸性窒素に酸化されることにより検出されなくなり、硝酸性窒素の濃度は上昇する傾向にあった。
- ・ 段ボールコンポスト雰囲気中のアンモニアガスが不検出(1ppm未満)となるのは、簡易溶出試験で作成した検液のpHが8未満の条件である。
- ・ 簡易溶出試験による検液のpHまたは硝酸性窒素を定期的に測定し、その変化により腐熟度の目安とすることが可能となる。

謝辞 本調査の一部は、関西電力株式会社研究開発室電力技術研究所環境技術研究センターとの共同研究「都市の環境問題に関する対策研究」として実施した。

また、実験に使用した調理くずは、本研究所附設栄養専門学校の実習により発生したものを使用した。関係各位のご好意に深謝いたします。

参考文献

- 1) 農林水産省食料産業局バイオマス循環資源課食品産業環境対策室, ‘食品リサイクルの現状について’, http://www.maff.go.jp/j/shokusan/ recycle/syokuhin/s_about/pdf/syokuri_genjyo_120401.pdf
- 2) 酒井 護, 北野雅昭, 西谷隆司. 大阪市の都市ごみ焼却施設搬入ごみ質調査. 大阪市立環科研報告, 2011; 73, 59-64.
- 3) 北九州市環境局. ‘平成20年度版北九州市の環境’, <http://www.city.kitakyushu.lg.jp/files/000024872.pdf> 11 (2008).
- 4) 新潟県長岡市役所環境施設課. <http://www.city.nagaoka.niigata.jp/kurashi/biogas/>
- 5) 秋永優子. 調理実験実習における生ごみ処理. 福岡教育大学紀要 第5分冊 1995; 44, 93-98.
- 6) 山田好子, 山本紀久子. 調理実習による環境教育. 日本家政学会誌 2011; 52(4), 359-365.
- 7) 内山知二, 橋本孝文, 谷川典宏, 因野要一, 崎元道男. 学校給食残渣の堆肥化と数種野菜生育への影響. 大阪府立食とみどりの総合技術センター研究報告 2004; 40, 5-11.
- 8) 西村和雄. ‘スローでたのしい 有機農業 コツの科学’, 七つ森書館, ISBN:4-8228-0490-9 (2004).
- 9) 田中福代. 水田への麦わら施用に伴う芳香族カルボン酸の生成と水稻の生育抑制機構に関する研究. 日本土壌肥科学雑誌 2001; 72(3), 335-336.
- 10) Fukuyo TANAKA, Mizuhiko NISHIDA. Inhibitory Effects of Aromatic Acids on Nitrogen Uptake and Transport in Rice (*Oryza satira* L.) Plants Cultured on Hydroponics. Soil Science and Plant Nutrition 1998; 44(4), 691-694.
- 11) 平内央紀, 伊藤豊彰. 農業環境教育実験のためのコンポストの簡易分析. 複合生態フィールド教育研究センター報告 2007; 23, 1-4.
- 12) 藤原俊六郎. 堆肥の腐熟度と施用法に関する研究. 日本土壌肥科学雑誌 1985; 56(3), 173-174.
- 13) 井ノ子昭夫. 円形濾紙クロマトグラフィーによる都市ごみコンポストの腐熟度の簡易検定法. 日本土壌肥科学雑誌 1979; 50(2), 127-132.
- 14) Yasuo HARADA, Akio INOKO. Relationship between Cation-exchange Capacity and Degree of Maturity of City Refuse Composts. Soil Science and Plant Nutrition 1980; 26(3), 353-362.
- 15) 原田靖夫. 都市廃棄物及び家畜ふん堆肥の腐熟過程と品質に関する研究. 日本土壌肥科学雑誌 2000; 71(3), 307-310.

- 16) 原田靖夫, 井ノ子昭夫, 菅原和夫, 宮松一夫, 井澤敏彦. 都市ごみコンポストの有機成分組成の特徴と腐熟度の判定. 日本土壌肥科学雑誌 1982; 53(2), 116-122.
- 17) 伊藤稔, 古谷修, 古川智子, 亀岡俊則, 長峰孝文, 山本朱美. 堆肥熟度判定器「コンポテスター」を活用するたい肥製造のプロセス管理. 畜産環境技術研究所年報 2003; 6, 65-73.
- 18) 藤原俊六郎. シャーレーを使った簡易腐熟度検定法. 日本土壌肥科学雑誌 1985; 56(3), 251-252.
- 19) 環境庁告示 13 号(昭和 48 年 2 月 17 日), '産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法', <http://www.env.go.jp/hourei/syousai.php?id=11000178>
- 20) 環境庁告示第 46 号(平成 3 年 8 月 23 日), '土壌の汚染に係る環境基準について', <http://www.env.go.jp/kijun/dojou.html>
(WEB サイトの URL は、2011 年 7 月末にアクセスしたものである)