

フェニックス・ロベレニーと水産加工残渣の混合堆肥化

田中優平¹・岡澤立夫²・野口 貴²・益永利久³

Composting of Roebelen palm with fish processing waste

Yuhei TANAKA, Tatsuo OKAZAWA, Takashi NOGUCHI and Toshihisa MASUNAGA

フェニックス・ロベレニー (*Phoenix robelenii*, 以下「ロベ」という) は、切葉としての出荷量が八丈島農業生産の5割に相当する約10億円(平成19年度実績)を占める基幹作物である。幹が十分生長すると一部は掘り上げられて鉢物として流通するが、年間約2,000 tの樹木が利用されず老朽化により更新・廃棄されている。

また、島の特産物である「クサヤ」の加工業者からは、年間約40tの加工残渣(魚腸骨:以下、「残渣」という)が排出され、これまでは海洋投棄、または農地にそのまま投入されてきた。しかし、1996年のロンドン条約議定書および関連国内法規の制定により、一般産業廃棄物の海洋投棄は原則禁止となった。また、残渣は水分を多く含み腐敗しやすいため、農地に直接投与すると作物の生育障害や悪臭の発生が懸念される。そのため、残渣の大部分はごみとして八丈町クリーンセンターにて処分されている。

八丈島の農耕地は未熟であるとともに、高温・多雨の条件下におかれるため有機物の消耗が激しい。農作物の安定生産を続けるためには有機物の継続的な施用が望まれるが、島内で流通している堆肥のほとんどが島外から運ばれてくる市販堆肥であり、輸送コストが高いため価格が高く、施用の障害となっている。

このような状況の中、我が国では「循環型社会形成推進基本法」が制定される等、天然資源を社会に必要なものとして再利用の度合いをより高めていくことが望まれており、様々な地域で未利用資源の堆肥化の試みが進行している(石井ら2005, 高橋ら2007, 前田・奥畑2001)。

本研究では、八丈島における地域資源の循環利用を進めるために、腐敗しやすい残渣の保存性向上と悪臭の発生を低減するための一次処理試験、ロベと残渣を混合した堆肥化試験および試作堆肥による野菜の栽培実証試験を行ったので報告する。

材料と方法

残渣の一次処理試験 残渣と米ぬかの混合比の違いにより、残渣のみの対照区を含めた4試験区を設け、乳酸菌による嫌気発酵処理を行った(表1)。発酵容器には密閉式のチャック付ポリ袋(ユニパックK-8)を用い、1試験区当たりの処理量を2kgとした。試験区1~3は2006年8月14日~22日に、対照区は8月28日~9月5日に発酵処理を行った。残渣としてクサヤモロ *Decapterus macarellus* の内蔵を使用した。米ぬかは、農協で市販されているものを使用した。乳酸菌資材としてビオ・クラフト((株)文化社)を、各試験区に100mlずつ添加した。また、各試験区は3

表1 残渣の一次処理試験における混合物の重量比と水分含量

試験区分	混合比(重量比)		水分(%)
	残渣	米ぬか	
1	1	1	47.7
2	2	1	58.5
3	4	1	66.0
対照区	1	-	70.1

1 東京都小笠原水産センター 〒100-2101 東京都小笠原村父島字清瀬

2 東京都農林総合研究センター園芸技術科 〒190-0013 東京都立川市富士見町3-8-1

3 東京都農林総合研究センター生産環境科 〒190-0013 東京都立川市富士見町3-8-1

反復とした。水分は肥料分析法に準じ、加熱減量法で測定した。各区とも発酵開始から0, 24, 48, 72, 96, 120, 192時間後にpHと硫化水素を測定した。pHは、試料15gを300mlサンプル瓶にとり、蒸留水100mlを加え30分間振とう後、pH計（ハンディ型pH計SK-620PH, (株)佐藤計量器製作所）で測定した。硫化水素は、ガステック検知管（No. 4LK）を用いて測定した。

堆肥化試験 2006年9月にロベの伐採木をチップ化したロベチップと、2006年10月11日～18日にかけて発酵処理した一次処理物を混合して堆肥化試験を行った。試験区は、一次処理物の違いにより、無処理残渣を含めた3区を設けた（表2）。試作堆肥A, Bは（以下「堆肥A」「堆肥B」という）、2006年10月18日から堆肥化試験を行い、堆肥化開始後20, 27, 41, 55, 69日後に切り返しを行った。試作堆肥C（以下「堆肥C」という）は、2006年11月8日から堆肥化試験を行い、堆肥化開始後、7, 21, 36, 50, 64日後に切り返しを行った。堆肥の温度経過は、温度自動記録計（Thermo Recorder おんどとり Jr. TR-51A, (株)ティアンドデイ）を用いて1時間毎に計測した。

また、特殊肥料としての施用効果や安全性を検討するために、堆肥化開始から3ヶ月後に各試験区のサンプル採取し、肥料成分ならびに重金属類の分析を東京都家畜保健衛生所肥料検査センターおよび東京都農林総合研究センターに依頼した。水分は加熱減量法、窒素は炭素は燃烧法、りん酸はバナドモリブデン酸アンモニウム吸光光度法、カリウムは誘導結合型プラズマ発光分析法、ナトリウム、銅、亜鉛、砒素、カドミウム、鉛、クロム、ニッケルは原子吸光測定法、水銀は加熱気化法により測定した。

試作堆肥の栽培実証試験 試作堆肥の作物生育に対する影響を検証するために、コマツナ「夏楽天」*Brassica rapa var. perviridis*による発芽試験および生育試験を行った。発芽試験は、農林水産省「植物に対する害に関する栽培方法」に準じた。試験区として、赤

表2 各試作堆肥の成分重量

試作堆肥	重量 (kg)			
	一次処理物①	一次処理物②	残渣	ロベチップ
堆肥 A	48			180
堆肥 B		46		175
堆肥 C			20	180

注) 一次処理物 ①残渣：米ぬか（1：1）の一次発酵処理物
②残渣：米ぬか（2：1）の一次発酵処理物

土に各堆肥を2t/10a相当量の1倍量、2倍量、3倍量および4倍量を混合した4区を設定した。また、対照区として市販堆肥「みのり堆肥」を施用した区を設けた。肥料は用土250mlあたりマイクロロングを0.5g施用した。2007年2月5日にコマツナを各育苗ポットに25粒播種し、8日後に発芽率を調査した。また、各試験区は2反復とした。生育試験は、2007年1月30日にパイプハウスへ各試作堆肥2t/10aと、窒素、りん酸、カリを各12kg/10aずつを施用した。試験区は、1区7.5㎡の2反復で行った。2007年2月5日にコマツナを条間12cm、株間5cm、12条の栽植密度で播種し、37日後に1株あたりの地上部重および草丈を計測した。

試作堆肥の作物生育に対する有用性を検証するために、島内で栽培されているオクラ「エメラルド」*Abelmoschus esculentus*による生育試験を行った。試験区として、各試作堆肥、市販堆肥および無堆肥区の5区を設定した。堆肥は、2008年5月19日に3t/10a、基肥は窒素成分で15kg/10aを施用した。1晩浸水処理したオクラ種子を2008年5月23日に条間60cm、株間45cm、2条で播種した。試験区は、1区45㎡の2反復とした。2008年7月16日に窒素成分で5kg/10aを追肥した。莢長が10cm以上となった時点で収穫し、播種後130日までの収穫重量、1莢あたりの重量および1株あたりの収穫本数を記録した。

結果

残渣の一次処理試験 各試験区の試験開始時の水分含量は、それぞれ47.7, 58.5, 66.0%、対照区では70.1%であった（表1）。

一次処理期間中の平均pHの変化を図1に示した。pHは対照区では試験開始時に6.80であったが、96時

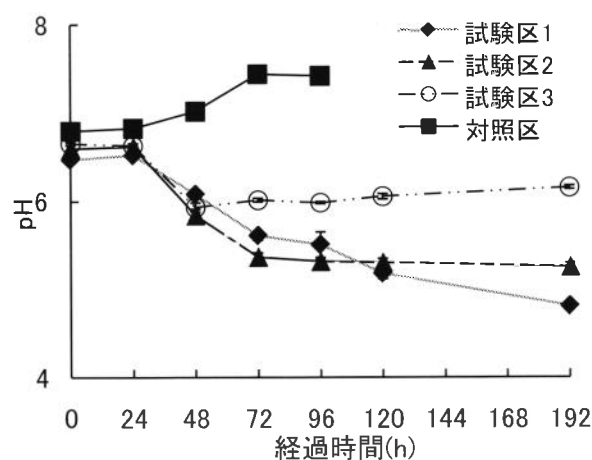


図1 一次処理時におけるpHの変化

間後には7.42に高まった。一方、各試験区では、試験開始時には6.45～6.60の範囲内であったが、24時間目以降減少し、192時間後には試験区2が5.25となり、試験区3は6.15と最も高く、試験区1は4.81と最も低い値を示した。

硫化水素の発生濃度の変化を表3に示した。試験区1では試験開始時から終了まで硫化水素は検出されなかった。試験区2では、試験開始から24時間後と120時間後に1～4ppm検出された。試験区3では、24時間後から継続して検出され、20ppmを超える時もあった。一方、対照区では試験開始24時間の時点で20ppmを超えた。

堆肥化試験 堆肥化期間中の堆積物の温度変化を図2に示した。堆肥A、Bでは堆積開始後3日で60℃以上に達し、その後50℃以上の状態が約30日間続いた。堆肥Cでは、堆積開始後3日で60℃以上に達し、その後50℃以上の状態が約25日間続いた。しかし、いずれの試作堆肥も堆肥化開始から40日後には30℃以下に低下した。

堆肥化開始から3ヶ月後に採取した各試作堆肥の成分の分析結果を表4に示した。各試作堆肥中の水分含量は、78.01～80.70%で大差は認められなかった。乾物あたりの窒素含有量は、2.05～2.97%で堆肥Aがもっとも高かった。りん酸、カリウム、ナトリウム

表3 各試験区分における硫化水素発生濃度 (ppm) の経時変化

試験区分	検体 No.	経過時間 (h)					
		24	48	72	96	120	192
1	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2	4	1	n.d.	n.d.	n.d.	2	n.d.
	5	3	n.d.	n.d.	n.d.	4	n.d.
	6	3	n.d.	n.d.	1	4	n.d.
3	7	16	3	10	20	20<	20<
	8	19	3	20<	13	20<	10
	9	5	5	9	16	20<	9
対照区	10	20<	20<	20<	20<		
	11	20<	20<	20<	20<		
	12	20<	20<	20<	20<		

注) n.d.は、検出限界2ppm未滿

表4 各試作堆肥の成分分析結果

項目	堆肥 A	堆肥 B	堆肥 C
水分 (%)	80.70	78.01	80.70
窒素 (%)	2.97	2.82	2.05
炭素 (%)	39.45	39.92	40.83
炭素窒素比	13.30	14.20	19.90
りん酸 (%)	4.67	3.54	1.91
カリ (%)	3.98	3.63	3.02
ナトリウム (%)	0.37	0.41	0.39
油分 (%)	0.78	0.84	6.64
銅 (mg/kg)	17.91	17.75	15.65
亜鉛 (mg/kg)	117.07	110.53	90.70
砒素 (mg/kg)	1.69	2.08	1.35
カドミウム (mg/kg)	0.44	0.49	0.37
総水銀 (mg/kg)	0.01	0.03	0.02
鉛 (mg/kg)	1.78	2.02	2.03
クロム (mg/kg)	2.55	2.52	3.23
ニッケル (mg/kg)	2.73	1.74	1.31

注1) 成分含有量：乾物あたり（水分、炭素窒素比を除く）

注2) 肥料取締法規制値：砒素 50mg/kg カドミウム 5mg/kg 水銀 2mg/kg 以下

注3) 有機質肥料等推奨基準：銅 600mg/kg 亜鉛 1800mg/kg 以下

注4) 堆肥 A 残渣：米ぬか (1:1) の一次発酵処理物 48kg+ ロベチップ 180kg

堆肥 B 残渣：米ぬか (2:1) の一次発酵処理物 46kg+ ロベチップ 175kg

堆肥 C 残渣 20kg+ ロベチップ 180kg

は、それぞれ堆肥 A で 4.67, 3.98, 0.37%, 堆肥 B で、3.54, 3.63, 0.41%, 堆肥 C では、1.91, 3.02, 0.39% であった。重金属類の砒素、カドミウムおよび総水銀

の含有量は、堆肥 A で 1.69, 0.44, 0.01 mg/kg, 堆肥 B で、2.08, 0.49, 0.03 mg/kg, 堆肥 C では、1.35, 0.37, 0.02 mg/kg であった。銅、亜鉛の含有量は、堆

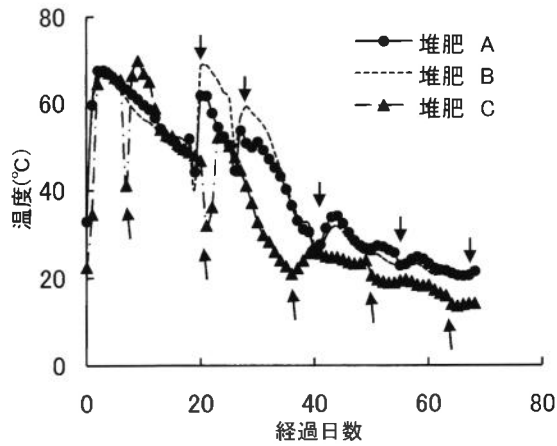


図2 堆肥化期間中における堆積物の温度変化。矢印は切り返し日を示す

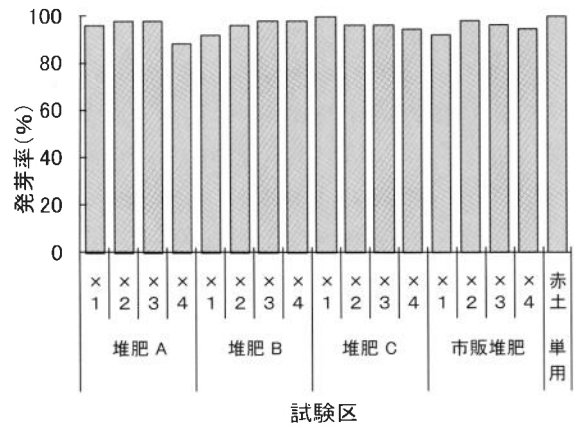


図3 試作堆肥別コマツナの発芽率

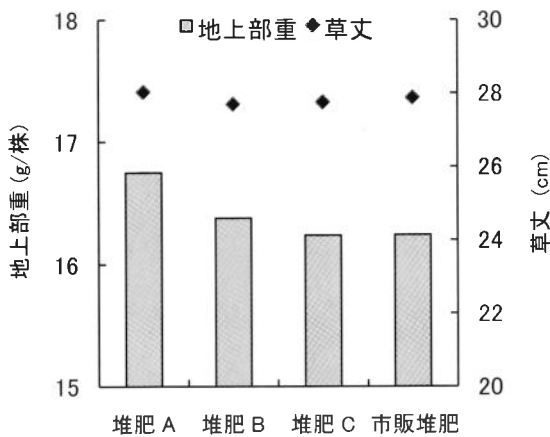


図4 試作堆肥別コマツナの生長

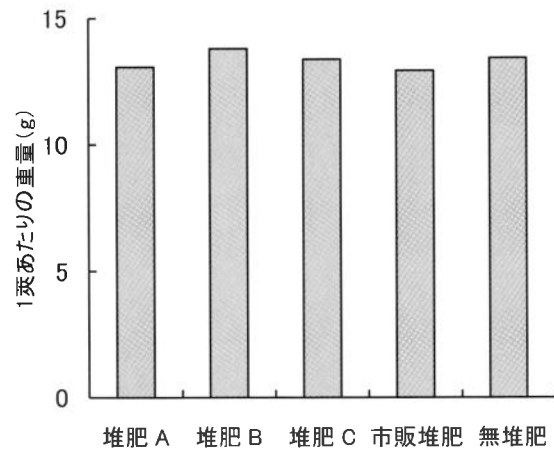


図5 試作堆肥別オクラ1葉あたりの重量

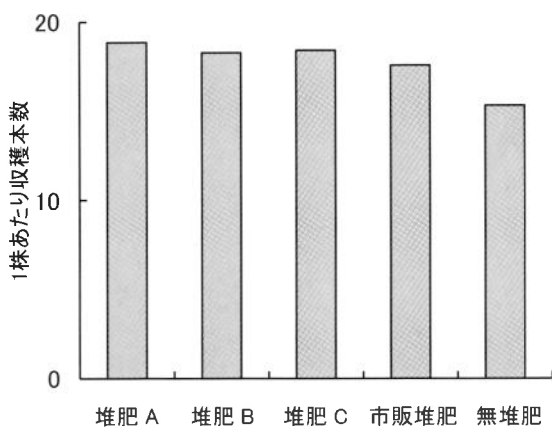


図6 試作堆肥別オクラ1株あたりの収穫本数

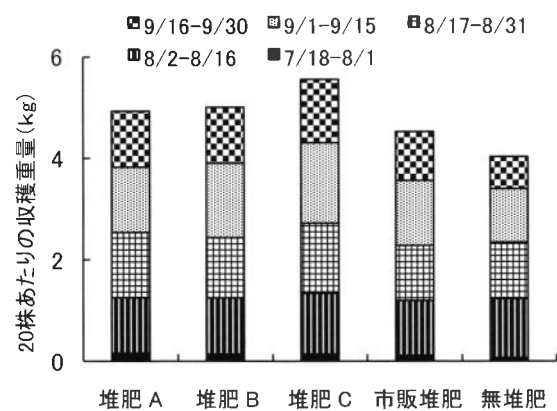


図7 試作堆肥別オクラ20株あたりの収穫重量

肥 A ではそれぞれ, 17.91, 117.07 mg/kg, 堆肥 B では, 17.75, 110.53 mg/kg, 堆肥 C では, 15.65, 90.70 mg/kg であった。

試作堆肥による栽培実証試験 試作堆肥別のコマツナの発芽率および生育状況を図 3, 4 に示した。8 日目の発芽率は, 試作堆肥ごとに若干の差がみられたが, いずれも 85% を超え, 施用による発芽阻害は認められなかった。1 株あたりの地上部重量および草丈を播種から 37 日後に計測した結果, 堆肥 A はそれぞれ 16.8g, 28.0cm, 堆肥 B は 16.4g, 27.7cm, 堆肥 C は 16.2g, 27.7cm, 市販堆肥は 16.2g, 27.9cm であった。地上部重および草丈は, 各試作堆肥間で差はなく (Post-hoc test : Tukey-Kramer $p > 0.05$), 施用による生育阻害は認められなかった。

試作堆肥別のオクラ 1 莢あたりの重量を図 5 に示した。各試作堆肥の 1 莢あたりの重量は, それぞれ 13.1, 13.8, 13.4g, 市販堆肥は 12.9g, 無堆肥では 13.4g であった。市販堆肥と堆肥 B との間でのみ有意な差があった。(Bonferroni Post-hoc test $p < 0.05$)。株あたりの収穫本数を図 6 に示した。試作堆肥別の株あたりの収穫本数は, 堆肥 A は 18.8 本, 堆肥 B は 18.3 本, 堆肥 C は 18.3 本, 市販堆肥は 17.6 本, 無堆肥区では 15.3 本であった。無堆肥との間には有意差が認められた。(Bonferroni post-hoc test $p < 0.05$)。播種後 130 日までの収穫重量を図 7 に示した。各試作堆肥別の収穫量は, 4.93, 5.01, 5.56kg, 市販堆肥は 4.53kg, 無堆肥では 4.02kg と, 各試作堆肥は, 市販堆肥と同等の収穫重量が得られた。

考 察

残渣の一次処理試験 残渣と米ぬかを混合し, 乳酸菌を添加して一次処理したときの pH の変化は, 試験区 1, 2 では酸性になったが, 試験区 3 および対照区では中性に近い値を維持した。臭気の指標となる硫化水素濃度は, 試験区 1, 2 では, 少量またはほとんど検知されなかったが, 試験区 3 および対照区では, 20ppm を超えて強い臭気を発生し, pH の変化と一致した。したがって, 残渣に対し混合する米ぬかの量を多くすることにより臭気の軽減が期待できる。また, 残渣はそのまま放置すると直ちに腐敗し, 非常に強い臭いを発生させる。しかし, 米ぬかを混合し, 乳酸菌により嫌気発酵させることで臭いを軽減し, 保存性の向上が可能となることが明らかになった。

また, 一次処理時に水分が多いと, 偏性嫌気性菌が増加し臭気を発生させるため, 水分調整が必要であり,

水分調整材には米ぬかが適しているとされている (千代・川辺 2005)。米ぬかの添加量が残渣に対して 25% の試験区 3 では, 水分が 60% を超え強い臭気を発したことから, 臭気を抑えるためには, 経済性を考慮し 50% 程度の添加が望ましいと考えられる。

堆肥化試験 試験期間中の温度変化は, いずれの試作堆肥も堆積開始後 3 日目に 60℃ 以上に達し, その後 50℃ 以上の状態が約 30 日間続いたが, 堆積後 40 日目には 30℃ 以下に低下した。堆肥化の過程では, 堆積時の温度変化が発酵の指標となるとされており (石井ら 2005), 発熱がみられなくなると易分解性有機物の分解の終了とみなされる (伊澤ら 2005)。この発熱は, 好気性微生物の分解活性や, 易分解性有機物の含有量が反映したものと考えられる (高橋ら 2007)。今回の試験では, いずれの試作堆肥も堆積後 40 日間で発熱が収まっており, この間に好気性微生物が活発に働き, 易分解性有機物がほぼ分解されたことが示唆される。また, 病原性微生物や雑草種子の死滅など堆肥の重要な品質を得るためには, 60℃ 以上の状態が数日間継続することが望まれる (前田・奥畑 2001, 伊澤ら 2005)。今回の試験では 60℃ 以上の期間は, 堆肥 A では 32 日, 堆肥 B では 34 日, 堆肥 C では 26 日であったことから, いずれの試作堆肥も衛生上の障害は解消されたものと考えられる。

堆肥化開始から 3 ヶ月後に採取した各試作堆肥成分の分析を行った結果, 肥料成分の窒素, カリウムは, 各試作堆肥間に大きな差はみられなかった。しかし, リン酸については, 堆肥 A および堆肥 B が堆肥 C を大きく上回り, 一次処理時の米ぬかの成分が反映したものであり, 肥料効果も期待できることが明らかになった。

肥料取締法に基づく特殊肥料の指定に掲げる規制では, 重金属に関する安全性を担保するために, 堆肥中の砒素, カドミウム, 水銀は乾物中, 砒素 50mg/kg 以下, カドミウム 5mg/kg 以下, 水銀 2mg/kg 以下であることが規定されている。また, 全国農業協同組合中央会では, 有機質肥料等推奨基準を策定しており, 砒素, カドミウム, 水銀以外に銅, 亜鉛についても基準を設け, その値はそれぞれ 600mg/kg 以下, 1,800mg/kg 以下となっている。今回使用した全ての試作堆肥で, 基準値以下の重金属含量であったことから, 試作堆肥と同様な工程で堆肥を作成することにより, 流通可能な堆肥としての活用が期待できる。

試作堆肥の栽培実証試験 試作堆肥の作物生育に対する阻害性をコマツナの発芽試験および生育試験で検

証した結果、全ての試作堆肥において発芽阻害および生育阻害は認められなかった。また、37日後の地上部重量および草丈は、市販堆肥と同等であった。発酵期間が短い堆肥では、易分解性有機物の急激な分解や有機酸などを原因とする発芽阻害の危険性があるとされている(宮崎・吉田2007)。本試験の結果では、ロベチップと残渣を混合し2ヶ月程度発酵させることにより、易分解性有機物が分解され、作物生育に対する阻害が回避されたと考えられる。

試作堆肥の作物生育に対する有用性を検証するために、オクラによる生育試験を行った結果、1莖あたりの重量は、堆肥Bで最も高く、堆肥A、堆肥C、市販堆肥間では違いは認められなかった。株あたりの収穫本数は、各試作堆肥間では有意な差は認められず、市販堆肥と同等であった。栽培期間130日の収穫量は、試作堆肥を施用した区では、市販堆肥区と同様に無堆肥区よりも高い収量が得られた。以上の結果から、各試作堆肥は市販堆肥と同様にオクラの生育に対して有用性があることが明らかになった。

今回の方法で、廃棄処分されているロベ老朽木と水産加工残渣を混合して堆肥化することにより、未利用資源から安全で作物栽培に有用な堆肥の製造が可能であり、島内に普及可能な技術として期待できることが判明した。

要 約

- 1) クサヤ加工残渣(魚腸骨)を米ぬかを用いて嫌気発酵処理をすることにより、臭気が軽減され保存性が向上することが明らかになった。
- 2) クサヤ加工残渣を嫌気発酵させた後に、ロベの伐採木をチップ化したロベチップと混合し、好気発酵させた堆肥は、堆肥化期間中に1ヶ月程度60℃以上の高温期が続くことから、衛生上の問題はないと考えられる。

- 3) 試作堆肥の重金属含量は法令の基準値を下回っており、安心安全な堆肥であることが明らかになった。
- 4) コマツナおよびオクラで生育への影響を検証した結果、市販堆肥と同等の効果が確認された。

キーワード：フェニックス・ロベレニー、水産加工残渣、混合堆肥化

謝 辞

本研究を行うにあたり東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所の皆様には、堆肥化試験の作業、助言等多大なご協力を頂いた。また、執筆にあたり同事業所の工藤真弘所長にはご指導とご校閲を賜った。ここに記して厚くお礼申しあげる。

文 献

- 千代 勉・川辺雅生. 2005. ヒトデの有効利用, 水産資源の先進的有効利用法. エヌティーエス, 東京, pp. 338-345.
- 石井匡志・高橋輝昌・荻野淳司・原 和久. 2005. 堆肥混入と頻繁な切り返しによる剪定枝の堆肥化促進法の検討. 日緑工誌, 30(1): 320-323.
- 伊澤敏彦・原田靖男・小林郁夫. 2005. たい肥づくりの手引き. 財団法人畜産環境整備機構, pp. 66-76.
- 前田恵助・奥畑庄次. 2001. 家畜ふんとオガクズ混合堆肥の堆積初期の成分変化. 和歌山農林水技七研報, (2): 149-154.
- 宮崎成生・吉田智彦. 2007. 家畜ふんを原料とした成分調整・成型肥料の特性および葉菜類への施用. 日作紀, (4): 555-561.
- 高橋輝昌・吉田 亮・井上政義・小柳倫生・中野祐司. 2007. 副資材に下水汚泥コンポストを用いた木材チップの堆肥化特性. 日緑工誌, 32(1): 50-55.