

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420556

研究課題名(和文) 植物工場により増加が予想される農業副産物の有効利用：抗酸化物質の回収と資源量調査

研究課題名(英文) Antioxidant activities, phenolics, and carotenoids in emerging crop residues by plant factories

研究代表者

赤尾 聡史 (Akao, Satoshi)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号：30448196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：植物工場など土に抛らない集約的農業が広まった場合、農業副産物の処理ニーズが高まると予想される。これらを事業系廃棄物として処理した場合の経営影響を100 m²規模の施設園芸を対象に行い、農業所得に対して10%前後の処分費を必要とすると見積もった。農業副産物を資源として利用するため成分調査を行い、肥料成分としてリンを含むミネラル含率が高いこと、炭素/窒素比が低く生物変換に注意を要すること、ルテインなどカロテノイド類の含率が高いことを示した。

研究成果の概要(英文)：Developing plant factory industry will require disposal of its agricultural organic wastes. The waste disposal cost was estimated to account for about 10% of their gross profit at one cycle in the case of 100 m² scale of greenhouse horticulture. Component analysis was conducted to utilize agricultural wastes. The wastes were high in minerals including phosphorus and carotenoids such as lutein, indicating that the wastes could be used as one of carotenoids sources for a food and/or feed preservative and fertilizer after carotenoids extraction. Carbon nitrogen ratios in the wastes were generally low, in other words, they were high in proteins. Ammonia inhibition should be in mind in bio-chemical transformations such as methane fermentation.

研究分野：環境衛生工学

キーワード：農業残渣 廃棄物処理 抗酸化効果 カロテノイド トマト

1. 研究開始当初の背景

植物工場、精密農業など農業の集約化・工業化は進展が目覚ましい。一方で、集約的となることから新たな廃棄物問題が懸念される。特に、消費地近郊で植物工場を経営する場合、排出される剪定残渣などの処分が問題となり得る。これらは、従来、埋戻しや焼却など土地・スペースを使った処理をしていたものである。従来からの農業副産物の資源化としては、飼料・肥料化(すき込みを含む)が挙げられる。ただし、植物工場を消費地近郊で立地した場合、これら資源化の実施は販路や環境面から困難である。また、従来農業と比べてより集約的に大量に発生する。事業系廃棄物として処理する必要も生じる。

農業副産物として野菜、果物、お茶、ワインなど食品工業の残渣から抗酸化物質など高付加価値物質を抽出する報告¹⁾がある。特に、抗酸化物質は疾病予防や鮮度維持の目的から畜産業や養殖業でニーズが高まっている。以上から、剪定残渣など農業副産物から抗酸化物質を回収し、健康関連商品として提案できる可能性が考えられる。

2. 研究の目的

(1) 農業副産物処理の経営影響

植物工場においては通常営農と同じように野焼きによる農業副産物処理が行えない可能性も考えられる。そこで、これらを一般廃棄物として処理委託した場合に係る経費の経営への影響を考察する。なお、植物工場の経営自体は現時点で脆弱であり、また、その経営状況は通常営農ほどは明らかではない。そこで、施設園芸における営農に対して農業副産物処理の影響を示す。

(2) 農業副産物の肥料成分

トマト、ブロッコリー、スイカ、キュウリ、長ネギおよびらっきょうの非可食部を対象に、窒素ならびに灰分(特にリン)含有量を示す。農業副産物の窒素含有量の報告事例は存在する²⁾が、リンは見当たらない。なお、トマトとキュウリは植物工場での採用を意図し、ブロッコリー、スイカ、長ネギおよびらっきょうは地域の特産品として対象とした。特にトマトについては、成長が早いことから剪定残渣の発生量も多く、かつ、通常土中埋戻しを行わない残渣である。

(3) 農業副産物の抗酸化効果

上記対象について、抗酸化効果(スーパーオキド消去活性、SOSA)および抗酸化物質(ポリフェノール、カロテノイド類)の含有量を示す。SOSAを含む一般的な抗酸化効果の測定値はビタミンC(アスコルビン酸)の影響を受けることから同量を測定する。また、抗酸化効果値は脂溶性抗酸化物質の効果を正しく反映できないことから、カロテノイド類の含有量を示す。

3. 研究の方法

(1) 統計資料

農業副産物処理の経営影響を検討する際は、農林水産省の営農類型別経営統計(<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyo/kensaku/hin5.html>)を用いた。また、経年にわたる価格比較を伴うことから、物価影響を勘案するために総務省の消費者物価指数(<http://www.stat.go.jp/data/cpi/1.htm>)を用いた。農業副産物中に含まれる成分をその可食部と比較する際は、文部科学省の日本食品標準成分表2015年版(七訂)(http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhin/seibun/1365297.htm)を用いた。

(2) 農業副産物

トマト、スイカおよびキュウリの残渣は鳥取大学フィールドサイエンスセンター主催のアグリスクールにて排出されたものを用いた。ブロッコリー(琴浦町)、長ネギ(鳥取市)およびらっきょう(鳥取市)の残渣は直接農家より入手した。

入手した試料はその日中に水洗いし、冷凍保存した。冷凍後、順次凍結乾燥を行い、ミル破碎後1mmのふるいを通して分析試料とした。なお、分析まで冷凍庫で保管した。

(3) 成分分析

成分分析は、特に記載がない場合は五訂増補日本食品標準成分表分析マニュアルに準拠した。水分および灰分は重量法により求めた。全炭素と全窒素はCNコーダ、全リンは灰化-塩酸/硝酸抽出の後ICP-AESにより求めた。SOSA、総ポリフェノール、総アスコルビン酸、各種カロテノイド類の測定は、一般財団法人日本食品分析センターに依頼した。個別ポリフェノール類の分析は、株式会社ビーエムエルに依頼した。

4. 研究成果

(1) 農業副産物処理の経営影響

植物工場では、農業副産物を場内処理できない状況も想定される。廃棄物の処理及び清掃に関する法律において通常営農では認められる農業副産物の野焼きも植物工場では不確かである。そこで、農業副産物処理を事業系一般廃棄物として行った場合の経費について試算した。なお、植物工場の経営は現在のところ脆弱であることから、ここでは施設園芸において想定される経費を求めた。

対象作物はトマト、ナス、キュウリとした。これらは植物工場でも栽培が検討される作物であり、かつ、農業副産物の発生量が多い作物でもある。作物ごとの施設100㎡当たりの農業粗収益と生産量は、農林水産省統計より求めた。平成17から19年度については品目別作物統計を、それ以降では営農類型別経営統計(個別経営)を用いた。トマト、ナス、キュウリそれぞれについて、9年間の農業粗収益と農業経営費の推移を図1に示す。なお、

この9年間の消費者物価指数(中分類,総合)は99.7から102.1(基準年2013年:100)の間で推移しており(総務省統計局),この期間における農業所得などの補正は行わないものとした。

想定される廃棄物処分費は,生産量から推定される農業副産物量に事業系一般廃棄物処分費を乗じることで求めた。松本²⁾によると,トマト,ナス,キュウリの残渣(農業副産物)発生係数は生産量1に対してそれぞれ0.62,0.59,0.62と示されている。事業系一般廃棄物の処分単価は,ホームページより求めた。東京(36.5円)を除く関東地域7県(神奈川県は横浜市の数値を使用)の事業系一般廃棄物単価(平成27年12月22日時点確認)の平均値17.2±3.4円/kgとした。

農業粗利益に対する農業副産物処分費割合を求めた。トマト,ナス,キュウリ栽培における農業粗利益に対する副産物処分費は4.1±0.3%,3.7±0.2%,4.6±0.3%と求めた。また,農業粗利益から農業経営費を引いた農業所得に対する割合は10.5±0.7%,7.9±0.5%,9.7±0.6%となった。施設園芸において農業副産物処理の費用は決して小さいものではなく,経営の脆弱な植物工場であればなおさらである。焼却炉による焼却処分はさらに不経済と見積もられたことから,農業副産物の有効活用の方策,つまり,事業系一般廃棄物処分費より安価な価格で副産物を引き取ってもらえるシステム作りが必要であると考えられる。

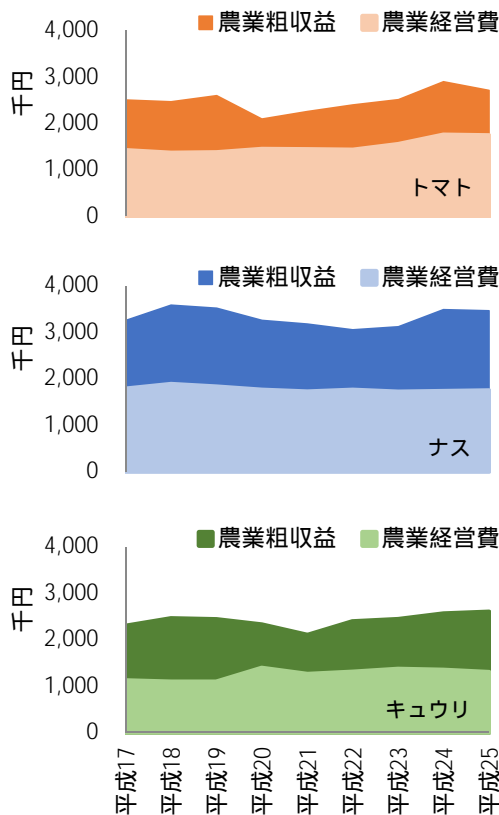


図1 施設園芸の経営状況(10aあたり)

(2) 農業副産物の肥料成分

農業副産物の資源化としてまず考えられるものは堆肥化,あるいはそれを含むメタン発酵である。これらを実施するにおいては,肥料価値としてのミネラル量,また,微生物活性の面から炭素/窒素比の情報が必要である。農業副産物についてこれらの情報が不足していることから調査した(表1)。調査した農業副産物に対応する可食部についての情報は日本食品標準成分表2015年版(七訂)より得た。

農業副産物の成分について,灰分は可食部と比べて高い含有率であった。リン含有率も,ブロッコリーを除いて副産物が高い傾向を示した。例えば,トマトの生産量と副産物量の比²⁾をもとに灰分割合を試算すると,副産物は全体の76%の灰分,つまりミネラルを含んでいた。通常営農でも農業副産物は野焼き後還元されることがあるが,ミネラル収支の点から農業副産物の肥料価値は高いと考えられた。

農業副産物の肥料利用に先立ってメタン発酵が実施されることも考えられる。その際,アンモニア阻害の点から炭素/窒素比が重要な指標となる。メタン発酵やその前段となる酸発酵に対して至適な炭素/窒素比が報告されており,それらは30~40程度³⁾である。一方,農業副産物の炭素/窒素比は10前後のものもあり,らっきょう茎葉根を除いて概ね高い傾向が確認できた。農業副産物を例えばメタン発酵に供する場合は,同様の低い稲わらやおがくずなどとブレンドすることが望ましい。また,農業副産物を水洗いするだけで相当量の窒素やミネラルを洗い出せることから⁴⁾,これらの回収法や炭素/窒素比の低減法として水洗いも有効と考えられる。なお,洗水は,肥料として利用可能と考えられる。

表1 農業副産物の肥料成分

	含水率	灰分	TC	TN	TP
	-	g/g	mg/g	mg/g	mg/g
トマト	0.89	0.16	402	40.5	5.95
ブロッコリー	0.89	0.20	376	43.2	4.57
スイカ	0.89	0.16	412	17.4	2.07
きゅうり	0.90	0.19	388	26.8	10.64
長ネギ	0.91	0.08	419	31.8	3.19
らっきょう	0.87	0.07	431	8.4	2.83

* 乾重量あたり,TC;全炭素,TN;全窒素,TP;全リン

(3) 農業副産物の抗酸化効果

肥料価格は資源化費用に比べて著しく安価であることから,その他の多段的な資源化方法が必要と考えられる。農業副産物は葉を含むことから,カロテノイドなど光合成に関わる物質の高含有が推測され,ポリフェノールと併せて抗酸化効果を期待できる。抗酸化物質は家畜に対するサプリメントなど地元で消費される可能性も有することから,抗酸

化効果に着目した(表2)。

抗酸化効果の1つの指標であるスーパーオキシド消去活性(SOSA)は、もともと植物(可食部)によりばらつきの大きな値を示すため(緑茶、コーヒーは極めて高い)、ここで特記する情報は得られなかった。一般に抗酸化効果は総ポリフェノール値と相関を有することが知られているが、同様の傾向はここでも伺えた。ただし、長ネギ葉とらっきょう茎葉根はポリフェノール値に対してスーパーオキシド消去活性値が低い傾向であった。

一般的な抗酸化効果値には反映されにくいカロテノイド類については、対応する可食部より副産物のほうが高い含有率を示した。特にトマト茎葉は、高い総カロテン含有率を示すにんじんやほうれんそう可食部のそれぞれ4割、7割の含有率(乾燥重量あたり)を有していた。ルテインについては、農業副産物全般に高い含有率を示し、特にトマト茎葉は高含有率が知られるほうれんそう可食部の4割程度を含有していた。カロテノイド類はサプリメントとして需要が増加しており、また、植物工場では農業副産物が集約的に定常的に排出されるため、農業副産物はカロテノイド類の供給源となり得ると考えられる。

総ポリフェノール値について比較的高い値を示したトマト茎葉とスイカ茎葉について、個別ポリフェノールの定量を行った(表3)。スイカ茎葉はリグニン由来と考えられる物質を高濃度で含有していた。カフェ酸から推定されるクロロゲン酸濃度は、同濃度が高いと知られるごぼうと同程度であった。トマト茎葉は、フラボノイド(ケルセチン、ケンペロール)の高含有に特徴があった。特に、ケルセチンについては、高濃度が知られるたまねぎと同程度であった。

表2 農業副産物の抗酸化物質

	SOSA	ポリフェノール	VC	-カロテン	-カロテン
	units/g	%	μg/g	μg/g	μg/g
トマト	4,900	1.04	2,140	6	388
ブロッコリー	2,800	0.47	5,290	0	214
スイカ	9,000	2.46	1,950	2	108
きゅうり	2,900	0.37	560	1	89
長ネギ	730	0.44	1,410	0	141
らっきょう	1,300	0.83	1,580	0	54

ルテイン	ゼアキサンチン	-クリプトキサンチン
μg/g	μg/g	μg/g
557	20	2.8
351	5	3.4
335	8	0.0
230	10	1.2
241	9	0.7
95	3	0.7

* 乾重量あたり, SOSA; スーパーオキシド消去活性, VC; 総アスコルビン酸(ビタミンC)

表3 トマトとスイカ茎葉のポリフェノール

	カフェ酸	フェラ酸	p-クマル酸	ケルセチン	ケンペロール	オイゲノール
トマト	4,804	637	875	-	-	-
スイカ	1,650	132	67	2,463	228	43

* μg/g-乾重量

<参考資料>

- 1) W. Peschel, et al.: An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes, Food Chemistry, 97(1), 137-150, 2006.
- 2) 松本成夫: 地域における窒素フロー推定方法の確立とこれによる環境負荷の評価, 農業環境技術研究所報告, 18, 81-152, 2000.
- 3) A.D. Smith, et al.: Investigation of the optimal carbon-nitrogen ratio and carbohydrate-nutrient blend for mixed acid batch fermentations, Bioresour Technol, 102(10), 5976-5987, 2011.
- 4) H. Nagare, et al.: Nutrient recovery from biomass cultivated as catch crop for removing accumulated fertilizer in farm soil, Water Science and Technology, 66(5), 1110-1116, 2012.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計2件)

赤尾 聡史, ブ ダイナム, 服部 尚太, 植物工場から発生する作物残渣の有効利用, 第50回日本水環境学会年会, 2016年3月16日, アスティとくしま(徳島県・徳島市)

ブ ダイナム, 赤尾 聡史, 植物工場から発生する農業廃棄物とその経営に及ぼす影響, 第66回土木学会中国支部研究発表会, 2014年5月31日, 松江工業高等専門学校(島根県・松江市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤尾 聡史 (AKAO Satoshi)

同志社大学・理工学部・准教授

研究者番号: 30448196