

有機栽培期間が異なる野菜畑土壌の粗粒有機物，水溶性有機物と微生物バイオマス

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	青山,正和 木村,智志 野呂,拓未
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	84巻1号
掲載ページ	p. 30-37
発行年月	2013年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



有機栽培期間が異なる野菜畑土壌の粗粒有機物、水溶性有機物と微生物バイオマス*

青山正和・木村智志・野呂拓未

キーワード 微生物バイオマス, 腐植物質, 粗粒有機物, 水溶性有機物, 有機物施用

1. はじめに

有機栽培は、化学肥料と農薬を使用しない栽培法であり、我が国においても農業の自然循環機能の増進と環境への負荷の低減による持続的な農業生産が可能になるとされ、推進策が取られてきている。前報（青山ら, 2013）において、著者らは有機栽培が土壌に及ぼす影響を明らかにするための研究の一環として、有機栽培の継続期間が異なる野菜畑から土壌を採取して理化学的分析を行った。その結果、有機栽培は土壌の交換性陽イオンを増加させて土壌 pH を上昇させるとともに、土壌の可給態リン酸を増加させることが示された。こうした結果は、有機栽培によって土壌に施用された有機質資材に含まれる無機物が土壌に集積することを意味する。これに対して、有機質資材中の有機態窒素によって供給されると考えられる可給態窒素の増加は、余り多くはなかった。

畑地へ厩肥を連用すると、土壌には砂サイズの粗粒有機物の集積が認められる（青山・熊田, 1982；青山, 1992；青山・谷内, 1992）。また、有機物施用によって集積した砂サイズの有機物画分の炭素と窒素は無機化されやすいことが、培養実験によって明らかにされている（青山・熊田, 1982；青山, 1992；青山・谷内, 1992）。土壌の砂サイズの有機物は Particulate organic matter (POM) とも呼ばれ、POM は一般には 0.053 mm 以上の有機物画分とされる（Cambardella and Elliott, 1992）。Aoyama and Kumakura (2001) は、厩肥を 20 年間連用した黒ボク土畑地において、POM の量的変化を経時的に調べ、厩肥を多量に連用すると POM が土壌に集積してくることを明らかにした。

また、土壌の水溶性有機物は環境中で移動しやすい成分であり（渡辺, 2011）、厩肥施用によって増加する（Aoyama, 2002）。土壌の水溶性有機物は、腐植物質と非腐植物質から構成され、非腐植物質は糖類、タンパク質や

ペプチドなど比較的分解されやすい成分からなると考えられる（渡辺, 2011）。水溶性有機物中の腐植物質は、量的には非腐植物質より少なく（Aoyama, 2002）、主に土壌のフルボ酸成分の一部（渡辺, 2011）と考えられている。

さらに、土壌微生物バイオマスは、各種の植物養分を含み（Anderson and Domsch, 1980）、代謝回転の過程で植物に養分を供給する。畑土壌の可給態窒素量は、微生物バイオマスと正の相関があることが報告されており（坂本・大羽, 1993）、土壌微生物バイオマスは、有機物施用によって増加することが多くの研究で認められている（青山・杉浦, 1991；村田ら, 1997a, b）。

以上のことから、作物への養分供給と関連した易分解性および可動性の土壌有機物画分に対して有機栽培が及ぼす影響を調査することを目的として研究を行った。本研究では、土壌の易分解性および可動性の有機物画分として、粗粒有機物（以後、POM の訳として使用する）、水溶性有機物ならびに微生物バイオマスを調査項目とし、前報（青山ら, 2013）と同じく、同一農業生産法人の管理下にある土壌タイプおよび立地が異なる三カ所の農場において有機栽培の継続期間が異なる野菜畑土壌について検討を行った。

2. 材料と方法

1) 土壌試料

土壌は前報（青山ら, 2013）で用いたものと同一であり、農業生産法人・有限会社ワタミファームの山武農場（千葉県山武市、標高約 35 m の台地上、黒ボク土）、倉淵農場（群馬県高崎市、標高約 500 m の山間地、黒ボク土）および白浜農場（千葉県南房総市、標高約 40 m の海岸段丘上、グライ土）において、有機栽培の継続期間が異なる野菜畑圃場から採取した。山武農場では圃場 No. 41（1.0 年, 55 Mg ha⁻¹）、40（1.0 年, 57 Mg ha⁻¹）、25（4.3 年, 70 Mg ha⁻¹）、23（4.3 年, 26 Mg ha⁻¹）、21（6.3 年, 34 Mg ha⁻¹）、9（8.8 年, 30 Mg ha⁻¹）、倉淵農場では圃場 No. 58（1.2 年, 0 Mg ha⁻¹）、50（2.6 年, 73 Mg ha⁻¹）、40（3.3 年, 36 Mg ha⁻¹）、30（7.3 年, 20 Mg ha⁻¹）、15（14.8 年, 41 Mg ha⁻¹）、白浜農場では A5（0.3 年, 41 Mg ha⁻¹）、B5（6.9 年, 28 Mg ha⁻¹）、B2（5.1 年, 36 Mg ha⁻¹）の各圃場において土壌採取を行った。なお、圃場 No. の後のカッコ内に有機栽培の継続年数と

* 本研究の一部は 2012 年 9 月の日本土壌肥料学会 2012 年度鳥取大会で発表した。

弘前大学農学生命科学部 (036-8561 弘前市文京町 3)

Corresponding Author: 青山正和

2012 年 7 月 17 日受付・2012 年 11 月 1 日受理

日本土壌肥料科学雑誌 第 84 巻 第 1 号 p. 30~37 (2013)

土壌採取前3年間の有機物の年間平均施用量を示した。白浜農場のB2ではビニルハウス内での栽培であるが、他の圃場では露地栽培である。各圃場の詳細は、前報（青山ら、2013）で述べた。

土壌採取に際しては、各圃場を3区画に分け、各区画の3地点で表層15 cmの土壌を採取し、同一区画内の土壌を混合して1つのサンプルとした。白浜農場のB2は3棟のビニルハウスからなり、各ハウス内の3地点で表層15 cmの土壌を採取し、同一ハウス内の土壌を混合して1つのサンプルとした。土壌は、山武農場については2010年11月に、倉淵農場と白浜農場については2011年8月に採取した。採取した土壌は、宅配便により4~10℃に保った状態で実験室に運び、微生物バイオマス測定のために一部の土壌は直ちに湿潤状態で2 mmのふるいを通して、残りの土壌は、風乾後、2 mmのふるいを通して分析試料とした。分析に用いた土壌試料は、前報（青山ら、2013）において、化学分析に用いた土壌試料と同一である。

2) 粗粒有機物画分の分離と分析

既報（Aoyama and Kumakura, 2001）と同様に、10 gの風乾土に対して直径6 mmのガラスビーズを5粒と超純水50 mLを加えて16時間振とうした後、0.053 mmのふるいを用いて粗粒有機物画分を分離した。ふるい上の粗粒有機物画分は、超純水で洗浄した後、40℃の通風乾燥機中で乾燥させて重量を測定した。乾燥画分は、メノウ乳鉢で微粉末にした後、全自動分析装置（エレメンタル Vario EL Cube）を用いて全炭素量と全窒素量を分析した。

3) 水溶性有機物の抽出と分析

乾土10 g相当量の風乾土に、土壌水分を含めて50 mLとなるように超純水を加えて2時間振とう後、10000 × gで30分間遠心分離し、上澄みを0.45 μmのメンブランフィルターを通して水抽出液を得た。この水抽出液について、全有機態炭素分析計（島津製作所 TOC-V_E）で有機態炭素を分析した。さらに、水抽出液の腐植物質（水溶性腐植物質）量を推定するため、高速サイズ排除クロマトグラフィー（HPSEC）を行った。HPSECには、カラムとしてAsahipack GS-320HQ（内径7.6 mm、長さ300 mm）を用い、溶離液として0.3 M塩化ナトリウムを含有する0.05 Mリン酸バッファー（pH 8.0）とアセトニトリルの混液（4:1）を毎分0.5 mLで流した（Aoyama, 2006）。水抽出液試料は、同量の0.6 M塩化ナトリウムを含有する0.1 Mリン酸バッファー（pH 8.0）および半量のアセトニトリルと混合し、0.45 μmのシリンジフィルターを通した後に、その100 μLを注入した。溶出ピークは、励起波長360 nm、発光波長450 nmで蛍光検出した。検出されたピークの面積は、検出器に接続したパーソナルコンピュータのクロマトグラム処理プログラム（日本分光 ChromNAV）で積算した。測定中、カラム温度は35℃に設定した。分子量の推定は、予め作成した分子量の異なるポリエチレングリコールを標準物質とした場合の分子量校正曲線に基づいて行った。

4) 微生物バイオマス炭素量の測定

Vance *et al.* (1987) のクロロホルムくん蒸-抽出法に基づいて行った。すなわち、25℃で7日間前培養した乾土25 g相当量の湿潤土についてエタノールを含まないクロロホルムで24時間、25℃でくん蒸した後、0.5 M硫酸カリウム溶液100 mLで抽出した。未くん蒸土壌についても、同様の方法で0.5 M硫酸カリウム抽出液を得た。抽出液中の有機態炭素量は、全有機態炭素分析計（島津製作所 TOC-V_E）で分析し、くん蒸土壌と未くん蒸土壌から抽出された有機態炭素量の差に、係数2.22（Wu *et al.*, 1990）を乗じて微生物バイオマス炭素量を求めた。

5) 統計処理

本研究では、圃場を3区画に分けて区画（白浜B2のみは各ビニルハウス）ごとに3地点で土壌を採取して混合した土壌サンプルについて上記の分析を行ったことから、すべての結果は3区画の分析値の平均値として表し、各区画を反復と見なしてTukey法による多重比較検定（柳井, 2004）を行って有意差の有無を検定した。結果を示した表においては、5%水準での有意差検定結果をアルファベットで付した。

3. 結果と考察

1) 有機栽培が粗粒有機物に及ぼす影響

未分画土壌の全炭素量（表1）は、山武農場では、有機栽培の期間が長くなって増加する傾向は認められなかったが、堆肥が多量に施用されたNo. 25圃場でのみ増加していた。一方、倉淵農場では、有機栽培によって全炭素量と全窒素量が増加する傾向が認められ、とくに有機栽培を15年間継続しているNo. 15圃場の全炭素量と全窒素量が多かった。また、白浜農場においても、初年目のA5圃場と比べて、露地で有機栽培を行なってきているB5圃場およびビニルハウスで有機栽培を行なってきているB2圃場で全炭素量が多くなっていた。未分画土壌の全窒素量に関しても、ほぼ同じ傾向が見られた。このように、有機栽培に伴う土壌有機物の増加は、倉淵農場と白浜農場の土壌では認められたが、山武農場では明らかではなかった。

粗粒有機物画分の全炭素量（表1）は、山武農場では、有機物が多量に施用されているNo. 25圃場でのみ増加した。これに対して、倉淵農場においては、有機栽培の継続期間が長くなるほど増加する傾向が見られ、7年以上有機栽培を行ったNo. 30と15の各圃場では、統計的に有意な増加が認められた。白浜農場においても、露地で有機栽培を行なっているB5圃場では、有機栽培に転換した直後のA5圃場と比べて有意に多かった。粗粒有機物画分の全窒素量も、全炭素量と同じ傾向を示した。

未分画土壌の全炭素量に占める粗粒有機物画分の全炭素量の割合を計算すると（表1）、山武農場では有機物施用量が多いNo. 25圃場で高い数値を示したが、それ以外の圃場では有意な差は見られなかった。また、倉淵農場と白浜農場では、圃場間に有意な差は認められなかった。未分

表1 粗粒有機物画分の全炭素量と全窒素量

圃場 No.	全炭素量 (gk g ⁻¹)		A/B × 100	全窒素量 (g kg ⁻¹)		C/D × 100
	未分画土壌 (A)	粗粒有機物画分 (B)		未分画土壌 (C)	粗粒有機物画分 (D)	
山武農場						
41	57.4ab	6.1a	10.6a	4.82ab	0.50a	10.4a
40	62.0b	5.8a	9.4a	4.74ab	0.41a	8.7a
25	70.3c	12.3b	17.6b	5.59b	0.97b	17.3b
23	53.6a	6.2a	11.5a	4.44a	0.48a	10.9a
21	51.2a	5.9a	11.6a	4.50a	0.54a	12.0a
9	51.0a	6.7a	13.3ab	4.61a	0.60a	13.0ab
倉洲農場						
58	29.5a	3.4a	11.7a	2.63a	0.33a	12.6a
50	50.8b	5.2ab	10.3a	4.10b	0.48ab	11.6a
40	55.7b	4.6ab	8.2a	4.36b	0.42a	9.6a
30	56.4b	6.8bc	12.1a	4.40b	0.59b	13.5a
15	74.3c	8.2c	11.0a	5.66c	0.66b	11.6a
白浜農場						
A5	20.5a	3.9a	18.8a	1.52a	0.21a	14.0a
B5	26.0b	5.2b	20.3a	2.08b	0.38b	18.3a
B2	27.5b	4.6ab	16.3a	2.06b	0.31ab	14.7a

*数値の右側の小文字アルファベットは、Tukey法による多重比較検定の結果を示し、同記号は同一農場の圃場間に5%水準での有意差がないことを示す。

画土壌の全窒素量に占める粗粒有機物画分の全窒素量の割合も、全く同じ傾向を示した。

このように、いずれの農場においても粗粒有機物量は有機栽培によって増加することが示された。ただし、山武農場では、有機物施用量が多い場合にのみ明瞭に認められた。しかしながら、有機栽培による粗粒有機物の増加は、本研究で調査した圃場では、有機物を多量に施用した場合を除いて、土壌有機物量の増加とほぼ同程度の増加であることが示された。厩肥連用土壌の有機物を粒径分画によって調べた著者らの研究(青山・熊田, 1982; 青山, 1992; 青山・谷内, 1992)では、厩肥連用による有機物の集積はシルトサイズおよび粘土サイズの画分に比べて砂画分で大きいことが認められている。また、厩肥を20年間連用した黒ボク土畑地において、粗粒有機物の量的変化を経時的に調べた研究(Aoyama and Kumakura, 2001)でも、厩肥連用による粗粒有機物量の増加は土壌有機物量の増加よりも大きいことが認められている。ただし、これらの研究で用いられた土壌は、年間50 Mg ha⁻¹以上の厩肥が連用されており、厩肥の施用量が少ないほど粗粒有機物の相対的増加は少なかった。本研究で調査した圃場では、山武農場のNo. 25圃場および倉洲農場のNo. 58圃場を除くと、年間30~40 Mg ha⁻¹程度の有機物が施用されていた。一方、山武農場のNo. 25圃場では、年間70 Mg ha⁻¹が施用されていた。このため、山武農場のNo. 25圃場以外では、有機栽培による土壌有機物の増加以上の粗粒有機物の増加が見られなかったものと推定される。なお、山武農場においては、有機栽培に伴う土壌有機物および粗粒有機物の集積が明らかではなかったが、これは、計画的に設置した試験区での研究とは異なって現地圃場の土壌を研究対象としているため、有機栽培開始前の有機物量が圃場によって異なることが一因であると推察される。

2) 有機栽培が土壌の水溶性有機物に及ぼす影響

乾土当りの水溶性有機態炭素(表2)は、山武農場では多量に有機物を施用したNo. 25圃場および6年以上有機栽培を継続したNo. 21および9の各圃場で明らかに多かった。また、倉洲農場においても、15年間有機栽培を行ってきているNo. 15圃場で多くなっていた。一方、白浜農場においては、露地栽培のB5では有意な増加は認められなかったが、ハウス栽培のB2では有意に増加していた。このように、土壌の水溶性有機物は、有機栽培の継続期間が長くなるか、もしくは短期間でも多量に施用した場合に増加する傾向にあった。

土壌の全炭素量当たりの水溶性有機態炭素量を計算した場合には(表2)、山武農場のNo. 25圃場では有機栽培の期間がほぼ同じであるNo. 23圃場と有意差が見られなくなった。これは、No. 25圃場の全炭素量が多かった(表1)ためである。しかし、6年以上有機栽培を行なっているNo. 21と9の各圃場では土壌の全炭素量当たりの水溶性有機態炭素量は有意に多くなっていた。一方、倉洲農場では、全炭素量当たりの水溶性有機態炭素量は有機栽培の期間がもっとも短いNo. 58圃場でのみ有意に高かった。白浜農場では、ハウス栽培のB2でのみ増加した。

図1は、土壌の水抽出液についてHPSECを行った場合のクロマトグラムを示している。いずれの土壌でも、溶出容量7~8 mLの位置にピークが出現した。HPSECでのピーク検出は、励起波長360 nm、発光波長450 nmで行ったが、これらは土壌フルボ酸に特有な蛍光波長であり(Aoyama, 2006)、水溶性有機物に関しても、この付近の波長に蛍光を有する物質は腐植物質と考えられている(眞家, 2009)。そこで本研究では、設定した波長で検出されたピークを水溶性腐植物質のピークとして扱う。

腐植物質のピーク位置は土壌によって少し異なり、山

表2 水溶性有機物と水溶性腐植物質

圃場 No.	水溶性有機態炭素		水溶性腐植物質のピーク面積	
	乾土当り (mg kg ⁻¹)	土壌全炭素量当り (mg gC ⁻¹)	乾土当り (×10 ⁶ kg ⁻¹)	水溶性有機態炭素当り (×10 ⁴ mg C ⁻¹)
山武農場				
41	93a	1.61a	4.52a	4.5a
40	87a	1.39a	3.85a	4.6a
25	159b	2.25a	26.2ab	16.8ab
23	97a	1.81a	4.58a	4.5a
21	161b	3.18b	39.1b	24.0b
9	166b	3.24b	69.4c	41.6c
倉渕農場				
58	132ab	4.49b	43.8a	33.1a
50	97a	1.94a	41.6a	42.3ab
40	153ab	2.76a	112b	73.0cd
30	134ab	2.45a	75.0a	56.6bc
15	192b	2.61a	156c	81.3d
白浜農場				
A5	157a	7.67a	12.6a	8.1a
B5	185a	7.11a	57.2b	31.0b
B2	276b	9.96b	128c	46.1c

*数値の右側の小文字アルファベットは、Tukey法による多重比較検定の結果を示し、同記号は同一農場の圃場間に5%水準での有意差がないことを示す。

武農場では、有機栽培の期間の短いNo. 41, 40, 25および13の各圃場のクロマトグラム上のピークは、ポリエチレングリコールを標準物質とした分子量約800 Daの位置に出現したが、有機栽培の期間が長いNo. 21と9の各圃場のピークはやや早く溶出し、分子量が高まったことを示した。一方、倉渕農場と白浜農場の土壌のクロマトグラムでは、ピークは分子量約1600 Daの位置に出現した。

各クロマトグラム上のピーク面積の測定値を表2に示した。山武農場では、水溶性有機態炭素と同様に、多量に有機物を施用したNo. 25圃場および7年以上有機栽培を継続したNo. 21と9圃場で多いことが認められた。倉渕農場では、有機栽培3年目のNo. 40圃場と15年目のNo. 15圃場で有意に多くなっていたが、7年目のNo. 30圃場では有意な増加は見られなかった。白浜農場では、露地栽培、ハウス栽培のいずれにおいても、有機栽培によって多くなった。このように、水溶性腐植物質は有機栽培によって増加する傾向が認められた。さらに、水溶性有機態炭素当りの腐植物質のピーク面積を計算すると(表2)、有機栽培の継続期間が長くなるほど上昇することが認められた。このことは、有機栽培によって水溶性有機物中の腐植物質の割合が増えることを示している。

前報(青山ら, 2013)で報告したように、本研究で調査した圃場では有機栽培によって土壌pHが上昇することが認められたが、腐植物質は一般にアルカリに溶けやすいことから、土壌pHと水溶性有機物および水溶性腐植物質との関係を検討した(図2)。水溶性有機態炭素は、いずれの農場について見ても、土壌pHが上昇するほど増加する傾向が見られた。山武農場ではpH(H₂O)が7を超えると増加する傾向があり、倉渕農場と白浜農場ではpH(H₂O)が6.5を超えると増加する傾向が見られた(図2A)。水溶性腐植物質も同様に土壌pHが上昇するほど増

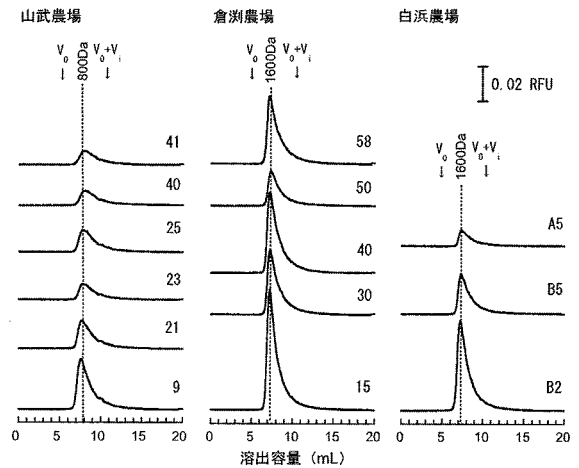


図1 土壌水抽出液のサイズ排除クロマトグラム
各圃場について3区画から採取した土壌について測定したクロマトグラムの内、ピーク強度が中位のものを示した。

加し、山武農場ではpH(H₂O)が7を超えると、倉渕農場と白浜農場では6.5を超えると増加した(図2B)。このように、水溶性有機態炭素と水溶性腐植物質はいずれも土壌pHの上昇に伴って増加したが、増加は水溶性腐植物質で著しかった。したがって、有機栽培による土壌pHの上昇が、水溶性有機物に占める腐植物質の割合を増加させた大きな要因であることが示唆される。

Aoyama(2002)は、4種類の土壌から水溶性有機物を抽出して、腐植酸、ポリビニルピロリドン(PVP)吸着フルボ酸、PVP非吸着フルボ酸に分画し、各画分への有機態炭素の分布を調べているが、腐植酸画分とPVP吸着フルボ酸画分を腐植物質と想定すると、水溶性有機態炭素の2.5~33%が腐植物質炭素と推定された。もっとも大きな数値を示したのは、年間200 Mg ha⁻¹の厩肥を6年間

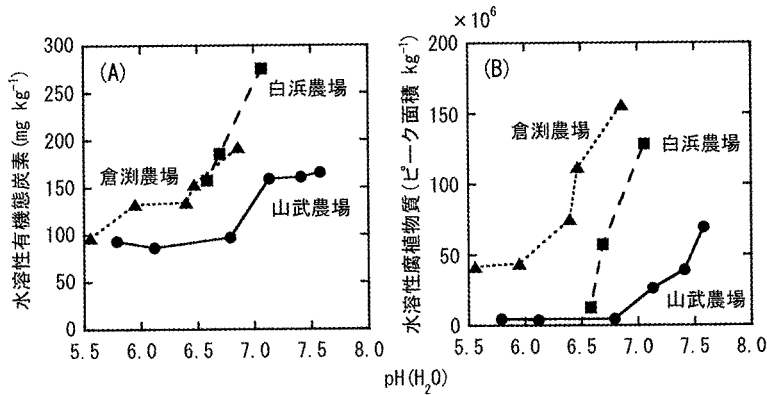


図2 土壌 pH と水溶性有機態炭素量との関係 (A) および水溶性腐植物質のサイズ排除クロマトグラムのピーク面積との関係 (B)

連用した土壌で、pH (H₂O) は7.0であった。このように、土壌の水溶性有機物に占める腐植物質の割合は比較的小さく、有機物施用によって割合が上昇することが認められており、本研究の結果と一致する。

土壌の pH と水溶性有機物量および水溶性腐植物質量との関係は、農場によって異なったが、これはそれぞれの農場の土壌の性質を反映しているものと考えられる。山武農場と倉洲農場の土壌はどちらも黒ボク土であるが、山武農場の土壌の水溶性有機物および水溶性腐植物質は、倉洲農場の土壌より少ない傾向にあり、土壌 pH の上昇による増加も少なかった。Aoyama (2002) によれば、アロフェン質黒ボク土の水溶性有機物は非アロフェン質黒ボク土と比べて少なく、また、アロフェン質黒ボク土の水抽出液には腐植酸画分は含まれず、PVP 吸着フルボ酸画分もわずかしかなかった。これは、アロフェンが腐植物質を強く吸着して水では容易に抽出されなくなるためと考えられる。山武農場は北総台地上に位置し、この地域の黒ボク土はアロフェン質である (松山ら, 1994) ことから、pH (H₂O) が7以下では水溶性腐植物質が非常に少なかったと推察される。一方、倉洲農場は高標高で雨量の多い山間地に位置するため、土壌は非アロフェン質黒ボク土と推定され、そのため、水溶性腐植物質は比較的多く、山武農場の土壌より低い土壌 pH でも水で溶出される腐植物質が増えたものと考えられる。白浜農場の土壌は沖積土であり、土壌 pH と水溶性有機物の関係は倉洲農場の土壌と同様な傾向を示した。水溶性腐植物質に関しては、白浜農場の土壌ではもともと量的に少なかったが、土壌 pH の上昇に伴う増加は倉洲農場の土壌の場合と類似していた。

Aoyama (2002) によれば、アロフェン質黒ボク土の水抽出液の HPSEC で出現するピークは沖積土や非アロフェン質黒ボク土のそれよりも分子量が低い位置に溶出されることが認められている。本研究においても、山武農場の土壌の水溶性腐植物質のクロマトグラム上のピークは、有機栽培の期間が短い場合には分子量が低く、アロフェン質黒ボク土の水溶性腐植物質の特徴を示していた。また、Aoyama (2002) では、厩肥を多量に施用した土壌では水

溶性腐植物質のピークの分子量は他の土壌より高いことが認められている。このため、山武農場で有機栽培の期間が長い土壌における水溶性腐植物質の分子量が高くなった原因としては、施用された有機物に由来する腐植物質の溶出が考えられる。

以上のように、畑地において有機栽培を行うと土壌の水溶性有機物が増加する傾向が見られ、とりわけ水溶性腐植物質の増加が著しいことが認められた。腐植物質は、根の伸長などの植物の生育を促進する効果や微量元素の吸収を促進する効果を有するとされる (Nardi *et al.*, 2002)。こうした効果は、主に分子量 3500 Da 以下の低分子量の腐植物質に由来し、低分子腐植物質は植物ホルモン様の作用も有するとされる (Nardi *et al.*, 2002)。Schmidt *et al.* (2007) は、泥炭から抽出した水溶性腐植物質がシロイヌナズナの根毛の発達を促進することを報告している。こうしたことから、有機栽培に伴う土壌の水溶性腐植物質の増加が作物の生育に影響を及ぼしている可能性もあり、今後、このような観点からの研究も必要と考えられる。

3) 有機栽培が土壌微生物バイオマスに及ぼす影響

山武農場では、微生物バイオマス炭素は、多量に有機物を施用した No. 25 圃場および6年以上有機栽培を継続した No. 21 と 9 の各圃場で多かったが、倉洲農場では、15年間有機栽培を行ってきた No. 15 圃場でのみ有意に多かった (表3)。白浜農場では、露地栽培の B5、ハウス栽培の B2 とともに有機栽培によって乾土当りの微生物バイオマス炭素が増加していた。このように、いずれの農場においても、有機栽培は土壌微生物バイオマスを増加させていることが認められた。

土壌の全炭素量当たりの微生物バイオマス炭素量を計算すると、山武農場では有機物施用量が多い圃場と有機栽培の継続期間が長い圃場で多い傾向にあったが、倉洲農場では圃場間に有意差は見られなかった。白浜土壌では、有機栽培により大きく増加していた。

海外での研究によれば、有機栽培圃場の土壌微生物バイオマス炭素は、慣行栽培の圃場よりも多いことが報告されている (Maeder *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2007;)

表3 微生物バイオマス炭素

圃場 No.	乾土当り (mg kg ⁻¹)	土壌全炭素量当り (mg g C ⁻¹)
山武農場		
41	93a	1.63a
40	110a	1.77a
25	352c	5.06c
23	122a	2.31ab
21	205b	4.05bc
9	152ab	3.01ab
倉渕農場		
58	98a	3.35a
50	134a	2.70a
40	135a	2.44a
30	111a	1.98a
15	240b	3.23a
白浜農場		
A5	60a	2.93a
B5	192b	7.32b
B2	198b	7.10b

*数値の右側の小文字アルファベットは、Tukey法による多重比較検定の結果を示し、同記号は同一農場の圃場間に5%水準での有意差がないことを示す。

Reganold *et al.*, 2010). 有機物施用による土壌微生物バイオマスの増加は、ローザムステッドの長期連用試験の結果 (Jenkinson and Rayner, 1977) を始め、多くの研究で認められている。本研究で得られた結果も、こうした研究の結果と一致するものである。ただし、倉渕農場では、有機栽培を15年間続けた場合には土壌微生物バイオマス炭素は有意に増加していたが、有機栽培の継続が7年目までの圃場では有意な増加は認められなかった。本研究は、研究用に設定された試験区ではなく、現地の圃場について調査を行っており、有機栽培開始前の土壌の状態も異なるために短期間での微生物バイオマスの増加が検出できなかった可能性もある。著者らは、以前の研究 (Aoyama and Nozawa, 1993) において、有機物の種類によって土壌微生物バイオマスの量的な変化に対する影響が異なることを報告した。本研究で土壌を採取した圃場は同一の農業生産法人に属するとはいえ、様々な有機物が施用されている (青山ら, 2013) ことから、微生物バイオマスに及ぼす影響も異なる可能性がある。

Reganold *et al.* (2010) は、カリフォルニアのイチゴ栽培地帯における有機栽培圃場では慣行栽培圃場と比べて土壌の全炭素量当りのバイオマス炭素量も有意に高いことを報告している。山武農場および白浜農場の土壌では、有機栽培によって全炭素量当りのバイオマス炭素量が増加する傾向が認められ、彼らの報告と一致していた。しかし、倉渕農場の土壌では、土壌微生物バイオマス炭素量が有意に増加していた有機栽培15年目のNo. 15圃場でも、土壌の全炭素量当りの微生物バイオマス炭素量は有意な増加を示さなかった。著者らは、石灰系下水汚泥コンポストの連用によって土壌への交換性陽イオンの集積と土壌pHの上昇が起こっている畑圃場の微生物バイオマス炭素量を調べ、土壌の全炭素量当りの微生物バイオマス炭素量

が土壌の電気伝導度が上昇するのに伴って減少することを報告した (Aoyama *et al.*, 2006)。本研究で調査した圃場では、有機栽培の期間が長くなるほど土壌に交換性陽イオンが集積して土壌pHが上昇し、土壌の電気伝導度も上昇していた (青山ら, 2013)。しかし、倉渕農場の土壌の電気伝導度は、もっとも高かったNo. 15圃場でも0.16 dS m⁻¹であり、Aoyama *et al.* (2006) に基づけば、全炭素量に占める微生物バイオマス炭素量の割合を低下させるほどではないと考えられる。一方、ローザムステッドの厩肥長期連用試験圃場においては、土壌の有機態炭素当たりの微生物バイオマス炭素量が無肥料区、化学肥料区と比べて厩肥区でやや低下することが報告されている (Jenkinson and Rayner, 1977)。また、村田らの研究 (1997a, b) においても土壌の全炭素量当りの微生物バイオマス炭素量は有機物施用によって低下する場合が多いことが認められている。したがって、有機栽培は土壌有機物に占める微生物バイオマスの割合を必ずしも増加させる訳ではないといえる。

有機質資材連用畑土壌の可給態窒素量は、微生物バイオマスと正の相関があることが報告されている (坂本・大羽, 1993)。そこで、有機栽培畑土壌においてもそうした関係が認められるのかどうか、前報 (青山ら, 2013) で報告した25℃で4週間培養した場合の無機化窒素量ならびに80℃の水で16時間抽出した場合に抽出される有機態窒素量と微生物バイオマス炭素量との関係を図3にプロットした。なお、可給態窒素量の指標となる80℃水抽出有機態窒素量は、上蘭ら (2010) に基づき、加熱抽出後の有機態窒素と加熱により増加したアンモニア態窒素の合量とした。

無機化窒素量は、微生物バイオマス炭素量と0.1%水準で有意な正の相関を示した (図3A)。このように、本研究で調査した土壌においても、坂本・大羽 (1993) の研究と同様に、微生物バイオマス量は培養法による可給態窒素量と高い正相関があることが判明した。このことは、有機栽培畑土壌の可給態窒素が主に微生物菌体由来であることを示唆している。一方、80℃水抽出有機態窒素量は、すべての土壌を考慮すると微生物バイオマス炭素量との間に有意な相関を示さなかったが、山武農場と白浜農場ならびに倉渕農場に分けて相関を調べると、それぞれ1%水準で有意な正相関を示した (図3B)。いずれの回帰直線も無機化窒素の場合と比べてy切片の値は大きく、山武農場と白浜農場では38 mg kg⁻¹、倉渕農場では85 mg kg⁻¹であった。こうしたことから、80℃の水で抽出される有機態窒素は微生物菌体以外に由来する有機態窒素がかなり多く、また、微生物菌体以外に由来する有機態窒素は山武農場と白浜農場に比べて倉渕農場で多いと推察される。土壌によって微生物バイオマス炭素量と80℃水抽出有機態窒素量との関係が異なる原因は不明であるが、今後検討が必要と考える。

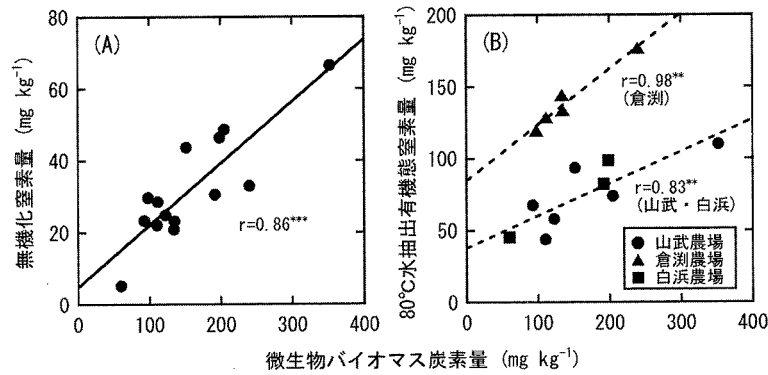


図3 土壤微生物バイオマス炭素量と土壌を25℃で4週間培養した場合の無機化窒素量との関係(A)および80℃水抽出有機態窒素量との関係(B)
1%水準で有意, *0.1%水準で有意.

4. 要 約

畑地における有機栽培が分解性および可動性の高い土壌有機物画分に及ぼす影響を検討することを目的として、有機栽培の継続期間の異なる野菜畑土壌を採取し、粗粒有機物(粒径>0.053 mm画分の有機物)、水溶性有機物および微生物バイオマスの分析を行った。土壌は、ワタミファーム山武農場(千葉県, 黒ボク土)、倉渕農場(群馬県, 黒ボク土)および白浜農場(千葉県, 沖積土)の14圃場から表層を採取した。

倉渕農場と白浜農場では、有機栽培によって土壌の全炭素量と全窒素量が増加する傾向が認められたが、山武農場では増加の傾向は判然としなかった。粗粒有機物画分の炭素量と窒素量は、倉渕農場と白浜農場では有機栽培の継続期間が長いほど多くなったが、土壌の全炭素量もしくは全窒素量に占める割合に有意な差はなかった。山武農場においては、有機栽培の継続期間が長くなるにつれて粗粒有機物画分の炭素量と窒素量が増加する傾向は認められなかったが、年数が短くとも多量の有機物を施用した圃場では有意な増加が認められた。

土壌の水溶性有機物量は、すべての農場において有機栽培の継続年数が長くなるほど増加する傾向が認められ、山武農場では継続年数が長い圃場で土壌全炭素に占める割合も高くなっていった。HPSECでのピーク面積を指標とした水溶性腐植物質量は、有機栽培の継続年数が長くなるほど増加し、水溶性有機態炭素に占める割合も増加した。これは、有機栽培に伴う土壌pHの上昇により、溶出する腐植物質量が増えたためと解釈された。

土壤微生物バイオマス炭素量は、有機栽培の継続期間が長くなるか、もしくは有機物を多量に施用した場合に増加することが認められ、倉渕農場以外では、有機栽培によって土壌の全炭素量に占める割合も上昇していた。微生物バイオマス炭素量は、土壌の可給態窒素量と有意な正相関を示した。

謝辞: 土壌採取に際してご協力いただいた、ワタミファーム山武農場長・一宮一彦氏、倉渕農場長・五十嵐洋

一氏、白浜農場長・西岡亨祐氏ならびにワタミファームの関係者各位に心から感謝いたします。また、土壌分析の一部を担当された弘前大学農学生命科学部学生・漆畑圭織さんに感謝いたします。

文 献

- Anderson, J. P. E., and Domsch, K. H. 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci.*, 130, 211-216.
- 青山正和 1992. 堆きゅう肥の連用に伴って土壌粒径画分に集積する有機物とその窒素無機化. *土肥誌*, 63, 161-168.
- Aoyama, M. 2002. Characterization of water-soluble organic matter in soils by size exclusion chromatography and fractionation with polyvinylpyrrolidone. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 48, 475-481.
- Aoyama, M. 2006. Properties of neutral phosphate buffer extractable organic matter in soils revealed using size exclusion chromatography and fractionation with polyvinylpyrrolidone. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 378-386.
- 青山正和・木村智志・野呂拓夫 2013. 有機栽培期間の異なる野菜畑土壌の理化学性. *土肥誌*, 84, 21-29.
- 青山正和・熊田恭一 1982. 厩肥連用土壌の物理分画画分、とくに粘土画分の性状について. *土肥誌*, 53, 425-430.
- Aoyama, M., and Kumakura, N. 2001. Quantitative and qualitative changes of organic matter in an Ando soil induced by mineral fertilizer and cattle manure applications for 20 years. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 47, 241-252.
- Aoyama, M., and Nozawa, T. 1993. Microbial biomass nitrogen and mineralization-immobilization processes of nitrogen in soils incubated with various organic materials. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 39, 23-32.
- 青山正和・杉浦美保 1991. きゅう肥施用に伴う土壌微生物バイオマス窒素量の推移. *土肥誌*, 62, 536-538.
- 青山正和・谷内 豊 1992. きゅう肥連用土壌の粒径画分および団粒サイズ画分の有機物とその無機化. *土肥誌*, 63, 571-580.
- Aoyama, M., Zhou B., Saitoh, M., and Yamaguchi, N. 2006. Microbial biomass in soils with calcium accumulation associated with the application of composted lime-treated sewage sludge. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 177-185.
- Cambardella, C. A., and Elliott, E. T. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 77-783.

- Jenkinson, D. S., and Rayner, J. H. 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Sci.*, 123, 298–305.
- Liu, B., Tu, C., Hu, S., Gumpertz, M., and Ristaino, J. B. 2007. Effect of organic, sustainable, and conventional management strategies in grower fields on soil physical, chemical, and biological factors and the incidence of Southern blight. *Appl. Soil Ecol.*, 37, 202–214.
- Maeder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296, 1694–1697.
- 眞家光永 2009. 近年の腐植物質分析法の展開, 1. 三次元蛍光分析. 土肥誌, 80, 419–426.
- 松山信彦・三枝正彦・阿部篤郎 1994. 関東および中部地方におけるアロフェン質黒ボク土と非アロフェン質黒ボク土の分布. 土肥誌, 65, 304–312.
- 村田智吉・田中治夫・坂上寛一・安積大治・浜田龍之介 1997a. 麦かん・堆肥の連用が土壌微生物バイオマス量・可給態窒素量および中性糖組成に及ぼす影響. 土肥誌, 68, 249–256.
- 村田智吉・田中治夫・坂上寛一・六本木和夫・浜田龍之介 1997b. 沖積土における稲わら堆肥連用と四要素試験が土壌微生物バイオマス量・可給態窒素量および中性糖組成に及ぼす影響. 土肥誌, 68, 257–264.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.*, 34, 1527–1536.
- Reganold, J. P., Andrews, P. K., Reeve, J. R., Carpenter–Boggs, L., Schadt, C. W., Alldredge, J. R., Ross, C. F., Davies, N. M., and Zhou, J. 2010. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. *Plos One*, 5, e12346.
- 坂本一憲・大羽 裕 1993. 畑土壌における可給態N量と土壌微生物バイオマス量との関係. 土肥誌, 64, 42–48.
- Schmidt, W., Santi, S., Pinton, R., and Varanini, Z. 2007. Water-extractable humic substances alter root development and epidermal cell pattern in *Arabidopsis*. *Plant Soil*, 300, 259–267.
- 上蘭一郎・加藤直人・森泉美穂子 2010. 日本の畑土壌に対する80°C 16時間水抽出法による可給態窒素簡易評価法の適用性. 土肥誌, 81, 39–43.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., and Jenkinson, D. S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19, 703–707.
- 渡辺 彰 2011. DOMの生成・化学的性質・機能. 日本土壌肥料学会編, 溶存有機物の動態と機能—土壌—河川—海を結んで—, p. 7–34. 博友社, 東京.
- Wu, J., Joergensen, R. G., Pommerening, B., Chaussod, R., and Brookes, P. C. 1990. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation extraction: an automated procedure. *Soil Biol. Biochem.*, 22, 1167–1169.
- 柳井久江 2004. 4Steps エクセル統計 (第2版), p. 145–156. オーエムエス, 所沢.

**Particulate organic matter, water-soluble organic matter and microbial biomass
in soils of vegetable fields with different durations of organic management**

Masakazu AOYAMA, Satoshi KIMURA and Takumi NORO

Fac. Agric. Life Sci., Hirosaki Univ.

To investigate the effects of organic management on the labile and mobile fractions of soil organic matter, we measured the amounts of particulate organic matter, water-soluble organic matter, and microbial biomass in 14 vegetable-field soils that had been subjected to durations of organic management ranging from 0 to 15 years. Soil samples were collected from three farms belonging to Watami Farm Ltd.: Sanbu farm (Chiba Pref., Andosol), Kurabuchi farm (Gunma Pref., Andosol), and Shirahama farm (Chiba Pref., Gleysol). For the Kurabuchi and Shirahama farms, the amount of carbon in particulate organic matter increased with increasing duration of organic management, whereas the proportion of carbon in particulate organic matter in the total soil carbon was not significantly different among the soils. For the Sanbu farm, no significant increase in the amount of particulate organic matter carbon was observed except in the soil with the highest rate of organic matter addition. The amount of water-soluble organic carbon increased with increasing duration of organic management. For the Sanbu farm, the ratio of water-soluble organic carbon to total soil carbon also increased with increasing duration of organic management. When the water-soluble humic substances were quantified by high-performance size-exclusion chromatography, with fluorescence detection at an excitation wavelength of 360 nm and an emission wavelength of 450 nm, the amount of humic substances increased with increasing duration of organic management. The proportion of humic substances in water-soluble organic carbon also increased with increasing duration of organic management. The increase in water-soluble humic substances was attributable to the increase in soil pH due to organic management. The soil microbial biomass carbon increased as the duration of organic management increased and as the amount of organic matter applied increased. The ratio of biomass carbon to total soil carbon was enhanced by organic management except in the soil of the Kurabuchi farm. Across all soils, the soil microbial biomass carbon was significantly correlated with the amount of available nitrogen.

Key words: humic substances, microbial biomass, particulate organic matter, organic matter application, water-soluble organic matter.