

第4節 有機栽培や自然栽培の農家圃場を検出する生物指標作りを目指して —土壌生物相に対する除草剤使用の影響解明—

1. 課題の背景・目的

有機農産物をブランド化して付加価値を付けるために有機 JAS 認証制度がありますが、これは農産物を対象とし、また、突き詰めれば農家の自己申告に基づく制度です。有機農業が「環境に優しい」というなら、その圃場についても、客観的に評価、認証する必要があります。土壌生物は栽培管理の影響を受けやすく、また、土壌を持ち帰れば専門機関で分析して種類組成などを把握することができるので、指標の候補と言えます。有機栽培の実施が土壌生物相に及ぼす影響を調べた報告はありますが、管理された試験区で行われたものが多く、農家圃場で行われた例は限定的です（瀧・加藤,1998; 藤田, 2001; Okada *et al.*, 2009)。また、統計学的検証に耐えるほどの反復（圃場）数を備え、複数の年次や異なる季節で検討した報告は少なく、複数の土壌生物群を対象にしたものはさらに乏しいです。そこで本研究では、有機・自然栽培の特徴の1つとして除草剤の不使用に注目し、それが土壌生物相に及ぼす影響を包括的に検討しました。リンゴなどの果樹栽培で除草剤は、慣行的栽培の下草管理に用いられますが、有機・自然栽培では用いられません。刈り払いなど他の手段で代替可能なので、殺虫剤や殺菌剤に比べれば使用を控えやすく、慣行的栽培から有機栽培への転換を図るきっかけとなることも期待されます。ミカン圃場で土壌生物相への除草剤の影響を調べた先駆的な報告はありますが（石橋ら、1978）、圃場の反復が少なく、統計分析まで実施していません。そこで本研究では、統計分析に耐えるだけの圃場数で土壌採取を行い、リンゴ園の下草管理での除草剤の使用の有無が土壌生物に及ぼす影響を包括的に解明しようと試みました。

2. 試験方法

調査圃場の特性を示した表7-1の栽培法の「有機」の圃場には、JAS 有機認定制度が認める肥料や農薬を使用しているもの他に、化学肥料及び化学農薬を一切使用していないもの（いわゆる自然栽培圃場）が含まれます。「慣行」（栽培圃場）では、有機質肥料の他に化学肥料も使用し、地上部病害虫の防除は、青森県の防除暦（青森県りんご病害虫防除暦編成部会、2014など）に基づくJAの防除暦にならい、化学農薬などを用いて行われます。一部の圃場を除き園主が異なるため栽培管理方法は有機と慣行各々の中でも圃場によって異なりますが、リンゴ樹の株元の下草管理については、有機ではどの圃場でも除草剤を使用せず刈り払い機などで行い、慣行ではどの圃場でも除草剤散布で行っています。立地条件を揃えるべく、各有機圃場から5km以内に位置する慣行圃場を比較対象に選び、後の統計分析でペアとして扱えるようにしました。

上記の圃場における土壌採取は、2014年6/30-7/3（以下では「7月」と表記）、10/7-10/9（10月）、2015年7/6-7/10（7月）、10/10-10/16（10月）に行いました。主に直径15cm以内の樹の株元から0.5~1m離れた地点で直径5cmの円筒採土器により地表から5cmまでの土壌を採取しました。毎回圃場内でランダムに選んだ14~19地点で採土し、プラスチック容器内で全土壌（1~2kg）をまとめ、筆書の研究機関に常温で送付し、分析を行うまでの2、3日間10℃で保管しました。土壌を軽く手で混合した後小分けし、各分析を実施しました（表7-2）。

表7-1 調査圃場の主な栽培管理

ID	栽培法	土性	砂%	シルト%	粘土%	場所	主な台木品種	樹齢(年)	施肥	使用農薬	株元の下草管理
Y1	有機	黒色火山灰土	29.3	37.9	32.7	弘前市	マルバ	35-50	ジュースの絞りかす、枝チップの堆肥、モミガラを時々	無農薬。酢を時々。	乗用草刈り機
Y2	有機	黒色火山灰土	28.9	44.9	26.3	弘前市	マルバ	35?	モミガラとヨウリン混ぜて発酵したものを2t/10a。追肥は多雨の年に苦土など。	JAS有機認定薬剤	乗用草刈り機と手動刈り払い機
Y3	有機	黒色火山灰土	41.3	33.0	25.8	弘前市	マルバ	35-50	なし	酢	手動草刈り機
Y4	有機	沖積土	55.0	19.4	25.7	藤崎町	マルバ	不明	生育悪いときのみモミガラ	JAS有機認定薬剤	乗用草刈り機
Y5	有機	沖積土	55.4	18.4	26.3	黒石市	M29?	12	基本的に施肥無し。	酢酸、木酢	手動刈り払い機
Y6	有機	黒色火山灰土	22.8	42.0	35.2	鱒ヶ沢町	M26	17-18	ボカシ、グアノ、草木灰などを樹勢が弱いところを時々	JAS有機認定薬剤	乗用草刈り機
Y7	有機	黒色火山灰土	35.3	31.7	33.0	弘前市	マルバ?	不明	なし	酢	手動草刈り機
K1	慣行	黒色火山灰土	24.7	41.4	33.9	弘前市	M26	6	毎年有機配合肥料	JA防除暦掲載の薬剤	春から6月までグリホサート剤、その後は乗用刈り取り機
K2	慣行	黒色火山灰土	20.3	38.7	41.0	弘前市	M26	10	化学合成肥料、有機配合肥料	JA防除暦掲載の薬剤	6月と収穫期にグリホサート剤、その後は乗用刈り取り機
K3	慣行	黒色火山灰土	43.8	34.0	22.2	弘前市	M26	7	有機質肥料	JA防除暦掲載の薬剤	5、6月にグリホサート剤、状況により8月にも使用。
K4	慣行	主に黒色火山灰土	37.3	29.1	33.6	藤崎町	M26	5~6	調査年は無施肥だがそれまでは化成肥料	JA防除暦掲載の薬剤	5、7月にジクワット・パラコート系薬剤やグリホサート系薬剤
K5	慣行	主に黒色火山灰土	49.0	23.5	27.5	黒石市	M26	7~18	有機配合肥料	JA防除暦掲載の薬剤	4-7月にグリホサート系やグルホシネート系薬剤
K6	慣行	黒色火山灰土	22.6	31.4	46.0	鱒ヶ沢	M26	不明	苦土石灰、有機配合肥料	JA防除暦掲載の薬剤	5-7月にジクワット・パラコート系、グリホサート系、グルホシネート系薬剤
K7	慣行	沖積土	32.8	24.3	43.0	弘前市	M26	10~12	有機配合肥料、化成肥料	JA防除暦掲載の薬剤	年2回(5-7月の間?)グリホサート系薬剤

いずれの圃場でも基本的に不耕起。樹列間はいずれの圃場でも乗用草刈り機で除草。Y7とK7は2015年のみ、その他の圃場では2014、2015年とも調査を実施。

表7-2 土壌の生物性及び理化学性の分析方法

対象	供試土壌 (生土g)	前処理	分析方法
ダニ、トビムシ	100	なし	50g×2連でツルグレン装置に10日間かけ、分離した動物サンプルを75%エタノール液で固定し、常法でプレパラートを作成し総数をカウント。
線虫	80	5mmの篩別	ペールマントレイで48時間分離し、懸濁液として回収し濃度を調査。一部を取って岡田(2014)の方法でプレパラートを作って群集組成を分析。
微生物	0.4	2mmの篩別	-60°Cで保管後2mLの破砕チューブに0.4g採取し、融解後に森本、星野(高田) (2008) の方法によって抽出、精製したDNAの濃度を計測。
植物遺体	900~1600	5mmの篩別	篩別時の残渣のうち植物茎葉及び根を回収し、乾燥重を測定。
理化学性	500	2mmの篩別	十勝農協連農産化学研究所において常法 (Okada and Harada, 2007)によって仮比重、pH、トルオーグリン酸濃度、リン酸吸収係数、陽イオン交換容量、カリウム濃度、塩基飽和度、無機態窒素濃度、全窒素%、全炭素%を測定。

統計分析は次のように行いました。線虫については、分類群（科または属）を対象とし、1地点でしか出現しなかったものを除いて出現頻度ベースの非計量多次元尺度構成法(NMDS)を行い、栽培管理の違いが群集構造に影響するか（有機と慣行とで群集構造が異なるか）調べました（2014年夏季と秋季、2015年夏季のデータについて実施）。また食性群（細菌食、糸状菌食、雑食、肉食、植物食）ごと及び各食性群中の主な分類群の密度と出現頻度(Arcsine変換後)についても栽培管理の違いが有意に($P < 0.05$)影響するか調べました。密度については統計分析パッケージ SAS の glimmix プロシジャ（ポアソン分布を指定）を用い、場所及び場所と栽培管理の相互作用をランダム要因、季節を繰り返し要因としました。出現頻度については mixed プロシジャを用いて同様に分析しました。さらに、ダニ及びトビムシの密度、微生物量、植物遺体量、理化学性についても glimmix または mixed プロシジャを用いて同様に栽培管理の影響を検討しました。

3. 結果

NMDS によって線虫群集構造全体で見ると有機圃場と慣行圃場は分離されず、栽培管理の違いの影響は認められませんでした(図7-1に2014年7月のデータのみ表示、他はデータ略)。しかし、線虫分類群ごとに見ると栽培管理の影響が認められるものがありました。すなわち、糸状菌食性線虫のうち *Filenchus* 属線虫の密度は2014年には栽培管理と季節の相互作用が有意で、7月には有機圃場で密度が高くなりました(図7-2)。また2015年には栽培管理の主効果が有意でいずれの季節でも有機圃場で高くなりました。また、*Aphelenchoides* 属線虫の割合は2年次とも栽培管理と季節の相互作用が有意で、7月には有機圃場での割合が大きくなりました(図7-3)。ダニ(図7-4)及びトビムシ全体の密度(図7-5)、土壌微生物量(DNA

量、図7-6)、植物遺体量(図7-7)は、いずれも年次によらず栽培管理の主効果が有意でした。一方、主成分分析で土壤理化学性全体の傾向を見ると、有機圃場と慣行圃場はいずれの季節や年次でも分離されず、栽培管理の違いの影響は認められませんでした(図7-8、2014年7月の結果。他の季節や年次についてはデータ省略)。また、理化学性の項目ごとに見ても、2年次とも栽培管理の主効果または栽培管理と季節との相互作用が有意である項目はありませんでした(データ省略)。

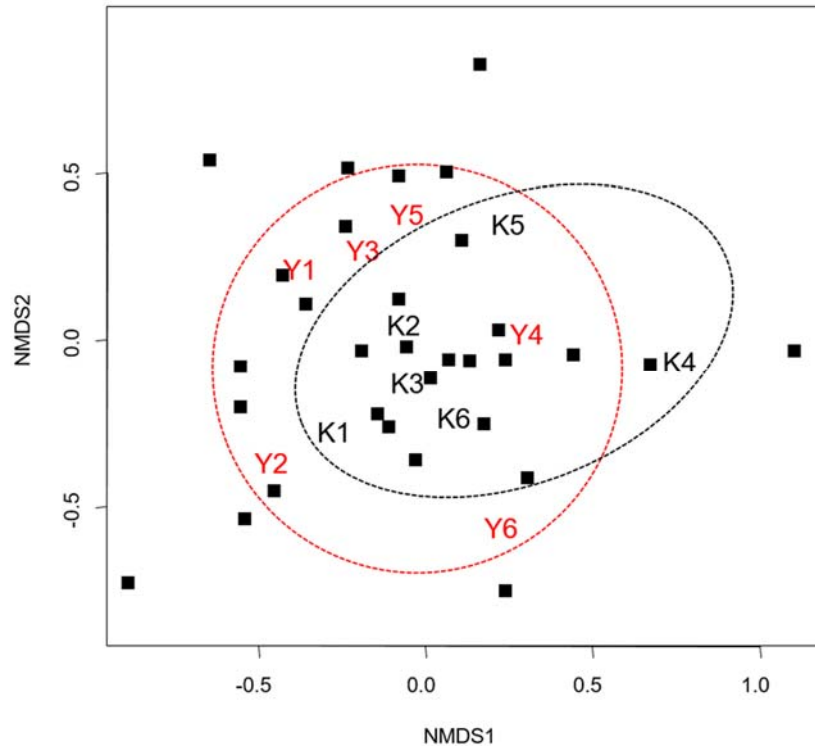


図7-1 NMDSによる線虫群集の座標付けの2014年7月の結果
Y1~Y6、K1~K6は圃場のID(表7-1を参照)、赤点線は有機の圃場分布、黒点線は慣行の圃場分布、■は各線虫分類群の座標を示す。

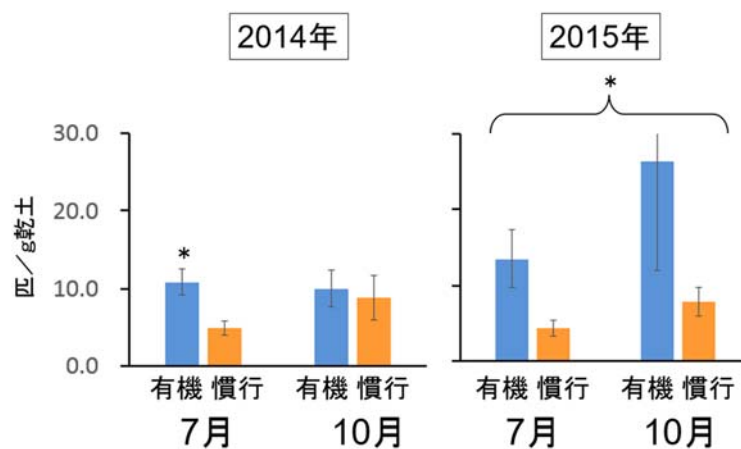


図7-2 *Filenchus* 属線虫の密度
*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

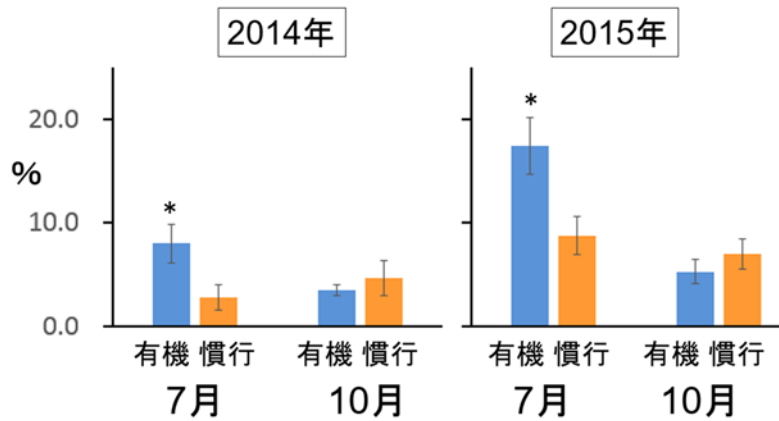


図7-3 *Aphelenchoides* 属線虫の割合

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

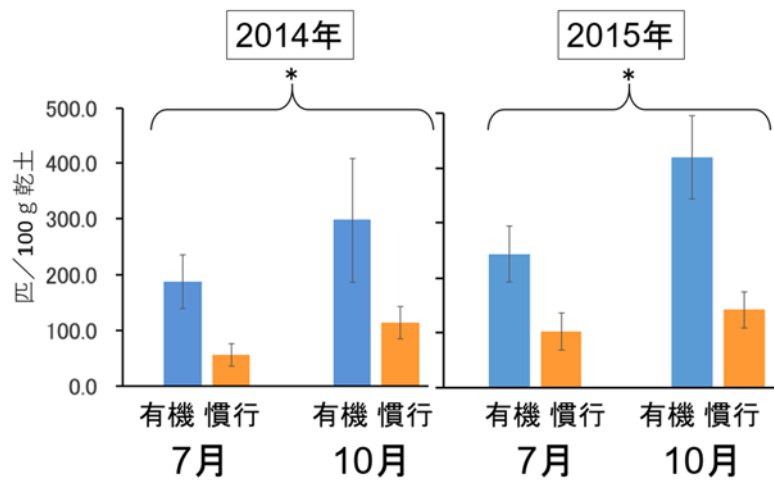


図7-4 ダニ全体の密度

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

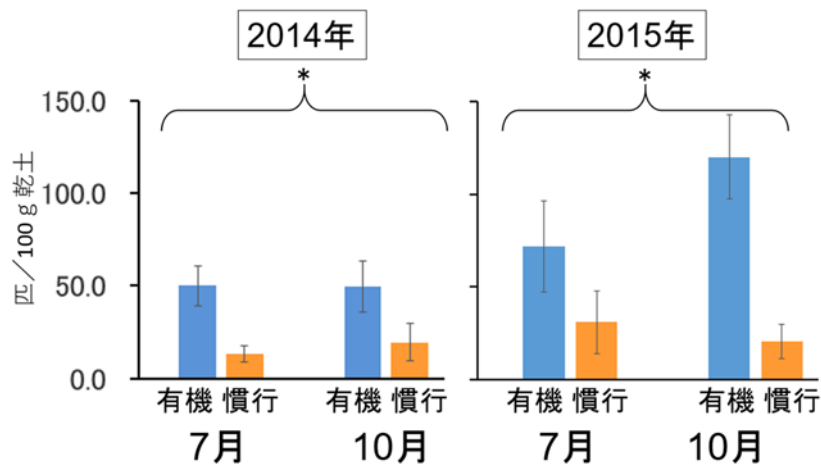


図7-5 トビムシ全体の密度

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

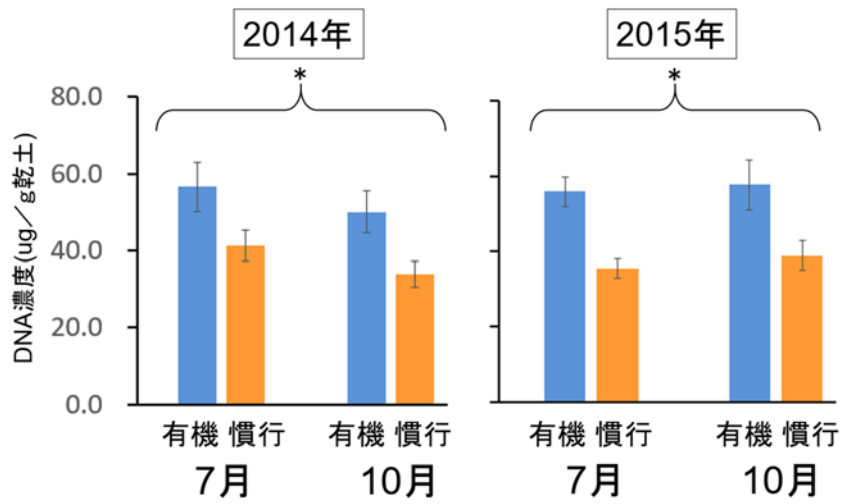


図 7-6 土壤微生物量

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

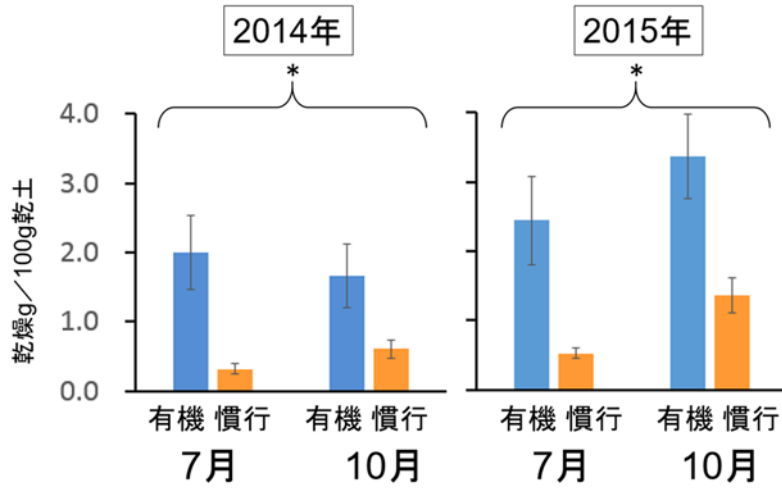


図 7-7 植物遺体量

*は有機の方が慣行より有意($P<0.05$)に値が大きいことを示す。縦棒は標準誤差。

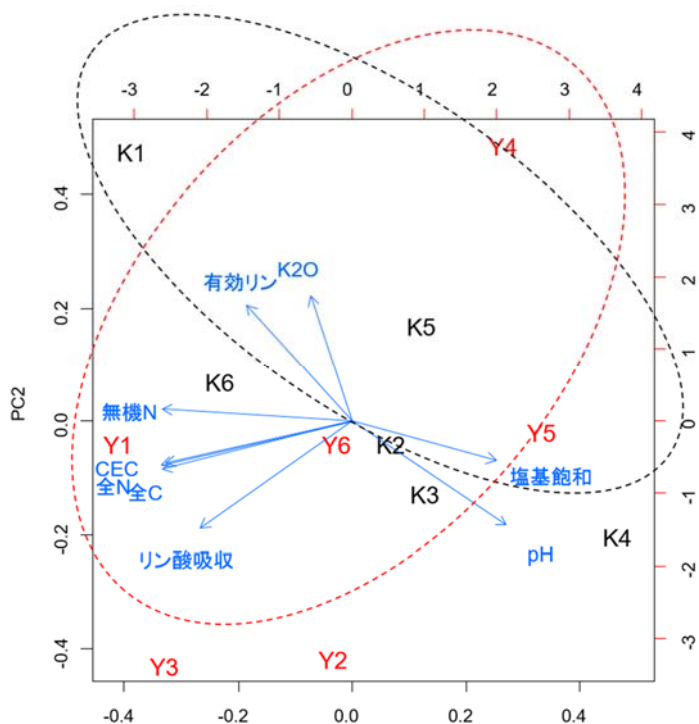


図 7-8 土壤理化学性の 2014 年 7 月の主成分分析の結果

Y1~Y6、K1~K6 は圃場の ID (表 7-1 を参照)、赤点線は有機の圃場分布、黒点線は慣行の圃場分布を示す。

4. 考察

土壤検診などの目的では理化学性の調査が行われることが一般的ですが、除草剤の使用は理化学性に大きな影響を与えず、剤使用の検出には不適であることがわかりました。一方、土壤生物や植物遺体については影響が大きく、剤使用の履歴を客観的に検出する指標としての利用が期待できました。特に、ダニとトビムシでは、季節や年次によらず剤の不使用（有機）と使用（慣行）との密度差が大きくなりました。この原因は、こうした土壤動物が植物遺体を直接摂食するためだと考えられます。石橋ら(1978)は統計的検定を実施していませんが、除草剤の使用によりミカン園の土壤ではやはりトビムシが減少すると述べています。線虫は植物遺体を直接摂食するのではなく、その分解に関わる微生物や動物を摂食します。よって本研究では、除草剤の影響が特定の分類群や季節に限定されたのではないかと考えます。石橋ら(1978)は、除草剤使用圃場では土壤水分の変動が大きく、環境耐性が大きい線虫種が増加すると述べています。本研究では土壤微生物量 (DNA 量) も剤の使用の有無の影響を受けましたが、ダニやトビムシに比べると有無による差が小さくなりました。今回は微生物群集の特性まで分析できませんでしたが、剤使用区では除草剤の分解菌が増えた結果、DNA 量があまり減少しなかった可能性があります。植物遺体量も当然剤使用の影響を受けますが、土壤中の植物茎葉や根を拾い集める労力がかかることや、調査時期によっては除草剤耐性の植物種が植物体量を速やかに回復させ、剤の影響を検出しにくくする可能性もあります。よって、除草剤の使用の有無から有機栽培圃場を客観的に検出する生物指標としては、ダニやトビムシの方が優れていると考えられます。これらの土壤動物は、小中学生の理科教材としても用いられ、安価かつ自家製の機材でも土壤から分離可能といった長所も持ちます。ただし線虫に比べると、土壤からの分離に時間がかかる欠点もあるので注意が必要です。

5. 要約

有機農産物をブランド化する有機 JAS 認証制度は農産物を対象とし、農家の自己申告に基づく。圃場自体について有機栽培の実践を客観的に評価、認証するため、リンゴ園における除草剤の不使用に注目し、それが土壤生物相に及ぼす影響を包括的に調べました。「有機」の圃場には、JAS 有機が認める肥料や農薬を使用しているもの他に自然栽培圃場も含めました。「慣行」圃場では、有機質肥料の他に化学肥料も使用し、地上部病害虫の防除を化学農薬などを用いて行っています。リンゴ樹の株元の下草管理については、有機では除草剤を使用せず刈り払い機などで行い、慣行では除草剤散布で行っています。各有機圃場から 5km 以内に位置する慣行圃場を比較対象に選び、統計分析でペアとして扱いました。土壤採取を 2014、2015 年の夏と秋に行いました。株元から 0.5~1m 離れた地点で地表から 5cm までの土壤を採取し、各種土壤生物及び理化学性などを分析しました。その結果、糸状菌食性線虫の一部のグループの密度または割合が、2 年とも主に夏季に有機で大きくなりました。ダニ及びトビムシ全体の密度、土壤微生物量 (DNA 量)、植物遺体量は、年次や季節によらず有機で大きく、除草剤使用の履歴を客観的に検出する指標としての利用が期待できました。特にダニとトビムシでは有機と慣行との違いが大きく、植物遺体を直接摂食するためと考えられました。一方、土壤理化学性については全体及び各項目ごとに検討しても、有機と慣行との違いについて安定した傾向がなく、除草剤使用の検出には不適でした。

6. 引用文献

- 青森県りんご病害虫防除暦編成部会編 (2014) 平成 26 年度青森県リンゴ病害虫防除暦, 281-289
- 藤田正雄 (2001) 畑地の土壤動物、特にヒメミミズとササラダニ群集に関する研究, 自然農法研究センター報告第 3 号, P.69
- 石橋信義・村岡実・近藤栄造・山崎浩・甲斐秀昭・岩切徹・中原美智男 (1978) 温州みかん園における除草剤の連用が線虫・ダニ・トビムシ等に及ぼす影響, 佐賀大學農學彙報, **44**,43-55
- 森本晶・星野 (高田) 祐子 (2008) PCR-DGGE 法による土壤生物群集解析法(1): 一般細菌・糸状菌相の解析(実験法), 土と微生物, **62**,63-68
- Okada H, Hasegawa H, Hashimoto T, Sekiguchi H, Urashima Y. (2009) Are community structures of soil nematodes different between organic and conventional farming systems in commercial tomato fields? *Nematological Research*, **39**,63-71
- Okada H, Harada H. (2007) Effects of tillage and fertilizer on nematode communities in a Japanese soybean field. *Applied Soil Ecology*, **35**(3),582-598
- 岡田浩明 (2014) 水久保孝之・二井一禎編, 線虫学実験, 京都大学学術出版会, PP324
- 瀧 勝俊・加藤保 (1998) 有機農業実践ほ場における土壤の特徴, 愛知県農業総合試験場研究報告, **30**,79-87

7. 執筆担当者

岡田浩明

8. 問い合わせ先

農研機構中央農業研究センター Tel:029-838-8481