

ミニ特集：転炉スラグによる土壌病害の被害軽減技術の開発と実用化

セルリー萎黄病の被害軽減技術の開発と実証

東京農業大学 生物応用化学科 大 島 宏 行

はじめに

セルリー萎黄病は *Fusarium oxysporum* f. sp. *apii* によって引き起こされる土壌伝染性病害であり、全国各地のセルリー産地で発生が確認されている。静岡県は長野県と並ぶセルリーの二大産地の一つである。なかでも浜松市は作付面積 140 ha、年間出荷量は 7,500 t、出荷額は 13.2 億円 (2006 年) と、冬春どりセルリーでは我が国最大の産地であるが、2000 年ころより萎黄病が発生し問題となっている。萎黄病の防除対策としては土壌消毒が有効であるが、浜松市では、宅地と栽培ハウスが隣接しており、近隣住民への配慮から土壌消毒を制限せざるを得ない生産者も多かった。そのため、セルリー栽培を諦めて他品目へ転換する生産者が増えるなど、セルリー産地の存続にかかわる深刻な事態となっていた。本研究室では、2004 年に地元からの要請に応じて現地調査と対策試験を実施してきた。その結果、セルリー萎黄病の大幅な抑制に成功したので (大島ら, 2006 a; 2006 b; 2010) その事例を紹介する。

I セルリー萎黄病発病ハウスの土壌養分状態と防除対策指針

静岡県浜松市西部地域のセルリー栽培ハウスの土壌は灰色低地土で、栽培歴 40 年におよぶハウスも多い。作付け体系は、9 月定植・12 月下旬収穫と、12 月下旬定植・翌年 4 月収穫の、年二期作体系が主流となっている。7～10 月には屋根の農業用プラスチックフィルムを取り除き栽培が行われる。また、5～8 月まではセルリー不作付けとなる (図-1)。

ハウス表層土の pH (H₂O) は 5.3～6.9 で、発病 10 ハウス中 8 か所では 6.0 以下であった。土壌 pH が低いハウスでは作土に大量の硝酸態窒素が蓄積していた。調査ハウスでは年間 60～100 kg/10 a 程度の苦土石灰が施用されているが、交換性カルシウムやマグネシウムが不

足しているハウスも多かった。本地域における土壌酸性化の原因には硝酸態窒素の集積とハウス屋根の農業用プラスチックフィルムを外した時期における塩基の溶脱が考えられる。リン酸はすべてのハウスで極端な過剰状態にあり可給態リン酸は平均 400 mg/100 g におよんだ。発病ハウスの表層土中には 10³CFU/g 程度以上の *Fusarium* 属菌が検出されたが、菌密度が同等でも pH (H₂O) が 6.2 以上のハウスでは発病が認められなかった (表-1)。

このようなセルリー栽培ハウスでは、施肥量は静岡県のセルリー施肥基準 (N : 90, P₂O₅ : 75, K₂O : 82 kg/10 a, 堆肥 5 t/10 a) に比べて窒素は 1.2 倍に、また堆肥施用量は 2～18 (平均 6.8) t/10 a に達していた。

本研究室ではこれまでに、アブラナ科野菜根こぶ病、ウリ科野菜ホモプシス根腐病およびフザリウム病の発病が土壌の酸性化やリン酸過剰により助長される (村上ら, 2004; 大島ら, 2015; 北口ら, 2004) ことを明らかにしてきた。そこで今回は、セルリー萎黄病の防除対策指針として、①転炉スラグを用いた土壌酸性改良 (pH (H₂O) を 6.5 以上に高める)、②施肥改善による土壌養分の適正化、③太陽熱消毒による *Fusarium* 属菌の低減について検討を行いその結果を指針としてとりまとめた。

II セルリー萎黄病の総合防除対策

セルリー萎黄病が激発した 8 連棟ハウスを使い、2005 年から 7 年間内部を慣行区と改善区に分割し試験を実施した。2005 年作の改善区では堆肥施用量を半減し、施肥量を N 54%, P₂O₅ 75%, K₂O 65% 削減した。さらに、2006 年作の改善区では堆肥を無施用とした。年間施肥量を 2004 年までと比較して、N 76%, P₂O₅ 93%, K₂O 46% にまで削減した。一方、慣行区の施肥は農家慣行とした。2005 年からはセルリー不作付け期を利用してハウス全面にスイートコーンを作付け、雌穂収穫後の茎葉を緑肥として鋤き込み、堆肥に替わる有機物補給を行った。その際、改善区には転炉スラグ (ミネックス株式会社製、商品名: てんろ石灰) を 1.5 t/10 a、水酸化マグネシウム 100 kg/10 a を施用した。次いでハウス全体を密閉して、太陽熱消毒を実施した。9 月上旬に定植を行い、12 月にセルリーの収穫を行った。2006 年目以降は、転炉スラグを施用せず、太陽熱消毒と施肥改善を繰り返

Development and Demonstration of Reduction Techniques on *Fusarium* yellows of Celery. By Hiroyuki OSHIMA

(キーワード: セルリー萎黄病, 太陽熱消毒, 土壌酸性改良, 施肥改善, 転炉スラグ)



畦を立て太陽熱消毒を行う。



転炬スラッグを施用して土壌酸性改良を行う。(初年度のみ)



スイートコーン茎葉部を緑肥として鋤き込む。

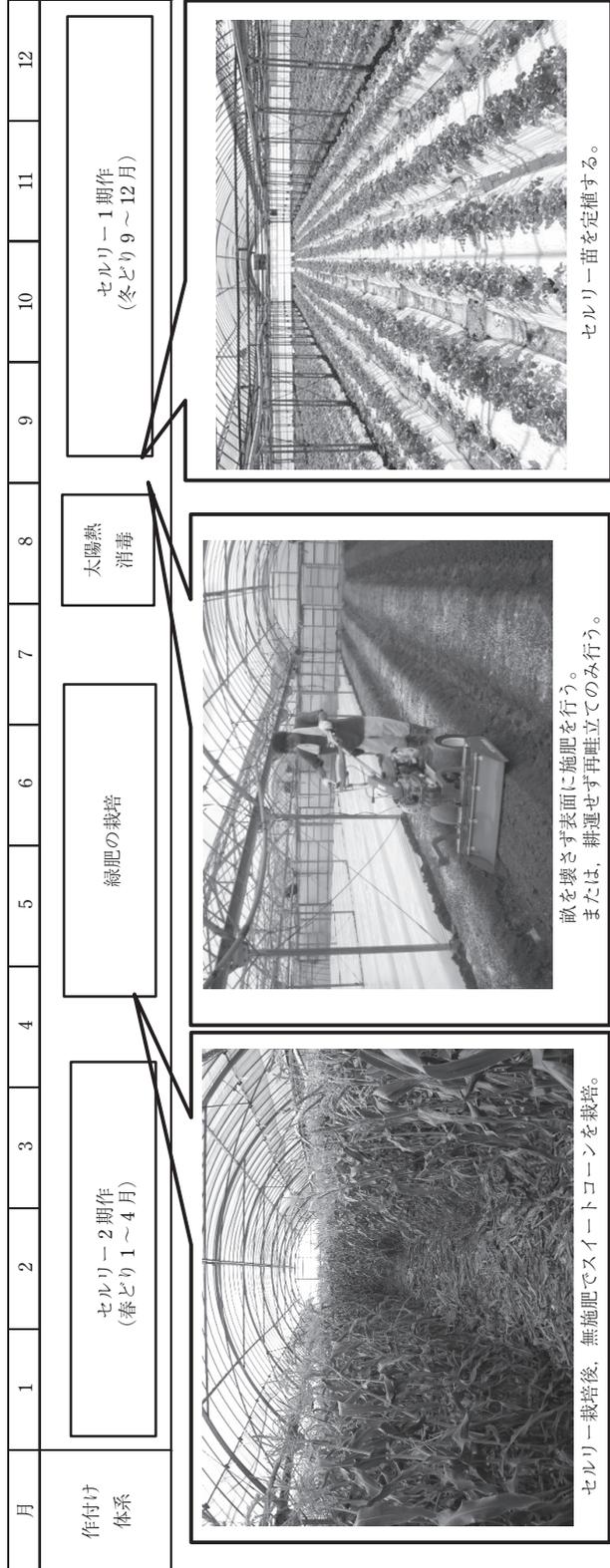


図-1 セルリー萎黄病防除対策試験(静岡県浜松市)

表-1 セルリー萎黄病の被害状況と作土の土壌化学性
および *Fusarium* 属菌密度

発病 状況	pH (H ₂ O)	水溶性	可給態	硝酸態窒素 mg/100 g	<i>Fusarium</i> 属菌 CFU/g D.W.
		(P ₂ O ₅ mg/100 g)			
-	6.9	78.2	754	89.0	1.8 × 10 ³
-	6.8	35.6	181	6.8	6.6 × 10 ³
-	6.5	37.1	415	19.0	N.D.
+	6.3	29.2	155	5.6	6.3 × 10 ²
+	6.3	55.0	602	14.8	1.3 × 10 ³
-	6.2	34.7	423	1.9	4.0 × 10 ³
+	6.0	49.8	438	5.5	1.1 × 10 ³
+	5.9	51.7	366	4.2	1.6 × 10 ²
++	5.9	58.6	391	39.6	1.9 × 10 ⁴
++	5.9	52.1	400	5.0	6.6 × 10 ³
+	5.8	45.3	339	20.6	9.9 × 10 ³
++	5.8	44.3	400	1.9	8.6 × 10 ³
-	5.7	51.0	482	1.1	4.0 × 10 ¹
++	5.4	45.7	288	0.7	1.2 × 10 ⁴
+	5.3	54.0	359	13.1	9.9 × 10 ³

発病状況 - : 萎黄病の発病は見られない, + : ハウスの一部で萎黄病が発生, ++ : ハウス全体で萎黄病が発生.

Fusarium 属菌密度 : Fo-G2 培地を用いて希釈平板法により測定した.



図-2 太陽熱消毒前(2004年)と消毒後(2005年)の同一ハウスにおけるセルリーの生育比較
a : 太陽熱消毒前. b : 太陽熱消毒後.

した。

2005年の太陽熱消毒期間中の作土の地温は平均43.5℃, 積算地温は1,520℃に達し, 作土の *Fusarium* 属

菌密度は検出限界以下まで低下した。太陽熱消毒効果が十分に認められ, 萎黄病の発生はほぼ完全に抑制できた(図-2)。2005~11年までの作土の pH(H₂O) と収量の

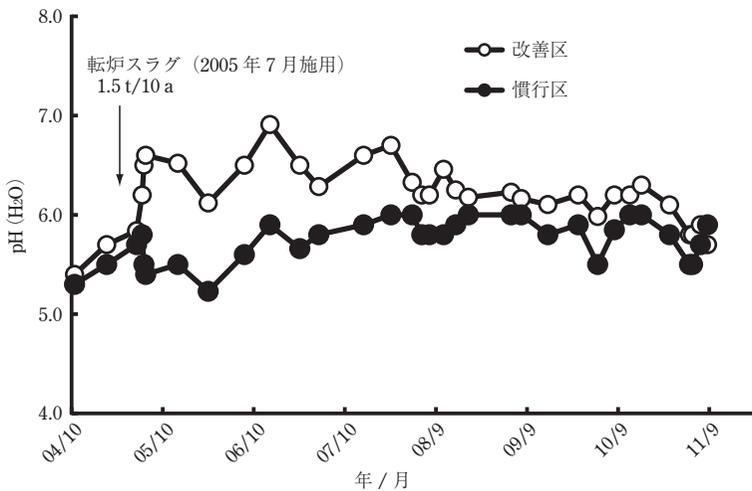


図-3 慣行区と改善区における作土の pH(H₂O) の経時変化

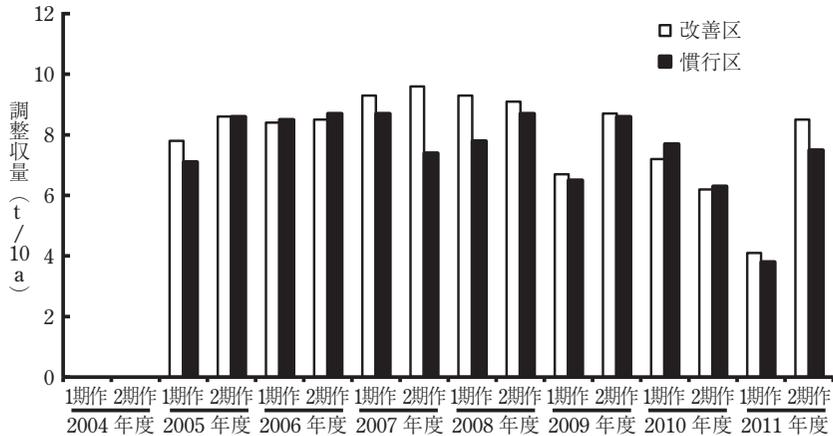


図-4 2004年度から2011年度の慣行区と改善区におけるセルリー調整収量

単位：t/10 a.

調整収量：外葉を取り除いた出荷状態での収量。900 g以下の株は出荷規格外のため、調整収量には含まれていない。

2004年度一期作（冬どり）はハウス全体で萎黄病が発生したためセルリーは収穫できなかった。2004年度二期作（春どり）は栽培を行わなかった。2011年度一期作（冬どり）は萎黄病が発生したため収量が減少した。

2007年7月に転炉スラグを1.5 t/10 a 施用した。

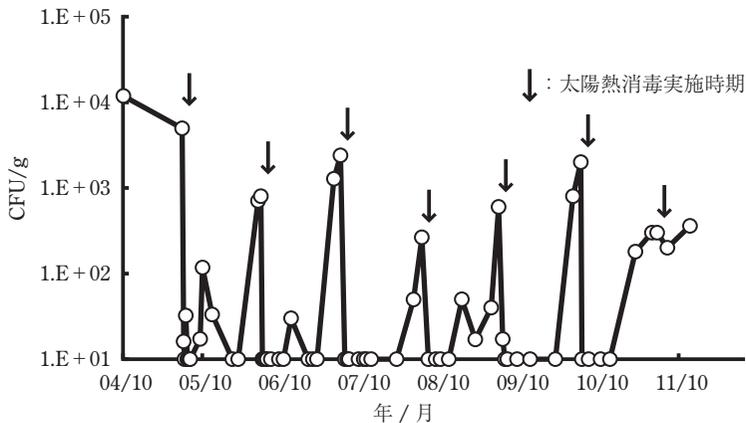


図-5 改善区における作土中の *Fusarium* 属菌密度の推移

表-2 太陽熱消毒の日数および積算地温と萎黄病の発生状況

項目	2008年	2009年	2010年	2011年	
積算地温	25.0℃ ≤	1,317	1,310	1,690	901
	40.0℃ ≤	858	1,035	1,440	586
	42.5℃ ≤	693	870	1,190	259
	45.0℃ ≤	471	820	842	0
被覆日数（日間）	31	24	39	21	
萎黄病の発生	無	無	無	有	

太陽熱消毒方法：緑肥を鋤き込み2週間後に畝立てを行った。その後、土壌表面を農業用プラスチックフィルムで被覆し、上記日数の間ハウス全体を密閉した。

推移を図-3、図-4に示した。改善区では転炉スラグ施用2週間後には作土の酸性程度が改良され、その後6年間にわたり酸性改良効果が持続した。外葉を取り除いたセルリーの収量（以下：調整収量）は慣行区3.8～8.7 t/10 a、改善区4.1～9.6 t/10 aで、作土の酸性改良による収量の低下は特に見られなかった（図-4）。このことから、セルリー栽培ハウスにおける作土の酸性改良資材として、転炉スラグは有望な資材と考えられる。

図-5に作土の *Fusarium* 属菌密度の推移を、また2008～11年までの太陽熱消毒中の作土地温および萎黄病発病状況を表-2に示した。2005～10年までは太陽熱消毒後の作土の *Fusarium* 属菌密度が検出限界以下とな

表-3 慣行区と改善区の年間肥料代

試験区	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
慣行区	94,200	80,000	75,000	67,000	107,000	130,000	112,000
改善区		98,500	40,000	56,000	59,000	70,000	62,000

単位：円/10 a.

JAとびあ浜松の年度ごとの肥料販売価格をもとに計算した。また、堆肥は自家製のため、肥料価格に反映していない。

慣行区はIB化成・有機配合肥料・硫酸カリを、改善区は被覆複合肥料・硫酸カリ・被覆尿素を使用した。

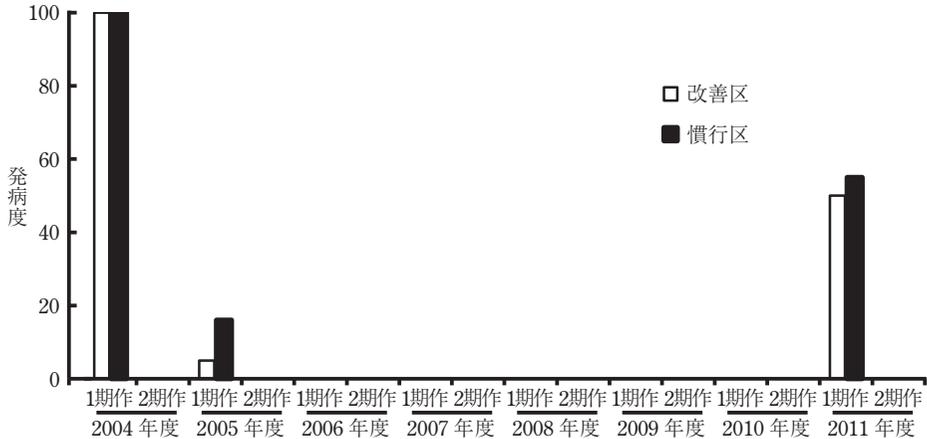


図-6 2004年度から2011年度の慣行区と改善区におけるセルリー萎黄病の発病度

2004年度一期作はハウス全体で萎黄病が発生しセルリーは収穫できなかった。2004年度二期作目は栽培を行わなかった。

発病度は以下の基準に従って調査し算出した。

発病指数；0：発病無し，1：茎葉1/3未満が萎凋・黄化，2：茎葉の1/3～2/3が萎凋・黄化，3：茎葉の2/3以上が萎凋・黄化あるいは枯死。

発病度； Σ (発病程度別株数×指数) × 100 / (調査株数×3)。

り萎黄病の発病を大幅に抑制できた。しかし、2011年の太陽熱消毒では農作業の都合で消毒開始時期が遅れ、消毒期間も8月15日から9月5日の21日間と短く、作土の積算地温は900℃と低くなった。その影響で太陽熱消毒終了後には200 CFU/g程度の*Fusarium*属菌が検出され、作付けたセルリーには、7年ぶりに萎黄病が発生した。2005年度以降は、セルリー萎黄病を完全に防除したが、図-5のようにセルリーの連作をした場合には必ず*Fusarium*属菌は増加し、病原菌であるセルリー萎黄病菌も増加すると考えられる。したがって、セルリー栽培を毎年続ける限り、太陽熱消毒は不可欠と考えられる。*Fusarium*属菌に対する太陽熱消毒には、浜松地域では少なくとも1,300℃以上の積算温度、45℃以上で400℃以上の積算地温が必要と思われた。

2005年から11年までの萎黄病の発病度を図-6に示した。慣行区と比べ改善区では、2005年度一期作は萎黄

病の発病が抑制されたが、2011年度一期作は大きな違いは見られなかった。これは、転炉スラグによる酸性改良持続効果が消失し、慣行区のpH(H₂O)が改善区と同等まで低下したためと考えられる。

2004年度から10年度における供試ハウスのセルリー栽培に要する肥料代を表-3に示した。2005年度は作土の酸性改良を行うため改善区では慣行区と比べて肥料代は高くなった。しかし転炉スラグによる酸性改良効果が6年間持続することから2年目以降は改善区46,700円/10a、慣行区80,500円/10aと肥料代は削減されたと考えられる。なお、2009年以降肥料代が増加した理由は、高性能ではあるが価格の高い被覆肥料を使ったためである。

III 酸性改良程度の違いがセルリー-萎黄病の発病に及ぼす影響

上記ハウスにおいて2011年には土壌pH(H₂O)が5.7まで低下したため、転炉スラグを1.5 t/10 aおよび3.5 t/10 a追加施用したpH6.5矯正区(以下、pH6.5区)とpH7.5矯正区(以下、pH7.5区)を設け、土壌pH(H₂O)の違いがセルリー-萎黄病の発病に及ぼす影響を検討した。なお、隣接する連棟ハウスを未矯正区(転炉スラグ無施用:pH(H₂O) 5.5)とした。7月25日から9月4日まで、ハウス全体を密閉し、太陽熱消毒を実施し、9月からセルリーの栽培を行った。

作土の*Fusarium*属菌密度は、太陽熱消毒開始3週間後にはすべての区において検出限界以下となったが、定植後の9月中旬には10² CFU/gにまで増加した。これは、太陽熱消毒で死滅しきらなかった下層土の*Fusarium*属菌が消毒後の耕耘で表層土に混入し再汚染したためと考えられる。

セルリー-萎黄病の発病は、pH7.5区で最も発病が抑制された(図-7、表-4)。収量は7.5区で6.0 t/10 a、6.5区で3.8 t/10 a、未矯正区で1.3 t/10 aとなった。さらに、萎黄病の発病が見られなかった2期作目においても酸性改良によるセルリーの収量低下や微量要素の欠乏症状は見られなかった(表-5)。転炉スラグを施用して土壌pH(H₂O)を7.5にまで高めても、セルリーの収量は低下せず、萎黄病の発病軽減が確認された。また、土壌pH(H₂O)をより高めることで萎黄病の被害軽減効果が高まることも明らかとなった。

一方で、土壌pH(H₂O)を7.5まで高めても、*Fusarium*属菌密度の上昇は抑制できなかった。すなわち、セルリーを連作するためには、土壌の高pH化維持や施肥改善、太陽熱消毒を組合せた総合防除を構ることが不可欠である。

また、土壌の酸性改良を行った区の中では、pH6.5区と7.5区では*Fusarium*属菌密度に大きな違いは見られ

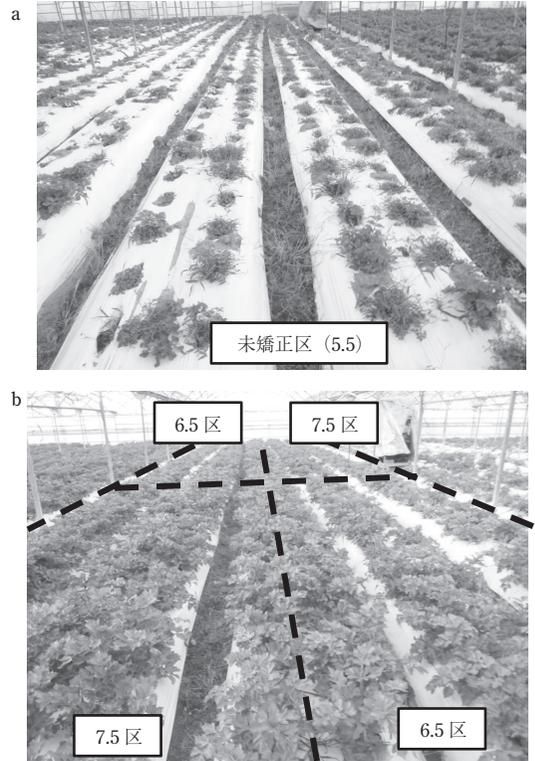


図-7 土壌pH(H₂O)の違いが萎黄病の発病に及ぼす影響(2012年度一期作目)

a: 未矯正区の生育状況。

b: pH6.5区およびpH7.5区の生育状況。

表-4 2012年一期作におけるセルリー-萎黄病の発病状況および収量

試験区	発病率	発病度	調整収量
	%		
未矯正区	100	87	1.3
pH6.5区	96	58	3.8
pH7.5区	73	30	6.0

調整収量: 図-4 脚注を参照。

表-5 土壌酸性改良がセルリーの収量・品質・養分含有量におよぼす影響

試験区	調整収量 t/10 a	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Mn	Cd
		kg/10 a			mg/kg		
未矯正区	5.2	19.6	6.4	39.5	45.5	24.3	0.023
pH6.5区	5.5	20.7	5.9	34.8	30.9	25.0	0.017
pH7.5区	5.3	21.5	7.0	36.9	39.2	21.5	0.011

調整収量は図-4 脚注を参照。

2012年二期作目の養分吸収量および微量元素含有量。

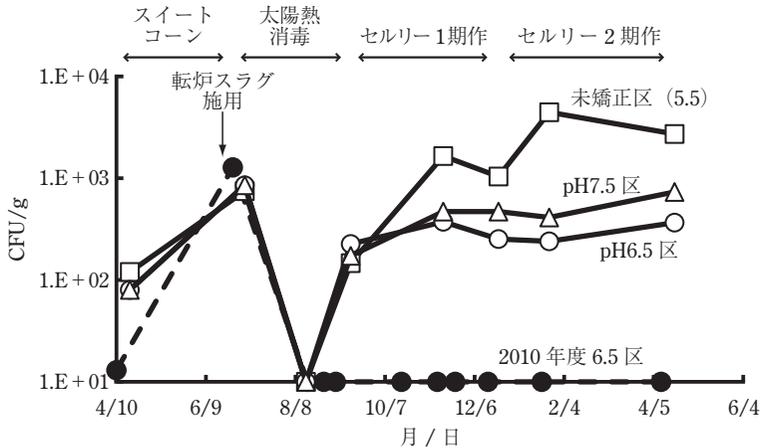


図-8 作土中の *Fusarium* 属菌密度の経時変化

△, □, ○は萎黄病が発病した2012年度の菌密度, ●は萎黄病の発病を抑制した2010年の菌密度を示す。

なかった(図-8)。このことから、本技術の発病抑制機構は、病原菌の感染や増殖抑制ではなく、症状あるいは被害の発現を遅延させているのではないかと考えられる。発病抑制メカニズムについては今後明らかにする必要がある。

おわりに

浜松市東地区では作土の酸性改良・施肥改善・太陽熱消毒が有効な萎黄病対策であることが生産者に認識され、2004年以前には皆無であった本防除体系の実施率が2007年には85%に達した。しかし、一部のハウスではセルリー茎葉数の減少や、茎葉部の亀裂症状が発生した。土壌の酸性改良や太陽熱消毒を行うと、土壌中の微生物の死滅や有機物の分解が促進されるため、大量の地力窒素が無機化する。このため被覆尿素など、セルリーの養分吸収に合った緩効性の窒素肥料の利用と窒素施肥量を削減することで前述の生理障害は減少した(データ未記載)。本防除体系では土壌の酸性改良や太陽熱消毒を行う特に一年目は大幅な施肥削減が必要である。しか

し、施肥削減による品質低下を恐れるために取り組みに踏み切れない農家もいる。

このような防除技術に取り組んでもらうためには、研究機関・地元JA・生産者が協力して現地試験を実施して、結果等をわかりやすく生産者に説明し理解を得ることが重要である。また、土壌酸性改良だけですべてを解決できるわけではなく、土壌診断に基づいた施肥改善や輪作体系の導入など、正しい土づくりの理解と実践が重要である。

なお、本研究の成果の一部は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「転炉スラグによる土壌pH矯正を核としたフザリウム性土壌病害の耕種的防除技術の開発」により実施したものである。

引用文献

- 1) 北口博之ら(2004):土肥要旨集 50:52.
- 2) 村上圭一ら(2004):土肥誌, 75:781~786.
- 3) 大島宏行ら(2006a):土肥要旨集 52:39.
- 4) ーら(2006b):同上 52:39.
- 5) ーら(2010):同上 56:140.
- 6) ーら(2015):土肥誌 86:81~88.