

圃場の水分環境と土壌病害の発生

赤 司 和 隆

Effect of Soil Moisture on the Outbreaks of Soil-borne Diseases Caused by Zoosporic Fungi

Kazutaka AKASHI

Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station
Yayoi 52, Kunneppu, Hokkaido, 099-14 Japan

Abstract

Zoosporic fungi such as *Pythium*, *Aphanomyces* and *Phytophthora* depend on high soil moisture for infection, disease development, and rapid spread. The invasion of root tissues by these fungi is made by motile zoospores which are produced in water.

This report is dealing with the occurrence, and control (soil solarization) of soil-borne diseases of spinach caused by zoosporic fungi, especially outbreaks mechanisms of root rot caused by *Aphanomyces cochlioides* Drechsler which is one of the most serious diseases of spinach in growing areas in Hokkaido, Japan.

Outbreaks mechanisms of spinach root rot in relation to soil moisture and nitrate nitrogen are summarized as follows.

- 1) High soil moisture conditions from rainfall or excess irrigation promote the production of zoospores of *A. cochlioides*, and such conditions are conducive to the spread of secondary zoospores.
- 2) Due to leaching and dilution by stagnant water, high soil moisture also causes decrease in mineral salts, especially nitrate nitrogen that inhibits zoospore production from zoosporangia, and causes the encystment and death of secondary zoospores. Consequently, the inoculum potential remains high, and disease outbreaks occur.
- 3) Severe outbreaks occur in fields of sandy soil where nitrate nitrogen is readily leached, and of heavy clay soil or soils with compact subsoil where nitrate nitrogen concentration is readily diluted by stagnant water.
- 4) The outbreaks mechanisms of spinach root rot apply to cases of the diseases caused by some zoosporic fungi, *A. euteiches* and *P. aphanidermatum*.

Key words : Soil moisture, Zoosporic fungi, Zoospore infection, Outbreak mechanisms, Control.

1. はじめに

土壌中には、作物の根の組織や地上部を侵す寄生性の糸状菌および細菌が生息している。これらを病原とする土壌伝染性病害（土壌病害）は、主に根部の腐敗、地上

部の立枯れなどの生育障害をもたらす。一般に、土壌病害の発生程度は、気象および土壌条件に左右される。なかでも、降雨後などの多湿土壌条件下で多発する土壌病害は、湿害の一つの原因にもなっている。

現在、このような土壌病害の病原として、*Pythium*,

Aphanomyces および *Phytophthora* 属菌などの一群の鞭毛菌類が生産現場において問題視されている。とりわけ、連作ないし短期輪作が浸透し、専作化が進んでいる野菜作において、これらを病原とする土壌病害の被害は大きい。分類学上、*Pythium* と *Phytophthora* 属菌はツユカビ目に、*Aphanomyces* 属菌はミズカビ目に各々属しており、土壌水分はこれらの鞭毛菌類の生理生態と密接な関係にある。

今回、これらの鞭毛菌類による土壌病害の発生と水環境との関係、並びに生態的防除法について紹介する。なお、多湿土壌条件下でこれらの鞭毛菌類による土壌病害の被害が著しいホウレンソウの事例を軸に言及する。

2. 多湿土壌条件下で多発するホウレンソウの土壌病害

一般に、土壌病害は連作圃場において多発する。同一圃場における年間の作付回数の多いホウレンソウでは、土壌病害の被害は大きく、廃耕に追い込まれることも少なくない。現在、全国の産地でその被害が問題となっている鞭毛菌類によるホウレンソウの土壌病害は次の通りである。① *Aphanomyces cochlioides* Drechsler による根腐病 (国永ら, 1975), ② *Pythium* spp. による立枯病 (Naiki *et al.*, 1986), ③ *Phytophthora* sp. による根腐れ症状 (福西, 1978)。

これらの土壌病害は、圃場の水管理が出来ない露地圃場で多発しており、とりわけ、*A. cochlioides* による根

腐病の被害は大きい。1984年から1987年にかけて札幌市近郊のホウレンソウ畑において行われた土壌病害の実態調査でも、次のような鞭毛菌類による土壌病害が多湿土壌条件下で多発することが明らかにされている。

(1) *Pythium* spp. による葉柄腐敗症状 (赤司と鎌田, 1988) 降雨後の生育後期のホウレンソウで多発を見る。地際に近い葉柄から水浸状の褐変が現れ、しばしば葉部にまで及ぶ (写真-1)。罹病部位は地表面に接している葉柄とその先の葉に限られており、症状が株全体に及ぶことはない。根の異常および生育抑制はほとんど認められない。症状から海草のわかめが連想されるらしく、現地では「わかめ」と呼ばれている。

なお、*Pythium* spp. による立枯病の発生が子葉期のホウレンソウで認められるが、間引き前の株数が多い時期のため、実害は小さい。

(2) *A. cochlioides* による根腐病 (赤司, 1991)

子葉期のホウレンソウの罹病個体では地上部が立枯れ症状を呈し、胚軸部が水浸状に褐変する。生育中期以降の罹病個体では地上部が萎ちよう黄化する。根部は全体的に根腐れ褐変して細くなっている。しばしば、地際から主根が切れるために、現地では罹病株は「鎌いらず」と呼ばれている (写真-2)。露地栽培では降雨後 (表-1)、ビニールハウス内における雨よけ栽培では雨水が浸入し易い最も端の畦で多発を見る。

これらの発生事例からもわかるように鞭毛菌類による土壌病害は多湿土壌条件下で多発する。これは、病原菌

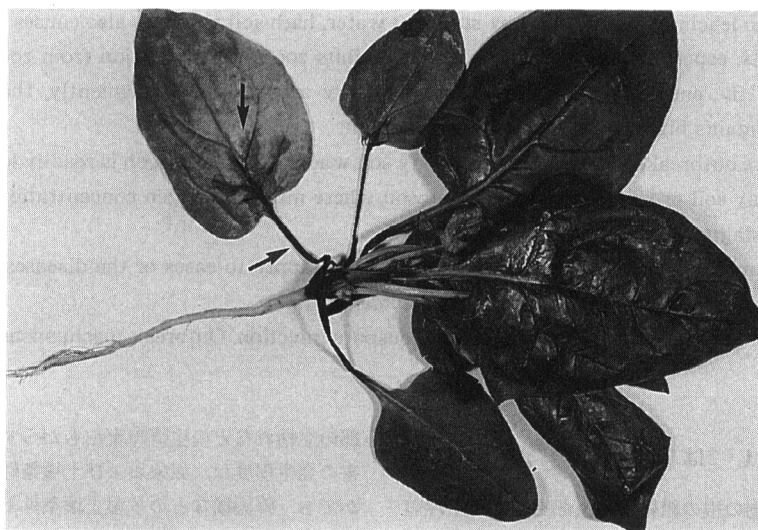


写真-1 *Pythium* 属菌によるホウレンソウの葉柄腐敗症状

Photo. 1 Symptoms of spinach petiole soft rot caused by *Pythium* sp.

矢印：腐敗、褐変が観察される

写真-2 *A. cochlioides* によるホウレンソウ根腐病の病徴（生育中期）Photo. 2 Symptoms of spinach root rot caused by *A. cochlioides* (middle growing stage)

表-1 ホウレンソウ根腐病の発生に及ぼす降雨の影響

Table 1 Effect of rainfall on outbreaks of spinach root rot in open field infested with *A. cochlioides*

調査日 ¹⁾ (月/日)	土壌水分吸引圧 (-kPa)	立枯れ株率 ²⁾ (%)	根部褐変株率 ³⁾ (%)	糸状菌の検出率 ⁴⁾ (%)		
				<i>A. cochlioides</i>	<i>Pythium</i>	<i>Rhizoctonia</i>
降雨前 (8/ 5)	77.9	0.3	10.0	16.7	0	0
降雨後 (8/10)	6.2	15.3	66.7	66.7	4.2	0

- 1) 北海道立中央農試圃場において調査（1987年）。調査時のホウレンソウの生育時期は子葉期。8月5日から10日までの降水量は33.5mm。
- 2) 調査個体数：降雨前347，降雨後287。
- 3) 調査個体数：降雨前30，降雨後24。
- 4) 根の褐変を調査後に糸状菌を検出。供試根部切片数は3)の調査個体数と同じ。

表-2 ホウレンソウ根腐病の発生に及ぼすNO₃-N施用量の影響Table 2 Effect of nitrate nitrogen level on severity of spinach root rot in soil infested with *A. cochlioides*

N 施肥量 (mg/kg)	土壌溶液中の NO ₃ -N 濃度 (ppm)	各種接種源における発病株率 ¹⁾ (%)						草丈 ³⁾ (cm)
		遊走子 (個/g 土壌)		菌糸 ²⁾	卵孢子 (個/g 土壌)		無接種	
		10	10 ³		20	200		
0	14	36.7 ^a	86.7 ^a	31.7 ^a	73.3 ^a	98.3 ^a	0	4.4 ^a
200	178	5.0 ^b	48.3 ^b	5.0 ^b	0 ^b	5.0 ^b	0	8.2 ^b
400	236	tr. ^b	20.0 ^c	tr. ^b	0 ^b	0 ^b	0	7.1 ^c
800	650	tr. ^b	5.0 ^d	tr. ^b	0 ^b	0 ^b	0	5.9 ^d

- 1) 接種時のポット当りの子葉期ホウレンソウの株数は15個体（4反復）。遊走子と菌糸接種区は接種後10日目に，卵孢子接種区は接種後30日目にそれぞれ調査。肩について文字はダンカンの多重検定（ $p < 0.01$ ）の結果を表し，同じ文字を含む場合には有意差無し。
- 2) ポット当たり1ペトリ皿分（径9cm）の含菌寒天を接種。
- 3) 無接種区の調査結果（播種後40日目）。

の感染形態と密接に関係している。すなわち、感染源である遊走子（鞭毛を有する）が多湿条件下で生理的に多く放出され、また物理的に宿主へ移動し易いことに起因する。そのため、*Pythium*, *Aphanomyces* および *Phytophthora* 属菌などの鞭毛菌類による病害は、水媒伝染性病害とも言われている。なお、*Pythium* 属菌の中には、遊走子の生成が確認されていない種もある。

3. ホウレンソウ根腐病の発生と土壌環境

現地実態調査および接種試験の結果から、根腐病は土壌の無機成分、とりわけ硝酸態窒素の欠乏条件下で多発し、硝酸態窒素の施用により土壌溶液中の硝酸態窒素濃度が約 200 ppm 以上になると発生が顕著に低下することが判明した（表-2）。硝酸態窒素の発生抑制効果を *in vitro* で検討した結果、発生抑制の原因として次のことが明らかにされた。① *A. cochlioides* の遊走子生成は、硝酸態窒素の高濃度域で著しく阻害される。② 硝酸態窒素濃度が 300 ppm 以上の高濃度域では運動性を有する 2 次遊走子の被のう化（鞭毛が消失し、運動性を失う）や、死滅が起り、感染ポテンシャルは著しく低下する（図-1）。③ さらに、こうした 2 次遊走子の運動性の低下は、硝酸塩の浸透圧の影響ではなく、硝酸塩のもつ毒性によることが推察された（赤司, 1991）。また、硝酸態窒素による 2 次遊走子の被のう化および死滅といった感染ポテンシャルの低下は、豆類の根腐病を引き起こす *A. euteiches* や各種作物の立枯病を引き起

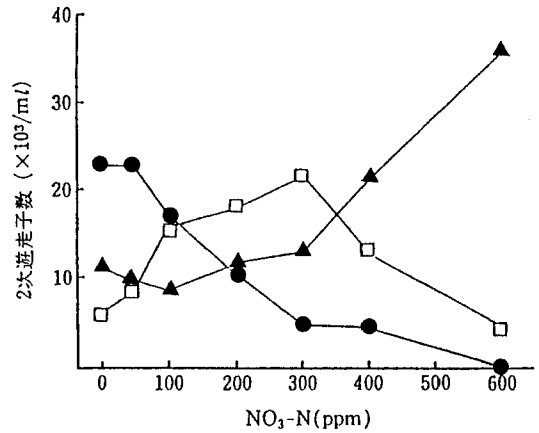


図-1 *A. cochlioides* の 2 次遊走子の運動性に及ぼす NO₃-N 濃度の影響

Fig. 1 Effect of nitrate nitrogen level on motility of *A. cochlioides* secondary zoospores.

実験開始時の 2 次遊走子数 $40 \times 10^3/\text{ml}$ （運動性あり，34，被のう 6）。

実験開始から 1 時間後に各形態の遊走子をカウントした。

死滅遊走子数 ($\times 10^3/\text{ml}$) = $40 - (\text{運動性あり} + \text{被のう})$ 。

●：，運動性あり；□，被のう；▲，死滅。

表-3 溶脱処理と湛水処理がホウレンソウ根腐病の発生に及ぼす影響（ポット試験）

Table 3 Effect of leaching and submergence treatments of soil infested with *A. cochlioides* on severity of spinach root rot (pot test)

養水分処理 ¹⁾	発病株率 ³⁾ (%)	接種 ²⁾ 後 7 日 目	
		土壌溶液中の NO ₃ -N 濃度 ⁴⁾ (ppm)	
		土層：0~4.5 cm	土層：4.5~9.0 cm
適灌水処理 ⁵⁾ (対照)	30.0	265	367
溶脱処理 ⁶⁾	90.0	39	219
湛水処理 ⁷⁾	100.0	151	

1) 同一土壌（淡色黒ボク土，土性：S）に対して処理を行った。

2) ポット当たり子葉期株 6 個体（5 反復）に対して *A. cochlioides* の遊走子を 10^3 個 /g 土壌の割合で接種。

3) 各処理区につきホウレンソウ 30 個体を調査。

4) 接種前に NO₃-N を液肥の形態で 300 mgN/kg 土壌の割合で施用。溶脱および適灌水処理区では土壌を 2 層に分けて 3.1~630 (-kPa) までの土壌溶液を分析。湛水処理区では地表面の滯水を分析。

5) 有底のポットを用い、滯水しない程度に灌水した。

6) 無底のポットを用い、灌水により NO₃-N が溶脱し易くした。

7) 有底のポットを用い、地表面に深さ約 2mm の水が溜るようにした。

こす *P. aphanidermatum* などの鞭毛菌類でも同様に観察された。

一般に、土壌の無機成分含量は水を介して土壌の物理性の影響を受ける。すなわち、無機成分とりわけ硝酸態窒素は、砂質土壌の圃場では溶脱により減少し、重粘質土壌や透水性の悪い下層土を有する圃場では滞水により希釈され易い。したがって、根腐病発生に対して抑制効果の高い硝酸態窒素が減少、希釈され易いこれらの土壌を有する圃場では根腐病の多発が予想される。

そこで、これらの土壌に特有な水分挙動を想定した水分管理を行い、根腐病の発生を観察した(表-3)。その結果、砂質土壌を想定した溶脱処理区および重粘質土壌を想定した湛水処理区では根腐病が多発し、適灌水区の発病株率30%に比べて高く、それぞれ90、100%であった。これらのことから、硝酸態窒素が減少、希釈され易い土壌を有する圃場では根腐病が多発することが示唆された。さらに、道内主要産地における実態調査でも、砂

壤土を主体とする札幌市の有明地区における発生圃場数は多く、調査圃場30筆の56.7%を占めていた(表-4)。

4. 水の動態と鞭毛菌類による土壌病害の発生機構

前述した知見から、根腐病発生の引金は、降雨や灌水によってもたらされる水にあると結論される。そこで、水を媒体として発生に関与する諸要因を有機的に関連づけると、ハウレンソウの根腐病をはじめ、遊走子で感染する *A. euteiches* および *Pythium* 属菌を病原とする土壌病害の発生機構は、次のようにとりまとめることが出来る(図-2)。

水は生理的に遊走子の生成を促進し、物理的に遊走子の宿主への移動に対して好条件をもたらす。同時に、溶脱や希釈に伴う土壌の無機成分濃度の低下、とりわけ硝酸態窒素濃度の低下を招くため、遊走子の生成阻害、被のう化および死滅が起こらなくなり、感染ポテンシャル

表-4 土壌の種類を異にするハウレンソウ産地における根腐病の発生状況

Table 4 Occurrence of spinach root rot in growing areas with various soil types

調査地	主な土壌の種類	土性 (作土)	調査圃場数	根腐病の 発生圃場数	発生割合(%)
札幌市 (有明)	褐色低地土 (粗～中粒質)	SL	30	17	56.7
札幌市 (新琴似・篠路)	褐色低地土 (中粒質)	CL	12	0	0
鷹栖町	泥炭土、灰色低地土 (中～細粒質)	C～CL	11	1	9.1

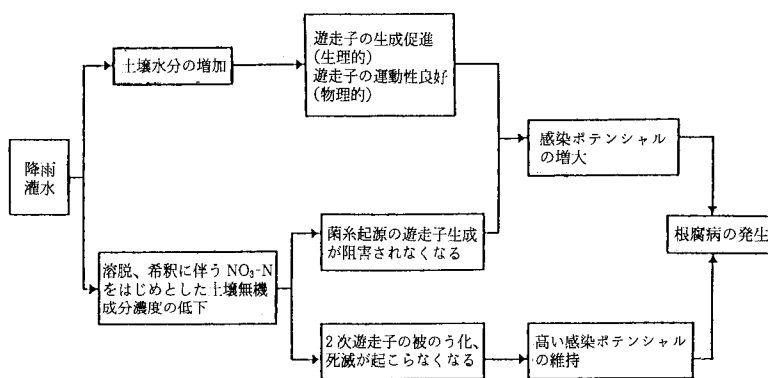


図-2 圃場における水の動きからみたハウレンソウ根腐病の発生機構

Fig. 2 Mechanisms of outbreaks of spinach root rot caused by *A. cochlioides* in relation to soil moisture.

NO₃-Nをはじめ土壌無機成分が溶脱し易い砂質土壌の圃場や、滞水により希釈され易い重粘質土壌あるいは透水性の悪い下層土を有する圃場では根腐病は多発する。この発生機構は、*A. euteiches* や *P. aphanidermatum* などの鞭毛菌類による土壌病害にも適用出来る。

表-5 鞭毛菌類による土壌病害の発生と土壌要因

Table 5 Soil factors influencing incidence of soil-borne diseases caused by zoosporic fungi

土 壤 要 因	発生	病 原	宿 主	引 用 文 献	
土 壤 水 分	多	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Jones (1925 A)	
	多	<i>A. cochlioides</i>	テンサイ	築尾 (1986)	
無機要素の施用	窒 素	少	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Haenseler (1931)
	窒 素	少	<i>A. euteiches</i>	Grey peas	Geach (1936)
	窒 素	少	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Walker (1939)
	磷 酸	少	<i>A. cochlioides</i>	テンサイ	Kotila (1940)
	無機塩の浸透圧	少	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Smith (1941)
	窒素, 磷酸	少	<i>A. cochlioides</i>	テンサイ	Afanasiev (1942)
	カリウム	少	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Wade (1955)
	Al, Ca, Cu, Zn	少	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Lewis (1973)
	高土壌EC	少	<i>P. aphanidermatum</i>	ホウレンソウ	内記 (1983)
高濃度水耕培養液	少	<i>P. butleri</i>	ホウレンソウ	草刈 (1986)	
土 壤 型	多	<i>A. euteiches</i>	エンドウ	Jones (1925 B)	

表-6 ホウレンソウの病原糸状菌の死滅に必要な温度と加温日数

Table 6 Temperature and time of heating required for killing pathogens of spinach

病 原 糸 状 菌 (供試菌株)	加 温 温 度 ¹⁾ (°C)	死滅に要した加温日数 ²⁾								
		1	2	3	4	5	6	7	8	14
<i>Pythium</i> sp. (Py-1)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	●					
	45	●								
	50	●								
<i>P. ultimum</i> (Py-11)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	●					
	45	●								
	50	●								
<i>R. solani</i> AG-4 (R-1)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	40	○	○	○	○	●				
	45	●								
	50	●								
<i>A. cochlioides</i> (A-K-1)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	●							
	45	●								
	50	●								
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>spinaciae</i> (F-98)	37	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	45	○	○	○	○	○	●			
	50	○	●							

1) 1日のうち8時間を所定の高温で, 残りの16時間を25°Cでそれぞれ加温。

2) ●: 死滅, ○: 生存

が高く維持される。これらの結果、病害が発生する。とりわけ、土壌の無機成分や硝酸態窒素が溶脱し易い砂質土壌の圃場、および滞水により希釈され易い重粘質土壌あるいは透水性の悪い下層土を有する圃場では多発する。

なお、この発生機構は、鞭毛菌類による土壌病害の発生要因に関する既往の知見と整合性がある(表-5)。さらに、それらの知見を有機的に関連づけていることが読み取れる。すなわち、鞭毛菌類による土壌病害の発生は、次のような土壌要因の影響を受けることが明らかにされている。①多湿土壌条件下で多発する。②無機要素を土壌に施用することにより発生が抑制される。なかでも窒素施用による事例が多い。③重粘質土壌ないし砂質土壌で多発する。

5. 鞭毛菌類による土壌病害の生態的防除

A. *cochlioides* を病原とするハウレンソウ根腐病の発生軽減を目的とした窒素施肥法が開発されている。しかし、根腐病が多発する砂質土壌の圃場、および水はけの悪い圃場では、土壌の物理性改善を主体とした抜本的な対策が必要であると考えられる。

太陽熱による土壌消毒も鞭毛菌類による土壌病害に対して有効である。ハウレンソウから分離された病原糸状

菌の死滅に必要な温度とその積算時間は、40℃以上、50時間前後であった(表-6)。このような温度条件を満たすのに、ビニールハウスにおけるマルチ+トンネルの2重被覆処理では、必須の気象条件として最高外気温が25℃を超えかつ晴の日が約7日間必要であった(表-7)。

北海道のような寒冷地では、十分な防除効果を得るためには、気象条件に恵まれた適期に処理を行うべきである。気象条件は地域によって異なるので、地域別の適期を設定することが望ましい。写真-3は、北海道農務部が開発した「気象情報活用システム」を利用して、上川管内の鷹栖町のハウスにおける太陽熱処理の適期を約1km平方のメッシュ毎に1/25000の地図上にマッピングしたものである。なお、適期は最高気温が25℃を超える初日から25℃以上の日が維持される8月上、中旬までの期間とした。このような気象情報を利用することにより、地域別の詳細な処理適期や適地の把握が可能になると考える。

また、太陽熱処理期間中は、地温(地中深10cm)が40℃以上の高温で推移するため、土壌中の無機態窒素含量の変化が起こる。脱窒による硝酸態窒素の減少量に比べて、有機態窒素の無機化に伴うアンモニア態窒素の増加量が多いので、土壌中の無機態窒素含量は増加する。したがって、処理後のハウレンソウ栽培では、窒素の減

表-7 根腐病をはじめとしたハウレンソウの土壌病害に対する太陽熱利用による土壌消毒法

Table 7 Soil solarization for the soil-borne diseases, especially *Aphanomyces* root rot of spinach grown in summer and early autumn

対象圃場	太陽熱処理			効果の期待できる 必須気象条件		処理後の 肥培管理	
	灌水処理	畝立て方法	被覆方法	処理適期 (月/旬)	最高外気温 (晴の日)		同左日数
ハウス	有り	小 畝	マルチ マルチ+トンネル	7/中~8/中	25℃以上	約7日	①処理後の耕 起深は浅め にする。 ②窒素減肥
			マルチ マルチ+トンネル	7/中~8/中 6/中~8/中	25℃以上 20℃以上	約10日 約8日	
露地	無し	平 畝	マルチ	7/下~8/上	27℃以上	約10日	①不耕起栽培 ②熱処理前に 窒素減肥

- 注 1) 夏~初秋どり栽培において多発する土壌病害の防除を目的とする。
 2) 約2週間を処理(被覆)期間の日安とする。
 3) 中~完熟の堆肥10ton/ha、石灰窒素500kg/haを土壌改良資材の施用量の目安とする。施用後、土壌とよく混和する。
 4) 高水分条件下で病原糸状菌は死滅し易いので灌水設備を有するハウスでは灌水処理を実施する。頭上灌水を2時間程度行い、作土層に水が浸透していることを確認する。灌水設備の無い露地では、土壌の含水比が30~50%の時(降雨後など)に処理を行う。露地のマルチ被覆では地温の上昇の面からみて含水比が約30%の時に処理を行うのが望ましい。
 5) 昇温・保温効果の低い露地のマルチ被覆では、気象条件によっては殺菌効果が劣るので、主な対象病害は *Pythium* spp. による立枯病と *A. cochlioides* による根腐病とする。

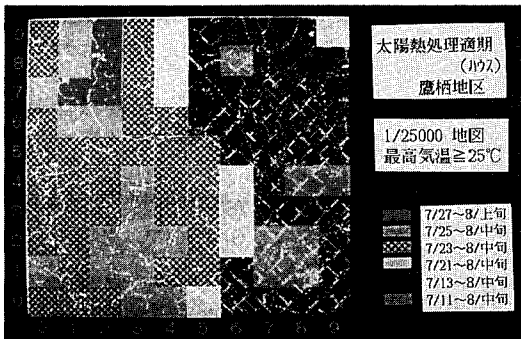


写真-3 ハウスにおける太陽熱土壌消毒の処理適期 (北海道 鷹栖町)

Photo. 3 Mapping out of optimum time for soil solarization at a vinyl green house in Takasu town of Hokkaido prefecture.

北海道農務部が開発した「気象情報活用システム」を利用して、処理適期を約1km 平方のメッシュ毎にマッピングしたもの

肥が可能である。

6. おわりに

土壌病害の病原菌とその拮抗菌は土壌中に生息していることから、病原菌の感染ポテンシャルに対して土壌環境は少なからず影響を及ぼしている。したがって、土壌環境の面から土壌病害の発生生態を明らかにすることは、薬剤を使用しない新たな防除法開発にとって思わぬ近道となるかもしれない。この種の研究は、土壌学と植物病理学の両山脈の谷間にあたる学際研究であるため、遅れていることは否めない。しかし、今後の発展次第では意外と面白い分野だと思われる。

とりわけ、こうした土壌環境と土壌病害の発生に関する知見は、次に示すように「情報に関する最新の研究課題」と接点を持つことにより、更なる展開が期待される。すなわち、新たな「適地適作論」の構築が可能になる。衛星リモートセンシングによる作物・土壌情報およびアメダスによる気象情報に、土壌病害の発生に関する情報を重ね併せることにより、①ある土壌病害の発生要因(土壌, 気象条件)が抽出される。②作物の冷湿害および生育不良の解析を行う際に、土壌病害の面からブラックボックスの考察および解明が可能であると考えられる。

引用文献

Afanasiev, M.M. and Carlson, W.E. (1942): The relation of phosphorus and nitrogen ratio to the

amount of seedlings diseases of sugar beets, Amer. Soc. Sugar Beet technol. Proc. (3d Gen. Mtg.): 407~411.

赤司和隆・鎌田賢一 (1988): ホウレンソウの土壌病害と土壌理化学的性の関係(第7報)―葉柄腐敗症状(俗称: わかめ症)の原因について, 土肥講要集, 34: 38.

赤司和隆 (1991): ホウレンソウ根腐病の発生機構と生態的防除法に関する土壌肥科学的研究, 北海道立農業試験場報告, 74: 1~100.

築尾嘉章・内藤繁男・杉本利哉 (1986): テンサイ黒根病の発生におよぼす土壌温度と水分の影響(講要), 日植病報, 52: 142.

福西 務 (1978): ホウレンソウ根腐症状株とその土壌から分離される病原菌(講要), 日植病報, 44: 86.

Geach, W.L. (1936): Root rot of grey peas in Tasmania, Austral. Council. Sci. and Indus. Res. Jour., 9: 77~87.

Haenseler, C.M. (1931): The use of fertilizers in reducing losses from pea-root rot caused by *Aphanomyces euteiches* (Abstract), Phytopathology, 21: 116~117.

Jones, F.R. and Linford, M.B. (1925 A): Pea disease survey in Wisconsin, Wis. Agr. Expt. Sta. Res. Bul., 64: 1~31.

Jones, F.R. and Drechsler, C. (1925 B): Root rot of peas in the United States caused by *Aphanomyces euteiches* (n. sp.), Jour. Agr. Res., 30: 293~325.

Kotila, J.E. and Coons, G.H. (1940): *Aphanomyces* root rot of sugar beets as influenced by phosphate application, Amer. Soc. Sugar Beet Technol. Proc. (2nd Gen. Mtg.) (pt. II): 223~225.

国永史朗・久保庭 孝・寺中理明・若井田正義 (1975): ホウレンソウ根腐症状株からの *Aphanomyces cochlioides* の分離およびその病原性(講要), 日植病報, 41: 118.

草刈真一・田中 寛 (1986): 高濃度水耕培養液中における *Pythium butleri* 遊走子の被のうとホウレンソウ苗立枯病発生への影響について, 日植病報, 52: 1~7.

Lewis, J.A. (1973): Effect of mineral salts on *Aphanomyces euteiches* and *Aphanomyces* root rot of peas, Phytopathology, 63: 989~993.

内記 隆 (1983): ホウレンソウ根部病害とその病原菌の生態, 土と微生物, 25: 9~16.

- Naiki, T., Gonda, Y. and Kageyama, K. (1986) : *Pythium* species causing damping-off of spinach seedlings under plastic-house cropping, Ann. Phytopath. Soc. Japan, **52** : 772~778.
- Smith, P.G. and Walker, J.C. (1941) : Certain environal and nutritional factors affecting Aphanomyces root rot of garden pea, Jour. Agr. Res., **63** : 1~20.
- Walker, J.C. and Musbach, F.L. (1939) : Effect of moisture, fertility, and fertilizer placement on root rot of canning peas in Wisconsin, Jour. Agr. Res., **59** : 579~590.
- Wade, G.C. (1955) : Aphanomyces root rot of peas—the effect of a potassium fertilizer on the severity of the disease in a potassium deficient soil, Austral. Inst. Agr. Sci. Jour., **21** : 260~263.

(受稿年月日 1995 年 1 月 5 日)

