

Aphanomyces cochlioides による 連作テンサイの生育阻害について

I 側根への感染がテンサイの生育に及ぼす影響

清水 基滋*

テンサイを連作すると初期生育が遅延し、その結果収穫時の根重の減少が著しくなる。この初期生育の遅延は、側根の褐変枯死と、それに伴う側根量の減少によるものと考えられる。このような生育阻害のみられる連作土壌を殺菌すると、側根の褐変枯死は見られなくなり、全体の生育が旺盛となることから、初期生育の阻害要因として土壌微生物が関与しているものと考えられた。側根から分離された数種の糸状菌のうち、*Aphanomyces cochlioides* は苗立枯病や黒根病の病原菌であるが、これらの病害が発生しない条件下でも、本菌は側根に感染して褐変枯死を起こし、テンサイの生育を阻害した。以上のことから本菌がテンサイ連作障害の主要因となっている可能性の高いことを明らかにした。

緒言

テンサイは連作障害の起きやすい作物と言われる。連作障害の原因には、特定養分の欠乏、特定の土壌病原菌および線虫の増加・生育阻害物質の蓄積などが考えられるが、テンサイの場合は、連作障害の要因として褐斑病などの地上部の病害をも含めた一般病害の増加を指摘する報告が多い。しかし狭義の連作障害が「その原因いかににかかわらず、同一の作物を連作した場合に、常識で考えられる肥培管理を充分しても、生育または収量の劣る現象一般を指す」²⁾と定義されるならば、一般病害の多発による減収を連作障害の要因とすることは適切ではない。一方、明らかに狭義の連作障害と見られる事例もいくつか報告されている。しかしその原因については、*Aphanomyces* による生育阻害の存在が推察されているにすぎず、実証するまでには至っていない。

本報告では、*Aphanomyces* を含めた土壌糸状菌について、テンサイの生育に及ぼす影響を調べ、テンサイの連作障害の要因を明らかにすることを目的に以下の実験を行った。

試験方法

1. 連・輪作年限の異なるテンサイの生育と収量

1994年7月20日受理

* 北海道立北見農業試験場, 099-14 常呂郡訓子府町

1983年からテンサイとアズキを組合せ、1986年に連・輪作年限の異なるテンサイが作付けされるようにした(表1)。品種はテンサイが「モノヒル」、アズキは「ハヤテショウズ」を用い、育苗および栽培法は北見農試慣行に従った(表2)。なお、収穫後の地上部残渣は持ち出した。また地上部の病害虫の防除は、収量に影響しないように随時行った。生育調査は6月6日、17日、7月22日の3回、1区当たり10株の4反復で行い、側根重は6月9日および26日に調査した。また6月2日には紙筒内の側根の褐変程度を調べた。収量調査は10月13日に1区当たり50株の4反復について行った。

2. 連作障害の生物的要因の確認

メチルブロマイドまたはオートクレーブ(120℃, 60分)により殺菌したテンサイの連作3年目土壌と無殺菌連作土壌を1/5000 a ワグネルポットに詰め、予め殺菌土を詰めたペーパーポットで約1ヶ月育苗したテンサイを移植した。約50日後に各処理区よりテンサイを抜取り茎葉、主根および側根の乾燥重量を比較した。また側根の褐変程度も観察した。

3. テンサイ側根からの糸状菌の分離

① 4年連作区およびテンサイ作付初年目区から移植後45日目にテンサイを抜取り、側根から糸状菌の分離を行った。供試側根は紙筒内および紙筒外から、健全根と褐変根を約5mmの長さに切り取ったものを用いた。特に健全根は途中から離脱していないものの先端部を用いた。供試側根は水道水でよく洗い、

表1 試験区の輪作様式

連輪作処理区	1982	1983	1984	1985	1986
テンサイ初年目区	秋播コムギ	アズキ	アズキ	アズキ	テンサイ
連作2年目区	秋播コムギ	アズキ	アズキ	テンサイ	テンサイ
連作3年目区	秋播コムギ	アズキ	テンサイ	テンサイ	テンサイ
連作4年目区	秋播コムギ	テンサイ	テンサイ	テンサイ	テンサイ
2年輪作区	秋播コムギ	アズキ	テンサイ	アズキ	テンサイ
3年輪作区	秋播コムギ	テンサイ	アズキ	アズキ	テンサイ

注) 1982年以前は小麦の連作

表2 供試作物の耕種概要

作物名	品種名	畦幅×株間	施肥要素量 (kg/10a)				備考
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	
テンサイ	モノヒル	60×25cm	14.4	24.0	14.4	4.8	N202:120kg/10a
アズキ	ハヤテショウズ	60×15cm	2.4	7.8	6.0	1.8	豆類6号60kg/10a

筆を用いて付着している土壌を除き、次亜塩素酸ナトリウム溶液で表面殺菌後培地上に置床した。分離培地はブドウ糖加用ジャガイモ煎汁寒天培地(PDA)および素寒天培地を用い、25℃で2~7日培養し、伸長してきた菌糸をPDA斜面培地に移植して保存した。

② 移植後72日目に連・輪作年限の異なるテンサイを抜き取り、テンサイの側溝から出根したばかりの白く健全な側根を供試した。供試側根は殺菌水に浮かべて25℃で培養し、検鏡によって *Aphanomyces* の検出率を調べた(以下本法をC法⁹⁾と略)。

4. 接種試験

テンサイの根部に分離菌の接種を行う空隙を事前に用意するため、直径9cmの素焼鉢の中心に直径18mmの試験管を立てた状態で殺菌土を詰め、試験管の周囲にテンサイ種子を1鉢当たり4粒ずつ播種した。播種後36日目に試験管を抜き取り、この穴にテンサイの側根から分離された糸状菌を接種した。接種源はコーンミール寒天培地(CMA)平板で1週間培養した含菌寒天を殺菌土と混合したもの、またはコーンミール10%混和土壌で約30日間培養したものを用いた。接種後55日目にテンサイを抜き取り、個体重を調べた。また接種試験の結果、テンサイの生育を顕著に阻害した *Aphanomyces* spp. については、形態観察により同定を行った。

5. *Aphanomyces cochlioides* の接種による

テンサイ側根への影響

① コーンミール10%混和殺菌土で *A. cochlioides* を約30日培養した接種源2ℓを、蒸気殺菌土30ℓに混合し、1/5000aワグネルポットに詰め、予め殺菌土を詰めた紙筒で42日間育苗したテンサイ苗を1

本ずつ移植した。移植後83日目に抜き取り、茎葉、主根および側根の乾燥重量を無接種土壌におけるテンサイと比較した。

② テンサイを無菌的に6~8葉期まで育て、*A. cochlioides* のテンサイ側根への感染状況を観察した。テンサイの無菌苗栽培は次のような方法で行った。ガーゼで底部をふさいだ直径25mmのガラス管にバーミキュライトまたは石英砂を詰めた。さらに底部にはガーゼの帯を付け、培養液を吸水できるようにした。この管の上部にさらにガラス管を連結し、その上部は綿栓で閉じた。これを液体肥料(商品名:ハイポネックス)の600倍溶液を入れた500mlの三角

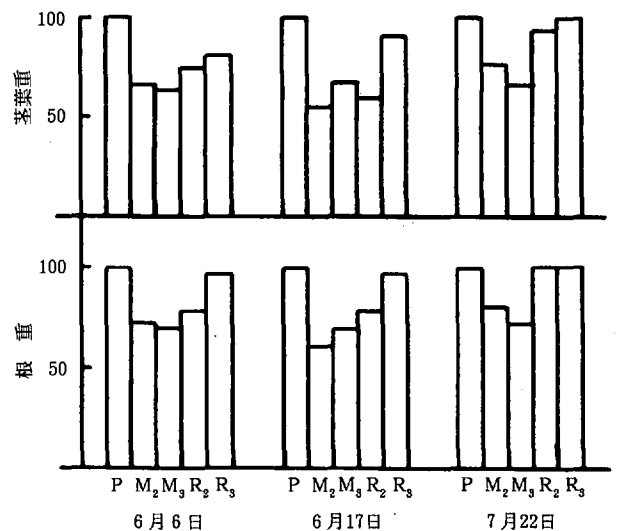


図1 テンサイ作付初年目区に対する連・輪作テンサイの生育比(テンサイ作付初年目区の生育量を100とした)
 P: テンサイ作付初年目
 M₂: 2年連作, M₃: 3年連作
 R₂: 2年輪作, R₃: 3年輪作

フラスコに固定し、全体を滅菌した。テンサイの種子は次亜塩素酸ナトリウムで表面殺菌後 CMA 平板上に置き、25℃で2～3日静置後、無菌的に出根したものを上記のパーミキュライトまたは石英砂に移植した。接種源の卵孢子懸濁液は、次のように調整した。トウモロコシ煎汁培地で3～4週間室温で培養した *A. cochlioides* を2重ガーゼで集菌し、殺菌水で洗浄した。この菌体をウルトラディスペーサーを用いて菌糸を破碎し、所定の濃度に調整して懸濁液とした。また遊走子懸濁液は、殺菌水に *A. cochlioides* の含菌寒天を浮かべ、25℃で培養して殺菌水中に遊走してきた遊走子を集めたものを用いた。接種濃度は、パーミキュライトまたは石英砂1ml当たり遊走子は50個、卵孢子は20個とし、それぞれ

れ灌注接種した。接種後2～7日目に側根の観察を行い、さらに側根からの再分離を行った。

試験結果

1. 連・輪作年限の異なるテンサイの生育と収量

連・輪作年限の異なるテンサイと作付初年目区のテンサイの収量を比較すると、茎葉重は連作2年目のテンサイが最も低く、連作年数が長くなるに従いやや増加する傾向にあったが、作付初年目と比較すると茎葉重はいずれも30%以上低かった。根重および根中糖分は連作年数が長くなるにしたがって減少し、特に根重の減少が顕著であった。輪作では輪作年限が短くなると茎葉重および根重は低下したが、根中糖分は逆に増加した。しかし糖量で見ると作付け初年目区に比較して10%近くの減収と

表3 連輪作年限の異なるテンサイの収量

処理区	茎葉重 (t/10a)	根重 (t/10a)	根中糖分 (%)	糖量 (kg/10a)	Brix (%)	N (mg/100g)	K (mg/100g)	Na (mg/100g)	不純物価 (%)
初年目	6.46 (100)	4.43 (100)	16.83 (100)	759 (100)	20.3 (100)	26.8 (100)	154.0 (100)	18.2 (100)	4.19 (100)
連作2年目	3.79 (59)	3.02 (68)	16.46 (98)	499 (66)	20.1 (99)	27.3 (102)	153.2 (99)	12.3 (68)	4.26 (102)
連作3年目	3.93 (61)	2.84 (64)	16.02 (95)	456 (60)	19.4 (96)	24.1 (90)	158.2 (103)	16.5 (91)	4.34 (104)
連作4年目	4.34 (67)	2.81 (63)	15.67 (93)	440 (58)	19.1 (94)	24.4 (91)	157.0 (102)	19.0 (104)	4.49 (107)
2年輪作	4.65 (72)	3.94 (89)	17.46 (104)	689 (91)	21.0 (103)	23.6 (88)	160.6 (104)	12.5 (69)	3.90 (93)
3年輪作	5.21 (81)	3.98 (90)	17.46 (104)	696 (92)	21.1 (104)	25.8 (96)	154.4 (100)	15.6 (86)	4.00 (95)

調査月日：10月13日

表4 連作年限の違いによるテンサイの生育と側根量

採 集 区	葉 数	草 丈 (cm)	茎 葉 重 (g 乾重/株)	主 根 重 (g 乾重/株)	側 根 重 (g 乾重/株)
6月9日(移植後28日目)					
初年目	7.9	10.8	7.49	0.92	1.18
連作2年目	7.6	8.8	5.20	0.75	0.93
連作3年目	5.5	8.0	3.00	0.29	0.50
6月26日(移植後45日目)					
初年目	10.0	22.2	74.4	9.33	6.88
連作3年目	9.6	24.8	45.0	6.39	2.72

表5 連輪作テンサイの側根の褐変程度

採 集 区	茎葉重	主 根 重 (g 乾重/株)	褐変程度
初年目	2.68	0.33	41.7
連作2年目	1.90	0.24	51.7
連作3年目	1.82	0.23	63.3
連作4年目	2.50	0.28	45.0
2年輪作	2.14	0.26	39.2
3年輪作	2.33	0.32	48.4

6月2日(移植後21日目) 調査

褐変指数

- 0：健全
- 1：部分的に褐変している側根がみられる
- 2：褐変している側根が全体的に散在している
- 3：側根のほとんどが褐変している
- 4：側根のほとんどが褐変し主根の先端にも褐変がみられる

$$\text{褐変程度} = \frac{\sum (\text{指数} \times \text{該当個体数})}{\text{最大指数} \times \text{調査個体数}} \times 100$$

表6 殺菌した連作土におけるテンサイの生育 (メチルプロマイド殺菌)

供試土壌	茎葉重 (g乾重/株)	主根重 (g乾重/株)	側根重 (g乾重/株)	側根褐変
連作3年目	3.44 (100)	2.56 (100)	2.40 (100)	+
殺菌連作3年目	5.28 (153)	2.44 (95)	2.27 (95)	-

ポット試験

表7 殺菌した連作土におけるテンサイの生育 (蒸気殺菌: 121°C, 60分)

供試土壌	葉数	草丈 (cm)	茎葉重 (g乾重/株)	根重 (g乾重/株)	側根褐変
連作3年目	8.48 (100)	13.4 (100)	9.0 (100)	1.31 (100)	+
殺菌連作3年目	9.34 (110)	17.9 (134)	18.0 (200)	1.49 (114)	-

ポット試験

表8 連・輪作テンサイの側根から分離された糸状菌 (分離培地: PDA)

側根採集区	分離部位	褐変有無	分離数	分離数										
				Py*	F. ox	F. so	F. sp	Rh	Zy	Tr	不明 a	その他		
テンサイ 初年目	紙筒内	健全	5	4					1		5	3		
		褐変	17	4	1				2	2	1	4		
連作4年目	紙筒内	健全	19	5	1				1	6	4	3	1	
		褐変	26	5	1			5	2	6	1			
	紙筒外	健全	11	4	1						1	1		1
		褐変	12			2	3	3	1					2

分離月日: 6月26日 (移植後45日目)

*Py: *Pytium* spp., F. ox: *Fusarium oxysporum*, F. so: *Fusarium solani*, F. sp: *Fusarium* spp.
Rh: *Rhizopus*, Zy: *Zygorrhynchus*, Tr: *Trichoderma*

表9 連・輪作テンサイの側根から分離された糸状菌 (分離培地: 素寒天培地)

側根採集区	分離部位	褐変有無	分離数	分離数									
				Py*	F. ox	F. so	F. sp	Rh	Zy	Tr	不明 a	その他	
テンサイ 初年目	紙筒内	健全	6	5						3	1		
	紙筒外	健全	11	7					4				
連作4年目	紙筒内	健全	22	8						11	3		
		褐変	10	2	3							1	4
	紙筒外	健全	4	1					1		2		
		褐変	12	2	4	1	4						

分離月日: 6月26日 (移植後45日目)

*Py: *Pytium* spp., F. ox: *Fusarium oxysporum*, F. so: *Fusarium solani*, F. sp: *Fusarium* spp.
Rh: *Rhizopus*, Zy: *Zygorrhynchus*, Tr: *Trichoderma*

なった (表3)。作付初年目区と比較して収量差が顕著に低かった連作区の茎葉重並びに根重の生育量は、すでに6月上旬~中旬には差が認められた (図1)。またこの時期の側根の量も、テンサイ作付け初年目区に比べ連作区で少なく (表4)、また褐変程度も高まる傾向にあった (表5)。

2. 連作障害の生物的要因の確認

殺菌処理した連作土壌で移植栽培したテンサイは、無

殺菌土壌に移植したものに比べ、明らかに地上部の生育量が増加し、その側根は褐変が見られず白く健全であった (表6・7)。このことから土壌中の微生物が側根を褐変枯死させ、連作テンサイの生育を阻害しているものと考えられた。

3. テンサイ側根からの糸状菌の分離

連作および作付け初年目のテンサイの側根から PDA および素寒天培地を用いて糸状菌の分離を行った結果、

表10 連作圃場テンサイ側根からの *Aphanomyces* の検出
(分離方法：C法)

採集区	供試側根数	検出数	検出率(%)
テンサイ初年目	192	24	13.5
連作3年目	189	64	33.9
2年輪作	192	47	24.5

分離月日：7月23日(移植後72日目)

表11 菌分離部位の略号

略号	分	離	部	位
A	連作4年目	紙筒外	褐変側根	
B	"	紙筒内	"	
C	"	紙筒外	健全側根	
D	"	紙筒内	"	
E	テンサイ初年目	紙筒内	褐変側根	
F	"	紙筒外	健全側根	
G	"	紙筒内	"	

表12 テンサイ側根から分離された *Aphanomyces* の形態

菌 株	蔵 卵 器		卵 胞 子		蔵精器数
	直 径 (μm)	膜の厚さ (μm)	直 径 (μm)	膜の厚さ (μm)	
Ap-3	19.2-28.0 (23.3 \pm 1.8)	0.8-2.4 (1.6 \pm 0.4)	13.6-23.2 (17.9 \pm 1.7)	0.8-2.4 (1.4 \pm 0.3)	1-5 (3.5 \pm 1.0)
Ap-5	20.0-28.8 (23.6 \pm 1.8)	1.2-2.4 (1.7 \pm 0.4)	14.4-22.4 (18.2 \pm 1.6)	1.2-2.4 (1.5 \pm 0.3)	1-5 (3.5 \pm 1.0)
Ap-11	20.8-30.4 (25.0 \pm 1.9)	0.8-3.2 (1.6 \pm 0.4)	15.2-24.8 (19.1 \pm 2.0)	0.8-2.4 (1.6 \pm 0.4)	1-5 (3.4 \pm 1.0)
<i>A. cochlioides</i> (Drechsler 1929)	20.2-28.6 (24.1)	1.1-2.4 (1.6)	15.8-23.6 (19.1)	1.3-2.0 (1.7)	通常4
苗立枯病 (山口 1977)	18.9-30.8 (24.5)	1.0-1.7 (1.4)	14.9-24.2 (19.2)	1.0-1.8 (1.4)	1-4
苗立枯病 (神沢 1981)	19.7-27.3	1.5-3.0	15.2-23.3		通常4
黒根病 (宇井 1962)	22.2-25.5		15.5-22.2		

() : 平均値 \pm 標準偏差

いずれの部位からも *Pythium* 属菌が分離された。紙筒外の褐変側根からは *Fusarium* 属菌が、また紙筒内からは *Zygorrhynchus* 属菌および *Trichoderma* 属菌が多く分離された(表8・9)。一方、C法により側根からの検出を行った結果、テンサイ初年目区、連作区および輪作区のいずれの区からも *Aphanomyces* が検出され、検出率は連作区がもっとも高く、次いで輪作区で、テンサイ初年目区では少なかった(表10)。

4. 分離菌株接種とテンサイの生育阻害

接種試験の結果、無接種と比較して *Aphanomyces* を接種したテンサイは最も生育が劣った。また *Pythium* も生育阻害が認められるものが多かったが、*Aphanomyces* と比べると軽微であった(図2・3)。テンサイの生育を阻害した *Aphanomyces* は、蔵卵器

・卵胞子の直径および膜の厚さ、蔵精器の付着数などから、テンサイ苗立枯病及び黒根病の病原菌と同一の *Aphanomyces cochlioides* Drechsler と考えられた(表12)。

5. *Aphanomyces cochlioides* の接種によるテンサイ側根への影響

A. cochlioides の接種と無接種土壤にそれぞれテンサイを移植して生育を比較した結果、接種区は無接種に比べ側根重が少なく、茎葉重・主根重も劣った(表13)。

また無菌的に6~8葉期まで生育させたテンサイに *A. cochlioides* を接種すると、遊走子接種で2~3日、卵胞子接種では4~5日目に側根の褐変が見られ、7~10日以降に立枯れを生じた。一方、無接種では側根の褐変は見られなかった(表14)。褐変した側根を検鏡する

供試菌	分離部位	個体重比 (対無接種)		備考
		100		
B-28	F			Pythium sp.
M-15-a	A			Pythium sp.
M-14	A			Pythium sp.
M-15-b	A			Pythium sp.
M-99	D			Pythium sp.
M-40	B			Pythium sp.
A-1	D			Aphanomyces
無接種				

図2 テンサイ側根からの分離菌がテンサイの生育に与える影響 (無接種の個体重を100とした) テンサイ播種後36日目含菌寒天接種 接種後55日目抜き取り調査

表13 移植テンサイの生育に及ぼす *A. cochlioides* の接種の影響 (g乾重/株)

処 理	茎葉重	主根重	側根重
接 種	0.88	0.57	0.29
殺菌土	5.29	5.90	1.97

ポット試験, 移植後83日目抜き取り調査

表14 *A. cochlioides* の接種による無菌栽培テンサイ側根の褐変

	卵孢子接種	遊走子接種	無接種
側根の褐変	+	+	-

と、側根組織内部に *A. cochlioides* の卵孢子が観察され、またC法で本菌が容易に再分離されたことから、接種菌は側根組織に感染し、これを侵すと考えられた。

論 議

テンサイの連作にともなう減収に関しては、その要因についてさまざまな報告がある。土壤養分については、連作によってアンバランスをきたすため減収するとの報告⁹⁾もあるが、特定要素の減少もテンサイの減収を招く程のものではないとするもの^{7, 15, 17)}や、逆に連作によって土壤養分が高まる傾向にあるという報告^{8, 14)}が多く、減収の直接的要因ではないとする考え方が一般的である。一方、各種病害の多発が連作による減収要因であるとする報告は多く (苗立枯病^{1, 3, 4, 7, 15, 17, 18)}、褐斑病⁹⁾・根腐病¹²⁾・そう根病¹⁰⁾)、特に直播栽培が普及していた時代には、苗立枯病の発生が直接欠株につながることから、本病の増加が連作障害の主因であると考えられていた。しかしテンサイの栽培様式が直播から移植に変わり、本圃における苗立枯病は回避されるようになったが、それにもかかわらず連作によって収量は低

供試菌	分離部位	個体重比 (対無接種)		備考
		100		
B-36	G			Pythium sp.
M-12	A			Rhizopus
M-86	D			<i>F. oxysporum</i>
M-16	A			<i>F. oxysporum</i>
B-9	E			?
M-26	B			<i>F. sp.</i>
M-33	B			不明 a
M-85	D			不明 a
B-10	E			?
M-110	D			Zygorrhynchus
B-13	E			?
B-42	G			Trichoderma
M-104	D			Zygorrhynchus
M-20	A			<i>F. solani</i>
M-19	A			<i>F. roseum</i>
M-3	A			<i>F. oxysporum</i>
M-7	A			<i>F. sp.</i>
M-13	A			Rhizopus
M-34	B			不明 a
M-87	D			Trichoderma
M-17	A			<i>F. sp.</i>
M-103	D			Zygorrhynchus
B-35	E			Rhizopus
M-57	B			Rhizopus
M-65	C			<i>F. moniliforme</i>
Ap-11	D			Aphanomyces
無接種				

図3 テンサイ側根からの分離菌がテンサイの生育に与える影響 (無接種の個体重を100とした) テンサイ播種後36日目菌土接種 接種後55日目抜き取り調査

下するとされている^{4, 14, 17, 18)}。

本試験においても連作テンサイは、すでに6月に生育の遅延が顕著に現れ、収穫時では根中糖分より根重で減収が顕著に現れた。これらは過去に報告されている移植テンサイの連作にともなう減収現象と同様の傾向^{14, 16)}を示した。生育遅延が顕著となる6月におけるテンサイの側根量は、連作テンサイで明らかに少なかった。また褐変程度は連作・輪作で大差は認められなかったが、連作でやや高い傾向にあった。連作テンサイでは側根量自体が少ないことを考慮すると、健全な根量は連作と輪作で大きく異なるものと考えられる。

一方、連作土壤を殺菌処理してテンサイを栽培すると、側根の褐変は見られなくなり、無殺菌土壤で栽培したものに比べて明らかに地上部の生育が旺盛となった。このことから、連作による初期生育の遅延は、土壤微生物による側根の褐変枯死に起因しているものと考えられる。

連作および輪作テンサイの側根から分離された糸状菌をテンサイに接種した結果、最も生育を阻害した分離菌は *Aphanomyces* であった。また側根からの *Aphanomyces* の分離率は連作区で高く、テンサイ作

付け初年目区からは少ない傾向にあった。

Winner^{28, 29)} および Winner and Schäufole³⁰⁾ は、卵菌綱菌に特効性を示す殺菌剤 Dexon をテンサイの播種溝に施用すると、外見健全な無施用区のテンサイに比べて収量が優り、さらにテンサイ側根からの *Pythium* spp. および *Aphanomyces* の分離率が減少すること、また Schäufole and Winner²⁹⁾ は室内実験で連作および輪作土壌におけるテンサイ苗立枯率を調べ、この苗立枯率と減収程度に高い相関が認められ、立枯個体から分離される病原菌のほとんどが *Pythium* spp. および *Aphanomyces* であったことから、これらによる慢性的な生育阻害の存在を示唆している。さらに松崎ら¹⁴⁾ は、連・輪作年限の異なるテンサイ側根からの *Aphanomyces* の検出率が連作区で高いことから、*Aphanomyces* の側根への感染が連作による収量低下の一因であろうと推察している。しかしいずれも実証するまでには至っておらず、本実験において *Aphanomyces* による生育の阻害が新たに確認できたものと考えられる。

このテンサイの生育阻害をもたらした *Aphanomyces* は、菌学的諸性質から *Aphanomyces cochlioides* Drechsler^{2, 11, 27, 31)} と考えられた。*A. cochlioides* は元来テンサイ苗立枯病および黒根病の病原菌として知られているが、これらの発生はテンサイの生育ステージおよび栽培環境に大きく左右される。宇井ら²⁷⁾ は、播種後日数の異なるテンサイの苗に *A. cochlioides* を接種し、苗立枯病の発病を観察した。その結果、播種後14日目の苗に接種した場合は立枯病状が見られるが、21日目の苗では胚軸への軽微な感染が見られるものの、立枯は見られず、28日目の苗では胚軸への感染も不明瞭であった。現在移植テンサイの育苗期間は40日を越えており、本圃へ移植後に本菌が胚軸に感染して立枯を起こすことはほとんどない。一方黒根病は、同一菌が移植後に本圃で感染し²⁴⁾、主根表面及び先端部分の黒色壊死、さらにそれに伴う地上部の黄化・萎凋といった典型的な症状^{19, 20)} を呈する。これらの症状は土壌水分が高い状態が長く続かなければ発生しにくい²³⁾。しかし軽症の場合には主根先端部からの水分供給が不十分となるため、外見的な症状は生育阻害の形で現れる^{5, 19)}。本試験では *A. cochlioides* を接種した土壌に40日以上育苗したテンサイを移植したが、苗立枯病のような胚軸への感染や、黒根病のような主根の黒色壊死および地上部の黄化及び萎凋などの症状は観察されなかった。しかしながら接種土壌に移植したテンサイは、無接種土壌に移植したものに比べ明らかに生育が劣り、側根の量が少なくかつ側根部に褐変が観察された。また無菌的に6～8葉期まで生

育させたテンサイに本菌を接種すると、初めに側根に褐変が生じる。この側根を検鏡すると、組織内に本菌の卵胞子が形成されており、かつ接種菌も再分離されたことから、本菌は側根組織内部に侵入していたものと考えられた。数日後には胚軸に感染して立枯症状を呈したが、これは半無菌状態の苗に接種したうえに、多湿条件であったためと考えられる。

以上のことから、苗立枯病や黒根病のような激しい発病を回避し得る栽培条件にあっても *A. cochlioides* はテンサイの側根に感染し、これを褐変枯死させ、テンサイの生育阻害とそれに伴う収量の低下をもたらしているものと考えられる。従来、土壌糸状菌の慢性的な感染により根が褐変し、生育阻害が生じる例は、陸稲¹³⁾ やエンドウ²⁵⁾ で知られており、これが陸稲およびエンドウの連作障害の一要因とみなされている。テンサイにおける *A. cochlioides* の側根への感染による生育阻害も、上述の連作障害と軌を一にしていると考えられる。

謝 辞：本報は、元北海道立北見農業試験場斉藤泉主任研究員（現、北海三共）のご助言・指導の下に実施された。帯広畜産大学環境植物学研究室学部佐藤清美さんには実験の一部を担当していただき、また圃場管理・収穫に際しては北海道立北見農業試験場管理科の多大なご協力を得た。北海道立中央農業試験場土屋貞夫病虫部長、同北見農業試験場児玉不二雄研究部長、阿部秀夫病虫科長には本報の校閲をお願いし、貴重な意見をいただいた。以上の方々に対し心から感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 阿部秀夫, “テンサイの直播栽培における苗立枯病 (特に *Aphanomyces cochlioides*) の発生消長と防除”. てん研会報. 17, 63-69(1976).
- 2) Drechsler, C. “The beet water mold and several related root parasites”. Agric. res. 38, 309-361 (1929)
- 3) 石塚善明, 横田勝徳. “甜菜の連作障害に関する研究. (第1報) 甜菜の連作による収量低下の実態と立枯病との関連”. 日土肥誌. 38(9), 345-350(1967).
- 4) 堅木育雄, 泉山陽一, 永田伸彦. “連作によるてん菜収量の変化”. てん研会報. 11, 40-49 (1969).
- 5) Kotila, J. E.; Coons, G. H. “*Aphanomyces* root rot of sugar beet as influenced by phosphate application”. Amer. Soc. Sugar beet Technol. Proc. (2d Gen. Mtg.) 1940 (Pt. II), 223-225.

- 6) 北海道大学農学部, 北海道農業試験場, 北海道立農業試験場, てん菜研究所. “北海道におけるテンサイ立枯性病害の分布”. 北日本病虫研報. 13, 3-4 (1962).
- 7) 北海道立北見農業試験場. “畑作物の連・輪作に関する長期試験”. 北見農試資料. 3, 1-89(1981).
- 8) 岩淵晴郎, 長谷川進. “てん菜短期輪作の一例”. 北農. 35(12), 1-13(1968).
- 9) 加藤勝信, 大久保甲子. “てん菜の連作に関する試験”. 北農. 34(8), 1-19(1967).
- 10) 神沢克一. “テンサイの異常生育について, 第1報 発病条件と被害について”. てん研会報. 補巻13, 35-47(1971).
- 11) 神沢克一, 内野浩克. “てん菜の苗立枯病に関する研究 第3報 紙筒育苗の苗立枯病より分離される病原菌について”. てん研会報. 23, 61-68(1981).
- 12) 君ヶ袋尚志, 工藤和一, 飯田格. “サトウダイコンの連・輪作と病害発生の関係 その1 輪作年限について”. 北日本病虫研報. 14, 11-12(1963).
- 13) 松田明, 下長根鴻, 尾崎克巳, 渡辺文吉郎. “畑水稲および陸稲の連作障害と対策に関する研究, 第1報 連作害の症状と発生条件に関する試験”. 茨城県農試報告. 14, 1-19(1973).
- 14) 松崎康範, 吉田俊幸, 三分一敬. “連輪作跡地土壌の評価とテンサイの連作障害に関する一考察”. てん研会報. 24, 115-123(1982).
- 15) 成田保三郎. “網走地方の黒色火山性土における連・輪作畑の土壌微生物特性と連作障害の要因解明およびその対策に関する研究”. 北海道立農試報告. 50, 1-44(1984).
- 16) 野村信史, 大槌勝彦, 阿部晴記, 男沢良吉. “連作5年目圃場におけるてん菜の生育について”. てん菜技術連絡研究会発表論文集. 1974. p. 125-132.
- 17) 奥山善直. “連作条件におけるてん菜の生育相と関与要因についての2, 3の考察”. 北農. 39(8), 1-19 (1972).
- 18) 男沢良吉, 阿部晴記, 大槌勝彦. “てん菜の連作栽培に関する試験”. てん研会報. 補巻10, 108-112 (1968).
- 19) Papavizas, G. C.; Ayers, W. A. “Aphanomyces species and their root diseases in pea and sugar-beet”. USDA Tech. Bull. 1974. p. 1485.
- 20) Schäufele, W. R.; Winner C. “Effects of crop rotation on parasitic oomycete damage to feeding roots of sugar beet” in “Soil-borne plant pathogens”. Academic press. 1979. p. 343-349.
- 21) 「新版土壌病害の手引」編集委員会編. “新版土壌病害の手引”. 日本植物防疫協会. 1984. p. 349
- 22) 田爪静夫, 岩永皓. “畑におけるビートの連作について”. 暖地てん菜技術研究会講演集. 補巻1, 31-32(1963).
- 23) 築尾嘉章, 杉本利哉. “テンサイ黒根病の発生実態調査”. 北海道農試研究資料. 22, 35-39(1983).
- 24) 築尾嘉章, 内藤繁男, 杉本利哉. “テンサイ黒根病の本圃感染”. てん研会報. 24, 157-162(1982).
- 25) 植原一雄, 栗畑耕二. “連作土壌に栽培したエンドウの根の褐変について”. 鹿児島大学農学部学術報告. 23, 127-132(1973).
- 26) 宇井格生. “サトウダイコンの黒根病とその病原菌の北海道における分布”. 北海道大学農学部邦文紀要. 4, 60-66(1962).
- 27) 宇井格生, 中村重治. “てん菜の黒根病, 特にその病原菌 *Aphanomyces cochlioides* Drechsler の病原性と寄主範囲について”. 甜菜研究会報告. 3, 78-95 (1963).
- 28) Winner, C. “Untersuchungen über parasitogene Schäden an Wurzeln der Zuckerrübe, insbesondere durch *Aphanomyces*, und über Möglichkeiten ihrer Verhütung I. Diagnostische Untersuchungen in Feldkulturen”. Phytopath. Z. 57, 105-120(1966 a).
- 29) Winner, C. “Untersuchungen über parasitogene Schäden an Wurzeln der Zuckerrübe, insbesondere durch *Aphanomyces*, und über Möglichkeiten ihrer Verhütung II. Infektionsversuche mit *Pythium* und *Aphanomyces*, in Gefäßen”. Phytopath. Z. 57, 232-252(1966b).
- 30) Winner, C.; Schaufele, W. R. “Feldversuche mit p-Dimethylaminobenzoldiazoniumsulfonat zum Nachweis latenter Schäden an Zuckerrüben durch wurzelinfizierende Pilze”. Zucker. 21, 583-588(1968).
- 31) 山口武夫. “てん菜の苗立枯病に関する研究—特に *Pythium* 属菌について—”. 北海道農試報告. 118, 9-54(1977).

Study on Reduction of Sugar Beet Caused by *Aphanomyces cochlioides* under Continuous Cropping

I Development of the disease for lateral roots

Motoshige SIMIZU*

Summary

Investigation was made to determine the cause of the reduction in yield of sugar beet occurring in the continuous and short-term rotated cropping (CSRC).

In CSRC plots, the total fresh weight and sugar content of beet were lower than that of long-term rotated ones. This reduction was mainly due to root weight, besides the lateral roots of sugar beet were necrotic. It is considered that this yields reduction is due to the growth retardation at early stage of sugar beet caused by browning and/or necrosis of lateral roots in CSRC. The necrosis of lateral roots is caused by soil-borne organism, because in the sterilized soil there occurred no necrosis or browning under continuous cropping.

Isolation of fungus from lateral roots and inoculation tests showed that the necrosis is mainly caused by *Aphanomyces cochlioides*.

A. cochlioides is known the pathogen of damping-off and black root rot of sugar beet. But it is considered that even in the case of condition in which there occur no such distinct symptoms, *A. cochlioides* infects to lateral roots of sugar beet and retards the growth at early stage.

*Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppu Hokkaido, 009-14 Japan