

IV. そう根病の防除法に関する研究

前章までの調査および実験結果から、そう根病の発生経路は育苗土（または床土）と本畑土の汚染の2つがあり、一度汚染された土では病原が長期間生存することが確認された。現在のところ土壌および植物中の病原ウイルスを直接不活性化することが困難であるので、本研究では本病の防除対策として、ウイルスの媒介者 *Polymyxa betae* の感染を防止することを主眼におき、育苗時と本畑における防除法について検討した。

A. 育苗時における防除

1970年にそう根病が全道各地に多発した主たる原因は先に述べたように汚染育苗土を使用したためであった。健全・無病の苗を使用することは当年の発病・被害を回避するだけでなく、病原ウイルス保毒 *P.betac* を無病地に移動・分散させないためにも重要である。

そう根病に対する薬剤の消毒効果については既に Bongiovanni (1965, 1973), 神沢 (1971b, 1972a) などによって報告されているが、有効な薬剤は現在のところ土壌燻蒸剤のみである。D-D 剤は、北海道では既に汚染育苗土の消毒法としての効果および実用性が確認され (中央農試ら, 1972) 実際に使用されている。ここでは燻蒸剤であるが D-D 剤より取扱い易いダゾメット剤、非燻蒸剤および加熱処理の効果、並びに汚染育苗土の pH 低下効果に関する試験を行なった。

1. 育苗土の薬剤消毒

(1). 土壌燻蒸による消毒

汚染育苗土の土壌消毒剤として D-D 剤および臭化メチル剤などの効果は高いが、これらの薬剤は処理方法など取扱いが繁雑である。本項では比較的取扱い易く、しかも高い効果が期待できるダゾメット剤について検討した。

ダゾメット剤は土壌中の水分を吸水することに

よってガス化し、その主成分であるホルムアルデヒド、メチルアミン、メチルイソシアネート、硫化水素などが効果を発揮する土壌燻蒸剤である。なお本剤は粉剤または微粒剤であるため、他の土壌燻蒸剤より取扱易い。更に本剤は十字花科植物の根こぶ病 (Buczacki and White, 1977), およびイタリアではテンサイの Rizomania (Ghillini and D' Ambra, 1971) にも効果があると報告されている。

実験材料および方法

供試薬剤　ダゾメット粉剤：テトラヒドロ-3,5-ジメチル-2H1, 3, 5-チアジアジン-2-チオン95%, 商品名「ガスタード」。ダゾメット剤の対照薬剤として D-D 剤：1, 3-ジクロロプロペン55%, 商品名「D-D」を使用した。更に苗立枯病防除薬剤として DAPA 粉剤：P-ジメチル-アミノベンゼン-ジアゾサルホネート4%, 商品名「デクソン」および PCNB 粉剤：ペンタクロロニトロベンゼン5%, 商品名「ペンタゲン」を使用した。

処理および検定方法　そう根病の病土 (製糖所の沈殿池土, pH7.5) に所定量の薬剤を前年秋または当年春に混和し、ビニールフィルムで被覆または被覆せずに置き、越冬後または処理1週間後にガス抜きを行ない、処理効果を検定するため、処理した土壌を紙筒に入れ、テンサイ「品種：ソローベ」を播種し、約1ヵ月後に北見農試の健全ほ場に移植して、収穫期にそう根病の発病および収量を調査した。栽培は1区12㎡乱塊法3反復で行なった。*P.betae* の感染程度はほ場に移植せずに残した苗を更に約20日間育苗してから調べた。苗立枯病の調査は発芽後から移植時までに3~5日間隔で発病個体を採取し、それらのはい軸部約15mmを切りとり、ストレプトマイシン100ppm 加用殺菌水中に入れて病原菌を検出するC法 (鏡谷, 1965) で行なった。

Table 51. Application of Dazomet and D-D to infested soils used in nursery beds for controlling rhizomania of sugar beet in the main field

Soil fumigants	Amount of application ^{a)} (per 1 lit.)	Severity of <i>P. betae</i> infection ^{b)}	Necrosis severity on roots ^{c)}	Root weight ^{c)} (Kg/1 are)	Sugar content ^{c)} (%)
Dazomet 95%	0.8g	—	0	490	13.8
D-D 55%	1.0ml	—	0	480	13.3
Control	—	+	59	280	11.0
l. s. d.	0.05		5	50	1.1
	0.01		8	90	1.9

- a) Seeds of sugar beet were sown in paper pots with soils treated with the different fumigants on 23 April, and the seedlings were transplanted in the main field (non-infested) on 23 May. 78 sugar beet plants were grown per one plot (12 m²) and harvested on 16 Oct.
 b) *P. betae* infection was examined at 50 days after sowing.
 c) Necrosis severity and yield were examined at harvesting time.
 The figure shows average of 3 plots.

に供試薬剤を4月18日に混和処理し、ビニール袋に入れビニールハウス内に6日間置いた後、上記同様に処理土壌を広げて10日間ガス抜きしてから発病検定を行なった結果はTable 53および54に示した。なお前記Table 51および52の供試土壌には苗立枯病の発生を防止するため、全区にDAPA剤とPCNB剤を加えていたが、この実験では苗立枯病の防除効果も併せて検討するためダゾメット剤およびD-D剤処理区にはDAPA剤とPCNB剤を加えなかつ

結 果

供試薬剤を前年秋の10月25日に混和処理し、室外の70×70×50cmのコンクリート枠に入れビニールフィルムで被覆し、翌春4月21日に取り出し、ビニールハウス内に広げて2日間ガス抜きしてから発病検定を行なった。結果はTable 51に示す通り、ダゾメット95%粉剤0.8g/土壌1ℓ処理では*P. betae*の寄生およびそう根病の発病が認められず、D-D 55%剤1ml/土壌1ℓ注入処理の防除効果と同等であった。

次に供試薬剤を4月11日に混和処理し、ポリエチレンバット(32×24×12cm)に入れ、ビニールハウス内に1週間置いた後、約6cmの厚さに広げて5日間ガス抜きしてから発病検定を行なった。結果はTable 52に示すように、ダゾメット95%粉剤の0.2~0.8g/土壌1ℓ処理は、ビニールフィルム被覆の有無に関係なく、D-D剤1mlと同等の高い効果が認められた。更

Table 52. Application of different amounts of Dazomet to infested soils used in nursery beds for controlling rhizomania of sugar beet in the main field

Soil fumigants	Amount of application ^{a)} (per 1 lit.)	Severity of <i>P. betae</i> infection ^{b)}	Necrosis severity on roots ^{c)}	Root weight ^{c)} (Kg/1 are)	Sugar content ^{c)} (%)
Dazomet 95%	0.2g* ^{d)}	—	0	520	13.3
do.	0.4g*	—	0	510	14.0
do.	0.8g*	—	0	510	14.0
do.	0.2g*	—	0	520	13.8
do.	0.4g	—	0.3	510	13.9
do.	0.8g	—	0	480	14.1
D-D 55%	1.0ml*	—	0.3	470	14.0
Control	—	+	67	230	11.8
l. s. d.	0.05		2	60	2.1
	0.01		3	90	n. s

- a), b) and c) are the same as footnotes shown in Table 51.
 d) *: covered with vinylfilm after applied with fumigants

Table 53. Effect of different amounts of Dazomet to infested soils in nursery beds on the incidence of rhizomania and on damping-off of sugar beet

Fungicides	Amount of application ^{a)} (per 1 lit.)	Damping-off		Necrosis severity on roots ^{b)}	Root weight ^{c)} (kg/1 are)	Sugar content ^{c)} (%)
		No. of plants examined	% of plants diseased			
Dazomet 95%	0.2g* ^{d)}	495	0	0	350	12.4
do.	0.4g*	449	1.3	0	410	12.6
do.	0.8g*	401	0	0	370	12.3
do.	0.2g	521	4.4	0	400	12.6
do.	0.4g	584	14.4	0	380	12.6
do.	0.8g	550	0.4	0	370	12.7
D-D 55%	1.0ml*	493	21.7	0	370	11.4
DAPA+PCNB	0.8g	594	0.8	61	190	10.6
Control	—	492	64.7	54	210	11.3
l. s. d.	0.05			8	60	1.2
	0.01			11	90	n. s

- a), b), c) and d) : see Table 52.

Table 54. Detection of the fungi causing damping-off of sugar beet in control plot in Table 53

Date	No. of plants examined	No. of plants that the fungus was detected			
		<i>Aphanomyces</i>	<i>Pythium</i>	<i>Rhizoctonia</i>	<i>Phoma</i>
5. 15	31	30	0	2	0
19	15	15	0	1	0
26	21	18	4	2	2

た。そう根病の発生はダゾメット剤0.2~0.8 g 処理の何れにも認められず、D-D 剤 1 ml 処理と同等の効果があつた。苗立枯病の発生はダゾメット剤0.2~0.8 g の被覆区および0.8 g 無被覆区ではほぼ完全に防除され、D-D 剤 1 ml 被覆区の効果より明らかに高かつた。

(2). 土壌混和剤による消毒

本項では一般の土壌混和剤のうち、*Polymyxa* と同じネコブカビ科に属する *Plasmodiophora brassicae* に効果があるとされている薬剤を中心にそう根病の防除効果を検討した。

実験材料および方法

伊達市と斜里町のそう根病発生畑から採取した病土を 1 : 1 で混和し、その土壌に下記の供試11 薬剤の所定量を混和処理し、径12cm 素焼鉢に入れ、テンサイ「モノヒル」を播種して約2 ヶ月後に *P.betae* の感染程度を調べた。1 処理につき2 ~ 4 鉢とし、同じ実験を2 回繰り返した。

Table 55. Effect of treatment of various fungicides to infested soils on infection of *Polymyxa betae* (pots experiment)

Common name	Chemical name and contents of active compound	Amount (g/1000ml soil)	Severity of <i>P.betae</i> infection	Damage from fungicide
MTF-1509 (dust)	N-(2-chlor-4-nitrophenyl)-3-nitro-4-methylbenzenesulfonamide : 3%.	0.1	≡	-
		0.5	+	-
		1.0	+	-
		1.5	-	-
NK 483 (dust)	Triclamidate : 10%.	0.5	+	-
		1.0	+	-
		1.5	-	-
		2.0	-	+
HSF-5382 (dust)	New compound : 10%	0.3	+	-
		0.6	+	-
		1.0	+	-
		1.5	-	-
HSF-5381 (dust)	New compound : 4%	1.4	+	-
Captafol (dust)	N-(1, 1, 2, 2-tetrachloroethylthio)-tetrahydrophthalimide : 4%.	1.4	≡	-
Propaphos (dust)	4-(methylthio) phenyl dipropyl phosphate : 5%.	1.4	≡	-
Diazinon (granule)	0-(2-isopropyl-4-methyl-pyrimidyl-6)0, 0-diethyl thiophosphate : 3%.	0.5	≡	-
		1.0	≡	-
Maneb Dithane M (wattable powder)	Manganese ethylenebisdithiocarbamate : 75%.	0.1	+	±
		0.5	+	+
Etridiazol (dust)	5-ethoxy-3-trichloromethyl-1, 2, 4-thiadiazole : 4%.	0.5	+	-
		1.0	+	±
		2.0	+	+
Rhizol (dust)	Trichlophosmethyl : 5%	1.0	+	-
Mepronil (dust)	3-isopropoxg-2-methylbenzoanilide : 3%.	1.0	+	-
D-D (oil)	1, 3-dichloropropene : 55%.	0.5 (ml)	-	-
Dazomet (granule)	Tetrahydro-3, 5-dimethyl-2H1, 3, 5-thiadiazine 2-thione : 95%.	0.5	-	-
Control		-	≡	

Table 56. Heat treatments to infested soils in nursery beds for controlling the incidence of rhizomania of sugar beet in the main field

Soils	Treatments	Severity of <i>P. betae</i> infection	% of plants diseased ^{c)}	Root weight (kg/1 are)	Sugar content (%)
A ^{a)}	Heated at 64C for 30min.	—	0	517	12.6
	Heated at 77C for 30min.	—	0	448	13.3
	Fumigated by D-D 0.5ml/1 lit.	—	0	417	11.1
	Steamed at 65-90C for 30min.	—	0	421	13.1
	Control	+	19	383	13.0
B ^{b)}	Heated at 53C for 30min.	≡	100	12	5.1
	Heated at 69C for 30min.	—	0	436	13.1
	Fumigated with D-D 0.5ml/1 lit.	—	0	490	12.1
	Control	≡	100	8	4.6

a) Infested soil obtained from settling lagoon of a sugar beet factory.

b) Infested soil obtained from a field of Date district.

c) Planted on 27 Apr., transplanted on 24 May, harvested on 5 Oct., 98 sugar beets (15m²) were examined for 1 plot, the figure shows average of 3 plots.

結 果

Table 55に示すように、対照としたD-D剤およびダゾメット剤と同様に、*P. betae*の感染が認められなかった薬剤は供試11薬剤中MTF-1509 3%粉剤、NK483 10%粉剤およびHSF-5382 10%粉剤の3薬剤(土壌1ℓ当りそれぞれ1.5g施用)であった。

2. 育苗土の加熱消毒

テンサイ製糖工場では原料のテンサイから遊離した土、およびテンサイ洗滌土を溜めた沈殿池の土が毎年数10万トン出る。これらの土は土壤養分的には優れているが、多くの場合そう根病の病原に汚染されている。この土を加熱処理で滅菌し、テンサイの紙筒育苗に再利用することを検討した。なお、本実験は北海道糖業株式会社と共同で行なった。

実験材料および方法

供試土壌 製糖所の沈殿池土(pH7.1)と伊達市のそう根病発生土壌(pH7.6)を用い、6mmの篩を通した。加熱処理時の土壌水分(含水比)は28%であった。

加熱処理方法 本実験には火炎式消毒機(焼土殺菌機MN101ヘクサベット、三井農林株)を用い、供試土壌は火炎が吹きつけているドラムの中を数10秒間で通り抜けて堆積され、53℃~77℃

で30分以上保持された。

調査方法 加熱処理土壌を紙筒に入れ、テンサイ「品種：ソロラーベ」を播種し、約1ヵ月間育苗したのち、北見農試の健全ほ場に移植して収穫期のそう根病の発病と収量を調査した。*P. betae*の寄生は移植せずに残した個体について播種60日目に調べた。

結 果

Table 56に示すように、53℃では全く防除効果がなかったが、64℃~77℃ではD-D処理と同様に高い効果が認められた。

3. 育苗土のpH低下による防除

先のそう根病の発生分布と発生環境に関する調査並びに*P. betae*の生態に関する実験結果から、*P. betae*の感染は土壌pHと密接に関係していることが確認されたので、実際に汚染された育苗土のpHとそう根病の発病の関係について検討した。

実験材料および方法

訓子府町の黒色火山性土に過磷酸石灰または炭酸石灰を添加してpHを5段階に調整し、それぞれの土壌に病根0.06%または0.23%(風乾病根/湿土W/W)を混和接種したものを育苗土に用い、テンサイ「品種：ソロラーベ」を紙筒育苗し、約1ヵ月後に北見農試の健全ほ場に移植して収穫期にそう根病の発病と収量を調査した。移植は1区

12m², 3 反復とした。P.betae の感染調査は移植せずに苗床に残した個体につき播種47日目に行なった。

結 果

Fig. 14に示すとおり、pH7.0前後の高 pH 区ほど P.betae の感染程度が高く、また、そう根病の発病も激しく、根重および根中糖分の低下が著しかった。一方、pH5.3~5.6の低 pH では病根多量 (0.23%) 接種区でも葉部に病徴を認めず、根部の発病が軽症で、被害は殆ど認められなかった。

4. 考 察

そう根病に汚染された育苗土の薬剤消毒には現在 D-D 剤が使用されているが、ダゾメット剤は土壌 1 ℓ 当り 0.4 g で D-D 剤 0.5 ml と同等の高い防除効果があり、有効であると認められた。更に本剤は *Aphanomyces* 菌などによる苗立枯病に対しても有効であり、D-D 剤より幅広い殺菌効果があると思う。ただし、本剤は土壌水分が少ないと薬剤の分解が遅れ、薬害が出易くなるので、使用に当っては適度の土壌水分が有り、地温 10℃ 以上で 7~10 日間ビニールフィルムで被覆した後、10 日間以上のガス抜きが必要である。本剤は現在のところ食用作物に登録がない。

土壌混和剤のうち、MTF-1509 3% 粉剤、NK-483 10% 粉剤および HSF-5382 10% 粉剤はそれぞれ 1.5 g / 土壌 1 ℓ を育苗土に混和処理すると汚染育苗土からの P.betae の感染を顕著に抑制できたが、いずれの薬剤もテンサイに登録がない。

育苗土の pH と発病との関係は神沢 (1973 a) の結果とも一致し、発病に及ぼす pH の影響が再確認された。これらの試験結果からそう根病の無病土を育苗土に使用した場合でも、飛び込みによる汚染防止のため、育苗土の pH は出来るかぎり低く抑えた方が望ましい。ただし、pH6.0 以下で、有機物の少ない土壌を紙筒育苗土に使用すると、苗枯病 (病原菌: *Trichoderma sp.*) が発生し易いので (神沢, 1973b), 有機物含量と土壌 pH には十分な注意が必要である。

B. 本畑における防除

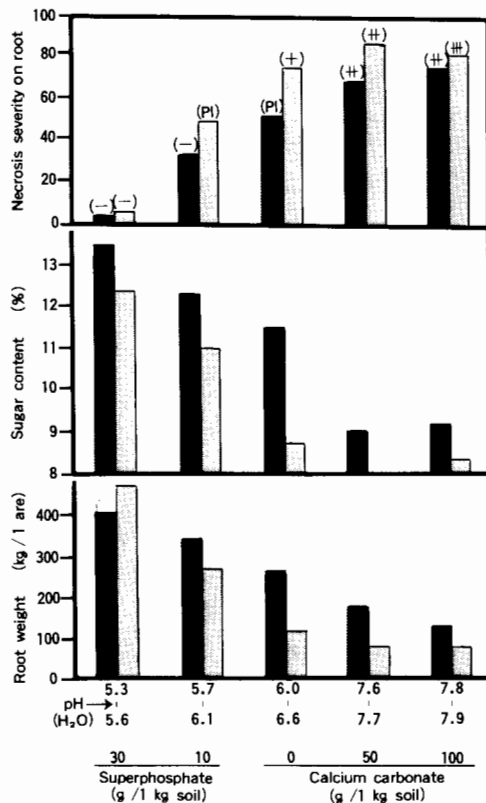


Fig. 14. Effect of soil pH in nursery beds on the incidence of rhizomania, root weight and sugar content. Sugar beet seedlings were grown in paper pots with soils containing *P. betae* at different pH for 30 days, and were transplanted in healthy main field. Soil pH was adjusted using superphosphate and calcium carbonate. Symptoms and sugar yield were investigated at the harvest time. ■: 0.6g rootlets per 1 kg soil as inoculum source, ▨: 2.3g rootlets per 1 kg soil. Sign in parentheses shows severity of *P. betae* infection in sugar beet seedlings 17 days after transplanting (see Table 1)

北海道では、本病の発生が激しい畑ではテンサイの栽培を避けているにもかかわらず、本病の汚染土は先のⅡの発生分布調査から明らかなように道内の主要テンサイ栽培地帯に広く分布し、発病は近年激しくなる傾向にある。本項ではそう根病の病原に汚染された畑の防除対策として、病原密

度低下のために薬剤による土壌消毒、並びに *P.betae* の活性を低下させるために土壌 pH の低下処理をとりあげ、これらの単独および併用効果について検討した。

1. 本畑の土壌消毒

育苗土の消毒に効果が確認されている薬剤のなかから、畑の土壌消毒にも実用化できそうな D-D 剤 (1, 3-ジクロロプロペン 55%) とダゾメット剤 (テトラヒドロ-3, 5-ジメチル 2H1, 3, 5-チアジアジン-2-チオン 95% または 98%) を用い、防除効果を調べた。

(1). D-D 剤による消毒

D-D 剤の施用量は、育苗土消毒の場合 1a 当り育苗土 40ℓ に 20ml とされているが (中央農試ら, 1972)、本畑消毒のための薬量は毒性、経済的な問題から 4ℓ / 1a が限度と考えられる。本項では 4ℓ / 1a までの防除効果、施用後の被覆の有無と効果並びに 2 年目における持続効果を試験した。

試験方法

沈殿池土 (pH7.3) を 1㎡ のコンクリート枠に入れ、テンサイを 4 年間連作栽培してそう根病が多発するようになった土壌に、D-D 剤 20ml / または 40ml を 10 月 7 日と 11 月 3 日に注入処理し、ビニールフィルムで被覆または被覆せずにおき、前者は 10 月 20 日、後者は翌春それぞれガス抜きを行

なった。各区コンリート枠 2 個とし、テンサイ「品種：ソローベ」を 4 月下旬に直播 (8 個体/枠) し、10 月中旬に収穫した。更に翌年もテンサイを連作した。

結 果

Table 57 に示すように第 1 年目のそう根病の発病度および収量は、D-D 剤の施用量、注入時期、被覆の有無によって大きく異なり、防除効果は 1㎡ 当り 20ml より 40ml が、無被覆より被覆が、また施用時期が 11 月上旬より 10 月上旬の方がそれぞれ高かった。2 年目には何れの区でも防除効果が劣った。特に無被覆区では著しく劣った。

(2). ダゾメット剤による消毒

そう根病の汚染土に対するダゾメット剤の防除効果を試験した。なお本試験の一部は北海道糖業株式会社との共同で実施した。

試験方法

ほ場は多発生畑と少発生畑の 2 ヶ所を使用した。多発生畑は北見農試ほ場とし、1979 年 9 月 17 日にダゾメット 98% 微粒剤「商品名：バスアミド」を処理し、ガス抜きを 8 日後に行なった。テンサイは翌年の 5 月 10 日に直播した。試験規模は 1 区 140㎡, 2 反復とした。

少発生畑での試験は、十勝支庁浦幌町幾千世の農家は場で行なった。各薬剤の処理は 1981 年 9 月 17 日、ガス抜きは 10 月 6 日にそれぞれ行なった。翌年、テンサイを健全土で紙筒育苗して 5 月 10 日

に移植し、農家慣行で栽培した。試験規模は 1 区 60㎡, 乱塊法 3 反復とした。対照には D-D 剤を用い、施用時間、ガス抜きは処理区と同時に行なった。D-D 剤は手動式注入器を用い約 30cm 間隔で、1a 当り 4ℓ および 3ℓ を深さ 15cm に注入した。ダゾメット 98% 微粒剤および 95% 粉剤はほ場に散布後ただちに耕転機で深さ約 25cm の表層土に混和した。

結 果

多発生畑における試験結果は Table 58 に示すように、ダゾメット微粒剤 4 kg の発病抑制効果は顕著に

Table 57. Effect of soil fumigation by D-D (1, 3-dichloro-propene) to heavily infested soil on the incidence of rhizomania (1 m² concrete pot experiment)

Treatments			1st year			2nd year		
Amount of D-D (ml/m ²)	Date of D-D injection	Covered with vinylfilm	% of diseased plants	Root weight (kg/m ²)	Sugar content (%)	% of diseased plants	Root weight (kg/m ²)	Sugar content (%)
20	Oct. 7	No	70 (30) ^a	3.0	8.8	100 (66) ^a	0.9	4.4
40	Oct. 7	No	7 (2)	6.6	12.2	94 (36)	2.6	9.9
40	Nov. 3	No	29 (7)	4.6	11.4	100 (39)	2.0	8.5
20	Oct. 7	Yes	13 (3)	6.5	13.5	100 (30)	3.1	10.7
40	Oct. 7	Yes	7 (2)	9.5	16.6	56 (14)	4.9	14.7
40	Nov. 3	Yes	0 (0)	7.8	16.6	44 (11)	3.6	13.0
Control			100 (71)	1.4	8.0	100 (91)	0.6	3.6

a) The figure in the parenthesis indicates necrosis severity on roots shown in Table 8.

高く、D-D 剤 4 l より明らかに優っていた。ただし、根中糖分は一般の健全個体に比較してダゾメット微粒剤 4 kg でも数%低い傾向が認められた。

少発生畑における試験結果は、Table 59に示すように、ダゾメット粉剤および微粒剤 4 kg の発病抑制効果は、D-D 剤 4 l と同等に高かったが、根中糖分は一般の健全個体より 2~3%低い傾向があった。

2. 土壌 pH 低下と D-D 剤の併用による防除

前項の結果からそう根病の防除薬剤としては、現在のところダゾメット剤が使用法および効果の面から最も優れているが、毒性および経費を含めた実用性では D-D 剤 (1, 3-ジクロロプロベン55%) が最も期待できる。しかし、D-D 剤単独処理の効果は先の試験結果の通り不十分であるため、D-D 剤の効果をより高め、更に持続させるために土壌 pH 低下処理との併用について検討した。なお、現地ほ場試験はホクレン中斜里製糖工場および北海道糖業株式会社との共同で実施した。

(1) 枠ほ場試験

試験方法

伊達市沖積土 (土壌, pH7.3) および斜里町褐色火山性土 (砂壤土, pH7.5) を 70cm×70cm, 深さ 35cm の木枠に充填し、pH 低下処理として硫酸と硫黄粉を施用し、更に殺菌処理として D-D 剤の注入処理を行なった。

なお、硫酸は 1975年 5月 8日, 19日および 27日の 3回に分けて所定量をかん注し、5月 30日に全層 (深さ 35cm) の土壌を鉄板上でよく混和した。硫黄粉は 1975年 5月 8日に所定量を上記同様に混和した。D-D 55% 剤の 3回処理区は 1975年 5月 10日, 1976年 5月 8日および 10月 18日に所定量を

Table 58. Application of D-D and Dazomat to a heavily infested field for controlling rhizomania of sugar beet

Amount of fumigants (per 1 are)	% of diseased plants	Root weight (kg/1 are)	Sugar content (%)
Dazomet granular 2 kg	100 (42) ^{a)}	259	11.8
do. 4 kg	29 (8)	455	13.3
D-D 4 liters	86 (26)	360	11.6
Control	85 (31)	322	12.1
l. s. d. 5%	(9)	84	1.2
1%	(13)	n. s.	n. s.

a) See Table 57.

Table 59. Application of D-D and Dazomat to a slightly infested field for controlling rhizomania of sugar beet

Amount of fumigants (per 1 are)	% of diseased plants	Root weight (kg/1 are)	Sugar content (%)
D-D 3 liters	23.8 (8.3) ^{a)}	524	13.6
D-D 4 liters	12.2 (4.3)	578	14.4
Dazomet dust 2 kg	12.8 (4.3)	540	13.3
do. 3 kg	12.0 (4.0)	567	13.8
do. 4 kg	10.0 (3.7)	607	14.8
Dazomet granular 4 kg	10.3 (4.0)	581	14.8
Control	36.1 (12.3)	488	13.5
l.s.d. 5%		76	1.0

a) See Table 57.

注入処理し、それぞれ処理年度の 5月 30日, 5月 11日および 11月 3日にガス抜きを行なった。1回処理は 1975年 10月 18日に行ない、ビニールフィルムの被覆区と無被覆区を設けた。

1975年および '76年には全区にジャガイモを栽培して、硫黄粉が分解され、土壌 pH が安定するのを待った。ジャガイモは、枠当たり複合成肥料 (N : 10, P₂O₅ : 20, K₂O : 14, MgO : 5%) 100 g を全層に施用した後、「品種：男爵薯」4個を植付け、収穫期に塊茎重を測定した。1977年~82年の 6年間はテンサイを連作した。テンサイは、複合成肥料 (N : 12, P₂O₅ : 20, K₂O : 12, MgO : 4%) 100 g を全層に施用し、1977~79年は「品種：ソローベ」を、1980~1982年は「品種：モノヒル」を播種し、発芽揃後に 6個体に間引いて栽培した。土壌 pH は主として収穫期に表層 10~15cm から採取したものについて測定した。

結 果

伊達および斜里の両原土とも土壌 pH は7.0～7.8であったが、硫酸および硫黄施用区では pH5.2～5.7の範囲内に低下した。なお対照無処理区でも年次が進むにつれて石灰塩の溶脱によると推定される pH の低下傾向が認められ、特に斜里町土壌において顕著であった。

試験開始の3年目から6年間連作したテンサイにおける結果は、供試した2土壌間でほぼ同じ傾向を示したので、伊達市土壌での結果を図示した。なお、硫酸単独施用区の結果は硫黄単独施用区に類似し、D-D 剤被覆区はD-D 剤3回処理区に類似していたのでこの2区も図示を省略した。

Fig. 15に示すようにそウ根病の発病度は年次によって多少変動したが、対照無処理区の発病度は常に50以上であった。これに対し、硫黄+D-D 剤(3回)区では、テンサイの連作3年目から発病が全く認められなくなった。また、硫黄単独区の発病度は、連作2年目までは対照無処理区と硫黄+D-D 剤(3回)区の間であったが、3年目以降は更に低下し、D-D 剤併用区に近づく傾向を示した。根重および根中糖分は硫黄+D-D 剤区が常に高く、一般の健全個体とほぼ同じ値を示した。硫黄単独区の根重は無処理区と硫黄+D-D 剤区の間であったが、根中糖分は連作3年目から顕著に高くなり、併用区との差は殆どなくなった。

以上、硫黄による pH 低下と D-D 剤との併用処理の効果は高く、しかも持続することを認めた。

(2). 現地試験(1)

試験方法

試験場所は上記(1)枠試験の土壌を採取した斜里町農家は場とした。処理区別は Table 60に示すように、土壌 pH 低下・D-D 剤処理・牛糞廐肥施用の組合せとした。土壌 pH 低下には硫黄および過燐酸石灰を使用し、所定量を1975年4月30日と同年11月4日に施用し、耕耘機で約20～25cmの作土層に混和した。D-D 剤の3回処理区は1975年4月30日、1976年5月7日および10月16日に30cm間隔で注入した。ガス抜きは、1975年は10日後に行ない、1976年5月7日に注入のものは行なわず、10月16日に注入のものは翌春に行なった。D-D

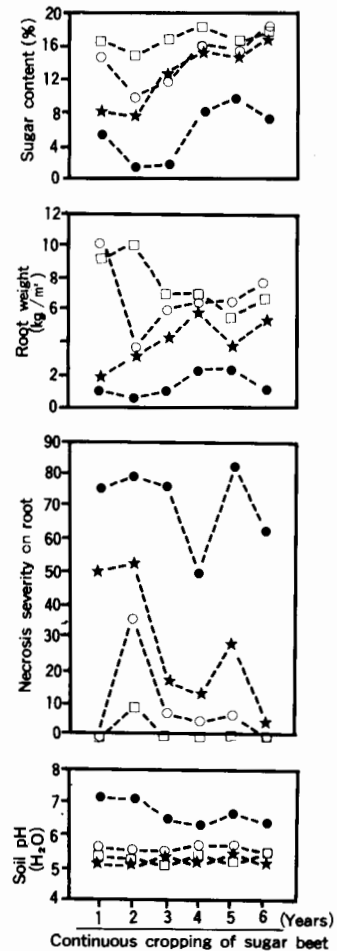


Fig. 15. Application of sulphur dust and D-D (1-3- dichloropropene) to infested soil on severity of rhizomania and on yield of sugar beet in 6 years-continuous sugar beet cropping in 0.5 m² pots. ★: mixed with 500g sulphur dust per 1m² (soil of 35cm depth) at 2 years before first sowing of sugar beet, ○: mixed with 500g sulphur dust and fumigated with 40ml D-D per 1m² at 6 months before first sowing of sugar beet. □: mixed with 500g sulphur dust and fumigated with 40ml D-D per 1m² at 2 years, 1 year and 6 months before first sowing of sugar beet, respectively. ●: no treatment.

剤1回処理は1976年10月16日に実施した。

試験規模は1区64m²、乱塊法3反復とした。各区とも1975年5月12日および1976年4月24日には

Table 60. Combination plots of various treatments in a field for controlling rhizomania of sugar beet (in Shari)

No. of plots	1975 (Potato)		1976 (Potato)		1977 (Sugar beet)
	April	Nov.	May	Oct.	April
1	—	—	—	—	—
2	B*	—	B	—	B
3	S	S	—	—	—
4	S+B	S	B	—	B
5	S+B	S	B	D	B
6	S+B	S	B	D*	B
7	S+B	S+D	B+D	D	B
8	S+B	S	B	—	B
9	S+Sp+B	S+Sp	B	—	B
10	S**+B	S**	B	—	B

a) S : Sulphur dust 11.4 kg/1 are, S** : Sulphur dust 22.5 kg, Sp : Superphosphate 75kg, D : D-D 4 lit., D* : D-D 4 lit., covered with vinylfilm after applied with D-D, B : Barnyard manure 200 kg.

ジャガイモ「品種：紅丸」を植付け、1977年4月22日にはテンサイ「品種：ソローベ」を直播した。両作物の栽培は農家慣行で行なった。

結果

土壌 pH は同一処理でも反復間の差が大きかったので平均せずに全区の値を Fig. 16に示した。原土の pH は約 7~8 であった硫黄粉施用区では約 3 ヶ月後に最も低い区では pH5.0 に低下したが、殆ど変化しない区もあった。土壌 pH が不均一となった原因は試験以前に石灰質資材が不均一に施用されていたためと考えられる。硫黄粉+過磷酸石灰+厩肥区 (No 9) では一時的に pH 5.0~5.5 に低下したが、その後はほぼ 6.7~7.0 となった。1977年11月20日に測定した地表下50cmの心土の pH は上記表層土とはほぼ同様、表層土の pH が高い区では心土の pH も高かった。

この試験ほの全区に1975年および76年に栽培したジャガイモの収穫期の塊茎総量は各処理間に5%水準で有意差を認めなかった。次いで1977年に全区に栽培したテンサイにおけるそう根病の発病度、根重、土壌 pH (6月3日と10月12日に測定した平均値) は Fig. 17のとおりであった。即ち、前記枠試験と同様に、硫黄+D-D 剤処理区 (No 5,

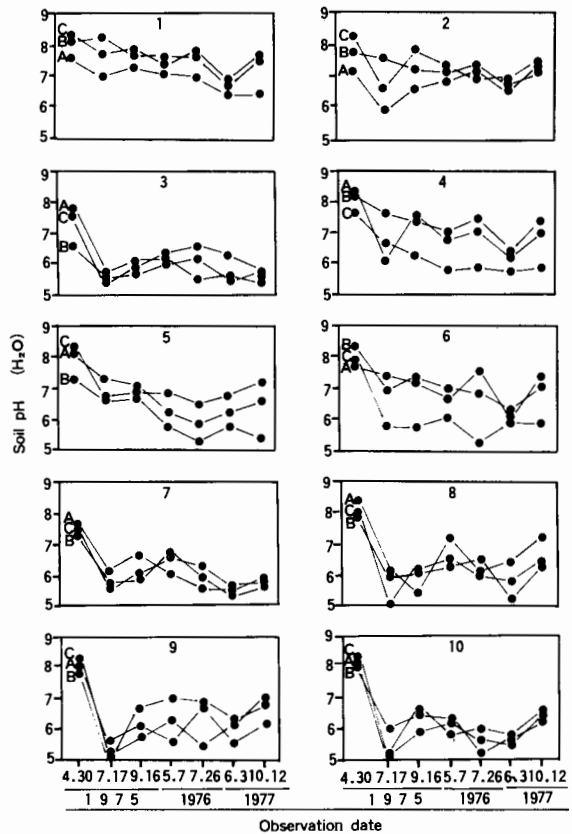


Fig. 16. Changes of pH in soils applied with sulphur dust or/and superphosphate in a field (in Shari). Figure means number of treatment shown in Table 60. A, B and C show each plot with same treatment.

6, 7)は無処理区 (No 1, 2,)、硫黄処理単独区 (No 3, 4, 8, 10) および硫黄+過石処理区 (No 9) に比較して発病度が低く、根重が高かった。同じ硫黄+D-D 剤処理区の中でも pH が低下しなかった区では防除効果が低く、pH が低下した区ほど効果が高い傾向であった。上記処理区のうち最も防除効果が高かったのは、硫黄+D-D 剤 3 回処理区 (No 7) であり、根中糖分は 3 反復平均で 12.0%, 対照無処理区の 10.0% に比較して 1% 水準で有意に高かった。

(3). 現地試験(2)

試験方法

この試験は上記(1)枠試験の土壌を採取した伊達市農家は場の近くで、上記(2)斜里町での現地試験とはほぼ同じ処理を行なった。試験区別は対照無処理、D-D 剤 4 l / 1 a 処理、硫黄+過石処理、硫黄+過石と D-D 剤の併用処理 (4 l, 8 l および 4 l 連用) の 6 区とし、1 区 72m², 2 反復した。硫黄+過石処理は pH6.5 程度の原土を pH5.3 に低下させることを目標に、1975年 4 月 22日~76年 10 月 14日までの間に 1 a 当り硫黄粉 22kg と過磷酸石灰 31kg を施用した。D-D 剤は手動式注入器を用い、4 l 区は深さ 15cm に、8 l 区は深さ 15cm と 25cm に半量づつ注入した。3 回連用区は 1975年 4 月 22日、同年 11 月 4 日および 1976年 11 月 11日に注入し、それぞれ当年の 5 月 13日、翌春の 5 月 11日および翌春の 5 月 13日にガス抜きを行なった。また D-D 剤 1 回施用区は 1976年 11 月 11日に行なった。作物の栽培は農家慣行で行ない、1975年にはメロン、1976年にはジャガイモ、1977年にはテンサイ「品種：モノヒル」とした。土壌 pH は 6 月に畦間の作土について測定した。

結果

Table 61 に示すように、土壌 pH は硫黄と過磷酸石灰の施用によって目標 pH5.3 前後に低下した。硫黄+過石区の発病度はかなり軽減されたが、根重および根中糖分は殆ど回復せず、対照無処理区とはほぼ同様に低かった。D-D 剤単独区の発病度は対照無処理区の半分以下に軽減されたが、根中糖分は極めて低かった。硫黄+過石処理と D-D 剤の併用区では、D-D 剤単独区に比較して発病

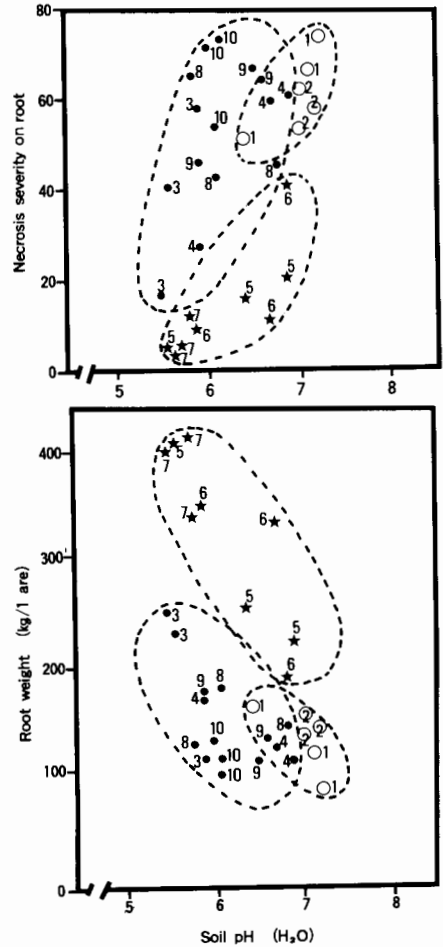


Fig. 17. Effect of sulphur dust, superphosphate and D-D to a field on the incidence of rhizomania (in Shari). Figure means number of treatments shown in Table 60. ● : applied with sulphur dust or/and superphosphate, ★ : applied with sulphur dust and D-D, ○ : no treatment.

度が約 1/2 に低下し、根重が約 2 倍に増加し、前記の枠および斜里町での試験と同様に、高い防除効果が認められた。更に D-D 剤の量を増すか連用することによってその効果はより高くなり、そう根病の無発生畑と殆ど変わらない程度の収量が得られた。

Table 61. Application of D-D and sulphur dust in a heavily infested field for controlling rhizomania of sugar beet (in Date)^{a)}

Treatment plots (per 1 are)			Soil pH ^{d)} (H ₂ O)			Necrosis severity on roots	Root weight (kg/1 are)	Sugar content (%)
D-D ^{b)}	Sulphur ^{c)}	Super- phosphate ^{c)}	1975	1976	1977			
No	No	No	6.4	6.4	6.3	43.2	106	7.1
4 lit.	No	No	6.3	6.5	6.3	20.0	209	8.3
No	22kg	31kg	5.6	5.6	4.9	23.6	160	5.8
4 lit.	22kg	31kg	4.9	5.7	5.2	11.6	428	10.3
8 lit.	22kg	31kg	4.7	5.7	5.0	4.8	426	14.9
4 lit. (3 times)	22kg	31kg	5.0	5.6	5.1	4.7	428	15.1

- a) In all plots, melon, potato and sugar beet were cropped in 1975, 1976 and 1977, respectively.
 b) D-D was injected 4 liters per 1 are to the field in autumn of 1976, and in 3 times treated plot it was also done in the spring and autumn of 1975.
 c) Sulphur and Superphosphate were applied in spring of 1975 and autumn of 1976.
 d) Soil pH was measured in June of each year.

3. 考 察

D-D 剤 (1, 3-ジクロロプロペン55%) などによる育苗土の消毒には薬量を多くし、ビニールフィルムで被覆すれば完全に殺菌される (神沢, 1972a)。しかし本圃では経済性から薬量の上限を1a当り4ℓ程度としなければならないし、ビニールフィルム被覆も実用上困難である。そのためD-D 剤処理のみでは完全殺菌は望めない。このことは本試験以外にてん菜技術推進協会が中心になって行なったD-D 剤2-6ℓ/1a処理の連絡試験 (宇井, 1973) および菅原ら (1974) が行なった伊達市での試験でも同様であった。この原因は、pHの高い土壤に本剤を施用しても、殺菌されずに生き残ったウイルス保毒 *P. betae* がテンサイの栽培によって増殖し、菌量が急速に多くなりテンサイの生育中期および後期には病原ウイルスの感染量が多くなるからであると推定される。従って2年目には土壤中の菌密度が処理前と同程度に回復するため、防除効果が激減することになるのであろう。

土壤 pH 低下による発病軽減効果は、育苗時の感染の場合には育苗土が病土 (神沢, 1973a)、または先の実験IV-A-3のように病根接種土であっても、多量の過燐酸石灰を施用して pH5.0~5.5 に低下すれば、発病は殆ど認められなくなる。しかし本圃では硫黄を施用して土壤 pH を5.5前後

に低下しても、施用後数年間はかなり多くの個体に発病が認められた。この両者の差異の原因は育苗土の場合には多量の過燐酸石灰が均一に混和され、pH が速やかに低下するのに対し、本圃に施用した硫黄は十分に混和されないし、硫黄が分解され pH が土壤の微細部分まで均一に低下するまでには、かなり長い期間を必要とする。また畑では地表下50cmの心土の pH も高いが、一般に硫黄等の混和は表層20~30cm程度であるなどの理由によるものと考えられる。

しかし、両者を併用することによってそれぞれの効果が加重されるため、そう根病の多発畑でも高い効果が得られたものと考ええる。一般に畑がそう根病の病土になっている場合、発病はスポット状など畑の一部に分布することが多いので、pH 低下と D-D 剤の併用処理などは比較的軽症のうちに早目に発病部分に重点的に実施すれば経済的に有利であるし、より大きな効果が期待できると考える。

V. 総 合 考 察

現在植物ウイルスの媒介者とされる菌類はツボカビ目 (Chytridiales) およびネコブカビ目 (Plasmodiophorales) に所属するものであり、一般的に冷涼で、多湿な土壌条件下で根に寄生する絶対寄生菌である。ツボカビ目の中では *Olpidium brassicae* および *O. radiale* (= *O. cucurbitacearum*) は数種の球形ウイルスおよびウイルス様病原体の媒介者、*Synchytrium endobioticum* はジャガイモ X ウイルスの媒介者として知られている。またネコブカビ目の中では *Polymyxa graminis*, *P. betae* および *Spongospora subterranea* の3種は数種の桿状ウイルスおよびひも状ウイルスの媒介者として知られている (Teakle, 1980)。このうち現在日本で発生が確認されている菌類によって伝搬される植物ウイルスは、テンサイそう根病の病原ウイルス (BNYVV) 以外に *O. brassicae* が媒介するタバコのネクロシスウイルス：tabacco necrosis virus, (TNV) (土居ら, 1969; 都丸・宇田川, 1970; 宇田川・都丸, 1971, 1972), タバコの矮化ウイルス：tobacco stunt virus, (TSV) (日高・多川, 1965; Kuwata and Kubo, 1981), レタスのビックベインウイルス：lettuce big vein virus, (LBVV) (岩木, 1978; Kuwata et al., 1983), *O. cucurbitacearum* が媒介するメロンのえそ斑点ウイルス：melon necrotic spot virus, (MNSV) (岸, 1966; 古木, 1978), *S. subterranea* が媒介するジャガイモの褐色輪紋ウイルス：potato mop-top virus, (PMTV) (井本ら, 1981), *P. graminis* が媒介するコムギの萎縮ウイルス：soil borne wheat mosaic virus, (SBWMV) (静岡農試, 1916), オオムギの縞萎縮ウイルス：barley yellow mosaic virus, (BYMV) (遠山・草葉, 1970), イネのモザイクウイルス：rice necrosis mosaic virus, (RNMV) (Inoue, 1977) などである。このうち北海道で発生が認められているものは BNYVV と MNSV (吉田ら, 1980)

のみである。

本研究においては、テンサイそう根病の病原ウイルスの媒介者、*P. betae* の生態を究明するために、各種植物から採取した菌株につき、宿主の組織片および *P. betae* 以外の菌類を除くため、先を細くした特製のガラス管を使用して1個ごと釣り上げた休眠孢子塊を用い、寄生性、生存、感染および発芽に関する検討を行なった。また *P. betae* とウイルスの関係を解明するために、最近開発された ELISA 法を用い、各種条件下におけるウイルスの感染程度を調べた。ELISA 法によるウイルスの検出精度は生物検定法および電子顕微鏡に比較して約100倍高いので (玉田・萩田, 1982)、微量のウイルスでも検出でき、しかも簡便であるため、従来の方法では不可能とされていた少量で、多数のサンプルについても調査することができた。更に、*P. betae* の接種および増殖を迅速・簡便にするため、特製の試験管、石英砂および水耕液を用いる方法を開発した。

ヨーロッパにおける Rizomania の発生は大きな川の流域の多湿地帯を中心に拡大していったのに対し (Bongiovanni, 1973; Koch, 1967, 1976; Hamdorf and Lesemann, 1979)、北海道におけるそう根病の発生は必ずしも河川流域に限られていない。局地的にはむしろ早魃の害を受けるような礫の多い地帯にも認められる。この相違は、ヨーロッパでは紙筒移植栽培が行なわれていないので、病苗による病原ウイルスの持ち込みがないのに対し、北海道では本調査からも明らかであるように、1970年にそう根病が突然多発した原因は本病の病土を用いた育苗並びにビニールハウスの連用による紙筒育苗床土の汚染による苗での感染にあると考えられる。テンサイの移植栽培は現在我国で広く用いられ、単位面積当たりの収量を高めるためには極めて優れた方法であるが、育苗中にそう根病の病原ウイルスに感染すると壊滅的な被害を受け

ることになる。そのため北海道では1972年から育苗土に無病土の使用を奨励したため、病苗による発病はほとんど認められなくなった。しかし近年本病は以前に発生がみられた地域を中心に再び目立ちつつある。その理由は1972年までに病苗または病土によって分散された病原ウイルス保毒 *P.betae* が、その後のテンサイ栽培によって本畑の土壤中で徐々に菌量を増したためと考える。

Polymyxa は絶対寄生菌であるため、合成培地上で増殖できる菌類に比較して取扱い難いため、本菌の生理生態に関する知見は少なく、不明の点が多い。本研究では初めにそう根病の発生土壤に棲息している *Polymyxa* の分離、同定および分類を行ない、そう根病の発生土壤には宿主範囲を異にする *P.betae* が棲息していることを明らかにした。従来北海道ではテンサイに寄生する *P.betae* とシロザおよびアオビユに寄生する *P.betae* は同じものであると考えられていた。しかし本研究によってこれらの植物に寄生する *P.betae* はそれぞれ異なる寄生性を持っていることが判明した。即ちテンサイ菌株とシロザ菌株は互いに別の分化型とすべきであると考えられた。しかし、カナダから報告されているシロザ菌株との直接的な比較をまだ行っていないので、本報では命名を保留し、今後さらに検討したい。アオビユ菌株はカナダで提案されている *P.betae* f.sp. *amaranthi* と同定された。更にスベリヒユに寄生する *Polymyxa* sp. は形態的に *P.betae* と同じであったが、宿主範囲がスベリヒユ科植物に限られることから、この菌に新たに分化型を設け *P.betae* f.sp. *portulacae* として記載した。

更に ELISA 法を用い、これらの菌とウイルス伝搬との関係を検討し、そう根病の病原ウイルスの伝搬はテンサイに寄生性を有する *P.betae* のみによって生じ、シロザ、コアカザ、アオビユ、スベリヒユなどの菌株では生じないことを明らかにした。

北海道のそう根病の病原ウイルスの由来については定かではないが、本ウイルスは現在までのところ北海道に自生している植物に自然感染を認めていないので、北海道に土着していたとは考えら

れず、多分ヨーロッパから輸入したテンサイ種子に付着して日本へ持ち込まれたものと推定される。

次にウイルス保毒 *P.betae* に対する各種処理とウイルスの感染性の保持について ELISA 法を用いて検討した結果、保毒菌株はコアカザで増殖することによってウイルスフリー化された。ウイルスとその媒介菌の宿主でありながら、媒介菌を無毒化する植物は本研究で見出されたコアカザが初めてである。そう根病の病原ウイルス保毒菌株を長期風乾、塩酸、加熱および BNYVV 抗血清などで処理しても、本ウイルスは菌が活着している限り感染性を消失しなかった。菌類によって伝搬される植物病原ウイルスとその媒介者との関係は大きく2つに分けられ、その1つは *O.brassicae* と TNV との関係 (Campbell and Fry, 1966) のように、ウイルスは休眠胞子内に存在しておらず、遊走子がウイルスを生体外から獲得するところの非永続的關係である。他は *P.graminis* と SBWMV (Rao and Brakke, 1969) および BYMV (草葉ら, 1971), *S.subterranea* と PMTV (Jones and Harrison, 1969), *O.brassicae* と LBVV (Campbell, 1962) および TSV (Hiruki, 1965) の間で見られるように、媒介菌を風乾、化学薬品溶液またはウイルス抗血清液で処理しても、ウイルスの感染性が保持されているもので、ウイルスは媒介者の菌体内に存在する永続的關係であるとされている (Teakle, 1980; 日高, 多川, 1976)。本研究結果から *P.betae* と BNYVV の関係は Plasmodiophorales の他のウイルス媒介菌にみられるように、後者に属すると考える。

菌類によって伝搬されるウイルスの所在については、非永続的な TNV では、ウイルス粒子が *O.brassicae* の遊走子表面に吸着され (Temminck *et al.* 1970), おそらく飲細胞運動 (pinocytosis) 等によって遊走子内部に入るとみられているのに対し (井上, 1976; Gibbs and Harrison, 1980), 永続的なウイルスでは媒介菌がウイルス感染宿主植物内で増殖することによって菌体内に獲得するとされている (Teakle, 1980)。ただし、菌体内にウイルスの存在を示す写真は少なく、*P.betae* の遊走子内に BNYVV 様の粒子が電子顕微鏡観察

で見られているのみであった (Tamada, 1975)。本研究でもウイルスを保有している *P. betae* を電子顕微鏡で観察したところ、Tamada (1975) と同様、変形体および休眠孢子内における粒子の存在は明らかに出来なかったが、いくつかの遊走子内に Tamada の報告よりさらにはっきりした多数の BNYVV 粒子を確認できたし、変形体と接したテンサイ細胞質中に多数の BNYVV 粒子が存在することを明らかにした。更に病原性による休眠孢子からのウイルス検出に加えて、ELISA 法によっても休眠孢子からウイルス抗原が検出された。(Abe and Tamada, 1986)。

粘菌類 (変形菌門) の栄養摂取は主として endocytosis の一種である食作用 (phagocytosis) によるものとされており (前田・前田, 1978)、寄生性の粘菌 (ネコブカビ目) に属する *Plasmodiophora brassicae* の変形体の液胞内に宿主の細胞質の像が電子顕微鏡で確認されることから (Williams and McNabola, 1967)、最近では吸収に加えて食作用が重要な摂取法と考えられるようになってきている (前田・前田, 1978)、従って *P. betae* においてもその生活史における形態の特徴から (Keskin, 1964; Keskin and Fuchs, 1969; D'Ambra and Mutto, 1975, 1976)、細胞壁を持たずに宿主細胞内で栄養生長する変形体時代に BNYVV 粒子を獲得すると考えるのが妥当であろう。しかし、変形体および休眠孢子内にウイルス粒子は見い出せなかった。その理由は不明であるが、可能性としてはウイルス粒子が休眠孢子的細胞壁の内側に吸着されていて観察したい位置にあるか、数が極めて少ないなどが考えられる。今後は変形体および休眠孢子内におけるウイルス粒子の所在について詳しい検討が必要である。

以上のように *P. betae* 菌体内ではそう根病のウイルスが極めて稀れにしか見出せないことおよびウイルス保毒 *P. betae* がコアカザで比較的簡単にウイルスフリー化されることから、本ウイルスは *P. betae* の菌体内では増殖していないものと推定される。

ネコブカビ科に属する菌類の耐久器官は休眠孢子 (resting spore) であり、土壤中での生存期間

は、*Plasmodiophora brassicae* では 7～8 年 (Karling, 1968)、*Spongospora subterranea* では 6 年 (Karling, 1968)、*Polymyxa graminis* では 7 年 (安・吉野, 1964) 程度とされているが、*P. betae* では、本研究結果から、これらの菌類より更に長く、湿潤土および風乾土の状態ですら少なくとも 15 年間は生存でき、しかも BNYVV の感染性も保持されていることを認めた。従って本菌の密度が高くなり、そう根病が多発するようになった畑では非宿主作物を栽培しても短年度では菌密度の急速な低下は望めない。

畑がそう根病の病土の場合、発病個体は坪状あるいは帯状など一部のところに局在していることが多い。それらの発生地点における土壤理化学特性に関する調査から本病の発生地に共通している最大の特徴は土壤 pH が高いことであると認められた。北海道の千歳市およびその周辺地域では土壤 pH が比較的低い畑にも、そう根病の発生が認められたが、この地帯の土壤は樽前山系の粗粒火山灰であり、塩基が流亡し易い土壤であるため、現時点での土壤 pH は低いが、聞き取り調査から本病の発生畑では約 20 年前に多量のライムケーキが施用されていることが確認された。従って発生地では過去に高 pH 条件下でテンサイが栽培されたため、菌密度が高くなったと推定される。また本研究では土壤 pH が高いとなぜそう根病が多発するかについて検討し、高 pH 条件下では *P. betae* の休眠孢子的発芽が促進されると共に、遊走子の寿命が低 pH 条件下より長くなるため、感染が促進されることを明らかにした。

以上のことから、*P. betae* の感染を抑制するためには、菌密度と共に土壤 pH の低下が基本的な重要であると考えられる。

本研究で取り上げたそう根病の防除法は育苗時と本畑の両者を対象にウイルスの媒介者である *P. betae* の感染を如何にして防止するかであった。育苗時の感染は育苗土に無病地の土壌または殺菌土を使用すること、および発病を抑制する育苗管理を行なうことなどで比較的容易に防止できるが、本畑の防除対策は北海道だけでなく、イタリアをはじめヨーロッパの諸国でも難題とされている。

本病を完全に防除することは困難であるが、本研究の結果から発生畑への一応の対策として、*P. betae* 菌の感染・増殖を抑制するために硫黄粉を施用して土壌 pH を 5.5 程度に低下させ、更に土壌中の菌密度を低下させるために D-D 剤を 1 a 当たり 4 ℓ 施用して燻蒸殺菌すると有効であることを明らかにした。ただし、この方法は経済的負担が大きいので、本病が畑の全面に拡大する以前のスポット状など部分発生のうちを実施することがとくに大切であると考ええる。

北海道の畑の多くは酸性土壌であるため、酸性矯正が奨励されてきた。特にテンサイは酸性に弱い作物であるということから pH 6.5~6.8 を目標に、積極的に炭酸石灰等が施用された。その結果として、テンサイ畑の土壌 pH は漸次高くなり、pH 6.5 以上の割合は、1960 年代の調査（石塚ら、1965）では約 7%（1436 筆調査）であったものが、最近では北海道てん菜技術推進協会が行なった調査（高桑ら、1980）によると 1978 年が 19.1%（691 筆調査）、1979 年が 14.5%（同筆調査）で約 15 年の期間に明らかに高くなっている。従来どおりの酸性矯正が続くならば、北海道におけるそう根病の発生は益々拡大するおそれがある。前述のとおりそう根病がかなり激しく発生するようになった畑についても当面の防除法は確立したが、本法は経済的な負担が大きいので、できる限りこれらの処理を必要としない予防対策が大切である。*P. betae* は生存期間が特に長いので、畑の土が一度汚染されると病原を絶滅させることは不可能に近い。従って病土や病苗を畑に持ち込まないようにすることが最も大切である。そのためには、①製糖所に溜るパイラー土、沈殿土などを畑に還元する場合には、必ず殺菌処理をする。②原料テンサイ集荷時の遊離土はその生産畑以外の畑に搬入しない。③農機具、人畜、水、風などによる土壌の移動にも注意し、出来るかぎりこれを抑制する。④健全、無病の苗を使用する。次には、不幸にして既に少量の病原が持ち込まれた場合でも、*P. betae* の増殖をできる限り抑制し、発病限界以下の菌密度に抑えておくことである。そのためには、①石灰質資材で酸性矯正をする場合、土壌 pH を 6.0 以上

にしない。②有機物を施用して土壌中の腐植含量を多くし、緩衝能を高め、石灰質資材などの施用による土壌 pH の上昇を抑制する。③テンサイ以外の作物との長期輪作を行なう。

以上の対策を効率よく、かつ的確に実施するためには、個々の畑におけるそう根病の発生分布、土壌条件および栽培経歴などを把握しておくことが大切である。更に将来は、アブラナ科野菜の根こぶ病で試みられているような（門間ら、1985、1986）、ほ場カルテシステムを構築することが必要であると考ええる。

VI. 摘 要

Polymyxa betae の生態とそれに基づくテンサイ
そう根病の防除に関する研究を行なった。

1. そう根病の発生分布と被害

(1). 発生分布

- 1970年および1971年に北海道網走管内におけるそう根病の発生を調査した結果、本病は1970年に13市町村191筆(テンサイ栽培面積の約2%)、1971年に9市町村45筆(同0.5%)に認められた。両年とも直播に比較して紙筒移植に圧倒的に多く、育苗土の種類と密接な関連が認められた。従ってこれらの発生は主として育苗時の感染によるものと推定された。
- その後育苗時の緊急防除対策が普及し、育苗時の感染による発病は殆どみられなくなったが、1973年と1974年に全道14支庁のうち13支庁91市町村合計324筆についてそう根病の発生を調査した結果、本畑の汚染土壌によると思われる発病が後志、胆振および網走の3支庁管内、全調査畑の約12%に認められた。またテンサイ細根における *P.betae* の寄生は全調査畑の26%、10支庁管内に認められた。
- 1982年に ELISA 法を用い、道内12支庁76市町村550筆について病原ウイルスの分布を調査した結果、ウイルスは1970年前後に本病の発生が目立った胆振、網走、後志、上川および十勝支庁管内を中心に全調査畑の約23%から検出された。
- 1筆の畑におけるそう根病の発生パターンは、全面発生とスポット状発生に分けられた。全面発生は一般に育苗土が汚染されている場合、スポット状発生は畑の土が汚染されている場合にそれぞれ生じると認められた。
- 北海道千歳市およびその周辺地域の発生パ

ターンは軽症または重症の大きなスポット状、あるいは軽症または重症の小さなスポット状の4つに分けられた。いづれの発生パターンでも土壌 pH の高い地点で発病度が高い傾向があった。それらの土壌 pH 変動要因は発生パターンによって異なり、軽症のスポット状発生畑では硝酸態窒素、重症のスポット状発生畑では塩基置換容量の変化に伴う石灰飽和度または酸化カルシウム含量が関与していると認められた。

- そう根病の発生畑では地表面下50cmの下層土にもウイルスを保毒した *P.betae* の棲息が認められた。

(2). 被 害

- そう根病の発生は汚染育苗土の使用などによる育苗時感染と、本畑感染に分けられるが、育苗土に対する病土混合の場合、0.1%病土混合では発病が極くわずかで、被害を認めなかったが、1%以上では病土の割合を増すことによって発病度が高くなり、病土100%での減収率は根重で97%、根中糖分で64%であった。また、これらの被害は病原の感染がテンサイの生育初期ほど大きくなった。
- 本畑感染による千歳地方などの被害も育苗時感染のものに劣らず、根重および根中糖分の低下が顕著であった。特に、肉眼的には極めて軽度の病徴であっても根中糖分の低下は著しく、健全に比べ2-3割減であった。
- 発病個体の各部位におけるウイルスの感染程度を ELISA 法で調べた結果、細根および側根におけるウイルスの感染程度と葉部の黄化度、根重および根中糖分の減少程度とはよく一致し、ウイルスが細根から側根、主根へ移行・増殖するのに伴って発病が激しくなり、被害が大きくなる傾向が認められた。

4). ヨーロッパで育成され、そう根病耐病性品種として期待されていた数品種・系統について発病度を一般の栽培品種と比較した結果、Maribo RT-2 は病原ウイルスの感染およびそう根病の発病度が他のものより若干低く、根中糖分が高かった。また導入2号を材料としてそう根病の抵抗性に対する母系選抜を行なった結果、高い選抜効果が認められた。ただし、これらの系統は根重が軽く、実用化は難しく、さらに改良が必要であると認められた。

2. *Polymyxa betae* の生態に関する研究

(1). *P. betae* の寄生性の分化

- 1). 北海道の主要なそう根病発生地域3ヵ所から採取した病土に23科108種の植物を栽植し、それらの細根を調べた結果、*Polymyxa* 属菌の感染はアカザ科、ヒユ科およびスベリヒユ科の植物に認められた。
- 2). これらの菌の形態はいずれも *P. betae* と同じであったが、寄生性は分離した植物と同じ科の植物に限られた。
- 3). 同じアカザ科植物でもテンサイとシロザから分離された菌株は互いに寄生性が幾分異なった。従来ヨーロッパなどから報告されているテンサイ菌株はシロザにも寄生するとされているが、北海道のテンサイ菌株はシロザには寄生せず、シロザ菌株はテンサイには寄生しないことを認めた。
- 4). 以上のことから北海道のテンサイ畑から分離された *Polymyxa* sp. はいづれの菌株も *P. betae* に属するが、テンサイ菌株とシロザ菌株はそれぞれ別の分化型にすべきであると考えられた。しかしカナダ菌株との直接的な比較をするまで命名を保留する。
- 5). アオビユから分離された菌株は *P. betae* f.sp. *amaranthi* と同定された。
- 6). スベリヒユから分離された菌株は宿主範囲が上記菌株と異なるので、*P. betae* の新しい分化型、*P. betae* f.sp. *portulacae* と命名した。

(2). *P. betae* とそう根病の病原ウイルスとの関係

- 1). 上記 *P. betae* の各菌株とウイルス伝搬の関係を ELISA 法を用いて調べた結果、ウイルスの伝搬はテンサイに寄生性を持っている *P. betae* 菌株のみによって行なわれ、シロザ菌株および他の2つの分化型は関与していないと認められた。
- 2). ウイルス保毒 *P. betae* はコアカザで増殖するとウイルスフリー化された。
- 3). 上記のウイルスフリー化菌株およびそう根病の未発生地健全テンサイから分離したウイルスフリー菌株は人為的にウイルスを全身感染させたテンサイの細根内で増殖することによってウイルスを再び獲得した。
- 4). *P. betae* の感染性は風乾および湿潤状態で室内に15年間保存または2年間湛水したそう根病の病土、並びに湿熱55℃10分間または乾熱60℃3週間加熱、0.1N塩酸2時間浸漬、0.1N水酸化ナトリウム2時間浸漬の休眠孢子またはウイルス抗血清で処理した遊走子および休眠孢子にも認められ、ウイルスの感染性も保持されていた。一方、休眠孢子を湿熱40℃2週間以上の加熱、および0.1N塩酸に24時間浸漬すると感染性が消失し、ウイルスの伝搬も認められなくなった。
- 5). ウイルス保毒 *P. betae* が感染したそう根病罹病テンサイ細根の超薄切片を電子顕微鏡で観察した結果、ウイルス粒子は *P. betae* の変形体に付着したテンサイの細胞質、*P. betae* の若い遊走子の原形質および液胞、並びに遊走子のう内に認められた。
- 6). 電子顕微鏡では *P. betae* の変体内および休眠孢子内にウイルス粒子を確認できなかったが、ELISA 法では休眠孢子磨砕液中にウイルス抗原が検出された。
- 7). 以上のことから本ウイルスは *P. betae* の菌体内に存在し、休眠孢子によって厳しい環境から保護されていると考えられる。また本ウイルスは *P. betae* 菌体内には極く稀れにしか見出せない。

いこと、およびウイルス保有 *P. betae* がコアカザで簡単に無毒化されることなどから菌体内では増殖していないものと推定された。

(3). *P. betae* の感染に影響する要因

- 1). そう根病の発生実態調査から *P. betae* の感染に重要な影響を及ぼすと考えられた土壤中の菌量、土壤理化学性、温度について検討した。
- 2). 感染に必要な最少菌量はテンサイ 1 個体当たり休眠孢子塊 50 個であった。一方、土壤 100 ml 当たり休眠孢子塊 5 万個までは土壤中の菌量が多いほど感染時期が早く、感染程度も高くなった。
- 3). カルシウムはテンサイにおける *P. betae* の感染を促進も抑制もしないが、土壤反応は本菌の感染量を左右する重要な要因であると認められた。
- 4). 即ち、本菌の感染は土壤反応が中性から弱アルカリ性の場合に激しくなり、逆に弱酸性で抑制され、一般には土壤 pH 5.3 前後で認められなくなった。
- 5). *P. betae* の休眠孢子的発芽は pH 5.3 前後で大幅に異なり、低 pH で抑制され、高 pH で促進された。
- 6). 遊走子の感染性は、遊走子懸濁液の pH 値および後述の温度によって大きく異なり、20℃の場合、pH 7.0 では 10 時間以上保持されたが、pH 5.0 以下では 2 時間程度で消失すると認められた。
- 7). カリウムおよびリン酸が土壤中に極端に多い場合は *P. betae* の感染が若干抑制された。
- 8). テンサイの生育中の温度および土壤水分は *P. betae* の感染に影響し、高温 (23℃) は低温 (10℃~15℃) より、多水分は少水分よりそれぞれ感染時期が早く、感染程度が高かった。
- 9). 遊走子の生存時間は低温ほど長く、5℃では 21 時間以上、37℃では 2 時間以下、40℃では 10 分間以下であった。しかし、テンサイに対する感染は 5℃では認められないか、極くまれであった。感染は主として 15~30℃で生じ、その適温は 20℃~25℃であると認められた。

3. そう根病の防除法に関する研究

- 1). 育苗土の薬剤消毒および加熱消毒について検討した結果、薬剤ではダゾメット剤による燻蒸処理(ビニールフィルム被覆)が高い防除効果を示した。加熱では火炎式焼土機で加熱し、60℃ 30分以上の保温処理によって汚染土壤中の *P. betae* を完全に滅菌できた。
- 2). 育苗土の pH と発病・被害について検討した結果、汚染育苗土であっても土壤 1 ℓ 当たり過燐酸石灰 30 g を添加し、pH を 5.3~5.6 に低下させたとき、発病は極めて軽く、被害は殆ど認められなかった。
- 3). 本畑における防除は D-D 剤およびダゾメット剤の土壤消毒 (4 ℓ または 4 kg / 1 a, 無被覆) のみでは効果が不十分であった。しかし、硫黄粉の施用によって土壤 pH を 5.5 まで低下させ、これに D-D 剤 4 ℓ / 1 a を注入する併用処理は、たとえ多発生畑であっても効果が高く、持続性もあり、実用性があると認められた。
- 4). 上記処理は効果および経済的な両面からスポット状など部分発生のうちを実施することが望ましい。

引用文献

- 1) Abe, H. and Ui, T. (1986). Host range of *Polymyxa betae* Keskin strains in rhizomania-infested soils of sugar beet in Japan. Ann. Phytopath. Soc. Japan 52 : 394-403.
- 2) Abe, H. and Tamada, T. (1986). Association of beet necrotic yellow vein virus with isolates of *Polymyxa betae* Keskin. *ibid.*, 52 : 235-247.
土壌病害の手引 (Ⅱ). 日本植物防疫協会. 東京. pp. 25-27.
- 4) Alghisi, P. and D'Ambra, V. (1966). Ricerche sulla rizomania della Bietola. Riv. Patol. veg., Pavia, Ser. 4. 2 (1) : 3-41. (summarized in R. A. M. 45).
- 5) Barr, D.J.S. (1979). Morphology and host range of *Polymyxa graminis*, *Polymyxa betae*, and *Ligniera pilorum* from Ontario and some other areas. Can. j. Plant Pathology 1 (2) : 85-94.
- 6) Bongiovanni, G.C. (1965). Prove di lotta a pieno campo con un fumigante clorurato contro la rizomania della bietola. Notiziario sulle Malattie delle Piante, 72-73 (N. S. 51-52) : 55-64.
- 7) Bongiovanni, G.C. (1973). Notes on sugar beet rizomania. International institute for sugar beet research (IIRB). シンポジウム謄写印刷資料. 1-7 pp.
- 8) Bongiovanni, G.C. and Lanzoni, L. (1964). La rizomania della Bietola. Progr. agric., Bologna, 10 (2) : 209-220. (summarized in R. A. M. 43).
- 9) Buczacki, S.T. and White, J.G. (1977). Preliminary glasshouse and field tests of soil partial sterilants for clubroot control. Ann. appl. Biol. 85 : 265-275.
- 10) Campbell, R.N. (1962). Relationship between the lettuce big-vein virus and its vector, *Olpidium brassicae*. Nature 195 : 675-677.
- 11) Campbell, R.N. and Fry, P.R. (1966). The nature of the associations between *Olpidium brassicae* and lettuce big-vein and tobacco necrosis viruses. Virology 29 : 222-233.
- 12) Canova, A. (1966). Ricerche sulle malattie da virus delle Graminacee. III. *Polymyxa graminis* Led. vettore del virus del mosaico del Frumento. Phytopath. Mediterranea 5 : 53-58. (summarized in R. A. M. 45).
- 13) Canova, A. (1967). Rhizomania, a complex disease of sugar beet root in Italy. Zbornic radova II medunarodnog simpozijima o zastiti secerne Repe : 7-10. XI 1966. (summarized in R. A. M. 46).
- 14) Codrescu, A., Ciochia, V. and Vilau, N. (1981). Simptome de rizomania i culturile de sfecla de zahar din Romania. Productia Vegetala, Cereale si Plante Tehnice 33 : 38-40. (summarized in R. P. P. 61).
- 15) Cook, H.T. and Nugent, T.J. (1942). Potato scab in relation to calcium, soil reaction, and the use of acid-forming and non-acid-forming fertilizers. Bull. Va Truck Exp. Sta. 108 : 1785-1795. (summarized in R. A. M. 22).
- 16) D'Ambra, V. (1967 a). Su di un plasmodioforale reperito nelle radici di *Portulaca oleracea* L. Riv. Patol. veg., Pavia, Ser. IV, 3 : 207-216. (summarized in R. A. M. 46).
- 17) D'Ambra, V. (1967 b). Ricerche sulla *Polymyxa betae* keskin. *Ibid.* IV, 3 : 217-226.
- 18) D'Ambra, V. (1967 c). Piante di *Polymyxa betae* keskin. Atti Dell Istituto Veneto Di Scienze, Lettere De Arti Anno acc. 1966-1967 — Tomo C XXV — Class de scienze matematiche e naturali, pp. 177-182.
- 19) D'Ambra, V. Keskin, B. (1966). Zur Verbreitung von *Polymyxa betae* keskin. Arch. Mikrobiol. 55 : 309-310.
- 20) D'Ambra, V. and Mutto, S. (1975). Ultrastruttura di *Polymyxa betae* keskin. Plasmodio, sporan-

- gio e cistosoro. Riv. Patol. veg., Pavia, Ser. IV 11 : 115-124.
- 21) D'Ambra, V. and Mutto, S. (1976). Modificazioni ultrastrutturali in cellule di radici laterali di barbabietole da zucchero infette da *Polymyxa betae* keskin. 同上 IV. 12 : 53-65.
- 22) D'Ambra, V. and Mutto, S. (1977). The ultrastructure of *Polymyxa betae* zoospore exit-tube differentiation. Can. J. Bot., 55 : 831-839.
- 23) Davis, J.R., McDole, R.E. and Callihan, R.H. (1976). Fertilizer effects on common scab of potato and the relation of calcium and phosphate-phosphorus. Phytopathology 66 : 1236-1241.
- 24) Dias, H.F. (1970). Transmission of cucumber necrosis virus by *Ovipodium cucurbitacearum* Barr and Dias. Virology 40 : 828 : 839.
- 25) 土居養二・多川 閃・都丸敬一・与良 清 (1969). 矮化病罹病タバコ根に見出された tobacco necrosis virus (TNV) の 1 系について. 日植病報 35 : 359-360 (講要)
- 26) Duchenne, J. and steivoort, L. V. (1983). Y-a-t-il de la rhizomanie de la betterave en Belgipui ? . Parasitica 39 : 151-154. (summarized in R. P. P. 64).
- 27) Duffus, J.E., Whitney, E.D., Larsen, R.C. Liu, H.V. and Lewellen, R.T. (1984). First report in western himisphere of rhizomania of suger beet caused by beet necrotic yellow vein virus. Plant Disease 68 : 251.
- 28) Eichinger, A. (1957). Kartoffelschorf und Oxalsäure. Z. Aker. Pflanzenbau 105 : 451-458. (summarized in R. A. M. 37).
- 29) Faccioli, G. and Giunchedi, L. (1974). On the viruses involved on rizomania disease of sugar beet in Italy. Phytopathologia Mediterranea 13 : 10-16.
- 30) Falk, B.W. and Duffus, J.E. (1977). The first report of *Polymyxa betae* in the Western Hemisphere. Plant Disease Reporter 61 : 492-494.
- 31) Fuchs, W.H. (1966). Liberation and behaviour of spores of *Polymyxa betae* keskin. Edited by M.F. Madelin. Butterworths Sci. Pull., London, pp. 111-112.
- 32) 藤沢一郎・杉本利哉 (1976 a). てん菜そう根の発病生態とその病原について. 北農試研報 115 : 123-131.
- 33) 藤沢一郎・杉本利哉 (1976 b). テンサイそう根病におけるウイルス単独の症状について. 日植病報 42 : 92 (講要)
- 34) 藤沢一郎・杉本利哉 (1977). テンサイそう根病におけるウイルス単独の症状について (その 2). 各系統のテンサイに対する症状・日植病報 43 : 110 (講要).
- 35) Fujisawa, I. and Sugimoto, T. (1977). Transmission of beet necrotic yellow vein virus by *Polymyxa betae*. Ann. Phytopath. Soc. Japan 43 : 583-586.
- 36) 藤沢一郎・杉本利哉 (1978) スペリヒユ科植物の根にみられた *Polymyxa* について. 日植病報 44 : 70 (講要).
- 37) Gao, J.L., Deng, F., Zhai, H.Q., Ling, X.S., and Liu, Y. (1983). The occurrence of suger beet rhizomania caused by beet necrotic yellow vein virus in China. Acta Phytopath. Sinica 13 (2) : 1-4.
- 38) Ghillini, C.A. and D'Ambra, V. (1971). Prova di lotta contro la rizomania della bietola da zucchero. Notiz. Mal. Piante 84-85 : 3-8.
- 39) Gibbs, A. and Harrison, B. (1980). Plant Virology—the principles, Edward Arnold, London. pp. 198-201.
- 40) Gillespie, L.J. (1918). The growth of the potato scab organism at various hydrogen-ion concentrations as related to the comparative freedom of acid soils from the potato scab. Phytopathology 8 : 257-269.
- 41) Gillespie, L.J. and Hurst, L.A. (1918). Hydrogen-ion concentrations—soil type—common potato scab. Soil Sci. 6 : 219-236.
- 42) Giunchedi, L. and Langenderg, W.G. (1982). Beet necrotic yellow vein virus transmission by *Polymyxa betae* keskin zoospore. Phytopathologia

- Mediterranea 21 (1) : 5-7.
- 43) Habibi, B. (1969). Beiträge zur Biologie von *Polymyxa betae*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Landwirtschaftlichen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen. 1-85 pp.
- 44) 萩田孝志・玉田哲男 (1980). 免疫電顕法によるてん菜そう根病の病原ウイルス (BNYVV) の検出. てん菜研報 22 : 39-47.
- 45) Hamdorf, G. and Lesemann, D.E. (1979). Untersuchungen über das Vorkommen des beet necrotic yellow vein virus (BNYVV) in Hessen und Rheinland-Pfalz. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 31 : 149-153.
- 46) Hamdorf, G., Lesemann, D.E. and Weidemann, H.L. (1977) Untersuchungen über die Rizomania-Krankheit an Zucker-rüben in der Bundesrepublik Deutschland. Phytopathologische Zeitschrift 90 : 97-103.
- 47) Hamilton, H.A. and Crete, R. (1978). Influence of soil moisture, soil pH, and liming sources on the incidence of cludroot, the germination and growth of cabbage produced in mineral and organic soils under controlled conditions. Can. j. Plant Science 58 : 45-53.
- 48) Hâni, A. and Bovey, R. (1983). La rhizomanie, une virose de la betterave, nouvelle pour la Suisse, Revue Suisse d'Agriculture 15 : 305-308.
- 49) 日高 醇・多川 閃 (1965). タバコ矮化病の *Olpidium brassicae* (Wor.) Dang による媒介. 日植病報 31 (記念号-2) : 369-372.
- 50) 日高 操・多川 閃 (1976). タバコ矮化病の *Olpidium* による伝染. 植物防疫 30 : 185-189.
- 51) Hiruki, C. (1965). Transmission of tobacco stunt virus by *Olpidium brassicae*. Virology 25 : 541-549.
- 52) 北海道開発調整部統計課 (編集) (1983). 北海道勢要覧一昭和58年一北海道, 132 pp.
- 53) Horak, I. and Schlösser, E. (1981). Rizomania II. Effect of temperature on development of beet necrotic yellow vein virus and tobacco necrosis virus on suger beet seedling. (summarized in R. P. P. 60).
- 54) Horsfall, J.G., Hollis, J.P. and Jacobson, H.G.M. (1954). Calcium and potato scab. Phytopathology. 44 : 19-24.
- 55) Humphrey, C.D. and Pittman, F.E. (1974). A simple methylene blue-azure II-basic fuchsin stain for epoxy-embedded tissue sections. Stain Technology 49 : 9-14.
- 56) 今泉誠子・久保 進 (1980). 螢光抗体による植物組織内のタバコエそ萎縮ウイルス抗原の検出. 日植病報 46 : 54-56.
- 57) 井本征史・栃原比呂志・岩木満朗・中村啓二 (1981). わが国における potato mop-top 病の発生. 同上 47 : 409.
- 58) 井上忠男 (1976). 土壌伝染性ウイルスの種類と研究の問題点. 植物防疫 30 : 173-176.
- 59) Inoue, T. (1977). Rice necrosis mosaic virus. C.M.I./A.B.B. Descriptions of plant viruses, No. 172.
- 60) 石塚喜明・佐々木清一・尾形昭逸 (1965). 北海道に於ける甜菜栽培に関する肥料学的研究. 第1報 甜菜栽培土壌の化学的性質の一般的傾向. 甜菜研究会研究報告 4 : 69-100.
- 61) Ivanovic, M., Panic, M. and Djordjevic, M. (1978). Pojava gljive *Polymyxa betae* Keskin u slucajevima krzljavosti korena secerne repe. Agrohemija 9/10 : 383-392.
- 62) 岩木満朗・中野昭信・家村浩海・栃原比呂志 (1978). わが国におけるレタスビックベイン病の発生とその土壌伝染. 日植病報 44 : 578-584.
- 63) Jones, R.A.C. and Harrison, B.D. (1969). The behaviour of potato mop-top virus in soil, and evidence for its transmission by *Spongospora subterranea*. Ann. appl. Biol. 36 : 1-17.
- 64) 実験農芸化学 下 (1978). 東京大学農学部農芸化学教室編. p 303-307. 朝倉書店.
- 65) 神沢克一 (1970). テンサイの異常生育について. 日植病報 36 : 365 (講要).
- 66) 神沢克一 (1971 a). てん菜の異常生育 (仮称)

- について, 第1報 発病条件と被害について, てん菜研報 補巻 13:35-47.
- 67) 神沢克一 (1971 b). てん菜の異常生育 (仮称) について, 第2報 育苗土の消毒法について, 同上 13:48-55.
- 68) 神沢克一 (1972 a). てん菜のそう根病について, 第3報 各種薬剤による育苗土の消毒について, 同上 14:35-42.
- 69) 神沢克一 (1972 b). てん菜のそう根病について, 第4報 感染時期と発病について, 同上 14:43-55.
- 70) 神沢克一 (1973 a). てん菜のそう根病について, 第5報 育苗中の pH と発病について, てん菜研報 15:27-35.
- 71) 神沢克一 (1973 b). 紙筒育苗てん菜苗の苗枯病, 同上, 15:37-43.
- 72) 神沢克一 (1975). てん菜のそう根病について, 第7報 土壤中の *Polymyxa* の菌量と発病について, 同上 16:37-43.
- 73) 神沢克一 (1982). テンサイそう根病に関する研究. 北大農学部学位論文 192 pp.
- 74) 神沢克一・宇井格生 (1972). サトウダイコンの“そう根病”. 日植病報 38:434-435.
- 75) Karling, J.S. (1968). The plasmodiophorales. 2nd Ed. Hafner Publishing Company, New York and London, 256 pp.
- 76) Keskin, B. (1964). *Polymyxa betae* n. sp., ein Parasit in den Wurzeln von *Beta vulgaris* Tournefort, besonders Während der Jugendentwicklung der Zuckerrübe. Arch. Mikrobiol. 49:348-374.
- 77) Keskin, B. and Fuchs, W.H. (1969). Der Infektionsvorgang der *Polymyxa betae*. Ibid. 68:218-226.
- 78) 北見農試・日甜 (1972). てん菜の異常生育 (そう根病) に対す育苗条件. 昭和47年度指導奨励および参考事項. 北海道農務部, pp.605-614.
- 79) 岸 国平 (1966). メロンえそ斑点病. 日植病報 32:138-144.
- 80) 小林紀彦, Wen-hsiung ko (1983). ハワイ諸島における *Rhizoctonia solani* に対する発病抑止土壌の探索とその抑止機構の解明. 土と微生物 25:1-8.
- 81) Koch, F. (1967). Beitrag zur Frage der Parasitierung von Rübenwurzeln (*Beta vulgaris* Tuornefort) durch niedere Pilze. Z. PflKrankh. PflPath. PflSchutz 74:397-412.
- 82) Koch, F. (1976). Rizomania oder Wurzelbärtigkeit-eine neue Krankheit an Zuckerrüben. Ges. Pfl., 28:150-154.
- 83) 古木市重郎 (1978). 温室メロンえそ斑点病の伝染に関する研究 (2) オルピデウムによる MNSV の伝搬. 日植病報 44:61-62 (講要).
- 84) Kouyeas, H. (1979). The “rizomania” of sugar beet. Annales de l’Institut Phytopathologique Benaki 12:151-153. (summarized in R. P. P. 60).
- 85) Krexner, R. (1984). Ende des Rübenbaues. Pflanzenarzt 37 (11):165-171. (summarized in R. P. P. 64).
- 86) 草葉敏彦・遠山 明・油木武義・建部美次 (1971). 二条オオムギにおけるオオムギ縮萎縮病の生態および防除に関する研究. 指定試験 (病虫害) 第12号, 208 pp.
- 87) Kuszala, M. and Putz, C (1977). La rhizomanie de la betterave sucriere en Alsace. Gamme d’hotes et proprietes biologiques du “beet necrotic yellow vein virus”. Annales de Phytopathologie 9:435-446. (summarized in R. P. P. 57).
- 88) Kuwata, S. and Kubo, S. (1981). Rot-shaped particles found in tobacco plants infected with tobacco stunt agent. Ann. Phytopatho. Soc. Japan 47:264-268.
- 89) Kuwata, S., Kubo, S., Yamashita, S. and Doi, Y. (1983). Rot-shaped particles, a probable entity of lettuce big vein virus. ibid, 49:246-251.
- 90) Langenberg, W.G. and Giunchedi, L. (1982). Ultrastructure of fungal plant virus vectors *Polymyxa graminis* in soil borne wheat mosaic virus-infected wheat and *P. betae* in beet necrotic yellow vein virus-infected sugar beet. Phyto-

- pathology 72 : 1152-1158.
- 91) Langenberg, W.G. and Kerr, E.D. (1982). *Polymyxa betae* in Nebraska. Plant Disease 66 : 862.
- 92) Larson, R.H. and Walker, J.C. (1934). Soil treatment in relation to club root of cabbage. J. Agric. Res. 48 : 749-759.
- 93) Ledingham, G.A. (1939). Studies on *Polymyxa graminis*, n. gen. n. sp., a plasmodiophoraceous root parasite of wheat. Can. j. Res. C 17 : 38-51.
- 94) Macfarlane, I. (1966). Rothamsted Experimental Station Report for 1965, 375 pp.
- 95) Macfarlane, I. (1970). Germination of resting spores of *Plasmodiophora brassicae*. Trans. Br. mycol. Soc. 55 : 97-112.
- 96) Macri, F. and Vianello, A. (1976). Sucrose synthetase and neutral invertase depression in sugar beet roots affected by Rizomania. Phytopathologische Zeitschrift 86 : 327-334.
- 97) 前田みね子・前田靖男 (1978). 粘菌の生物学. 東京大学出版会. 157 pp.
- 98) Magro, P., Marciano, P. and Lenna, P. DI. (1975). Ricerche su alcuni aspetti del metabolismo di *Beta vulgaris* var. *saccharifera* affetta da rizomania. Rivista di Patologia Vegetale IV 11 : 89-99.
- 99) 増田昭芳・神沢克一 (1971). てん菜の連作に関する研究・第3報 連作障害様異常てん菜に関する続報. てん菜研報補巻 12 : 65-73.
- 100) 増田昭芳・加川勝久・神沢克一 (1967). てん菜の連作に関する研究 (予報). 同上 補巻7 : 72-79.
- 101) 増田昭芳・加川勝久・神沢克一 (1970 a). てん菜の連作に関する研究. 第1報 連作障害様異常てん菜の発生. 同上 補巻 11 : 77-84.
- 102) 増田昭芳・加川勝久・神沢克一 (1970 b). てん菜の連作に関する研究. 第2報 連作障害様異常てん菜発生原因の探索. 同上 補巻 11 : 85-92.
- 103) 門間敏幸・駒田旦・伊藤純雄・大畑貫一 (1985). 土壤病害の発生予測と圃場カルテシシステムの開発 (1) ハクサイ根こぶ病を事例として. 農業および園芸 60 : 1494-1498.
- 104) 門間敏幸・駒田旦・伊藤純雄・大畑貫一 (1986). 土壤病害の発生予測と圃場カルテシシステムの開発 (2) ハクサイ根こぶ病を事例として. 同上 61 : 48-51.
- 105) 成田武四・西山保直 (1955). 十字科作物根瘤病菌休眠胞子の発芽に就いての1, 2の知見. 柄内吉彦・福士貞吉 両教授還暦記念論文集, pp. 309-315.
- 106) 日本有用植物病名目録 (1975). 第1巻 第2版 pp. 121-125.
- 107) 新田光雄 (編集) (1983). 甜菜糖業年鑑. 昭和58年度版甜菜糖業新聞社. 532 pp.
- 108) Putz, C. (1977). Composition and structure of beet necrotic yellow vein virus. J. gen. Virol. 35 : 397-401.
- 109) Putz, C. and Kuszala, M. (1978). La rhizomanie de la betterave sucriere en Alsace. Recherche d'une nouvelle methode de purification du "beet necrotic yellow vein virus". Ann. Phytopathol. 10 : 247-262. (summarized in R. P. P. 58).
- 110) Putz, C. and Vuittenez, A. (1974). Observation de particules virales chez des betteraves presentant, en Alsace, des symptomes de "rhizomanie". Ann. Phytopathol. 6 : 129-138.
- 111) Putz, C. and Vuittenez, A. (1980). The intracellular location of beet necrotic yellow vein virus. J. gen. Virol. 50 : 201-204.
- 112) Rana, G.L., Franco, A. DI. and Russo, M. (1978). La rizomania della barbabietola in Italia meridionale. Informatore Fitopatologico 28 : 5-7. (summarized in R. P. P. 57).
- 113) Rao, A.S. and Brakke, M.K. (1969). Relation of soil-borne wheat mosaic virus and fungal vector, *Polymyxa graminis*. Phytopathology 59 : 581-587.
- 114) Richard-Molard, M. (1984). Beet rhizomania disease : the problem in Europe. Proceedings 1984 British Crop Protection Conference Pest

- and Disease, pp 837—845.
- 115) Scheffer, F. and Schachtschabel, P. (1976). Lehrbuch der Bodenkunde. 佐々木清一・長谷川寿喜 訳 (1979). 土壌学, 博友社, 東京. pp. 125—141.
- 116) 静岡農試 (1916). 麦萎縮病. 病虫雑 3 (12) : 937—942.
- 117) Smiley, R.W. and Cook, R.J. (1973). Relationship between take-all of wheat and rhizosphere pH in soils fertilized with ammonium vs. nitrate-nitrogen. *Phytopathology* 63 : 882—890.
- 118) Stachyra, T. (1969). *Polymyxa betae* Keskin w Polsce. *Pr. nauk. Inst. Ochr. Rosl* 11 : 231—234. (summarized in R. P. P. 50).
- 119) Stocky, G., Vuittenez, A. and Putz, C. (1977). Mise en evidence in situ de particules en batonnets, correspondant probablement au virus de la rhizomanie, dans les tissus de diverses chenopodiacees inoculees experimentalement, ainsi que dans le champignon *Polymyxa betae* Kesk., Myxomycete parasitant les racines de plantes malades. *Ann. Phytopathol.* 9 : 536—537.
- 120) 菅原寿一・藤井勝敏・本多文彦・阿部秀夫・真野 豊 (1975) てん菜そう根病に対する育苗土壌の加熱消毒効果. てん菜研報 16 : 135—143.
- 121) 菅原寿一・臼井 寛・杉本利哉 (1971). 伊達地方におけるてん菜異常生育症状の発生ならびに薬剤処理の効果について. 同上 補巻 13 : 166—171.
- 122) 菅原寿一・臼井 寛・堤 平・杉本利哉 (1974). 伊達地方のそう根病に対する D—D 処理の効果について. てん菜研報 15 : 195—200.
- 123) 高桑 亮・宇井格生・杉本利哉 (1980). てん菜そう根病の発生実態調査結果—とくにてん菜作付土壌の pH について— てん菜研報 22 : 36—38.
- 124) Tamada, T. (1975). Beet necrotic yellow vein virus. C.M.I./A.A.B. Descriptions of Plant Viruses No. 144.
- 125) 玉田哲男 (1976 a). テンサイそう根病の土壌伝染. 植物防疫 30 : 190—193.
- 126) 玉田哲男 (1976 b). Beet necrotic yellow vein virus の系統について. 日植病報 42 : 92 (講要).
- 127) Tamada, T. and Baba, T. (1973). Beet necrotic yellow vein virus from rizomania affected sugar beet in Japan. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 39 : 325—332.
- 128) 玉田哲男・萩田孝志 (1982). ELISA 法によるテンサイそう根病ウイルス (BNYVV) の検出. 日植病報 48 : 399—400 (講要).
- 129) 玉田哲男・阿部秀夫・馬場徹代 (1971). てん菜の異常生育症状 (仮称) とそれから分離されたウイルスとの関係. てん菜研報 補巻 13 : 179—186.
- 130) Tamada, T., Abe, H. and Baba, T. (1974). Beet necrotic yellow vein virus and its relation to the fungus *Polymyxa betae*. *Infection and Antimicrobial Agents*, Vol. 3. T. Hasegawa, ed. *Proc. First Intersect. Congr. IAMS*. pp. 313—320.
- 131) 玉田哲男・神沢克一・宇井格生 (1970) テンサイの異常生育症状株から検出されたウイルスについて. 日植病報 36 : 365 (講要).
- 132) 田村 実・竹谷宏二 (1977). 石川県におけるハクサイ根こぶ病の生態と防除に関する研究・石川農試報 9 : 1—26.
- 133) Teakle, D.S. (1980). Chapter 17 Fungi. In K.F. Harris and K. Maramorosch (ed.). *Vectors of Plant Pathogens*. Academic press, New York. pp. 417—438.
- 134) Teakle, D.S. (1983). 7 Zoosporic Fungi and Virus—Double Trouble—. In Buczacki, S.T. (ed.). *Zoosporic Plant Pathogens. A Modern Perspective*. Academic press, New York pp. 233—248.
- 135) Temmink, J.H.M., Campbell, R.N. and Smith, P.R. (1970). Specificity and site of in vitro acquisition of tobacco necrosis virus by zoospores of *Olpidium brassicae*. *J. gen. Virol.* 9 : 201—213.
- 136) 都丸敬一・宇田川 晃 (1970). わが国のタバコから分離された tobacco necrosis virus について. 日植病報 36 : 185 (講要).
- 137) Tomlinson, J.A. and Garrett, R. G. (1964).

- Studies on the lettuce big-vein virus and its vector *Olpidium brassicae* (Wor.) Dang. Ann. appl. Biol. 54 : 45-61.
- 138) Tomic, M., Sutic, D. and Ivanovic, M. (1978). Prouzrokovac infekcije krzljavosti korena secerne repe. Agrohemija 9/10 : 369 - 375. (summarized in R. P. P. 59).
- 139) 遠山 明・草葉敏彦 (1970). オオムギ縮萎縮病の伝染について. 第2報 *Polymyxa graminis* Led. による媒介. 日植病報 36 : 223-229.
- 140) 中央農試・北見農試・てん研 (1972). てん菜の異常生育 (そう根病) に対するD-D剤の防除効果. 昭和47年度指導奨励および参考事項. 北海道農務部, pp. 590-604.
- 141) 宇井格生 (1973). てん菜そう根病をめぐる諸問題. てん菜研報15 : 233-265.
- 142) 宇田川 晃・都丸敬一 (1971). わが国のタバコから分離されたタバコネクロシスウイルス I. 秦野たばこ試報 70 : 63-69.
- 143) 宇田川 晃・都丸敬一 (1972). わが国のタバコから分離されたタバコネクロシスウイルス II. 秦野たばこ試報 70 : 71-79.
- 144) 宇田川 俊一・椿啓介・堀江義一・三浦宏一郎・箕浦久兵衛・山崎幹夫・横山竜夫・渡辺昌平 (1978). 変形菌門, 菌類図鑑, 講談社サイエンティフィック pp. 197-214.
- 145) Vianello, A., Macri, F. and Passera, C. (1980). CO₂ fixation and fate of photosynthetic products in leaves of sugar beet affected by rhizomania. Phytopathologische Zeitschrift 99 : 63-69.
- 146) Williams, P.H. and McNabola, S.S. (1967). Fine structure of *Plasmodiophora brassicae* in sporogenesis. Can. j. Bot. 45 : 1665-1669.
- 147) Winner, C. and Schaufele, W.R. (1977). Orientierende Untersuchungen über den Einfluss der durch *Polymyxa betae* verursachten Wurzelbärtigkeit auf die Qualität von Zuckerrüben. Zucker 30 : 459-463.
- 148) 安正 純・吉野正義 (1964). オオムギ縮萎縮病に関する生態的研究. 埼玉農試研報 24 : 1-115 pp.
- 149) 吉田幸二・後藤忠則・根本正康・土崎常男 (1980). 北海道のメロン (*Cucumis melo* L.) より分離された5種類のウイルス. 日植病報 46 : 339-348.

Studies on the Ecology and Control of *Polymyxa betae* Keskin, as a Fungal Vector of the Causal Virus (beet necrotic yellow vein virus) of Rhizomania Disease of Sugar Beet

by
Hideo ABE*

Summary

Preface

In Japan, sugar beet (*Beta vulgaris* L. var. *saccharifera* Alef.) used for sugar materials is cultivated only in Hokkaido, and it is a main crop which accounts for about 18 percent of all the field crop areas (410,000 hectares) in Hokkaido.

Rhizomania disease of sugar beet has been observed in Italy since the middle of 1950's, but the pathogen of this disease was unknown until it was clarified by Tamada and Baba in Japan in 1973. They made it clear that the disease is caused by beet necrotic yellow vein virus (BNYVV) transmitted by *Polymyxa betae* Keskin which belongs to Plasmodiophoraceae.

This disease is characterized by abnormal proliferation of the rootlets, yellowing, wilting and stunting of the leaves. And the disease is now widely distributed in Europe, Asia and U.S.A.. Total infested area of the disease in Europe extended at least 50,000 hectares including 14 countries and the search for efficient methods of controlling the disease has been long requested by the farmers in these countries concerned (Richard-Molard, M., 1984).

The occurrence of the disease in Hokkaido was first reported in 1969 as "abnormal sugar beet", which seemed to be due to the repeated cultivation in the same fields. The disease was observed in monoculture experiments on sugar beet belonging to Nippon Beet Sugar Mfg. Co. in 1965. In 1969 and 1970, the disease suddenly broke out in several districts in Hokkaido, which seemed to be due to the infection of sugar beet seedlings in nursery beds. After that, the use of noninfested or sterilized nursery soil was recommended for paper pots, so that the disease remarkably decreased in 1972. However, the disease due to the infested soil is gradually spreading throughout Hokkaido. In some areas, it caused the serious loss in weight and sugar contents of harvested roots. Even if the symptoms are mild, the plants suffer considerable loss due to the decrease in sugar contents of roots.

It is very difficult to control the disease, because the infectivity of the pathogen is maintained for a long time in infested soil, and the disease is considered to be one of the most prominent pests of sugar beet production in Hokkaido.

The purpose of this study was to determine the biological and epidemiological properties of the causal virus (BNYVV) of rhizomania disease and its vector, *Polymyxa betae* and to establish the control methods of the disease.

* Present Address : Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Nagamura, Hokkaido, 069-13, Japan.

In this paper, results of investigations on the disease since 1970 were described, especially occurrence and distribution of the disease in Hokkaido, variations of *P.betae*, virus-vector relationship, factors affecting the infection of *P.betae* and the methods to control the disease.

1. Distribution and damage of rhizomania disease

(1). Distribution

Geographical distribution of the disease in Hokkaido was investigated from 1970 to 1984. The disease in Abashiri district was observed in 191 fields (about 2 percent of 18,000 hectares) in 1970, and 45 fields (about 0.5 percent) in 1971. The occurrence in both years was observed in the case of paper pot sugar beet transplanting. On the other hand, it was rarely observed in the fields where sugar beet seeds were directly sown. As a close relationship was found between the incidence of disease and the source of soil used in paper pots, it was assumed that the inoculum was in paper pot soil.

The disease was observed, especially in sugar beet grown in paper pots using soils from the settling lagoons of sugar beet factories or from the fields near Abashiri river.

From the investigations in Abashiri district, it was also found that the occurrence of rhizomania may be closely related to the pH values of the soil in paper pots and the fields. When the pH value of the soil was lower than 6.1 in the former, and than 6.7 in the latter, no rhizomania was observed in sugar beet transplanted to the fields.

As mentioned above, after 1972, the infection from paper pot soil rarely occurred because of the recommendation to use clean or sterilized soil for paper pot soil. But, when sugar beet rootlets were investigated at harvest time in 1973 and 1974, *P.betae* was detected, which accounted for 26 percent of 324 examined fields in 10 districts in Hokkaido. Moreover, the causal virus was detected in 12 districts by ELISA method in 1982, viz. 23 percent of 550 total fields examined. These results show that *P.betae* and the causal virus were dispersed to many parts of Hokkaido. Such rapid dissemination may be due to transplanting diseased sugar beet seedlings to healthy fields.

Patterns of the occurrence of rhizomania disease were divided into several groups by distribution types of virus infected plants in a field. When seedlings grown in infested soil were transplanted to noninfested fields, the diseased plants were generally distributed uniformly in the field. On the other hand, when field soil was infested, the distribution of the diseased plants showed a patch or a belt-like area in the field. The reasons for the various distribution patterns depend on the population density of pathogen and the soil conditions in the field. The pH value of rhizomania infested soil in Abashiri-Kitami district was high. The soil always showed a neutral or a slightly alkaline reaction because of the excess application of lime. In Chitose district it showed the similar tendency, that is, infested soil always marked higher soil pH than non-infested ones. Factors causing such soil pH fluctuation in fields were ; i) content of nitrate nitrogen in rhizosphere soil, ii) saturation rate of calcium in soil or iii) amount of exchangeable calcium in soil.

In fields infested with rhizomania disease, virus-carrying *P.betae* was found even in the soil deeper than 50 cm from the surface. *P.betae* was observed in healthy sugar beets as well as in diseased ones. In these cases, however, *P.betae* was free from the causal virus.

(2). Damage

Loss in root weight and sugar contents of rhizomania affected sugar beet is different with the degree of

infection as well as to the time of infection by *P. betae* (and causal virus). When sugar beet was grown in paper pots filled with sterilized soil or heavily infested soil at various rates, and then transplanted to uninfested fields, the disease could scarcely be seen in the plants grown in the soil mixed with less than 0.1 percent infested soil. Loss in root weight and sugar contents was not observed in them, but the disease symptoms appeared in the soil with more than 1 percent infested soil. The disease developed, and remarkable loss was noted in root weight and sugar contents in the plants grown in 100 percent infested soil. The loss was 97 percent as to the root weight, and 64 percent as to the sugar contents, respectively, in comparison with healthy plants grown in sterilized soil.

Furthermore, the damage became serious when virus-carrying *Polymyxa* was inoculated to young plants, and the virus within the affected plants moved from rootlets to lateral roots, main roots and finally to leaves. In plants showing slight symptoms, the virus was detected only in the rootlets near the harvest time. Even though infected roots having the same weight as healthy ones, nearly 30 percent of their sugar contents decreased, as compared with that of healthy plants. Thus, it became clear that the disease had a great influence upon sugar yield.

As mentioned above, causal virus of rhizomania disease distributed in 23 percent of all the sugar beet fields in Hokkaido. When the virus uniformly infects sugar beet in the field, it can be figured out that the total sugar yield in Hokkaido suffers at least about 1 percent loss. Incidentally, as the total output of sugar in Hokkaido is 4,000,000 tons, the disease thereby will bring a loss of 40,000 tons sugar. This corresponds with about 10,000 million yen.

In order to examine the relationship between sugar beet cultivars and damage by the disease, some new tolerant varieties and European strains were compared with commercial varieties. The virus infection and the degree of the disease in Maribo RT-2 was lower and the sugar contents was higher than that of other cultivars. Moreover, mother line selection for rhizomania resistance was done from "Dounyu-2-go". Some selected strains showed an obvious tolerance to the disease, but both of Maribo RT-2 and selected strains from "Dounyu-2-go" had too low root weight to be used practically. Further improvement should be needed for these cultivars.

2. Ecology of *Polymyxa*

(1). Variation of infectivity in *Polymyxa betae*

Generally, fungi have been classified on the basis of morphological characteristics. However, in the case of Plasmodiophoraceae, the host range has been emphasized in their classification. In *Polymyxa* spp. *P. betae* is difficult to be distinguished from *P. graminis* by morphological characteristics, but the host range is clearly different from *P. graminis* and it is restricted only to Chenopodiaceous plants.

In order to study the variation of *P. betae*, morphology and host range of *Polymyxa* spp. isolated from various plants grown in rhizomania infested soil of three different localities in Hokkaido, were compared. Among 108 species of plants belonging to 23 families tested, Chenopodiaceous, Amaranthaceous and Portulacaceous plants were infected by the fungus. However, the other 20 families including Gramineae were not infected. Morphology of *Polymyxa* spp. isolated from various plants could not be distinguished one another, and was identified as *P. betae* Keskin. The host range of each isolate proved to be limited to the family of its original host. Among Chenopodiaceous isolates, the isolates from sugar beet did not infect

Chenopodium album, whereas the isolates from *C.album* did not infect sugar beet.

It has been reported that European isolates of *P.betae* Keskin infected sugar beet and *C.album*. In 1979, Barr reported that *Polymyxa* sp. isolated from *C.album* and *Amaranthus retroflexus* in Ontario, Canada, were identified as *P.betae* from their morphological characteristics, but he proposed that they should be named as *P.betae* f.sp. *betae* for the isolate from *C.album*, and *P.betae* f.sp. *amaranthi* for the isolate from *A.retroflexus*, because of according to the difference in their host ranges. Since there was only one case that the former isolate infected sugar beet, he concluded that European and Canadian strains are different biotypes of *P.betae* f.sp. *betae*.

P.betae isolated from Chenopodiaceous plants in Hokkaido, as mentioned above, was different from European and Canadian strains in infectivity to sugar beet and *C.album*. Therefore, sugar beet isolates and *C.album* isolates of Hokkaido are considered to belong to different formae speciales. However, in this paper, the author still hesitates to name them different formae speciales, until direct comparison tests are made with Canadian strains.

Spinach, *C.murale*, *C.capitatum* and *C.ficifolium* were common host plants for sugar beet isolates and *C.album* isolates. *A.retroflexus* isolates were identified as *P.betae* f.sp. *amaranthi*, because they agreed with those from Canada in morphology and host range.

The morphology of *Portulaca oleracea* isolates was similar to that of *P.betae* Keskin and their host range was restricted to Portulacaceous plants. Portulacaceae and Chenopodiaceae are taxonomically close, like Chenopodiaceae and Amaranthaceae. Therefore, the author wishes to propose that the isolates as a new forma specialis ; *P.betae* Keskin f.sp. *portulacae*.

From these results it is suggested that sugar beet isolates of *P.betae* which have a high infectivity to *Beta vulgaris* are related to the occurrence of sugar beet rhizomania, while other formae speciales and *C.album* isolates seemed of no consequence.

(2). Virus-vector relationships

In order to elucidate the transmission mechanism of causal virus (BNYVV) of rhizomania, several problems were examined, e.g. the relationship between *P.betae* isolates of different host ranges and BNYVV transmission, the persistence of BNYVV infectivity under several conditions, and the distribution of BNYVV particles in cells and tissues of *P.betae* by ELISA method and electron microscope.

The inocula used in these experiments are obtained from infested soil, infected plant rootlets, resting spores and zoospores of *P.betae*.

When 7 isolates of *P.betae* of different host range obtained from rhizomania infested fields were inoculated to various plants under greenhouse condition, BNYVV was detected only in rootlet extracts of plants infected with sugar beet isolates, but it was not detected in plants infected with *C.album* isolate, *P.betae* f.sp. *amaranthi* and *P.betae* f.sp. *portulacae*.

Therefore, there is few possibility that *C.album*, *A.retroflexus* and *P.oleracea* has become a natural field reservoir for the virus. This also agreed with other experiments that the rhizomania disease did not increase when sugar beet was grown in the soil which *C.ficifolium*, *C.album* *A.retroflexus* and *P.oleracea* had been continuously cultivated for 3 years. From these results, it is suggested that BNYVV transmission depends on *P.betae* isolates.

Sugar beet isolates of *P.betae* were converted from viruliferous to non-viruliferous after they grew in roots of *Chenopodium ficifolium*. When this non-viruliferous isolate was grown in the root of BNYVV-

infected sugar beet by manual inoculation of sap, the fungus again acquired and transmitted the virus to healthy plants. This is similar to the case of lettuce big-vein virus and tobacco stunt virus, in which the conversion of viruliferous *Olpidium* to non-viruliferous by *Plantago major* or *Veronica persica* (Tomlinson and Garrett, 1964) or sugar beet (Campbell, 1962) and lettuce (Hidaka and Tagawa, 1976), respectively. In these case, however, it is assumed that lettuce big-vein virus and tobacco stunt virus do not multiply in the above plants or in the fungus during its growth. On the other hand, BNYVV can multiply in *C.ficifolium*, but *P.betae* can not acquire the virus. Until now, it has not been reported that vector changed from viruliferous to non-viruliferous in the host plant of both virus and vector. It is considered that BNYVV transmission depends on plant species which the fungus proliferates.

When sugar beet was grown in rhizomania infested soil stored for 15 years in room under dry or moist condition, *P.betae* and BNYVV infection was observed in their rootlets, and these plants showed typical symptoms of rhizomania. The infectivity of the virus was also found in resting spore clusters of *P.betae* soaked in 0.1N HCl or 0.1N NaOH for fifteen minutes to two hours. Resting spore clusters and zoospores from viruliferous sugar beet isolates were immersed in BNYVV antiserum diluted from 1 : 100 to 1 : 1000 with a 1/15 M phosphate buffer (pH 7.0) for thirty minutes, and then these spores were inoculated to healthy sugar beet seedlings (2 leaves stage), BNYVV infection was observed in inoculated plants. BNYVV was also detected by ELISA from the extract of resting spore clusters which were pulverized into small clusters of 50, 100 and 200 spores with a mixture of phosphate buffer in a small analyzer tube with a glass pestle.

When ultrathin sections of sugar beet rootlets infected with a viruliferous isolate of *P.betae* were investigated, BNYVV particles were usually seen in the host cytoplasm, in contact with the exterior plasmodial wall, and in the vacuols and the cytoplasm of immature zoospores.

From these results, it is indicated that BNYVV does not multiply in *P. betae* but the association between the fungus and the virus is persistent, and that the virus is maintained within the resting spores for a long time. However, the virus particles could not be found in resting spores. This probably is due to i) it may be difficult to find the particles because the particles are adhering to cell walls of resting spores, or ii) amount of virus particles may be too small to be found by the methods used in these experiments.

(3). Factors affecting infection of *P.betae*

The amount of resting spores, pH, moisture and temperature of soil are important factors affecting *P.betae* infection. When sugar beets were grown in 24mm diameter, 12 cm long test tubes with a tiny orifice for drain at bottom containing quartz sand and nutrient solution or in paper pots containing sterilized soil, added with various amount of resting spore clusters (one cluster consisted of about 35 spores), the minimum amount of resting spores for infection of *P.betae* and BNYVV was 50 clusters per test tube, and the highest degree of the infection was observed at about 50,000 clusters per 100 ml soil. In these experiments, a high correlation was observed between the amount of resting spores in soil and the occurrence of rhizomania or sugar yields.

Soil pH is the most important factor affecting *P.betae* infection. In the investigation of sugar beet fields in Abashiri district in Hokkaido in 1970 and 1971 as already mentioned in the former part of this paper, it was observed that the occurrence of rhizomania is closely related with the reaction of the soil in paper pots. In Date and Shari areas where the soil was infested with rhizomania, the soil reaction was neutral

or slightly alkaline because of excess application of lime. On the other hand, non-infested field soil was generally acidic.

So as to confirm which of calcium ion or pH affects infection of *P. betae*, calcium carbonate or calcium sulphate was mixed with infested soil, and then the occurrence of rhizomania, infection of the fungus and the virus in sugar beets grown in the soil were examined. When the amount of calcium carbonate increased, soil pH became higher, and the fungus infection clearly increased. On the other hand, in the soil mixed with calcium sulphate, soil pH was constant at about 5.1 and the fungus infection was scarcely observed. Infection of *P. betae* and BNYVV showed high correlation. BNYVV was always detected in plants grown at high soil pH, but it was scarcely detected at low soil pH. These results indicate that calcium neither promotes nor inhibits the infection of *P. betae*, but pH has a great influence upon the infection. Moreover, when zoospores of *P. betae* were stored for various times at 20 C in partially modified 1/5 Hoagland and Arnon's solution adjusted to the range of pH 4.5–7.0 with hydrochloric acid, citric acid or sulfuric acid, infectivity of zoospores at pH 7.0 was maintained for 10 hours or more. On the other hand, the infectivity in below pH 5.0 was almost lost within 2 hours.

Degree of germination of resting spores of *P. betae* in soil solution with different pH value was examined by direct counting of zoospores or by inoculating these zoospores to sugar beet seedlings. Germination of *P. betae* resting spores were clearly different between below and above pH 5.3, that is, low pH inhibited the germination and high pH promoted it. As regard the process of germination, it was observed that zoospores were non-synchronously produced through a small hole formed in the cell wall of resting spores. This result was different from evidence reported by Habibi (1969), who observed that the whole cell wall of the resting spore dissolves before germination.

Heavy infection of the fungus on sugar beet grown in infested soil was apt to occur at higher soil moisture and temperature than at lower level. Excess watering of sugar beet seedling always increased the fungus infection. High temperature (23 C) brought about higher infection of *P. betae* and heavier rhizomania disease with a reduction of yields than low temperature (10 or 15 C)

3. Control of rhizomania disease

(1). Control in the nursery

Soil fumigation by D-D and Dazomat was effective to sterilize paper pot nursery soil. Thermal death point of *P. betae* was ten minutes at 60 C or two weeks at 40 C in wet conditions. The treatment of soil, by heating above 60 C for 30 minutes and by using the flash flame pasteurizer, was quite useful in controlling the seedling infection.

The seedling infection from infested soil in paper pots was clearly inhibited by lowering soil pH (about 5.5) with application of 30 gr. superphosphate to one kg of soil. Symptoms of the disease were not developed in the plants transplanted in non-infested fields, and their root weight and sugar contents were almost equal to those of healthy plants.

(2). Control in the fields

Application of D-D mixture (55%) at 4 ℓ, or Dazomet dust (95%) at 4 kg per 100m² of heavily infested field, was effective to control rhizomania, though not complete.

Lowering (pH 5.5) of soil pH by application of sulphur dust to inhibit the infection of *P. betae* and

D-D fumigation (4 ℓ per 100m²) for lowering the density of *P. betae* resting spore in the soil, were useful. With these treatments, the infection of *P. betae* were almost completely inhibited and no symptoms appeared in the plants. And, the root yields and sugar contents were almost similar to those of healthy plants. For effective control, it is recommended that these treatments should be done to each affected part when rhizomania was partially found in the field.