

大豆のダイズシストセンチュウ抵抗性個体 選抜の方法 ——半根法——

酒井 真次* 斎藤 正隆** 砂田喜与志*

A Method of Individual Selection for Resistance
to Soybean Cyst Nematode in Soybeans
—A half-root technique—

Shinji SAKAI, Masataka SAITO and Kiyoshi SUNADA

大豆のダイズシストセンチュウに対する「PI」系の強度抵抗性品種の育成を目標とする初期世代の抵抗性個体選抜方法として、大豆を立毛状態のまま、根の半分を掘りとり抵抗性検定を行なう方法を試みた。この方法は、半根切除による採種量の減少が比較的少ないので、後代種子を十分得られる長所をもっている。なお、調査した半根と立毛のまま残っている半根のシスト着生程度をくらべたところ、シスト非着生の場合によく一致した。この方法を用いて抵抗性個体を選抜する方法については、つぎのように考えられる。「PI」系抵抗性品種と感受性品種の組合せの場合は、シスト非着生個体の発現頻度が低いので、シスト着生個体とシストが若干着生する個体を選抜した方が効率よく、また「PI」系抵抗性品種と「下田不知」系抵抗性品種の組合せの場合は、前者よりシスト非着生個体の発現頻度が高いので、主としてシスト非着生個体を選抜した方が効率的であると考えられる。

I 緒 言

大豆のダイズシストセンチュウ抵抗性検定方法については、減収率による検定法^{3,4)}、幼苗検定法¹³⁾、Double row method⁵⁾ 等各種の方法が提唱されている。北海道立十勝農業試験場ではこれまで、F₂はダイズシストセンチュウ抵抗性検定圃場（以後、線虫圃場とよぶ）で地上部被害程度によって、抵抗性またはこれに近いと思われる個体を選抜し、F₃以降、同一系統を普通圃場と線虫圃場に栽植し、線虫圃場で根部のシスト着生程度を観察して抵抗性検定を行ない、普通圃場で抵抗性系統の中から一般的特性について選抜する方法をとってきた。一方、抵抗性に関する遺伝子構成¹⁾からみて、抵抗性育種を目標としない場合とくらべて、F₃系統をとくに多くする必要がある。しかし、供試系統数は線虫圃場の面積によって制約を受け、また系統の抵抗性検定には時間を多く要するので選抜効率の低いことが欠点であった。

以上のことから効率のよい選抜のためには、雑種初期世代 (F₂ または F₃) において、生育中に個体ごとに根を掘りとりシスト着生の有無を調べ抵抗性個体を選抜することが望ましい。しかし、抵抗性検定の適期である7月中旬～8月中旬は生育最盛期であるので、このような方法で抵抗性個体を選んで圃場に移植しても採種量が非常に少なく、枯死して採種できない個体もある。このことを解消する1つの方法として、大豆の生育中に立毛状態のまま根の半分を掘りとり、その根を観察し種子も得られる方法（以後、半根法とよぶ）を考案した。ここでは、半根法を用いて個体の抵抗性検定および選抜を行なう方法について検討を加えた。

なお、本試験の実施にあたり懇切なる指導を賜った北海道農業試験場気賀沢和男虫害第2研究室長、湯原厳主任研究官ならびに原稿の校閲と有益な助言をいただいた北海道立十勝農業試験場楠 隆場長および豆類第1科三分一 敬研究職員に深甚なる謝意を表す。

1975年5月16日受理

* 北海道立十勝農業試験場 河西郡芽室町

** 同上(現北海道立中央農業試験場 夕張郡長沼町)

II 試験方法

1 供試材料

表 1 供 試 材 料

	組 合 せ		供 試 試 験 組 世 代 年 次 の 種 別
	母	父	
十 系 421 号*	PI 84751	コガネジロ	1970 (PIR)
ト ヨ ス ズ**	下田不知 1 号**	十 支 第 7910 号	'72 (TR)
キ タ ム ス メ	十 育 87 号	北 見 白	'70 (S)
組 合 せ—1	十 系 421 号*	キ タ ム ス メ	F ₂ , F ₃ '70, '71 PIR×S
〃 —2	〃	十 育 140 号	F ₂ , F ₃ '70, '71 PIR×S
〃 —3	十 系 422 号*	十 育 127 号	F ₂ '71 PIR×S
〃 —4	十 交 3757 (F ₇)*	ト ヨ ス ズ**	F ₃ , F ₄ '73, '74 PIR×TR
〃 —5	十 系 494 号*	十 系 423 号	F ₃ '74 PIR×S
〃 —6	十 系 423 号	十 系 494 号*	F ₃ '74 PIR×S
〃 —7	十 系 494 号*	ト ヨ ス ズ**	F ₃ '74 PIR×TR
〃 —8	十 系 494 号*	十 系 423 号	F ₂ '74 PIR×S
〃 —9	十 系 494 号*	ト ヨ ス ズ**	F ₂ '74 PIR×TR

* PI 系抵抗性遺伝子をもつ育成系統

** 下田不知系抵抗性遺伝子をもつ品種

供試材料は、表 1 に示したように 2 品種および 1 系統と 9 組合せを用いた。供試材料の抵抗性程度と、抵抗性の由来はつぎのとおりである。

① 「十系 421 号」: 「PI」系抵抗性遺伝子をもつ育成系統¹²⁾。なお、「PI」系とは「PI 84751」, 「PI 90763」, 「Peking」などのダイズシストセンチュウ強度抵抗性品種を総称することにし、以後これに従う。強度抵抗性とは、根にシストが着生せず、地上部にも被害がほとんどみられないことをいう。

② 「トヨスズ」: 「下田不知」系抵抗性遺伝子¹³⁾をもつ品種。「下田不知」系抵抗性とは、根にシストがわずかに着生するが、地上部は、ほとんど被害がみられないことをいう。このような品種には「下田不知 1 号」, 「ネマシラズ」などがある。

2 供試圃場

本試験を実施した圃場は北海道立十勝農業試験場内の線虫圃場である。この圃場は、1966 年に場内旧線虫圃場（1960 年以降、線虫圃場として利用してきた）の土を撒布し、以後 3 ヵ年間感受性品種を栽培して造成したものであり、1969 年以降、線虫圃場として利用してきた。

3 半根法の調査法と調査時期

図 1 に示したように、半根法による調査は畦の片側約 30 cm の幅を深さ 20~25 cm 掘り、その部分の側根を主根のそばで切除してシストの着生程度を観察した。半根法の調査時期は 7 月中旬・8 月中旬であり、地上部被害程度の調査時期は 7 月下旬であった。また

後代系統の抵抗性については 8 月中旬に調査を行なった。

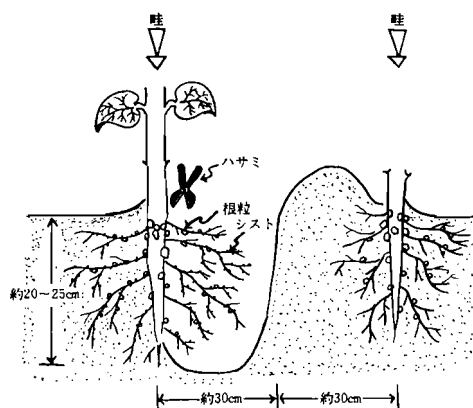


図 1 半根法の模式図

4 シスト着生程度

シスト着生程度は、つぎのように区分して観察した。
0: シスト非着生, 1: 着生少, 2: 着生中, 3: 着生多, 4: 着生甚

III 試験結果

1 半根切除による採種量への影響

半根法を個体選抜に利用する目的の 1 つは、検定後の個体の十分な種子を確保することである。表 2 に半根切除による採種量を示した。「十系 421 号」は 7 月処理・8 月処理ともに 80 % の種子が得られた。しかし「キタムスメ」は「十系 421 号」にくらべ半根切除によ

表2 半根切除による採種量

処 理 期	供試材料	調 査 個 体 数	半根切除 (対無処 理 比)	無処理
7 月	十系 421 号	50	81%	14.4g
	キタムスメ	50	84	5.5
	組 合 せ—1	449	51	9.9*
8 月	十系 421 号	50	80	14.4
	キタムスメ	50	69	5.5
	組 合 せ—1	466	86	9.9*

* 組合せ—1の無処理の調査個体数は329個体

る減少が大きかった。これは「キタムスメ」が感受性品種であり、ダイズシストセンチュウによる被害のために根系が貧弱になったために半根切除による影響を大きく受けたと考えられる。組合せ—1は抵抗性をはじめ他の形質も分離している集団の平均値として示されている。

つぎに、半根切除が主要形質に与える影響について

表3 半根切除が主要形質に与える影響*

(トヨスズ, 1972) (50個体平均)

	主茎長 (cm)	主茎節数	分枝数	分枝節数	稔実英数	粒 数	子実重 (g)	100粒重 (g)
全根掘りとり区**	29.3	10.2	2.2	7.1	20.9	31.9	3.8	12.0
無処理区比 (%)	87	94	79	76	59	59	25	43
半根切除区	35.4	10.7	3.2	10.7	33.9	51.0	13.5	26.1
無処理区比 (%)	105	98	114	114	95	95	89	93
無 処 理 区	33.6	10.9	2.8	9.4	35.6	53.9	15.1	28.0

* 調査は線虫圃場で実施した。

** 全部の根を掘りとり、調査後十分水を与えて移植した。

表4 掘りとした半根と残りの半根のシスト着生指数別頻度 (個体別) (組合せ—1)

		残 り の 半 根 の シ ス ト 着 生 指 数																	
		処 理—1*						処 理—2**						処 理—3***					
		0	1	2	3	4	計	0	1	2	3	4	計	0	1	2	3	4	計
掘りとした半根のシスト着生指数の	0	6	3	3	7	0	19	1	0	0	11	9	26	2	2	3	0	0	7
	1	8	12	28	161	32	241	0	33	19	45	45	142	0	28	21	38	26	113
	2	0	5	13	81	32	131	0	12	10	26	22	70	0	12	19	31	10	72
	3	0	1	7	47	34	89	0	28	11	26	15	80	0	22	23	48	22	115
	4	0	0	1	2	2	5	0	2	2	3	2	9	0	3	2	8	7	20
	計	14	21	52	298	100	485	1	79	43	111	93	327	2	67	68	125	65	327

* 処理—1: 7月に掘りとした半根と残りの半根のシストを同時に調査した。

** 処理—2: 7月に掘りとした半根と8月に残りの半根のシストを調査した。

*** 処理—3: 8月に掘りとした半根と残りの半根のシストを同時に調査した。

調べ、表3に示した。なお、全根掘りとり区は移植時に充分灌水したが、活着がわるく、その影響は生育全期間を通じて回復できなかった。処理は大豆の生育がピークに達した時期に行なったので、全根掘りとり区でも主茎長や分枝数等に対する影響は比較的小さかったが、稔実英数、粒数、子実重、100粒重は大きく減少した。これに対し、半根切除区は、処理後の地下部への影響がほとんどみられず、子実重、粒大に対する影響も少なかった。

2 半根法による抗抵性判定の一致度

掘りとした半根と残りの半根のシスト着生程度を個体ごとに調べ、表4に示した。

残りの半根でシスト着生指数が0の個体について掘りとした半根の調査結果と対比してみると、処理—1の14個体のうち6個体が掘りとした半根のシスト着生指数0の個体群に含まれ、8個体が掘りとした半根のシスト着生指数1の個体群に含まれていた。処理—2の1個体、処理—3の2個体は、掘りとした半根のシスト着生指数0の個体群に含まれていた。

残りの半根でシスト着生指数が1の個体についてみると、処理—1の21個体中15個体、処理—2の79個体中37個体、処理—3の67個体中30個体が、掘りとした半根のシスト着生指数0~1の個体群に含まれていた。

残りの半根でシスト着生指数2~4の個体については各処理とも一致度が低かった。

なお試みに、処理—3の掘りとした半根のシスト着生指数0であった7個体の地上部被害程度調査結果について検討したところ、残りの半根にシストが着生していた5個体のうち4個体は地上部に被害を確認した個体であった。これらの4個体はダイズシストセンチュウの被害によって根の伸育が劣ったために、シストが主根周辺に着生し、掘りとした半根ではシストの着生を観察できなかったものと考えられる。

3 雑種初期世代におけるシスト着生指数別個体頻度

表5に、半根法によるシスト着生指数別に判定結果をまとめた。まず、シスト着生指数0の頻度は、 F_2 、 F_3 ともに $PIR \times TR$ の方が $PIR \times S$ より高くなっている。シスト着生指数1の頻度は、 $PIR \times TR$ と $PIR \times S$ の間に差がみられなかった。なお、世代間でも差がみられるが、組合せが同一でないので断言できない。

表5 雑種初期世代におけるシスト着生指数別個体頻度（半根法による）

		調 査 個 体 数	シスト着生指数 別頻度 (%)		
			0	1	2~4
F ₂	PIR×S (組合せ—1, 2, 3, 8)	3,297	2.0	4.9	93.1
	PIR×TR (組合せ—9)	1,088	6.0	4.9	89.1
F ₃	PIR×S (組合せ—5, 6)	6,285	1.1	1.2	97.7
	PIR×TR (組合せ—4, 7)	3,246	4.3	2.2	93.5

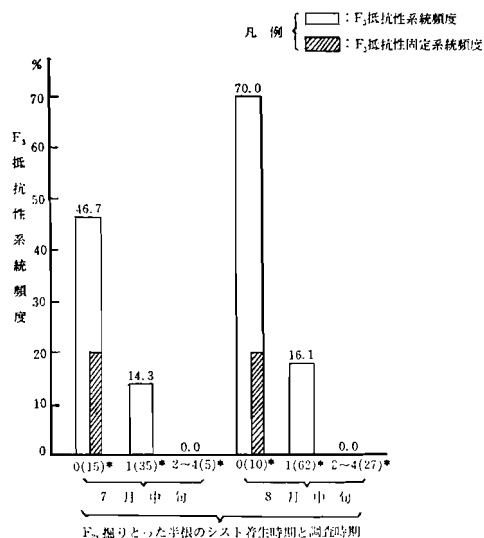
4 半根法による抵抗性判定個体の後代検定

半根法を個体選抜に利用するために、半根法で観察されたシスト着生指数別に後代系統の抵抗性系統発現率を調べた。

図2は、 $PIR \times S$ の後代検定結果を示したものである。掘りとした半根のシスト着生指数0の後代からは7月・8月ともに高い頻度で抵抗性系統が発現し、とくに8月に調査した場合に高かった。また、掘りとした半根のシスト着生指数1の個体からも抵抗性系統の発現をみたが、2~4の指数の後代から、この調査では抵抗性系統の発現がみられなかった。

$PIR \times TR$ の組合せについても、同じく後代検定を

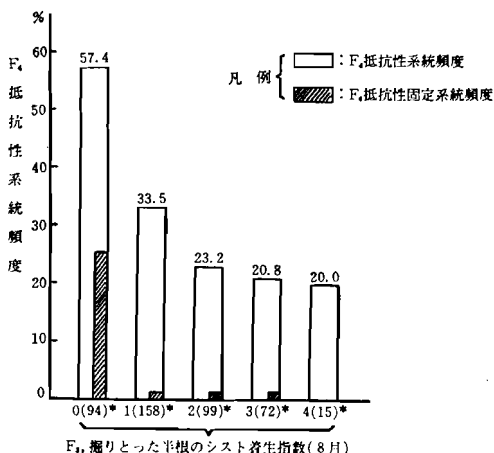
行ない、図3に示した。掘りとした半根のシスト着生指数0の後代から抵抗性系統が高い頻度で得られること、シスト着生指数1の後代から抵抗性系統が得られることは、 $PIR \times S$ の組合せと同じ傾向である。しかし、シスト着生指数2~4の後代系統からも抵抗性系



* () 内は供試系統数

** 7月, 8月共掘りとした半根のシスト着生指数0の個体は地上部に被害がみられなかった個体である。

図2 半根法による抵抗性判定個体の後代検定
その1 $PIR \times S$ の場合 (組合せ—1および2)



* () 内は供試系統数

図3 半根法による抵抗判定個体の後代検定
その2 $PIR \times TR$ の場合 (組合せ—4)

統が得られ、このことが PIR×S の組合せと異なっている。

IV 考 察

「PI」系のダイズシストセンチュウ抵抗性遺伝子構成は、Caldwell et al²⁾、杉山・広間⁹⁾、Arnold and Leonold¹⁾によって報告されている。著者らは、半根法の考察に先立ち、PIR×S の F₂ の抵抗性個体の分離比について検討を加えた結果、表6に示したように、劣性3対・優性1対の分離比に近かった。また、系統選抜の中で抵抗性系統もしくは個体から翌代、非抵抗性個体が分離することは一般的に観察されており、優性因子の存在が推察される。

一方、場内線虫圃場では、1969年より「下田不知」系抵抗性品種にもシストが着生するようになり、「PI」系抵抗性品種または系統との差を区別できるようになった。

抵抗性検定方法は種々の方法がある^{3,4,5,13)}。しかし、いずれの方法も抵抗性個体の選抜にはあまり効率がよくなかった。著者らは雑種初期世代の抵抗性個体選抜の一つの方法として半根法を用いることを検討した。

半根切除が採種量に対する影響を調べた結果から、処理時期を8月中旬にすると十分採種できることが確認された。このことは、8月中旬頃には大豆の根系が十分に発達しているので、主根を地中に残して側根の半分を切除しても、子実の生産に大きな支障を与えないためであると考えられる。

全根のシスト非着生個体は、掘りとした半根のシスト着生指数0の個体群に含まれていたため、半根法による抵抗性個体の信頼度は高いと考えられる。しかし、処理—1において残りの半根のシスト着生指数0

で掘りとした半根のシスト着生指数1の個体があった。この処理時期は主根を中心にシストが着生しているので、掘りとした半根にシストが着生している個体は、残りの半根でもシストが着生しているはずである。このように掘りとした半根でシストがわずかに着生し、残りの半根でシスト着生を観察できなかったのは根部の初期の伸育過程で、ごく早く伸長した側根の一部のおかれた環境が、主根にくらべて侵入幼虫の発育にとって好適であったと推察される。なお、このような個体は、全根を掘りとした場合、シストの着生が観察される個体である。また、残りの半根でシスト着生指数1の個体が、掘りとした半根で0か1に判定された個体は約半分程度であったので、シスト着生指数1の判定における信頼度は、シスト非着生個体の判定にくらべて、やや低いと考えられる。また、掘りとした半根でシスト着生指数2〜4の個体の判定における信頼度は低いと考えられる。以上のように、半根法の信頼度はシスト着生程度によって差がある。このことは、主根を地中に残すので、主根のシスト着生程度の差異が、半根法の信頼度に大きく影響しているためであると考えられ、今後、改善を加えなければならない半根法の問題点である。

半根法の調査時期については、8月には地上部に被害のみられた個体を除いて調査できるので能率がよいこと、シストが側根を中心に分布することなどの理由から、7月より8月の方が効率的であると考えられる。

半根法を用いた抵抗性個体の選抜方法については、PIR×Sの場合、シスト着生指数0, 1の個体から選ぶほうがよいと考えられる。この理由は、シスト着生指数0の個体の頻度が極めて低く、この中から一般的特性の希望型を選抜することは、むずかしいと考えられ

表6 PIR×S の F₂ における抵抗性個体の発現

	供 個 体 数	観 察 値		理 論 値 (3:253)		χ^2	P
		R*	S**	R*	S**		
組 合 せ—1	321	2	325	3.83	323.17	0.884	0.3—0.5
組 合 せ—2	191	1	190	2.24	188.76	0.694	0.3—0.5
組 合 せ—3	400	4	396	4.69	395.31	0.103	0.7—0.8
小 計	918	7	911	10.76	907.24	1.330	0.2—0.3
組合せ—8***	2,058	25	2,033	24.12	2,033.88	0.032	0.7—0.8
総 計	2,976	32	2,944	34.88	2,941.12	0.239	0.3—0.5

* Rはシスト着生指数0の個体数

** Sはシスト着生指数1〜4の個体数

*** 組合せ—8は半根法による結果

ること、シスト着生指数1の後代からも頻度は低い抵抗性系統を得られることである。

PIR×TRの場合、掘りとした半根のシスト着生指数0の頻度がPIR×Sより高いこと、シスト着生指数0の後代の抵抗性系統発現頻度が高いことから考えて、シスト着生指数0の個体を主体に選ぶほうが効率的であると考えられる。

なお、半根法によるシスト着生程度の判定は、非着生個体については信頼度が高い。しかし、シストが着生している個体の程度の差を判定するためには、まだ問題点が残っており、今後さらに改良していかなければならない。

引用文献

- 1) Arnold L. M. and F. W. Leonold, 1965: Evidence of a fourth gene for resistance to the Soybean cyst nematode. *Crop Sci.* 5: 477.
- 2) Caldwell B. E., C. A. Brim and J. P. Ross, 1960: Inheritance of resistance of soybeans to the cyst nematode. *Heterodera glycines*. *Agron. J.* 52: 635—636.
- 3) 石川正示 1961: ダイズシスト線虫抵抗性品種の育成. *育種* 11: 231—232.
- 4) 小山八十八, 山崎一彦, 菊地良治 1958: 大豆萎黄病抵抗性を異にする品種間の雑種第3代における被害程度. *北農研究抄報* 3: 23—24.
- 5) Ross J. P. and C. A. Brim, 1957: Resistance of soybeans to the Soybean cyst nematode as determined by a double-row method. *Plant Disease Reporter* 41: 923—924.
- 6) 斎藤正隆, 砂田喜与志, 酒井真次 1973: 北海道におけるダイズシストセンチュウ抵抗性大豆品種の育成. *農及園* 48: 1327—1342.
- 7) 酒井真次, 斎藤正隆 1973: 大豆におけるダイズシストセンチュウ抵抗性検定方法について——雑種初期世代の簡易検定方法について. *育種* 23 (別冊・1): 142—143. (第43回講演会要旨)
- 8) 酒井真次 1975: 半根法によるダイズシストセンチュウ抵抗性個体の選抜方法について. *日育学, 日作学北海道談話会報* 15: 16.
- 9) Sugiyama Shintaro and Katsumi Hiroma, 1966: A resistant gene of soybeans to the Soybean cyst nematode observed from the cross between Peking and Japanese varieties. *Japan J. Breeding* 16: 83—86.
- 10) 杉山信太郎, 広間勝己 1968: 大豆品種のダイズシストセンチュウ抵抗性に関する研究 I. 抵抗性の品種間差異. *育種* 18: 80—87.
- 11) 砂田喜与志 1964: 下田不知系のダイズシストセンチュウ抵抗性因子の導入について. *北農* 31 (2): 12—14.
- 12) ———, 酒井真次 1969: ダイズシストセンチュウ強度抵抗性因子導入について——特に「十系421号」, 「十系422号」について. *日育学, 日作学北海道談話会報* 9: 15—16.
- 13) 東北農業試験場 1968: ダイズシストセンチュウ抵抗性検定方法に関する研究. 昭和42年度大豆試験成績書: 109—112.

A Method of Individual Selection for Resistance to Soybean Cyst Nematode in Soybeans — A Half-root Technique

Shinji SAKAI*, Masataka SAITO** and Kiyoshi SUNADA*

Summary

A high resistance to soybean cyst nematode (SCN) is one of the most important objectives in soybean breeding at Hokkaido Prefectural Tokachi Agricultural Experiment Station.

It is the big problem that, because of the very low frequency in the emergence of no cysts plants a number of lines have to be grown in the later generation, when no information is available on the resistance for individual plants in the F_2 and F_3 bulks, and accordingly when a whole plant is dug up for observation of cyst recovered, such a plant transplanted thereafter wilt and cannot produce seeds enough for the next generation.

So a new method called "half-root technique" is proposed in this paper in order that individual selection can be made for resistance. Under this method, halves of roots of each plant are dug up and evaluated and graded for resistance to soybean cyst nematode by observation of cyst recovered. The selected plant with its residual halves of roots are left growing in the field after the observation.

The F_2 , F_3 , and F_4 generations from crosses involving high resistant lines possessed by PI No. strain (PIR) $\times$ susceptible varieties (S) and incomplete resistant varieties originated from Geden-shirazu No.1 (TR) $\times$ S were studied.

The results of experiments are summarized as follows:

- 1) Plants treated by half-root technique were capable of producing enough seeds for next generation.
- 2) Plants which indicated no cysts in the halves of roots showed a close agreement with those which indicated no cysts in the residual halves of roots. As to the grades of cysts which were classified from 1 to 4, there was not agreement each other between the halves of roots observed and the residual halves.
- 3) Frequency of no cysts plants in F_2 hybrids differed with different resistant parents. In the crosses of PIR $\times$ S and PIR $\times$ TR, it was 2.0 % and 6.0 %, respectively.
- 4) In the later generations, lines of high resistant strains were segregated in PIR $\times$ S from the plants which had shown grades 0 and 1 of cysts but not from grades 2, 3 and 4, and were segregated in PIR $\times$ TR from all grades of cysts.
- 5) It was proposed that plants mainly with grades 0 and 1 in cysts might be selected in PIR $\times$ S, and plants mainly with grade 0 might be selected in the latter crosses by the "half-root technique" in the early bulk generations.

* Hokkaido Prefectural Tokachi Agricultural Experiment Station, Memuro, Hokkaido, 082 Japan

** Ibid. (Present, Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-13 Japan)