北海道におけるゴボウのキタネグサレセンチュウによる 被害と耕起法の関係について

山田英一¹・河合 勝²

Relationship between damage to burdock caused by *Pratylenchus penetrans* and cultivation methods in Hokkaido. Eiiti Yamada¹ and Masaru Kawai².

The relationship between damage to burdock caused by *Pratylenchus penetrans* after rotary harrow cultivation (20-30 cm depth) and trencher cultivation (1 m depth) was studied. In the past, burdock fields were rotary cultivated prior to planting and these fields were associated with severe *P. penetrans* damage symptoms of brown or black spots on the root that fused to form black mottles (common name, "Black Symptom"). Currently, rotary cultivation is followed by trencher cultivation before planting which mixes topsoil having the highest *P. penetrans* densities with deeper soil having much lower nematode densities. Trencher cultivation is associated with less *P. penetrans* damage than rotary cultivation and has symptoms of small brown spots on the root (common name, "Sesame Symptom") thought to be due to reduced nematode densities that result from mixing high nematode density soil with low density soil. The relationship between *P. penetrans* density and burdock damage was examined in trencher cultivation. All roots that had a root-lesion index and root-deformity index of 2 or less (0 to 4, 0 = 0%, 4 = 100% damage) were considered to be marketable burdock roots. The nematode density of the tolerable injury level threshold was defined as the nematode density that corresponded to 80% of the burdock roots being marketable. The tolerable injury level threshold was based on the number of nematodes extracted by the Baermann funnel technique from 25 g of wet surface soil (0-20 cm depth) for 48 hrs. This value was 6.1 *P. penetrans* / 25 g soil before trencher plowing, and 3.2 *P. penetrans* / 25 g soil after trencher plowing. Jpn. J. Nematol. 38 (1), 19-33 (2008).

Key words: commercialization rate, damage, root-lesion nematode, rotary harrow cultivation, trencher cultivation.

緒 言

従来、北海道のゴボウ栽培は渡島、石狩、空

知などに多く、栽培は普通作物と同様にロータリハローにより耕起・整地した圃場に播種し、収穫も手掘りが主体の小規模栽培であった。しかし、道外での需要の高まりを契機に、耕地面積の広い十勝などの畑作地帯では機械化を伴った産地化が1980年頃から進められ、道外移出量の増加に伴い栽培面積も急増してきた。北海道にはゴボウを加害する線虫として古くから被害が問題となっていたキタネコブセンチュウ (*Meloidogyne hapla*) のほかに、ネグサレセンチュウ類が普遍的に生息しており、根部の黒変や奇形などによる品質低下が問題となり、対策が

¹雪印種苗(株)北海道研究農場 北海道夕張郡長沼町字幌内1066番 (元北海道立中央農業試験場)

²網走農業改良普及センター 北見市大正320番地の8 (元日高中部地区農業改良普及所)

¹Hokkaido Research Station, Snow Brand Seed Co., Ltd., 1066, Horonai, Naganuma, Hokkaido 069-1464. (Formerly, Hokkaido Central Agricultural Experiment Station).

²Abashiri Agricultural Extension Services Hub Center, Hokkaido Government, 320, Taisho, Kitami, Hokkaido 090-0008 (Formerly, Hidaka Chubu Agricultural Extension Station).

検討された(山田, 1989)。新たなゴボウの産地ではロータリ耕起後の圃場に栽培する古くからの方法に代わり、トレンチャにより深層まで耕起した圃場に栽培する方法が急速に普及したが、筆者らは両栽培法によるゴボウの被害症状、被害程度が異なることを経時的な調査により確認していた。最近、中村ら(2003)は、十勝管内のゴボウの被害症状が従来の「黒褐色斑」から、褐色小斑点が根表面に分散する、いわゆる「ごま症」と呼ばれる症状に変わり、この原因がキタネグサレセンチュウ(*Pratylenchus penetrans*)によることを示唆した。本報では、耕起法とネグサレセンチュウの被害(病徴)との関係の解析および最近のトレンチャ耕における被害許容水準の設定を主目的とし、北海道のゴボウ圃場におけるネグサレセンチュウ類の分布、品種と被害についても報告する。

材料および方法

1. 共通する試験方法

1) 線虫の被害程度調査基準

ゴボウに対する根腐れ程度(ネグサレセンチュウによる表皮の褐変程度)および奇形程度を0から4の5段階に区分して調査した。

ゴボウの栽培法は、トレンチャ耕起栽培が始まる前には深さ20~30 cm程度までロータリハローによる耕起・整地後の圃場に播種する方法(以下、ロータリ栽培、とする)であった。本試験のロータリ栽培での線虫密度およびゴボウの被害消長は1960年代に実施した。1980年頃からトラクタ装着のトレンチャ(初期にはチェーン型、その後はホイール型)により播き溝部位(幅約20 cm)を深さ100 cm程度まで耕起・攪拌し、表層にゴボウ種子を播種する栽培法(以下、

Fig. 1. Cultivation method and damage to burdock roots caused by *Pratylenchus penetrans*.

¹ Pre-plant density is the number of *P. penetrans* / 25 g wet soil collected from the top 0-20 cm of soil after harrow plowing.

Fig. 2. Difference between cultivation methods of burdock and symptoms formed on the burdock root symptoms by *Pratylenchus* spp.

¹ Numerals above the root segments indicate the root-lesion index that corresponds to the root symptoms. See Tables 1-1 and 1-2 for explanations.

Table 1-1. Criteria for root-lesion symptoms of burdock by *Pratylenchus* spp.

Degree	Rotary harrow cultivation ¹	Trencher plowing cultivation ²
0	No symptom	No symptom
1	Black mottles in a part of root systems	Slight brown spots
2	Black mottles in several parts of root systems	Moderate brown spots
3	About half of root system with black mottles	Many brown spots
4	Almost all of root system with black mottles	Very many brown spots

Root-lesion index = [(Ratings × No. of plants involved) / (Total no. of plants examined × 4)] × 100

¹ Soil was mixed to about 20 cm depth by the rotary harrow and burdock was seeded in furrow.

² Soil was mixed to the depth of about 100 cm by trencher and burdock was seeded in furrow.

Table 1-2. Criteria for degree of burdock root deformity

Degree	Symptoms
0	Normal
1	Fiber roots slightly diverged, but taproot normal
2	Small roots diverged, but taproot almost normal
3	Large roots diverged or short taproot, marked deformity
4	Conspicuously diverged roots or very short taproot, severe deformity

Deformity index = [(Ratings × No. of plants involved) / (Total no. of plants examined × 4)] × 100

All roots with a root-lesion index and root-deformity index of less than 2 were considered to be marketable burdock roots.

The nematode density that corresponded to 80% marketable burdock roots was considered to be the tolerable injury level threshold.

トレンチャ栽培、とする)が急増し現在に至っている。両栽培(耕起)法で異なったネグサレセンチュウによる被害症状が認められた。すなわち、ロータリ栽培では「黒変症状」とも呼称された黒褐色の斑紋型が、トレンチャ栽培では褐色の小斑点が散在する症状が発生した。後者は、近年の「ごま症」(中村ら, 2003)に近似していると思われる。このため、栽培法別のネグサレセンチュウによる根腐れ程度基準(Fig. 2、Table 1-1) また、両栽培法に共通する奇形程度基準(Table 1-2)を作成した。

調査は個体毎に根部表皮の根腐れ程度をFig. 2およびTable 1-1の基準にあてはめ、また根の奇形程度をTable 1-2の基準にあてはめ、下式により各々の指数を算出した。

根腐れ指数・奇形指数 = $\{(\text{階級値} \times \text{当該個体数}) / (\text{調査個体数} \times 4)\} \times 100$

2) 商品化率の算出

北海道の主産地における調査から、根の黒・褐変および奇形程度が軽く、生食用として流通可能な個体率で示した。具体的にはFig. 2、Table 1-1における根腐れ程度およびTable 1-2の奇形程度がともに2以下の個体の生産割合とした。

3) 被害許容水準

根腐れ程度および奇形程度がともに2以下の個体が80%得られる線虫密度、すなわち前記の商品化率80%が得られる線虫密度とした。

4) 線虫の調査方法

土壌中の線虫密度は土壌25 gからベルマン法で48時間分離した線虫数(2~3反復平均値)とした。根内寄生線虫数は各区5個体を選び、根全体の表皮を皮むき器でそぎ、よく混和して無作為に抽出した根部表皮5 gを5%ホルマリン液で1昼夜以上固定し、水洗によりホルマリンを除去した。その後、酸性フクシン0.01%加用ラクトフェノール液で煮沸染色し、300 mlの水とともにミキサーで砕き、この内10~20 ml中の線虫数を数え、個体あたりに換算した。

2. 試験別の調査方法

1) ゴボウ圃場におけるネグサレセンチュウ類の発生状況

1985年と1986年にゴボウの栽培面積が多い市町村を選定し、10 aを1単位として、収穫時にゴボウ5本と根圏土壌を採取した。ゴボウ表皮中の線虫寄生と土壌中の線虫検出結果から発生圃場率を算出した。

2) キタネグサレセンチュウによる被害の品種間差

4 m² (2 × 2 m) の無底コンクリート枠2個(深さ1 mで、底から50 cmまで砂利、砂が入る)を供試した。キタネグサレセンチュウが生息する火山性土壌を混和して密度を約24頭/土壌25 gに調整した土壌を深さ約30 cmまで充填した。ここに1986年5月29日から10月27日までゴボウ9品種の各20個体(栽植密度40 × 10 cm: 枠1に5畦、枠2に4畦、各畦に20個体)を栽培し、13~20個体の線虫寄生および奇形程度を調べ、これから根腐れ指数、奇形指数を算出した。また、栽培後の土壌中線虫密度、根内寄生虫数およびゴボウの生育を上記調査後の10個体について調べた。施肥量(3要素N:P:K) 18:20:18 kg/10 a相当量を全層に混和した。反復は設けなかった。

3) 耕起法の違いによるキタネグサレセンチュウの密度変動とゴボウ被害の消長

ゴボウの栽培法は前述のとおり、過去にはロータリ栽培、現在はトレンチャ栽培が行われている。この両栽培法におけるキタネグサレセンチュウ密度およびゴボウ被害の消長を調べた。

(1) ロータリ栽培圃場

札幌市琴似町(元北海道農業試験場圃場)のロータリ耕起・整地後の地表部(0~20 cm)の線虫密度が35頭/土壌25 gの圃場(沖積土、前作アマ)へ1966年5月14日にゴボウ(滝の川)を播種(栽植密度66 × 6 cm)した。約2週ごとに地表から深さ20 cmまでの土壌中の線虫密度(3反復)とゴボウの根腐れ指数(10個体)を算出し、調査したゴボウ10個体の生育を調べた。約2 aのゴボウ圃場に1区7.92 m² (1.98 × 4 m) の3調査区を設け、各調査時期にここからランダムにサンプルを採取した。

(2) トレンチャ耕起栽培圃場

1989年に新冠町においてロータリハロー耕起

整地（深さ約20 cm）ののち、トレンチャを用いて播き溝部分（幅約20 cm）を深さ約100 cmまで耕起した圃場にゴボウ「柳川理想」を播種し、深さ別の線虫密度の変動と、ゴボウの被害程度を調べた。約10 aを調査圃場とし、対角線上に3調査地点を設けた。各調査地点において長さ約5 mの畦を1区とし、ここからゴボウ5本を採取した。3畦を調べ、反復とした。採土は採土器を用いて、地表から20 cm間隔で行ったが、採土部位はロータリ耕起後には区の全面から3か所、またトレンチャ耕起直後には畦の中央部、生育中および収穫時はゴボウに近接する部位を3畦分調査した。調査圃場はアズキ後作の2圃場とゴボウ連作の1圃場とした。

アズキ後作圃場

圃場1：トレンチャ耕起前（4月30日）の3地点の地表部（0～20 cm）線虫密度は、6、32、74頭/土壌25 gと開きがあった。密度6の地点を除外し、32、74の平均値である53頭/土壌25 gを当圃場の密度とした。ロータリ耕起は前年秋、トレンチャ耕起は4月30日、播種は5月16日とした。栽植密度は72×6 cm、施肥量（3要素N:P:K）は22:30:24 kg/10 aとした。土壌は褐色火山性壤土であった。

圃場2：ロータリ耕起時（6月8日）の3調査地点の地表部（0～20 cm）の線虫密度は13、14、55頭/土壌25 gと開きがあった。密度55の地点を除外し、13、14の平均値である14頭/土壌25 gを当圃場の密度とした。ロータリ耕起整地は6月8日、トレンチャ耕起は6月9日、播種は6月10日とした。栽植密度は72×6 cm、施肥量（3要素N:P:K）は15:18:15 kg/10 aとした。土壌は褐色火山性砂壤土であった。

ゴボウの連作圃場

ロータリ耕起整地後の地表部（0～20 cm）線虫密度は1、5、2頭/土壌25 gとほぼ均一であったため、初期密度を3地点の平均値3頭/土壌25 gとした。ロータリ耕起整地は4月28日、トレンチャ耕起は5月1日、播種は5月3日、栽植密度は66×6 cm、施肥量（3要素N:P:K）は20:15:21 kg/10 aとした。土壌は褐色火山性壤土であった。

4) トレンチャ栽培圃場におけるキタネグサレセンチュウによるゴボウ被害の特徴

上記3圃場（9地点）で得られた結果を示した。

5) キタネグサレセンチュウ密度と被害および被害許容水準の設定

(1) 枠圃場試験（1987、1988年）

ロータリ栽培を想定し、キタネグサレセンチュウの生息土壌（褐色火山性壤土）が入った1 m²（1×1 m）のコンクリート枠内に前作や過去にアカクローバ、アズキ、コムギ、ニンジン、ゴボウ、ダイコン、ユリ、テンサイその他を栽培、また無栽培として密度が変化した40枠の内、密度段階が得られた5枠（1987年）および7枠（1988年）を選定し、各枠にゴボウ20個体（栽植密度50×10 cm）栽培した。施肥量（3要素N:P:K）は両年ともに15:15:15 kg/10 aとした。1987年は「白肌大長」を供試し、5月22日～9月10日栽培した。1988年は「柳川大長」を供試し、5月31日～10月6日栽培した。各区10個体内外の根腐れ程度と奇形程度を調べ、これから商品化率を求めた。

(2) トレンチャ栽培

1989年、先に消長を調べた新冠町の3圃場（9点）における表層（0～20 cm）密度と収穫期のゴボウ被害との関係を検討した。

線虫密度およびゴボウ生育の処理区間差の比較には、Excel統計（ver.5）のTukey多重検定を用いた。

結 果

1. ゴボウ圃場におけるネグサレセンチュウ類の発生状況（Fig. 3）

ネグサレセンチュウ類が検出される圃場割合は全道的に高く、地域を平均した検出率は75%であった。ゴボウにも被害を与えるキタネコブセンチュウ（*M. hapla*）の検出率をFig. 3に示したが、分布地域はネグサレセンチュウより狭かった。検出圃場のすべてについてネグサレセンチュウの種別調査をしなかったが、その多くはキタネグサレセンチュウ（*P. penetrans*）、一部がノコギリネグサレセンチュウ（*P. crenatus*）であった。

Fig. 3. Distribution of *Pratylenchus* spp. and *Meloidogyne hapla* in Hokkaido burdock fields (1985-1986).Table 2. Damage to burdock caused by *Pratylenchus penetrans*, nematode density and burdock growth at harvest.

Cultivar	Root-lesion index ¹	Deformity index ¹	Nematodes on Oct. 27		Burdock growth on Oct. 27	
			Soil / 25 g ²	Root / plant ⁴	Root fresh wt.(g/plant) ³	Root length(cm) ³
Chiko	100	100	23.7 ± 1.3	3,520	88.5 ± 39.2 ^b	27.7 ± 5.8
Mitoyo-shirohada	97	97	13.7 ± 3.3	8,368	210.5 ± 50.8 ^a	36.1 ± 7.2
Sakigake-shirohada	100	100	13.7 ± 4.8	3,979	64.7 ± 19.7 ^b	33.7 ± 5.1
Sapporo-onaga	100	100	22.3 ± 2.9	2,400	69.8 ± 25.5 ^b	18.2 ± 5.9
Shin-takinogawa	96	96	18.3 ± 2.9	4,674	44.0 ± 20.1 ^b	27.3 ± 4.8
Takinogawa	100	100	26.0 ± 4.0	2,297	73.9 ± 14.3 ^b	27.7 ± 5.1
Tokiwa-onaga	96	96	11.3 ± 2.3	4,325	64.2 ± 19.9 ^b	22.8 ± 8.9
Yanagawa	100	100	19.3 ± 5.8	5,200	111.6 ± 44.2 ^{ab}	24.7 ± 6.8
Yanagawa-riso	100	100	28.0 ± 12.3	5,208	91.5 ± 16.8 ^b	29.6 ± 3.7
			n.s.		n.s.	

Cultivated from May 29 to Oct. 27, 1986.

¹ For each index criteria see Fig. 1, Table 1-1, 1-2. Nematode density on May 29 was 24 *P. penetrans* / 25 g wet soil.
^{2,3} Mean ± S.E. (n = 3 for ², n = 10 for ³). ⁴ Mean of 10 roots. Means with the same letters were not significantly different according to Tukey's test at 5% level. n.s. was not significant in the analysis of variance.

2. キタネグサレセンチュウによる被害の品種間差 (Table 2)

9品種を供試したが、奇形指数では品種間差が少し認められるものの各品種のキタネグサレセンチュウによる根腐れ指数は高く、品種間差はほとんど認められなかった。収穫後の土壤中密度には有意な品種間差は認められなかった。根内虫数では品種間差が認められたが、根重と対比すると、根重の多い品種で寄生量が多い傾向であり、一定量の表皮重で比較すると大きな

違いはないと考えられた。

3. 耕起法の違いによるキタネグサレセンチュウの密度とゴボウ被害の消長

1) ロータリ耕起圃場 (Fig. 4, Table 3)

地表部 (0 ~ 20 cm) 土壤中の密度が約35頭 / 土壌25 gの圃場にゴボウ「滝の川」を栽培した。ゴボウの被害症状 (根腐れ指数) は播種2週間後 (子葉展開) の6月2日から認められ、8月上旬にほぼ上限に達した。根辺土壤中 (0 ~ 20

Fig. 4. Population dynamics and root-lesion index of *Pratylenchus penetrans* in a rotary harrow cultivated field planted with burdock after a crop of flax (1966, Sapporo).

Vertical bars are mean $\pm$ S.E. (n = 3). Means with the same letters were not significantly different according to Tukey's test at 5% level. Data of root-lesion index were arcsin square-root transformed prior to mean separation.

Table 3. Root weight of burdock and the number of *Pratylenchus penetrans* in root systems of burdock in a rotary harrow cultivated field in Sapporo in 1966.

Date	Root wt. (g / plant)	Nematodes per plant ¹
June 2	0.03 $\pm$ 0.003 ^c	10.7 $\pm$ 1.5 ^c
June 17	0.1 $\pm$ 0.006 ^c	61.7 $\pm$ 7.2 ^c
July 6	1.7 $\pm$ 0.46 ^c	151.0 $\pm$ 6.4 ^c
July 16	5.0 $\pm$ 0.17 ^c	647.0 $\pm$ 20.2 ^b
Aug. 1	10.5 $\pm$ 0.69 ^{bc}	1,026.7 $\pm$ 76.5 ^a
Aug. 17	25.0 $\pm$ 0.58 ^{bc}	675.0 $\pm$ 23.1 ^{ab}
Sep. 4	31.6 $\pm$ 2.09 ^b	933.7 $\pm$ 98.4 ^{ab}
Sep. 24	75.0 $\pm$ 14.4 ^a	852.7 $\pm$ 105.4 ^{ab}
Oct. 21	99.2 $\pm$ 5.5 ^a	789.0 $\pm$ 148.4 ^{ab}

Mean $\pm$ S.E (n = 3).

¹Total no. of juveniles, adults and eggs.

Means with the same letters were not significantly different according to Tukey's test at 5% level.

cm) の線虫密度は7月上旬まで根部への侵入により低下し (Table 3) これ以降8月上旬に根内虫数は最高に達し、根から離脱した線虫により土壌中の線虫密度も高まり、9月上旬にピークをなしたのち、収穫時に向かって急激に低下した。時期別の根部症状は、播種後第2週頃

(6月2日) から水浸状小褐点が点在し、播種後1か月頃(6月17日)にはこれが拡大し、円形黒褐色病斑あるいは輪状に黒褐変し、その部位がややくびれた。およそ2か月後(7月16日)には主根部が地際より10~20 cm (平均根長18.8 cm) の部位で切断され、主根は肥大し、側根を

分岐した。また主根のほぼ全体が黒褐色に変わった (Fig. 1 右、ロータリ耕起圃場における被害症状)。なお、本調査時点において奇形度の基準を設定していなかったため、Fig. 4 に奇形指数の数値はない。

2) トレンチャ耕起圃場

(1) アズキ前作圃場

圃場1 (Fig. 5, Table 4) : トレンチャ耕起前の層別線虫密度は表層 (0 ~ 20 cm) で約55頭/土壌25 gと高く、それより下の各層の密度は0 ~ 5頭/土壌25 gと極めて低かった。トレンチャ耕起により0 ~ 20 cm層では10頭に低下したが、それ以下の各層では上昇した。なお、トレンチャ耕起前後の各層の線虫密度 (土壌25 gあたり) の合計値は各々58、43であった。土壌中の線虫密度は6月29日以降とくに表層 (0 ~ 20 cm) で増加を続け、10月9日にピークを示した後に激減した。根内線虫数は9月19日に最も多く、その後低下した (Table 4)。ゴボウ根部の調査は播種1か月後には実施しなかったが、根腐れ指数は播種2か月後の7月13日には82に達し、その後はほぼ同じ値で推移した。根部症状は小褐点が根系全体に分散する、いわゆる斑点型が多く、奇形はロータリ栽培で見られた主根の寸断

は少なく、主として分岐による奇形であったが、奇形指数は播種2か月には65、収穫時には80に高まった (Fig. 1 左、当圃場の被害状況を示す)。主根長は収穫1か月前の10月には53 cmであったが収穫時 (11月) には36 cmに低下を示した。この原因は不明であるが、ゴボウの採取場所による施肥むらなどが考えられた。

圃場2 (Fig. 6, Table 5) : トレンチャ耕起前の層別線虫密度は60 cmまでの各層では約15頭/土壌25 g、60 ~ 80 cm層では3頭、80 ~ 100 cm層

Table 4. Growth of burdock and the number of *Pratylenchus penetrans* in root systems of burdock in No. 1 trencher cultivation field which was cultivated after a crop of adzuki beans in Niikappu in 1989.

Date	Root length (cm)	Root fresh wt. (g / plant)	Nematodes / plant ¹
July 13	5.7	0.2	38.5
Aug. 10	5.2	2.9	41.0
Sep. 19	41.7	36.5	502.0
Oct. 9	52.9	48.0	282.0
Nov. 8	36.0	65.5	327.0

The mean value is the average of two replicates.

¹Total no. of adults, juvenils and eggs.

Fig. 5. Population dynamics of *Pratylenchus penetrans* at different soil depths, root-lesion index and root-deformity index of burdock in a trencher cultivated field No. 1 planted after a crop of adzuki beans (1989, Niikappu).

¹ Root systems were not investigated on June 29. Data are the means of two replicates.

Fig. 6. Population dynamics of *Pratylenchus penetrans* at different soil depths, root-lesion index and root-deformity index of burdock in trencher cultivated field No. 2 planted after a crop of adzuki beans (1989, Niikappu).

Data are the means of two replicates.

では検出されなかった。トレンチャ耕起後には80 cmまでの各層の密度は10～15頭となり、80～100 cm層では4頭が検出された。トレンチャ耕起前後の各層の線虫密度(土壌25 g当り)の合計値は各々45、57.5であった。時期別に線虫密度の変動を見ると、7月13日からの根腐れ指数の高まりにより、主に地表～20 cmで高まり、播種約100日後(9月19日)にピークをなした後に急激に低下した。根腐れ指数は7月13日の75から収穫期の96に向かって次第に高まった。根部症状は圃場1と同様の斑点型であり、奇形は主根の寸断は少なく、分岐が主であった。トレンチャ耕起後の地表下0～60 cmまでの線虫密度は圃場1とほぼ同等となり、このため根腐れ指数、奇形指数の推移は圃場1に類似した。収穫時の根重が圃場1よりも低かったのは生育期間が圃場1よりも約1か月間短かったことが考えられた。

(2) ゴボウ連作圃場 (Fig. 7, Table 6) : 線虫密度は極めて低かったが、地表から80 cmまでの各層から検出された。この密度はトレンチャ耕起によりさらに低下した。トレンチャ耕起前後の各層の線虫密度(土壌25 gあたり)の合計値は各々12.3、3.6であった。ゴボウの根腐れ指

Table 5. Growth of burdock and the number of *Pratylenchus penetrans* in root systems of burdock in No. 2 trencher cultivation field which was cultivated after a crop of adzuki beans in Niikappu in 1989.

Date	Root length (cm)	Root wt. (g / plant)	Nematodes per plant ¹
July 13	4.9	0.1	61.0
Aug. 10	17.1	0.7	46.0
Sep. 19	18.8	17.5	39.0
Oct. 9	27.7	17.7	47.0
Nov. 8	39.7	31.4	207.0

The mean value is the average of two replicates.

¹Total no. of adults, juveniles and eggs.

数、奇形指数は低い値であった。土壌中の線虫密度は播種後3.5か月(8月18日)に0～20 cm層で歴然としたピークが見られ、次いで20～40 cm層でもやや密度が高まった。収穫時の根長は約73 cm、根重は約180 gに達した (Table 6) (Fig. 1中、当圃場の被害状況を示す)。

4. トレンチャ栽培圃場におけるキタネグサレセンチュウによるゴボウ被害の特徴

1) ゴボウの根腐れ程度と奇形程度の関係 (Fig. 8)

Fig. 7 Population dynamics of *Pratylenchus penetrans* at different soil depths, root-lesion index and root-deformity index in trencher cultivated field planted continuously with burdock (1989, Niikappu). Vertical bars are mean $\pm$ S.E. ($n = 3$). Means with the same letters were not significantly different according to Tukey's test at 5% level. The letters in parenthesis indicate significant differences among each of the dates. N.S. indicates no significant difference in the analysis of variance. Data for root-lesion index and root-deformity index were arcsine square root transformed prior to mean separation. 0¹ indicates a root-deformity index of 0.

Table 6. Growth of burdock and the number of *Pratylenchus penetrans* in root systems of burdock in a trencher cultivation field which was continuously cropped with burdock in Niikappu in 1989.

Date	Root length (cm)	Root wt. (g / plant)	Nematodes per plant ¹
Aug. 18	55.3 $\pm$ 3.9 ^b	34.4 $\pm$ 2.1 ^b	53.0 $\pm$ 40.3
Nov. 8	72.8 $\pm$ 1.6 ^a	179.3 $\pm$ 11.1 ^a	162.7 $\pm$ 74.7
n.s.			

Mean $\pm$ S.E. ($n = 3$). Means with the same letters were not significantly different according to Tukey's test at 5% level. n.s. was not significant in the analysis of variance. ¹Total no. of adults, juveniles and eggs.

収穫時における3圃場、9点のゴボウ45本について根腐れ程度と奇形程度の関係を検討した。根腐れ程度と奇形程度の間には正の相関が認められ、線虫寄生の影響として根部の黒褐点とともに奇形があり、両者が連動していることが示された。奇形程度は根腐れ程度2までは軽く、根腐れ程度3（根腐れ指数75に相当）以上で奇形が問題となると考えられた。

2) 収穫期におけるゴボウの根腐れ指数と根長との関係 (Fig. 9)

上記により、ゴボウの根腐れ程度と奇形程度が連動することが示されたが、個体ごとの根腐れ程度から算出した根腐れ指数と主根長の間に負の相関が認められた。

5. キタネグサレセンチュウ密度とゴボウの被害および被害許容水準の設定

1) 枠圃場試験 (Fig. 10) : ロータリ耕起後の栽培を想定して、深さ約30 cmまで均一に混和した土壌を容れた枠圃場にゴボウを栽培した。

Fig. 8. Relationship between the root-lesion index and root-deformity index of burdock caused by *Pratylenchus penetrans* in a trencher cultivated field at harvest.
Numerals in each circle indicate the sample size.

Fig. 9. Relationship between the root-lesion index of damage caused by *Pratylenchus penetrans* and taproot length of burdock at harvest in a trencher cultivated field.

Fig. 10. Relationship between *Pratylenchus penetrans* densities and root-lesion index or percentage of marketable burdock roots (commercialization ratio) at harvest from 1 m² microplots filled to a depth of 30 cm with nematode infested soil.

¹ The *P. penetrans* population density that corresponded to root-lesion index 50 of the burdock roots at harvest being marketable. The *P. penetrans* population density that corresponded to 80% of the burdock roots at harvest being marketable was considered to be the tolerable injury level threshold.

² Tolerable injury level threshold.

Fig. 11. The relationship between the densities of *Pratylenchus penetrans* in soil collected from a depth of 0-20 cm before and after trencher plowing, and root-lesion index of burdock at harvest.
 ¹ The *P. penetrans* population density that corresponded to root-lesion index 50 of the burdock roots at harvest being marketable.

Fig. 12. The relationship between the population density of *Pratylenchus penetrans* before and after trencher plowing and percentage of marketable burdock roots at harvest (ratio of commercialization).

The *P. penetrans* population density that corresponded to 80% of the burdock roots at harvest being marketable was considered to be the tolerable injury level threshold.

¹Tolerable injury level threshold.

線虫密度と根腐れ指数との関係をFig. 10左に示した。根腐れ指数は線虫密度に依存して高まるが、被害が軽い根腐れ指数50の時の播種時線虫密度は5.2頭/土壌25 gであった。商品化率（根腐れ程度および奇形程度がともに2以下の商品価値の高い個体率）との関係（Fig. 10右）では、商品化率80%が得られる線虫密度、すなわち被害許容水準は土壌25 g当たり0.9頭、商品化率50%が得られる密度は4.4頭であった。

2) トレンチャ耕起栽培（Fig. 11、Fig. 12）：トレンチャ栽培を行った新冠町の3圃場の9調査地点（1圃場3地点）におけるトレンチャ耕起前と耕起後の地表から20 cmまでの線虫密度と根腐れ指数の関係をFig. 11に示した。根腐れ指数が50（被害が軽い）となるトレンチャ耕起前密度は5.24頭/土壌25 g、耕起後密度は3.03頭/土壌25 gと算出された。商品化率80%が得られる線虫密度を被害許容水準と設定したが、その値はFig. 12に示したとおり、トレンチャ耕起前は6.1頭、耕起後は3.2頭/土壌25 gと算出された。ちなみに商品化率100%の値は各々5.0、2.3頭であった。なお、Fig. 12では商品化率100%から低下の始まる地点と商品化率0%が始まると考えられる地点内の播種時線虫密度（図の○）4点を用いて回帰式を求め、それ以外の値（図の●）は計算から除いた。防除の要否を判定するための土壌採取の時期は播種が同時に行われるトレンチャ耕起時では遅いため、ロータリ耕起後の被害許容水準（6.1頭/土壌25 g）を基準として防除の要否を判定することになる。

考 察

北海道においてゴボウの根部黒変現象がネグサレセンチュウ類に起因することは、古く1962年に報告された（桜井ら、1962）。北海道の露地圃場にはキタネグサレセンチュウ、次いでノコギリネグサレセンチュウの分布が広く（山田・高倉、1995）、両種はゴボウに同様の被害症状を示すが、前者の寄生量と被害程度は後者よりも大きい傾向を認めた（山田、1966）。北海道内のゴボウ圃場の実態調査ではネグサレセンチュウの検出率が高く、これがゴボウ生産上の大きな

問題であることが示された。以下、主要な点について考察する。

1. 耕起法の違いによるキタネグサレセンチュウのゴボウへの被害症状

近年、ゴボウの被害症状として、従来の黒色斑紋症状に代わって、小褐点が散在する症状「ごま症」(中村ら, 2003)が問題とされることが多い。この原因を耕起法の違いによるものと考え、過去のロータリハロー耕と現在のトレンチャ耕による被害の比較を行った。ロータリハロー耕は地表から20~30 cmを耕起・整地し、播種する方法であった。この場合マメ類など本線虫の増殖好適作物の栽培跡地密度は一般に耕起深部位(20~30 cm)で高い場合が多い。新冠町圃場2ではこれよりも深くまで分布したが、これは圃場の土壌の性質や耕起深などの違いにより根の分布域が深くなったことによると考えられる。本報におけるロータリ耕の前作アマは増殖作物であり、この密度の高い層に播種されたゴボウの根部はこの高い密度層を通過して伸長するため、多数の線虫が寄生する。根部症状は生育初期には褐色小斑点であったが、やがて黒褐点が癒合した黒褐色斑となり、また密度の高い場合には生長点が侵され短根となったり、主根の黒変部がくびれて寸断され、そこから分岐根が多数発生する奇形となると考えられる。まれに白色に近い分岐根を認めることがあるが、これは下層の低密度部位に伸長したものと考えられる。しかし奇形が激しく商品とはならない。アズキ跡地を供試したトレンチャ耕では、表層(0~20 cm)の線虫密度が最も高く、それ以下の各層で密度が低い例(新冠町圃場1)と密度が60 cmまでほぼ均等でそれ以下の層で低い例(同圃場2)が認められた。トレンチャ耕により表層と下層の土壌が混和され、各層に線虫が分散されるため、ゴボウの被害症状はロータリ栽培の初期症状に類似した褐色小斑点が根表面に分散する斑点型を呈するものと考えられる。また奇形症状はロータリ栽培で多かった主根の寸断は少なく、分岐が主体であった。トレンチャ栽培におけるゴボウの収穫期の褐点の分布は、上部が下部よりやや多い例が見られた。本田ら(1974)はゴ

ボウの栽培期間約6か月の内、根部の伸長は70日前後で約1 mに達し、その後上部から下部へと肥大が進むことを示した。このゴボウの生育経過により、ゴボウの肥大が早い表層(0~20 cm)部で線虫の増殖も早いいため、部位別症状の違いとなったと考えられる。本試験では根系全体を観察して被害程度を判定した。

2. トレンチャ耕起圃場におけるキタネグサレセンチュウ密度変動

本試験においてトレンチャ耕起前後の各層線虫密度の合計値は各々58、43(圃場1)、45、57.5(圃場2)、12.3、3.6(ゴボウ連作圃)と、圃場2ではやや増加を示したが、他の2圃場ではトレンチャ耕により密度が低下した。密度低下の原因は不明であるが、大型機械による土壌深部まで攪拌されることによる物理的死亡も考えられた。以上から、トレンチャ耕のキタネグサレセンチュウの被害が軽くなる原因として、線虫の各層への分散のほかに死亡も考えられた。供試した3圃場の土壌中線虫密度が最盛期に達したのち、急激に低下を示す原因は以下のように考えられた。ゴボウは生育初期には細根も認められるが、その後は主根が主体となり、線虫の寄生する根表面積はマメ類などに比べて極めて少ない。さらに、線虫密度が高い圃場では、播種2か月頃から根腐れ指数が急激に高まり新たな線虫の寄生が制限される。近岡(1977)は無寄主状態における温度と生存の関係を検討し、25℃では15、2~5よりも生存期間が短く、3か月程度で密度が著しく低下することを示した。北海道において根腐れ指数が高まる播種2か月以降の月平均気温(地温データがないため、気温データで代用)は札幌市(1966年)では7月18.5、8月22、9月15.8、新冠町に近接する静内町(1989年)では7月18.8、8月21.8、9月21.0と比較的高く推移していた。上記のようにゴボウは寄生する根表面積が少ないこと、また根から脱出した線虫の新たな寄生が抑制され、いわゆる無寄主状態となり、この期間が比較的高温に経過するため、線虫の死滅による密度低下が大きかったと考えられた。こ

のため、ゴボウ栽培後のキタネグサレセンチュウ密度が播種時よりも低下する例が多いと考えられた。

3. キタネグサレセンチュウによるゴボウの被害解析

被害許容水準（根腐れ程度、奇形程度がともに2以下のゴボウが80%得られる表層部0~20 cmの線虫密度）は、ロータリ栽培を想定した柵圃場の0.9頭/土壌25 gに対して、トレンチャ栽培ではトレンチャ耕起前6.1頭、耕起後3.2頭と算出された。トレンチャ耕により被害が軽減される要因について考察する。前述のとおり、トレンチャ耕では表層（0~20 cm）密度が耕起前の約半分に低下し、ゴボウの被害（斑点と奇形）が軽減される。次に栽培法の違いによることが考えられた。ロータリ耕では前述のとおり、主根が寸断され、短根となる奇形が甚だしく、ゴボウの体裁をなさない被害が問題であった。ロータリ耕では地表下20~30 cmは耕起されるが下層土は無耕起のため、根の下層土への伸長が妨げられる。また、下層土へ伸長しても線虫生息部位と無線虫部位の肥大差が大きいことなども寸断の要因と推察される。一方、トレンチャ耕では土壌全体が膨軟となるためゴボウ根部の伸長が容易となり、ロータリ耕で見られた寸断のような激しい奇形は見られず、分岐を生じてゴボウの姿はある程度保たれていた。以上から、トレンチャ耕がロータリ耕よりも被害許容水準が高いのは、線虫密度の低下と栽培法による奇形程度の違いが大きいと考えられた。キタネグサレセンチュウの寄生・被害に対する供試ゴボウの品種間差は大きくないことから、この被害許容水準は各品種に適用できると考えられた。本試験のトレンチャ耕起圃場において、前作物が同じでも播種前の線虫密度が調査地点によりゴボウの被害程度に影響するほど大きく異なる例が認められ、圃場内の線虫分布が均等でないという問題点が認められ、本試験における消長図は数値の揃った2点で示した。しかし、播種前密度と被害程度（根腐れ、奇形）の関係では、線虫密度に応じた値が示され、ゴボウの被害が

播種前の線虫密度に依存することは明らかであった。一方、梶野（1986）は十勝管内全域のゴボウ栽培圃場における線虫類の発生実態を管内普及員とともに調べた貴重な報告で、管内全体の収穫時密度と根腐れ指数の間に有意な相関を認めたが、播種前密度との間には有意性を認めなかった。町村別では播種前、収穫時ともに有意となる場合も認められた。これらの理由は不明であるが、根腐れ程度の判定方法、播種時と収穫時のサンプルの採取場所などに問題があった可能性もある。

本報における線虫防除の要否は、根腐れ指数、奇形指数など主観的要素を含みやすいゴボウの被害程度の基準から判定した。これらの基準は本試験開始時の主産地（十勝管内）の耕作者が生食用で市場が受け入れ可能（商品価値が高い）と判定した被害程度が、根腐れ程度、奇形程度ともに2以下であったことに基づいている。ただし、この基準は需給関係によって変動する恐れがある。その場合には許容される被害程度を定め、これに対応する被害許容水準を求めることで対処できると考えられる。

北海道の畑作地帯にはキタネグサレセンチュウが普遍的に発生し、この線虫の好適な寄主であるゴボウは、加害される根部が商品となるために損害が甚だしい。一方、ゴボウと輪作する作物の多くが線虫の増殖作物であるため、線虫密度がトレンチャ栽培における被害許容水準を上回る圃場が多い。このため線虫による被害が発生し、これに土壌施用粒剤の全層施用などの対策で対処している現状であるが、根菜類の栽培を継続するためには線虫対抗植物を輪作体系の中に組み入れて密度を低く維持することが大切と考えられる。

謝 辞

ゴボウ圃場における線虫類の発生分布調査用のゴボウおよび根圏土壌を提供いただいた各地区農業改良普及所の各位、この取りまとめにご協力を頂いた元北海道立中央農業試験場の高倉重義氏、新冠町における現地調査の実施にあたり種々のご配慮を頂いた元日高中部地区農業改

良普及所次長、天野 宏氏に心から感謝申し上げます。また、取りまとめの便宜を与えられた雪印種苗(株)北海道研究農場の高山光男場長に感謝する。

引用文献

- 近岡 一郎 (1977) キタネグサレセンチュウ (*Pratylenchus penetrans*) の土壌中における生存. 日本線虫研究会誌 7, 45-48.
- 本田 宏一・石川 実・石川昌男 (1974) ゴボウの栽培法に関する研究 第1報 ゴボウの生育経過と養分吸収について. 茨城県農業試験場研究報告 15, 105-111.
- 梶野 洋一 (1986) 十勝地方のゴボウ栽培圃場におけるセンチュウ類の発生実態. 北農 53, 14-25.
- 中村 浩・上堀孝之・水越 亨 (2003) 十勝地方の農作物におけるネグサレセンチュウ被害実態と対抗植物の効果 第2報 ごぼう根部に発生する「ごま症」とキタネグサレセンチュウとの関連. 北農 70, 34-38.
- 桜井 清・湯原 巖・山田英一 (1962) ゴボウに発生したネグサレセンチュウとその防除. 北日本病害虫研究会報 13, 179-180.
- 山田英一 (1966) ネグサレセンチュウ2種の寄主作物(予報). 北日本病害虫研究会報 17, 101.
- 山田英一 (1989) 北海道の線虫問題と防除対策 - 根菜類の線虫について. 平成元年度野菜病害虫防除研究会シンポジウム講演要旨 15-29.
- 山田英一・高倉重義 (1995) 北海道の農耕地におけるネグサレセンチュウの種類とその分布. 第2報 分布並びに各種作物収穫期前後の線虫密度. 北海道立農業試験場集報 69, 19-29.

受領: 2007年3月16日

登載決定: 2007年12月10日

摘 要

北海道におけるゴボウのキタネグサレセンチュウによる被害と耕起法の関係について

山田英一・河合 勝

ゴボウのキタネグサレセンチュウの被害と耕起法(ロータリ耕とトレンチャ耕)との関連を検討した。輪作作物であるゴボウの前作物が増殖作物となる例が多いが、過去に行なわれたロータリ耕では、この密度の高い表層部に播種されるため、ゴボウの表皮は黒点が融合した黒褐色斑となり、また、黒変部からの主根の寸断な

ど被害程度はトレンチャ耕よりも重い例が多かった。一方、トレンチャ耕では表層部の線虫が深部まで攪拌されるため、播種部位(0~20 cm)の密度は低下し、症状は軽くなり、その症状も斑点型となる例が多かった。トレンチャ耕におけるキタネグサレセンチュウ密度とゴボウの被害程度を検討し、商品化率(生食用として商品化できる個体率)を根腐れ程度および奇形程度がともに2以下の個体率とし、この商品化率80%が得られる線虫密度を被害許容水準とした。この値はトレンチャ処理前の表層(地表から深さ20 cmまで)密度(土壌25 g、48時間分離)は6.1頭、トレンチャ耕起後の密度は3.2頭と算出された。