マメ科緑肥作物のダイズシストセンチュウ密度低減効果 およびキタネグサレセンチュウに及ぼす影響

山田英一・橋爪 健・高橋 穰¹

Antagonistic effect of leguminous green manure crops on *Heterodera glycines* and the effect of these crops on *Pratylenchus penetrans*. Eiiti Yamada, Ken Hashizume and Minoru Takahashi¹.

The infestation of *Heterodera glycines* (SCN) (race 1) was observed in 14 leguminous crops tested by pot. When dividing development of infested SCN in the root, percentage of females and cysts was very low (0-1.4%) in the following crops. That is five species of clover (red clover, crimson clover, persian clover, white clover and alsike clover), alfalfa, *Crotalaria spectabilis*, resistant soybean (Suzuhime) derived from the Peking line, *Crotalaria juncea*, blue lupine and wooly-pod vetch. The nematode population in the soil after the cultivation of these crops declined greatly.

Field test was carried out at Mukawa SCN (race 1) infested field (120 eggs/g dry soil). The density of SCN eggs declined to about 5 eggs after three months cultivation from May 16th of red clover, crimson clover, wooly-pod vetch and resistant soybean (Suzuhime), but they increased the density of *Pratylenchus penetrans*. The cyst index of susceptible soybean (Suzumaru) as aftercrop of red clover, crimson clover, wooly-pod vetch and resistant soybean (Suzuhime) was lowered. Soybean yield was 130-140 kg/10 a of dry matter after crimson clover, wooly-pod vetch and resistant soybean (Suzuhime), but 80 kg/10 a at red clover, 24 kg/10 a at wild oats (*Avena strigosa*), 30 kg/10 a at susceptible soybean (Suzumaru). Crimson clover, wooly-pod vetch and resistant soybean (Suzuhime) were selected as antagonistic plant of SCN.

Jpn. J. Nematol. 33(1), 1-13 (2003).

Key words: antagonistic plant, northern root lesion nematode, soybean cyst nematode, leguminous green manure crop.

緒 言

わが国の豆類主産地、北海道の十勝地方では昭和初期からダイズシストセンチュウ *Heterodera glycines* Ichinohe, 1952の被害が大きな問題となってきたが、1980年頃から北海道各地の水田転換畑でも被害が顕在化し、豆類3作目で被害が現

れる事例も認められた(高倉, 1984)。本線虫の問題点は豆類に与える被害の大きさと、シスト内の卵態での長期間生存(Inagaki and Tsutsumi, 1971)および高い増殖率のため、輪作などで密度を低下させても豆類1作で密度が復元する点である。現在、最も有力な防除手段はダイズ抵抗性品種の利用である。「下田不知」系抵抗性因子を導入した「トヨスズ」(砂田ら, 1966)は線虫被害が軽く、形質も優良なため、十勝中央部における1980年の普及率は80%に達した。しかし、その抵抗性を打破する系統が1968年の長野県(杉山ら, 1968)に続いて、北海道でも確認

¹雪印種苗(株) 北海道研究農場 北海道夕張郡長沼町幌内1066番

¹Hokkaido Research Stn., Snow Brand Seed Co. Ltd., Horonai, Naganuma, Hokkaido 069-1464, Japan.
本報の一部は「牧草と園芸」49(5), 5-9 (2001)に発表した。

され(湯原・桜井, 1971)、1970年代後半には十勝中央部で「トヨスズ」に黄化症状が見られるに至った。Inagaki (1979) は Golden et al. (1970) のレース判別方式に基づき、わが国で3レース(レース1、3、5)を認め、清水・三井(1985)は十勝地域のレース分布を調査し、レース3は普遍的、レース1は中央部に集中、レース5は芽室町の1個体群とした。これらのレースと「トヨスズ」の抵抗性との関連では、レース1と5の全てとレース3の約60%で感受性の反応を示した。現在の主力品種「トヨムスメ」(佐々木ら, 1988)、「トヨコマチ」(佐々木ら, 1990)は「トヨスズ」の抵抗性を導入した品種であり、その抵抗性の強さは「トヨスズ」と同等とされるので、「トヨスズ」と同様の問題点があると考えられる。一方、外来極強の「PI84751」の抵抗性因子(「PI84751」はPeking系に含めることが多いため、以下Peking系とする)を導入した「スズヒメ」(砂田ら, 1981)は現在のところ、わが国のどのレースにも抵抗性を示すが、特産品(小粒の納豆用品種)として、十勝地域の一部で栽培されているにすぎない。アズキも本線虫の重要な被害作物であり、北海道農林水産統計年報(総合編, 平成12~13年)によれば、2000年の北海道における栽培面積は、ダイズの1.8倍を占める。これには抵抗性品種はなく、また、本線虫がアズキ落葉病の感染・発病を助長し(根岸・小林, 1984)、被害を増大させる(山田・高倉, 未発表)。さらに、わが国各地で栽培されるエダマメの多くは感受性品種のため、被害が問題となっている。このような状況から、現行のダイズの抵抗性品種と輪作に頼った防除対策では不十分と判断した。

クローバなどのマメ科植物にダイズシストセンチュウ卵の孵化促進および密度低減効果が確認されている(相場・三井, 1995; 清水ら, 1988)。本試験では、上記の知見を活用した防除法の検討を目的とした。この場合、マメ科緑肥作物の密度低減機作は卵の孵化促進効果と侵入幼虫が雌成虫・シストに發育しないことによるため、この条件に適合するマメ科緑肥作物を探索し、これらの中から寒冷地の露地栽培に適応

する作物を用いた圃場実証試験を実施した。また、併発するキタネグサレセンチュウの密度推移等についても調査した。

材料および方法

1. 各試験に共通する調査方法

根部に寄生する線虫：根表面に着生するダイズシストセンチュウの雌成虫・シストは作物の根系全体を掘り取り、軽く土壌をはらい落した根を2つ重ねた篩(上篩850 μm 、下篩250 μm)の上で水洗し、250 μm 篩上に集めた個体を計数した。根内の線虫(ダイズシストセンチュウ、キタネグサレセンチュウ共通)は上記調査後の根5gを5%ホルマリン液で1昼夜以上固定し、このホルマリン液を水洗により除去した後、0.01%酸性フクシンを含むラクトフェノール液中で煮沸染色した。表面の色素を水洗により除いた試料を家庭用ミキサーで300 mlの水とともに1分間磨砕、この内10 ml中に含まれる線虫を虫態別に計数した。

土壌中の線虫密度：ダイズシストセンチュウ卵密度は乾燥土壌50 gからフェンウィック法で分離したシストを破碎して卵を取り出し、乾燥土壌1 g当りに換算した。土壌中のダイズシストセンチュウ2期幼虫及びキタネグサレセンチュウは生土25 gからベルマン法により室温で48時間分離した。

2. 試験別の調査方法

1) 有用マメ科緑肥作物の探索

供試線虫：北海道河西郡芽室町(北海道立十勝農業試験場病虫科圃場)の線虫生息土壌(前作ダイズ)をそのまま供試した。ダイズシストセンチュウのレースは1(十勝農業試験場大豆科による判定)で、播種時の線虫密度は25卵/乾土1 gであった。キタネグサレセンチュウは同上土壌に併発した線虫であり、播種時の密度は72頭/土壌25 gであった。

供試作物：和名・学名・品種名の順に記すが、和名のないものは学名・品種名とする。なお、和名、学名は江原(1950)、日本科学協会(1987)、日本作物学会(1982)、日本草地学会(2000)を

参照した。アカクロバ *Trifolium pratense* 「はるかぜ」、クリムソクロバ *T. incarnatum* 「くれない」、ペルシヤクロバ *T. resupinatum* 「プチベリー」、シロクロバ *T. repens* 「ルナメイ」、アルサイクロバ *T. hybridum* 「テトラ」、アルファルファ *Medicago sativa* 「バータス」、ウーリーポッドベッチ *Vicia dasycarpa* 「まめ助」、*Crotalaria spectabilis* 「ネマキング」、サンヘンブ *C. juncea* 「ネマコロリ」、ツノクサネム *Sesbania cannabina* 「田助」、ルーピン（青花）*Lupinus angustifolius* 「ブルールーピン」を供試した。このほか、密度増減を判断する対照として、ダイズ *Glycine max* 「サッポロミドリ」（感受性）、「トヨムスメ」（「下田不知」系抵抗性）、「スズヒメ」（「Peking」系抵抗性）を供試した。また、ダイズシストセンチュウに無作用の作物として、エンバク野生種 *Avena strigosa* 「ヘイオーツ」、ギニアグラス *Panicum maximum* 「ソイルクリーン」、アフリカンマリーゴールド *Tagetes erecta* 「アフリカントール」及びエンバク *Avena sativa* 「とちゆたか」を供試した。このほか休閑区を設けた。

効果検定法：供試土壌2.5 kgを1/5,000 aワグネルポットに充填し、1999年5月19日から8月12日までの85日間、雪印種苗（株）北海道研究農場（夕張郡長沼町）温室で栽培した。各区3ポット（反復）とした。播種量は圃場における標準播種量の5～10倍量とし、ポット当りクロバ類およびアルファルファ0.3 g、ベッチ、*Crotalaria* 属およびツノクサネム1.0 g、エンバク野生種1.5 g、エンバク2.0 g、ギニアグラス0.2 g、マリーゴールド0.1 g、ルーピン及びダイズ10粒とした。各作物の根内における線虫の発育状況と土壌中の密度増減を検討した。

2) 圃場におけるマメ科緑肥作物の効果

供試圃場：勇払郡鵠川町宮戸の農家圃場（前作ダイズ）を供試した。土壌は淡色黒ぼく土である。播種前のダイズシストセンチュウ密度は約123卵／乾土1 gで、カタネグサレセンチュウ約10頭／生土25 gが併発した。

レース判定：生息土壌（84卵／乾土1 g）700 gを直径12 cmのプラスチックポットに詰め、

Golden et al. (1970) のレース判別品種・系統（十勝農業試験場大豆科分譲）をポット当り5粒播種し、2000年6月1日から71日間、当場の温室で栽培し、根表面に着生する雌成虫・シスト数により判定した。各区3ポット（反復）とした。供試作物「品種」および10 a当り播種量：先のポット試験で供試した作物の内、ダイズシストセンチュウの密度低下に有効と認め、しかも寒冷地の露地栽培で比較的旺盛な生育が期待される作物を供試した。

アカクロバ「はるかぜ」およびクリムソクロバ「くれない」3 kg/10 a、ウーリーポッドベッチ「まめ助」5 kg/10 a、抵抗性ダイズ「スズヒメ」6 kg/10 aとした。このほか、ダイズシストセンチュウに無作用のエンバク野生種「ヘイオーツ」15 kg/10 aと慣行栽培の感受性ダイズ「スズマル」を対照とした。

栽培法概要：2000年5月16日に畦幅20 cmの密条播で播種し、3ヵ月間栽培した。基肥は播種後の圃場全面に散布した。エンバク野生種のみN:P₂O₅:K₂O=5:5:5 kg/10 aとし、それ以外は2:4:4 kg/10 aとした。6月20日に5.6:11.2:5.6 kg/10 aを全面に追肥した。手取除草を2回実施した。1区24 m²、乱塊法による3反復設計とした。

線虫の発育と密度調査：播種1ヵ月後（6月15日）、2ヵ月後（7月14日）及び3ヵ月後（8月14日）に各作物を掘り取り、ダイズシストセンチュウは寄生線虫数（虫態別）及び根圏土壌中の卵密度並びに土壌中に遊出した2期幼虫数を調べた。9月29日にこれら緑肥すき込み後（8月25日すき込み）の圃場から採土し、この時点の卵密度から密度低減効果を判定した。併発するカタネグサレセンチュウは同じサンプルについて寄生線虫の発育状況と土壌中の密度推移を調べた。

後作ダイズの生育・収量：上記の各試験区を2等分（12 m²）し、2001年5月15日に感受性ダイズ「スズマル」と抵抗性ダイズ「スズヒメ」各4畦を総合施肥播種機により播種した。畦幅66 cm、株間11 cmの2粒播とし、施肥量はN:P₂O₅:K₂O=1.8:13.2:9.0 kg/10 aとした。シス

ト着生指数を7月23日、主茎長を8月24日、莢数を9月18日に調べ、子実重及び1,000粒重を「スズヒメ」は9月28日、「スズマル」は10月15日に収穫し、乾燥、調整後に測定した。調査は乱塊法により3反復で行った。

シスト着生指数：シストの時期では脱落する個体が多いため、根に着生する雌成虫の最盛期（7月24日）に各区10個体を掘り取り、付着土壌を軽くはらい落としたのち、肉眼により根表面に着生する雌成虫・シストの着生度を下記の基準により調べ、これをシスト着生度とした。着生度（階級値）は0：なし、1：わずか、2：中程度（散見）、3：多数、4：甚多（密集）の5段階とした。下式により、シスト着生指数を算出した。

シスト着生指数 = [(階級値 × 当該個体数) / (調査個体数 × 4)] × 100

後作ダイズ栽培後の線虫密度：収穫直後に各区約2 m²の土壌を混和し、ダイズシストセンチウ卵密度及びキタネグサレセンチウ密度を調べた。

結 果

1. 有用マメ科緑肥作物の探索

1) ダイズシストセンチウに対する反応

播種85日後の各供試作物別の虫態別寄生割合をFig. 1に示した。本線虫は供試した全てのマメ科作物に侵入したが、①侵入個体の全てが幼虫態に止まる作物は、クローバ5種（アカクローバ、クリムソクローバ、ペルシャンクローバ、シロクローバおよびアルサイククローバ）、アルファルファ、*C. spectabilis* および抵抗性ダイズ「スズヒメ」（「Peking」系）が該当した。②雌成虫・シストまで達する割合が少ない作物は、サンヘンブ0.5%（総寄生虫数に対する雌成虫・シストの割合、以下同様）、ルーピン（青花）1.3%、ウーリーボッドベッチ1.4%、③中程度の作物はツノクサネム8.4%であった。これらに比して、感受性ダイズは57.1%、抵抗性ダイズ「トヨムスメ」（「下田不知」系）は57.3%と極めて高率であった。「トヨムスメ」で同割合が高かったのは供試線虫がレース1のためと考えられる。マメ科

Fig. 1. The age structure of *Heterodera glycines* extracted from root systems of the leguminous crops after 85 days cultivation in 1/5000 a pots. Numeral value expresses the total number of nematodes per pot. S: Susceptible and R: Resistant to *H. glycines*. ¹Sapporo midori, ²Toyomusume, ³Suzuhime.

Table 1. Population densities of *Heterodera glycines* and *Pratylenchus penetrans* after growing the leguminous and other crops for 85 days in 1/ 5000 a pots

Plants tested	<i>H. glycines</i> *				<i>P. penetrans</i> **			
<i>Trifolium pratense</i>	0	±	0.0	c	135.3	±	12.3	ab
<i>T. incarnatum</i>	0.7	±	0.3	c	16.0	±	5.2	bc
<i>T. resupinatum</i>	0	±	0.0	c	81.7	±	17.6	abc
<i>T. repens</i>	0.7	±	0.3	c	30.7	±	0.3	b
<i>T. hybridum</i>	0	±	0.0	c	18.0	±	1.2	bc
<i>Medicago sativa</i>	1.0	±	0.6	c	25.0	±	7.5	bc
<i>Vicia dasycarpa</i>	7.0	±	1.2	c	187.0	±	93.0	a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	0.7	±	0.3	c	4.7	±	0.3	c
<i>C. juncea</i>	1.0	±	0.6	c	85.0	±	19.6	abc
<i>Sesbania cannabina</i>	1.0	±	0.6	c	34.0	±	7.5	b
<i>Lupinus angustifolius</i>	2.7	±	1.5	c	9.7	±	3.8	c
<i>Glycine max</i> ¹ (S)	124.0	±	2.3	a	11.0	±	3.5	c
<i>G. max</i> ² (R)	82.7	±	6.6	b	3.7	±	0.3	c
<i>G. max</i> ³ (R)	0	±	0.0	c	2.7	±	0.3	c
<i>Panicum maximum</i>	7.7	±	2.0	c	9.0	±	1.7	c
<i>Avena strigosa</i>	5.0	±	1.2	c	3.0	±	1.2	c
<i>Tagetes erecta</i>	3.7	±	1.5	c	1.7	±	0.3	c
<i>Avena sativa</i>	4.7	±	0.9	c	11.7	±	0.9	c
Fallow	8.0	±	0.0	c	12.0	±	3.5	c
(Initial population density)	(25.3	±	2.4	)	(71.5	±	7.6	)

¹ Sapporo Midori, ² Toyomusume, ³ Suzuhime. S: Susceptible and R: Resistant to *H. glycines*.

* Population densities of encysted eggs and larvae per g dry soil.

** Population densities of nematodes per 25 g wet soil. Numeral is mean ± SE, and alphabetical letters express the significance according to Tukey's analysis (P=0.05).

以外の作物、エンバク野生種、ギニアグラス、エンバクおよびアフリカンマリーゴールドには本線虫の侵入は認められなかった。

栽培後の線虫密度は感受性ダイズおよび抵抗性ダイズ「トヨムスメ」(「下田不知」系)では極めて高まり、その他の作物では低下した。有意差はないものの、抵抗性ダイズ「スズヒメ」(「Peking」系)を含むマメ科作物の密度低下は、線虫の寄生しない作物よりもやや大きい傾向が認められた (Table 1 左欄)。

2) キタネグサレセンチュウに対する反応

播種85日後の虫態別寄生割合をFig. 2 に示した。本線虫は主として根内に産卵して増殖するため、根内の産卵量が増殖の重要な要因である。この観点から見ると、卵が全く見られなかった作物はエンバク野生種とアフリカンマリーゴールドであり、これとは反対に特に卵率の高かつ

たのはクローバ類およびアルファルファであった。各作物栽培後の土壌中の線虫密度をTable 1 右欄に示した。増殖率が特に高かったのはウーリーボッドベッチ、アカクローバ、ペルシヤンクローバ、サンヘンブであった。卵率の結果とは必ずしも一致していないが、ダイズシストセンチュウとの競合の影響、作物間の根量の違い、根の老化の早晩による根から土壌への離脱時期の違い、などが考えられる。

2. 圃場におけるマメ科緑肥作物の効果

1) マメ科緑肥作物栽培による線虫密度の変化
ダイズシストセンチュウ：判別品種「PI88788」の雌成虫・シストの着生量は感受性品種「Lee」の29%を示し、他の判別品種では全く認めないことから、本圃場のダイズシストセンチュウをレース 1 と判定した。

Fig. 2. The age structure of *Pratylenchus penetrans* extracted from root systems of the leguminous and other crops after 85 days cultivation in 1/5000 a pots. Numerical value expresses the total number of nematodes per pot. S: Susceptible and R: Resistant to *H. glycines*. ¹Sapporo midori, ²Toyomusume, ³Suzuhime.

Fig. 3. Age structure of *Heterodera glycines* extracted from root systems of the leguminous crops in Mukawa field in 2000. Numerical value expresses the total number of nematodes per g, and per plant in parenthesis. R: Resistant and S: Susceptible to *H. glycines*.

各供試作物根内における寄生線虫の虫態別推移をFig. 3に示した。感受性ダイズ「スズマル」の播種2ヵ月目の総寄生虫数に対する雌成虫・シストの割合は36%と高率であったが、アカクロバ、クリムソクローバおよび抵抗性ダイズ「スズヒメ」では雌成虫・シストは皆無、ウーリーポッドベッチでは極低率（0.3%）であった。対照の感受性ダイズ「スズマル」を除いて、各作物の侵入盛期である播種1ヵ月目の寄生量を比較すると、根1g当りでは作物間に大差はないが、個体当りでは大きな違いが認められる。この値は抵抗性ダイズ「スズヒメ」、ウーリーポッドベッチ、クリムソクローバ、アカクロバの順となるが、これは作物により根の初期生育量が異なったためである。感受性ダイズ「スズマル」は線虫寄生の影響を強く受けて生育が極めて劣ったため、線虫寄生量も少なく推移した。

土壌中の2期幼虫と卵密度の推移をFig. 4に示した。供試したマメ科作物別に2期幼虫の推移を見ると、播種1ヵ月目（6月15日）にウーリーポッドベッチを除く他の作物において明確な孵化ピークを認め、その後低下をたどった。ウーリーポッドベッチではピークははっきりとしなかった。卵密度は供試作物全てにおいて栽培期間の経過につれて低下を続け、最終密度はエンバク野生種と感受性ダイズ「スズマル」を除き5卵程度となった。エンバク野生種では2期幼虫のピークは見られず、最終調査時には約30卵が残存した。感受性ダイズ「スズマル」では初期密度が高いため、多くの幼虫寄生とその後の發育により、ダイズの生育は極めて抑制され、子実重も25 kg/10 aの極低収となった。このため、収穫時の線虫密度は播種時よりも低下した。

キタネグサレセンチュウ：供試したマメ科作物の全てにおいて、栽培後の線虫密度は、当初の約10頭/土壌25 gが約2倍に増殖した。一方、エンバク野生種栽培後の密度は0近くまで低下した（Fig. 4）。

マメ科作物における増殖率は全般に低い、これは併発するダイズシストセンチュウとの競合によると考えられる。

2) 後作に導入したダイズの生育・収量

感受性ダイズ「スズマル」（Table 2a）：マメ科4作物（アカクロバ、クリムソクローバ、ウーリーポッドベッチ、抵抗性ダイズ「スズヒメ」）の後に栽培したダイズのシスト着生指数は10～15の範囲にあり、「スズマル」連作区の約60及びエンバク野生種後の45に比して明らかに低い値であった。ダイズの生育は、上記のマメ科4作物の後作では茎長、莢数は「スズマル」連作区及びエンバク野生種後作区よりも有意に高かった。また、ダイズシストセンチュウの寄生による茎葉の黄化は「スズマル」連作区及びエンバク野生種後作区で激しく、マメ科4作物の後作では黄化は認められなかった。子実重は「スズマル」連作区29.6 kg/10 a、エンバク野生種後作区24.3 kg/10 aと極低収であったが、クリムソクローバ、ウーリーポッドベッチおよび抵抗性ダイズ「スズヒメ」後作では130～140 kg/10 aが得られた。なお、アカクロバの線虫密度低下率は上記3作物と同等であったが、子実重は約80 kg/10 aと他作物より低収であった。この原因として、試験期間中のアカクロバの生育量が他の作物よりも低いことが一因と考えられる。

抵抗性ダイズ「スズヒメ」（Table 2b）：7月23日の個体当り寄生数は感受性品種「スズマル」とほぼ同等であったが（データ略）、雌成虫・シストの着生は各区とも全く認められなかった。播種時の線虫密度が感受性ダイズ「スズマル」連作区とエンバク野生種後作で高いため、「スズヒメ」への侵入量も多かったが、成虫に達する個体がないため、茎葉の黄化は認められず、茎長や莢数などへの影響は小さかった。子実重は「スズマル」後作、「スズヒメ」連作区を除いて135～160 kgの範囲にあった。

3) ダイズ栽培後の土壌中の線虫密度

ダイズシストセンチュウ（Table 3）：感受性品種「スズマル」を1作すると、密度が大きく低下したマメ科緑肥作物の後でも、その高い増殖率のため土壌中の卵密度は緑肥栽培前の密度に戻った。抵抗性品種「スズヒメ」は高い密度低減効果を有するため、前作の種類に関わらず

Fig. 4. Population densities of *Heterodera glycines* and *Pratylenchus penetrans* in Mukawa field while growing some leguminous crops in 2000. —□—: Encysted eggs (g dry soil), —□—: 2nd stage larvae (25 g wet soil) of *H. glycines*. —□—: Nematodes (25 g wet soil) of *P. penetrans*. Bars = mean $\pm$ SE (n=3). Numerals in each square express the number of encysted eggs per g dry soil of *H. glycines* observed at Sep. 29, and alphabetical letters express the significance according to Tukey's analysis (P=0.05).

Table 2. Cyst index, growth and yields of two varieties of soybean as succeeding crops after cultivation of leguminous crops in Mukawa field in 2001.

a) Suzumaru (Susceptible to *H. glycines*)

Preceding crops	Eggs/g dry soil at planting of soybean (May 15)	Cyst index * (July 23)	Stem length (cm) (Aug. 24)	Pods per plant (Sep. 18)	Grain yield (kg/10 a)	1,000 grain wt. (g)
<i>Trifolium pratense</i>	5.5±0.8 b	17.5±5.0 b	45.7±0.7 abc	23.5±1.6 a	80.3±11.4 ab	92.7±2.4 ab
<i>T. incarnatum</i>	4.0±1.5 b	12.5±1.4 b	52.3±2.4 a	30.4±1.4 a	144.8±19.1 a	109.7±5.5 a
<i>Vicia dasycorpa</i>	7.8±1.7 b	15.0±2.9 b	49.3±1.9 a	27.6±1.6 a	144.0±21.0 a	108.0±6.1 a
<i>Glycine max</i> ¹ (R)	7.7±0.6 b	10.8±3.0 b	48.5±4.2 ab	31.1±1.4 a	132.8±26.4 a	105.7±7.3 a
<i>G. max</i> ² (S)	36.7±4.9 a	62.7±7.2 a	37.4±0.8 c	7.7±2.5 b	29.6±7.5 b	82.7±1.2 b
<i>Avena strigosa</i>	19.8±1.8 a	45.0±2.5 a	38.0±1.7 bc	10.4±0.8 b	24.3±3.6 b	82.7±2.3 b

b) Suzuhime (Resistant to *H. glycines*)

<i>Trifolium pratense</i>		0	45.9±1.6 b	31.2±4.5	135.7±9.7 abc	103.3±2.0 ab
<i>T. incarnatum</i>	It is the same for the top.	0	48.6±1.0 ab	26.1±1.0	146.2±1.8 ab	106.0±1.5 ab
<i>Vicia dasycorpa</i>		0	48.2±1.0 ab	30.4±3.4	156.5±4.1 a	107.3±0.9 ab
<i>Glycine max</i> ¹ (R)		0	44.9±0.8 b	28.6±1.9	114.7±5.8 c	101.0±2.5 b
<i>G. max</i> ² (S)		0	51.2±0.3 a	23.1±0.3	120.7±2.1 bc	110.0±1.7 a
<i>Avena strigosa</i>		0	49.1±1.0 ab	28.2±0.5	151.6±10.2 ab	109.7±1.5 a

N.S.

¹Suzuhime, ²Suzumaru. R: Resistant and S: Susceptible to *H. glycines*

*The criteria of females and cysts infested on soybean root, 0: Nil, 1: Slight, 2: Moderate, 3: Severe, 4: Very severe.

Cyst index = [Σ (Ratings × No. of plants involved) / (Total No. of plants examined × 4)] × 100. Grain yield and 1,000 grain wt. observed on Sep. 28 at Suzuhime and on Oct. 15 at Suzumaru. Numeral is mean ± SE, and alphabetical letters express the significance according to Tukey's analysis (P=0.05).

Table 3. Population densities of *Heterodera glycines* at harvest of susceptible soybean Suzumaru and resistant soybean Suzuhime, which was introduced after the leguminous crops in Mukawa field in 2001.

Preceding crop	At planting of legumes (2000/5/16)	At plowing-in of legumes (2000/9/29)	At planting of soybean (2001/5/15)	At harvest of soybean	
				Suzumaru (2001/10/15)	Suzuhime (2001/9/28)
<i>Trifolium pratense</i>		5.7±1.8	6.3±0.3	*101.7±17.6 a	*1.0±0.6 a
<i>T. incarnatum</i>		4.7±1.2	2.7±2.2	85.3±9.0 a	0.3±0.3 a
<i>Vicia dasycorpa</i>	122.8±9.3	6.3±0.3	8.3±1.3	87.3±19.3 a	0.3±0.3 a
<i>Glycine max</i> ¹ (R)		3.7±1.2	8.3±0.7	74.7±7.2 a	0.7±0.3 a
<i>G. max</i> ² (S)		30.0±8.0	36.5±8.5	73.0±40.1 a	1.3±0.3 a
<i>Avena strigosa</i>		29.3±6.5	19.7±3.0	110.0±6.6 a	0.7±0.3 a

¹Suzuhime, ²Suzumaru. R: Resistant and S: Susceptible to *H. glycines*. Population densities express encysted eggs and larvae per g dry soil. Numeral is mean ± SE. *No significant difference was observed by Tukey's analysis (P=0.05).Table 4. Population densities of *Pratylenchus penetrans* at harvest of soybean Suzumaru and Suzuhime, which was introduced after the leguminous crops in Mukawa field in 2001.

Preceding crop	At planting of legumes (2000/5/16)	At plowing-in of legumes (2000/9/29)	At planting of soybean (2001/5/15)	At harvest of soybean	
				Suzumaru (2001/10/15)	Suzuhime (2001/9/28)
<i>Trifolium pratense</i>		18.9±10.1	10.0±4.5	41.7±18.9 b	125.0±63.5 abc
<i>T. incarnatum</i>		17.7±7.3	10.3±4.9	93.3±19.9 ab	187.7±50.3 ab
<i>Vicia dasycorpa</i>	9.5±1.3	26.3±11.5	10.3±4.1	116.0±45.9 a	261.7±19.4 a
<i>Glycine max</i> ¹ (R)		15.7±4.1	4.3±0.9	79.3±35.5 ab	198.0±38.0 ab
<i>G. max</i> ² (S)		20.0±1.7	1.5±0.5	3.0±1.0 c	5.3±4.8 c
<i>Avena strigosa</i>		1.7±0.3	1.0±0.0	13.7±5.8 c	38.0±10.5 c

¹Suzuhime, ²Suzumaru. R: Resistant and S: Susceptible to *H. glycines*. Population densities express nematodes extracted from 25 g wet soil. Numeral is mean ± SE, and alphabetical letters express the significance according to Tukey's analysis (P=0.05).

栽培後の密度は顕著に低下した。

キタネグサレセンチュウ (Table 4) : ダイズ「スズマル」栽培後の密度はマメ科4作物の後作区で顕著に高まり、エンバク野生種の後作ではほぼ緑肥栽培前の密度に止まった。なお、「スズマル」後作で密度が増加しなかったのは、ダイズシストセンチュウの寄生量が極めて多かったため、ダイズの生育が顕著に抑制されたためと考えられる。後作に「スズヒメ」を栽培した場合にも、「スズマル」と同様の傾向が認められた。ただし、「スズヒメ」の増殖率は「スズマル」よりもやや高い傾向が認められた。

考 察

1. マメ科作物のダイズシストセンチュウ卵の 孵化促進効果と密度低減効果について

ダイズシストセンチュウ卵の孵化がダイズなどマメ科寄主作物の根から分泌される物質により促進されることが明らかにされ (堤・桜井, 1966)、また、ダイズの抵抗性品種の孵化促進作用は感受性品種と同等であることが示された (堤, 1967)。この孵化促進物質としてインゲン根から Glycineclepin A の単離と構造決定がなされ、また合成もされた。(Fukuzawa et al., 1985)。しかし、現在この物質利用による防除は実現していない。

一方、マメ科の非寄主作物であるクローバ類については、相場・三井 (1995) はポット試験で多くのマメ科牧草・緑肥作物の孵化率を比較し、非寄主作物の中でサンヘンブがインゲン並に高く、これよりは低いアカクロバ、シロクロバ、ルーピンなどにも孵化促進効果を認めている。野外の拮抗試験においてシロクロバ、アカクロバの密度低減効果は抵抗性ダイズ「スズヒメ」に次いで高く (清水ら, 1988)、また、アカクロバの春播小麦間作による密度低減効果が示された (串田ら, 1997)。ポット試験においてクローバ類に密度低減効果を認めなかったことから、これらの孵化促進効果を疑問視する報告もある (湯原, 1968)。このようにクローバ類の孵化促進および密度低減効果に対する評価が異なっている。クローバ類の個体当り

の生育量はダイズに劣り、根量も少ない。ダイズの根量に匹敵するようにクローバ類の播種量などを調節して比較すれば、正しい結論が得られると考えられた。本報告ではマメ科作物のポット密植栽培により、高い密度低減効果を認めた。この内から寒冷地に適し、また2～3カ月の比較的短期間に線虫密度を低下させることを目的とし、初期生育が旺盛な1年生作物を選定した。なお、対照としてこれまで線虫密度低減効果が確認されている多年生のアカクロバ (清水ら, 1988) を供試した。ダイズ栽培翌年の圃場を用いて、標準播種量でこれら作物を栽培したところ、ウーリーポッドベッチを除く作物では播種1ヵ月後に2期幼虫の孵化ピークが見られ、また2～3ヵ月栽培でウーリーポッドベッチを含めて卵密度は大きく低下した。これら作物の栽培によってシストセンチュウ密度が低減した理由は、各作物の孵化促進効果により孵化した幼虫が作物体への侵入後に発育が停止して死滅する作用と、寄生しなかった幼虫の比較的短期間の死亡 (堤, 1969) によると考えられる。前述のとおり、アカクロバなどについて精密な孵化力検定が相場・三井 (1995) によりなされているが、この中にはクリムソンクローバ、ウーリーポッドベッチは含まれていない。本圃場試験においてクリムソンクローバでは2期幼虫のはっきりした孵化ピークを認め、ウーリーポッドベッチでは認めなかった。しかし両者の密度低減効果は同等であったことから、両作物に孵化促進作用があると推察される。

北海道における緑肥作物導入の可能な時期として、間作栽培を除くと、秋播コムギの前作または秋播コムギまたは早掘りジャガイモ収穫後が可能である。本線虫の孵化能力の年間変動を調べ、春季4月頃から孵化率が高まり、秋季9月頃から孵化率が低下することを認めている (岡田, 1977)。また、前出のアカクロバのコムギ間作試験において、アカクロバのすき込み後、翌年のジャガイモ栽培期間中にも次第に密度が低下し、孵化促進効果が翌年にも残存しているような現象が認められている。

本試験は本線虫の孵化が次第に高まる春期

(5月)から栽培を開始し、また前作がダイズであり、本線虫の孵化に好適な条件下で実施したため、高い密度低減効果が得られたと考えられる。このことは本線虫に無作用のエンバク野生種でも約70%の密度低下を認めたことから推測される。コムギやジャガイモ後作として、孵化率の低下に向かう晩夏～初秋に栽培を始めた場合にも同様の結果が得られるかは、防除の実用面からも重要な課題である。この場合、より孵化能力の高い作物が必要かも知れない。今後、秋播コムギ収穫後の圃場で効果を検討したい。

2. ダイズシストセンチュウ密度とダイズ品種の被害

供試圃場にはダイズシストセンチュウとキタネグサレセンチュウが併発したが、前者が優勢で、後者の密度(約10頭/±25 g)はダイズに実害を及ぼす密度より低いと考えられる(水越ら、未発表)。このため、ダイズの生育、収量に及ぼす影響のほとんどがダイズシストセンチュウによると判断した。清水は感受性ダイズ「北見白」と抵抗性ダイズ「トヨスズ」の被害解析を行い、抵抗性品種の減収率は感受性品種の約1/5と算出した(相場・一戸, 1992)。

本試験において、マメ科作物栽培後の線虫密度は「スズマル」栽培区の30卵/乾土1 gに対して、緑肥作物後では3.7～6.3卵に低下し、後作の感受性ダイズ「スズマル」収量は「スズマル」連作区の4.5～4.9倍を得た。一方、抵抗性品種「スズヒメ」の減収程度は軽く、「スズマル」後作でもクリムソクローバ対比83%であった。以上のように、「スズヒメ」に対するダイズシストセンチュウの影響は「スズマル」よりも軽いが、「スズヒメ」の子実重は「スズヒメ」連作区で最も低かった。「スズヒメ」ではキタネグサレセンチュウの増殖率の高いことが知られる(三井, 1958)ため、本線虫の生育への影響が考えられた。しかし、寄生量の多い時期である7月23日(シスト調査時、データ略)の調査では、「スズヒメ」連作区のキタネグサレセンチュウ寄生量が他の3作物に比べ特に多い結果は得られず、収穫時の土壌中密度でも同様の傾向が示さ

れた(Table 4)。したがって、「スズヒメ」連作の減収要因がキタネグサレセンチュウであるとは言えない。この原因は現在のところ不明であるが、抵抗性品種といえども連作は避けるべきである。

なお、当年(2001年)の鶴川町における「スズマル」の平均収量は開花期以降の日照不足、8月下旬からの長雨など不順気象の影響を受け126 kg/10 a(平年比72.9%)の極低収であった(東胆振地区農業改良普及センター)。当試験圃場におけるマメ科緑肥作物(アカクローバを除く)後作の「スズマル」の収量は130～140 kg/10 aであり、鶴川町の平均収量が得られ、実用性が認められた。

本試験で供試したマメ科緑肥4作物の密度低減効果はともに大きかったが、アカクローバは後作ダイズ「スズマル」の収量がやや低く、また抵抗性ダイズ「スズヒメ」の導入はダイズ連作を促すことになるため除外し、残りの2作物、クリムソクローバおよびウーリーボッドベッチがダイズシストセンチュウの対抗植物として適すると考えられた。しかし、両作物の後作に感受性ダイズを1作すると、ダイズシストセンチュウ密度は緑肥播種前の密度近くにまで復元するため、実用的な効果は1作に止まる。

3. マメ科作物によるキタネグサレセンチュウの増殖について

ダイズシストセンチュウ密度低減効果の高かった上記マメ科4作物はともにキタネグサレセンチュウの密度を高めた。本試験においてこれら作物栽培後の密度は後作ダイズの実害を与える密度ではないと判断したが、密度がさらに高い場合には実害が懸念される。したがって、対抗植物の導入に当っては、生息する線虫の種と密度を把握し、輪作体系の中で豆類にダイズシストセンチュウの被害が予測される場合にはクリムソクローバまたはウーリーボッドベッチで密度を低下させ、キタネグサレセンチュウの被害が問題となる場合にはエンバク野生種(山田, 1992)などで密度低下を図ることが必要である。

謝 辞

本線虫に関する種々のご教示を賜った元北海道農業試験場病理昆虫部長 一戸 稔博士、農業技術研究機構中央農業総合研究センター 相場 聡氏、同北海道農業研究センター 百田洋二線虫研究室長に心から感謝申し上げる。線虫生息土壌を供与いただいた北海道立十勝農業試験場病虫科各位、レース判別品種を分譲頂いた同農試大豆科 湯本節三科長、試験圃場選定と試験実施にご協力を頂いた東胆振地区農業改良普及センター 寺島孝専門普及員、試験圃場を提供頂いた菅野満治氏に心から感謝申し上げます。また、本試験の遂行にあたり、種々の便宜を供与された雪印種苗(株)山下太郎研究本部長、種苗部 山岸 清生産課長、北海道研究農場 高山光男作物研究室長、同 大橋真信研究員に感謝する。

引用文献

- 相場 聡・一戸 稔 (1992) ダイズシストセンチュウ。線虫研究の歩みー日本線虫研究会創立20周年記念誌(中園和年編)。日本線虫研究会, つくば市, 125-132.
- 相場 聡・三井 康 (1995) 各種マメ科植物のダイズシストセンチュウに対する孵化促進効果。北日本病害虫研究会報46, 197-199.
- 江原 薫 (1950) 飼料作物学(上巻)。養賢堂, 512pp.
- Fukuzawa, A., Furusaki, A., Ikura, M. and Masamune T. (1985) Glycinoeclepin A, a natural hatching stimules for the soybean cyst nematode. Journal of Chemical Society, Chemical Communications 4, 222-224.
- Golden, A. M., Epps, R. D., Duclos, L. A., Fox, J. A. and Bernard, R. L. (1970) Terminology and identity of infraspecific forms of the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*). Plant Disease Reporter 54, 544-546.
- Inagaki, H. and Tsutsumi, M. (1971) Survival of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines* Ichinohe (Tylenchida: Heteroderidae) under certain storing conditions. Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology 6, 156-162.
- Inagaki, H. (1979) Race status of five Japanese populations of *Heterodera glycines*. Japanese Journal of Nematology 9, 1-4.
- 串田篤彦・植原健人・百田洋二 (1997) 赤クローバ間作のダイズシストセンチュウ防除効果。平成8年度 新しい研究成果ー北海道地域。49-51.
- 三井 康 (1958) 連作障害と土壤線虫。環境技術14, 318-323.
- 根岸秀明・小林喜六 (1984) アズキ落葉病の発病に及ぼすダイズシストセンチュウの影響。日本植物病理学会報50, 500-506.
- 日本科学協会 (1987) マメ科資源植物便覧。内田老鶴圃, 512pp.
- 日本作物学会 (1982) 作物学用語集。養賢堂, 273pp.
- 日本草地学会 (2000) 草地学用語集。養賢堂, 248pp.
- 岡田利承 (1977) ダイズシストセンチュウ (*Heterodera glycines* Ichinohe) 孵化要因に関する研究。日本線虫研究会誌6 (特別号), 52pp.
- 佐々木紘一・砂田喜与志・土屋武彦・酒井真次・神谷元一・伊藤 武・三分一 敬 (1988) ダイズ新品種「トヨムスメ」の育成について。北海道立農業試験場集報57, 1-12.
- 佐々木紘一・砂田喜与志・神谷元一・伊藤 武・酒井真次・土屋武彦・白井和栄・湯本節三・三分一 敬 (1990) ダイズ新品種「トヨコマチ」の育成について。北海道立農業試験場集報60, 45-58.
- 清水 啓・三井 康 (1985) 十勝地方におけるダイズシストセンチュウのレースと分布。北海道農業試験場研究報告141, 65-72.
- 清水 啓・相場 聡・三井 康 (1988) 数種作物栽培下におけるダイズシストセンチュウの動態。北日本病害虫研究会報39, 187-188.
- 杉山新太郎・広間勝巳・宮原万芳・国分喜治郎

- (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 II 線虫系統の地域差について. 育種学雑誌18, 206-212.
- 砂田喜与志・後藤寛治・斎藤正隆・酒井真次 (1966) ダイズ新優良品種「ホウライ」および「トヨスズ」. 北農33(10), 16-28.
- 砂田喜与志・酒井真次・後藤寛治・三分一敬・土屋武彦・紙谷元一 (1981) だいず新品種「スズヒメ」の育成について. 北海道立農業試験場集報45, 89-100.
- 高倉重義 (1984) 水田転換畑における線虫の伝播と増殖. 北日本病害虫研究会報35, 176-179.
- 堤 正明 (1967) ダイズシストセンチュウ抵抗性品種におけるふ化促進作用. 北日本病害虫研究会報18, 122.
- 堤 正明 (1969) 無寄主状態におけるダイズシストセンチュウ幼虫の生存期間について. 北日本病害虫研究会報20, 110.
- 堤 正明・桜井 清 (1966) ダイズシストセンチュウのふ化ならびに幼虫遊出に及ぼす寄主・非寄主植物滲出物の影響. 日本応用動物昆虫学会誌10, 129-137.
- 山田英一 (1992) 対抗植物による線虫防除. 北海道有機農業技術研究年報1991年版. 11-18.
- 湯原 巖 (1968) マメ科作物栽培がダイズシストセンチュウ密度に及ぼす影響. 北日本病害虫研究会報 19, 93.
- 湯原 巖・桜井 清 (1971) ダイズシストセンチュウ抵抗性に関する研究 第3報 大豆品種抵抗性の地域差について. 北海道農業試験場彙報99, 89-96.
- (受領: 2002年10月5日)

和文摘要

マメ科緑肥作物のダイズシストセンチュウ 密度低減効果および キタネグサレセンチュウに及ぼす影響

山田英一・橋爪 健・高橋 穰

ダイズシストセンチュウの密度低減効果を有するマメ科作物を探索し、これらの内、圃場の

春播き栽培において、クリムソンクローバ、ウーリーポッドベッチおよび抵抗性ダイズ「スズヒメ」栽培後の線虫密度は当初の乾土1g当り約120卵から5卵程度に低下し、後作の感受性ダイズ「スズマル」の収量は回復した。アカクローバの密度低減効果は上記3作物と同等であったが、後作ダイズの収量はやや低かった。なお、上記のマメ科4作物はともにキタネグサレセンチュウの密度を高めた。