

浅耕栽培と施肥法または異なる作付体系の組合せがダイズシストセンチュウ (*Heterodera glycines*) の卵密度推移とダイズの生育に及ぼす影響

田澤純子¹⁾・山本泰由¹⁾・臼木一英²⁾・三浦重典¹⁾

(¹⁾ 中央農業総合研究センター, ²⁾ 北海道農業研究センター)

要旨: ダイズの作付拡大, 特に連作の増加に伴いダイズシストセンチュウの被害の拡大が懸念されており, 耕種的防除法の確立が望まれている. そこで, 耕起法の違い (普通耕: ロータリ耕深 15 cm, 浅耕: 同 5 cm) と, 石灰窒素, 牛糞堆肥の施肥, またはダイズシストセンチュウの非宿主作物や対抗植物の導入との組合せが, ダイズシストセンチュウ卵密度推移に及ぼす影響を 4 年連続で調査した. 耕起法と施肥処理の組み合わせでは, ダイズシストセンチュウの卵密度は浅耕を継続した場合, 普通耕に比べ低く推移し, 土壌攪乱が少ないこととシストや卵に寄生する天敵微生物の検出率が高いことがその抑制要因として示唆された. 一方, 耕起法の違いに関わらず石灰窒素, 牛糞堆肥による密度抑制効果は明らかではなかった. 耕起法と作付体系の組み合わせでは, 耕起法より前作の影響の方が大きかったが, トウモロコシの後作ダイズでは普通耕によって卵密度が著しく増加したのに対し, 浅耕を継続した場合には低く抑えられた. またアカクロバを浅耕した跡地に浅耕で作付したダイズ収穫時の卵密度は被害許容水準を下回った. ダイズの収量は石灰窒素や牛糞堆肥の施用により増加が認められた. 以上の結果から, 継続した浅耕栽培がダイズシストセンチュウの密度抑制に効果的であり, また非宿主作物や対抗植物を前作とするときも浅耕栽培を継続することはそれらの持つ密度低減効果を増進する可能性が示唆された.

キーワード: アカクロバ, クロタラリア, 浅耕, ダイズ, ダイズシストセンチュウ, 天敵微生物, トウモロコシ.

水田転換畑におけるダイズの作付面積は 2001 年に 10 万 ha を超え, その後も増加しつつある. 転換畑では水稻などのブロックローテーションが推奨されているが, 2005 年の農林水産省生産局資料によるとダイズの連作面積は 34% に上っている. これに伴い, ダイズ黒根腐病や茎疫病等の土壌伝染性病害とともにダイズシストセンチュウ (*Heterodera glycines* Ichinohe) による被害が顕在化してきている. ダイズシストセンチュウは, マメ科植物の根にシスト (包囊) を形成し, それにより収量が激減する. シストは卵を包含しており, 卵はダイズ等マメ科植物の根が滲出する孵化促進物質の刺激により第 2 期幼虫として孵化し, さらにシストから土壤中へ遊出して植物体へ侵入する (相場 1992). シストは, 環境耐性が高いため土壤中に長期間生存できることから, 非宿主作物栽培との短期間 (1~2 年) の輪作では, シスト数が減少しても感受性品種を作付すると連作区と同程度までシスト数は復元するため (石川・渡辺 1983), 生産を安定させるには輪作期間の長期化が望ましい. また, 水稻栽培に伴う湛水により卵密度が減少することが明らかとなっている (酒井ら 1987) が, 現実にはブロックローテーションが導入できない場面も多く, ダイズシストセンチュウの被害が増加する傾向にある. 土壌燻蒸等の殺線虫剤を使用しても完全には抑制できない場合が多く (佐藤 1968), ダイズのような土地利用型作物にはコストや労力, 環境保全の面からも現実的とは言えない. このようなことから, 実用的で有効な防除法として, ダイズシストセンチュウの密度増加抑止や被害軽減のための各種土

壌管理による耕種的技術の開発が強く要請されている.

これまでに耕起法がダイズシストセンチュウ密度に及ぼす影響に関しては多数報告されている (Tyler ら 1983, Tyler ら 1987, Edward ら 1988, Koenning ら 1995, Howard ら 1998, Workneh ら 1999, Chen ら 2001, Noel and Wax 2003) が, 影響を及ぼしている場合とそうでない場合がある. 影響がみられた場合, 不耕起栽培では慣行の耕起栽培に比べてダイズシストセンチュウ密度が抑えられている (Tyler ら 1983, Tyler ら 1987, Edward ら 1988, Koenning ら 1995, Workneh ら 1999). その要因としては, 土壌が攪乱されないことの他に, 前作の麦稈被覆による地温の低下や有機物還元による本線虫捕食微生物の増加等が推察されている (Tyler ら 1983) が, 詳細は明らかとなっていない. また, 施肥管理によるダイズシストセンチュウ密度の抑制効果も多くの報告がある. 各種有機物の施用により化成肥料で栽培した場合より被害は軽減され, 生育及び収量が向上するが, ダイズシストセンチュウ密度は減少する場合と増加する場合が報告されている (井上・春木 1958, 関谷ら 1959, 上田・笠井 1993). さらに, 乾燥牛糞には本線虫の孵化促進効果を有する成分が含まれ, 播種 1 ヶ月前に施用するとシスト数を大幅に減少させることができる (松尾 2000) など, 有機物のダイズシストセンチュウに及ぼす影響は様々ではない. また, 石灰窒素はネグサレセンチュウに対する防除に有効であることが報告されている (斉藤ら 1983) が, ダイズシストセンチュウへの有効性についての報告は見られない.

第1表 実験1 (耕起法×施肥処理) の試験区の概要.

処理の種類	処理区	処理の内容
耕起法	普通耕	通常のロータリで地表面下 15 cm 程度耕起
	浅耕	通常のロータリで地表面下 5 cm 程度耕起
施肥処理	化成肥料	N : P : K=3 : 10 : 10 kg / 10 a
	石灰窒素	石灰窒素 75 kg / 10 a (窒素換算で約 14 kg / 10 a) (+ 化成肥料 N : P : K=3 : 10 : 10 kg / 10 a)
	牛糞堆肥 4 t	牛糞堆肥を 4 t / 10 a (窒素換算で約 29 kg / 10 a) (+ 化成肥料 N : P : K=3 : 10 : 10 kg / 10 a)
	牛糞堆肥 2 t	牛糞堆肥を 2 t / 10 a (窒素換算で約 14 kg / 10 a) (+ 化成肥料 N : P : K=3 : 10 : 10 kg / 10 a)

2002～2005 年に全試験区でダイズ・コムギを栽培した.

第2表 実験2 (耕起法×作付体系) の試験区の概要.

処理の種類	処理区	処理年	処理の内容
耕起法	普通耕	2002～2005	通常のロータリで地表面下 15 cm 程度耕起
	浅耕	2002～2005	通常のロータリで地表面下 5 cm 程度耕起
非宿主及び 対抗植物	トウモロコシ	2002～2004	パイオニア 33 G 26 施肥は N : P : K=10 : 10 : 10 kg / 10 a
	クロタラリア	2004	<i>Crotalaria spectabilis</i> (ネマキング) 施肥は N : P : K=10 : 10 : 10 kg / 10 a
	アカクローバ	2003 秋～2004	<i>Trifolium pratense</i> L. (ケンランド) 無施肥 (コムギと混播)

2005 年には全試験区でダイズを栽培した.

他方, 耕種的な線虫抑止技術として最も実用化が進んでいるのが対抗植物や非宿主植物を取り入れた輪作体系の導入である. 本線虫の対抗植物としてはクロタラリア (Kushida ら 2003), アカクローバ (串田ら 1997) やクリムソクローバ (山田ら 2004) が知られているが, ダイズの休閑に伴う収益性から導入場面は限られる.

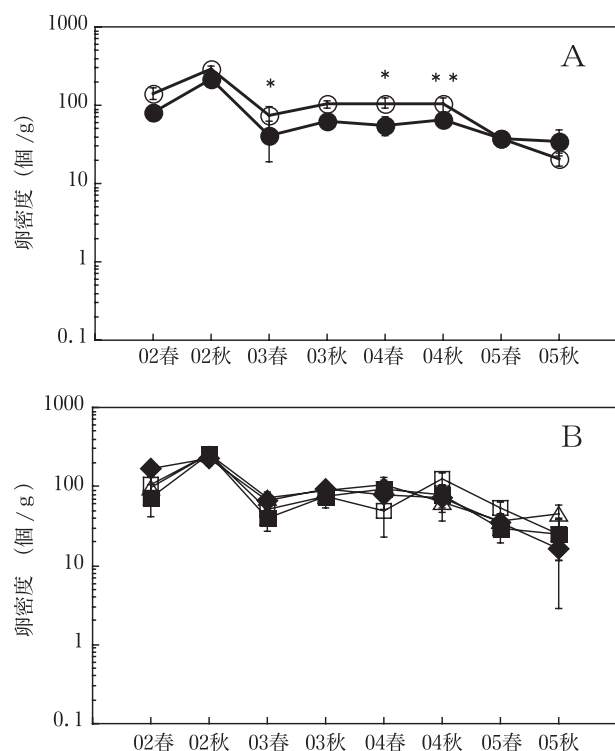
また, ダイズの連作を続けた場合, 一旦増加したダイズシストセンチュウの密度が減少する衰退現象が報告されている (橋本ら 1988). すなわち, ダイズを連作すると, 本線虫被害は急激に増加するが, さらに連作を続けると本線虫密度が減少に転じ, 被害も軽減することをいう. そのような圃場にシストが多く含まれた土壌を客土してもダイズシストセンチュウ密度が増加しないことから, その要因として天敵微生物の存在が示唆され, 実際にそのような増殖抑止土壌から卵寄生性糸状菌や *Pasteuria* 属のような出芽細菌などが検出されている (橋本ら 1988). しかし, 異なる耕起法のもとでの天敵微生物の経年的推移についてはこれまでにほとんど調査されていない.

これら上述した抑制効果は, それぞれ異なった環境条件で得られた知見だが, 経年的に同一圃場において比較検討した報告はこれまでにみられない. 本研究では, 耕起法と施肥の種類, もしくは非宿主作物や対抗植物との作付体系を組み合わせた管理がダイズシストセンチュウ密度および天敵微生物の推移に及ぼす影響の調査を同一圃場内で行い, それぞれの効果や組み合わせの効果について明らかにすることを目的とした.

材料と方法

1. 供試作物及び栽培方法

本試験は茨城県つくば市観音台の中央農業総合研究センターの畑試験圃場(淡色黒ボク土)にて2002～2005年に行った. この圃場は1998年からダイズを栽培し線虫密度を高めた圃場である. 試験は夏期にダイズ (品種: エンレイ), 冬期にコムギ (品種: バンドウワセ) を栽培する一年二作体系を基本とし, 耕起法と施肥処理を組み合わせた処理区を設定した (実験1, 第1表). 耕起法処理として, ロータリで15 cm 程度耕起した普通耕区に対して, ロータリで表面5 cm 程度耕起した浅耕区を設けた. 浅耕区においてはダイズ, コムギともに継続して浅耕栽培を行った. ダイズの施肥処理として, 石灰窒素区, 牛糞堆肥4 t 区, 牛糞堆肥2 t 区, 及び化成肥料区を設けた. 毎年6月10日前後にコムギを収穫し, シスト計数のための土壌採取を行った後, 化成肥料以外の資材を表面散布し, 普通耕区は耕深15 cm, 浅耕区は耕深5 cm でそれぞれロータリで耕耘した. ダイズ播種は, 石灰窒素によるダイズの生育阻害防止のため, 施肥後約2週間にあたる6月下旬に, 畝幅70 cm, 株間およそ10 cm で真空播種機で播種した. 化成肥料区は化成肥料のみとし, 他の肥料を施用した区を含む全処理区に3-10-10を100 kg / 10 a, 播種と同時に側条施用した. 試験規模は1区24 m², 2反復分割区法で実施した. なお, 2004年は播種時の乾燥により出芽が揃わなかったため再播種 (7月20日) した. 冬作のコムギは, ダイズ収穫後の11月中～下旬にドリルシーダで播種した (畝幅17 cm). また, 異なる作付体系と耕起法を組み合わせた試験区につ



第1図 耕起法および施肥処理によるダイズシストセンチュウ卵密度の推移

(土層：0-15 cm)。

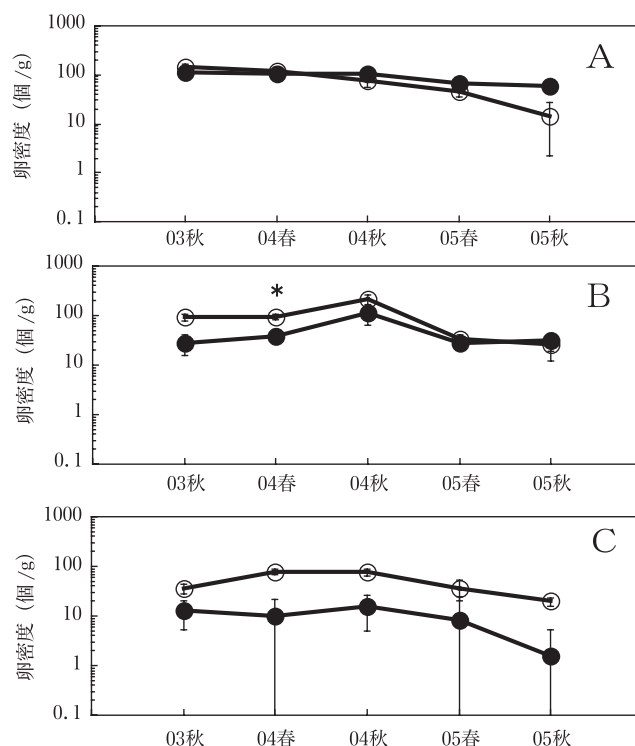
A：施肥処理を込みにした耕起法，B：耕起法を込みにした施肥処理。

○：普通耕，●：浅耕。

□：化成肥料，■：石灰窒素，・：牛糞堆肥 4 t，・：牛糞堆肥 2 t。

分散分析により，*，** はそれぞれ 5，1% で有意差有り。

図中の棒線は標準誤差（対数表示のため上下の長さが異なる）。



第2図 施肥処理を込みにした耕起法による深さ別ダイズシストセンチュウ卵密度の推移。

A：0-5 cm，B：5-10 cm，C：10-15 cm。

○：普通耕，●：浅耕。

* は分割区法でそれぞれ 5 % で有意差有り。

図中の棒線は標準誤差を示す（対数表示のため上下の長さが異なる）。

いても調査を行った（実験2，第2表）。すなわちダイズシストセンチュウの非宿主植物であるトウモロコシを3年間栽培したトウモロコシ区，対抗植物であるクロタリヤおよびアカクロバを夏作1作もしくは通年1作導入したクロタリヤ区およびアカクロバ区と耕起法を組み合わせた区を設けた。トウモロコシ区では2002～2004年の3カ年間，品種パイオニア 33 G26 をダイズと同日に播種（栽培密度：70 × 20 cm）し，化成肥料を N：P：K = 10：10：10 kg/10 a 側条施肥した。なお，刈り取りは黄熟期（9月下旬）に地際より刈り取り，圃場より持ち出した。クロタリヤ区では *Crotalaria spectabilis*（商品名：ネマキング雪印種苗）を2004年に栽培した。ダイズと同日に畝幅70 cm で条播し，9月下旬に地上部を持ち出した。アカクロバ区では2003年のダイズ収穫後に品種ケンランドを散播し（播種量：2 kg/10 a），その後にコムギを播種して混植した。2004年6月にはコムギ刈り取り後，アカクロバの栽培をそのまま継続し，2004年秋にすきこんだ。なおクロタリヤ，アカクロバ区とも2002，2003年にはダイズを栽培した。2005年度には実験1，2の全区においてダイズを栽培した。

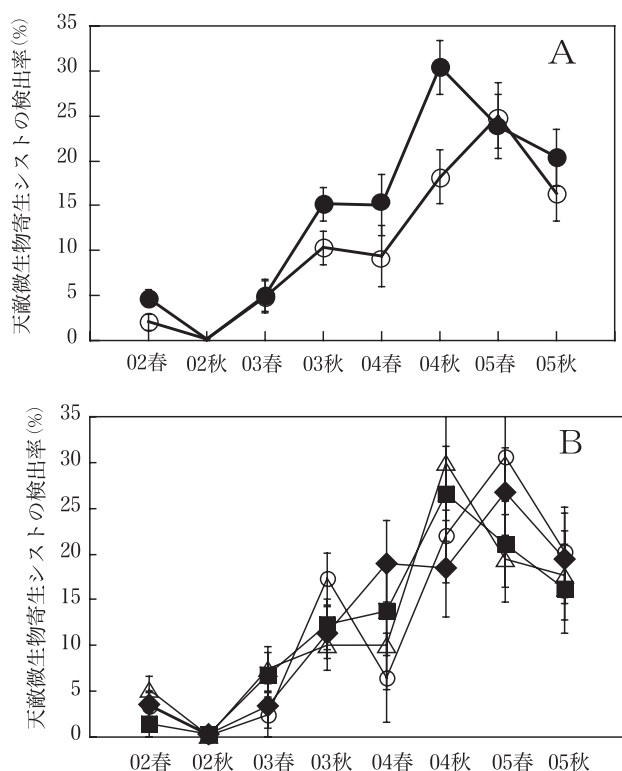
2. 生育と収量の調査

ダイズ生育初期の根に着生するダイズシストセンチュウ（雌成虫）数を播種時におけるダイズシストセンチュウの寄生性のポテンシャルとして，2004及び2005年に実験1の石灰窒素，牛糞4 t，及び化成肥料区について調査した。両年とも播種後1ヶ月後（2004年は8月19日，2005年は7月25日）に平均的な3株を抜き取り，実体顕微鏡下で雌成虫の着生数を根粒数とともに計数した。その時の地上部乾物重も測定した。ダイズの収量調査は各年10月末～11月初旬に行い，実験1，2の全処理区で連続する17株を3畦，合計4.2 m²を坪刈りし，収量を調査した。

3. シストの計数

実験1，2の各処理区とも，施肥処理前（6月中旬：各年春と呼称）及びダイズ収穫後（10月下旬：各年秋と呼称）に直径2.8 cmの採土管を用い1区につき8カ所の地表面から15 cmの土壌を採取した。風乾後ふるい分け法（百田2004）によりシストを集め，実体顕微鏡下で健全な蔵卵シスト（以下健全シストと呼称）と卵寄生性糸状菌及び出芽細菌等の感染が観察されたシスト（以下異常シストと呼称）

を選び出しそれぞれ計数した。健全シストについてはシストに含まれる卵数を計数した。異常シストについては、選出した全シスト数に対する異常シストの割合を検出率として算出した。2003 年秋からは実験 1 の各処理区において地表面から 5 cm ごとの土壌も採取し、同様にシスト数及び卵数を計数した。



第3図 天敵微生物検出率の推移 (0-15 cm)。

A: 施肥処理を込みにした耕起法, B: 耕起法を込みにした施肥処理。

○: 普通耕, ●: 浅耕。

□: 化成肥料, ■: 石灰窒素, △: 牛糞堆肥 4 t, ◇: 牛糞堆肥 2 t。

図中の棒線は標準誤差。

4. データ解析

以上の圃場試験で得られた結果は, SAS (SAS インスティテュートジャパン) を用いて分割区法による分散分析を行った。

結 果

1. 耕起法と施肥処理がダイズシストセンチュウ卵密度の推移に及ぼす影響

実験 1 における耕起法別卵密度の推移を対数で第 1 図 A に示した。2002 年春の試験開始時から 2002 年秋までは卵密度には普通耕及び浅耕の両耕起法間に有意な差は認められなかった。しかし 2003 年春には浅耕区の卵密度は 5% 水準で有意に低くなり、2004 年秋までは両耕起区とも同じような卵密度で推移した。また、2005 年には両耕起区においても卵密度は減少し、両耕起区間に有意な差は認められなかった。

施肥処理別の卵密度の推移を対数で第 1 図 B に示した。いずれの時期においても施肥処理間に有意な違いは認められなかった。なお、耕起法と施肥処理の間で交互作用はなかった。

土壌層別にみた耕起法別の卵密度の推移を対数で第 2 図 A に示した。地表面下 0-5 cm では両者にほとんど差がみられず、試験期間中の卵密度の平均値は普通耕区では単位風乾土重量あたり 82 個 (以下個/g と表記)、浅耕区では 89 個/g であった (第 2 図 A)。一方 5-10 cm の卵密度の平均値は、普通耕区で 92 個/g であったのに対し、浅耕区では 48 個/g (第 2 図 B)、10-15 cm では普通耕区で 51 個/g であったのに対し浅耕区では 9 個/g 以下 (第 2 図 C) と浅耕区で低い傾向を示した。

土壌層別にみた施肥処理の卵密度については、各区とも一定の傾向はみられなかった (データ省略)。

2. 耕起法と施肥処理が天敵微生物の検出率に及ぼす影響

実験 1 における卵寄生性糸状菌や天敵細菌の感染がみら

第3表 播種 1 ヶ月後のダイズ根に着生した雌成虫数、根粒数及びダイズ地上部乾物重。

耕起法	施肥処理	2004 年			2005 年		
		雌成虫数 (個 / 株)	根粒数 (個 / 株)	乾物重 (g / 株)	雌成虫数 (個 / 株)	根粒数 (個 / 株)	乾物重 (g / 株)
普通耕	石灰窒素	536	3	2.7	1063	6	3.15
	牛糞堆肥 4 t	208	8	5.1	531	5	4.00
	化成肥料	699	0	3.6	1355	6	2.75
浅耕	石灰窒素	361	9	5.6	462	25	4.00
	牛糞堆肥 4 t	200	27	7.3	441	22	4.00
	化成肥料	599	16	6.2	696	17	3.55
分散分析	耕起法	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	施肥処理	ns	ns	*	**	ns	ns
	交互作用	ns	ns	ns	*	ns	ns

分散分析により, *, ** はそれぞれ 5, 1% で有意差があることを, ns は有意差がないことを示す。

第4表 耕起法及び施肥処理の各処理区におけるダイズ収量 (kg/a).

耕起法	施肥処理	2002		2003		2004		2005	
		全重	子実重	全重	子実重	全重	子実重	全重	子実重
普通耕	化成肥料	23.3	8.6	15.6	6.0	25.5	10.1	32.9	15.3
	牛糞堆肥 2t	31.0	13.4	25.1	10.0	29.7	12.9	38.2	18.8
	牛糞堆肥 4t	34.8	15.9	27.6	10.3	31.0	11.5	41.4	20.3
	石灰窒素	38.1	19.3	30.3	12.9	26.5	11.4	42.1	22.9
浅耕	化成肥料	32.2	14.0	22.2	9.3	27.3	10.5	41.1	18.8
	牛糞堆肥 2t	32.2	13.8	32.1	12.8	26.8	9.5	40.1	17.0
	牛糞堆肥 4t	35.7	15.9	34.1	13.8	25.3	8.1	42.8	19.2
	石灰窒素	44.3	22.2	40.0	16.9	31.2	12.6	44.3	21.7
分散分析	耕起法	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	施肥処理	*	*	*	*	ns	ns	ns	*
	交互作用	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

分散分析により, * は5%で有意差があることを, ns は有意差がないことを示す.

れたシストの検出率の推移を耕起法別に第3図Aに示した. 試験開始直後は両区とも検出率0%に近かったが, ダイズの連作に伴い上昇し, 浅耕区では2004年秋に30.4%, 普通耕区では2005年春に25.0%でピークを示した後, 両区とも減少に転じた. 2003年秋から2004年秋までは浅耕区で普通耕に比べ高めに推移した. 施肥処理が検出率に及ぼす影響には大きな差はみられなかった(第3図B). 耕起法と施肥処理間の交互作用はなかった.

3. 各処理が雌成虫の着生数, 生育・収量に及ぼす影響

実験1における播種1ヶ月後の雌成虫数は2004年と2005年の2カ年とも浅耕区に比べて普通耕区で多く, 根粒数は浅耕区で多い傾向にあった(第3表). 施肥処理ごとにみると, 雌成虫数は牛糞堆肥4t区で低い傾向がみられ, 石灰窒素区も化成肥料区に比べると少ない傾向にあった(第3表). なお, 2005年の雌成虫数は耕起法と施肥処理間の交互作用が5%で有意であった. 生育期の乾物重は普通耕区に比べて浅耕区で勝っていた(第3表). 収量については, 施肥処理は各年とも有意差が認められ, 収穫期の全重, 子実重ともに石灰窒素区で最も高く, 以下牛糞堆肥4t区, 牛糞堆肥2t区とつづいた(第4表). なお, 2004年は出芽が揃わなかったため再播種したが, さらに度重なる台風に見舞われ, 生育・収量が著しく阻害された.

4. ダイズシストセンチュウ非宿主作物及び対抗植物と耕起法の組合せが卵密度に及ぼす影響

実験2における非宿主作物のトウモロコシを連作した, または途中に対抗植物栽培を導入した時の卵密度推移を第4図に示した. これらの作物を栽培することにより, 卵密度は低下し, 特にトウモロコシ栽培の浅耕区では2003年春から秋の卵密度の低下が顕著であり, 被害許容水準の目安(10個/g)以下に普通耕区より早く達した(浅耕区では2003年秋, 普通耕区では2004年秋, 第4図A). また,

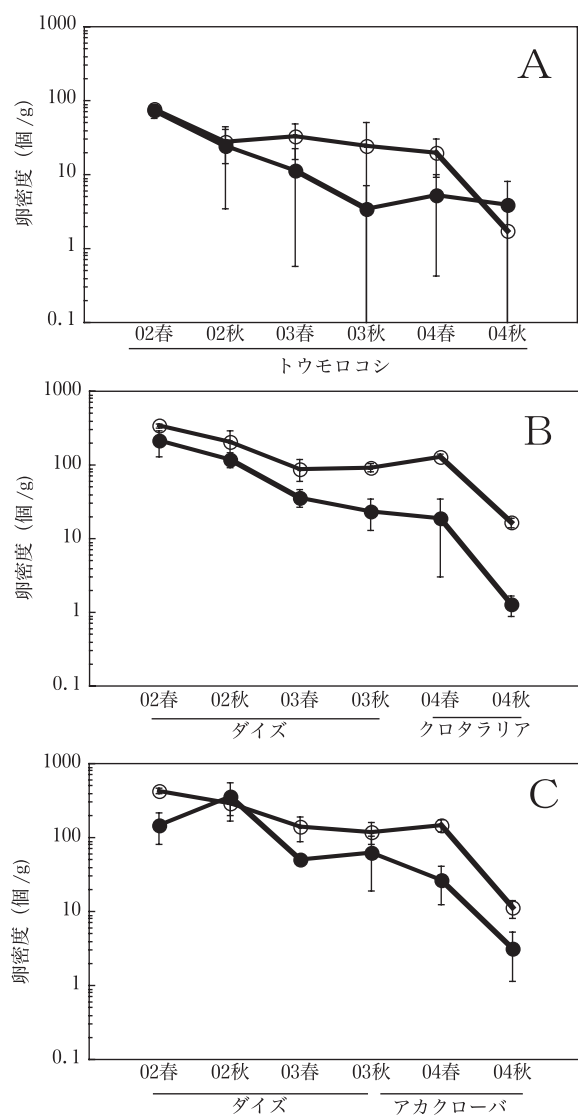
対抗植物としてクロタリヤを夏期に1作(6~9月)もしくはアカクロバを通年1作(11~翌年9月)栽培することにより卵密度を大幅に減少させることができた(第4図B, C).

それぞれの跡地にダイズを栽培するとトウモロコシ区では卵密度が急に増加したのに対し, アカクロバ区ではダイズ栽培後も被害許容水準である10個/g以下に抑えられた. 耕起法と前作の組合せで2005年秋の卵密度を分割区法で分散分析した結果, 両者の間には交互作用がみられ, トウモロコシの跡地では耕起法の影響が認められたが, 卵密度の低かったアカクロバの跡地では耕起法による差が小さかった(第5表). 実験2における非宿主作物及び対抗植物跡でのダイズ収量を第5表に示した. クロタリヤ区で高い収量を示し, 耕起法と前作との交互作用は見られなかった.

考 察

本研究では, ダイズを畑圃場において浅耕栽培することによりダイズシストセンチュウの卵密度が低く抑えられることが示された(第1図A). 耕起法の違いがダイズシストセンチュウの卵密度に及ぼす影響については, 不耕起栽培で卵密度が低いことが報告されており(Koenningら1995, Worknehら1999), その要因の一つとして土壌が攪拌されず線虫の移動が制限されることが指摘されている. 本研究においても層別に土壌を採取し卵密度を計数した結果, 地表面下0-5cmでは, 普通耕でも浅耕でも卵密度にほとんど差がみられなかったが, 5-15cmの層では浅耕で低い傾向にあった. このことから, 浅耕においても土壌の攪乱の程度が卵密度に影響していると考えられる.

本研究で得られたダイズシストセンチュウの卵密度推移を見ると, ・第1期=激増期(2002春~秋), ・第2期=恒常期(2003春~2004秋), ・第3期=衰退期(2005春~秋)の3期に分けられる. ダイズシストセンチュウの卵密度は



第4図 トウモロコシ (A), クロタラリア (B) 及びアカクローバ (C) 栽培に伴うダイズシストセンチュウ卵密度の推移 (0-15 cm).

○ : 普通耕, ● : 浅耕.

図中の棒線は標準誤差を示す (対数表示のため上下の長さが異なる).

感受性品種を作付けすることにより, 急激に増加すること (尾崎 1969), また初期密度が低いほど増加速度が高いこと (Kort 1962) が指摘されている. 本研究を行った関東地域では, ダイズ作付期間中に3~4世代程度生活環が進むことが示唆されており (井口ら 1983), これらが激増期の卵密度の増加の要因であると考えられる. 冬季を経て卵密度は一旦減少し, 恒常期において一定の卵密度水準が保たれた. その後天敵微生物の検出率の増加が認められた.

ダイズシストセンチュウの天敵微生物としては, 卵寄生性糸状菌として *Paecilomyces* sp. (赤坂 1989), *Verticillium chlamydosporium* (三井 1992) や *Fusarium oxysporum* (清水 1991), 及び第2期幼虫に寄生する出芽細菌 *Pasteuria* sp. (西澤 1992) 等が知られている. 連作によるダイズシストセンチュウの衰退現象には, 天敵微生物の影響が指摘されている (橋本ら 1988). 本研究においては, それぞれの卵寄生性糸状菌や天敵細菌を分離・同定したわけではないが, 連作することで天敵微生物の検出率が上昇する傾向が認められ, 両耕起区ともに検出率が25~30%でピークに達した後, 卵密度とともに検出率も減少した. さらに, 卵密度が衰退期に移行する現象は浅耕により顕著であり, 土壌の攪乱が天敵微生物感染に影響することを示唆している.

施肥処理については明らかな卵密度抑制効果は認められなかった (第1図B) が, 播種1ヶ月後の根に着生している雌成虫数は化成肥料区に比べ牛糞4t区及び石灰窒素区において減少する傾向がみられた (第3表). 松尾 (2000) は, 宿主作物の播種前1ヶ月の間に孵化幼虫が餓死するため, 乾燥牛糞の最適施用時期は播種1ヶ月前としている. 本研究においては, ダイズの播種までの期間が牛糞堆肥施用から2週間と短かったが, 播種後1ヶ月の根に着生している雌成虫数は他の区に比べて低い傾向がみられ (第3表), 初期の段階での感染促進は観察されなかった. しかし, 収穫期における卵密度に及ぼす効果は明瞭でなく, また, 連年施用による密度低減効果についても明らかではなかった.

試験開始からダイズシストセンチュウの非宿主作物であ

第5表 耕起法及び作付体系の各処理区における卵密度とダイズ収量 (2005).

耕起法	前作	卵密度 (個/g)		収量 (kg/a)	
		2005 春	2005 秋	全重	子実重
普通耕	トウモロコシ	6	226	38.8	19.3
	クロタラリア	15	43	48.3	25.4
	アカクローバ	4	14	44.4	23.2
浅耕	トウモロコシ	1	58	43.8	19.9
	クロタラリア	2	19	52.3	25.3
	アカクローバ	2	3	45.8	22.2
分散分析	耕起法	ns	ns	ns	ns
	前作	ns	*	*	*
	交互作用	ns	*	ns	ns

分散分析により, * は5%で有意差があることを, ns は有意差がないことを示す.

るトウモロコシを連作した試験区では卵密度は低く抑えられたが、この場合も浅耕栽培を組み合わせた区では普通耕区に比べて卵密度が早く低下した（第4図A）。一般的にダイズシストセンチュウの被害は10個/g以下ではほとんどみられない（相場1992）といわれるが、浅耕のトウモロコシ区では試験開始2作後にはその被害許容水準の目安に達していた。しかし、普通耕ではその水準に達するまでさらにもう1年必要であった。トウモロコシ3作後にダイズを栽培した跡地の卵密度は、普通耕区では非常に高密度まで急増した（第5表）。一方、浅耕区でも増加はしたものの、普通耕区の1/5程度であった。この結果からも、継続した浅耕栽培がダイズシストセンチュウの増加抑制効果を有することが示唆される。

クロタリリアとアカクローバはダイズシストセンチュウ対抗植物としてすでに知られており、これらの植物は根から孵化物質を放出し、幼虫が根に侵入はするがそれ以上発育が進まず、線虫密度を低減させるという機作が明らかとなっている（Kushidaら2003, 山田ら2003）。本研究では、耕起法とこれら対抗植物栽培を導入した場合の推移から（第4図B, C）、対抗植物導入前の2カ年のダイズ栽培で浅耕区と普通耕区の間にダイズシストセンチュウ卵密度に明らかに差が生じていたが、両耕起区とも対抗植物を導入することによりダイズシストセンチュウ密度は大幅に減少した。さらに、その跡地ではダイズ栽培後も密度増加が抑制される傾向にあった（第5表）。特に浅耕のアカクローバ跡ではダイズ栽培後も卵密度は被害許容水準の目安（10卵/g）以下に維持された。この結果、耕起法と作付体系の実験では耕起法による有意差はないが、前作の作物種による効果の有意差が示された。但し、2005年は耕起法と作付体系両者の間に交互作用がみられた（第5表）ことから、前作の種類によって耕起法の及ぼす影響が異なり、浅耕で栽培した非宿主作物や対抗植物の効果については今後さらに検討が必要であると考えられる。本試験において、アカクローバ跡でダイズ栽培後も卵密度増加の抑制が観察されたが、串田ら（1997）もコムギ間作にアカクローバを栽培した場合、次作のジャガイモ栽培中にも密度低下がみられ、アカクローバ栽培翌年にも効果が持続することを報告している。一方で、非宿主作物や対抗植物の効果はダイズ1作限りである（石川・渡辺1983, 山田ら2004）という報告もある。本試験ではアカクローバを冬から夏にかけて栽培しており、また、作業の関係上クロタリリアの地上部は系外に持ち出しアカクローバはすき込んだが、対抗植物の導入時期、期間や残差の処理方法等については別途検討が必要である。

本研究は試験期間中を通して高密度の線虫汚染圃場であったため、収量水準は全般に低かった。子実収量は倒伏や天候といった他要因にも大きく左右されるが、全重は再播種した2004年を除く全ての年で、浅耕区で普通耕区に比べて高い値であったが、有意差はみられなかった（第4

表）。また、土壤中の線虫密度にはあまり影響を及ぼさなかった施肥の効果が収量には現れており、石灰窒素区では線虫被害の著しい化成肥料区と比較して平均で6割程度の収量増がみられた。もちろん、石灰窒素区や牛糞堆肥区では土壌に施用された全窒素量が化成肥料区に比べて高いこともあるが、ダイズは施肥反応性が低い作物であり、実際初期のダイズ生育量には大きな差は見られなかった。また、前述したとおり、施肥処理が生育初期の根に着生した雌成虫数に影響を及ぼしており、施肥によるダイズ播種時のダイズシストセンチュウの寄生性の低下が後々の収量増加につながった可能性も考えられるが、施肥処理と寄生性に関しては今後さらに検討が必要であろう。

以上の結果から、ダイズの浅耕栽培はダイズシストセンチュウ卵密度増加を抑制することが明らかとなった。また非宿主作物や対抗植物の浅耕栽培はそれらの持つダイズシストセンチュウ卵密度低減効果を増進する可能性があることが示唆された。これらのことから、浅耕栽培は連作障害回避のための有効な栽培法であると考えられる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、中央農業総合研究センター主任研究員相場聡氏にはダイズシストセンチュウの調査法に関してご指導いただいた。近畿中国四国農業研究センター企画調整部長鳥越洋一博士には本稿の取りまとめにあたり懇切なご指導をいただいた。また中央農業総合研究センター業務1科の職員の方々、旧作付体系研究室の井上つや子氏、朴敏晶氏には、圃場の栽培管理やセンチュウ調査に多大なるご協力をいただいた。ここに記して深謝致します。

引用文献

- 相場聡 1992. ダイズシストセンチュウ. 中園和年編. 線虫研究の歩み. 日本線虫研究会. 東京. 125-128.
- 赤坂安盛 1989. 天敵微生物によるダイズシストセンチュウの防除. 1. ダイズシストセンチュウの卵から分離した菌の寄生性. 北日本病虫研報 40: 149-151.
- Chen, S. Y., W. C. Stienstra, W. E. Lueschen and T. R. Hoverstad 2001. Response of *Heterodera glycines* and soybean cultivar to tillage and row spacing. Plant Dis. 85: 311-316.
- Edward, J. H., D. L. Thurlow and J. T. Easom 1988. Influence of tillage and crop rotation on yields of corn, soybean, and wheat. Agron. J. 80: 76-80.
- 橋本鋼二・稲垣春郎・百田洋二・酒井真次・長沢次男・国分喜治郎 1988. 抵抗性程度の異なる大豆品種の連作による生育・収量並びにダイズシストセンチュウ密度の変動. 東北農試研報 78: 1-14.
- Howard, D. D., A. Y. Chambers and G. M. Lessman 1998. Rotation and fertilization effects of corn and soybean yields and soybean cyst nematode population in a no-tillage system. Agron. J. 90: 518-522.
- 井口慶三・百田洋二・稲垣春郎 1983. 筑波におけるダイズシストセンチュウの発生消長. 関東東山病害虫研報 30: 187-188.
- 井上寿・春木保 1958. ダイズシストセンチュウに関する調査 第3報 厩肥の施用が大豆ならびにシスト数に及ぼす影響. 北日本病虫研報 9: 89-90.

- 石川元一・渡辺耕造 1983. 輪作とダイズシストセンチュウ密度. 関東東山病害虫研報 30 : 189.
- Koenning, S. R., D. P. Schmitt and K. R. Barker 1995. Impact of crop rotation and tillage system on *Heterodera glycines* population density and soybean yield. *Plant Dis.* 79 : 282–286.
- Kort, J. 1962. Effect of population density on cyst production in *Heterodera rostochiensis* Woll. *Nematologica* 7 : 305–308.
- 串田篤彦・植原健人・百田洋二 1997. 春小麦の赤クローバ間作によるダイズシストセンチュウ密度低減効果. 農業低温科学情報 4 : 41–43.
- Kushida, A., N. Suwa, Y. Ueda and Y. Momota 2003. Effects of *Crotalaria juncea* and *C. spectabilis* on hatching and population density of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines* (Tylenchida : Heteroderidae). *Appl. Entomol. Zool.* 38 : 393–399.
- 松尾和之 2000. 家畜糞によるダイズシストセンチュウ防除法. 植物防疫 54 : 337–341.
- 三井康 1992. 線虫寄生菌の生態とその利用. 中園和年編, 線虫研究の歩み. 日本線虫研究会. 東京. 262–264.
- 百田洋二 2004. シストセンチュウ. 植物防疫 特8 : 23–24.
- 西澤務 1992. *Pasteuria* 属出芽細菌の種類と特性および利用上の諸問題. 中園和年編, 線虫研究の歩み. 日本線虫研究会. 東京. 267–271.
- Noel, G. R. and L. M. Wax 2003. Population dynamics of *Heterodera glycines* in conventional tillage and no-tillage soybean/corn cropping systems. *J. Nematol.* 35 : 104–109.
- 尾崎薫 1969. 北海道畑作中心地帯における輪作. 特に前後作組み合わせ様式に関する研究. 北農試報. 74 : 96–111.
- 酒井真次・村上昭一・長沢次男・橋本綱二 1987. ダイズシストセンチュウの動態に対する累年湛水処理の影響. 日作東北支部報 30 : 71–72.
- 齊藤雅典・金野隆光・石井和夫 1983. 石灰窒素によるダイズ連作障害の軽減. 東北農業研究 33 : 105–106.
- 佐藤昭美 1968. ダイズシストセンチュウの殺線虫剤感受性について. 北日本病虫研報 19 : 95.
- 清水啓 1991. 土壌温度及び土壌酸度が卵寄生菌 (*Fusarium* sp.) のダイズシストセンチュウ卵数及び卵寄生率に及ぼす影響. 日線虫誌 24 : 76–78.
- 関谷一郎・早河広美・呉羽好三・柳武・山岸義男 1959. ダイズシストセンチュウの被害防除について. 長野農試報 2 : 157–171.
- Tyler, D. D., J. R. Overton and A. Y. Chambers 1983. Tillage effects on soil properties, diseases, cyst nematodes, and soybean yields. *J. Soil Water Conserv.* 38 : 374–376.
- Tyler, D. D., A. Y. Chambers and L. D. Young 1987. No-tillage effects on population dynamics of soybean cyst nematode. *Agron. J.* 79 : 799–802.
- 上田康郎・笠井良雄 1993. ダイズシストセンチュウ発生圃場における有機物施用効果. 関東東山病害虫研報 40 : 301–302.
- Workneh, F., G. L. Tylka, X. B. Yang, J. Faghihi and J. M. Ferris 1999. Regional assessment of soybean brown stem rot, *Phytophthora sojae*, and *Heterodera glycines* using area-frame sampling : prevalence and effects of tillage. *Phytopathology* 89 : 204–211.
- 山田英一・橋爪健・高橋穰 2003. 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. 日線虫誌 33 : 1–13.
- 山田英一・佐久間太・橋爪健・高橋穰 2004. 秋まきコムギ収穫跡地に栽培したクリムソクローバおよびウーリーポッドベッチのダイズシストセンチュウ密度低減効果. 日線虫誌 34 : 31–37.

Effects of tillage method, fertilizer, and crop rotation on population dynamics of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) and soybean growth : Junko TAZAWA¹⁾, Hiroyuki YAMAMOTO¹⁾, Kazuei USUKI²⁾ and Shigenori MIURA¹⁾ (¹⁾National Agricultural Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan, ²⁾National Agricultural Research Center for Hokkaido Region)

Abstract : Recently, damages by soybean cyst nematode (SCN) are increasing in Japan, due to continuous cultivation of soybean, and the establishment of the culture method to control SCN is awaited. In this research, field experiments were conducted over four years. Various tillage methods were combined with fertilizers (chemical fertilizer, compost of cattle droppings and calcium cyanamide) and crop rotation with non-host and trap crops (corn, crotalaria, and red clover) to investigate their effects on the population dynamics of SCN and soybean yield. Shallow tilling (plowing depth : 5 cm) decreased the SCN population to a lower level than conventional tillage (plowing depth : 15 cm). It was attributed to fewer disturbances of soil and the presence of larger number of natural enemy microorganisms in the shallow tillage treatment. The effects of fertilizers on SCN were not clear. The effect of the preceding crop plant was greater than that of the tilling method. Corn cultivation before soybean increased SCN population drastically under the conventional tillage, but not under the shallow tillage. Suppressive effects of crotalaria and red clover on SCN remained during the following soybean cultivation, especially red clover cultivation with the shallow tillage kept SCN population under 10 eggs / g of dry soil. Soybean yield was increased by the application of calcium cyanamide and cattle manure. Consequently, it was suggested that the shallow tillage would be advantageous to decrease the SCN population, and to promote the suppressive effects of non-host or trap crops, such as corn, crotalaria, and red clover.

Keyword : Corn, Crotalaria, Natural enemy, Red clover, Shallow tillage, Soybean, Soybean cyst nematode.