

研究論文

栽培

10 年以上連作した畑作物の収量に及ぼす土壤燻蒸と有機物施用の影響

松崎守夫

(中央農業総合研究センター)

要旨：5 種類の畑作物，テンサイ，バレイショ，春播コムギ，ダイズ，アズキを連輪作した試験で，連作区 10 区，輪作区 1 区を設けた。連作区では，試験初期から有機物を連用した区，連作 11 年目以降，土壤燻蒸を行った区，それらの処理を行わない対照区を設けた。輪作区でも有機物連用，土壤燻蒸は行わなかった。連作 11～16 年目のデータについて，年度を反復とする分散分析を行い，輪作区に対する有意差から，連作による減収，その減収を軽減する処理について検討した。また，減収軽減をもたらす要因についても検討した。連作による減収はテンサイ，センチュウ抵抗性の弱いダイズ品種，アズキで著しかった。有機物施用は土壤の熱水抽出窒素濃度を増加させる傾向があり，テンサイの糖量，センチュウ抵抗性の弱いダイズ品種の収量も増加させた。しかし，連作したテンサイの糖量は，土壤の熱水抽出窒素濃度が同程度であっても，輪作区よりも低い値となったことから，連作によってテンサイの養分吸収力が低下したと考えられた。殺菌剤であるトリクロロニトロメタン（クロルピクリン）は，テンサイ，バレイショ，春播コムギのうち，テンサイの糖量を増加させた。殺センチュウ剤である 1, 3-ジクロロプロペン（D-D 剤）は，ダイズ，アズキのうち，アズキとセンチュウ抵抗性の弱いダイズ品種の収量を輪作区並に回復させた。連作したテンサイ，アズキでは，熱水抽出窒素濃度が低い場合でも，土壤燻蒸によって高い収量が得られ，この効果は，土壤燻蒸による殺菌・殺センチュウ効果に由来すると考えられた。

キーワード：アズキ，ダイズ，テンサイ，土壤燻蒸，春播コムギ，バレイショ，有機物施用，連作。

北海道の耕地面積は全国の耕地面積の 26% を占めており，わが国の食糧生産の重要な位置にある（2000 年度農業センサス）。中でも十勝地方は畑作に特化し，その面積は全国の普通畑面積の約 20% を占め（2000 年度農業センサス），全国のテンサイ，アズキ生産量の約 40%，バレイショ，コムギ生産量の約 30%，ダイズ生産量の約 6% をあげている（2004 年度作物統計）。十勝地方では作物の種類が少なく，1 年 1 作が基本であるため，通常 3～5 年周期の輪作が行われているが，この輪作体系においては，秋播コムギは連作されることが多い（松崎ら 1994）。同一作物の連作では，土壤病害をはじめとする諸要因による，いわゆる連作障害によって減収することがある。

連作障害の原因としては，土壤養分の欠乏，植物由来の化学物質，病害虫を含む土壤微生物などが挙げられている（平野 1977，松田ら 1980，西尾 1983，続ら 1995）。しかし，現在のような多肥農業では土壤養分の欠乏が問題となることは少なく，フェノール類などの化学物質が問題となるのは主に果樹や永年性草地と考えられている（西尾 1983）。連作障害の原因を土壤微生物とする報告は，野菜を含む一年生畑作物で多く（尾崎・浅井 1963，山田 1981，成田 1983，西尾 1983，松口・新田 1987，1988，松崎ら 1998），特に作物に障害を与える土壤病原菌，センチュウ類（以下，

土壤病害虫とする）の影響が著しいと考えられている（大畑ら 1985）。

同一作物を連作することによって，その作物根から分泌される糖，アミノ酸などを好む土壤病害虫が増加し，それらが後作物に寄生することが連作障害の一因と考えられる（鈴木ら 1980）。しかし，連作による減収は，土壤病害虫の被害がなくても認められ，病原性を持たない微生物も連作障害の原因となりうる（成田 1983，西尾 1983，松口・新田 1987，1988）。成田（1982a，1982b，1983）は 32 年間の連輪作試験において多くの実験を行い，連作の影響は土壤病害虫や，連作によって根面に優占する糸状菌によってもたらされると考察した。また，連作による減収の著しい作物では根面糸状菌相の多様性指数が大きく低下し（松口・新田 1987，1988），連作ダイズの根圏土壤では細菌相の多様性が抑制される（片山ら 2000）。

連作障害を軽減する方策としては施肥による養分供給，土壤燻蒸による殺菌効果がある（松実 1969）。著者らは前報（松崎ら 1998）で，松口・新田（1988）が開始したテンサイ，バレイショ，春播コムギ，アズキ，ダイズの連輪作・有機物施用試験に，連作 11 年目から土壤燻蒸処理も加えて試験を行い，有機物施用による養分供給効果，土壤燻蒸による殺菌，殺センチュウ効果によって，連作障害を軽減

第1表 各作物の耕種概要と供試品種.

	播種期	畦間 (cm)	株間 (cm)	施肥量 (g m ⁻²)			供試品種					
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	1990	1991	1992	1993	1994	1995
テンサイ	4月下旬	65	22.5	16.0	26.6	16.0	モノエース	→	←	モノエース S	→	→
バレイショ	4月下旬	65	30	10.0	15.7	12.9	←	←	←	農林1号	→	→
春播コムギ	4月下旬	34	条播	7.0	14.0	8.4	←	←	←	ハルユタカ	→	→
ダイズ	5月下旬	65	20 (2粒)	4.0	13.0	10.0	北見白	→	→	トヨムスメ	→	→
アズキ	5月下旬	65	20 (2粒)	4.0	13.0	10.0	宝小豆	→	→	エリモショウズ	→	→

* テンサイはペーパーポット (3月上旬に播種) を移植.

第2表 連作11~16年目における各試験区の処理内容.

	輪作	連作	土壤燻蒸	麦稈厩肥 (kg m ⁻²)	パーク堆肥 (kg m ⁻²)
輪作区	○	—	—	—	—
連作区					
連作対照区	—	○	—	—	—
土壤燻蒸区	—	○	○	—	—
土壤燻蒸 +	—	○	○	1.5	—
麦稈厩肥区	—	○	○	3.0	—
麦稈厩肥区	—	○	—	1.5	—
	—	○	—	3.0	—
	—	○	—	5.0	—
パーク堆肥区	—	○	—	—	1.5
	—	○	—	—	3.0
	—	○	—	—	5.0

* 有機物施用量は生重で示した.

できるかどうかを検討した. しかし, 有機物は養分を供給するだけでなく, 作物根の発達を促進するなど多様な効果を持つ (松口・新田 1987, 1988). また, 土壤燻蒸には殺菌・殺センチュウ効果だけでなく, 有機態窒素を無機化し (加藤ら 1985), 硝酸化成抑制 (有沢・加藤 1982) によって土壤中の無機態窒素を高く維持する効果もあるため, これらの効果を分けて解析することは困難であった.

有機物を連用すると, 作物収量が増加するとともに, 土壤に窒素が集積し, 10年程度で作物の窒素吸収量はほぼ一定の値となる (住田ら 2002). このように, 長期間有機物を連用した場合, 有機物施用量が多いほど土壤窒素が高い値を示し, 作物収量も高くなるものと考えられる. 長期間の有機物施用によって土壤窒素が高くなっているにも関わらず, 作物収量が低い場合には, その作物は何らかの理由, 例えば連作障害によって, 窒素を十分に吸収できなかったと考えられる. 本研究はこのような仮定に基づいて, テンサイ, バレイショ, 春播コムギ, ダイズ, アズキ連作試験の11~16年目において, 有機物施用, 並びに土壤燻蒸が収量に及ぼす影響を検討し, 各作物において, 連作による減収を軽減できる処理法の検討を行った. また, 土壤窒素と収量の関係を検討することで, 減収軽減をもたらした

要因についても考察を試みた.

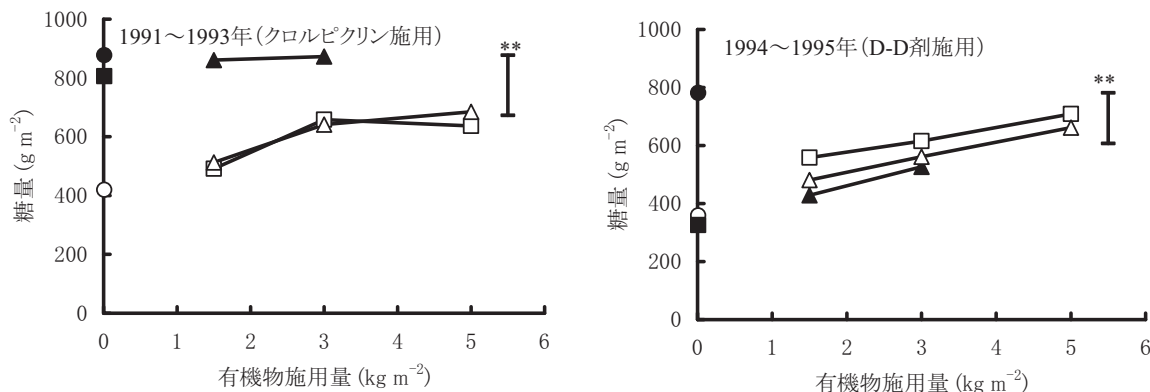
材料と方法

北海道河西郡芽室町にある北海道農業試験場畑作物 (現北海道農業研究センター畑作研究センター) で試験を行った. 第1表に示す通り, テンサイ (*Beta vulgaris* L.), バレイショ (ジャガイモ, *Solanum tuberosum* L.), 春播コムギ (*Triticum aestivum* L.), ダイズ (*Glycine max* Merr.), アズキ (*Phaseolus angularis* L.) を, 品種, 施肥量など若干の変更はあったものの, 1980年から16年間, ほぼ同一の耕種方法で栽培した. 試験区は1区 52 m² (10 × 5.2 m) とし, 第2表のように, 輪作区1区, 連作区10区を設けた. 連作区には無処理区である連作対照区, 土壤燻蒸区, 土壤燻蒸 + 麦稈厩肥 1.5, 3 kg m⁻² 施用区, 有機物のみを施用する麦稈厩肥 1.5, 3, 5 kg m⁻² 施用区, パーク堆肥 1.5, 3, 5 kg m⁻² 施用区を設けた. 有機物は毎年10月下旬に施用し, その直後にプラウによって圃場全面を耕起した. 輪作区は他の試験区から5 m 離して圃場の中央に設置し, 作付順序はテンサイ→バレイショ→アズキ→春播コムギ→ダイズとした.

土壤燻蒸区は, 連作10年目 (1989年) まで石灰窒素を

第3表 連作11～16年目における土壤燻蒸処理.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
テンサイ		← クロルピクリン →	← クロルピクリン →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →
パレイショ		← クロルピクリン →	← クロルピクリン →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →
春播コムギ		← クロルピクリン →	← クロルピクリン →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →
ダイズ	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →
アズキ	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →	← D-D 剤 →



第1図 連輪作, 土壤燻蒸, 有機物施用がテンサイの糖量に及ぼす影響 (1991～1995年).

●: 輪作区, ○: 連作対照区, ■: 土壤燻蒸区, ▲: 土壤燻蒸+麦稈肥区, △: 麦稈肥区, □: パーク堆肥区.

** は1%水準で有意, 縦棒はステューデント化した範囲を用いた最小有意差.

施用し, 連作11年目(1990年)以降に1,3-ジクロロプロペン(以下, D-D剤とする),あるいは,トリクロロニトロメタン(以下, クロルピクリンとする)による土壤燻蒸を行った(第3表). アズキ, ダイズでは, 融雪後D-D剤を30×30cm間隔で1穴3mL施用し, 耕うん・ガス抜きを行った後に播種した. テンサイ, パレイショ, 春播コムギの植付けは4月下旬であり, 融雪後の燻蒸ではガス抜きが間に合わないため, 前年秋にクロルピクリンを30×30cm間隔で1穴3mL施用した. そのため, 処理開始が1年遅れ, 連作12年目(1991年)からの施用となった. 連作15年目(1994年)からは, これらの3作物に対しても前年秋にD-D剤を施用した.

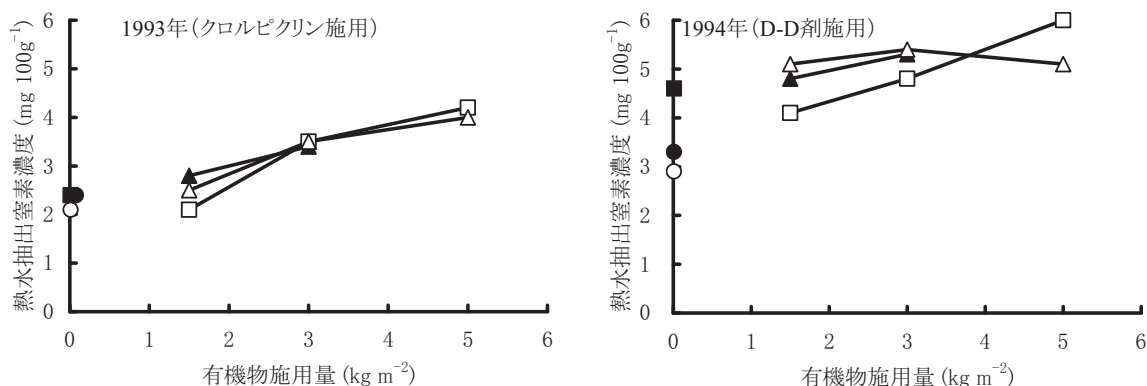
各作物の収量調査は, 2m²以上の面積について行った. テンサイは根重測定後, 糖分を冷水浸出法(農林水産省北海道農業試験場他1986)で測定し, 糖量(根重×糖分)を算出した. パレイショは上いも重(20g以上の塊茎の重量)を測定後, 約2kgの上いもの重量と水中重量を測定し, その値から比重(重量÷(重量-水中重量)), デンプン価(214×比重-217.184)を算出した(岡1976). デンプン収量は, 上いも重×(デンプン価-1)として算出した. 春播コムギ, アズキ, ダイズは子実重を収量とした. 土壤は1993年, 1994年の収穫後に, 株間の表層10cmの土壤を各区から5点採取し, 混合後風乾した. 土壤を100℃の熱水に2時間浸漬して窒素を抽出する熱水抽出法(赤塚・坂柳1964)によって, 窒素を測定した.

結果と考察

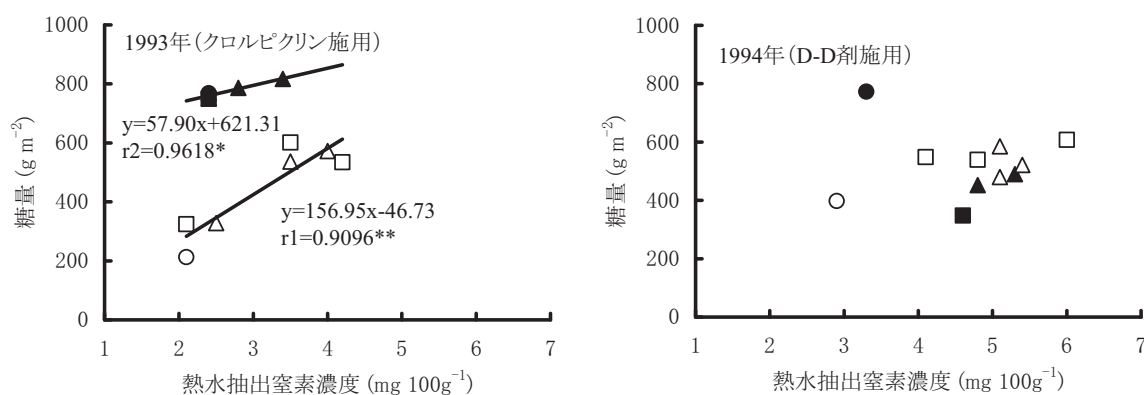
1. テンサイ

クロルピクリンを施用した1991～1993年, D-D剤を施用した1994～1995年の糖量について, 年度を反復とする分散分析を行った(第1図). いずれの場合にも, 連作対照区の糖量は, 輪作区より有意に低い値となり, 連作による減少が認められた. 有機物施用によって糖量は増加し, 3kg m⁻²以上施用することによって約600g m⁻²と, 輪作区の糖量と有意差がない値となった. テンサイの糖量は, 窒素吸収量15g m⁻²程度までは, 窒素吸収量の増加に伴い糖量は増加する傾向がある(奥村ら1989)ことから, 有機物からの窒素供給によって糖量が増加したものと考えられた. 土壤燻蒸の効果は薬剤によって異なり, 殺センチュウ剤であるD-D剤は効果を示さなかったが, 殺菌剤であるクロルピクリンによって, 糖量は輪作区とほぼ等しい値となった. 以上の糖量の変化は, ほぼ根重の変化と同様であった.

クロルピクリンを施用した1993年, D-D剤を施用した1994年の跡地土壤の熱水抽出窒素濃度を示した(第2図). 輪作区, 連作対照区, 土壤燻蒸区以外の区では, 1993年までに有機物を14回連用しているため, 土壤窒素はほぼ定常状態に達していると考えられる(住田ら2002). 熱水抽出窒素は可給態窒素と関係が深い(赤塚・坂柳1964). 可給態窒素は, 土壤中の無機態窒素だけではなく, 作物生育期間中に土壤から無機化する窒素も含む. 年度による相違



第2図 連輪作、土壤燻蒸、有機物施用がテンサイ跡地土壤の熱水抽出窒素濃度（乾土当り）に及ぼす影響（1993, 1994年）。
 ●：輪作区，○：連作対照区，■：土壤燻蒸区，▲：土壤燻蒸＋麦稈肥区，△：麦稈肥区，□：パーク堆肥区。
 左図では有機物施用量 0 kg m^{-2} の時の輪作区（●）と土壤燻蒸区（■）のシンボルが重なるため、輪作区（●）をずらして表示した。



第3図 テンサイ跡地土壤の熱水抽出窒素濃度（乾土当り）とテンサイの糖量の関係（1993, 1994年）。
 ●：輪作区，○：連作対照区，■：土壤燻蒸区，▲：土壤燻蒸＋麦稈肥区，△：麦稈肥区，□：パーク堆肥区。
 r^1 は1993年の連作7区（○，△，□）， r^2 は1993年の輪作区と土壤燻蒸区，土壤燻蒸＋麦稈肥区（●，■，▲）の相関係数。
 *は5%，**は1%水準で有意。

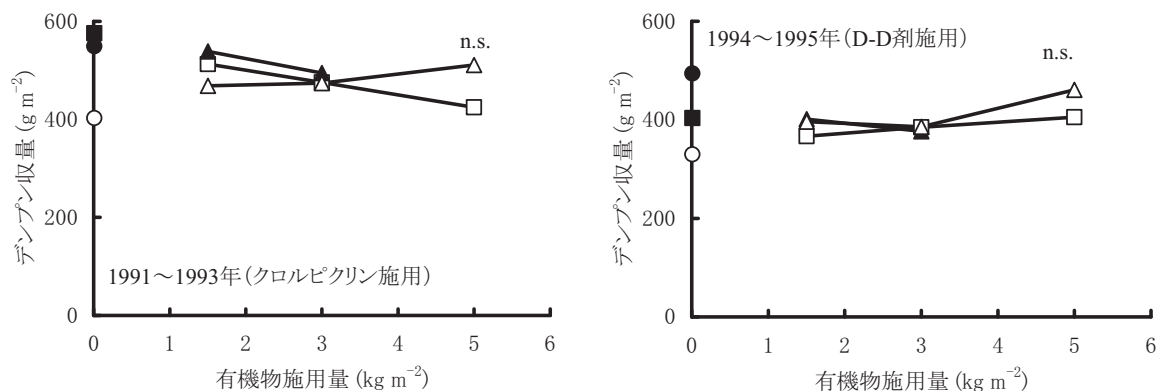
は見られるものの、有機物施用によって跡地土壤の熱水抽出窒素濃度も増加する傾向があり、土壤の可給態窒素も増加したことが示された。しかし、クロルピクリン、D-D剤とも熱水抽出窒素濃度に大きな影響を及ぼさなかったことは、クロルピクリンが糖量を大きく増加させたことと対照的であった。以下、熱水抽出窒素濃度を、有機物施用による土壤の窒素集積の指標として考察を行う。

跡地土壤の熱水抽出窒素濃度とテンサイの糖量の関係を検討したところ、クロルピクリンを施用した1993年における両者の関係は、2本の回帰直線で示された（第3図）。クロルピクリンを施用していない連作7区の糖量、並びに輪作区とクロルピクリンを施用した区の糖量は、いずれも熱水抽出窒素濃度に伴って増加した。しかし、熱水抽出窒素濃度が同程度の場合、輪作区とクロルピクリンを施用した区に比べ、連作7区の糖量は明らかに低くなった。このことは、連作7区のテンサイは、土壤の可給態窒素を十分に利用できなかった、すなわち、連作によってテンサイの

養分吸収力が低下したことを示唆する。また、クロルピクリンは、連作によって減少したテンサイの養分吸収力を、輪作区並に回復させたことになる。

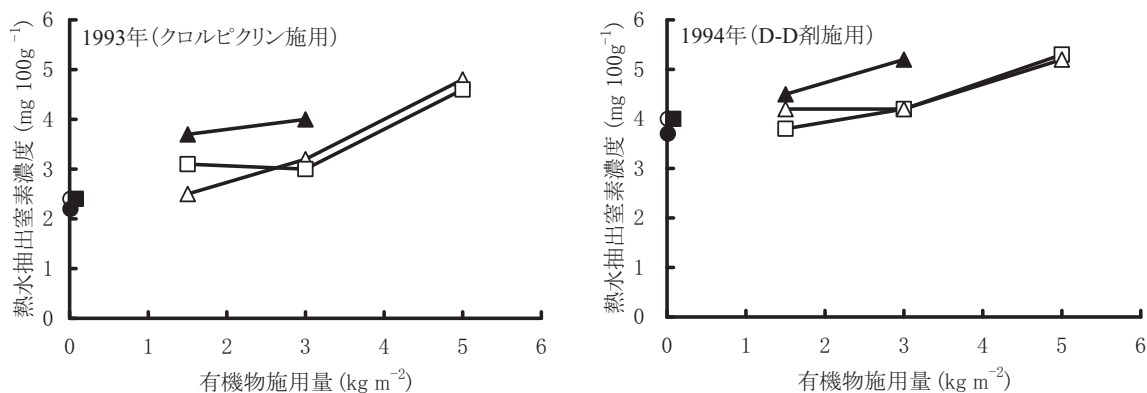
1994年にも、熱水抽出窒素濃度の増加に伴って、糖量が増加する傾向があったが、その相関は有意ではなかった。両者の関係は、輪作区と、D-D剤施用区を含む連作10区で異なり、輪作区では熱水抽出窒素濃度が低くても、糖量が高い値を示した。この結果から、連作によって養分吸収力が低下したこと、D-D剤はその低下を回復させる効果を示さなかったことが示唆された。

クロルピクリンはセンチュウ、土壤病原菌に効果があり、D-D剤はセンチュウに効果がある。従って、クロルピクリンによって土壤病害が抑制され、それによって糖量が増加した可能性が考えられた。しかし、本試験ではテンサイの連作病害である立枯病、そう根病は観察されておらず、クロルピクリンを施用した1991～1993年には根腐病も衰退傾向にあった（松崎ら1998）ため、クロルピクリンが土壤



第4図 連輪作, 土壌燻蒸, 有機物施用がバレイシヨのデンプン収量に及ぼす影響 (1991~1995年).

●: 輪作区, ○: 連作対照区, ■: 土壌燻蒸区, ▲: 土壌燻蒸+麦稈肥区, △: 麦稈肥区, □: パーク堆肥区, n.s.は有意差なし.



第5図 連輪作, 土壌燻蒸, 有機物施用がバレイシヨ跡地土壌の熱水抽出窒素濃度 (乾土当り) に及ぼす影響 (1993, 1994年).

●: 輪作区, ○: 連作対照区, ■: 土壌燻蒸区, ▲: 土壌燻蒸+麦稈肥区, △: 麦稈肥区, □: パーク堆肥区. 両図とも, 有機物施用量 0 kg m⁻² の時の連作対照区 (○) と土壌燻蒸区 (■) のシンボルが重なるため, 土壌燻蒸区 (■) をずらして表示した.

病害を抑制し, それによって, 糖量が回復したとは考えられなかった.

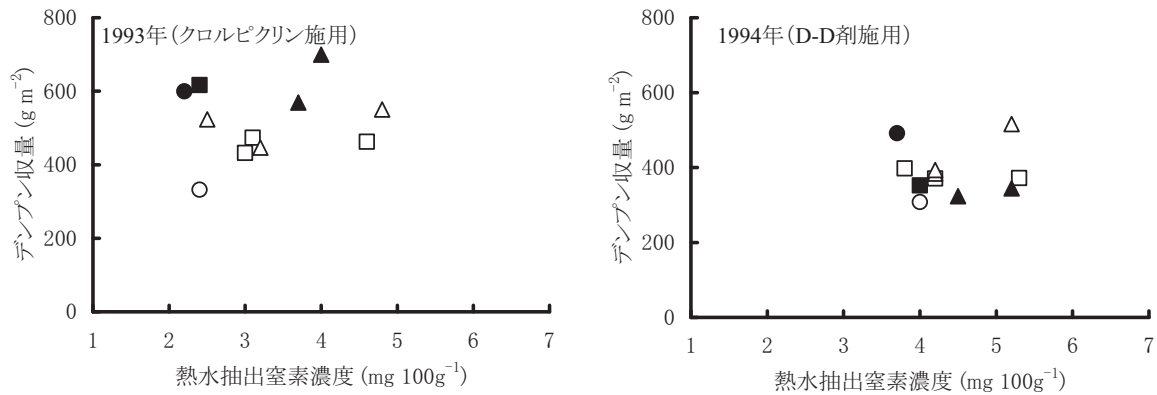
クロルピクリンは, 土壌病原菌以外の土壌微生物も殺菌したと考えられる. テンサイは連作によって根面糸状菌相の多様性が低下する, すなわち *Fusarium* など少数の糸状菌が増加することによって, 根群発達が低下する作物とされている (松口・新田 1987, 1988). 従って, クロルピクリンの殺菌効果によって, 連作によって増加した *Fusarium* などの糸状菌が減少し, 結果として根面糸状菌相の多様性が回復し, 糖量が回復した可能性も考えられた. ただ, クロルピクリンだけでなく, D-D 剤も糸状菌の増加を抑制する (浅野ら 1983) との報告もあり, これらの薬剤が土壌微生物相に及ぼす影響については, 今後検討する必要があると考えられた.

土壌の有機態窒素の無機化は, D-D 剤よりクロルピクリンで著しい (加藤ら 1985). また, 硝酸化成抑制効果は, 両剤ともに強い (有沢・加藤 1982). 従って, クロルピクリン施用によって土壌の有機態窒素が高く維持され, それ

によって収量が増加した可能性が考えられた. しかし, クロルピクリン施用時期が前年秋であり, テンサイ移植と5ヶ月以上隔たっていること, 硝酸化成抑制効果が持続するのが3ヶ月程度とされていること (有沢・加藤 1982) から, その可能性は低いと考えられた. 以上のように, 糖量に対する土壌燻蒸の効果は無機態窒素を高く維持することではなく, 土壌微生物に対する殺菌効果を介して発現したと考えられた.

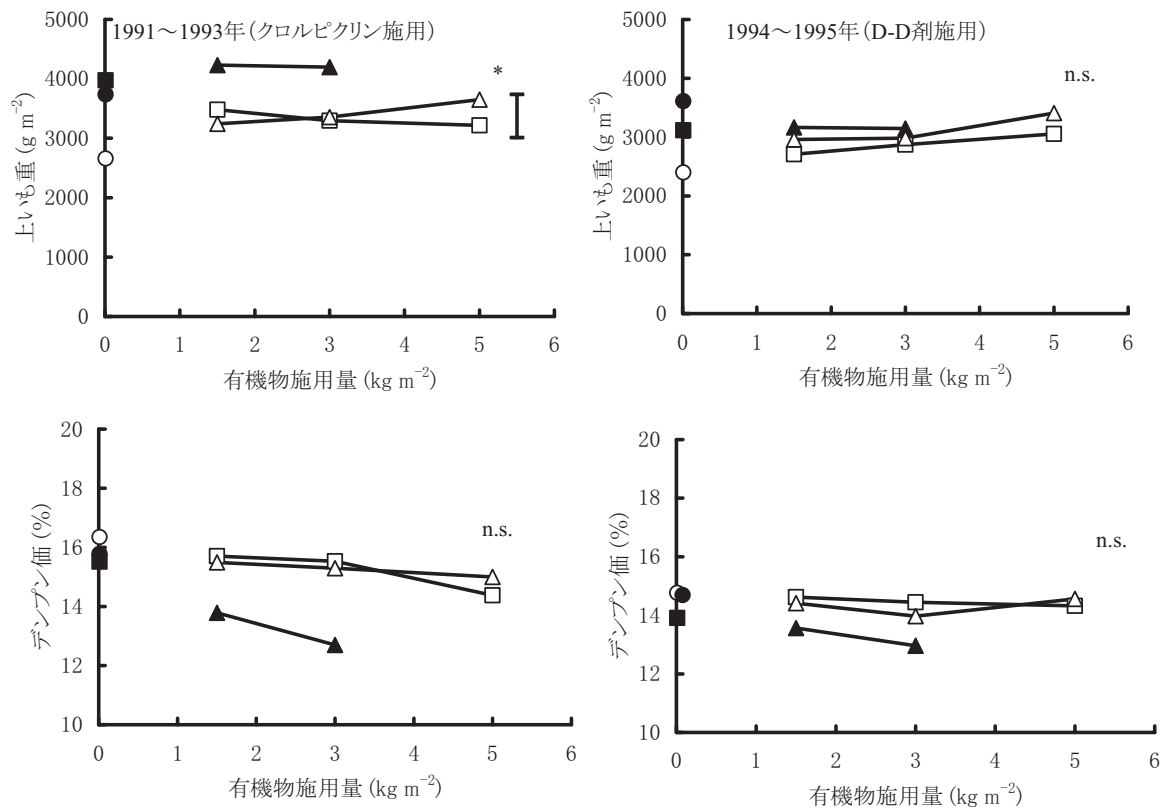
2. バレイシヨ

クロルピクリンを施用した 1991~1993 年, D-D 剤を施用した 1994~1995 年のデンプン収量について, 年度を反復とする分散分析を行ったが, いずれの場合も有意差は認められず, 有機物施用によってデンプン収量が増加する傾向も見られなかった (第4図). バレイシヨ跡地土壌の熱水抽出窒素濃度は有機物施用によって増加する傾向があった (第5図). 1993 年, 1994 年とも, バレイシヨ跡地土壌の熱水抽出窒素濃度とデンプン収量に有意な相関は認めら



第6図 バレイショ跡地土壤の熱水抽出窒素濃度(乾土当り)とバレイショのデンプン収量の関係(1993, 1994年).

●: 輪作区, ○: 連作対照区, ■: 土壤燻蒸区, ▲: 土壤燻蒸+麦稈厩肥区, △: 麦稈厩肥区, □: バーク堆肥区.



第7図 連輪作, 土壤燻蒸, 有機物施用がバレイショの上いも重, デンプン価に及ぼす影響(1991~1995年).

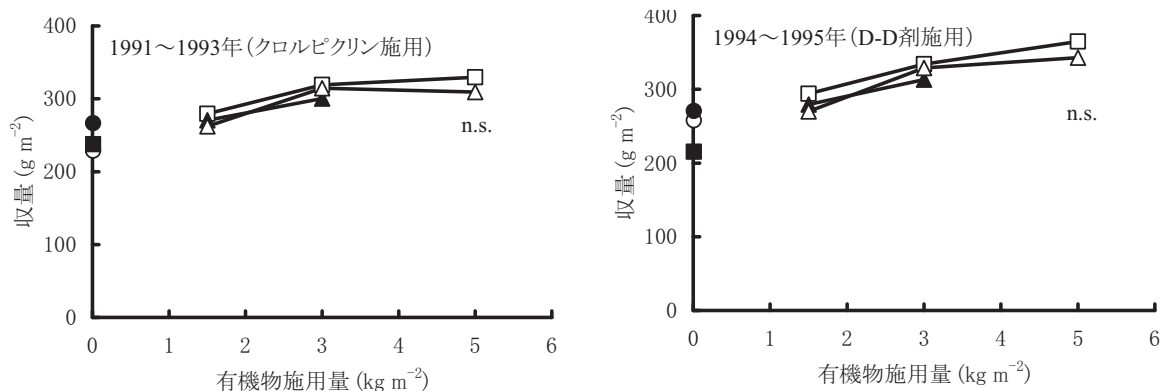
●: 輪作区, ○: 連作対照区, ■: 土壤燻蒸区, ▲: 土壤燻蒸+麦稈厩肥区, △: 麦稈厩肥区, □: バーク堆肥区.

*は5%水準で有意, n.s.は有意差なし. 右下図では, 有機物施用量 0 kg m^{-2} の時の連作対照区(○)と輪作区(●)のシンボルが重なるため, 輪作区(●)をずらして表示した

れず, 土壤の可給態窒素の増加によるデンプン収量の増加は認められなかった(第6図).

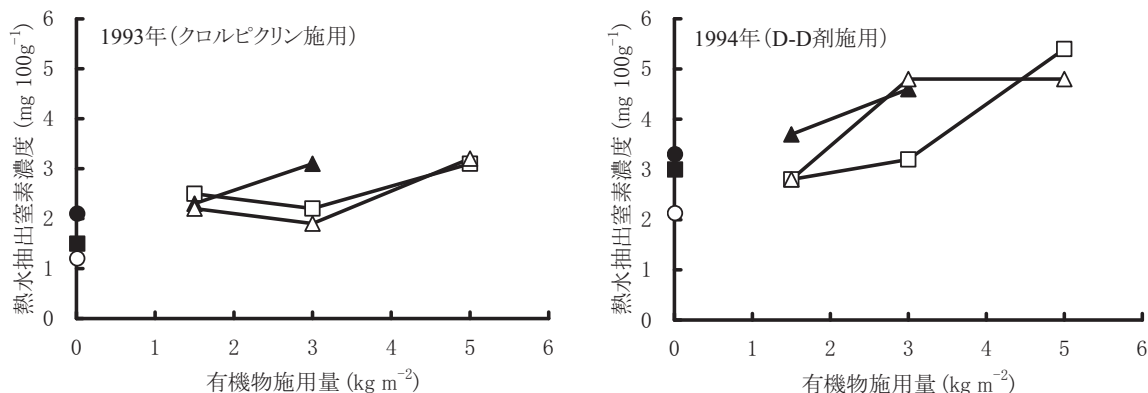
バレイショでは, 窒素増肥に伴って上いも重が増加するが, 施肥量が多すぎると逆にデンプン価が減少し, 結果としてデンプン収量が増加しない場合があることが報告されている(岡 1969). 本試験においても, 上いも重とデンプン価との関連を解析した(第7図). D-D剤を施用した1994~1995年には, 上いも重, デンプン価とも有意差は認

められなかったが, クロルピクリンを施用した1991~1993年には, 上いも重に有意差が認められた. 上いも重は連作によって減少し, クロルピクリンによって増加した. しかし, クロルピクリン施用によってデンプン価が減少したため, デンプン収量には大きな変化は見られなかった. 以上のように, 有機物, クロルピクリン等の処理によってデンプン収量がほとんど変動しなかったことは, 上いも重の増加に伴ってデンプン価が減少したことによると考えられ



第8図 連輪作, 土壌燻蒸, 有機物施用が春播コムギの収量に及ぼす影響 (1991~1995年).

●: 輪作区, ○: 連作対照区, ■: 土壌燻蒸区, ▲: 土壌燻蒸+麦稈厩肥区, △: 麦稈厩肥区, □: バーク堆肥区.
n.s. は有意差なし.



第9図 連輪作, 土壌燻蒸, 有機物施用が春播コムギ跡地の熱水抽出窒素濃度 (乾土当り) に及ぼす影響 (1993, 1994年).

●: 輪作区, ○: 連作対照区, ■: 土壌燻蒸区, ▲: 土壌燻蒸+麦稈厩肥区, △: 麦稈厩肥区, □: バーク堆肥区.

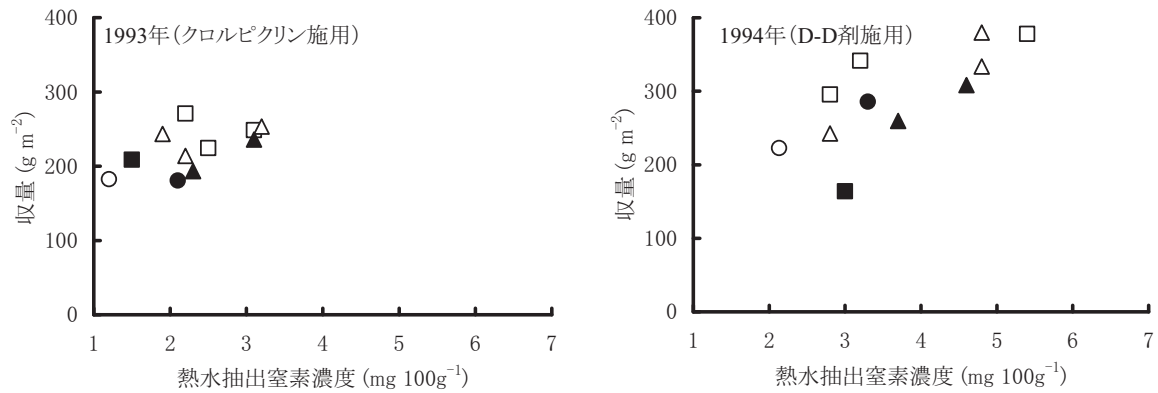
た.

第7図からは, バレイシヨ上いも重に対するクロルピクリンの効果は, テンサイと同様, 殺菌効果に由来すると考えられた. クロルピクリンを施用した時期にはそうか病が発生していたが, そうか病による上いも重の減少は認められなかった (松崎ら 1998). また, クロルピクリンによるそうか病抑制効果は pH 5.0 以下の場合に認められる (植松・片山 1990) が, 本試験の土壌 pH は約 5.5 であったため, クロルピクリンによるそうか病防除効果も認められなかった. すなわち, 上いも重に対するクロルピクリンの効果は, 病害抑制効果に基づくものではないと考えられた. また, バレイシヨは, 連作しても根面糸状菌相の多様性指数がそれほど低下しない作物とされている (松口・新田 1987, 1988) ため, 上いも重に対するクロルピクリンの効果が, 根面糸状菌相を介して発現したとも考えられなかった. 以上, クロルピクリン施用はバレイシヨ上いも重を増加させたが, 既往の報告からは, その原因を考察することはできなかった.

3. 春播コムギ

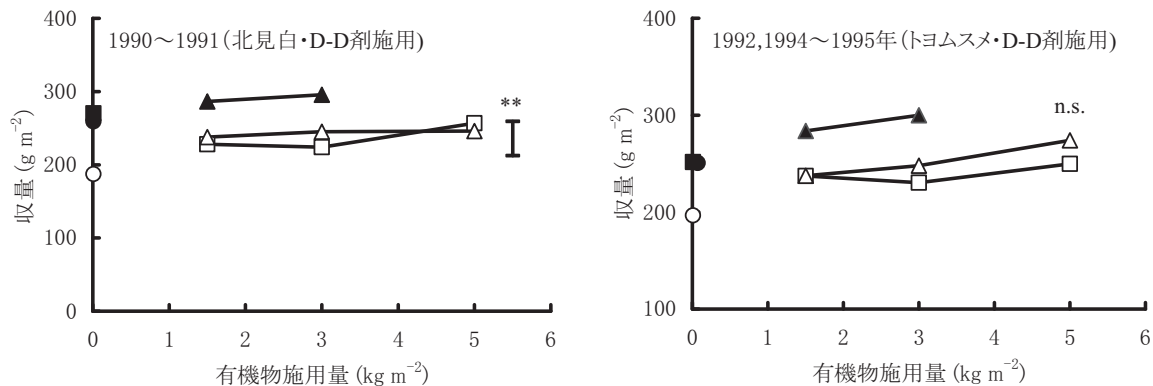
クロルピクリンを施用した 1991~1993 年, D-D 剤を施用した 1994~1995 年の収量について, 年度を反復とする分散分析を行った (第8図). いずれの処理によっても有意差は認められなかった. 有機物施用によって収量が増加する傾向があったが, 連輪作, 土壌燻蒸 (クロルピクリン, D-D 剤) による変化は認められなかった. 跡地土壌の熱水抽出窒素濃度は, 有機物を施用することによって増加する傾向があった (第9図). 跡地土壌の熱水抽出窒素濃度と収量に有意な相関は認められなかった (第10図) が, 熱水抽出窒素濃度の増加に伴い, 春播コムギの収量も増加する傾向を示した.

以上, 春播コムギでは連作による減収, クロルピクリン, D-D 剤の効果が認められなかった. 春播コムギは連作による減収, 根面糸状菌相の多様性低下がわずかな作物であり (松口・新田 1987), 土壌微生物による連作障害が現れにくい作物と考えられていることは, この結果と良く一致すると考えられた.



第10図 春播コムギ跡地土壤の熱水抽出窒素濃度（乾土当り）と春播コムギの収量の関係（1993, 1994年）。

●：輪作区，○：連作対照区，■：土壤燻蒸区，▲：土壤燻蒸＋麦稈肥肥区，△：麦稈肥肥区，□：パーク堆肥区。



第11図 連輪作，土壤燻蒸，有機物施用がダイズの収量に及ぼす影響（1990～1995年）。

冷害年である1993年の値は除外した。

●：輪作区，○：連作対照区，■：土壤燻蒸区，▲：土壤燻蒸＋麦稈肥肥区，△：麦稈肥肥区，□：パーク堆肥区。

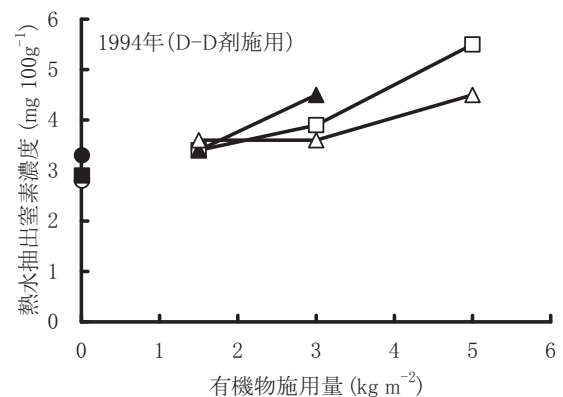
**は1%水準で有意，n.s.は有意差なし，縦棒はステューデント化した範囲を用いた最小有意差。

右図では，有機物施用量0 kg m⁻²の時の土壤燻蒸区（■）と輪作区（●）のシンボルが重なるため，輪作区（●）をずらして表示した。

4. ダイズ

ダイズ品種は1991年までセンチュウ抵抗性が弱い「北見白」，1992年以降はセンチュウ抵抗性の「トヨムスメ」（佐々木ら1988）を供試したため，品種ごとに年度を反復とする分散分析を行った（第11図）。なお，冷害年である1993年の収量は非常に低かったため，分散分析から除外した。「北見白」では1%水準の有意差が認められ，連作による減収，D-D剤による収量回復が認められた。各処理に対する「トヨムスメ」の反応は「北見白」と同様であったが，有意差は認められなかった。

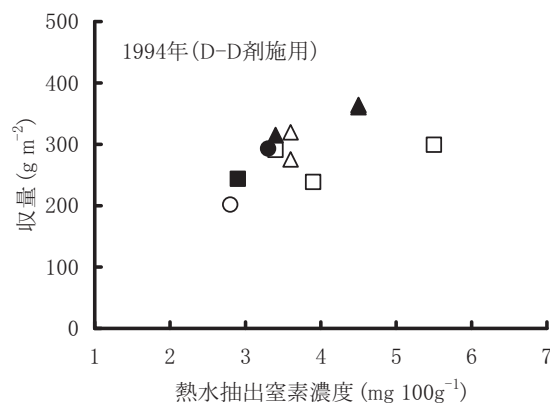
1994年の跡地土壤の熱水抽出窒素濃度は，有機物施用によって増加する傾向を示した（第12図）。跡地土壤の熱水抽出窒素濃度の増加に伴い収量も増加する傾向を示したが，有意な相関は認められなかった（第13図）。第13図からは，連作によってダイズの養分吸収力が低下するとは考えられないが，本図は連作，土壤燻蒸による収量の有意差が認められなかった「トヨムスメ」の結果であり，他の



第12図 連輪作，土壤燻蒸，有機物施用がダイズ品種「トヨムスメ」

跡地土壤の熱水抽出窒素濃度（乾土当り）に及ぼす影響。

●：輪作区，○：連作対照区，■：土壤燻蒸区，▲：土壤燻蒸＋麦稈肥肥区，△：麦稈肥肥区，□：パーク堆肥区。



第13図 ダイズ品種「トヨムスメ」における、跡地土壌の熱水抽出窒素濃度（乾土当り）と収量の関係。●：輪作区，○：連作対照区，■：土壌燻蒸区，▲：土壌燻蒸＋麦稈肥肥区，△：麦稈肥肥区，□：バーク堆肥区。

品種も含めたダイズの養分吸収力についての詳細な検討は今後の課題である。

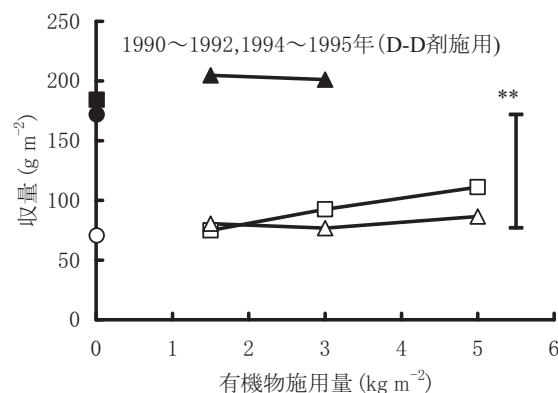
ダイズの連作による減収にはセンチュウが大きく関与する（尾崎・浅井 1963）が、センチュウは D-D 剤によって防除できる（岡田・森 1964）。本研究の結果でも、「北見白」は連作によって減収し、その減収は D-D 剤施用によって回復したこと、センチュウ抵抗性品種の「トヨムスメ」では連作、D-D 剤の影響は有意ではなかったことから、センチュウの影響によって連作ダイズが減収し、殺センチュウ効果によって連作の影響が除去された可能性が考えられた。

しかし、連作8年目以降、連作区のダイズシストセンチュウの卵密度は輪作区並に減少しており（松崎ら 1998）、ダイズシストセンチュウは衰退傾向（橋本ら 1988、赤坂 1989）にあったと考えられた。そのため、D-D 剤による減収軽減効果は、殺センチュウ効果以外に由来する可能性も考えられた。

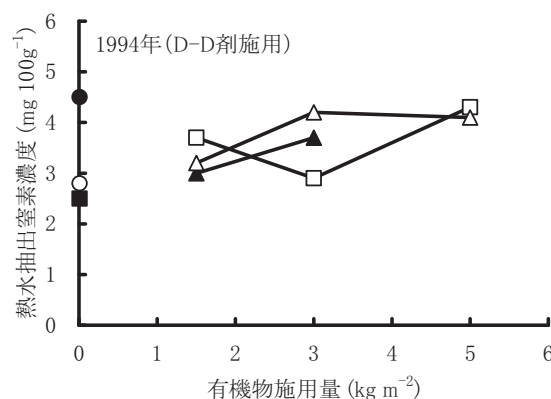
ダイズはテンサイと同様、連作によって根糸状菌相の多様性が著しく低下する、すなわち、*Fusarium* など特定の糸状菌が増加する作物である（松口・新田 1987）。しかし、テンサイの糖量が D-D 剤に影響されなかった（第1図）ことを考慮すると、ダイズに対する D-D 剤の効果が糸状菌に対する殺菌効果に由来する可能性は低いと考えられた。連作によるダイズの減収には、ダイズシストセンチュウだけでなく、それ以外の要因が関与する可能性が示唆されたが、その要因の特定はできなかった。

5. アズキ

供試した「宝小豆」、「エリモショウズ」は、いずれもセンチュウ抵抗性が特に強い品種ではない（村田ら 1985）。そこで、冷害年である 1993 年を除く 5 カ年について、両品種を含め、年度を反復とする分散分析を行った（第14図）。1%水準の有意差が認められ、連作による減収、D-D



第14図 連輪作、土壌燻蒸、有機物施用がアズキの収量に及ぼす影響（1990～1995年）。冷害年である 1993 年の値は除外した。●：輪作区，○：連作対照区，■：土壌燻蒸区，▲：土壌燻蒸＋麦稈肥肥区，△：麦稈肥肥区，□：バーク堆肥区。** は 1%水準で有意，縦棒はステューデント化した範囲を用いた最小有意差。

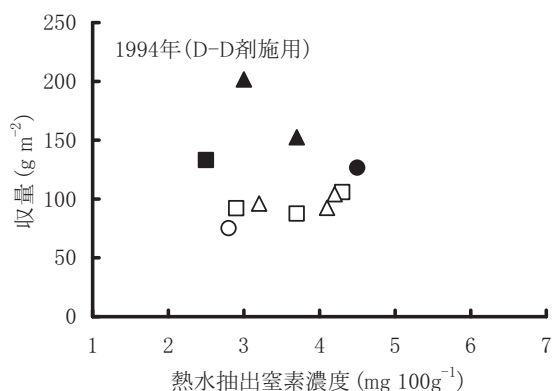


第15図 連輪作、土壌燻蒸、有機物施用がアズキ跡地土壌の熱水抽出窒素濃度（乾土当り）に及ぼす影響。●：輪作区，○：連作対照区，■：土壌燻蒸区，▲：土壌燻蒸＋麦稈肥肥区，△：麦稈肥肥区，□：バーク堆肥区。

剤による収量回復が認められた。また、有機物施用によって、収量はやや増加する傾向を示したが、その増加はわずかであった。

1994 年の跡地土壌の熱水抽出窒素濃度は、有機物施用量の多い区で高い傾向を示したが、有意差は認められなかった（第15図）。D-D 剤施用区以外の収量は、跡地土壌の熱水抽出窒素濃度の増加に伴い、やや増加する傾向を示した（第16図）。しかし、熱水抽出窒素濃度が同程度であっても、D-D 剤施用区の収量は、他の区よりも明らかに高い値を示した。この結果はテンサイの糖量と同様であり、アズキでも D-D 剤により養分吸収力が増加したと考えられた。

アズキでも連作区と輪作区のダイズシストセンチュウ卵密度は同程度であり、D-D 剤施用期間には、ダイズシストセンチュウは衰退傾向にあったと報告されている（松崎ら



第16図 アズキ跡地土壤の熱水抽出窒素濃度（乾土当り）とアズキの収量の関係。●：輪作区，○：連作対照区，■：土壌燻蒸区，▲：土壌燻蒸＋麦稈肥区，△：麦稈肥区，□：バーク堆肥区。

1998). このことを考慮すると、上記の収量の増加は、D-D 剤の殺センチュウ効果のみに起因するとは考えられない。また、アズキの連作によって根面糸状菌相の多様性指数が低下する（松口・新田 1987, 1988）が、D-D 剤は殺センチュウ剤であるため、糸状菌の殺菌に関与したとも考えにくい。

アズキの連作では落葉病（関口ら 1976, 松口・新田 1988）、ダイズシストセンチュウ（尾崎・浅井 1963）が発生する。落葉病の病徴である 8 月中下旬からの急激な落葉は、ダイズシストセンチュウと落葉病菌を混合接種した場合に認められ、ダイズシストセンチュウ、あるいは落葉病菌を単独で接種した場合には認められない（根岸・小林 1984）。本試験においても、D-D 剤の殺センチュウ効果が、落葉病を間接的に防除し、連作アズキの減収を回避した可能性が示唆された。

6. まとめ

10 年以上継続した連輪作試験において、連作作物に対する有機物施用、土壌燻蒸の影響を、試験 11～16 年目の収量から検討した。連作による減収はテンサイ、センチュウ抵抗性の弱いダイズ品種、アズキで著しく、バレイショ、春播コムギ、センチュウ抵抗性の強いダイズ品種では認められなかった。これらの傾向は、連作 7 年目までの結果（松口・新田 1988）とほぼ同様であったが、松口・新田（1988）との相違点は、バレイショ、ダイズで認められた。連作 7 年目までのバレイショでは、連作による塊茎重の減少もわずかであったが、連作 11～16 年目の結果では収量（デンプン収量）の減少は見られなかったものの、連作によって上いも重（塊茎重から 20 g 以下の塊茎を除外した重量）の減少が有意となることがあった。また、ダイズ品種「北見白」の減収はバレイショよりも著しいとされており（松口・新田 1988）、今回も同様の結果が得られたが、センチュウ抵抗性品種「トヨムスメ」を供試した場合には、連作による減収は有意とはならなかった。

有機物施用によって土壤の熱水抽出窒素濃度は増加する傾向を示し、テンサイの収量も増加した。バレイショのデンプン収量は有機物施用によって増加しなかったが、これは、窒素施用によって上いも重が増加する場合、施用量が多すぎるとデンプン価が減少傾向となる（岡 1969）ことによると考えられた。ただ、アズキでは、有機物施用による収量の増加はほとんどみられなかった。

殺センチュウ剤であり、殺菌効果が保証されていない D-D 剤を全作物に施用したが、D-D 剤はテンサイ、バレイショ、春播コムギには効果を及ぼさず、センチュウ抵抗性の弱いダイズ品種、アズキに効果を示した。テンサイ、バレイショ、春播コムギに D-D 剤が効果を示さなかったことは、これらの作物の連作時に問題となるのが主に土壤病害であるということが関係していると考えられた。ダイズ、アズキではダイズシストセンチュウによる減収が問題となるため、D-D 剤が効果を示したのであろう。しかし、D-D 剤施用期間にはダイズシストセンチュウは衰退傾向にあった（松崎ら 1998）ことにより、D-D 剤による減収軽減効果は、殺センチュウ以外の効果に由来する可能性も考えられた。ただ、アズキではダイズシストセンチュウ防除によって、間接的に落葉病を防除した可能性が示唆された。

クロルピクリンはテンサイに効果を示し、バレイショ、春播コムギに効果を示さなかった。これらの作物では殺センチュウ剤である D-D 剤も効果を示さなかったため、クロルピクリンの効果は殺菌作用に基づくと考えられた。しかし、クロルピクリン施用時にテンサイの土壤病害は確認されていなかったため、土壤病原菌に対する殺菌効果によって、連作による減収が回避されたとは考えられなかった。テンサイは連作によって根面糸状菌相の多様性指数が大きく低下し、バレイショ、春播コムギではわずかし低く低下しない（松口・新田 1987, 1988）。本研究において、クロルピクリンの効果がテンサイの糖量の上に認められたことは、クロルピクリンの殺菌効果によって、連作による根面糸状菌相の多様性低下が軽減される可能性が示唆された。しかし、根面糸状菌相の低下がわずかなバレイショでも、クロルピクリンは上いも重に効果を示しており、これら 3 作物に対する効果を、根面糸状菌相の変化のみに起因すると解釈するのは困難であった。

以上、連作による減収は、テンサイ、アズキで著しかった。連作したテンサイ、アズキでは、土壤の熱水抽出窒素濃度が高くても、輪作区並には収量が上がらない、すなわち、養分吸収力が低下する傾向が認められたが、この傾向は土壌燻蒸によって除去された。このことは、土壌燻蒸の殺菌・殺センチュウ効果が作物の養分吸収力を回復させたこと、すなわち、連作作物が土壤微生物に影響されたことを示唆する。また、本試験は 10 年以上連作しており、土壤病害虫が衰退傾向にあった（松崎ら 1998）ため、連作作物の減収は、土壤病害虫以外の土壤微生物によってもたらされた可能性も考えられた。

謝辞: 本報告のデータ収集、圃場管理には、新田恒雄中央農業総合研究センター北陸農業研究監をはじめとする試験担当者、北海道農業試験場職員の協力をいただき、テンサイの糖分測定は北海道立十勝農業試験場に協力いただきました。また、本報告をまとめるにあたり、東京農工大学平沢正教授にご助言いただきました。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 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. I 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.
- 赤塚恵・坂柳迪夫 1964. 畑土壌における窒素供給力の検定方法に関する2,3の考察. 北海道農試彙報 83: 64-70.
- 有沢道雄・加藤俊博 1982. 土壌消毒後の土壌養分の動態に関する研究 (第1報). 土壌消毒方法が土壌養分並びにトマトの生育収量に及ぼす影響. 愛知農総試研報 14: 154-161.
- 浅野峯男・加藤俊博・木下忠孝・有沢道雄 1983. 土壌消毒後の土壌養分の動態に関する研究 (第2報). 消毒歴が土壌微生物相の変化及び果菜類の生育・収量に及ぼす影響. 愛知農総試研報 15: 216-222.
- 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.
- 平野暁 1977. 作物の連作障害. 農文協, 東京. 181-212.
- 片山勝之・河本征臣・横山和成・山本泰由・木村武・皆川望・三浦憲蔵 2000. バイオロゲ微生物分類・同定システムを用いた根圏土壌細菌相の調査法と応用事例. 日作紀 69: 235-241.
- 加藤俊博・有澤道雄・浅野峯雄・武井昭夫 1985. 土壌消毒後の土壌養分の動態に関する研究 (第4報). 土壌消毒が土壌養分及び露地野菜の生育・収量に及ぼす影響. 愛知農総試研報 17: 296-305.
- 松田幹男・堀江正樹・本田勝雄・志村英二 1980. 畑輪作に関する研究. 第11報 42年間にわたる連・輪作方式における畑作物収量の推移について. 日作紀 49: 548-558.
- 松口龍彦・新田恒雄 1987. きゅう肥, 作物残渣の施用が畑作物の根群発達および根の糸状菌フロラに及ぼす影響. 土肥誌 58: 661-670.
- 松口龍彦・新田恒雄 1988. 連作に伴う根の糸状菌フロラの変動と根群発達に及ぼす堆きゅう肥施用効果. 土肥誌 59: 1-11.
- 松実成忠 1969. 連作障害-いわゆる"いや地"問題について-. 農及園 44: 309-312.
- 松崎守夫・橋本知義・昆忠男・豊田政一 1994. 面積データに基づく輪作体系の解析手法. 第2報 輪作体系の確認結果及びその検定. 日作紀 63: 15-20.
- 松崎守夫・濱口秀生・下名迫寛 1998. 普通畑作物の連作におけるきゅう肥施用・土壌薫蒸の効果. 北海道農試研報 166: 1-65.
- 村田吉平・成河智明・千葉一美・佐藤久泰・足立大山・松川勲 1985. あずき新品種「エリモショウズ」の育成について. 北海道立農試集報 53: 103-113.
- 成田保三郎 1982a. 連・輪作土壌の微生物作用. 土肥誌 53: 6-10.
- 成田保三郎 1982b. 連・輪作土壌の微生物フロラ. 土肥誌 53: 11-14.
- 成田保三郎 1983. 連・輪作による根面糸状菌とその接種試験. 土肥誌 54: 15-24.
- 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. 日植病報 50: 500-506.
- 西尾道徳 1983. 連作障害の発生について. 土肥誌 54: 64-73.
- 農林水産省北海道農業試験場他編 1986 てんさいに関する調査基準および用語集. 札幌. P.96.
- 大畑貫一・門間敏幸・北川靖夫・伊藤純雄・駒田旦 1985. 連作障害防止のためのほ場カルテシステムの開発 第1報 連作障害の実態解析と圃場カルテシステム開発の意義. 農研センター研報 4: 1-50.
- 岡啓 1969. 十勝地方におけるばれいしょの生産性向上に関する研究 第2報 燐酸多施肥条件下におけるN施用量とばれいしょの生育反応. 北海道農試彙報 95: 53-64.
- 岡啓 1976. ばれいしょ塊茎の粒大別でん粉価とその変異. 北農 43(5): 23-30.
- 岡田利承・森哲郎 1964. 土壌燻蒸剤の拡散に関する研究 第2報 注入深度の違いによるDDの拡散とダイズシストセンチュウに対する防除範囲. 北海道農試彙報 83: 24-31.
- 奥村正敏・松崎康範・野村信史・相馬暁 1989. テンサイの糖分向上と施肥窒素および堆肥の相互関係. 北海道立農試集報 59: 21-29.
- 尾崎薫・浅井三男 1963. 畑輪作における前後作組合せ様式に関する研究. 第2報 ダイズシストセンチュウと前後作との関係. 北海道農試彙報 81: 11-21.
- 佐々木紘一・砂田喜与志・土屋武彦・酒井真次・紙谷元一・伊藤武・三部一敬 1988. だいち新品種「トヨムスメ」の育成について. 北海道立農試集報 57: 1-12.
- 関口明・藤原耕治・前田要 1976. 水田転換畑における豆類の連作栽培について. 第1報 小豆の連作栽培. 北農 43(6): 24-38.
- 住田弘一・加藤直人・西田瑞彦 2002 寒冷地灰色低地土水田における堆肥長期連用試験からみた化成肥料及び堆肥中の窒素の行方. 東北農研研報 100: 49-59.
- 鈴木達彦・設楽惣助・福田修一・辰巳弘祐・松田幸久・塚内芳巳 1980. 作物根圏の微生物. 土と微生物 22: 47-63.
- 続栄治・島崎敦・ロサパティ ウルカラ ナイバルレブ・富山一男 1995. サトイモの連作障害とそれに関与する要因. 日作紀 64: 195-200.
- 植松勉・片山克己 1990. ジャガイモの連作下におけるそうか病の発生生態と防除対策. 長崎総農林試研報 (農業部門) 18: 61-115.
- 山田盾 1981. 陸稲・畑水稻の連作障害の発現要因とその防除法に関する研究. 農事試研報 35: 235-265.

The Effect of Soil Fumigation and Organic Matter Application on Yield of Five Field Crops Planted Continuously more than Ten Years : Morio MATSUZAKI (*Natl. Agr. Res. Cent., Tsukuba 305-8666, Japan*)

Abstract : Five field crops, sugar beet (*Beta vulgaris* L.), potato (*Solanum tuberosum* L.), spring wheat (*Triticum aestivum* L.), soybean (*Glycine max* Merr.), and adzuki bean (*Phaseolus angularis* L.) were planted continuously or rotationally for 16 years in northern Japan by using almost the same cultivation method during the 16 years. In 10 continuous cropping plots, organic matter was applied to 8 plots throughout the 16 years, and soil fumigation was conducted in 3 plots in the last 6 years. Soil was fumigated with 1,3-dichloropropene (D-D) or trichloronitromethane (chloropicrin). We investigated the yield of each crop from 11 to 16 years. The yield decrease by continuous cropping was significant in sugar beet, soybean cultivar susceptible to soybean cyst nematode and adzuki bean. Available nitrogen in soil was increased by organic matter application. The yield of sugar beet was increased by organic matter application, probably through the increase in available nitrogen in soil. However, even when available nitrogen concentration in soil was almost the same, the yield of sugar beet in continuous cropping was lower than that in rotation cropping. This suggested that sugar beet could not sufficiently utilize available nitrogen in soil in continuous cropping. In continuous cropping of sugar beet and adzuki bean, soil fumigation increased the yield independent of the concentration of available nitrogen in soil. Therefore, it was suggested that this effect of soil fumigation was caused by soil sterilization.

Key words : Azuki bean, Continuous cropping, Organic matter application, Potato, Soil fumigation, Soybean, Spring wheat, Sugar beet.
