

緒

論

畑作物の連・輪作栽培長期試験は国の内外で数多く実施されており、諸外国における代表例を、Rothamsted¹⁾ Illinois²⁾ また、国内でも鹿児島³⁾ 愛知⁴⁾ 栃木⁵⁾ 青森⁶⁾ の各農業試験場の成績にみることができる。北海道における試験は「輪作試験の集録」⁷⁾ 「北海道農業技術研究史」⁸⁾ および「北海道農業における連・輪作の展開」⁹⁾ に記されている。

北海道立北見農業試験場では1959年に長期連・輪作畑試験を開始し、現在もおお継続実施しているが、それに至った経緯は次のとおりである。

北海道の開拓は、まず、畑作を中心として進められたが、その頃から輪作の必要性が提唱され、以来、今日まで連・輪作に関する試験は、その時代の農業の姿を反映しながら推進されてきた。

当初の試験の多くは地力維持に関するものであって、開墾畑に無肥料で作物を連作すれば何年程で地力が減耗するかを調べたものであった。その結果、連作による収量低下が著しいことを認め、狭義の輪作試験が始められた。その後、第一次世界大戦の余波として、いわゆる「豆ブーム」、「でん粉景気」が起り、これらの作物の連作が行なわれ、その結果、豆類、とくに、えん豆の連作障害が発生し、著しい被害を生じた。そのため病虫害からみた連作耐久年限、および一作物の作付間隔年数の研究が起り、それとともに作付順序、前後作に関する研究が行なわれ始めた。この間、農家も地力略奪の経営が、いかに危険であり、かつ略奪的耕作による地力回復が、いかに困難であるかを身をもって体験した。そこで飼料作物、とくに赤クローバを輪作に組入れたノーフォーク型の輪作研究が開始された。とくに、この時期に、テンサイ、アマ、が導入され、これらが連作障害を受けやすい作物であったため、輪作研究の主体は、これらを中心とした作付順序、および輪作年限の決定にむけられた。

第二次世界大戦に際しては食料不足が深刻とな

り、作付統制などが行なわれ、特定食用作物の作付比重が高まり、加えて肥料などの生産資材が不足し、地力維持は無視せざるを得ない状況となり、長期輪作試験の継続は困難となった。

戦後、極端な農産物の不足と激しいインフレーションは農民にとって、むしろ有利に作用し、拡大生産に必要な資金の蓄積を多少とも可能にしたため土地改良、酪農政策などがすすめられた。同時に、この頃から日本の農業は労働力の不足が進み、労働生産性の向上が強調され、機械化が進み、必然的に可能な限り単純経営に移ることを目標に、短期輪作を骨格とした連作化の方向をとらざるを得なかった。すなわち、貿易自由化のなかで国際分業論も起り、まず、コムギが外国産の圧迫を受け、エンバクも軍馬育成の廃止と機械化の進展に伴う耕馬の役割低下とともに、その栽培面積が減少し始めた。

一方、テンサイの栽培が国策として奨励されるようになり、短期輪作の一作物として組入れざるを得ない状況となってきた。

また一方では農業は長期輪作が原則で、連作、ないし短期輪作は地力を低下せしめる結果となり、経営の破壊を招く恐れが生じ、この間の問題を解決することが緊急の要請となってきた。

こうした時代の要請に応えるため、北海道立北見農業試験場で畑作物の連・輪作に関する長期試験を開始した。本試験の実施に当たり、北見農試が妥当とした理由は次のとおりである。

すなわち、網走地方は北海道の代表的畑作地帯をなしており、適作物の種類が多く、ムギ類、マメ類、タマネギ、根菜類、特用作物、野菜類が広く栽培され、また、冬期適度の積雪があるため秋播栽培も可能である。また、水稻もその栽培技術の進歩に伴ない重要な農産物の1つになっている。

さらに、北見農試の土壌は北海道における畑作地帯の土壌の性質と極端に離れていないことなどが同農試で試験を実施するに至った理由である。

次に試験開始当初の目的であるが、前述したとおり、当時の網走農業の問題点を反映しつつ、少なくとも次の点を明らかにしようとした。

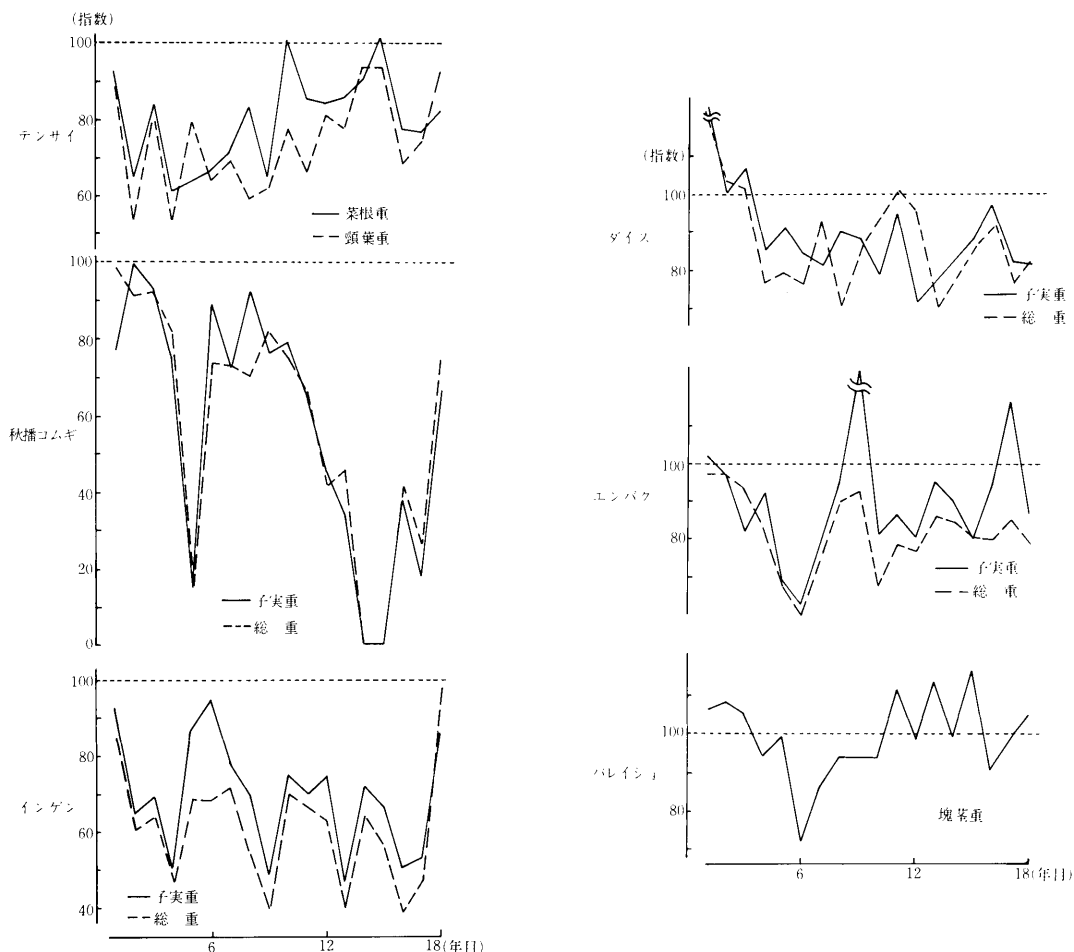
1. 当時のすう勢として農業労働力の不足が顕著となり、畑作においては労働生産性を高めることが強く要求されてきた。そのため輪作形式もなるべく短期輪作を指向する傾向が強くなってきた。他方、網走の主要作物であるテンサイはなるべく長期輪作に組み入れる方が安全であるとの説が一般的であった。したがって、それを解決するには、テンサイは最低限、何年輪作に組み入れることができるかを明らかにする必要がある。

2. 輪作の必要性のなかに連作による地力の減

耗があげられているが、もし輪作の必要性が土壌の理化学性の低下だけにあるとしたら、それを防ぐ方法はないか、まず実態を明らかにすることが必要であった。

以上が試験開始当初の目的であり、それ以後、これまでの試験経過、ならびに成績の詳細は「北海道立北見農業試験場資料、第3号、畑作物の連・輪作に関する長期試験」¹⁰⁾で報告したが、その結論は次のとおりである。

1. 6年輪作（ダイズのみ4年輪作）に対する連作の収量推移を第1図に示したが、畑作物はいずれも連作すると障害を起し、収量は低下するが、連作年数による収量低下の傾向は作物によって異



第1図 6年輪作(ダイズのみ4年輪作)に対する連作の収量指数推移

なる。

2. 連作障害の回避に必要な輪作年限も作物によって異なり、インゲンでは6年、秋播コムギは5年、バレイショは4年で、それぞれ減収せず、テンサイとダイズには4年、エンバクには3年の輪作年限が必要である。

3. 各作物に共通した連作障害の特徴は生育が劣り、かつ遅延することであり、その程度が大きい作物ほど収量低下も著しい傾向にある。

4. 連作によって養分収支に過不足、不均衡はなく、跡地土壌の化学性でも大きな変化はなかった。したがって、いわゆる地力の低下が連作障害の原因であるとは考えがたかった。

以上が前述した北見農試資料¹⁰⁾の要約である。

ところで、連作障害の原因に関する全国的な実態調査によると、1968年には線虫と微生物を原因に推定する場合が51%あった。¹¹⁾ また、10年後の1978年に行なった野菜の連作障害に関する調査では病害と病害らしきものを原因に推定するものが71%もあった。¹²⁾ これらの障害の多くは土壌消毒によって除去されていること^{13)~18)}から、連作障害の原因の大半は有害生物によるとしても過言ではない。

以上のことをふまえて筆者は北見農試における連作障害の原因究明を土壌生物の面から検討することにした。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、御教示と御指導を戴き、本論文のご校閲を賜った東北大学農学研究所以長古坂澄石博士に深甚な感謝の意を表する。

本研究は北海道立北見農業試験場における圃場試験「畑作物の連・輪作に関する長期試験」で調査研究したものであり、本圃場の設計は北海道大学名誉教授石塚喜明博士、元北海道立北見農業試験場長楠隆氏（現、日の出化学工業株式会社技術顧問）、元同農試土壌肥料科科長長谷部俊雄氏（現、北海道立中央農業試験場特別研究員）によるものである。

本論文の校閲を北海道大学名誉教授石塚喜明博

士、東北大学農学部教授山中達博士、同教授大平幸次博士に賜った。

本研究の遂行に当たり、北海道大学前農学部長宇井格生博士（現、同大学名誉教授）、同大学農学部助教授吉田忠博士、同大学教授生越明博士、東北大学農学研究所助教授服部勉博士、農林水産省農業研究センター西尾道德博士には貴重な示唆をいただいた。

本研究の遂行に当たり、元北海道立北見農業試験場長中山利彦博士（前北海道立中央農業試験場長）、元北海道立北見農業試験場土壌肥料科科長赤城仰哉氏（前北海道立中央農業試験場土壌改良第二科長）、元同科長大垣昭一氏（現、北海道立中央農業試験場環境保全部長）、同前科長大崎玄佐雄氏（現、北海道立十勝農業試験場土壌肥料科科長）には有益な御助言と御指導をいただいた。

また、本研究の遂行に当たり、前北海道立北見農業試験場病虫予察科科長坪木和男氏（現、北海道立十勝農業試験場病虫予察科科長）、北海道立北見農業試験場病虫予察科研究職員阿部秀夫氏、宮島邦之博士には有益な御助言と御指導をいただいた。

本研究の前任者として担当された但野利秋博士（現、北海道大学農学部助教授）、宮脇忠氏（現、北海道立十勝農業試験場）には種々御助言を戴いた。

本研究遂行に当たり、同僚の研究職員下野勝昭氏、東田修司氏（現、天北農業試験場）および先輩の秋山喜三郎氏（現、北海道庁農務部）には絶大な御協力と有益な御示唆を戴いた。また、各種調査分析では佐々木君子氏、三好和枝氏に御協力を戴き、圃場管理作業では北海道立北見農業試験場管理料の諸氏に御協力をいただいた。

以上の諸氏に心から感謝の意を表する次第である。

本 論

第1章 研 究 計 画

1. 試験地 (位置)

北海道立北見農業試験場 (北海道常呂郡訓子府町弥生52, 北緯43°47', 海拔196m)。

農業地帯としてはオホーツク海面区に属し、太平洋から来る南東の季節風が千島火山脈により、さえぎられ、また、シベリア大陸からの北西の季節風は北見山脈によってさえぎられるため降水量は1年を通して比較的少なく、800mm程度である。気候は冷涼であるが、春季に対馬暖流の影響を受けて比較的高温となり、かつ内陸においては夏の気温が25℃を越える。

2. 供試圃場の来歴と性質

来歴：1913年以降に開墾され、農家が畑として使用していたが、1925年頃に草地造成し、そのまま本試験開始まで管理不十分な草地として利用していた。

性質：土壌の断面と一般物理化学性について第2図、第1表に示した。

土壌は洪積台地に属し、屈斜路軽石流堆積物を母材とした土壌を基幹とし、その上に雌阿寒岳火山灰a層、樽前山火山灰a層からなるごく新しい (約200年前降下) 火山灰が約10cm被覆している。基盤をなす凝灰岩風化物は60cm内外に固結盤層の難透水層を形成しており、やや湿性を呈する黒色火山性土である。表土は厚く (24cm)、腐植に頗る富み (11.1%)、粘性の弱い壤土からなる膨軟層で、構造は発達せず、均質連結状を呈するが、通気透水性はよい。りん酸吸収係数 (1228) は火山性土としては比較的低い。置換酸度 (1.9) は低く、PH (H₂O) も5.4で酸性は微弱である。陽イオン交換容量は36ml/100g、石灰飽和度は31%、有効態りん酸も7.3mg/100gで、火山性土として肥沃度は中庸である。しかし、第2層 (24cm以下) はりん酸吸収係数 (2240) も高く、有効態りん酸 (0.4mg/100g) は低く、火山性土の素材としての性質が強く残り、肥沃性は低い。



第1表 土壌の一般理化学性

層位	深さ (cm)	水分 (%)	粒径組成 (%)				土性	全炭素 (%)	全窒素 (%)	炭素率 (%)	腐植率 (%)	PH		置換酸度 Y ₁	交換容量 Y ₂	陽イオン交換性塩基 (me/100g)			石和灰 飽度 (%)	※有効態酸 (mg/100g)	り取り係 数
			粗砂	細砂	微砂	粘土															
			砂	砂	砂	土						H ₂ O	KCL			CaO	MgO	K ₂ O			
1	0 ~24	6.8	9.2	50.0	28.7	12.1	L	6.60	0.64	10.3	11.4	5.4	4.5	1.9	35.6	11.1	1.6	1.4	31.0	7.3	1230
2	24 ~34	7.7	15.6	54.7	26.9	2.8	S L	3.04	0.31	9.8	5.2	5.6	4.7	1.0	23.1	3.3	0.4	0.4	14.0	0.4	2240
3	34 ~53	7.0	42.7	42.0	15.3	0.0	S L	—	—	—	—	5.8	4.9	0.2	16.7	1.9	0.1	0.4	11.2	0.3	1900
4	53 ~66	7.1	14.8	56.0	27.8	1.3	S L	—	—	—	—	6.0	5.1	0.3	15.3	1.8	0.2	0.2	11.6	0.8	1820
5	66 ~86	7.1	11.8	55.1	29.0	4.1	S L	—	—	—	—	6.3	5.1	0.1	12.6	1.6	1.3	0.4	12.0	0.3	1810
6	86 以下	4.6	17.9	41.7	30.2	10.1	S L	—	—	—	—	6.3	4.6	1.0	15.7	3.7	1.2	0.6	23.0	0.5	1160

※: Truog-P₂O₅

3. 試験区の構成および耕種法

連作区（バレイショ、テンサイ、秋播コムギ、エンバク、ダイズ、インゲンの各連作区）、および6年輪作区（作付順序はテンサイーエンバクーイ

ンゲンー秋播コムギーアカクローバーバレイショ）、4年輪作区（作付順序はテンサイーエンバクーダイズーバレイショ）。耕種概要は第2表のとおりで2連制で実施している。

第2表 耕種法の概要

作物	品	種	畦巾 (cm)	株間 (cm)	播種方法	堆肥 (t/10a)	施用肥料要素量 (kg/10a)						
							N		P ₂ O ₅		K ₂ O		
							硫安	智硝	硝安	尿素	過石	燈りん	硫加
バレイショ	紅	丸	65	40	点播	2	5.5	—	5.5	—	5.5	5.5	11
テンサイ	導入2号		55	25.5	直播	2	5.5	5.5	—	—	5.5	5.5	11
秋播コムギ	ホクエイ		50	—	160粒/m ²	1.2	5.0	—	—	—	5.5	5.5	7
エンバク	前進		50	—	170粒/m ²	—	5.0	—	—	—	5.5	5.5	7
ダイズ	北見白		50	25	2本立	—	—	—	—	3	5.5	5.5	9
インゲン	大正金時		50	25	2本立	—	—	—	—	3	5.5	5.5	9
クローバ	メディウム		50	—	1.2kg/10a	—	1.0	—	—	—	1.5	1.5	3

第2章 連・輪作畑土壌の微生物作用

1. 連・輪作畑土壌に対する殺菌の効果

1) 目的

これまで多くの研究¹³⁻¹⁸⁾にあるように、連作障害の原因が生物であるか否かをみるため、メチルプロマイドによる土壌殺菌の効果を検討した。

2) 材料と実験方法

連・輪作試験開始後15年目、春の作付け前に各作物に対応する連作土と輪作土（以下、6年輪作土、ダイズのみ4年輪作土のことをいう）をそれぞれ5千分の1（バレイショのみ2千分の1）のワグネルポットに詰め、戸外にてビニールで被いメチルプロマイド50mlで4日間殺菌した。ガス抜き後、対応する作物を播種し、バレイショは萌芽後69日目、エンバク、ダイズ、インゲンは発芽後それぞれ38日目、65日目、35日目の地上部乾物重を測定した。また、テンサイは20粒播種し、発芽後の苗立枯病と23日目の1個体重を測定した。

なお、バレイショの茎数は3本立、エンバクは5本立、ダイズとインゲンは3本立とした。種子は殺菌せず、無肥料で6月12日に各作物とも、いっせいに播種し、戸外に置いた。前年の予備試験で傾向を確認しているため、本試験は反復なしとした。

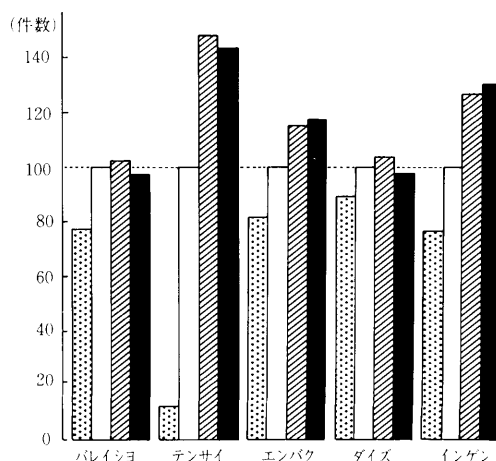
3) 結果および考察

連作障害の原因が生物であるか否かをみるため、メチルプロマイドによる土壌殺菌の効果を検討しその結果を第3図に示した。

無殺菌での連作は輪作に比べ、いずれも明らかに生育が悪く、圃場での連作障害と同様の症状が認められ、乾物重も低下した。しかし、これらの土壌を殺菌すると、その効果は明らかで、いずれも正常な生育を示し、連・輪作両土壌間の差はほとんど認められなかった。無殺菌で連作により最も乾物重の低下したのはテンサイで、発芽後、間もなく発生する苗立枯病によって20株中8株が枯死し、残る12株についても地際がくびれ、褐変し根部は細く、枯死寸前の状態となるため、地上部の生育は著しく劣っており、この現象は圃場にお

ける症状と一致していた。

こうした症状が養分の低下や養分バランスの欠除によるものでないことは、すでに北見農試資料¹⁰⁾で報告したとおりであり、土壌殺菌で解消されることは明らかに生物が関与していることを示すもので、すでに本圃場におけるテンサイの連作障害



第3図 連作土、輪作土に対する殺菌の効果

6年輪作土（ダイズのみ4年輪作土）の無処理乾物重を100とした。

■ 連作土 無処理 □ 輪作土 無処理 ▨ 連作土 殺菌 ■ 輪作土 殺菌

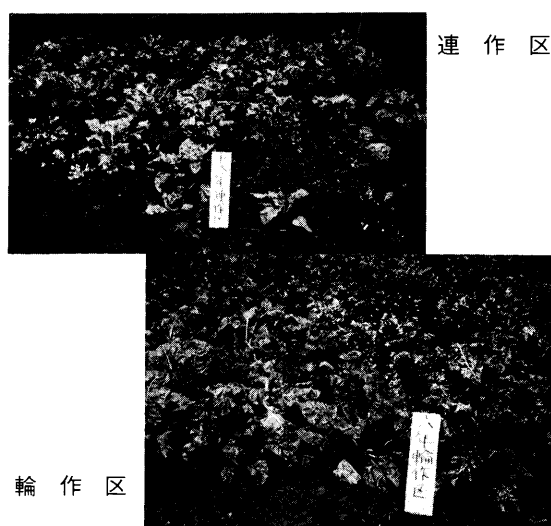


写真1 圃場におけるテンサイの生育 (18年目)

の主要原因は *Aphanomyces* による苗立枯病であることが報告されている。¹³⁾

一方、輪作土に対しても殺菌の効果が認められテンサイで44%、インゲンで31%、エンバクで18%増収している。この結果は、これらの作物に関しては輪作でも生物が阻害的に働いていること、および部分殺菌効果¹⁹⁾によることを示している。

いずれにせよ、この実験結果は平野²⁰⁾ がいいう連作害を完全に除去したとする条件、すなわち連作土における生育は輪作土より劣るが、両土壌を処理すると、その差は生じない、との条件を満たすものであり、かつ、この結果は連作害の主要原因が土壤生物であることを示唆している。

これまでの調査で本圃場にはテンサイのキタネコブセンチュウ、ダイズのダイズシストセンチュウは連作根、輪作根のいずれからも認められなかった。

したがって、連作障害の主要原因から線虫類を除外して、土壤微生物の面から探ることにした。

4) 要 約

土壌を殺菌すると、いずれも正常な生育を示し連・輪作両土壌間の差はほとんどなくなった。このこと、および、いずれの試験作物からも障害線虫が見出されなかったことから、連作障害の主要原因は微生物に基づくものであると結論した。また、輪作土においても微生物が、2、3の作物の生育を部分的に阻害していると考えられた。

2. 連・輪作土壌のCO₂放出

1) 目 的

前節で述べた連作障害の主要原因は微生物に基づくものであるとの結論にしたがい、逐次検討を進めることにしたが、微生物を直接扱うのに先だちまず全体的な微生物反応としての化学反応を検討するため、CO₂ 発生の差異をみることにした。

2) 材料と実験方法

(1) 土壌からのCO₂発生反応

15年目の6月下旬（各作物の生育は秋播コムギが出穂期であったほかは、いずれも生育初期）に各作物の連作土と輪作土の畦間で表面下2～7 cmから採土した生土50gから発生するCO₂ 量を石沢らの方法²¹⁾で測定した。実験は1連制とした。

(2) 連作土壌の当該作物分解反応

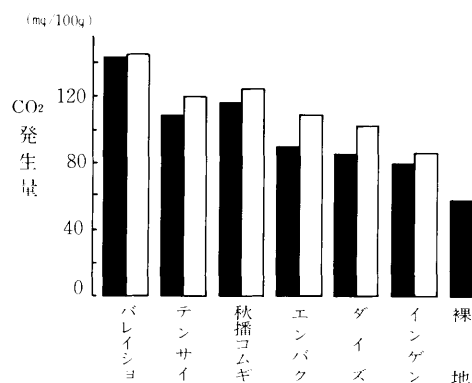
20年目のテンサイ、秋播コムギの連作土にテンサイ根、秋播コムギ根をそれぞれ乾燥粉末として混入し、土壌中のCO₂濃度の推移を有機物分解速度の簡易測定法²²⁾により測定した。測定は6時間ごとに行ない、無添加区の値を差引き表示した。連・輪作による堆肥分解の差異を検討する場合も同じ方法によった。測定に用いた生土は120g、添加したテンサイ根は100mg、秋播コムギ根と堆肥は1gを供試した。培養温度は25℃である。

3) 結果および考察

第4図は連作土と輪作土のCO₂発生の差異をみた結果である。

同一作物の連作土と輪作土を比較すると、すべての作物について輪作土のCO₂放出量が連作土のそれを上回った。ただし、バレイショの場合、両者の間に差はなかった。

土壤呼吸量の多少は土壌中に存在する微生物の



第4図 連作土、輪作土のCO₂発生量 (15年目, 34日間)

■ 連作土 □ 輪作土

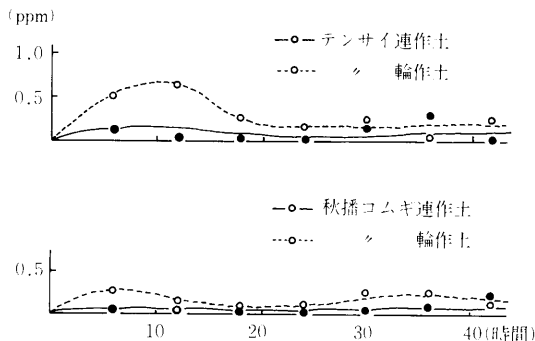
構成（種および数）と、その生理状態によるものであって、それらは土壌中の分布様式（土壌構造中での）、代謝基質の質および量、酸素濃度、その他の物理的条件等によって支配される。

したがって、ここで述べたCO₂発生量は上記諸条件の結果として連作土が輪作土よりCO₂発生量が低いことを示しているものであって、それに影響を及ぼす要因のうち、何がとくに関与している

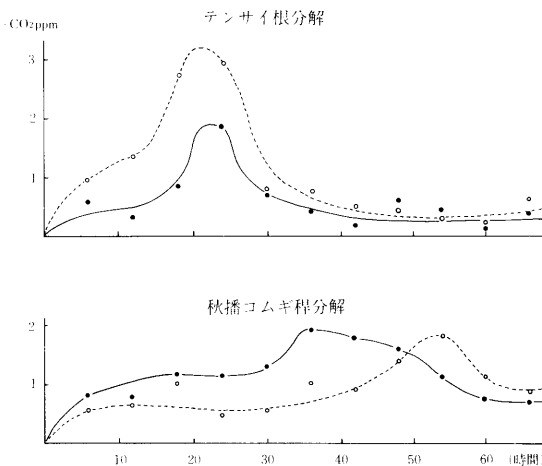
かについては他の研究を必要とする。連作土については、土壤腐植量とCO₂発生量の間には正の相関関係($r=0.953^{**}$)が認められたが、輪作土については、そうした関係は、まったく認められなかった。

さらに、堆肥分解の遅速について、2作物の連・輪作土を用い、CO₂放出量を測定した結果、第5図のとおり、いずれも連作土が輪作土より低く推移した。

また、第6図はテンサイと秋播コムギの両連作土を用い、それぞれ対応した、および交差した作物遺体からのCO₂放出量をみたものである。



第5図 堆肥施用土壤中のCO₂濃度推移
(無添加の0.48~1.53ppmを差引き図示した)



第6図 連作土による作物遺体の分解速度
(前図と同様無添加を差引き図示した)

—●— テンサイ連作土 - - - ○ - - - 秋播コムギ連作土

それによると遺体の質的差異によって両土壌のCO₂放出の速さの質的差異による序列が異なり、両土壌とも当該作物遺体の分解が遅いことを示している。

上記、すべての結果は連・輪作のみならず、試験時の作物によっても、そこに成立する土壤微生物フロラに差の生ずることを示唆するものである。

4) 要 約

連・輪作土壌から発生するCO₂量を測定した結果、連作土は輪作土より少なく、また、当該作物によっても差異が認められた。このことからみて連作によって機能面で低い活性を示す微生物フロラ、ないし条件が成立していると推定した。

3. 連・輪作土壌の硝化作用

1) 目 的

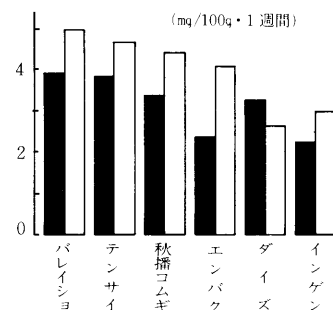
前節で連・輪作によるCO₂放出の差異をみたが引き続き本節では、より特定化された微生物反応として、硝化作用の検討を行なった。

2) 材料と実験方法

15年目の6月下旬、CO₂発生調査時に同じ区の土壌25gを採取し、それを底部から浸出液を採取できるように細工し、石英砂25gを詰めたガラスシリンダー(内径4cm、深さ13cm)に詰め、いったん洗浄したのち、1週間培養し、水道水50mlで流出する洗浄液の硝酸態窒素をコンウェイの微量拡散法で定量した。培養温度は25℃で1週間培養した。

3) 結果および考察

連・輪作土壌の1週間で生成するNO₃-Nを第7図に示した。



第7図 連作土、輪作土のNO₃-N生成量

■ 連作土 □ 輪作土

同一作物の連作土と輪作土を比較すると、ダイズを除き、いずれも連作土は輪作土より少ない硝化量であり、とくにエンバク、インゲンで少なかった。輪作土のうち、ダイズ、インゲンで低い生成量を示したが、これはエンバクの連作土でとくに低い値であることを考えると、前作物がエンバクであったことの影響によるものと思われ、今後検討する必要がある。

硝酸化成はアンモニア酸化細菌群と亜硝酸酸化細菌群という特定化された細菌群によるもので、

CO₂放出の場合に比べ、より特定化された反応であり、これについても連作土は輪作土より低い活性をもつことが観察された。

4) 要 約

連作土、輪作土の硝酸化成量を測定した結果、連作土は輪作土より少なく、また、連作作物によっても差異が認められた。

第3章 連・輪作土壌の微生物フロラ

1. 目的

前章において、連作障害が土壌殺菌で除かれることを明らかにし、その原因を土壌微生物によるものと推定した。また、 CO_2 発生反応と硝酸化成反応を測定したところ、両反応とも連作土は輪作土より劣る傾向にあり、両土壌間で微生物フロラに差のあることが推定された。

したがって、次に連・輪作による土壌微生物フロラの差異について検討を行なった。

2. 材料と実験方法

・ 1) 土壌微生物調査圃場の来歴

緒論および北見農試資料¹⁰⁾に詳述した。

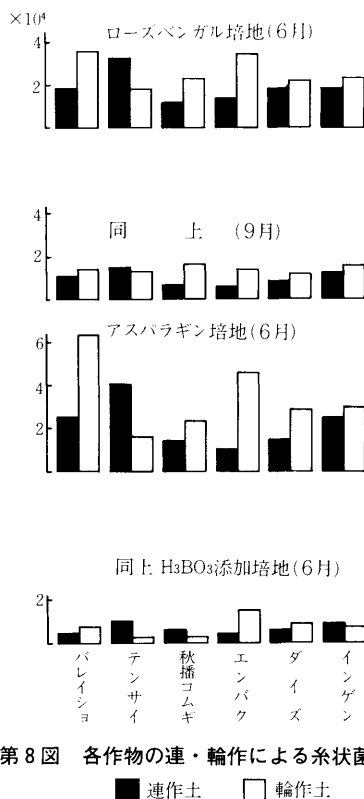
2) 土壌微生物調査法

殺菌した 100ml 容の実容積測定用採土管を用い 1 区 3 箇所の間隔で地表下 2～7 cm から採土し、実験室へ持ち帰り、ただちによく混合し、そのうち 30g を分析に供した。手法、ならびに培養温度、培養期間などは田辺らの測定法²³⁾にしたがった。用いた培地は糸状菌にローズベンガル培地²³⁾、アスバラギン培地²⁴⁾、放線菌にグルコース・アスバラギン培地 (G・A 培地)、デンプン培地²⁵⁾、細菌はアルブミン培地²³⁾と、それにクリスタルヴァイオレットを加えた培地による色素耐性菌、そのほか細菌は無機塩にグルコースを添加した培地を基本とし、酵母エキス、カザミノ酸を別々に加えたもの²⁶⁾を用いた。これらの調査は 1972 年 7 月、9 月、1973 年 6 月 (連・輪作畑試験 14 年目～15 年目) に実施した。

3. 実験結果

1) 連・輪作と糸状菌

一般に菌数の低下する夏を避け、春と秋の 2 時期、ローズベンガル培地、およびアスバラギン培地を用いて調査した。その結果、菌数はローズベンガル培地で乾土 1g 当たり、 $0.56 \times 10^4 \sim 3.63 \times 10^4$ あり、第 8 図のとおりである。同一作物の連作土と輪作土を比較すると、6 月の時点では、いずれの作物についても (ただし、テンサイを除く) 輪



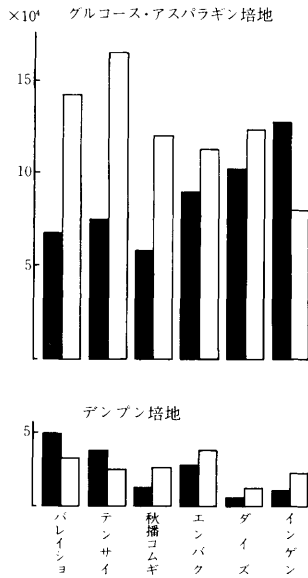
第 8 図 各作物の連・輪作による糸状菌数

■ 連作土 □ 輪作土

作土の菌数は連作土のそれより多く、その差はバレイショ、エンバク、秋播コムギで大きく、ダイズ、インゲンで小さかった。9 月の調査では、菌数は全体的に 6 月より低下しているが、この時点においても、テンサイを除き、連作土は輪作土より少なく、その傾向は 6 月の調査結果と、おおむね一致していた。テンサイについては 6 月、9 月の両調査とも連作土の菌数が輪作土のそれを上回った。異なる培地、すなわち、アスバラギン培地でみた結果、それによる傾向も、前記したローズベンガル培地でみたものと概略一致していた。なお、アスバラギン培地にホウ酸を添加し、その耐性菌の連・輪作による差異をみようとしたが、その結果は計測された菌数が 10^3 以下であり、内容の差は明らかでなかった。

2) 連・輪作と放線菌

放線菌は糸状菌、細菌に比べ、培地の影響が大きく現われる²⁷⁾ため、培養の際、一般的に用いるG・A培地と、ふつう生理的性質をみるために用いるデンフン培地²⁵⁾で連作土と輪作土の差異をみることにした。その結果、菌数は乾土1g当たり $0.5 \times 10^4 \sim 15.9 \times 10^4$ あり、第9図のとおりである。



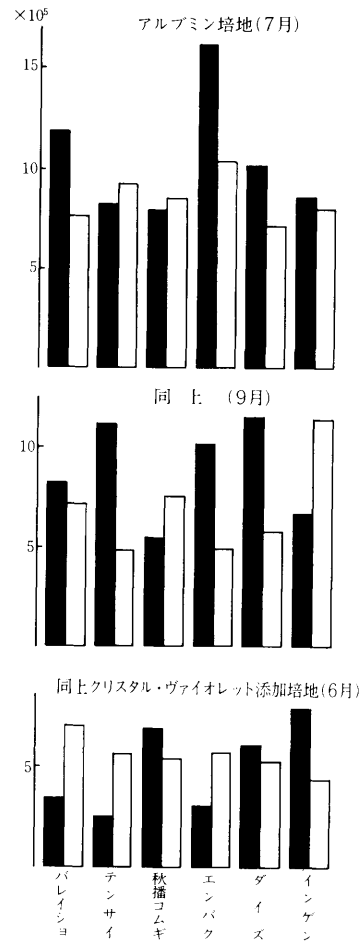
第9図 異なる培地における放線菌数 (6月)

■ 連作土 □ 輪作土

G・A培地における菌数はバレイショ、テンサイ、秋播コムギの場合、連作土は輪作土より少ない菌数であったほかは明確な差異が認められなかった。デンフン培地での連・輪作による菌数の差異はほとんど認められなかった。

3) 連・輪作と細菌

細菌の連・輪作による差異をみるため、アルブミン培地、および、それにクリスタル・ヴァイオレットを加えた培地で調査した。その結果、菌数はアルブミン培地で乾土1g当たり $4.8 \times 10^5 \sim 15.9 \times 10^5$ あり、それを第10図に示した。本菌数は石沢ら²⁷⁾の本邦土壤における微生物フロラで火山性畑地の $6.9 \times 10^6 \sim 40.5 \times 10^6$ より少なく、また、吉田ら²⁸⁾が行なった北海道における各種土壤の微生物フロラで大正火山性土の約 5×10^6 よりも少ない値である。この点は本圃場が腐植に頗る富む黒色火



第10図 各作物の連・輪作による細菌数

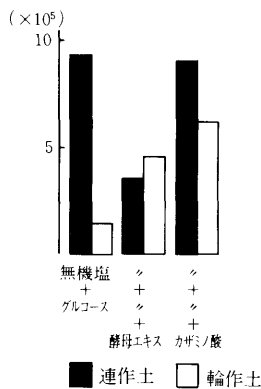
■ 連作土 □ 輪作土

山性土であるためと考えられ、吉田ら²⁸⁾による泥炭土の細菌数が、より少ないことから理解される。このように細菌が比較的少ない土壤であるが7月の時点ではエンバク、バレイショの連作土で糸状菌の場合とは逆に輪作土より、やや多い傾向にあったほかは連・輪作による差はほとんどなかった。引き続き行なった9月の調査では、テンサイ、エンバク、ダイズの連作土で輪作土より多い傾向を示した。他方、インゲンでは逆に輪作土が上回った。これらの結果は細菌群の変動がかなり複雑であることを想定させるものである。

色素耐性菌の調査結果をみると、バレイショ、テンサイ、エンバクの連作土は輪作土より少なく

インゲンでは逆の関係にあり、秋播コムギとダイズではほとんど差がなかった。

次に栄養要求性の違いから、連・輪作による特徴を探ることにし、無機塩にグルコースを加えた基本培地と、それに酵母エキス、あるいはカザミノ酸を加えたものを用いて検討を加えた。その結果、インゲンの連作畑のみで特徴がみられ、第11図に示したとおり、無機塩にグルコースのみを加えた基本培地に出現するコロニーが多く、このことは翌年の再調査でも確認された。この結果からインゲンの連・輪作土の比較に、無機塩にグルコースのみを加えた培地が有効であろうと示唆された。



第11図 インゲンの連・輪作による細菌数(7月)

4. 論 議

第2章第1節で連作による作物の収量低下は土壌殺菌により除去され、かつ、線虫等の障害生物の存在が見出されていないことから、連作障害の主原因は土壌微生物によるものと推定した。その場合も考えやすい想定として、次の二つの場合がある。

第一は連作で土壌微生物相内のバランスがくずれ、土壌中で常時起っている有機物の分解、硝酸化など、多くの微生物反応が円滑に進まず、その結果、養分分の供給低下となって連作障害を招く場合である。

第二は連作で密度を高めた微生物自身が直接根に障害を与え、根の活性を低め、養分吸収を阻害する場合である。これまで述べてきたことは前者についての検討結果であるが、炭酸ガス発生実験

から、連作土は輪作土に比べ、炭酸ガス発生反応は明らかに低く、また、堆肥および当該作物遺体の分解も遅いことを示した。これらの実験から、土壌微生物フロアと、その作用が連・輪作で異なり、また、連作作物によっても異なることを推定した。これを受けて、引き続き、土壌微生物フロアを調査した結果、連作土と輪作土で微生物数にやや差のあることが認められた。したがって微生物の菌数と代謝活性について、2、3の考察を行なうことにする。

土壌の呼吸は、もちろん、土壌中に存在する微生物の構成(種および数)と、その活性状態によるものであって、それに影響する要因として、代謝基質の質と量、および土壌中における菌の分布様式(土壌構造中での)、酸素濃度、そのほかの物理的条件が考えられる。土壌中ではこれらの要因が複雑にからみ合っているので、これら諸要因を厳密に区分けして考えることはできないが、同一土壌における連・輪作試験であるため、ここではいちおう、物理的条件に大差ないものとみなし代謝基質の質と量に目を向けてみる。すなわち、本試験に施用している堆肥、および栽培作物の残根や刈株によってもたらされる有機物の質と量のことである。この両者の微生物フロアに及ぼす影響について、西尾²⁹⁾はRUSSELLの厩肥と化学肥料を長期間連用した場合の比較を引用し、化学肥料連用区の微生物数は厩肥連用区より少ないが、半分以下にまではなっておらず、作物栽培土壌では最低量の有機物が残根や刈株として供給されるため、無肥料区、化学肥料区、通常の施用量の堆厩肥区とも、あまり菌数に差がないとしている。この点、本試験でも堆肥連用のバレイショ、テンサイ、秋播コムギの連作土で糸状菌、放線菌、細菌とも、必ずしも多くなく、堆肥施用による一定の傾向は認めがたかった。

一方、栽培作物の根株について考えてみると、西田³⁰⁾は各作物の根株に関する調査で、根の量はテンサイが最も多く、ついで、イネ科作物、マメ科作物の順であり、窒素の含有率はテンサイとマメ科作物で高かったとしている。そして、これら根株の分解は沢田³¹⁾によると組織の炭素率、また

は窒素含有率に大きく左右され、一般に蛋白質に富む物質は微生物の代謝を受けやすく、分解の速いことを認め、筆者の実験でもテンサイ根は秋播コムギ程より分解は速かった。また、土壤微生物フロラは WILLIAMS³²⁾によると、前前作物の根による影響が大きいとしている。したがって、これらのことから微生物の連・輪作による質と数の差異は、栽培作物の連作・輪作に伴う根株分解の違いによるところが大きいと想定される。

次に、これらの差異、すなわち、連作による微生物数の変化と、それによる微生物作用の変化がはたして連作障害をもたらすほどのものかどうかについて考察してみる。

これまで、長期にわたる連・輪作試験で、土壤微生物フロラを調査した例は、ほとんどなく、土壤病害菌との関連を、4～5年に亘って調査研究した例を、いくつかみることができる。そのうち連・輪作で土壤微生物フロラに違いを生じなかったとする例^{17,34)}のほか、両土壤間で差があったとする例もある。すなわち、前出、WILLIAMSら³²⁾はこの点について、3年連作で糸状菌の種類数と数の両方とも減っていたとしている。また HERR³⁴⁾は38年連作畑の糸状菌を調べ、確かに連作作物によって、それぞれ密度の高まる菌があったことを報告している。しかし、これらの報告は、いずれも連作で土壤中に密度を高める菌があるにせよ、それと連作障害、もしくは連作によって引き起こされる土壤病害とは、あまり関係がない、としている。さらに DOMSCHら^{35,36)}はコムギ、マメ、アブラナを前作、あるいは連作した後のコムギ圃場における糸状菌の組成変動を検討した結果、コムギ栽培によって、コムギに悪影響を及ぼす糸状菌の集積することを明らかにした。しかし、集積された菌に宿主特異性はなく、コムギ以外のマメに対しても強い病原性を示したことから、連作作物に悪影響をもたらしたとしても、それを過大評価してはいけないとしている。このことは連作で、たとえ、土壤中に密度を高める菌があったにせよ、連作障害とは密接に関連していないことを指摘している。

したがって、筆者がこれまで明らかにした連作

土の微生物作用の低下、および微生物フロラの差は連作障害をもたらすほど大きなものとは考えがたく、これら以外から障害原因の検討が必要と思われた。

5. 要 約

連・輪作畑土壤の微生物作用に引き続き、微生物フロラについて検討したが、その結果の要約は次のとおりである。

1) 連作土の糸状菌はテンサイで多いほかはいずれも輪作土より少なく推移し、連作土のうちでは、イネ科作物で少なく、その順序は、イネ科作物<マメ科作物 $\leq$ バレイショ<テンサイであった。

2) 放線菌はバレイショ、テンサイ、秋播コムギの連作土で少ない傾向にあった。細菌はエンバク、ダイズの連作土で輪作土より多く、テンサイの連作土でも9月には多い傾向にあった。またマメ科作物、とくにインゲンの連作土に特徴がみられ、無機塩にグルコースのみを添加した培地に生育するものが多かった。

第4章 秋播コムギの連作における根面優占糸状菌

1. 連・輪作による各作物の生育と根の状況

1) 目 的

これまで連作障害が土壌殺菌で除かれることを明らかにし、連作障害の原因を土壌微生物によるものと推定した。そこで連・輪作両土壌の炭酸ガス発生反応、および硝酸化成能を測定したところ、両土壌間に差がみられた。このことから土壌微生物フロアに差があることが想定されたので、両土壌の微生物フロアを糸状菌、放線菌、細菌について調査した。その結果、栽培作物によって連・輪作両土壌間に微生物菌数の差異が認められた。

しかし、その微生物菌数の差異は WILLIAMS³²⁾ HERR³⁴⁾、および DOMSCH^{35,36)} が報告しているように連作障害を招く程、大きくはなかった。

そこで次に根面糸状菌を調査し、そこから単離された糸状菌の当該作物に対する接種試験を行ない、連作障害との関連を検討することにした。

それに先だち、まず、連・輪作による生育と根の状況を調査することにした。

2) 材料と実験方法

(1) 調査作物の栽培来歴

諸論および北見農試資料No.3¹⁰⁾ に詳述した。

(2) 根の褐変の調査基準

各作物とも10株供試し、水洗後、観察調査した。個体間のふれは、ほとんどなく、褐変程度を以下の基準で表示した。－：なし。＋：部分的に褐変

を認める。++：全体がやや褐変している。+++：褐変が明瞭である。++++：褐変がより進んでいる。+++++：褐変が著るしい。

3) 結果および考察

根面糸状菌を調査した時点における各作物の生育を第3表に示した。連・輪作長期試験20年目、(1978年)は夏期に例年にない晴天が続いたため、これまでと多少異なる生育を示した。その概略は次のとおりである。

バレイショは連・輪作による生育差が終始観察されず、7月中、下旬の茎長をみても、むしろ連作で優り、収量も連作で多収となった。この結果は、ここ数年の傾向と一致している。しかし、ホットに連作土、輪作土をそれぞれ詰めて栽培すると連作で劣ることは第2章第1節で述べたとおりである。

秋播コムギは越冬前はほとんど生育に差はみられなかったが、越冬後の起生期以後、間もなく生育に差がみられ、連作で草丈が低く、茎数は少なく、生育遅延を示し、出穂期は2～3日輪作区より遅れた(写真2)。

出穂後の生育では、連作20年目に輪作区で登熟が正常で徐々に進んだのに対し、連作区では突然立枯を起す株が出現した。立枯を起した株は根張りが弱いため、引き抜くことが容易で、根量も少なかった。

エンバクの連作による症状は前述の秋播コム



連作 ・ 輪作
写真2 秋播コムギの生育(出穂後)

第3表 根面糸状菌調査時の生育期と草丈

作物	調査 (月・日)	区別	生育期	草丈 (cm)
バレイショ	7・27	連作	開花期後22日	90.0
		輪作	〃 22日	87.2
秋播コムギ	6・24	連作	出穂期後5日	84.3
		輪作	〃 7日	91.0
エンバク	7・23	連作	〃 8日	101.0
		輪作	〃 9日	117.3
ダイズ	7・27	連作	開花始後6日	50.8
		輪作	〃 6日	57.6
インゲン	7・11	連作	開 花 始	24.7
		輪作	〃 〃	27.5

ギに類似しており、発芽後、間もなく草丈は劣り、茎数は少なく、生育遅延の様相を呈し、出穂も1～2日遅れたが、秋播コムギ程顕著ではなかった。ダイズも連作で草丈が低く、着莢期の遅れと莢数の少ないことが確認され、明らかに減収し、これまでの結果と、おおむね一致していた。

インゲンでは夏期のこれまでにない高温により、輪作では例年よりも登熟期間が著しく短縮された。この結果、100粒重が低下し、かつてない低収となった。それに対し、連作では輪作より草丈が低く草勢も劣った。しかし、輪作とは逆に生育遅延による登熟期間の延長で100粒重が増し、例年なみの収量にとどまった。

以上、20年目の連・輪作による各作物の生育は夏期の高温で、これまでと多少異なったが、連作によって起る基本的な症状である生育の劣化と遅延の現象はすべての作物について明瞭であった。これを連作による生育障害と解釈し、その程度を作物で比較すると、最も著しいのはインゲンで、それに続いてダイズ、秋播コムギ、エンバクの順となり、バレイショでは障害が認められなかった。もちろん、この序列が年次によって多少異なること、および年次別の連作作物の生育障害程度についてはすでに報告した¹⁰⁾。

連作による根の褐変調査結果を第4表に示した。連作で褐変が著しく起り、輪作との差の大きいのは

はインゲンで、ついでダイズであった。これらの両マメ科作物に比べると、イネ科作物は褐変が軽く、連・輪作の間の差も小さかった。褐変の程度は秋播コムギ、エンバクの順になっていた。なす科のバレイショは逆に輪作で若干、褐変部分が認められる程度であった。これら作物別の連作による根の褐変程度の強弱は前述した作物別の地上部における連作障害の強弱と概略一致していた。

4) 論 議

連作障害の症状として各作物に共通していることは生育の遅延と劣化であり、その程度は作物により、あるいは年次によって異なっている。また、2反復ある試験圃場で反復間で障害の程度に著しく差のあることを、しばしば経験しているが、これら連作障害の強弱は気象条件、ならびに肥培管理などのわずかな差の影響を強く受けるためと考えられる。

奥³⁷⁾は植物体への病原体の感染、増殖は両者における各種の性質、および、その相互作用によるものであり、その作用は温度、水分、湿度など、気象条件と密接に関連していると述べており、この典型的な例として不定性病原菌をあげている³⁸⁾。また、平野³⁹⁾は病原菌が連作障害の原因である場合の特徴として、土壌成分のアンバランスや有害物質が原因である場合と比較して、その症状は年により、あるいは環境によって発生の程度や被害の大きさの変動差が大きく、また、非病原性微生物も連作障害と無関係とは言えないとしている。したがって上記の見解をもとに本圃場における連作障害の症状を考えると、まさに、病原菌、ないし病原性をもった微生物によるものと想定される。連作による根の褐変現象は、これまでも報告されている^{15,17,40-44)}が、本試験の調査結果では連作作物はバレイショを除き輪作作物より根部の褐変が明らかに強く、その程度は連作障害の地上部における強弱と、おおむね一致していた。このことから連作による根の障害は、そこからの養分吸収を阻害し、そのため地上部の生育は劣り、上述の地上部被害を招くものと推定された。

5) 要 約

根面糸状菌調査時における作物生育をみると、

第4表 連・輪作による根の褐変

作物	区別	根の褐変
バレイショ	連作	—
	輪作	+
秋播コムギ	連作	++++
	輪作	+
エンバク	連作	++
	輪作	+
ダイズ	連作	+++++
	輪作	++
インゲン	連作	++++++
	輪作	+

注) — : なし
 + : 部分的に褐変を認める。
 ++ : 全体がやや褐変している。
 +++ : 褐変が明瞭である。
 ++++ : 褐変がより進んでいる。
 +++++ : 褐変が著しい。

連作で、いずれも劣り、遅延の様相を呈し、その程度はインゲンで最も著しく、ついでダイズ、秋播コムギ、エンバクの順にある一方、バレイショでは障害が明らかでなかった。

連作で、いずれの作物も根は褐変し、その程度は地上部における生育障害の程度と概略一致していた。

2. 連・輪作による各作物の根面糸状菌とその接種試験

1) 目的

各作物について、連・輪作による根面糸状菌を調査し、そこから単離した糸状菌の当該作物に対する接種試験を行ない、連作障害との関連を検討した。

2) 材料と実験方法

(1) 根面糸状菌フロアの調査方法

土壤微生物実験法¹⁵⁾に準じた。すなわち、褐変調査を終えたもの、2～3株から、根の基部2cmのものを10本用意し、殺菌水で15回洗浄し、2mmに切断した。それをストレプトマイシンとローズベンガルを添加したCzapek-Dox寒天培地(SRCD培地)に接種し、25℃、7日間培養した。出現したコロニーと、それから作成した標本を検鏡し、糸状菌の属を同定した。

(2) 糸状菌出現頻度の表示法

糸状菌の出現頻度は供試した100個の根の切片のうち、それぞれの糸状菌が出現した切片数で示した。

(3) 根面優占糸状菌の当該作物に対する接種試験

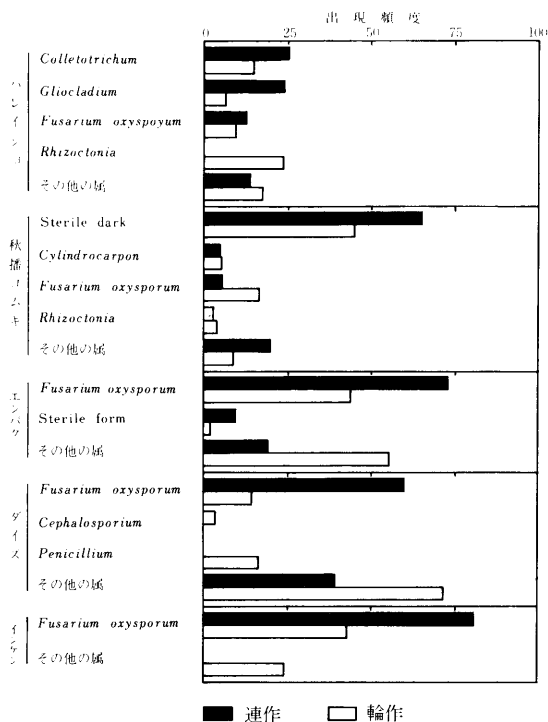
根面から分離された優占菌のうち、作物ごとに3～5株を摘出し、それぞれを100mℓ容三角フラスコにオオムギ種子30gと脱塩水30mℓを入れ、加圧蒸気殺菌した培養基に接種し、25℃で30日間培養した。培養後の菌そうを培地を含めて北見農試圃場の土壤に添加し、混合した。土壤は内径20cmの素焼鉢に詰めた後、130℃、1時間加圧蒸気殺菌し3週間放置したものを使用した。播種は鉢当たりバレイショは1塊茎、秋播コムギとエンバクは5粒、ダイズとインゲンは3粒とし、温室で栽培した。灌水は適時行なった。

3) 試験結果

(1) 連・輪作による根面優占糸状菌

褐変を調査した根の切片100個を別別にSRCD培地で培養し、出現した糸状菌を、その形態に基づいて類別化し、各群の出現頻度を求めた。それと同時に、各々の菌株を単離した。第12図に類別化した各菌群の出現頻度を示した。

バレイショでは*Colletotrichum*, *Gliocladium*, *Fusarium oxysporum*が連・輪作とも多くみられたほか、輪作で*Rhizoctonia*が多く検出された。秋播コムギでは仮称Sterile darkが、エンバク、ダイズ・インゲンは*Fusarium oxysporum*が優占し、これらの優占度は連作が輪作より特にインゲンにおいては分離株のすべてが*F. oxysporum*であった。なお、通常の培地で胞子を形成しないものをSterile formとして示した。また、「その他の属」として一括記載したものに*Rhizoctonia*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Monilia*, *Verticillium*が認められた。



第12図 各作物の連・輪作による根面糸状菌

(2) 秋播コムギの根面優占糸状菌

Sterile dark

次に単離した各作物の根面優占糸状菌から、連作、輪作、各各3～5株を供試し当該作物に対する接種試験を行なった。その結果を各作物の草丈と根の褐変程度で第5表に示した。

第5表 根面優占糸状菌の当該作物に対する接種効果

作物	接種菌	株No.*	草丈(cm)	根の褐変	
バレイショ	連作 <i>Colletotrichum</i>	B 8	43.5	+	
	〃	〃 15	45.8	—	
	〃	〃 20	44.5	—	
	輪作	〃	6 B 3	42.7	+
	〃	〃 7	48.2	—	
	〃	〃 11	45.6	—	
	連作 <i>Gliocladium</i>	B 6	48.6	—	
	〃	〃 15	46.3	—	
	〃	〃 20	43.5	+	
	輪作	〃	6 B 2	47.2	+
〃	〃 4	45.6	—		
〃	〃 5	46.8	—		
秋播コムギ	連作 Sterile dark	E10	72.8	++++	
	〃	〃 12	73.2	++++	
	〃	〃 25	74.5	++++	
	〃	〃 34	71.8	++++	
	〃	〃 46	75.3	++++	
	輪作	〃	6 E10	81.3	+
	〃	〃 11	85.5	+	
	〃	〃 26	88.3	+	
	〃	〃 30	82.6	+	
	〃	〃 40	85.3	+	
エンバク	連作 <i>Fusarium oxysporum</i>	A22	90.5	+	
	〃	〃 41	95.3	+	
	〃	〃 60	96.7	+	
	輪作	〃	6 A10	93.2	+
	〃	〃 23	93.6	+	
	〃	〃 34	90.9	+	
ダイズ	連作 <i>Fusarium oxysporum</i>	C16	45.3	++	
	〃	〃 25	42.6	++	
	〃	〃 38	48.8	++	
	〃	〃 45	43.7	++	
	輪作	〃	4 C 4	45.2	++
	〃	〃 8	46.8	++	
〃	〃 11	42.5	++		
〃	〃 14	48.2	++		
インゲン	連作 <i>Fusarium oxysporum</i>	D12	28.6	++	
	〃	〃 25	27.4	++	
	〃	〃 36	25.8	++	
	〃	〃 50	29.6	++	
	〃	〃 62	30.8	++	
	輪作	〃	6 D 5	23.6	++
	〃	〃 10	27.7	++	
	〃	〃 14	30.1	++	
	〃	〃 26	28.6	++	
	〃	〃 32	27.2	++	

(調査時期) バレイショ：開花期、秋播コムギ：成熟期

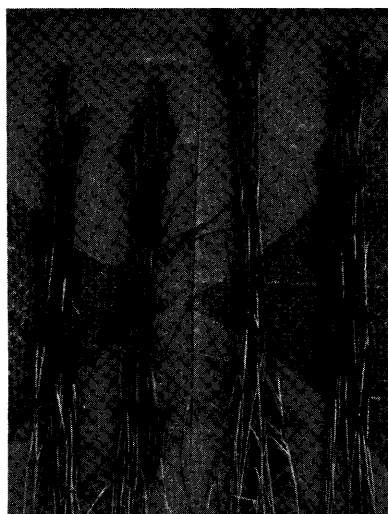
*：分離の際につけたNo.

(調査期間) エンバク：成熟期、ダイズ・インゲン：登熟期

しかし、接種による連作、輪作の生育差、および根の褐変の程度の差が明らかに認められたのは秋播コムギのみであり、それ以外の作物では連作・輪作の生育差は明らかでなかった。また、根もダイズ、インゲンで全体的にやや褐変していたが両区間に差はなく、地上部などの生育から、これは連作障害の症状とはみなされなかった。そこで秋播コムギの連・輪作による根面優占糸状菌 Sterile dark を接種し、それによる生育遅延と枯上りの違いを成熟と未成熟の穂数で調査した。その結果を第6表に示した。その時の症状の差は写真3のとおりで連作根面優占菌 Sterile dark (連作-Sterile dark) の接種で秋播コムギの草丈は低く、生育は遅れ、遅れ穂が多くなり、登熟期に

第6表 秋播コムギに対する Sterile dark の接種効果

接種菌	株No.	穂数(1株当たり)	
		成熟	未成熟
連作 Sterile dark	E10	0.4	2.6
〃	〃 12	1.0	2.8
〃	〃 25	0.6	3.0
〃	〃 34	0.8	2.2
〃	〃 46	0.7	2.7
輪作	6 E10	1.8	1.8
〃	〃 11	2.5	0.9
〃	〃 26	2.1	0.5
〃	〃 30	1.7	0.8
〃	〃 40	1.5	1.0



連作＝Sterile dark 輪作＝Sterile dark

写真3 根面優占糸状菌 Sterile dark を接種した秋播コムギ

なって立枯を起すものが出現した。根は細く、褐変が進んでいて圃場における症状と同じとみてよかった。後日、再度、接種試験を行ない、障害を再確認したが、その際、根に侵入しているSterile darkは写真4のとおりであった。これに対して輪作根面優占糸状菌Sterile dark (輪作-Sterile dark) の接種では、これらの症状を何ら示すことなく正常な生育であった。また、本菌は第7表に示したとおり、1979年に網走地方の3～6年連作圃場に発生した立枯株の根からも高頻度に分離された。

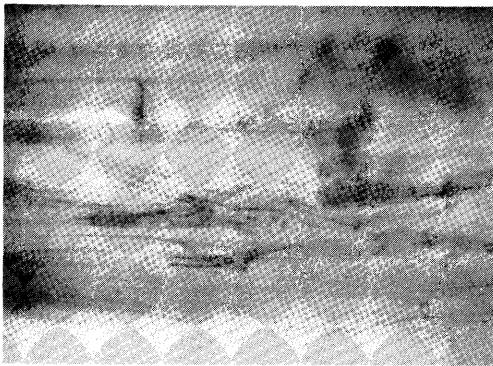
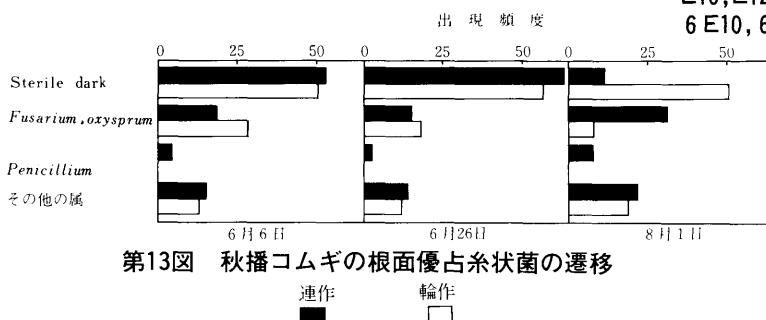


写真4 秋播コムギの根に侵入している連作-Sterile dark

第7表 異なる土壌における連作コムギの根面から分離されたSterile darkの頻度

土 壌	Sterile dark*	同左%	連作年数
火山性土 (斜里町)	20	50.0	4
〃 (〃)	4	10.0	3
〃 (〃)	7	17.5	4
〃 (〃)	15	37.5	4
〃 (〃)	9	22.5	4
洪 積 土 (北見市)	4	10.0	4
〃 (農 試)	21	52.5	6

*根の切片40個から検出された数



第13図 秋播コムギの根面優占糸状菌の遷移

したがって、秋播コムギの連作障害は連作-Sterile dark と密接に関連しているものと推定された。

そこで次に本菌の根面における遷移を明らかにするため、翌1979年(21年月)に節間伸長期(6月6日)、出穂後(6月26日)、および成熟期(8月1日)に調査し、その結果を第13図に示した。それによると輪作の優占菌は終始Sterile darkであったのに対し、連作では出穂後まで、この菌が優占していたものの、成熟期には著しく減少しそれに替わって*F. oxysporum*が優占していた。

前述したように、秋播コムギの根面優占菌Sterile darkは連作根から分離されたものに病原性があり、輪作根から分離されたものに病原性がなかった。その培養した平板を写真5に示したが、両者は形態的に酷似していた。その特徴を2、3述べることにする。

本菌はポテト・グルコース寒天(PDA)で平板培養すると、菌そうの生育が極めて遅く、黒っぽい色を呈し、厚く、ビロード状で密なのが特徴的である。

また、PDA培地、およびCzapek-Dox寒天の

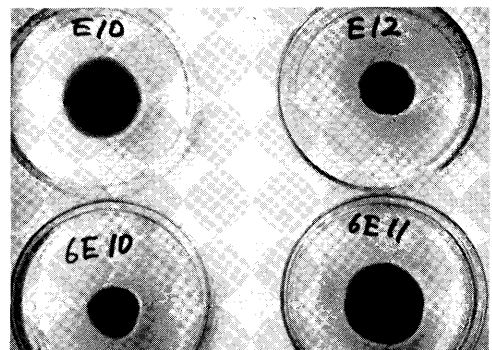


写真5 秋播コムギの根面優占糸状菌Sterile dark

E10, E12: 連作-Sterile dark
6E10, 6E11: 輪作-Sterile dark

いずれにも胞子を作らなかった。そのため加圧蒸気殺菌したコムギ科に接種し、3ヶ月後に検鏡したところ、コムギの立枯病菌として内外に知られている *Gaeumannomyces graminis* の最先端の枝 (phialide) の分生子 (phialospore) 形成部^{46)~49)} によく似た形態が観察された。しかし、*G. graminis* は病原性が強く、根を著しく腐敗させるほか、地際の茎、および葉鞘に子のう殻を作り黒変させる。連作-Sterile dark は連作圃場でも、また、接種試験でも、前述どおり、根を褐変させるにとどまること、および PDA 培地での生育で *G. graminis* が1週間の培養でシャーレの全面をおおうのに対し、Sterile dark は直径1cmの集落にしか達せず、その生育の著しく遅いこと、などから、現段階では一応、Sterile dark と仮称することにした。

4) 論 議

根面の糸状菌を調べたところ、バレイショを除いて、それぞれ高い頻度の優占菌が認められ、接種試験の結果、秋播コムギの連作根面に優占していた Sterile dark のみが圃場におけるのと、まったく同じ連作症状を再現した。それに対し、輪作コムギの根面に優占していた Sterile dark はまったく障害を起さなかったが、このことは輪作コムギの根面から分離した Sterile dark は連作根面からの Sterile dark に比べて根への病原性が弱く、こうした病原性の差は本菌の菌株の差異より生ずる生理的活性の違いによるものと考えられる。いずれにせよ連作により、コムギに病原性をもった Sterile dark が密度を高め、集積してくるものと推定され、本菌が連作障害と、なんらかの関連があると推定された。

ROUATT⁵⁰⁾ らは筆者が行なったと同じ HARLEY と WAID の方法⁵¹⁾ でダイズとコムギの根の糸状菌を調べ、コムギの場合、培地上で胞子を作らない黒ずんだ菌が特異的に多かったことを述べ、それを Sterile dark と表現している。

一方、コムギの根を犯す菌として *Fusarium spp.* をはじめ、いくつかあげられている⁵²⁾ が、連作で特に、その被害の大きいことで問題となり古くから研究されている菌に *Gaeumannomyces*

graminis がある。^{46), 53)}。それによる国内での病害発生は岩手県以南、九州まで認められていたが、北海道でもコムギの作付面積が急増し⁵⁴⁾、連作コムギ畑が目立ち始め、最近、新たに *G. graminis* による立枯病の被害が確認された⁵⁵⁾。

筆者の実験で、殺菌したコムギ科に連・輪作両根面菌 Sterile dark を接種し、約3ヶ月後に検鏡すると、両根面菌から特徴ある *G. graminis* の最先端の枝 (phialide) の分生子 (phialospore) 形成部に酷似の器官が認められた。しかし、*G. graminis* は通常の培地で生育が速く、病原性が強く、稚苗期の感染と登熟期の地際に子のう殻を確認することができるのに対し、連・輪作両 Sterile dark とともに通常の培地での成育が著しく遅く、病原性は輪作根面から分離されたものになく、連作根面から分離されたものに認められたが、その程度は弱いため、*G. graminis* とは断言しがたく、前述どおり、当面、Sterile dark と仮称することにした。

コムギの根面糸状菌の遷移を Sterile dark を中心にみると、輪作では節間伸長期から成熟期に至っても、なおかつ優占していたが、連作では節間伸長期には Sterile dark が優占していたものの成熟期には *F. oxysporum* に遷移しており、このことは連作での Sterile dark の病原性が強いいため、それによる根の成分分解を、すでに終え、次の分解菌である *F. oxysporum* への遷移を示していると想定された。

5) 要 約

根面糸状菌は秋播コムギで Sterile dark (仮称)、インゲン、ダイズ、エンバクの3作物で *Fusarium oxysporum* が優占しており、その程度はいずれも連作が輪作より高かった。

接種試験の結果、秋播コムギの連作根面に優占していた Sterile dark で障害が再現され、連作障害と密接に関連しているものと推定された。