

水稻の生育および根の生理活性に及ぼす腐植酸処理の影響

| | |
|-------|--|
| 誌名 | 日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan |
| ISSN | 00290610 |
| 著者 | 長谷川, 功 矢崎, 仁也 |
| 巻/号 | 58巻6号 |
| 掲載ページ | p. 633-637 |
| 発行年月 | 1987年12月 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



水稻の生育および根の生理活性に及ぼす腐植酸処理の影響*

長谷川 功**・矢崎 仁也***

キーワード 水稻根の生理活性, 腐植酸, 根の酸化力の周期性

1. はじめに

根の主要な機能が水および養分の吸収にあることはいうまでもないが、それ以外にも根は独自の代謝、生理機能を有し、植物体内の物質循環を通して地上部と密接に結びつきながら、植物全体の生育に重要な役割を果たしている。

著者らは、こうした根の生理機能に直接作用する物質すなわち生理活性物質とそれによる根の生理機能の化学的制御について一連の研究を行っている。

前報¹⁻³⁾までに、亜炭を硝酸で酸化分解して得られる腐植酸（通称、ニトロフミン酸とも呼ばれる）の苦土塩が水稻根の α -ナフチルアミン酸化力や各種畑作物根の TTC 還元力などいわゆる根の活力や呼吸能などを著しく増大させることを明らかにした。また、腐植酸塩が植物の生育に及ぼす影響はとくに根において顕著で、根の伸長促進や根重増加などが認められた。しかも、これらの効果が腐植酸塩に含有される肥料成分や腐植酸塩製造の過程における処理の違い、たとえば中和塩基によるものなどでないことを明らかにし、腐植酸の構造の一部あるいは構成物質に依存するものであることを推定している。一方、このような物質の作用機作を解明するには、物質の処理とその効果発現との間の時間的関係を明らかにしなければならない。すなわち、根の伸長や根の酸化力に対する物質の影響は一般に処理時間の長さによって異なり、また植物の生育段階によっても異なることが予想されるからである。

そこで、本報では腐植酸による生育促進および根の酸化力増大効果をより明確にするために、腐植酸処理に伴う根の酸化力の変動を根の発育成長との関連から詳細に検討した。

2. 実験方法

実験-1

水稻（品種：コシヒカリ）を用い、塩水選種子消毒を行ったのち、湿した濾紙を敷いたシャーレ中に種子を並び、30°Cの恒温器に2日間入れ、芽切りさせた。あらかじめ0.1N塩酸でpH 5.5に調整した水道水を入れた10l容スチロール製バットにサラン網を浮かべ、その上に芽長が2~3mmの均一な発芽種子を播種し、5日間生育させた。そのなかより第2本葉の抽出展開が終了に近い生育の均一な幼植物を選び出し、第1図に示す25l容の水耕装置の植物ホルダーに3本ずつ（水耕装置1箱当たり108本）移植した。水耕装置には春日井氏水稻用水耕液組成でNとして5ppmの培養液（pH 5.5）を入れて5日間栽培したのち、Nとして10ppmに上昇させ栽培した。なお、培養液は3日ごとに更新した。このような栽培法をとることによって個体差の少ない均一な供試植物を多量に得ることができた。

実験に供試した腐植酸は、前報¹⁻³⁾までと同様に、亜炭を硝酸酸化して得られた生成物をマグネシウムで中和したもので、肥料取締法に基づく腐植酸苦土肥料として市販されているものを用いた。

処理方法としては、試料20gを500ml容三角フラスコにとり、蒸留水180mlを加えて冷却管を付けて95±1°Cの恒温水槽中で1時間攪拌抽出を行った。放冷後、内容物を200ml容メスフラスコに移して定容し、供試原液とした。試料の培養液への添加はこの原液の溶液部の一部をとり、処理濃度が原液の 1×10^{-4} 倍となるように添加した。この原液の調整法では約20%の腐植酸が溶解することから、実際の処理濃度は熱水可溶の腐植酸（以下、文中では腐植酸と略記する）として約2ppmである。なお、処理は2連で実施した。

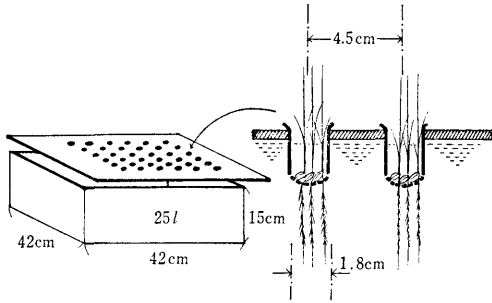
腐植酸処理は第3本葉の展開終了時から開始し、以後24時間ごとに処理区、無処理区より供試幼植物を抜きとり、前報¹⁻³⁾と同様に坂井ら⁴⁾・山田ら⁵⁾・吉田⁶⁾の方法に準じて根の α -ナフチルアミン酸化力を測定した。同時に、その地上部について抽出展開しつつある葉の長さ（以下、抽出葉長と略記する）を測定した。根の酸化力は3連で、抽出葉長は10個体について測定した。

Isao HASEGAWA and Jinya YAZAKI

* 植物根の生理活性物質に関する研究（第4報）

** 日本大学農獣医学部（現在、日本重化学工業株式会社 103 東京都中央区日本橋小網町 8-4）

*** 日本大学農獣医学部（154 東京都世田谷区下馬 3-34-1）
昭和62年1月7日受理
日本土壤肥科学雑誌 第58巻 第6号 p.633~637(1987)



第 1 図 水耕栽培装置

実験-2

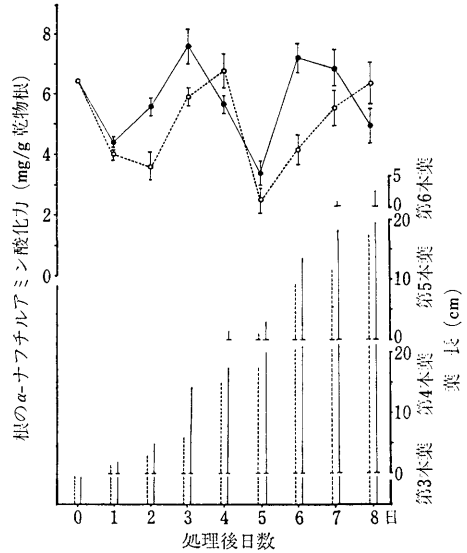
実験-1と同様にして調整した幼植物を用い、水耕装置に移植したのち、抽出葉長を経時的に測定してゆき第4本葉展開終了時を確認したうえで、その時点を腐植酸処理開始時(第5本葉抽出の直前)とした。

午前9時処理開始後、1, 3, 5, 10, 15, 20および24時間後の α -ナフチルアミン酸化力を測定し、以後24時間ごとに生育調査、葉別別の各葉長および根の α -ナフチルアミン酸化力の測定を繰り返した。実験条件は実験-1と同様である。

3. 実験結果および考察

実験-1

たん水下で生育する水稻にとって、根の酸化力は特異的な、かつ重要な生理作用であり、その指標として α -ナフチルアミン酸化力を測定した。腐植酸処理によって水稻根の酸化力が高まること、また、根の発育伸長が促されることをこれまでに明らかにしてきたが、これら両者の間にかなる関係があるのかについてを腐植酸処理の時間的経過のなかで検討した。しかし、複雑な形態、多様な機能をもつ根について、根各個の発生伸長の様相を経時的におさえ、同時にそれ自体の酸化力を測定することは困難である。そこで藤井⁷⁾、田中⁸⁾によって明らかにされた葉と根の発生伸長の法則性、すなわち「根は葉の生育に対応し、各節位ごとに規則的に発育伸長していく」ということを利用して、同伸関係のある葉の生育経過を測定することで、根の発生伸長過程を把握することとした。第2図に α -ナフチルアミン酸化力と葉の抽出展開の関係を示す。図から水稻根の酸化力と出葉との間には密接な関係のあることがわかる。第4葉の抽出とともに根の酸化力はいったん低下してゆくが、葉が展開するとともに上昇し始め展開終了時頃にピークとなる。そして、第5葉の抽出が始まると再び根の酸化力は低下し始め展開期になると上昇するという規則性または周期



第 2 図 葉の抽出展開と根の α -ナフチルアミン酸化力の関係
○………、無処理区；●——、腐植酸処理区。

性のあることが明らかとなった。

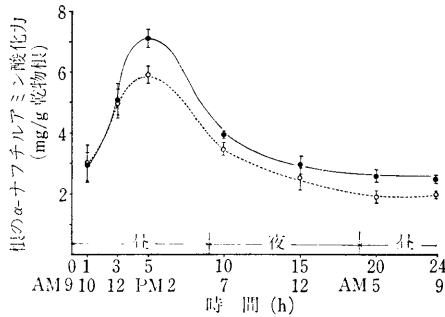
これを酸化力測定のために抜きとった根の状態観察をもとに、根の発生伸長との関係でみると、葉の抽出期にはその葉より3節下の節から新根が同時に発生し始めるが、この時期の根の酸化力は低下してゆき、酸化力曲線は谷となる。そして葉の展開期には新根の伸長、支根の発生が旺盛であり、この時期には根の酸化力は上昇しており、葉の展開終了近くで最高となり酸化力曲線はピークとなる。そして、次の新葉が抽出、すなわち、次節からの根の伸長が始まると根の酸化力は再び低下し始める。

このように根の酸化力の変動はその生育ときわめて深い関係を示して推移する。この根の酸化力と葉の抽出展開(根の発生伸長)との相関は、上田・三井⁹⁻¹¹⁾、平田¹²⁾が明らかにした水稻の養分吸収力と出葉との周期性とよく一致し、生育に伴う根の生理機能の推移を解析するうえで重要な現象であると考えている。

一方、このような周期性は腐植酸処理した水稻根にも認められるが、無処理区の場合、葉が1枚抽出展開するのに約5日間を要するが、処理区は葉の抽出展開が約4日間で5日目には次葉の抽出が始まり、約1日分だけ早くなることが観察された。そして、根の酸化力についても、その変動のピークは腐植酸処理によって早まり、周期が短くなることが明らかとなった。

実験-2

実験-1において、水稻の生育と根の酸化力との間に

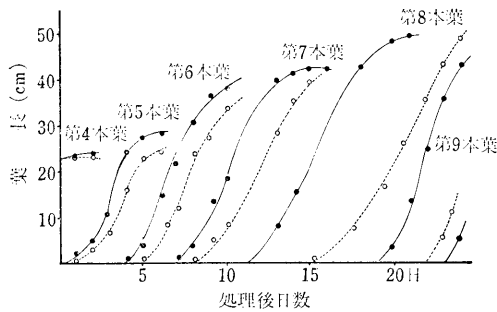


第3図 水稻根の α -ナフチルアミン酸化力の日変化
○....., 無処理区; ●——, 腐植酸処理区。

一定の規則性があることを認めたが、この現象を腐植酸処理との関連でさらに詳細に追試し、根の生理活性増大と生育促進効果との関係について検討した。第3図は水稻根の酸化力の日変化を測定した結果である。図に示されるように、午前9時頃から午後2時頃へかけて上昇してゆき日中最高値となり、その後下降し夜間はほぼ一定となるなど、1日の間にも昼夜によって高低があることが明らかとなった。この根の酸化力の日変化は地上部の物質代謝、とくに光合成産物の根への転流と何らかの関係を有するものであらうと推測される。

一方、第3図によれば、腐植酸処理による根の酸化力の増大は処理後5時間目以降において認められるようになった。また、処理区の根の酸化力も同様な日変化を示すことから、その上昇時や下降時は両区の差が比較的小さくなり、山および谷部のほうが差が明瞭であった。したがって、以後の酸化力測定は日中のピーク時を測定時として経時変化を検討した。

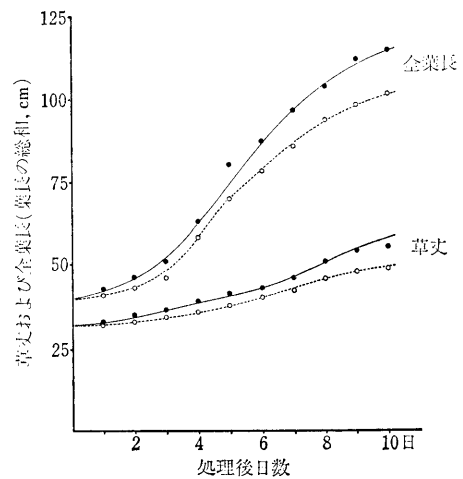
第4本葉の展開終了時から腐植酸処理を開始した場合の第5, 6, 7, 8, 9および第10本葉の抽出展開状況を第4図に示す。第5本葉の抽出展開をみると、実験1で認められたように無処理区は葉の抽出展開が約5日



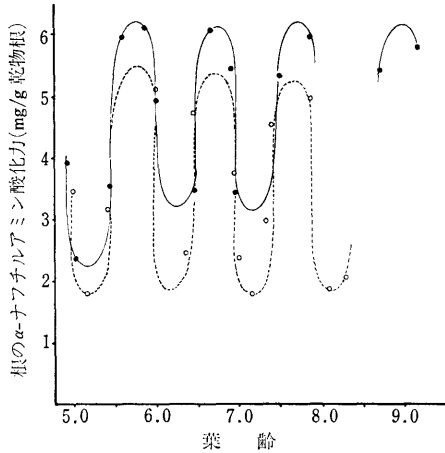
第4図 葉の抽出展開に及ぼす腐植酸処理の影響
○....., 無処理区; ●——, 腐植酸処理区。

を要するのに、処理区は約4日で終了し、5日目には次の第6本葉の抽出が始まる。このようにして生じた葉の抽出展開の時間的な“ズレ”は処理日数の経過とともに少しずつ大きくなっていくことがわかる。そして、無処理区の5日に対して処理区は4日という約1日分の伸長量は20日目には葉1枚分に相当することになる。しかし、第5本葉の抽出展開は約5日間であるが葉位が進むに従い各葉長が長くなることにより、その抽出展開に要する日数も少しずつ長くなっていくので必ずしも理論値とは一致しないが、20日目の葉齢は無処理区が約8.3に対し処理区は約9.1となっており、ほぼ葉1枚分に相当する生育促進が認められた。第5図に草丈および全葉長(葉長の総和)の変化を示す。草丈は処理日数の経過に伴う区間の差が小さいが、全葉長は比較的早い時期から処理区が長く、日数の経過とともに差が大きくなっていく。これは葉の抽出の早まりがこの曲線の傾きとなって現われるためである。このような葉の抽出展開の促進はある時期をとってみると、当然、その時期での葉数の増加となっており、腐植酸処理をさらに継続すれば、葉数増に基づく分けつが増加が予測される。

腐植酸処理に伴う根の発生伸長の変化を計測するには本来なら根を1本1本直接測定するべきであるが、同時に根の酸化力を測定する必要があることから根に損傷を与えるおそれのある根長測定方法は採れない。そこで葉と根の同伸関係、すなわち第 n 葉の抽出展開は第 $n-3$ 節からの根の発生伸長が同時に行われるということ^{7,8)}を利用して根の代りに葉の変化を測定したのである。その結果、腐植酸処理によって葉の抽出展開が早まることを確認したが、このことは同時に進行している根の発生



第5図 水稻の生育に及ぼす腐植酸処理の影響
○....., 無処理区; ●——, 腐植酸処理区。

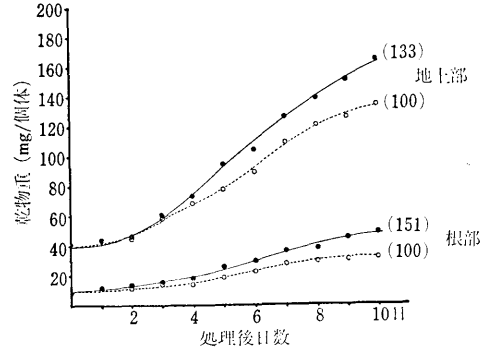


第6図 水稻根の α -ナフチルアミン酸化力と葉齢の関係
○……, 無処理区; ●——, 腐植酸処理区。

伸長も促進されていることを意味しており、むしろ葉の抽出展開の早まりは、処理による根の発生伸長促進が誘因したものと考えている。

第6図に根の α -ナフチルアミン酸化力の変動を示す。実験-1において、根の酸化力と葉の抽出展開(根の発生伸長)との間に規則性が認められ、葉の抽出程度によって根の酸化力の強さが異なることが明らかになっている。そこで、無処理区と処理区の水稲の大きさ、つまり葉の抽出程度を葉齢で表わし、同じ生育段階に揃えた場合の両区の根の酸化力を比較した。

すなわち、酸化力の経時変化を測定した際、同時に測定した水稻の抽出葉長から葉齢を求め、この葉齢と根の酸化力との関係を図にプロットし、これに一定の波形をあてはめると各プロットはかなり正確に波形図の上に乗ってくる。つまり、図に示されるように明らかに両者は高い相関を示し、一定の周期性が認められた。しかし、この周期性も葉位が進み第8~9本葉期になると乱れる傾向を示し、第5~7本葉の周期とは一致しなくなってくるが、これは生育の伸展に伴い分けつが始まってくるによるものと思われる。この根の酸化力について無処理区および処理区を比較すると、腐植酸処理による葉の抽出展開の促進に伴う根の酸化力の周期の“ズレ”(第2図)も葉齢を同じくすれば両区のピークの位置はほぼ一致するが、その周期変動のレベルが処理区は明らかに高く推移していることを認めた。第7図に供試植物の実験期間中における乾物重の変化を示す。地上部、根部とも腐植酸処理によって乾物重は増加する傾向を示すが、無処理区との間に明らかな乾物生産の差が認められるようになるのは処理後5日目以降においてであった。



第7図 水稻幼植物の乾物重の増加に及ぼす腐植酸の影響
○……, 無処理区; ●——, 腐植酸処理区。

以上、二つの実験を通じて得られた知見を整理してみると、次のような推定が成り立つ。まず、腐植酸処理によって根の生理活性が刺激され、それに伴い根の発生伸長が促される。その結果は当然、同伸関係にある葉の伸長にも促進効果となって現われてくるものと考えられる。これは、腐植酸の処理効果が茎葉よりも根の生育促進によく現われること^{1-3,13,14)}、処理に伴う根の酸化力の促進が数時間内に起こること、そして増大した酸化力の変動水準が高いレベルのままで推移するようになることなどを根拠としている。また、植物体の乾物生産は根および葉の発育促進に伴って増大してくるため、乾物重に顕著な差が認められるようになるのに数日を要したもののと思われる。

なお、作用機作とその効果発現の仕組みを、このように推定した場合、問題となる点について触れておきたい。一つは、処理による茎葉への影響が生育が進むにつれ根へ再影響するようになることであるが、本実験に供試した水稻の生育段階では、茎葉に対する根の大きさの比率が大きく、植物体の生育はおもに根の機能に支配される部分が多い生育段階であることから、処理効果の主体は根にあるものとする。次に根の生理活性増大と根の発育促進という点については、実験からは単に相関関係が求められているだけであるが、根の生育が促進されるに先立って生理活性が旺盛になることは、たとえば上田・三井⁹⁻¹¹⁾の実験などからも容易に類推されよう。

また、本実験では、根の生理活性を個体当たりの根全体でとらえてきたが、生理活性を個々の根についてみるとその呼吸量は根端が最も高く根毛部位に向かって急速に低下するが¹⁵⁾、根の酸化力と密接な関係があるパーオキシダーゼの活性は若い部位よりむしろ組織の老化しかかった部位に高い¹⁶⁾など、根はその部位によって生理活性が異なることが知られている。

さらに、根の重要な機能の一つである養分吸収についても、岡島¹⁷⁾は、水分および塩類吸収は新根よりもむしろ旧根にかたよっていると述べており、馬場¹⁸⁾は新根では主に窒素、カリが吸収され、旧根では主にマンガ、ケイ酸が吸収されることを報告しているなど、根はその新旧によって生理機能に違いがあり、そのため水稻1株当たり、つまり根群としての生理活性は、その株の根全体の新旧バランスによって左右される面のあることが知られている。

こうしたことを考慮すると、腐植酸処理による根の生理活性増大は、発根促進作用による新根の増加、すなわち、根群に占める新根の割合が増すことに起因するものであることも考えられる。

これまで述べてきた二、三の点は作用機作を解明するうえで重要であり、実験的に検討されなければならないので、今後さらに詳細な検討を加えたい。

4. 要 約

水稻の生育および根の α -ナフチルアミン酸化力に及ぼす腐植酸の影響を、地上部と根の生長相関との関連で形態的および生理的に解明することを目的としていくつかの検討を行った。その結果を要約すると次のとおりである。

1) 水稻の根は茎葉の生育に対応して規則的に發育生長をとげていくが、根の酸化力もそれと関連した規則的な変動を示すことが明らかとなった。すなわち、根の酸化力は葉(根)の抽出時に低く、展開時に高まる。そして次葉の抽出が始まると低下するが、伸長展開が進むにつれ再び上昇してくるという一定の周期が認められた。

2) 根の α -ナフチルアミン酸化力の変動は、腐植酸を処理することにより無処理区と比べ高い変動水準で推移するようになった。

3) 腐植酸を処理すると、葉のAgingが早くなる。その速さは無処理区の5日に対して約1日分であった。したがって、根の α -ナフチルアミン酸化力の変動も腐植酸処理により、その周期が無処理区より短くなった。

謝 辞 本研究を進めるにあたって種々指導いただいた東京大学名誉教授三井進午博士に深甚な謝意を表します。

文 献

- 1) 矢崎仁也・小嶋博文・明石和夫・長谷川功：ニトロフミン酸マグネシウム塩の水稻苗代施用の効果について、植物根の生理活性物質に関する研究(第1報)、土肥誌、**44**, 278~282 (1973)
- 2) 明石和夫・長谷川功・小嶋博文・矢崎仁也：水稻幼植物根の生理活性におよぼすニトロフミン酸の影響について、植物根の生理活性物質に関する研究(第2報)、同上、**46**, 175~179 (1975)
- 3) 長谷川功・明石和夫・矢崎仁也：畑作物根の生理活性におよぼすニトロフミン酸の影響について、日本大農獣医学術研報、**35**, 119~124 (1978)
- 4) 坂井 弘・吉田富男：根の α -Naphthylamine 酸化力について、ムレ苗発生条件に関する研究(第1報)、北海道農試彙報、**72**, 82~91 (1957)
- 5) 山田 登・太田保夫・中村 拓： α -ナフチルアミンによる水稻根の活力診断、農及園、**36**, 1983~1985 (1961)
- 6) 吉田武彦：根の活力測定法、土肥誌、**37**, 63~68 (1966)
- 7) 藤井義典：稲・麦における根の生育の規則性に関する研究、佐賀大農学彙報、**12**, 1~117 (1961)
- 8) 田中典幸：作物の根に関する研究、日作紀、**43**, 291~316 (1974)
- 9) 三井進午・上田 実：小麦幼植物根による磷酸の吸収、同化及び移行に及ぼすチモハイドロキノンの影響について、植物栄養の化学的制御に関する研究(第1報)、土肥誌、**35**, 409~412 (1964)
- 10) 上田 実・三井進午：小麦幼植物根によるリン酸の吸収、同化および移行に及ぼす二、三のキノンの影響、植物栄養の化学的制御に関する研究(第2報)、同上、**37**, 457~463 (1966)
- 11) 上田 実・三井進午：水稻幼植物の養分吸収に及ぼすキノンの影響、植物栄養の化学的制御に関する研究(第3報)、同上、**38**, 85~92 (1967)
- 12) 平田 照：植物根の生育と呼吸系の変動に関する研究(第6報)、水稻後期節根の生理的特徴、日本土壤肥料学会関東支部大会講演要旨集、p. 34 (1970)
- 13) 坂上良男・今野尚雄：水稻及び小麦幼植物の生長におよぼすニトロフミン酸の影響、土肥誌、**36**, 243~247 (1965)
- 14) 麻生末雄：腐植の生理活性、近代農業における土壤肥料の研究(第3集)、日本土壤肥料学会編、p. 50~61、養賢堂、東京(1972)
- 15) 稲田勝美：水稻根の生理的特性に関する研究一特に生育段階ならびに根のageの観点において、農技研報D、**16**, 19~156 (1968)
- 16) 吉田武彦・高橋治助：作物根の生理的活性に関する研究(第6報)、水稻根の各部位における呼吸作用および酵素活性の分布の特徴について、土肥誌、**31**, 423~426 (1960)
- 17) 岡島秀夫：水稻根群の生理機能に関する研究、とくに窒素栄養を中心にして、東北大農研彙報、**12**, 1~146(1960)
- 18) 馬場 昶・稲田勝美：水稻根の諸特性と養分吸収との関係、農業技術、**13**, 289~293 (1958)