

土壌の物質循環機能に基づく養水分の効率的利用

齋藤 雅典

(東北農業試験場)

Efficient Use of Plant Nutrients Based upon Mineral Cycling in Soil

Masanori SAITO

(Tohoku National Agricultural Experiment Station)

1. はじめに

現在、「環境」という言葉ほどキーワードとして広く使われているものはない。それでは、農業における環境とは、環境にやさしい農業、あるいは、環境に調和した農業技術とは何だろうか。本論文では、農業における環境とは、農業を営む場である農耕地の環境、あるいは農耕地を取り巻く外環境と定義し、これらの環境に対して調和した農業技術について論ずる。前者の視点からは、生産の場である農耕地の肥沃度や生物学的健全性が保たれ、将来的にも生産力を維持し得るかという論点があり、また、後者の視点からは、農業活動に起因する環境汚染問題や環境保全に役立つ農業活動等が論点として浮かび上がる。

いずれの場合も農業活動を永続させていくために重要な問題であり、農林水産省としても「環境保全型農業確立」という看板の下に、これらの問題に取り組みを強めている^{10, 23)}。具体的には、①農業のもつ環境保全機能の維持・

増進(水田の水管理機能、農村景観の維持など)、②農業生産に伴う環境負荷の軽減(化学肥料、農薬の投入量の削減など)、③農業分野におけるリサイクル(家畜糞尿のリサイクルや食品産業廃棄物のコンポスト化など)の3つの問題が挙げられ、多角的な取り組みが行われている。本論文では、2番目の農業生産に伴う環境負荷の軽減という観点から、まず、環境保全型農業におけるエネルギーの流れについて論じ、特に作物生産の場である土壌において肥料成分や水をどのように効率的に利用できるかについて、最近の東北地方の研究を中心に論ずる。

2. 農耕地におけるエネルギーの流れ

わが国の農業はきわめて集約的であり、狭小な農耕地へ多量のエネルギーを投入している。現在の収量水準はこうした多量のエネルギーの投入によって支えられている¹²⁾。そして、わが国の場合、こうした農耕地への投入エネルギーの大半、つまり、動力エネルギー源の石油を始

め各種の原料を、世界各国からの輸入に依存している。農地へ投入されたエネルギーの一部は収穫物として回収されるが、系外、すなわち環境へ散逸するエネルギーもかなりの量に達し、少なからぬ負荷を環境に対して与えることとなる。実際に、過剰に施用された肥料成分や畜産廃棄物による地下水や河川の汚染は深刻になりつつある^{10, 14, 23)}。

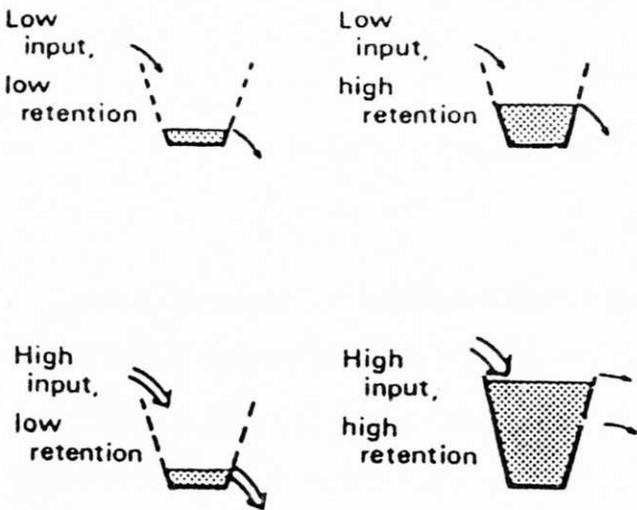


図-1 穴のあいたバケツ：エネルギーの流れと蓄積のパターン²⁴⁾

そこで、環境保全型農業の農耕地における理想的なエネルギーの流れを、穴の開いたバケツの図で模式的に考えてみる(図-1)²⁴⁾。ここで、バケツへ入る水の流れが農耕地へのエネルギー投入量、バケツの穴から漏れ出る水の量を農耕地外へ散逸するエネルギーの流れ、そして、バケツの中の水の量は、農耕地の養分蓄積量(肥沃度)の指標と見なすこととする。なお、この図では便宜的に収穫物中に含まれるエネルギーのインプットとアウトプットは除いて考えることとする。それぞれのバケツは、低投入・低肥沃度(粗放型)(図左上)、高投入・低肥沃度(環境汚染型)(左下)、低投入・中肥沃

度(右上)、高投入・肥沃度過多(養分過剰型)(右下)といった農業の形態のアナロジーと見なすことができる。可能な限りエネルギー投入量と、収穫物以外の系外へのエネルギーの散逸を減らしつつ、農耕地の生産力を維持する、いわゆる環境保全型農業におけるエネルギーの流れは図右上のようであるべきではなかろうか。

このようなエネルギーの流れを現在の農耕地で実現するためには、投入されたエネルギーが効率よく生産物に変換されるような農耕地の環境づくりをすることが必要と言える。農耕地あるいは土壌中でのエネルギーの循環は土壌の様々な物理化学的、あるいは生物的特性によって支配されている。土壌のこうした特性や機能を理解することなしに、エネルギーの効率的利用を現実のものとすることはできない。

3. 窒素の効率的利用

(1) 耕地土壌における窒素の循環

耕地土壌中における窒素の循環を模式的に図-2に表した。生産力を低下させずに耕地への

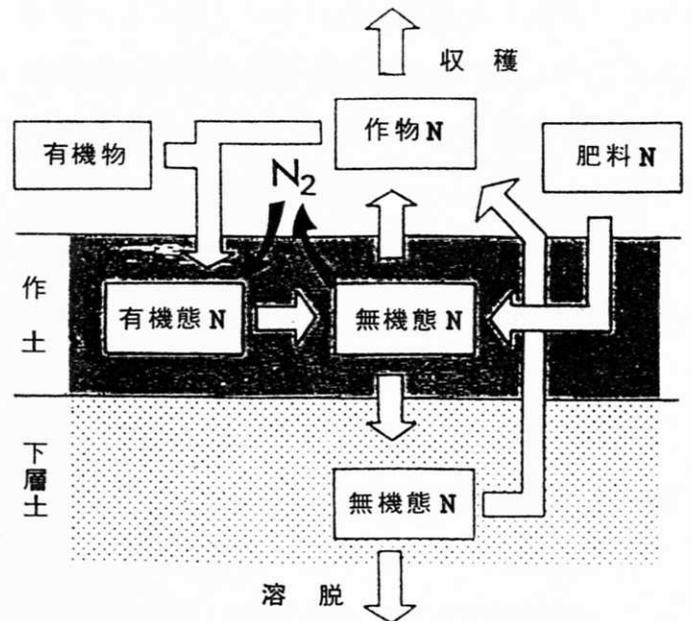


図-2 耕地土壌中における窒素の循環

インプット（施肥，有機物施用）と系外へのロス（溶脱）を減らすためには，土壤中における有機態窒素の無機化，脱窒，窒素固定などの諸過程を推定・予測し，それに基づいて窒素を効率的に作物体へ吸収させる必要がある。

(2) 土壤窒素無機化量の予測法に基づく肥料窒素の効率的利用

土壤有機態窒素の無機化，いわゆる，地力窒素の発現は，微生物の作用によるものであり，東北地方のような寒冷地ではこの過程が温度の影響を大きく受け，特に冷害年の施肥法の難しさの一因になっている。このため，有機態窒素の無機化過程を気象データなどから推定して，肥料窒素の利用効率を高めようという研究が，ここ10年ほど東北地方を中心に活発に行われてきた²²⁾。

これらの研究の中では，土壤を異なる温度条件で培養し，無機化してくる窒素のパターンを速度論的に解析するという手法が使われている。速度論的解析の結果得られる土壤固有の窒素の無機化に関するパラメータと地温データから，土壤窒素の無機化量の推定が可能である⁷⁾。この無機化推定法によって，施肥窒素の効率的利用，土壤可給態窒素（地力窒素）量の最適水準などの策定が可能となった。

1) 水稲への追肥窒素量診断法

秋田農試では土壤窒素無機化量推定法と生育診断法を組み合わせ，追肥窒素量の最適化を図るシステムを開発した¹¹⁾。このシステムでは，生育診断に基づいて水稲の窒素吸収量を逐次的に推定し，目標収量を得るために必要な窒素量との差を，地温に基づく土壤窒素の推定量を加味して，最適追肥量として推定する。表-1に本診断システムに基づいた追肥量の実際と収量を示した。ほぼ目標通りの収量が得られている。こうした合理的追肥システムは，労力と追肥量の節約につながり，さらに追肥の節減は過剰な肥料成分による環境汚染の防止にもなる。

2) 水稲への緩効性窒素肥料による全量基肥施肥法

従来の水稲への施肥は，目標とする水稲の窒素吸収パターンに近づけるために，生育診断を行いつつ，こまめな追肥で対応するというものであった。しかし，最近，各種のコーティングを施した溶出特性の異なる緩効性窒素肥料が開発され，これらの資材を用いて，土壤窒素無機化量と目標する窒素吸収量の間を埋めることが可能になりつつある。すなわち，基肥一発の無追肥施肥である。

山形農試では各種の被覆緩効性肥料を用いた

表-1 生育診断と土壤窒素無機化量推定に基づく水稲に対する追肥量と収量¹¹⁾

基肥	追肥 N (kg/10a)					玄米重 (kg/10a)	総粒数 (10 ³ /m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	目標 収量 対比
	6/22	7/7	7/13	7/19	8/2					
輪換1年目水田 (奥羽315号)(例条)	6	1.5	—	2	—	908	56.8	71.6	21.8	101
輪換2年目水田 (あきたこまち)	0	3.7	4	—	1	646	40.6	72.8	21.3	98
	2	1.7	3	—	1.9	654	36.5	81.4	21.8	99
	4	—	1.4	—	2.5	639	37.4	78.7	21.9	97
	6	—	—	—	1	626	33.2	82.4	22.0	94

全量一発施肥の試験を実施しており、現地においても慣行施肥とほぼ同等の収量を得ることに成功している²⁵⁾。表-2に施肥窒素の利用率を示したが、慣行施肥よりも、緩効性肥料の一発施肥の方で窒素利用率の高いことが注目される。このことは、こうした緩効性肥料の使用により省力化と同時に肥料窒素の利用率向上が可能なことを示している。

表-2 緩効性被覆肥料全量基肥施用と慣行施肥における施肥窒素の水稻による吸収利用率²⁵⁾

肥料	年次	成熟期における 吸収利用率
緩効性被覆窒素肥料 (全量基肥)	1989	61.5
	1990	59.5
	平均	60.5
(慣行法)		
硫安基肥	1989	32.8
硫安追肥1回目	1989	54.5
硫安追肥2回目	1989	56.3

(3) 畑土壌における硝酸態窒素の溶脱

土壌中の硝酸態窒素は降水によって容易に下層へ溶脱され(図-2), 地下水等の汚染の原因になる。図-3には、土壌窒素の無機化の推定カーブ(点線)とトウモロコシの土壌窒素吸収量を示した。7月, 8月には推定無機化量ごろのカーブが一致していないが、収穫期にはほぼ一致している。これは、下層へ溶脱された窒素をトウモロコシが深くまで根を伸ばし、吸収していることを示している¹⁶⁾。この様に深根性の作物の特性を利用することにより、農耕地から地下水への硝酸汚染を減じることが出来る。しかし、こうした深根性作物による吸収もおおよそ深さ1mまでで、それより下へ溶脱された硝酸の作物による吸収は難しい。

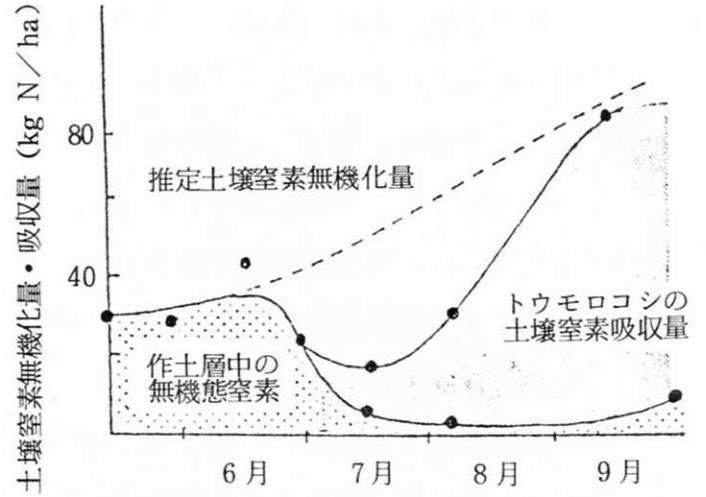


図-3 土壌窒素の無機化パターン(点線)とトウモロコシによるその吸収¹⁶⁾

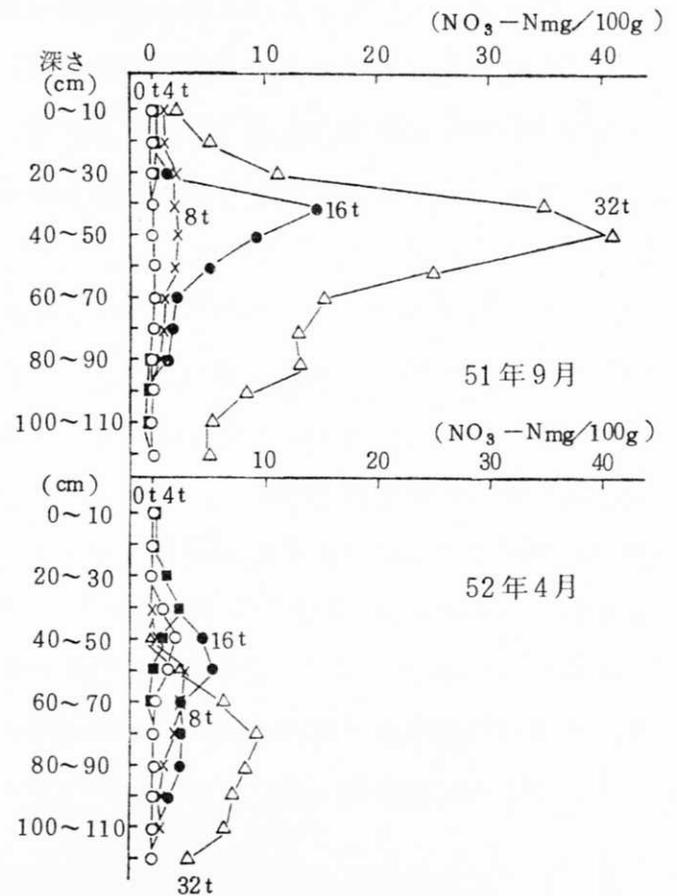


図-4 牛ふん堆肥連用畑における収穫後(51年9月)と翌春(52年4月)の土壌断面中の硝酸の分布²⁰⁾

図-4に牛ふん堆肥を多量施用した場合の土層別の硝酸態窒素の分布を示したが、10a当り10t以上の施用では施用堆肥から無機化した硝酸態窒素が収穫後も土壌中に多量に残存していた²⁰⁾。これらの硝酸は冬期に下層深くへ溶脱し

てしまい、この硝酸はもはや作物に吸収されることはない。多量の窒素を施用する野菜畑においても同様の現象が起こっている¹⁴⁾。

こうした硝酸の下層への溶脱をシミュレーションモデルを用いて気象データ等から予測し、硝酸による地下水汚染を防止しようという試みが欧米で行われている。すでに、こうしたモデルを施肥量の診断等に実用化している例もある^{26,27)}。しかし、わが国においてははまだ断片的研究に留まっており、実用化レベルには達していない。

(4) トウモロコシによる土壤窒素利用率の推定

窒素の効率的利用を図っていくためには、作物による肥料および土壌由来の窒素を調べる必要がある。肥料窒素の利用率は、重窒素標識肥料を用いる試験によって容易に知ることができる。しかし、土壌窒素の利用率はそう簡単には調べられない。そこで、土壌窒素の無機化量推定法と重窒素標識肥料を併用することによって、トウモロコシによる土壌窒素利用率の推定を試みた¹⁶⁾。窒素肥沃度の異なる畑でトウモロコシを栽培した時の肥料窒素と土壌窒素の由来の割

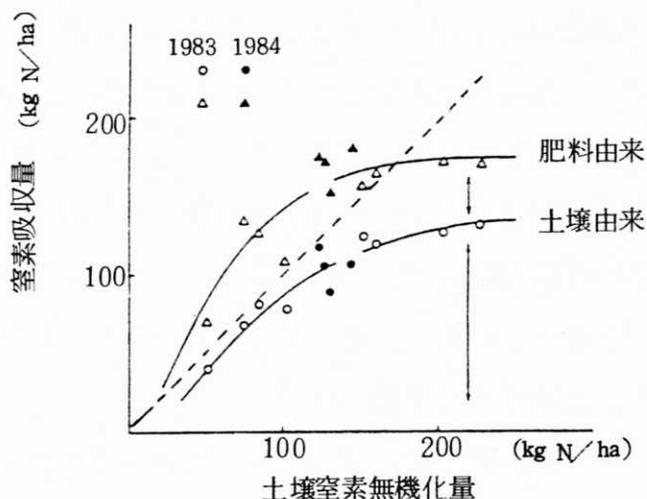


図-5 土壌窒素無機化量とトウモロコシの由来別窒素吸収量の関係。点線は土壌窒素利用率100%を示している。
○●：土壌窒素吸収量，
△▲：全窒素吸収量（土壌+肥料）

合を図-5に示した。土壌窒素肥沃度水準が高くなると、当然のことながら土壌窒素の利用率が低下する。この図でみると、作付期間の無機化量が12-13kg/10aの水準までは土壌窒素の利用率はきわめて高いことが認められる。これ以上に窒素肥沃度をあげても、それは窒素の効率的利用の観点からは好ましくなく、また、土壌窒素と言えども環境汚染の原因になるかも知れない。

ここでいう窒素12-13kgという水準はあくまでも深根性で養分吸収力の強いトウモロコシの場合である。根圏域が狭く、吸肥力の弱い野菜の場合、別の視点からの検討が必要である⁹⁾。

(5) 家畜糞尿の連年多量施用：最適連用量の策定

家畜糞尿や堆厩肥の施用は土壌の肥沃度を高めるために有効だが、それも過剰となれば環境への負荷を高める原因となる。そこで、どの程度の量の連用であれば環境への負荷が少ないのか、飼料用トウモロコシに対する牛ふん堆肥連用試験の成績に基づいて解析した結果について述べる¹⁵⁾。

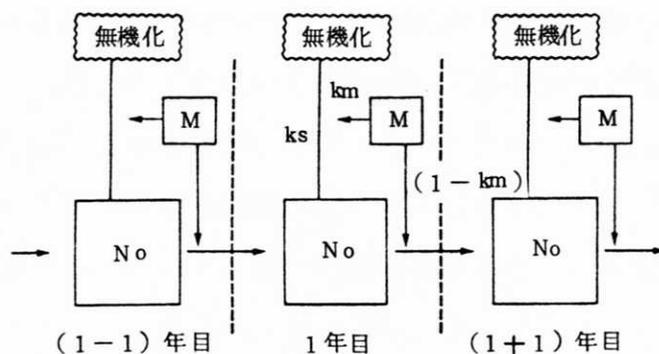


図-6 堆肥を連年施用した場合の可分解性窒素の経年変化モデル 毎年Mの窒素を含む堆肥が施用され、年分解率 k_m で無機化するとともに、残りは可分解性窒素(N_o)として集積する。 N_o の年分解率は k_s 。¹⁵⁾

表-3 牛ふん堆肥連用条件で平衡に達した場合の可分解性窒素 (No) の動態 (ks, kmはそれぞれ可分解性窒素と堆肥の年分解率)¹⁵⁾

肥施用量	No	ks	平衡の95%に 達する年数	M	km	年間無機化量 (参考)	トウモロコシ 窒素吸収量
	(kgN/10a)	(1/年)	(年)	(kgN/10a)	(1/年)	(kgN/10a)	(kgN/10a)
0 t	12.6	0.26	7.6	0	0	3.3	6.2
2 t	17.1	0.34	7.5	8.4	0.70	11.7	11.5
8 t	19.4	0.37	6.7	33.6	0.88	36.8	17.8
32 t	39.6	0.46	6.0	134.4	0.89	137.8	24.3

(参考) トウモロコシ吸収量；昭49～57年の9作平均 (無肥料区)

牛ふん堆肥を年々施用した場合の可分解性窒素 (無機化し得る土壤有機態窒素) 量の経年変化として図-6のような簡単なモデルを想定した。ここで、毎年Mの牛ふん堆肥窒素が施用され、その一部はその年のうちに分解率kmで無機化するとともに、残りは可分解性の窒素 (No) として土壤に残存するとした。実際の可分解性窒素 No の経年変化のデータと無機化パラメータと地温から推定した年間無機化量のデータを図-6のモデルにあてはめて解析し、表-3の結果を得た。牛ふん堆肥の連用を続けるとほぼ6年から7年で土壤中の可分解窒素量の集積が頭打ちになり、その時の年間窒素無機化量は表に示した通りである。参考までに無肥料区での窒素吸収量を右端に示したが、堆肥2tの連年施用で吸収量と無機化量が釣り合っている。また、先の図-5のデータから判断すると、毎年2t程度の連年施用が堆肥窒素の効率的利用や窒素による環境負荷を引き起こさないという観点からはもっとも望ましいと言える。

(6) 品質と土壤窒素

作物の品質が窒素の供給パターンによって大きく影響を受けることはよく知られている。特に水稻やテンサイなどでは、多収穫に必要な生育後期の窒素供給が生産物の品質の低下を引き

起こすとの指摘がされている²¹⁾。そのため、水稻では生育後期の追肥を控える指導がなされている地域もある。一方で、いわゆる地力を高めるために有機物施用が奨励されている。有機物連用は土壤有機態窒素の無機化パターンを変化させ、結果的に品質に影響を与える。今後、土壤窒素無機化量推定法などの手法^{7, 22)}を駆使し、窒素の効率的利用と高品質農産物の生産を両立する技術を開発することが求められている。

(7) マメ科作物の窒素固定の利用

図-2に黒の矢印で示した経路、脱窒と窒素固定は生物的作用によるものであり、土壤や作付体系の管理等によって脱窒をできるだけ減じ、窒素固定をできるだけ増やすことが出来れば、窒素の効率的利用につながる。窒素固定作用は多くの土壤微生物で認められているが、わが国の農業事情の下で土壤管理上意義のあるのはマメ科作物の根に共生する根粒菌による窒素固定である。ここでは、東北地方で広く栽培されている大豆について述べる。

マメ科作物、特に大豆の窒素固定量は大きく、吸収窒素の40%から80%を大気からの窒素固定に依存している。このような多量の窒素固定を作物生産に有効に活用できれば、結果として、化学肥料の節減につながる。窒素固定の活用の

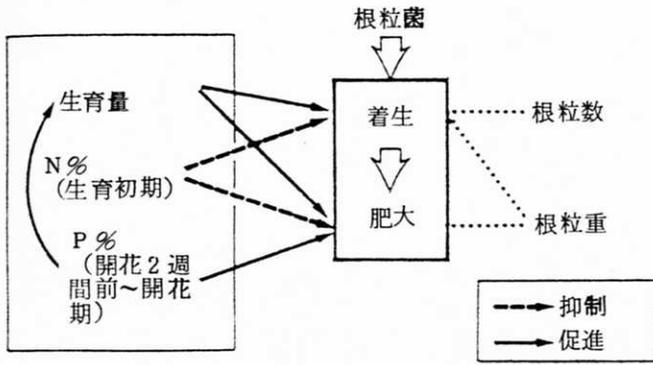


図-7 根粒の着生と大豆の生育量、栄養状態の関係⁸⁾

ためには、まず、大豆の根に多数の根粒が着生している必要がある。これまでの多くの試験成績を解析することによって、生育初期の窒素含有率によってその後の根粒着生・肥大が支配されていることが明らかになった(図-7)⁸⁾。大豆多収のためには開花期以降に十分な土壤窒素の供給が必要であるが、図-7は、水田転換畑等窒素肥沃度の高い圃場で大豆栽培を行う場合に生育初期の窒素の管理がその後の根粒着生を確保するためにも重要であることを示している。また、十分なリン酸肥料、堆肥などの併用は、大豆の初期生育を促進し、結果的に大豆体内の窒素含有率を低下させ、根粒の着生を促進する。

根粒菌の中には、窒素固定の際のエネルギー効率の高い菌が知られている。根粒菌による窒素固定は宿主である大豆の光合成産物を利用して行われるが、エネルギー効率の高い根粒菌の場合ヒドロゲナーゼという酵素を有しており、その作用によってより少ない光合成産物で窒素固定を行うことが出来る。

このことは、冷害気象によって光合成の低下が起こった場合に重要である。表-4にエネルギー効率の高い菌株とそうでない菌株を用いて

東北農試圃場において行った接種試験の結果を示した¹⁾。本圃場にはすでに高密度の根粒菌が生息しており、こうした土着菌との競合もあって通常の場合接種効果は認められない。実際、平年並の気象条件であった昭和57年(1982年)には接種の効果は出なかった。ところが、低温年であった昭和58年(1983年)にはエネルギー効率の高い菌株の接種区で収量の増加が認められた。しかし、現実には、接種菌と土壤に元来生息している土着菌との競合等解決すべき問題が多い。

表-4 ヒドロゲナーゼ活性を有する根粒菌菌株(A1017)及び同活性を持たない菌株群(US A)の接種が大豆の茎葉部乾物重に及ぼす影響¹⁾

接種菌株	1982年			1983年		
	7/4	8/10	9/4	7/20	8/16	9/2
未接種	80	203	632	27	190	381
A1017	78	197	639	38	314	513
US A	90	189	648	33	197	452

4. リンの効率的利用

(1) 耕地土壤中におけるリンの循環と蓄積

リンの土壤中における循環を図-8に示した。リンは、窒素と異なり、土壤粒子に強く吸着されるために、土壤中で殆ど移動しない。また、

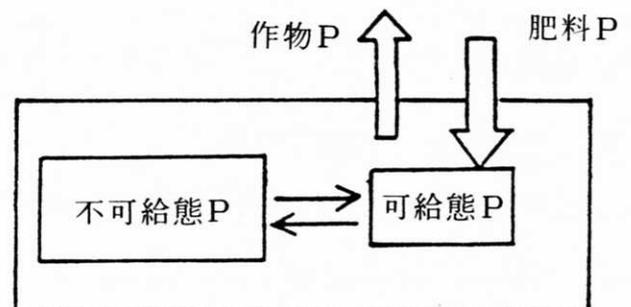


図-8 耕地土壤中におけるリンの循環

作物にとって吸収可能な可給態リンも時間と共に不可給態へ変化する。この傾向は特に火山灰に由来する土壤で強く、そのためにかつては火山灰土壤のリン酸肥沃度は低く、生産性もきわめて低かった。しかし、ようりんなどのリン酸資材を土壤改良材として多量に施用する技術が開発され、現在では、火山灰起源の土壤の生産性もきわめて高くなってきている。しかし、このことは一方でリン酸資材の過剰施用という問題を引き起こした。リン酸は土壤に強く吸着されているため、窒素のように地下水を汚染することはないが、蓄積したリン酸と他の肥料成分との養分のアンバランスや土壤中へのリン酸過剰蓄積という問題が顕在化してきた。

農耕地におけるリン酸の過剰蓄積については東北地方を含め全国の試験場から多くの成績が報告されている^{2), 4), 5)}。土壤中でのリン酸の挙動を考えると、当面の対策は、土壤診断により過剰施用を避け、適正な減肥を行う以外にない。減肥に際しては、作物によってリン酸の要求量や吸収力が異なることに配慮し、作物別、土壤別のきめ細かな減肥基準が必要である。その実例の一つとして、岩手県の基準を表-5に示し

た⁵⁾。さらに農家レベルでの減肥の実現のためには、展示圃場等による減肥の実証、農家への啓蒙活動、また、リン酸含有率の低い減肥用の配合肥料の調製など多面的な努力が必要であろう。

一度不可給態化したリン酸を可給態化するのには現状ではきわめて困難である。不可給態リン酸を溶解する微生物など色々と基礎的な面から研究が続けられているが、まだ有効な成果はあがっていない。

(2) VA菌根菌の利用

Vesicular - Arbuscular (VA) 菌根菌は畑作物の根の内部に共生している糸状菌の一種であり、嚢状体 (Vesicule) と樹枝状体 (Arbuscule) と呼ばれる共生特異的な器官を根の皮層部に形成することからそれらの頭文字をとってそう呼ばれている。この菌には土壤中の希薄なリン酸を効率よく吸収し作物へ供給する作用などがあり、本菌を有効に活用することができれば、リン酸等の資源の効率的利用が可能になると期待されている。特に、リン酸固定力の強い黒ボク土が広く分布する東北地域における利活用の可能性は高い。

表-5 土壤別、作物別可給態リン酸含量上限値とリン酸減肥基準⁵⁾

	黒ボク土		非黒ボク土	
	可給態リン酸含量 (トルオグP ₂ O ₅ ㎎/100g)	施肥管理	可給態リン酸含量 (トルオグP ₂ O ₅ ㎎/100g)	施肥管理
低リン酸作物 (リン酸要求量小)	～ 30	標準施肥	～ 30	標準施肥
	30 ～ 50	50%減肥	30 ～ 50	80%減肥
	50 ～	無施肥	50 ～	無施肥
高リン酸作物 (リン酸要求量大)	～ 50	標準施肥	～ 30	標準施肥
	50 ～ 100	50%減肥	30 ～ 50	50%減肥
	100 ～	無施肥	50 ～	無施肥

低リン酸作物：だいこん、にんじん、キャベツ、はくさい、しゅんぎく、ばれいしょ、普通畑作物
高リン酸作物：上記以外の野菜類



図-9 殺菌土壌におけるイチゴ(幼植物)に対するVA菌根菌接種効果

リン酸肥沃度の低い黒ボク土を殺菌し、そこへVA菌根菌を接種した場合のイチゴの生育状態を図-9に示したが、VA菌根菌による生育増進効果がはっきりと現れている。しかし、実際の場面でのVA菌根菌の活用には解決すべき困難な問題が多い。

第一に、菌の人工培養が出来ないことである。したがって、接種源として菌を培養するためには、菌を宿主作物へ接種し、その作物を栽培するという労力と時間が必要となる。最近、こうした方法で調整した接種資材が市販されているがきわめて高価であり、リン酸肥料の方がずっと安価である。

第二に、多くの土壌にはすでにVA菌根菌が生息している点である。こうした土着VA菌根菌には作物への効果の高くないものも多いが、そうした土壌へ、外から優れた菌株を接種しても、土着の菌との競合などの問題で期待通りの効果のあがらないことが多い。

第三に、VA菌根菌の根への感染は、リン酸肥料の多量施用によって阻害されることである。前述のように、わが国の多くの畑には多量のリン酸が蓄積しており、そうした場でのVA菌根

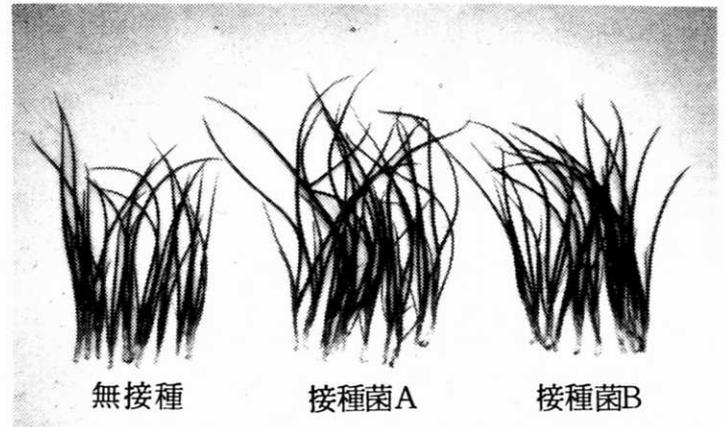


図-10 未殺菌土壌における玉ネギ(幼植物)に対するVA菌根菌接種効果¹⁸⁾

菌の利用はなかなか難しい予想される。

図-10に、土着VA菌根菌密度の高い土壌への接種試験の結果の一部を示した¹⁸⁾。この試験では接種菌が土着菌との競合に打ち勝つようになりかなり多量の菌を接種した。このように効果は現れるが、コスト的に採算はとれない。

そこで、どのような場合にVA菌根菌の接種の効果が期待できるかを表-6にまとめた。ここで、ある程度土着菌の生息している土壌の場合、その菌の機能を活用する方法として粉炭の施用が注目を集めている。炭は多孔質であり、VA菌根菌菌糸の生育環境として最適である。したがって、土壌中に粉炭を施用するとその炭の粒子の中にVA菌根菌が入り込んで増殖し、結果として作物の生育が良くなると言われている。

表-6 VA菌根菌接種の可能性

土着VA菌根菌の密度	土着菌の有効性	接種の効果	対策
無	—	大	接種
	—	中	接種
低	+	小	土着菌密度の増加
	—	中	接種
高	+	無	現状維持

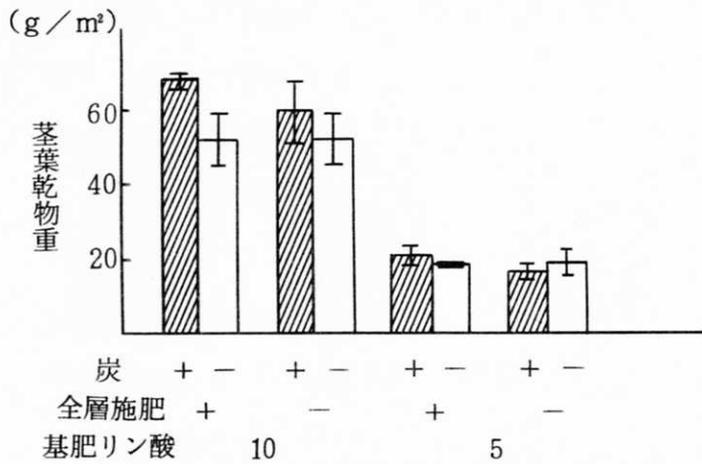


図-11 粉炭、全層施肥、リン酸施肥が大豆の生育に及ぼす影響¹⁷⁾
(1986年7月14日)

そこで、東北農試の圃場で粉炭の大豆に対する施用効果について検討を行った¹⁷⁾。図-11に結果の一例を示したが、粉炭の施用でわずかに生育がよくなった。しかし、その後、この差は認められなくなり、収量では全く差は認められなかった。結論として、炭にはある程度の効果を期待出来るが、炭といえども高価な資材であり、まだ現実的な方法とは言えない。今後さらに、土壌等の環境条件やVA菌根菌の種類との関連でさらに検討する必要がある。

5. 不耕起・簡易耕栽培による養水分の効率的利用

(1) 既往の研究のまとめ

欧米、特にアメリカにおいては不耕起栽培について精力的な研究が行われ、不耕起栽培は土壌侵食を防ぐ積極的な環境保全型の農業技術と考えられている²⁰⁾。一方、わが国においてはオイルショック以降、農作業に使われるエネルギーを減らし、省エネルギー・低コスト化を図るという観点から、比較的経営規模の大きい北海道を中心に研究が進められてきた。その結果、北海道十勝地方では、全くの不耕起ではなく、従

来秋に行われていたプラウによる深耕を省略し、春に表層10cm程度の薄いロータリー耕のみを行うという、いわゆる簡易耕、ミニマムティレッヂが望ましい技術であることが認められ、奨励されている^{3, 13)}。簡易耕の長所として、①燃料の消費が少ない、②土壌侵食、特に春先の乾燥による風食に対して効果がある、③土壌構造が維持される、④水分や養分保持が大きいなどの点があり、問題点として①雑草害、②前作残さの処理法、③施肥体系の未確立、④碎土不足、⑤作業機の未開発などが挙げられている。

北海道における試験を概括すると、一般に不耕起栽培区での初期生育がよい。これは、主に土壌水分の問題と考えられる。北海道、特に十勝地方では、春先に土壌が乾燥しやすく、こうした条件下での耕起は土壌中の毛管水を切断するため、作物への水分供給が不足する。図-12には、耕起法の違いによってトウモロコシの土層別水分消費の異なることが示されている³⁾。慣行の耕起法では、作土層の毛管水の連続性が失われてしまうため、作物は根を深くまで伸ばして、水分を吸収しなくてはならない。一方、

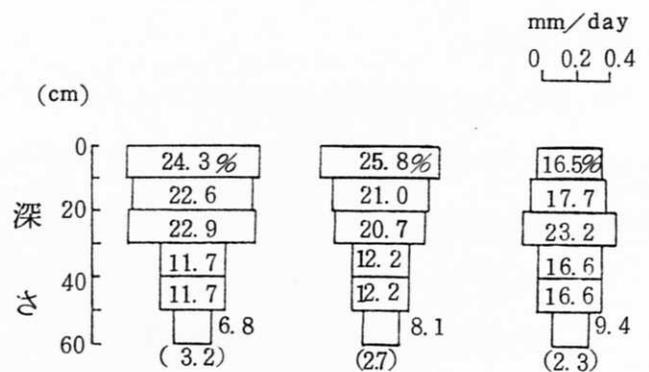


図-12 耕起法の違いがトウモロコシの土層別水分消費量に及ぼす影響。左から簡易耕(带状5cm深)、簡易耕(全面10cm深)、慣行耕起。()内の数字は水分消費量(mm/日)³⁾。

毛管孔隙中の水分が下層から連続している簡易耕区では表層で十分な水分を吸収することができる。

また、不耕起区では肥料成分の利用効率が向上すると言われている³⁾。この原因の一つとして、不耕起によって硝酸態窒素の下層への溶脱が抑制されるためとの指摘がなされている。これは、不耕起区では土壌構造が相対的にち密であり、土壌水の移動速度が遅いためである。

(2) 東北農試畑圃場における不耕起栽培

北海道同様、春先に乾燥しやすい盛岡において大豆とトウモロコシに対して不耕起栽培の予備試験を行ったところ、1991年度にはきわめてよい結果が得られた(図-13)。トウモロコシについても著しい初期生育の促進が認められた。しかし、本年度(1992年)の場合、5月に非常に雨が多かったために、初期生育にはっきりした差は認められなかった。

最近では、水稲作においても不耕起栽培を試

みる例が増えており注目を集めている⁶⁾。

6. まとめ：将来の研究のために

本論文では、肥料成分である窒素やリン酸の効率的利用、そして、省エネルギー技術である不耕起栽培においても養水分が効率的に利用され得る点を指摘した。このように、土壌中における物質の流れや循環、そしてそれを支配している土壌環境の特性について理解を深めていくことによって、初めて農耕地へ投入されるエネルギーの効率的利用技術の開発が可能となる。したがって、環境保全型農業、そして低投入で生産力の持続し得る農業技術を開発していくためには、土壌-作物系における物質循環についてさらに基礎的研究を深める必要がある。特に、本論文で触れなかった面的広がりをもった研究の深化が必要であろう。

また、環境保全的見地からみて現在の農業の実態がどのようになっているのか今一度見直す必要がある¹⁰⁾。その際には、特に一枚の田圃や畑、あるいは、農家、集落レベル、さらに町村単位といったそれぞれのレベルでの調査が必要と考えられる。最近、集落排水施設など農村生活環境の改善に関わる事業が進められているが、これらの事業を進める上でも、地域レベルの物質循環についてその実態を調べながら、実施していくことが求められているのではなかろうか。

環境保全型農業、環境にやさしい農業というのは、農業を取り巻く環境の保全だけでなく、最終的には農耕地生態系や農村環境の保全・向上にも寄与するものでなければならない。このことは、今後新しい技術が開発された場合に、普及・定着し得るかという問題と深く関連している。

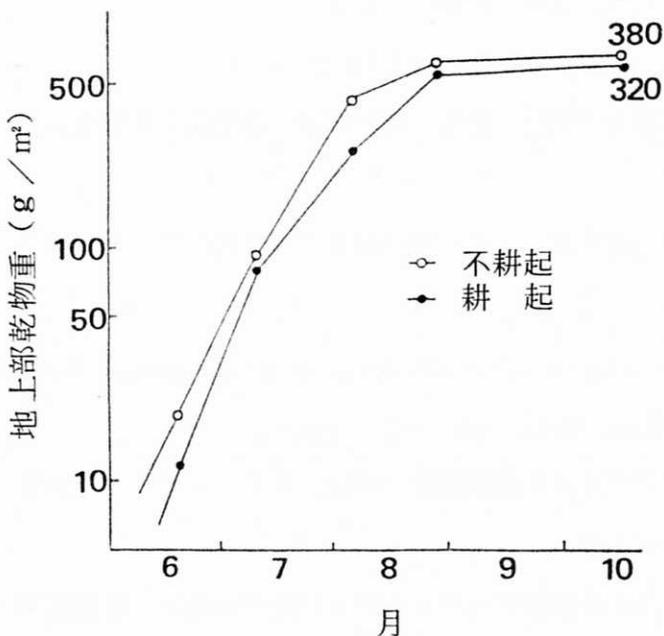


図-13 不耕起および慣行耕起における大豆の地上部乾物重の推移。
(数字は子実収量。東北農試畑圃場、1990年)

引用文献

- 1) 赤尾勝一郎, 高橋利和, 伊藤 晃, 斎藤雅典, 石井和夫, 市来秀夫. 1990. *ダイズ根粒菌の接種効率の向上と接種菌株の土壌への定着*. 東北農試研報 82:47-61.
- 2) 青森農試化学部. 1992. *ニンニク畑土壌のリン酸蓄積と収量*. 東北農業研究成果情報平成3年度. 東北農業試験研究推進会議・東北農試 P. 61-62.
- 3) 畠中哲也, 塩崎尚朗. 1987. *簡易耕の導入に伴う土壌の変化と畑作物の反応*. 土壌の物理性 54: 2-13.
- 4) 岩手農試施肥改善科. 1991. *水田におけるリン酸の実態と土づくり肥料(リン酸)の施用基準*. 東北農業研究成果情報平成2年度. 東北農業試験研究推進会議・東北農試. P 81-82.
- 5) 岩手農試土壌改良科. 1992. *野菜畑におけるリン酸過剰蓄積と減肥基準*. 東北農業研究成果情報平成3年度. 東北農業試験研究推進会議・東北農試 P 63-64.
- 6) 金田吉弘. 1992. *低湿重粘土汎用水田における水稻の不耕起及び部分耕移植栽培*. 農業技術 47: 215-219.
- 7) 金野隆光, 杉原 進. 1986. *土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用*. 農環研報 1: 51-68.
- 8) 金野隆光, 斎藤雅典, 石井和夫. 1990. *ダイズの根粒着生と茎葉部の生育量・栄養状態の関係*. 土肥誌 61: 396-403.
- 9) 久保研一. 1991. *野菜の施肥窒素利用特性*. 季刊肥料 59: 36-44.
- 10) 熊沢喜久雄. 1992. *日本における「環境保全型」農業とは何か*. 農業と経済 58(7): 5-14.
- 11) 長野間宏, 金田吉弘, 児玉 徹. 1989. *輪換水田における土壌窒素の無機化予測を組み入れた水稻窒素栄養診断システム(第1報)(第2報)*. 東北農業研究 42: 87-90.
- 12) オダム, E. P. 1975. *生態学の基礎*, 下巻第15章, 培風館, 東京. P. 541-570.
- 13) 小川和夫, 渡辺治郎. 1987. *簡易耕栽培の意義と問題点*. 土壌の物理性 55: 13-24.
- 14) 小川吉雄. 1992. *畑作地域における地下水汚染と農法転換の可能性*. 農業と経済別冊「環境保全と農業」, 富民協会, 東京. P. 40-48.
- 15) 斎藤雅典, 金野隆光, 杉原 進. 1986. *牛ふん厩肥連用土壌における易分解性窒素の経年的変化*. 土肥学会講演要旨 32: 225.
- 16) Saito, M.; Ishii, K. 1987. *Estimation of soil nitrogen mineralization in corn-grown fields based on mineralization parameters*. Soil Sci. Plant Nutr. 33: 555-566.
- 17) 斎藤雅典, 赤尾勝一郎, 市来秀夫. 1988. *菌根菌の利用(2)ダイズの窒素固定の増進*. グリーンエネルギー計画成果シリーズⅡ系. 農林水産技術会議事務局 19: P. 124-138.
- 18) 斎藤雅典. 1992. *多孔質VA菌根菌接種資材の玉ネギ, 長ネギ及びアルファルファに対する効果*. 東北農業研究 45: 139-140
- 19) 坂野雅敏. 1992. *環境保全にむけた行政の取り組みと課題*. 農業と経済別冊「環境保全と農業」, 富民協会, 東京. P. 469-74.

- 20) 杉原 進, 石井和夫, 近藤 熙. 1979. 畑地に対する牛ふん厩肥の連年多量施用 (第1報) 厩肥の多量施用
が畑作物の生育収量および土壌に及ぼす影響. 東北農試研報 60:17-40.
- 21) 相馬 暁. 1992. 北海道の目指す環境調和型 (クリーン) 農業の方向性と技術的課題. 農業技術 47: 193
- 198.
- 22) 東北地域土壌窒素無機化パターン研究グループ. 1988. 東北地域における土壌窒素無機化パターンのモデル
化とその活用技術の現状. 農業技術 43: 161-164, 208-213.
- 23) 鳥山和伸. 1992. 「環境保全型」農業の技術的・政策的対応の課題. 農業と経済 58:22-29.
- 24) Trudgill, S. T. 1977. Soil and Vegetation Systems. Oxford University Press. P. 180.
- 25) 上野正夫, 熊谷勝巳, 富樫政博, 田中伸幸. 1991. 土壌窒素と緩効性被覆肥料を利用した全量基肥施肥技術.
土肥誌 62: 647-653.
- 26) USDA. 1991. Agriculture and the Environment. The 1991 Yearbook of Agriculture.
USDA, Washington. 325 p.
- 27) Whitmore, A. P.; Addiscott, T. M. 1987. Application of computer modelling to predict
mineral nitrogen in soil and nitrogen crops. Soil Use and Management 3: 38-43.