

稲わら中の窒素とエネルギーの再利用

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	田中, 明
巻/号	46巻7号
掲載ページ	p. 328-332
発行年月	1975年7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



稲わら中の窒素とエネルギーの再利用

田 中 明*

水稻栽培において、窒素管理の問題は常に関心を集めてきた。それは、窒素管理が収量を強く支配するからである。水田の窒素肥沃度については、これを高めると、(1) 化学肥料窒素のみを使用しては到達し得ない高収量を上げ得る(多収技術)、(2) 化学肥料窒素を節約できる(省資源技術)、という2つの命題がしばしば未整調のまま議論されている。これは、米価に比べて肥料価格が安く、農業労働力が充分にあったために稲作技術が土地生産性に力点をおいてきたためである。しかし最近に至り、わが国においても労働生産性を高め、省資源的な配慮の必要性が生じてきたために、上記の2つの命題を明瞭に区別しなければならない情勢になった。

多収技術としての窒素肥沃度

多収技術の柱の1つとして、堆厩肥使用により土壤の窒素肥沃度を高める必要があることがしばしば論ぜられてきた。この主張は(1) 多収農家が堆厩肥を多量に使用している例が多いこと、(2) 堆厩肥の施与で増収が得られた試験例があることに根拠をおいている。

さて、この主張をする人達が引用する試験の設計をみると、ほとんどすべての場合、化学肥料窒素の使用に堆厩肥の使用が上積みされている。そして、現在の土壤肥料学の知識では化学肥料と堆厩肥に含まれている窒素の肥効を量的に比較することが困難なために、施与窒素の量と質の問題を解析し得ないままに、安易に結論を引き出している例が多い。

第1表は南ら¹⁾が北海道立上川農試で実施した稲わら利用に関する11年間の連続試験の結果である。玄米収量は堆肥区や、稲わら秋鋤込区が他区に比べて優っていた。この結果を引用して「有機物施与で地力が高まり、増収になる」と主張する人がいるかも知れない。しかし、窒素施与量についてみると、堆肥区は対照区より年々58 kg N/ha だけ多く施与しているのであって、「窒素の増施が増収の原因であった」と結論することも可能である。

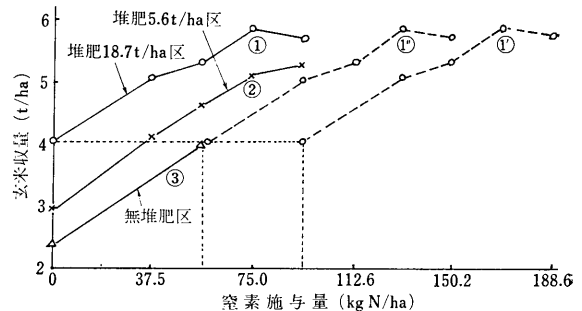
第1図は青森農試で堆肥と硫酸の施与量を色々変えた

* 北海道大学農学部(札幌市北区北9条西9丁目)
昭和49年11月18日受理
日本土壤肥料学雑誌 第46巻 第7号 p.328~332 (1975)

第1表 昭和38年~48年における堆肥および稲わら鋤込試験成績(北海道立上川農試)

区名	施肥量(kg/ha)					玄米収量	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	堆肥*	イネわら*	平均(t/ha)	変動係数
対照区	80	70	60	—	—	4.47	18.0
堆肥区	80	70	60	8 t/ha	—	5.02	19.7
稲わら春鋤込区	80	70	60	—	4 t/ha	4.66	16.0
〃 秋 〃	80	70	60	—	4 t/ha	4.97	19.3

* 含有N量(kg/ha) 堆肥:58, 稲わら:23



第1図 青森農試における堆肥および硫酸施与試験(連続試験における22~26年目の5年平均収量)

多くの組合わせの区を作り、長年にわたり水稻栽培試験を行なった結果の中、試験開始22~26年目の5年間の平均玄米収量を出井²⁾がまとめたものである。

この結果によると、多量(18.7 t/ha)の堆肥と適量の化学肥料窒素(75 kg/ha)を施与すると最高収量が得られると結論できる。しかし、この結果をさらに検討してみると、ここで使用した堆肥(厩肥から作られた堆肥である)には0.5%の窒素が含まれていたと仮定すると、18.7 tの堆肥には94 kgの窒素が含まれていたことになる。そこで、堆肥18.7 t/ha区の硫酸施与反応曲線(①曲線)を94 kg N/haだけ平行移動して①'曲線を作ってみた。無堆肥区(③曲線)は56 kg N/ha以上の窒素施与量区がないので①'曲線と③曲線とを比較するのは困難であるが、両曲線の延長線上で考えると、堆肥窒素は化学肥料窒素に比べて肥効が小さいと見ることができ。つぎに、①曲線は硫酸無施与区で約4 t/haの玄米収量を上げているが、③曲線では56 kg N/haでこれとほぼ同じ収量を上げているので、この窒素量が堆肥中

の有効窒素量を考へて、この分だけ①曲線を平行移動して①'曲線を作ると、①'曲線と③曲線とは連続した曲線となる。

すなわち、ここに用いた資料は堆肥や硫酸の施与が、長年の間に集積的に土壌に与えた効果と施与当年に作物に直接与える効果とが総合されたものであって単純ではないが、堆肥特有の効果を考えなくても、堆肥中の窒素の肥効は硫酸のその60%であると考えれば、極めて明解に説明ができる。

化学肥料窒素と土壌窒素(堆肥肥窒素を含む)の質的相違点として、水稻の生育にともなう有効態窒素の放出経過、すなわち水稻による窒素の吸収経過における相違がしばしば指摘されている。

水耕試験では全生育期間を通じての窒素吸収総量が同じであっても、吸収時期の相違によって子実収量が2~3倍も違う水稻を作ることができる。しかし、実際の水田で生育している水稻について窒素施与全量を一定として、それをいくつかの部分に分けて生育時期を色々変えて施与しても、全量を開花期以後に施与するといった非常識なことをしない限り、処理区間の収量の変動係数は5%以下³⁾である。すなわち、全量基肥区に対して、最適分施肥区で一割の増収が実現することは稀であり、また最適分施肥法は同一圃場においても年次により変る。

土壌有機物からの有効態窒素の放出経過の問題を考えるに当って、分追肥試験の結果を採用するのは必ずしも当を得ているとはいえないが、これまで土壌窒素の持つ有効化の時間経過の特異性を過大評価してきたのではないかと考えざるを得ない。

特に、水稻の品種改良が進み、初期生育が旺盛で生育後期に過繁茂となる可能性が少ない耐肥性品種が普及するにつれて、多量の化学肥料の施与にともなう弊害が軽減されてきたことも勘案しなければならない。すなわち、昔の品種では30~40 kg/ha程度の化学肥料窒素の施与で収量が頭打ちとなり、より多量の施与で減収となったため、収量をさらに高めるためには土壌肥沃度に頼らざるを得なかった。しかし、今日の品種では100~150 kg/haの化学肥料窒素を施与して高収を挙げ得るのである⁴⁾。

さらに、土壌有機物からの有効態窒素の放出が温度に支配されるために、低温下に水稻が窒素をあまり必要としない時には放出が少なく、高温下に多量に必要とする時には放出が多く、この土壌窒素の自己規制力のために安定多収が可能であるとする主張がある。この種の主張が実際の経験から出ており、それに耳を傾ける必要があることを完全には否定するものではないが、必ずしも

この主張とは一致しない試験結果も少なくない(第1表)ことも指摘したい。

以上、多収技術において窒素肥沃度が化学肥料窒素で代替不能な特効を持つとする主張には疑問を持たざるを得ない。山根⁵⁾は、ここに引用した青森農試の試験結果のみでなく栃木、香川農試における試験結果をも含めて考察し、「堆肥の効果は無機質肥料によっておきかえ得るものようである」と結論している。

肥料資源の節約

中国・日本など東アジア諸国においては農業・生活廃棄物の再利用によって、土壌肥沃度を維持・増進する技術が古くから発達した。現在でも、この地域においてだけ、稲作においてわらから堆肥を作り、これを稲作に使用している⁶⁾。昔の東アジアにおいては、都市に遠隔地より農産物を持ち込み、これを使用して人間が生活した廃棄物や、農地周辺の林野から野草を持ち込み、これによって家畜を飼育して生じる廃棄物を利用して農業を営んでいた。すなわち、遠隔農地や林野から作物養分を持ち込み、廃棄物を堆肥として再利用することを計ったために、都市近郊の農地の肥沃度の増進が可能であった。しかし、これは僻地における農地や林野の肥沃度の代償において可能だった。

現在のわが国について考えてみると、外国より食糧・飼糧を輸入し、人間が生活し、畜産が行なわれ、これらの廃棄物を作物栽培に完全に再利用することが可能であれば、日本の農地の肥沃度を増進することが可能である。この意味では、作物養分の再利用の思想が普及することが望ましく、また結果的には、畜産や農産加工にともなう水質汚染などを軽減することができる。

しかし、個々の水稻農家の経営内における問題にしばらくすると、水稻を作り、玄米を収穫し、その残りのわらを完全に土壌に還元したとして、窒素については水稻の全吸収量の35%程度が土壌に還り、65%が玄米として持ち去られる。それ故、自己生産のわらを全部土壌に還元したとしても、そのみでは窒素肥沃度は急速に減退する。

最近の研究⁷⁾によれば、水稻の根圏において微生物が窒素を固定するという。永年の無窒素栽培でも一定の玄米収量が維持されるという試験結果が多く、この維持が窒素固定のためである可能性は大きい。しかし、窒素無施与で維持され得る収量は決して高いレベルのものではなく、目下の世界における食糧事情においては、この収量に満足することはできない。

わら中の窒素の再利用、化学肥料窒素の節約という見

地から、もう一度第 1 図をみることにしよう。仮に 18.7 t/ha の堆肥の施与が高玄米収量を得るために望ましいとする。この判断には疑問があることは先に指摘したが、それが正しいとしても、実施に当っては問題点が多い。400 kg のわら (0.5% N) から 1 t の堆肥 (0.5% N) ができるとする。この前提では、堆肥の製造に当り少なくとも 3.0 kg の添加窒素が必要である (堆肥製造中の窒素の損失を見込めば、これより多量になる)。すなわち 18.7 t の堆肥を作るには 7.5 t のわらが必要であり、これだけのわらを 1 ha の水田で作るにはかなり多量の化学肥料を水稻に施与しなければならない。さらに、このわらから 0.5% N を含む堆肥を作るには外部から 56 kg の窒素の添加が必要であって、家畜の糞尿がなければ、化学肥料を使わねばならない。いいかえると、堆肥の利用は、わらに含まれる作物養分を再利用する方法であり、増収に役立つとしても、これを実施するには多量の化学肥料が必要である。

第 1 図の試験終了時における土壌の分析結果では、無堆肥・56.3 kg N 区と堆肥 18.7 t/ha・56.3 kg N 区の土壌の窒素含有率はそれぞれ 0.22% と 0.33% であった⁵⁾。土壌中の炭素や窒素の含有率は、与えられた管理条件下ではある年月の後に平衡状態に達するものであり、26 年間の試験期間中に平衡が成立したと仮定すると、18.7 t/ha の堆肥の連用で土壌窒素含有率は 0.1% 上昇したことになり、これは 1 t/ha の窒素が富化されたことになる。

さて、18.7 t/ha の堆肥を施与すると、その中には 94 kg の窒素が含まれており、この中 38 kg のわらの窒素が再利用されることになるが、さらにこれを作るには 56 kg の化学肥料窒素の添加が必要である。一方、堆肥窒素 94 kg 施与と同等の玄米収量を得るためには、先に推定したところではその 6 割に当る 56 kg の化学肥料窒素の施与が必要と考えられる。すなわち、毎年 56 kg N の化学肥料を水稻に直接施肥しても、同量の窒素を使って堆肥を作ってきた堆肥を水稻に施与しても、玄米収量は全く同じである。ただし、堆肥を使った場合には長年の間に 1 t/ha 程度の窒素が土壌中に貯蔵されることになる。

この貯蔵窒素は、急に窒素肥料の供給がなくなった場合には、数年間にわたって水稻の収量に対してかなりの効果を現わすであろう。しかし、収量は年々低下することはまぬがれ得ない。そして、水稻の収量を高く維持しなければならない場合には、堆肥の使用は必ずしも省資源的ではないのである。

「米作日本一」の記録をみると、入賞農家は平均 18

t/ha、最高 30 t/ha の堆肥を使っている⁸⁾。堆肥の多量使用と高収量との間に必然的な因果関係が存在するか否かについては議論の余地があるが、かりに 30 t/ha の堆肥の使用が有効であるとしても、これだけの堆肥を使うにはわらの持ち込みと多量の化学肥料窒素が絶対必要であり、18 t/ha でも系内生産のためには化学肥料が必要である。

再利用という見地に立てば、上記の窒素の場合に比べて、カリの場合は状況が全く違っている。水稻が吸収したカリの 80% 以上がわら中に存在しており、玄米を持ち出しても、わらを土壌に還元すれば吸収カリの大部分が回収可能である。それ故、カリ肥沃度はわらの上手な使用によりかなり維持できるはずである。わらの再利用において窒素は問題でなく、カリが問題であるとすれば、わらの圃場における焼却にも一理があるのかも知れない。

農業・肥料のエネルギー問題

近年、石油資源の不足が各方面から問題にされている。現時点における問題が石油資源保有国と消費国の政治的関係において展開しているか否かといったことはさておき、この情勢下にエネルギー問題に関する認識を深めておく必要がある。

作物生産における太陽エネルギーの乾物生産に対する利用効率は約 1% である。理論的な机上の計算では、この効率は 12% にまで高め得るとされているが、実際に測定された最高値は 3% 程度であり、穀物などの可食部生産における太陽エネルギーの利用効率は通常 0.5% であって、この効率を将来高め得る可能性は大きい。

つぎに、作物生産における農耕エネルギーの生産物への転化効率を考えてみよう。農耕に当っては、人が牛馬と鋤を使い、またはトラクターと燃料を使って圃場を耕耘し、肥料や農薬を使い作物を栽培し、鎌やコンバインで収穫し、人力、畜力、さらには電力を使って収穫物を調整して、生産物として農家が販売する。この場合、牛馬に必要な飼料、トラクターの燃料は勿論、農機具、肥料、農薬などの製造に必要なエネルギーも含めた耕種に必要な総エネルギーと、その耕種によって得られる作物の生産物中の可消化エネルギーとを対比すると、転化効率は原始的な農業では 16 倍であり、近代的な穀類生産においては 4 倍程度であり、著しく機械化されたアメリカの稲作や、砂糖の製造過程に多量のエネルギーを消費する甜菜栽培などで、1 倍程度であると試算されている⁹⁾。

なお参考までに述べると、このようにして農家が販売

してから、消費者が実際に食べるまでには、運搬・加工・調理の過程で廃棄物が生じると共にエネルギーを消費する。オーストラリアにおける試算では、人間が実際摂取する食物としての1ジュールに対して、農家が販売するまでに0.6ジュール、農家から小売店までに2ジュール、そして小売店から実際に人間の口に入るまでに個々の家庭で3ジュールを消費すると試算されている¹⁰⁾。すなわち、エネルギー問題の主体は農業以後にあるようである。

現代農業は機械化され、大きな機械の製作やその運転のための燃料に多量の化石エネルギーを消費している。しかし、それでも農耕に必要なエネルギーに対して少なくとも、それと同量のエネルギーを持った食糧が生産されており、現在の主食の大部分を生産している農業形態では4倍のエネルギーが生産されていると考えてよい。

すなわち、耕種に必要なエネルギーの生産物への転換効率に比較するならば、作物生産における、光合成による太陽エネルギーの利用効率は著しく低く、この場面における改善が要望されるわけである。

そこで、本論文の課題である窒素について考えてみよう。水稻に窒素1kgを施与すると、玄米15kg、わら15kgの増収が得られると仮定する。これは通常起っていることである。化学肥料窒素の製造エネルギーは6.5Mcal/kg Nと試算されている⁹⁾。玄米およびわらの持つエネルギーをそれぞれ4.1および3.7Mcal/kgとすると、製造に6.5Mcalを必要とする化学肥料窒素1kgを使うことによって、61.5Mcalの玄米が生産され、さらにわらとして60Mcal足らずが生産されることになる。

この単純な計算結果によれば、化学肥料窒素を使用することはエネルギー資源の浪費であるとする考え方は不当であると結論できる。窒素肥料を施与すると作物による光合成における太陽エネルギーの利用効率が上がり、肥料として消費したエネルギーの10倍近いエネルギーが玄米として生産される。さらに、不幸にして現在は実施されていないのであるが、副産物として生産されたわらのエネルギーを工業的に利用することができれば、使用窒素の8倍量以上の、窒素肥料が製造できることになる。

15kgのわらには75g程度の窒素が含まれている。この少量の窒素を有効に再利用するために一生懸命に堆肥を作ったり、鋤込み方法を考えたりしているのが、目下の農業的省資源的努力である。ところが、そのわらには8kgの化学肥料窒素を工業的に製造し得るエネルギーが含まれているのである。

以上を総合して、もし肥料製造などの化学工業、製鉄業、トラクター製造などの機械工業など、すべてがエネルギー源としてわらを使用し得たとすれば、わら使用におけるエネルギー効率が化石エネルギー源使用の場合の効率に比べて1/4であったとしても、農耕で穀物を生産し、それを食糧とし、副産物であるわらを使って、つぎの穀物生産が可能であり、太陽エネルギーさえ枯渇しなければ、農耕は生産物の中有用部分を系外に持ち出しつつ永久操業が可能である。

これは肥料成分中窒素のみを問題にしてのことであって、りんやカリを問題にすると、生産物を持ち出したのでは永久運転は不可能となるが、カリについては、わらを燃料に使い、その灰を再利用することによってかなり永続的に操業可能であろう。

はなはだ空想的な議論になってしまったが、結論として、少なくとも水稻の窒素問題に限定すると、現在の高収量を維持しつつ、わら中の窒素を農業的手段で再利用しようと努力しても、ほとんど省資源にはならない。しかしわらを工業エネルギー源として利用し得たとすれば多量の化学肥料窒素を製造し得るということになる。

要 約

(1) 多収技術における窒素肥沃度の意義を化学肥料窒素で代替し得ないものと評価するのは困難である。

(2) 堆肥製造にあたり、家畜の糞尿がなければ化学肥料窒素の添加が必要である。堆肥窒素の肥効は、化学肥料窒素のそれに比べて低いために、一定量の化学肥料を直接水稻に施与しても、それを使用して堆肥を製造して、その堆肥を水稻に施与しても、同等の収量が得られる。

(3) 化学肥料窒素製造に要するエネルギーとわらの燃焼熱から試算すると、窒素を水稻に施与し、それによって増収になったわらを肥料製造に使用すると、施与量以上の窒素が製造可能である。さらに、穀物栽培はその副産物であるわらのエネルギーを化石エネルギー源使用の場合の1/4の効率で利用できるとすれば、太陽エネルギーを利用しつつ永久操業が可能である。

文 献

- 1) 北海道立上川農業試験場：昭和48年度土壌肥料に関する試験成績書(土肥-1)(謄写印刷)
- 2) DEB, Y.: Effect of Cereal Crop Residues on Paddy Soils; Seminar on the utilization of cereal crop residues, 1974, Tokyo, Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region.(謄写印刷)
- 3) 山下鏡一：水田生産力と施肥との関連、特に追肥の効果、

- わが国における土壌肥科学の進歩, 127~132 (1968) 日本土壌肥科学会
- 4) 田中 明・山口淳一・島崎佳郎・柴田和博: 草型よりみた北海道における水稲品種の歴史の変遷, 土肥誌, 39, 526~534 (1968)
 - 5) 山根一郎: 堆肥連用試験の再検討 (2) —水田の場合— 農及園, 49, 848-852 (1974)
 - 6) TANAKA, A.: Methods of handling rice straw in various countries. Inter. Rice Commission Newsletter XXII No. 2, 1-20 (1973)
 - 7) International Rice Research Institute. Annual Report for 1972 p. 36 (1973)
 - 8) 農政調査委員会: 「米作日本一」の稲作技術 (1971) 不二出版株式会社.
 - 9) HEICHEL, G. H.: Comparative efficiency of energy used in crop production. Connecticut Agr. Exp. Sta. Bulletin 739 (1973)
 - 10) GIFFORD, R. M.: Energy, food and agriculture. Annual Report 1973. CSIRO Plant Industry p. 19-24
-