

稲わら連用水田における土壌窒素肥沃度の評価*¹志賀 弘行*² 宮森 康雄*³ 木村 清*⁴

北海道中央地域のグライ土水田において、稲わらを10年間連用し、水稻窒素吸収量の年次推移を数式化した。さらに、稲わら連用年数の限界と対策について、数式にもとづいた予測を行った。稲わらの連用により水稻の窒素吸収量は経年的に増加し、対照区に対する窒素吸収の増加量は、有機物の分解を分解率を異にする3画分の和で近似する数式モデルと良く一致した。その際、稲わらから放出される窒素の7割が水稻に利用されると推定した。総モミ数の上限を38,000粒/m²として、先の稲わら由来窒素吸収量の予測式と、吸収窒素あたりの総モミ数の増加率から、稲わら連用年数の限界を推定した。その結果、生育後半にも地力窒素の供給が続く圃場では、稲わら500kg/10aの連用は約7年が限界と考えられた。稲わらの連用が限界に達した場合、稲わらの施用を1年おきとするか、連用稲わらの残効を計算にいて、堆肥施用に切り替えることが適当と予測された。

結 言

稲わらを水田に直接施用することは、1960年代の農家労働力の不足による堆肥施用の減少および水稻収穫のコンバイン化を契機として一般化し、従来稲わら施用の慣行のなかった寒地にまで広がった。こうした背景のもとで稲わらのすき込みに関する研究が全国で活発に展開された。本道においても全道的な連絡試験にもとづき稲わら施用のさいに留意すべき条件（施用量、施用時期、施用法、土壌の透水性）が整理された¹⁾。しかし、この試験は稲わらの堆肥に対する代替性を玄米収穫量を指標に論じたものであった。近年の水稻生産において、収量よりも食味・外見品質が重要視される傾向がますます強まり、水稻の窒素施肥についても一層のきめ細かさが要求されていることを

考えると、さらに、稲わらの連用による土壌の窒素肥沃度の経年変化について定量的な評価を明らかにする必要があると考えられる。

本報告においては、稲わらを連用した圃場における水稻窒素吸収量の経年変化をもとに、施用稲わらから放出される窒素量の数式化を行い、さらに総モミ数の増加量を指標として稲わら連用の限界年数を推定することを試みた。

この研究は、有機物連用の効果を明らかにするために全国的に行われている「土壌環境基礎調査基準点調査」（土壌保全事業）の中間成績の一部を取りもとめたものである。

試験方法

(1) 土壌条件

調査圃場は、岩見沢市上幌向駅の南東、幾春別川の河岸に位置する。幾春別川から堆積した新しい沖積土で、45cm以下からグライ層が出現する。土性は粘性のごく強い埴土である。しかし、圃場設置時に粃殻暗渠を密（5m間隔）に施工したため、現在の表面排水は、比較的良好である。

(2) 試験処理

1976年より10年間、岩見沢市、中央農試稲作部水田（細粒グライ土）において、水稻の生育、養

1989年8月21日受理

*¹ 本報の一部は1986年度日本土壌肥科学会北海道支部講演会（1986年12月）で発表した。

*² 北海道立中央農業試験場、069-13夕張郡長沼町

*³ 同上（現、中央農試稲作部、069-03岩見沢市上幌向）

*⁴ 同上（現、北海道立上川農業試験場、078-02旭川市永山）

表1 栽培条件, 処理内容

区 別	処理内容 (施用量: kg/10a)					管 理 の 概 要
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	堆 肥	稲わら	
対 照 区	7.0	8.0	7.0			試験開始: 1976年～ 品 種: 1976～77「ゆうなみ」成苗 (2本) 1978～「ともゆたか」中苗 (2本) 施肥法: 全量全層施肥 稲わら処理: 秋すきこみ 耕起砕土法: ロータリー耕 栽植密度: 30×13.3cm (25株/m ²) 区画の規模: 25m ²
三要素増量区	8.4	9.6	8.4			
堆 肥 区	7.0	8.0	7.0	1,000		
稲 わ ら 区	7.0	8.0	7.0		500	

表2 施用有機物の組成および要素別投入量 (現物当り)

有機物の組成・投入量		全炭素	全窒素	C/N 比	水 分
堆 肥	組 成* (%)	5.88	0.45	13.1	80.8
	投入量 (kg/10a)	58.8	4.5	—	—
稲わら	組 成* (%)	33.7	0.73	46.1	12.0
	投入量 (kg/10a)	168.5	3.7	—	—

*組成は1976年～1981年の平均値

分吸収, 収量の調査を行った。栽培条件, 処理を表1に示す。稲わらは11月上旬に10cm前後に裁断したものを圃場にすき込んだ。堆肥は稲わらを原料とする完熟堆肥であり, 5月上旬の耕起前に圃場表面に散布した。施用有機物の組成は表2に示した。

試験結果

(1) 稲わら連用による窒素吸収状況

各処理区の時期別窒素吸収量について図1に示

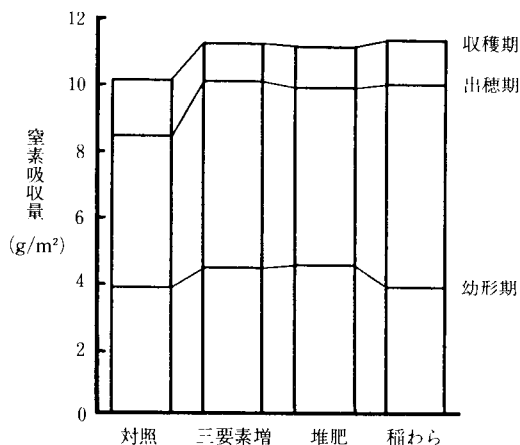


図1 生育時期別窒素吸収量 (10カ年平均)

す。稲わら区の窒素吸収量は幼穂形成期には対照区なみにとどまったが, 出穂期には三要素増量区, 堆肥区と同水準にまで増加し, 幼穂形成期から出穂期にかけての吸収量が多いことが特徴的であった。

稲わら区と対照区の収穫期地上部窒素吸収量の年次推移を図2に示す。稲わら施用によって基肥の化学肥料の利用効率が変わらないと仮定すれば, 図2の斜線部分が稲わらの施用による窒素吸

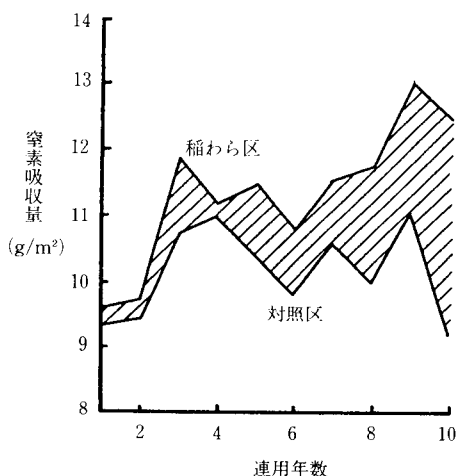


図2 稲わら区・対照区の窒素吸収量の年次推移

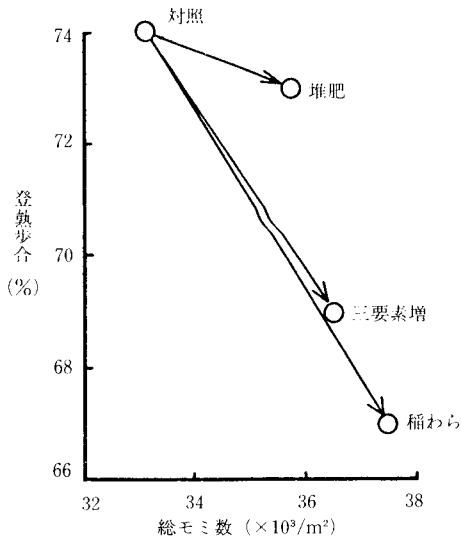


図3 総モミ数と登熟歩合に与える各処理の影響

収量の増加分である。年次による変動が大きいものの、全体的にみれば、稲わら施用による窒素吸収量の増加分は経年的に増加していると考えられた。

(2) 稲わら・堆肥の連用が収量構成要素におよぼす影響

稲わら・堆肥連用が総モミ数と登熟歩合に及ぼす影響を10年間の平均値で図3に示した。堆肥施用が登熟歩合の低下を伴わずに総モミ数を増加させたのに対し、稲わら連用は総モミ数の増加に伴う登熟低下をもたらし、三要素増施と類似の影響を示した。対照区に対する総モミ数の増加量は稲わら区においても最も大きく、10年間の平均値では約4,400粒/m²、ついで、三要素増量区、堆肥区の順であった。対照区に対する総モミ数の増加量を窒素吸収量の増加量で割った値は、稲わら区でもっとも大きく3,700粒/m²/gNとなり、ついで、三要素増量区3,100粒/m²/gN、堆肥区が最も小さく2,600粒/m²/gNであった。

考 察

稲わら施用指針¹⁾においては、玄米収量を基準に、透水良好な水田において400kg/10aの稲わら施用は、倍量の堆肥施用と同等の効果があるとされてきた。しかし、本試験結果から登熟歩合・総モミ数への影響において、稲わら施用は、堆肥施用よりも基肥窒素の増施と類似した効果をもつこ

とが、推察された。従って、連用稲わらから放出される窒素の量を予測し、過剰とならないように積極的に制御することが必要と考えられる。

1. 水田に施用した稲わらから放出される窒素量の予測

調査圃場の水稲窒素吸収量の年次推移に、有機物の分解過程に関する数式モデルを適用することを試みた。

近年、農林水産省の特別研究において、ガラス繊維ろ紙法²⁾による各種有機物の分解過程の追跡が行われ、分解過程に関する3種の数式モデルが提示されている³⁾。その中でも、有機物の分解を分解率の異なる3画分の和で近似する内田の式は、農事試験場における56年間の堆肥連用試験から炭素・窒素の集積量実測値と式による計算値がよく一致することが認められている⁴⁾。内田の数式モデルによる施用有機物の残存率 y_t は、

$$y_t = a \cdot 0.01^t + c \cdot 0.63^t + f \cdot 0.955^t \quad (\text{式1})$$

で表わされ、連用時の放出率(分解率)は、単年度の投入量を1とした場合、 $1 - y_t$ で表わされる。ここで、式1の右辺の0.01, 0.63, 0.955は仮想的な3画分の年分解率で、それぞれ、半減期0.15年, 1.5年, 15年に相当する。また、係数 a , c , f は各画分の割合で、 $a + c + f = 1$ である。窒素の分解に関して、鴻巣水田では a , c , f について、それぞれ、稲わらで-0.40, 0.95, 0.45、完熟堆肥で0.15, 0.11, 0.74、の値が得られている。

そこで、中央農試稲作部水田における水稲窒素吸収量の増加分の年次推移を内田の式にあてはめた。ここでは、稲わら連用による窒素吸収量の増加分の実測値を、図2の斜線部分(稲わら区窒素吸収量と対照区窒素吸収量の差)とし、計算値を、内田の式による窒素放出率($1 - y_t$)と施用稲わら中窒素含有量(3.7kg/10a)と作物による利用率の積とした。このうち作物による利用率は未知である。そして、各年における実測値と計算値の差の平方和が最小になるような利用率を求めることで、式のあてはめを行った。その結果、稲わらから放出される窒素の水稲による利用率は69%と推定された。

図4に稲わら施用による窒素吸収量の増加分の実測値と計算値を示した。各年次による変動がきわめて大きいものの、計算値は経年的な推移の傾向とある程度一致していると考えた。

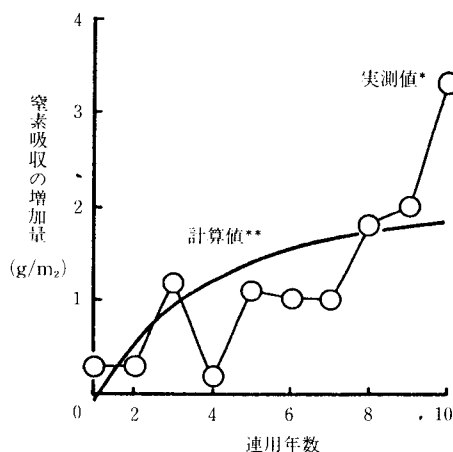


図4 稲わら施用による窒素吸収の増加量
*稲わら区窒素吸収量－対照区窒素吸収量
**稲わら窒素放出量計算値×利用率

堆肥区についても同様の手順で連用堆肥から放出される窒素の年次推移に内田の式をあてはめた。その結果、堆肥から放出される窒素の利用率は58%と計算された。ただし、計算には式1の係数a, c, fについて完熟堆肥の値を用いた。ここまでの計算では、式1の係数a, c, fに農研センター圃場で求められた値をそのまま用いた。それは、先の特別研究において、窒素の分解については炭素の分解の場合とは異なって、地域間の差異は判然としない、という結果³⁾が示されているので、それにもとづいたものである。

有機物放出窒素の利用率推定値について、今回の計算値と、既往の値³⁾の比較を表3に示した。今回得た稲わらからの放出窒素の69%という利用率

表3 有機物放出窒素の水稲による利用率

試験地	推定窒素利用率(%)	
	堆肥	稲わら
道立稲作部(岩見沢)	58*	69*
北海道農試(北野)	48~50**	—
東北農試(大曲)	25~55**	—
農研センター(鴻巣)	26~33*	50*
九州農試(筑後)	38*	50*

*水稲吸収窒素／ガラス繊維ろ紙法の数値から予測される放出窒素

**水稲吸収窒素／(有機物窒素投入量－土壤残存窒素)

は、農研センターおよび九州農試の50%に比べてやや高い値であった。しかし、既往の結果では、堆肥からの放出窒素の利用率は試験地が北に位置するほど高く、同一の試験地の場合には、稲わら窒素の利用率が堆肥よりも高い傾向を示していることから、本試験地で得た利用率の値は、全国的傾向の中で矛盾のない結果であると考えた。

以上の結果より、式1を用いて、岩見沢水田の稲わら・堆肥の窒素放出量を予測することの妥当性が間接的に確かめられた。式1による稲わら500 kg/10a および完熟堆肥 1 t/10a 連用時の窒素放出量の算出例を図5に示す。

2. 窒素放出量と総モミ数から推定した稲わら連用年数の限界

先に、稲わらの連用に伴う総モミ数の増加量は、水稻の吸収窒素の増加量あたりで比較すると、堆肥施用や基肥窒素増量の場合より大きいことを示した。連用年数の経過により、稲わらから放出される窒素が過剰になる場合があるとすれば、その影響は総モミ数の過剰として現われることが考えられる。そこで、稲わら連用年数の限界を、先の窒素放出量の数式モデルと、予想される総モミ数から以下のように推定した。

窒素含有率0.6%の稲わら500kg/10aを連用したとする。稲わら放出窒素の水稲による利用率を稲作部圃場における推定から70%と仮定する。総モミ数の限界量を、倒伏に対する基準値³⁾を参考に38,000粒/m²とする。ある圃場において、標準

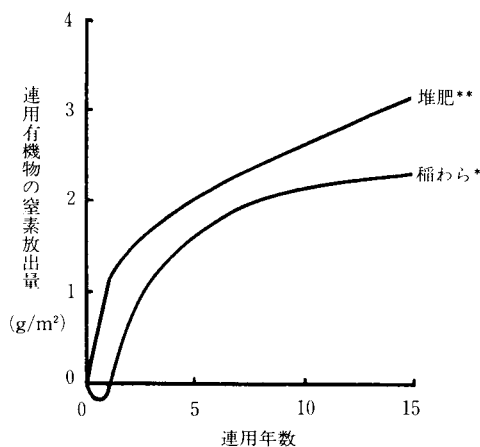


図5 稲わら・堆肥連用時の窒素放出の推移(計算値)

*稲わら：窒素含有率0.6%、施用量 500kg/10a と仮定

**堆肥： " 0.5%, " 1000kg/10a "

量の基肥施用のみで S_1 粒/ m^2 の総モミ数が得られ、稲わら由来の収穫期窒素吸収量 1 g あたり S_2 粒/ m^2 の総モミ数の増加があるとすると、許容される稲わらからの放出窒素量 X (g/ m^2) は、

$$X = ((38,000 - S_1) / S_2) / 0.7$$

となる。調査圃場の場合、 $S_1 = 33,000$ 、 $S_2 = 3,700$ を代入すると、 $X = 1.9$ (g/ m^2) となり、図 5 に示した稲わら放出窒素のカーブより、連用 7 年目にはこの水準に達することが予想される。上川農試の稲わら連用圃場（褐色低地土）について、同様の計算を試みると、連用 13 年目～23 年目の成績⁶⁾ から、 $S_1 = 30,900$ 、 $S_2 = 2,000$ であり、許容される稲わらからの放出窒素量 X は 5.1 (g/ m^2) と見積られた。これは、同圃場において稲わら連用によるモミ数過剰の恐れがないことを示すものである。稲作部圃場と上川農試圃場における S_1 および S_2 の差は、主に生育中期以降の地力窒素の差を反映したものであろう。土壌型としては、生育中期以降にも地力窒素の供給が続くグライ上および灰色低地土水田では、稲わらの連用が 7 年をこえた頃から、総モミ数過剰に対する注意が必要と考えられる。生育中期以降の地力窒素の供給が小さい褐色低地土水田では、問題は少ないと予想される。

稲わら連用により総モミ数が過剰となった場合

の対策としては、稲わらの施用量を減ずるか、総モミ数を増加させる効果の小さい堆肥施用への切り替え、基肥窒素の減肥を行うことが考えられる。稲わらからの放出窒素を有効利用するという観点からは減肥が望ましいが、基肥窒素を単純に減らした場合、稲わら施用による初期生育の抑制を助長する可能性があるため、側条施肥あるいは表層施肥の導入を考える必要があろう。

稲わら 7 年連用後の、各対策による窒素放出量の推移を予測した結果を図 6 に示した。稲わらの連用を 7 年で中止すると残効によって窒素放出量は 8 年目に最大値に達し、その後急速に減少する。これに対し、稲わらの施用を 9 年目から 1 年おきとした場合、やや変動はあるものの、1.2 g/ m^2 前後の窒素放出が長期間持続することになる。また、堆肥施用に切り替える場合には、8 年目からすぐに堆肥を施用すると、連用稲わらの残効と重なって窒素放出量が一時的に急増すると計算され、1 年おいて 9 年目からの堆肥施用とした方が、窒素放出量の急激な変動を避けられると予測された。

謝 辞 本試験を遂行するにあたり、中央農業試験場稲作部栽培第一科、農芸化学部土壌改良科の各位には多大な御指導、御援助をいただいた。

また、本稿をとりまとめるにあたり、中央農業試験場農芸化学部大崎玄佐雄部長には懇切な御校

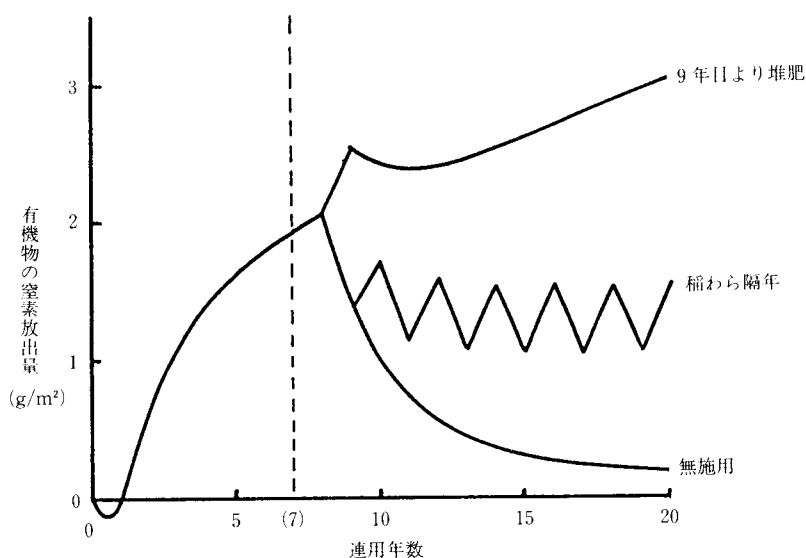


図 6 稲わら 7 年連用後の各処理による窒素放出量の推移（計算値）

閱をいただいた。以上の各位に心から謝意を表す
る。

引用文献

- 1) 北海道立農業試験場編. "水稻に対する素わら施用の影響に関する試験成績". 1971. p. 85-96.
- 2) 前田乾一, 鬼鞍豊. "圃場条件における有機物の分解率の測定法". 日土肥誌, **48**, 567-568 (1977).
- 3) 農林水産技術会議事務局編. "農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定". 研究成果, **166**, 24-51 (1985).
- 4) 志賀一一, 大山信雄, 鈴木正昭, 前田乾一, 鈴木弘吾. "水田における有機物管理が土壌の有機物集積, 窒素供給能, 水稻生育におよぼす影響". 農研センター研報, **5**, 21 (1985).
- 5) 北海道農業試験場(案)編. "土壌および作物栄養の診断基準(改訂版)北海道農業試験会議「普及奨励並びに指導参考事項」". 1989. p. 41.
- 6) 北海道立川上農業試験場土壌肥料科. "土壌肥料に関する試験成績書昭和50年度~昭和60年度". 1975~1985.

Evaluation of Soil Nitrogen Fertility in the Paddy Rice Field with the Continuous Application of Rice Straw

Hiroyuki SHIGA, Yasuo MIYAMORI and Kiyoshi KIMURA

Summary

In recent years, the application of compost has decreased for the paddy rice field and the application of rice straw has become the subject. But, the yearly change of nitrogen amount released from the applied rice straw and quantitative evaluation of influence on the yield component are not clarified.

Therefore, the formulation of annual change in the nitrogen absorption amount of paddy rice plant was performed in the gley paddy soil with the continuous application of rice straw for 10 years in Iwamizawa City of central Hokkaido. Furthermore, the estimate on the formula was carried out for the limit and countermeasure to years with the continuous application of rice straw : Obtained results are summarized as follows.

1. The nitrogen absorption amount of paddy rice by the continuous application of rice straw increased with the lapse of year. The increase of nitrogen absorption amount to that of the control plot corresponds well to the approximate formulation model by the addition of 3 plots in which the resolution rate is different in the resolution of organic matters, and it was estimated that 70% of nitrogen released from rice straw are utilized for paddy rice plant.

2. On the assumption that the upper limit of spikelet number per square meter is 38,000 grains per m^2 , the limit of years for the continuous application of rice straw was predicted from the above estimation formula of nitrogen absorption amount depending upon rice straw and the increase rate of spikelet number per square meter to absorbed nitrogen. From the results, it was considered that in the field where the supply of soil nitrogen is continued even in the latter half of growth, the limit to the continuous application of straw in 500 kg per 10a is about 7 years.

3. In case that the spikelet number per square meter became excessive by the application of rice straw, it was predicted, it is appropriate that either the application of rice straw is executed every two yeaes or it is converted to the compost application on the account of residual effect of continuous rice straw application.

