

# 不耕起乾田直播栽培を継続した水田における 土壌肥沃度および水稲の窒素吸収量

山本 章吾・久山 弘巳・柳井 雅美

The Degree of Soil Fertile and the Amount of Nitrogen Absorption by Paddy Rice  
in the Paddy Field which Continued Non-tillage Direct Sowing Culture

Shiyougo Yamamoto · Hiromi Kuyama · Masayosi Yanai

## 緒 言

不耕起乾田直播栽培（以下、不耕起栽培）は、育苗および耕起・代かき作業が不要なため、水稲の省力・低コスト技術として注目されている。不耕起栽培は、幅3cmの播種溝以外は耕起しないため、収穫時に地表面に還元された稲わらは、土中に混和されず、作土表面に集積する。そのため、不耕起栽培の土壌は、通常の耕起移植栽培に比べると、土壌養分の分布が異なる<sup>3, 10, 11, 19)</sup>。

また、不耕起栽培では、水稲根の活性が生育後半まで高く<sup>1)</sup>、秋勝り的な生育を示すといわれている<sup>7, 11)</sup>が、基肥の窒素利用率が低く<sup>8, 11)</sup>、初期生育量が少ないため<sup>3, 7, 10)</sup>、地力の低い土壌では耕起移植栽培に比べると収量が低下する<sup>17)</sup>ことが指摘されている。水稲の生育には、地力窒素の影響が大きく、収量に及ぼす影響も大きい<sup>14, 19)</sup>。しかし、不耕起栽培と耕起移植栽培における土壌中の窒素の集積および地力窒素供給量・供給パターンの違いを調査した例は少なく、地力の変化に基づいた肥培管理が行われるには至っていない。

そこで、1993年から8年間不耕起栽培を継続している圃場において、土壌の層位別腐植・全窒素含有率の推移、土壌窒素供給量・供給パターンを明らかにするとともに、水稲の生育に及ぼす影響を耕起移植栽培と比較したので報告する。

## 方 法

### 1. 耕種概要

岡山県農業総合センター農業試験場の同一圃場（中粗粒灰色低地上、土性CL）内に不耕起栽培区と耕起移植区を設けた。試験は1区20m<sup>2</sup>（4×5m）、2反復で行い、水稲の品種はアケボノを用いた。不耕起栽培は1993年から行い、毎年5月中旬に不耕起直播機（条間30cm）を使って浸漬粉をa当たり0.5kg播種した。耕起移植栽培は、4月中旬と6月上旬にロータリーによる耕耘・碎土を行い、代かき後の6月20日頃に中苗を移植した。両区とも、入水は6月20日、落水は9月25日、収穫は10月25日頃であった。収穫時の稲わらは、全量圃場に還元した。施肥は、不耕起栽培、耕起移植栽培ともに窒素無施用とし、過磷酸石灰、塩化加里を用いてリン酸、加里のみa当たり0.8kgを地表面に施用した。

### 2. 不耕起田の土壌化学性および水稲の窒素吸収量の推移

不耕起田の土壌化学性の変化を明らかにするため、1994、1995、1997、1998、2000年（不耕起栽培2、3、5、6、8作目）跡地土壌の腐植含有率、全窒素含有率を調査し、耕起移植田と比較した。また、不耕起田および耕起移植田の土壌窒素供給量を把握するために1997、1998、1999、2000年（不耕起栽培5、6、7、8作目）の入水時、最高分げつ期、出穂期、成熟期に地上部乾物重と窒素含有率を調査し、窒素吸収量を算出した。水稲の窒素吸収期間は、播種から入水までをI期、入水から

最高分げつ期までをⅡ期、最高分げつ期から出穂期までをⅢ期、出穂期から成熟期までをⅣ期と区分した。

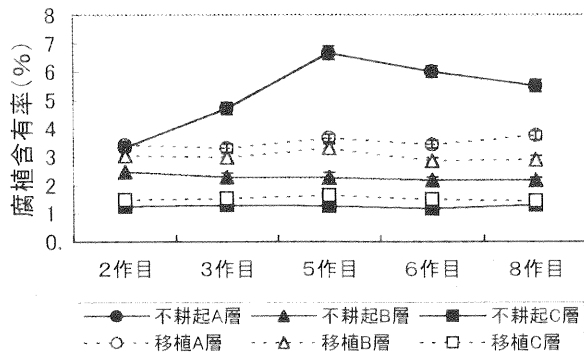
3. 土壌採取、土壌・植物体分析法

当年の稲わらを土壌に含まないように、水稻の成熟期の刈り取り前に土壌を採取した。土壌は、不耕起田、耕起移植田ともに深さ0~3cm(作土表層)と3~13cm(作土下層)に分けて採取し、下層土は深さ13~26cmの土壌を採取した。腐植含有率はチューリン法、全窒素はケルダール法で分解したのち水蒸気蒸留法で測定した。植物体の全窒素含有率は、硫酸一過酸化水素法で分解したのち水蒸気蒸留法で測定した。

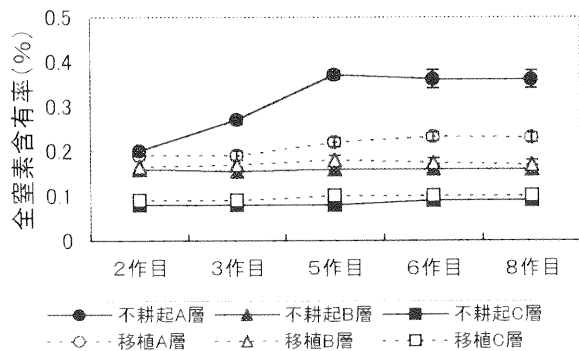
結 果

1. 不耕起栽培の継続による土壌化学性の変化

不耕起栽培1~7作目までの稲わらの収穫量は1作平均a当たり77.3±10.1kgで、7作までの稲わら還元総量はa当たり541kgであった。稲わらの還元によって土壌に還元された窒素量は、1作平均a当たり0.34kgで、7作目までの窒素還元総量は2.39kgであった。



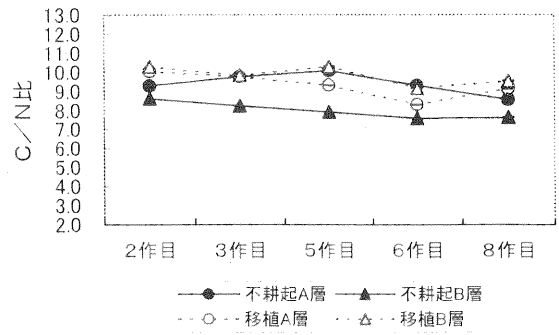
第1図 不耕起田と耕起移植田の層位別<sup>a)</sup>腐植含有率の推移  
 a) A層:作土表層(0~3cm), B層:作土下層(3~13cm), C層:下層(13~26cm)  
 b) 図中の誤差線は標準偏差を示す。



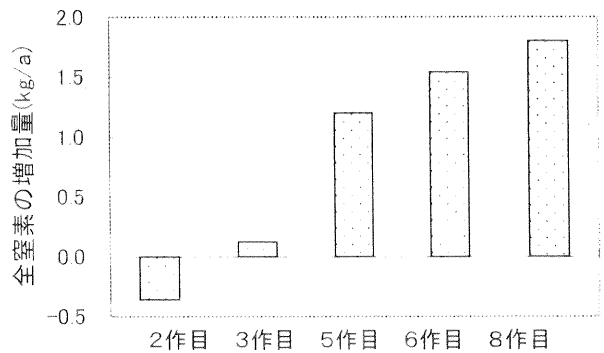
第2図 不耕起田と耕起移植田の層位別<sup>a)</sup>全窒素含有率の推移  
 a) A層:作土表層(0~3cm), B層:作土下層(3~13cm), C層:下層(13~26cm)  
 b) 図中の誤差線は標準偏差を示す。

不耕起栽培を8年間継続した時の土壌の腐植含有率、全窒素含有率およびC/N比の推移をそれぞれ第1、2、3図に示した。作土表層および作土下層の土壌の腐植及び全窒素の含有率は、いずれも不耕起田と耕起移植田で大きく異なった。すなわち、耕起移植田の作土表層と作土下層における腐植及び全窒素の含有率はそれぞれ2.9~3.7%、0.18~0.24%であり、8年間おおむね一定の値で推移した。それに対して、不耕起田では作土表層の腐植及び全窒素含有率が1~5作目まで大幅に増加し、5作目以降はそれぞれ6.0~6.6%、0.36~0.37%のほぼ一定の値で推移した。不耕起田の作土下層は、耕起移植田に比べて少し低い値で推移したが、不耕起栽培の継続による低下傾向は認められなかった。不耕起田では毎作稲わらが地表面に還元されるが、不耕起田のC/N比は耕起移植田とほぼ同程度で推移し、不耕起栽培の継続による上昇は認められなかった。

不耕起栽培の継続によって作土(深さ0~13cm)中で増加する全窒素量を、不耕起田と耕起移植田の全窒素含有量との差として求め、第4図に示した。不耕起田の全



第3図 不耕起田と耕起移植田の層位別<sup>a)</sup>C/N比の推移  
 a) A層:作土表層(0~3cm), B層:作土下層(3~13cm)  
 b) 図中の誤差線は標準偏差を示す。



第4図 不耕起田の継続による全窒素含有量の増加量<sup>a)</sup>  
 a) 調査層位は、深さ0~13cm  
 b) 不耕起田の全窒素含有量と耕起移植田の全窒素含有量の差

窒素含有量は、耕起移植田に比べて2作目でa当たり0.3kg少なかったが、3作目には逆転し、5作目では1.2kg多くなり、8作目で1.8kg多くなった。不耕起栽培の継続による全窒素の増加量を不耕起5年継続時にみると、作土下層では耕起移植栽培田に比べて2.1kg少ないものの、作土上層では4.5kg多く、作土全体でも約2.5kg多かった(第1表)。作土上層の全窒素の増加量を、乾

物の窒素含有量1.0%、含水率75%の稲わら堆肥に換算すると、a当たり600kgに相当した。

2. 水稲の窒素吸収量からみた土壌窒素供給量

不耕起田における水稲の窒素吸収量を第5図に示した。不耕起栽培の継続における水稲の窒素吸収量は、8作目までほぼ一定であった。8年間の窒素吸収量の平均値は、a当たり0.63kgであった。

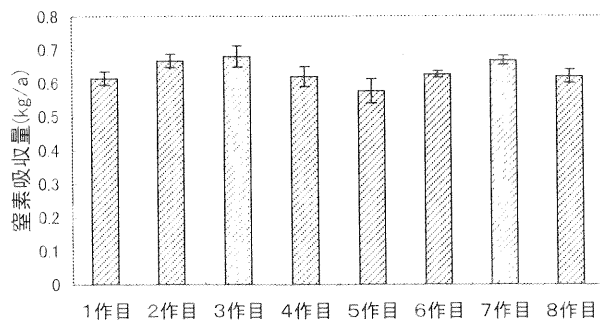
第1表 不耕起栽培の5年継続時において作土(深さ0~13cm)に集積した全窒素量

試験区	層位 <sup>a)</sup> (cm)	層位別の 全窒素含有率 (%)	作土全体の 全窒素含有率 (%)	不耕起栽培継続による 全窒素の増加量 <sup>b)</sup> (kg/a)	全窒素の増加量を 稲わら堆肥に換算した量 <sup>c)</sup> (kg/a)
不耕起栽培用	A	0.370	0.208	2.50	333.3
	B	0.161			
耕起移植用	A	0.220	0.189		
	B	0.182			

a) A: 深さ0~3cm, B: 深さ3~13cm

b) 不耕起栽培の継続による全窒素増加量は、不耕起区と耕起移植区の全窒素含有率を測定し、その差から算出した。なお、土壌の仮比重は、1.0と仮定した。

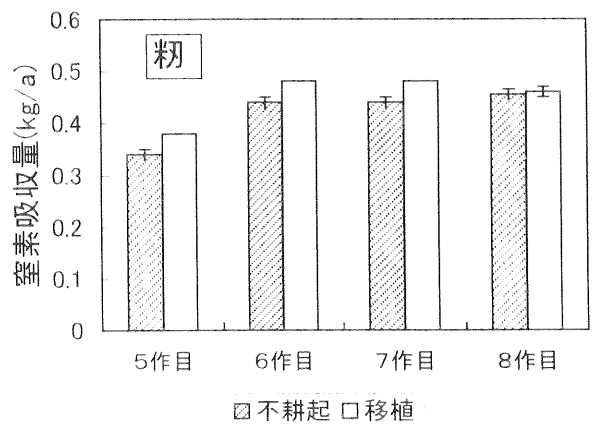
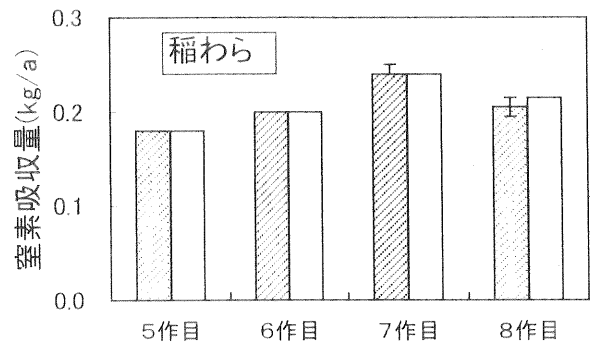
c) 作土に含まれる全窒素含有量を、稲わら堆肥(乾物の窒素含有率1.0%、含水率75%)に換算して算出した。



第5図 不耕起田において無窒素で栽培された水稲の窒素吸収量(成熟期)

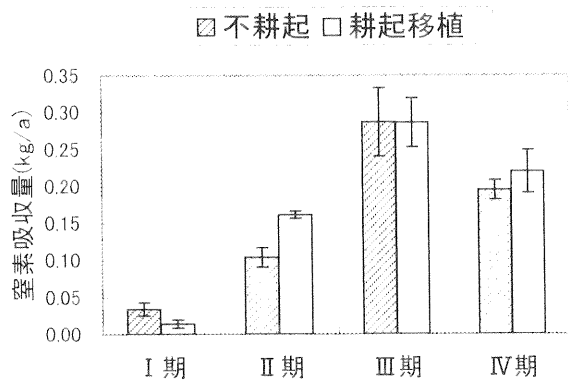
a) 3ヶ年移動平均法による

b) 図中の誤差線は標準偏差を示す。



第7図 不耕起田において無窒素で栽培した水稲のわら、籾における窒素吸収量

a) 図中の誤差線は標準偏差を示す。



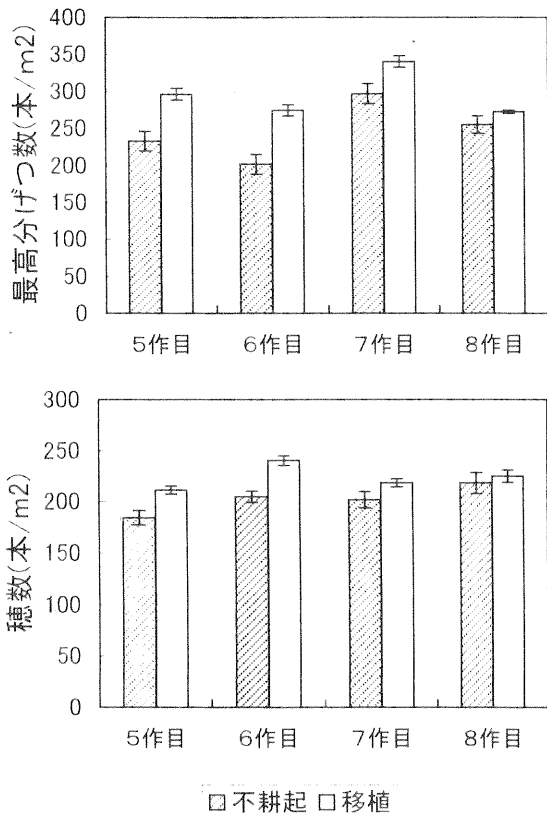
第6図 不耕起田と耕起移植田において無窒素で栽培した水稲の時期別窒素吸収量<sup>a)</sup>

a) 不耕起栽培5, 6, 7, 8作目の平均値と標準偏差を示した。

b) I期: 播種~入水時, II期: 入水時~最高分けつ期

III期: 最高分けつ期~出穂期, IV期: 出穂期~成熟期

c) 図中の誤差線は標準偏差を示す。



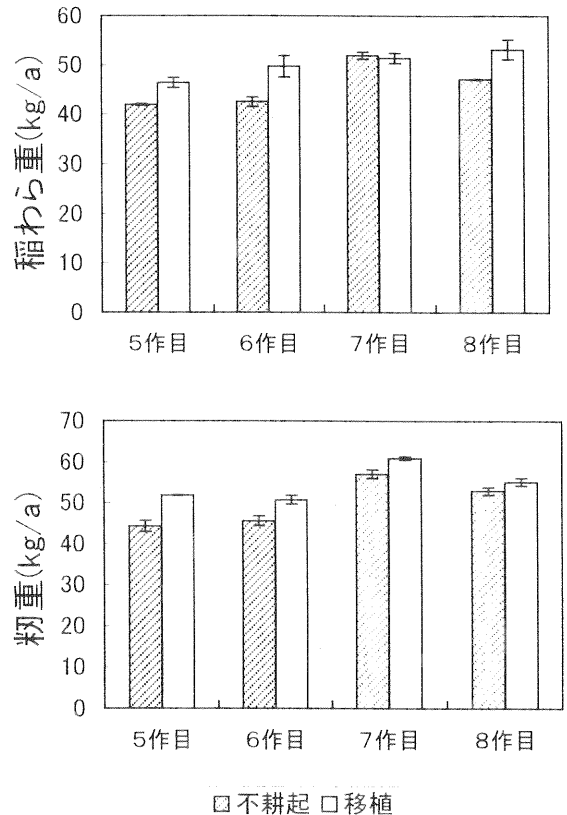
第8図 不耕起栽培と耕起移植栽培において無窒素で栽培した水稻の茎数、穂数  
a) 図中の誤差線は標準偏差を示す。

不耕起田および耕起移植田5、6、7、8作目の水稻の窒素吸収量の経時変化を第6図に示した。不耕起田の窒素吸収量は、耕起移植田に比べてⅡ期（入水から最高分げつ期）でa当たり0.05kg少なかった。Ⅲ期（最高分げつ期から出穂期）の窒素吸収量はほぼ同量であったが、Ⅳ期（出穂期から成熟期）は耕起移植田がa当たり0.02kg多かった。不耕起田における成熟期の窒素吸収量は、a当たり平均0.63kgであり、耕起移植田の0.68kgに比べて0.05kg、率にすると約9%少なかった。

水稻の収穫時に、稲わらに吸収された窒素量は不耕起田と耕起移植田で大差なかったが、籾の窒素吸収量は不耕起田は耕起移植田に比べてa当たり0.04kg少なかった（第7図）。

### 3. 窒素無施用で栽培した水稻の生育、収量

窒素無施用で不耕起栽培および耕起移植栽培を行ったときの最高分げつ数と穂数を第8図、稲わら重、籾重を第9図に示した。不耕起栽培は、耕起移植栽培に比べて最高分げつ数がm<sup>2</sup>当たり平均40本程度少なく、穂数も平均20本程度少なかった。不耕起栽培の稲わら及び籾の平均収量はa当たり45.9kg、49.9kgであり、耕起移植田の50.1kg、54.6kgに比べて4.2kg、4.7kg少なかった。



第9図 不耕起栽培と耕起移植栽培において無窒素で栽培した水稻のわら、籾収量  
a) 図中の誤差線は標準偏差を示す。

## 考 察

水田土壌の地力窒素に関して多くの研究がなされている<sup>1, 3, 12, 14)</sup>が、不耕起栽培では耕起や代かきを行わないため、耕起移植栽培に比べて地力窒素の発現過程が異なると考えられる。しかし、不耕起田と耕起移植田における腐植、全窒素の含有量および分布は大きく異なり<sup>10, 11, 16)</sup>、しかも水稻根の分布も異なる<sup>6)</sup>。また、下層土で無機化された窒素が水稻の窒素吸収量に占める割合は7~22%を占め、無視できない量である<sup>1, 13)</sup>。そのため、培養法等で作土のみの窒素供給量を求めても、不耕起田と耕起移植田の地力窒素供給量を比較するのは容易でない。一方、土壌窒素の発現量は、無窒素栽培の水稻による窒素吸収量にほぼ等しいとみなすことができる<sup>5)</sup>という。そこで、不耕起田と耕起移植田の地力窒素発現量、吸収パターンを無窒素栽培の水稻による窒素吸収量から推定した。

従来の不耕起直播栽培では、稲わらを圃場に還元できなかったため、不耕起栽培の継続により地力が低下し、水稻の生育や収量の減少要因のひとつに挙げられていた<sup>10, 11)</sup>。しかし、本試験の結果、稲わらを全量還元する

不耕起直播栽培では、水稲の地力窒素吸収量は、不耕起栽培を8年継続しても減少しておらず、地力の消耗は認められなかった。このことは、圃場に還元される稲わらによる土壌肥沃度の維持効果を示すものと考えられた。

生育時期別の窒素吸収量の推移をみると、最高分げつ期から成熟期までの窒素吸収量は、不耕起田と耕起移植田で同程度であったが、入水期から最高分げつ期までの窒素吸収量はa当たり平均0.05kg不耕起田が少なかった。水稲の生育は、入水後の分げつが緩慢で最高分げつ数、穂数が少なくなり、稲わら重や収取量も低下する傾向が8作目まで認められた。このことから、不耕起田の生育や収量が耕起移植田に比べて低かった原因は、主に分げつ期の窒素吸収量が少なかったためと考えられた。

暖地水田の地力窒素は、水稲生育の初期に多く発現するため、水稲の生育が過繁茂になりやすい<sup>10)</sup>傾向にある。そのため、不耕起田における分げつ期の地力窒素発現量の減少はむしろ好ましい<sup>10)</sup>と考えられている。しかし、大森ら<sup>11)</sup>の調査によれば、不耕起直播栽培の多収田において無窒素栽培の窒素吸収量はa当たり0.84kgであった。本試験で用いた花崗岩由来の中粗粒灰色低地土の無窒素栽培における窒素吸収量はa当たり平均0.63kgであり、このような肥沃度の低い水田では、地力窒素発現量が少ないために収量が低下すると考えられる。水稲が吸収する窒素のうち、地力の占める割合は高く、地力窒素発現量は土壌生産力を決定する重要な要因<sup>11)</sup>である。不耕起栽培における収量の向上を図るためには、完熟堆肥などの優良な有機物を施用して肥沃度を高め、地力窒素発現量を増やす必要があると考えられる。野々山ら<sup>10)</sup>は稲わら無施用で不耕起栽培試験を行い、不耕起栽培の継続による地力の低下を防ぐために、耕起栽培との組合せによる土壌肥沃度の維持管理法を提案している。これは、耕起時に多量の粗大有機物を施用することで地力を高め、不耕起栽培における地力消耗に備えるものである。しかし、稲わらを還元する不耕起田では、作土表層に多量の窒素が集積するため、5作目における作土全体の全窒素含有量は、耕起移植田に比べてa当たり約2.5kg多い。特に、作土表層の全窒素はa当たり4.5kg多く含まれており、これは約600kgの稲わら堆肥に相当すると考えられる。以上のことから、不耕起栽培を5作程度継続したのち、集積した有機物を土壌中に混和することによって、地力増強を図ることができると考えられた。

今後は、不耕起圃場の地力変化<sup>10)</sup>を土壌タイプごとに明らかにすることによって、地力窒素レベルに応じた肥培管理法<sup>11)</sup>や、肥効調節型肥料の効率的な施肥法<sup>12)</sup>による収量の安定を図る必要があると考える。

## 要 約

花崗岩由来の中粗粒灰色低地土の圃場において、稲わらを圃場に全量還元する不耕起乾田直播栽培を1993年から8作継続し、土壌の腐植及び全窒素含有率の経時変化、無窒素栽培における水稲の生育、収量、窒素吸収量、窒素吸収パターンを調査し、耕起移植栽培と比較した。得られた結果は以下のとおりである。

1. 不耕起栽培継続田の土壌は、耕起移植栽培田に比べて作土表層に腐植及び全窒素が集積し、著しく増加したが、5作目以降は高水準のままで推移した。作土下層の腐植及び全窒素の含有率は、耕起移植栽培田に比べて少ないが、不耕起栽培の継続による減少は8作目まで認められなかった。
2. 不耕起栽培の継続によって作土表層に集積した全窒素含有量は、耕起移植栽培よりa当たり4.5kg多く、これは600kgの稲わら堆肥に相当する量であった。このため、作土全体に含まれる全窒素含有量も、耕起移植田に比べて多かった。このことから、収穫時に地表に落とされた稲わらは、作土表層で堆肥化し、すき込みによって地力増強に貢献するものと考えられた。
3. 不耕起栽培では、耕起移植栽培に比べて入水から最高分げつ期までの地力窒素発現量が少なかった。水稲の生育は、分げつ数や穂数が少ないため、収量も劣る傾向であった。

## 引用文献

1. 安藤豊・藤井弘志・中西政則(1990)山形県庄内地域のグライ土水田下層土における地力窒素の無機化特性について、土肥誌、61:1~7.
2. 安藤豊・小南力・藤井弘志・岡田佳菜子(1998)不耕起移植水稲の初期生育と登熟の特徴について、土肥誌、69:618~625.
3. 藤井弘志・小南力・安藤豊(2000)水稲の不耕起移植栽培の継続による地力窒素供給量の変化、土肥誌、71:243~245.
4. 二見敬三・渋谷政夫(1990)不耕起直播水稲の根活力分布、土肥誌、61:406~407.
5. 出井嘉光(1970)後期追肥重点と土壌条件(日本土壌肥料学会編:土壌肥料の研究第1集)、養賢堂、東京、166~172.
6. 石橋英二・赤井直彦・大家理哉・川中弘二(1998)不耕起乾田直播栽培の継続が土壌ち密度並びに減水深に及ぼす影響、土壌の物理性、79:11~21.
7. 金田吉弘(1992)低湿重粘土汎用水田における水稲

- の不耕起および部分耕移植栽培. 農業技術、47:215~219.
8. 金田吉弘 (1997) 多様な水稲栽培方式における水田土壌肥料研究の現状と方向. 3. 不耕起栽培における土壌・施肥管理. 土肥誌、68:69~74.
9. 御子柴穆・古畑和五郎・高橋正輝 (1975) 水田の窒素肥沃度と施肥技術. 土肥誌、46:292~296.
10. 野々山芳夫・吉澤孝之 (1981) 水稲の不耕起直播栽培に関する土壌肥料学的研究. 中国農試報、18:1~62.
11. 大森正・小野芳郎・川中弘二・坪井勇 (1970) 稲麦不耕起栽培における土壌肥料学的研究. 岡山県立農業試験場臨時報告、65:1~46.
12. 大山信雄・吉澤孝之・坂井弘 (1973) 暖地水田の水稲生育期間中における土壌窒素の有効化の推移 (第2報) 水稲の生育および土壌中のアンモニア態窒素の推移. 中国農業研究、46:20~23.
13. 関矢信一郎・志賀一 (1975) 北海道における水田土壌中の窒素の動態と窒素吸収パターンについて. 土肥誌、46:280~285.
14. 山本富三・田中浩平・角重和浩 (1992) 暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断 (第1報) 地力窒素の発現が暖地水稲ニシホマレ、ヒノヒカリの生育、収量におよぼす影響. 日作紀、61
15. 山本富三・田中浩平・角重和浩 (1993) 暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断 (第2報) 水田土壌の窒素無機化特性と水稲生育期間中の窒素吸収パターン. 日作紀、62
16. 全国農業協同組合連合会 (1993) 長期不耕起圃場調査報告書
17. 全国農業協同組合連合会・肥料農薬部 (2001) 水稲不耕起・無代かきなど省力栽培における効率的施肥技術確立試験成績書