

暖地水田における地力窒素の発現様式

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	大山, 信雄
巻/号	46巻7号
掲載ページ	p. 297-302
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



暖地水田における地力窒素の発現様式

—有機物の施用および土壌管理法の影響—

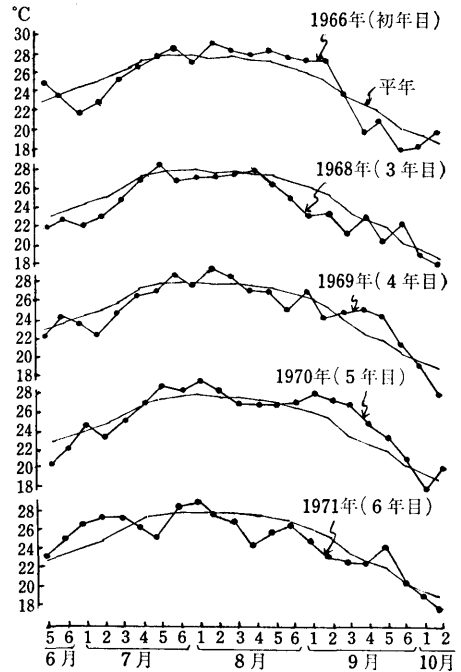
大 山 信 雄*

水稻の収量は陸稲、麦、いも類に比べ地力窒素に依存する割合が高く、三要素区に対する無窒素区の収量は80%前後である^{1,12,31)}。したがって、水稻を増収するためには水田土壌の窒素地力を高め、窒素供給量を増大させることが必要である。しかし、それと同時に、その供給の推移が収量の向上に影響することが最近指摘されている^{6,23,31)}。

その理由として、地力窒素は少量づつ持続して供給されるために¹¹⁾、水稻の草姿を悪化させないと推察されており²⁵⁾、また、気温の推移にはほぼ平行して供給されるために³⁰⁾、生育後半、とくに登熟期における水稻の好適窒素栄養の確保と調節に施肥窒素よりは安全で有利であると考えられている。水稻による窒素吸収経過は収量レベルが高くなるにつれて、生育の後半により多量の窒素が吸収される傾向があるが、その場合、主に地力窒素が多く吸収されている¹⁶⁾。

一方、生育初期には生育量が小さいために、水稻は多量の窒素を必要としない。したがって、地力窒素の供給量が初期に少なく、後期に多くなることは、暖地水田においては水稻の生育に好ましいばかりでなく、地力窒素を有効に利用し、消耗をできるだけ抑える意味においても重要である²³⁾。

ここでは、中国農試水田（海成沖積、灰色土壌、CL、主な含有粘土鉱物 1:1 型、減水深 1cm/日以下）において、堆肥、稲わらの施用、およびシロカキ、不耕起などが地力窒素の発現経過に及ぼす影響を検討するために、普通期栽培の無窒素区における水稻の窒素吸収経過と裸



第1図 平均気温の推移

地作土中のアンモニア含量の消長を調査したのでその結果について述べる。なお、供試水田作土の2、3の性質を第1表に、平均気温の推移を第1図に示した。

1. 有機物連用の効果

有機物施用の時期は毎年春に施用し、直ちにすき込んだ。施用初年目（1966年）の窒素の全吸収量は堆肥区（160kg/a）がもっとも多く、ついで無施用区、稲わら区（80kg/a）の順であった（第2図）。無施用区と堆肥区における幼穂形成期までの吸収量は約0.28kg/aで差がなかったが、稲わら区ではかなり少なくなった（0.18kg/a）。これは稲わらの施用により、土壌中の無機態窒素の有機化が促進されること^{15,26)}、また、有機酸が生成することによって窒素の吸収が阻害されること⁸⁾が原因とされている。

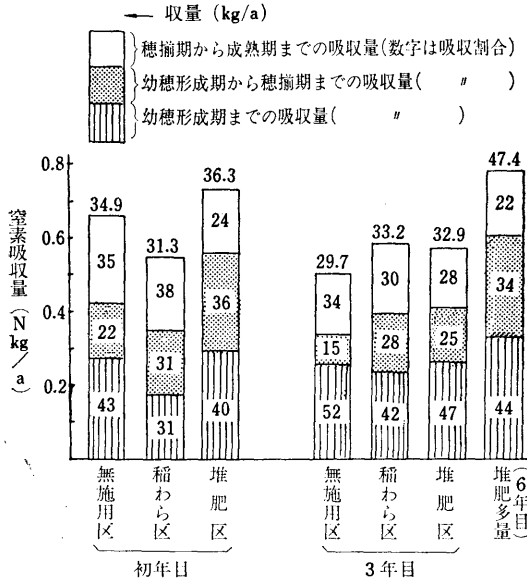
連用3年目における全窒素吸収量は稲わら区と堆肥区とでは大差がなかったが、無施用区で少なくなった。これは気温が低く経過したために3年間の有機物無施用に

第1表 跡地土壌（作土）の理化学性

処 理	全炭素* (%)	全窒素* (%)	C/N*	仮比重（乾土g/ml）***	
				耕起・シロカキ	不耕起
無施用区	1.07	0.108	9.9	1.29	1.37
稲わら区	1.24	0.134	9.3	1.23	1.27
堆肥区	1.30	0.140	9.3	1.19	1.21
堆肥多量区	2.15**	0.223**	9.6**	1.07	—

* 連用4年目, ** 7年目, *** 5年目

* 中国農試環境部（福山市東深津町）
昭和49年11月11日受付
日本土壌肥科学雑誌 第46巻 第7号 p.297~302 (1975)



第2図 水稻の窒素吸収に及ぼす有機物連用の効果

よる土壤の窒素供給力の低下が大きく現われたためと推察される。これに対し、幼穂形成期までの吸収量は初年目と異なり、稲わら区においてもかなりの窒素吸収が認められ、3つの区ともほぼ同量であった。稲わら区における順調な窒素吸収は3年間の稲わらの連用により土壤中の微生物相が変り、稲わらを分解する微生物が増殖し、分解が円滑に進行したためと推察される。また、幼穂形成期以後も堆肥区とはほぼ同様な吸収経過を示し、無施用区に比べ若干多量の窒素を吸収した。

3年目の吸収量は初年目に比べ全般に少なくなったが、これはさきに述べたように3年目の気温が初年目よりやや低めに推移したためと考えられる³⁰⁾。また、1963年より6年間連用した堆肥多量区(400 kg/a)の窒素吸収量はほかの3つの区より明らかに多くなり、とくに幼穂形成期から穂揃期にかけての吸収量の増大が顕著であった。

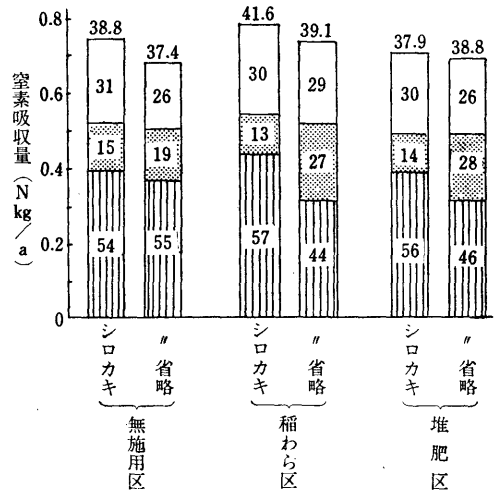
このような窒素吸収量の差異は稲わら区の初年目においては、水稻の窒素含有率の低下と乾物重の減少との両方の結果として吸収量の減少となって現われたが、そのほかの区と年次では、窒素含有率の高低よりは、むしろ乾物重の大小が吸収量の多少に強く影響を及ぼした²¹⁾。

なおこの試験では稲わらの分解による還元障害をできるだけ回避するためにシロカキはほとんど行なわなかったが、幼穂形成期(品種は中生新千本、8月5~8日)までの吸収割合は、初年目において稲わら区が約30%、堆肥区と無施用区では約40%であった。また、3年目においては、無施用区で約50%であったのに対し、堆肥区と稲わら区では45%前後で、若干少なかった。

2. シロカキの影響

有機物連用4年目の水田においてシロカキの有無の影響を検討した。シロカキ水田では移植栽培を行ない、シロカキ省略水田(耕起のみ)では直播栽培を行なった。

連用4年目(第3図)は3年目(第2図)に比べ、全体に吸収量が増加したが、これは気温が若干高く推移したことのほかに、品種に多収性のシラヌイ(幼穂形成期8月13日頃)を供試したので、窒素吸収力が中生新千本より旺盛であったことによると推察される。

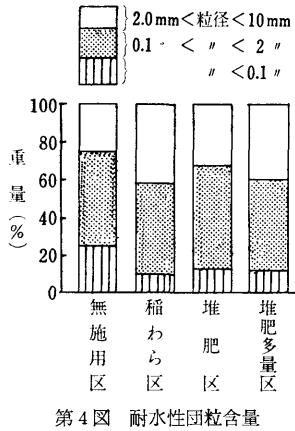


第3図 水稻の窒素吸収に及ぼすシロカキの影響(有機物連用4年目)

シロカキを省略することによって起る窒素吸収量の減少は全吸収量でみた場合、漏水の激しい砂礫層水田では約25%も減少した例があるが²⁴⁾、この試験ではもっとも減少した無施用区で10%弱で、稲わら区と堆肥区ではわずかであった。しかし、幼穂形成期までの吸収量の減少は全吸収量の減少とは逆の傾向を示し、稲わら区と堆肥区で0.07~0.12 kgN/aも減少し、吸収割合としては約45%となり、シロカキ水田に比べ約10%も低くなった。これに対し、無施用区ではシロカキの有無による吸収量の差はほとんどなく、吸収割合は約55%であった。

幼穂形成期から穂揃期までの吸収量は幼穂形成期までの吸収量とは対照的な結果を示し、無施用区では明瞭でなかったが、稲わら区と堆肥区ではシロカキを省略することによって、その期間における吸収量が著しく増大し、その結果、穂揃期における吸収量はシロカキ水田における吸収量とはほぼ同量になった。

直播水田(シロカキ省略)の作土の団粒は移植水田(シロカキ)の作土のそれに比べ、粒径の大きい部分が



第4図 耐水性団粒含量

多く、粒径の小さい部分が少ないことが明らかにされているが⁷⁾、この試験のシロカキ省略水田における作土の耐水性団粒含量(第4図)は、無施用区はほかの区に比べ、2mm以上の粒径部分の割合が低く、0.1mm以下の部分の割合が高かった。これは、無施用区の団粒の安定度が低いことを示していると考えられるが、このことから推察されるように、無施用区のシロカキを省略した水田では湛水により団粒が容易に、かつ、速かに破壊され、シロカキによる破壊程度と大差がなくなり、土壤有機態窒素の無機化が早い時期に進行し、その結果、シロカキ水田とほぼ同量のアンモニアが幼穂形成期までに供給されたものと考えられる。

一方、堆肥区と稲わら区では、団粒は破壊されにくく、そのために無機化が遅れ、その結果、幼穂形成期までの吸収量が減少したものと推察される。反面、幼穂形成期から穂揃期にかけての吸収量が増大しているのは、幼穂形成期頃から団粒の破壊が急速に進み、団粒に含まれる有機態窒素の無機化が起り、アンモニアが供給されたためと考えられる。粒状構造(シロカキ省略)の土壤における水稲の生育は泥状構造(シロカキ)の土壤におけるそれに比べ、初期には生育が遅れるが、後半には旺盛になり、有効茎歩合が高くなり、収量も高くなることが報

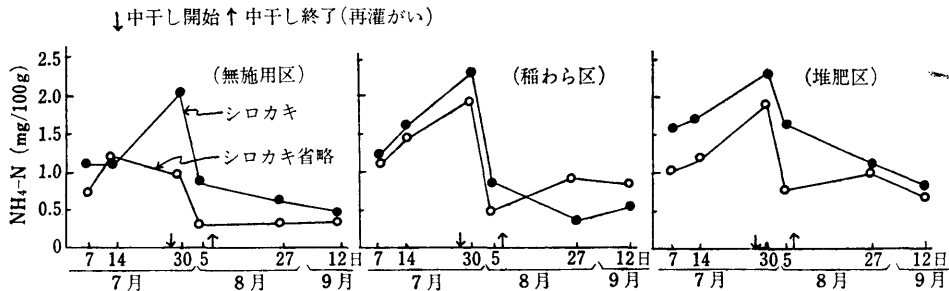
告されているが¹⁴⁾、これはこのような土壤の窒素供給時期の差異(遅れ)によるものと推察される。

なお、無施用区でシロカキを省略した場合に全吸収量が減少したのは、主に穂揃後の減少によるものであり、その結果、吸収割合としては幼穂形成期までの割合が高くなった。

一方、無窒素区裸地作土中におけるアンモニア含量の消長は第5図のとおりである。これは、作土のアンモニア供給量を定量的に示しているとはいえないが、供給経過の傾向はうかがえよう。とくに、生育初期は湛水期間中であり、地温の上昇につれてアンモニアの生成量が増加してゆく時期であるので、有機態窒素の無機化の傾向を示していると考えられる。また、中干し中、あるいは間断灌がい期間中は、主に湛水中に生成したアンモニアの残存量、あるいは無機化量と流亡、脱窒などによる損失、また、有機化などによって減少する量との差し引き量を示しているものといえよう。

4年目の気温は7月上旬が低く、下旬になって上昇し、それにつれてアンモニア含量が高くなった。その後、中干しにより急激に低下し、また、間断灌がいにより、後期まで比較的強く推移した。全期間を通じて、無施用区と堆肥区ではシロカキ水田の方が強く推移したが、稲わら区では後半にシロカキ省略水田が若干高くなった。また、堆肥区でもシロカキ省略水田におけるアンモニア含量は絶対量こそ少なかったが、その推移はシロカキ水田において後半に低下するのに対し、横ばいか、やや上昇する傾向が認められた。

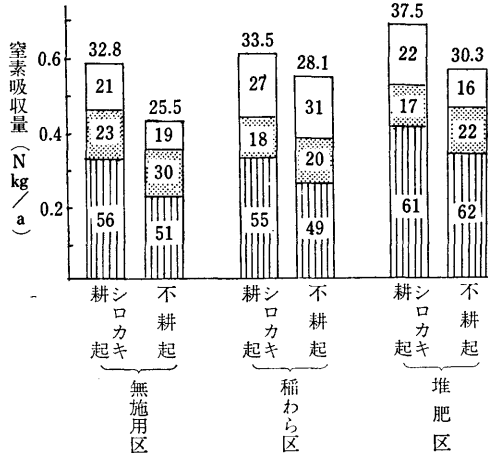
このように、稲わら区および堆肥区のシロカキ省略水田において、作土中のアンモニア含量が後半に横ばいか、あるいは若干高まる傾向は、さきに述べた水稲の窒素吸収経過と類似する。なお、8月上旬の中干し最終日にシロカキ省略水田におけるアンモニア含量が顕著に低下したのは、シロカキ水田に比べ土壤の酸化がより強く進んだためと推察される⁴⁾。



第5図 無窒素区裸地作土のアンモニア態窒素の消長(シロカキの影響)

3. 不耕起の影響

4年間有機物を連用した水田において、5年目には有機物を施用しないで耕起・シロカキ栽培(移植)と不耕起栽培との比較試験を行なった(第6図)。



第6図 水稲の窒素吸収に及ぼす不耕起の影響

耕起・シロカキ水田では前年に比べ全吸収量が全体にかなり減少した。その原因は明らかでないが、一つには当年有機物を施用しなかったことも関係あると考えられる。これを吸収割合でみると主に登熟期で低下しており、とくに無施用区で著しいので、窒素供給力の低下はまず生育の後半に現われてくるものと考えられる。

一方、不耕起水田における全吸収量は耕起・シロカキ水田のそれに比べ約 0.09~0.13 kgN/a 減少し、その最大は無施用区における約 25% 減であった。この減少傾向は幼穂形成期にすでに現われ、無施用区がもっとも著しかった。しかし、その後の減少も顕著であったために幼穂形成期までの吸収割合は約 50% になった。

無施用区の不耕起水田では収量が 25.5 kg/a で著しく低く、これに窒素を施用した区 (1.8 kg N/a) でも 44 kg/a の収量しか得られなかった。したがって、窒素供給力の低い水田での不耕起栽培には問題がある。これについて、不耕起栽培では移植栽培に比べ、地力差が大きく現われることが報告されている¹⁷⁾。

稲わら区および堆肥区の不耕起水田における幼穂形成期までの吸収量は、それぞれの区の耕起・シロカキ水田における吸収量より少なかった。しかし、幼穂形成期以後の吸収量は同程度か、やや少ない程度であり、無施用区の不耕起水田における吸収量よりは多く、後半に窒素が多く供給される傾向が認められた。とくに稲わら区において顕著であった。有機物施用とは若干異なるが、イタリアンライグラス跡地水田における不耕起直播栽培に

第2表 葉身の窒素含量に及ぼす不耕起の影響 (N%)

処 理	分けつ期 (7.11)	最分期 (7.23)	幼形期 (8.13)	穂揃期 (9.6)
無施用区 (耕起・シロカキ不耕起)	3.42	2.66	2.00	1.58
	3.04	2.56	2.08	1.70
稲わら区 (耕起・シロカキ不耕起)	4.30	2.76	1.88	1.52
	3.04	2.56	1.98	1.60
堆肥区 (耕起・シロカキ不耕起)	4.30	2.68	1.94	1.50
	3.50	2.66	1.90	1.68

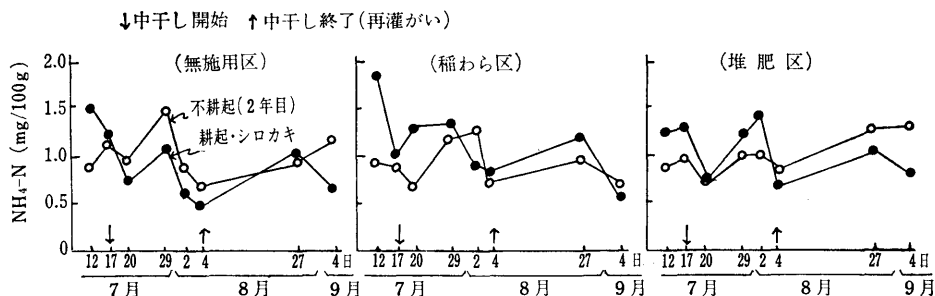
において高収を得た例では、移植栽培に比べ、作土の耐水性団粒量が増加し、また、無窒素区における窒素吸収量は後半に多くなっている²⁾。また、そのほかの試験でも同様の傾向が認められている^{18,27)}。

このような窒素吸収経過の差異は生育初期の窒素含有率に顕著に現われ(第2表)、立毛中の葉色の肉眼観察でも明らかに認められた。すなわち、各区とも不耕起水稲の窒素含有率は移植水稲に比べ最高分けつ期まで低く推移し、幼穂形成期には差が明らかでなくなり、穂揃期には逆に高くなった。同様の傾向は現地水田における調査でも認められている²⁰⁾。不耕起水稲では最高分けつ期の遅れることが明らかにされている¹⁷⁾、このような窒素含有率の推移によるものと考えられる。また、不耕起水稲の幼穂形成期から穂揃期にかけての窒素吸収量が、移植水稲の吸収量とほぼ同量であったにもかかわらず、穂揃期の窒素含有率が高くなったのは不耕起水稲のその期間における乾物重の増加が小さかったためである²¹⁾。

一方、無窒素区裸地作土中のアンモニア含量の消長は7月上旬から気温が高く、それに伴って耕起・シロカキ水田では初期から高くなった(第7図)。無施用区では中干しにより一時低下したが、途中降雨があり、中干しが十分でなかったため再び上昇し、中干し最終日には最低になった。その後再灌がよいにより、また若干上昇した。このような傾向は稲わら区、堆肥区でもほぼ同様であった。

これに対し、不耕起水田におけるアンモニア含量は、7月中旬までは低かったが、下旬になり耕起・シロカキ水田におけるそれより高くなった(無施用区)。また、稲わら区の不耕起水田におけるアンモニア含量は耕起・シロカキ水田におけるアンモニア含量より遅れて8月上旬に最高になり、堆肥区では中干し後に高くなる傾向が認められた。

7月上旬の耕起・シロカキ水田における作土中のアンモニア含量が不耕起水田のそれに比べかなり高くなった



第7図 無窒素区裸地作土のアンモニア態窒素の消長(不耕起の影響, 作土 0~5 cm)

が、乾土効果的なものとかくはんの効果によるものと考えられる⁹⁾。稲わら区において第1表より仮比重を 1.2 g/ml とし作土中のアンモニアの総量を概算すると、作土 0~5cm の層だけで約 0.12kgN/a になり、作土の厚さを 15cm とすると下層のアンモニア含量は若干低いとしても、約 0.3kgN/a 程度になり、同じ厚さの不耕起作土の約 2 倍になる。これは水稻の全吸収量の約半分弱に相当するが、初期の水稻はまだ小さく、根は作土全体に十分に伸びていないので、作土の全層からこのような多量の窒素を吸収できないし、また、必要としない。したがって、不耕起水田における窒素供給の推移の方が無駄が少なく、効率のといえる。もし、生育促進に必要なならば、窒素肥料を局所(株の周辺)に施用する方法があろう。

以上の結果からみると、不耕起水田は窒素供給の絶対量は少ないが、その供給経過が水稻の生育初期に少なく、その後遅れて徐々に増加してゆく特徴を持っている。このような経過は水稻の生育(窒素の吸収経過)に適合した供給の型といえるし、地力窒素の効率の利用面からみても好ましい。とくに、有機物を連用することによって、供給量の絶対量が増加し、しかも、生育の後半に増加するので、水稻の登熟良化に貢献する度合が大きくなるのが推察される。

なお、不耕起水田における有機物の施用方法は、耕起しないのでそのまま土壌の表面へ施用する方法(栽培期間中の株間に)もあるが、裏作の耕起の際に施用し、すき込むか、あるいは、数年に一度多量の有機物を稲作時に耕起してすき込むなどの方法が地力の増進に好適する方法と考えられる。

4. おわりに

暖地の乾田直播水田および不耕起水田における地力窒素は、移植水田のそれに比べ生育の初期に少なく、後半に相対的に多く発現する傾向があり、それが水稻の生育に好ましく、また、地力窒素の利用法からみて効率的であることを述べた。

しかし、地力維持(地力の消耗を防ぐ)の立場からみると、乾田直播栽培はこれを長く続けると、減水深が大きくなり、地力の低下が著しいことが報告されており^{13, 20)}、問題が残る。一方、不耕起水田においては移植水田に比べ減水深が大きく、土壌はより酸化的に推移することが報告されているが^{3, 4, 19, 20, 22)}、地力の低下の程度については十分に明らかでなく、4年間²⁰⁾あるいは10年間続けられて収量が低下しない例もあり、今後の検討を要する。不耕起直播栽培は土性が比較的粘質な水田で成功しており、また、地下水位が比較的高い地帯で普及し、かつ、不耕起維持年数が長く、稲作の機械化省力技術として定着しつつある¹⁰⁾。しかし、減水深が大きく、肥料の効果が低いために³⁾面積的には広くない。

このようなことから、最近では浅耕散播栽培が伸びつつある³⁾。これは種もみをばら播きしたのち、作土を浅く(3~5cm程度)耕起するもので、耕起は種もみの覆土、水田の除草や均平化を兼ねている。これによって、水田表面の亀裂はなくなり、減水深が若干小さくなること、また、追肥の効果が高まることなどが期待されている。地力窒素の発現の型は乾田直播水田と不耕起水田との中間の推移をたどるものと推定される。

移植水田はもちろんのこと、不耕起水田においても水稻生育の前半になおかなり多量の地力窒素が発現し、株間の作土中に残存している。したがって、これまでよりさらに密植あるいは密播することによって地力窒素の吸収を促進し、ひいては、窒素肥料の施用量を減少させることが可能であると考えられる³⁾。

文 献

- 1) 麻生慶次郎：日本内地ニ於ケル土壤ノ作物養分天然供給力ニ関スル調査, p. 1~9 (1927)
- 2) 千葉 智・高橋和夫・久保田 徹：イタリアンライグラスあと地における水稻不耕起直播栽培, 四国農試報, 21, 1~22 (1970)
- 3) 中国農試編：昭和 46 年度中国地域土壤肥料関係ブロック会議資料 (1972)
- 4) 中国農試：昭和 48 年度土壤肥料に関する試験成績, p. 43 (1970)

- 5) 中国農試：昭和48年度土壤肥料に関する試験成績，p.37, 45 (1974)
- 6) 出井嘉光：後期重点追肥と土壤条件，土壤肥料の研究，第1集，166~172 (1970)
- 7) 出井嘉光・北島 知・山口正栄・前田乾一：乾田直播水田の作土の構造について，農事試報，17，135~148 (1973)
- 8) 後藤重義・鬼鞍 豊：水田土壤における有機酸，第2報 稲わらの存在下における有機酸の生成と水稲生育，九州農試彙報，13，173~186 (1967)
- 9) 原田登五郎：水田土壤の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究，農技研報，B 9，123~199 (1959)
- 10) 平岡正夫・木村洋二：稲麦不耕起栽培における土壤肥料的研究，岡山農試臨時報，65，35~46 (1970)
- 11) 甲斐秀昭：土壤窒素の発現条件，土壤肥料の研究，第1集，173~178 (1970)
- 12) 川崎一郎：日本主要農耕地に於ける三要素天然供給力，p.1~18，日本農業研究所 (1953)
- 13) 久津那浩三・上森 晃・新村善男・飯田周治：乾田直播栽培の連作が地力に及ぼす影響について，土肥誌，43，86~91 (1972)
- 14) 前田乾一・竹内 誠・出井嘉光：水田土壤の構造に関する研究(第4報)——水稲生育に対する土壤構造と諸要因の相互関係，土肥要旨集，14，107 (1968)
- 15) 仲谷紀男・鬼鞍 豊：稲わら施用水田におけるアンモニア態窒素の消長の一例，土肥誌，45，546~549 (1974)
- 16) 農林水産技術会議事務局：水稲の収量限界向上に関する研究，p.11 (1971)
- 17) 野々山芳夫：不耕起直播水稲の土壤管理(予報)，土肥要旨集，18，78 (1972)
- 18) 野々山芳夫・吉沢孝之・坂井 弘：水稲の麦跡不耕起機械化直播栽培技術体系の確立に関する研究，IV，土壤管理と施肥法，中国農試報，D 6，20~32 (1973)
- 19) 大森 正・小野芳郎・川中弘二・坪井 勇：稲麦不耕起栽培における土壤肥料の研究，第1報，不耕起の継続が水稲の生育収量および土壤理化学性に及ぼす影響について，岡山農試臨時報，65，1~18 (1970)
- 20) 大森 正・川中弘二・坪井 勇：稲麦不耕起栽培における土壤肥料的研究，第2報，不耕起継続多収田における土壤の実態と養分吸収について，岡山農試臨時報，65，19~34 (1970)
- 21) 大山信雄・吉沢孝之・坂井 弘：暖地水田の水稲生育期間中における土壤窒素の有効化の推移(第2報) 水稲の生育および土壤中のアンモニア態窒素の推移，中国農研，46，20~23 (1973)
- 22) 坂井 弘・野々山芳夫・河本 泰：水稲不耕起栽培に関する土壤肥料学的研究(第1報)，水稲不耕起栽培の局所施肥による多収化，中国農試報，E 2，193~226 (1968)
- 23) 坂井 弘：水田における窒素の地力の利用と窒素施肥との関連，土壤肥料分野における試験研究上の問題点，第4集，8~10 (1969)
- 24) 坂上行雄・水沼 豊：砂礫漏水田における窒素の行動に及ぼすシロカキの影響，土肥誌，33，386~390 (1962)
- 25) 志賀一一・宮崎直美：寒地水稲に対する窒素施用に関する研究，一後期追肥について(7)一，土肥要旨集，20，113 (1974)
- 26) 関矢信一郎・本谷耕一：水田土壤中の窒素の行動に関する研究——とくに有機物との関係について——，東北農試報，36，1~25 (1969)
- 27) 高橋和夫・速水昭彦・本谷耕一：水稲の直播栽培における土壤および肥培条件，東北農試研究速報，9，13~29，(1968)
- 28) 立谷寿雄・宇佐見昭宣：水稲の乾田直播栽培における土壤肥料的管理について，第3報，乾田直播の不耕起栽培について，福島農試報，4，5~16 (1968)
- 29) 上村幸正・宮坂 昭：連年の乾田直播が水稲収量を低下させる原因について，第3報，地力消耗の影響について，日作紀，43，174~179 (1974)
- 30) 吉野 喬・出井嘉光：水田土壤の窒素の有効化過程に関する研究(第2報)，アンモニア生成量と有効積算温度との関係，土肥要旨集，18，PART II，28 (1972)
- 31) 柳沢宗男・高橋治助：水田生産力要因の解析に関する栄養生理学的研究，農技研報，B 14，42~171 (1964)