

水田の窒素肥沃度と施肥技術

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	御子柴, 穆 古畑, 和五郎 高橋, 正輝
巻/号	46巻7号
掲載ページ	p. 292-296
発行年月	1975年7月

水田の窒素肥沃度と施肥技術

御子柴 穆*・古畑和五郎*・高橋正輝*

1. はじめに

水田の窒素肥沃度を水稻生産の立場から考える場合、これを単一の要因として取扱うわけにはいかない。たとえば、窒素肥沃度は単に土の窒素放出量ばかりでなく、その放出時期、保肥力、物質の分解ならびに緩衝能力などが相互に関係し合って生産に関与しており、また、外的要因としては気象、施肥法、栽培法ならびに収量水準などによっても肥沃度に対する評価が異なるものと思われる。これまで水田の窒素肥沃度に関しては各方面から多く論議されてきているが¹⁻⁹⁾、生産の現場からみると、現在の稲作は水田を利用することにより成り立っているものであり、土壌に由来する養分に依存している割合が高い現実と、一方では、生産性の向上と食糧の絶対量の確保を反収増に求められている現状で、水田の肥沃度と施肥技術を両極端から論ずるわけにはいかない。筆者らは水田の窒素肥沃度をそれと最も関係の深い施肥技術との関連の上で、手許の資料に基づいて若干の考察を試みたい。

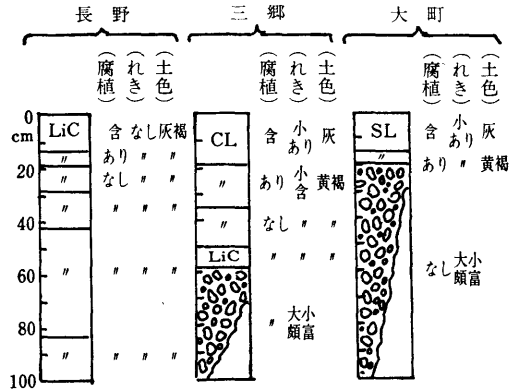
2. 土壌窒素の時期別放出量と窒素の施肥効果

長野県下の窒素肥沃度の異なる現地の水田で、重窒素標識硫酸を用いて土壌と施肥に由来する窒素の吸収経過と、時期別窒素施用の効果を試験した。その結果について解析すると次のとおりである。

(1) 圃場条件下における土壌窒素の時期別放出量

試験の実施場所は、長野（長野市中御所長野農試）、三郷（同県南安曇郡三郷村）、大町（同県大町市平区）の3か所で実施した。これらの供試水田の土壌型は施肥改善事業の分類に従えば、それぞれ灰褐色土壌粘土質構造マンガン型（標高 364 m）、灰色土壌壤土マンガン型（標高 610 m）、礫層土壌砂土河床型（標高 780 m）に属し、また立地条件もそれぞれ異なる。

試験方法は、現地水田に 1.08 m² の無底木枠を埋設し、元肥窒素標識区、穂肥窒素標識区、実肥窒素標識区



第1図 供試圃場の土層断面形態

第1表 供試圃場作土の理化学性

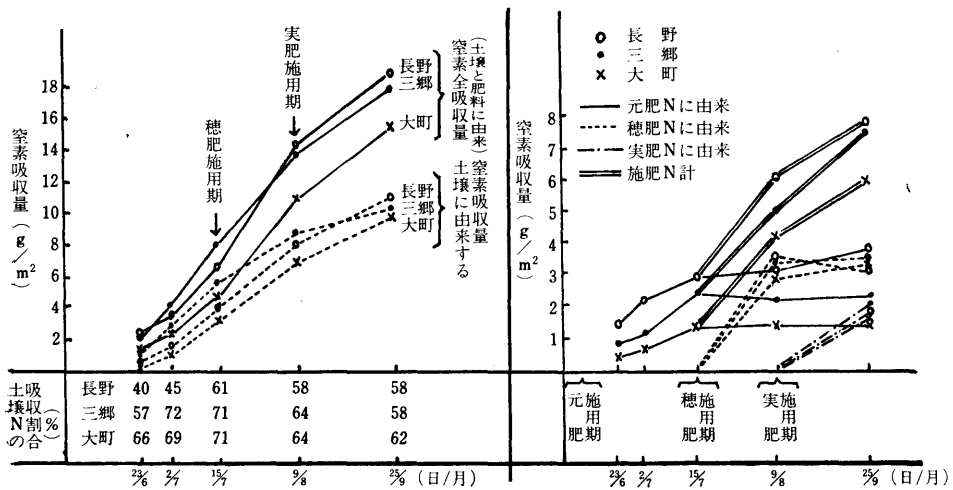
試験地		長野	三郷	大町
分析項目	粗砂	0.2	7.4	38.0
	細砂	31.8	41.4	32.4
	シルト	42.1	27.4	17.1
	粘土	25.9	23.8	12.5
	土性	LiC	CL	SL
全炭素 (%)		1.33	2.97	3.20
全窒素 (%)		0.15	0.28	0.21
塩基置換容量 (m.e.)		22.1	13.1	15.0
* 乾温土上効昇果効と果地(Nmg)	未風乾土 30°C	2.7	2.7	3.3
	〃 40°C	12.1	19.6	15.7
	風乾土 30°C	6.0	8.8	10.8
	乾土効果	3.3	6.1	7.5
地温上昇効果		9.4	16.9	12.4

* 4週間インキュベーション

を設け、窒素全施肥量は各試験、各区とも同様に a 当たり 1.5 kg とし、分施肥方法は元肥に 0.7 kg、穂肥に 0.5 kg、実肥に 0.3 kg とし、それぞれの標識区に ¹⁵N 存在比 5.1% の標識硫酸を施用した（品種：トドロキワセ、P₂O₅、K₂O：1.0 kg/a）。水稻体地上部を 6 月 23 日（有効茎終末期）、7 月 2 日（分けつ最盛期）、7 月 15 日（幼穂形成期）、8 月 9 日（出穂期）ならびに成熟期の 5 回抜き取り窒素の吸収状況を調査した。

本試験を実施した 3 か所の試験地の灌漑水はいずれも汚染度が極めて少ないので、水稻体中の窒素全吸収量と施肥に由来する窒素吸収量との差を土壌に由来する窒素

* 長野県農業試験場（長野市中御所）
昭和 49 年 11 月 15 日受理
日本土壌肥科学雑誌 第 46 巻 第 7 号 p.292~296 (1975)



第2図 窒素全吸収量ならびに土壌と肥料に由来する窒素吸収量(地上部)

吸収量とみなし、生育時期別にみたこれらの窒素吸収状況を第2図に示した。

生育各期の土壌に由来する窒素吸収絶対量を比較すると、成熟期における土壌窒素の吸収量には大差がみられないが、穂首分化期前後の土壌窒素吸収量は三郷が長野や大町に比べて多く、試験地により土壌窒素の放出時期が異なる。また、生育時期別にみた各時点の窒素全吸収量に対する土壌窒素の占める比率は、各試験地ともに幼穂形成期穂肥施用直前の7月15日まで上昇しているが、出穂期の8月9日以降逐次低下している。これは、生育初期においては土壌窒素の発現量が少なく、元肥窒素の土壌中における濃度も高いが、地温の上昇と生育の進展にともなって、土壌中の元肥窒素の奪取量と損失がすすむ反面土壌窒素の発現量が増加するためと考える。したがって、水稻体中における土壌窒素の占める比率は、植付後から幼穂形成期まで上昇し、その後穂肥や実肥の施用によってその比率が低下したものとみられる。さらに、この水稻体中における土壌窒素の占める比率は試験地によって大きな相違がある。すなわち、三郷や大町は長野に比べて高く、この傾向は生育前半においてとくに顕著である。

以上述べた事実を第1図の土壌断面形態や第1表の土壌の理化学性と照し合わせてみると、三郷は土壌の全窒素含量ならびに温度上昇による無機化量が多いことと、上述の圃場における水稻体による土壌窒素吸収量が気温上昇期に多い点がよく符合している。大町の場合室内実験による温度上昇や風乾処理に対する無機化量は長野に比べれば多いが、実際圃場では水稻による土壌窒素吸収量が長野より劣る。これは大町が3か所の試験地の中で

稲作期間中の気温が最も低いことと、長野と三郷は秋起しをするのに対して、大町は積雪地で耕起を作付け直前に行なうため乾燥の効果に期待がもてないことなどが土壌窒素の発現を遅らせているものと考えられる。

しかし、この大町でも時期別にみた水稻の窒素全吸収量に対する土壌窒素の占める比率は各時期とも長野に比べ明らかに高く、三郷に比べても劣らない値を示している。このように大町における水稻の窒素吸収に対する土壌窒素の貢献度が高いことは、作土中の窒素潜在地力の大きいこともさることながら、むしろ水田の土層断面形態や作土の粒径組成ならびに水稻の施肥に由来する窒素吸収状況(第2図)からみて保肥力の劣ることに起因しているものと考えられる。すなわち、保肥力に乏しい水田で化学肥料をまとめて施用した場合は溶脱による損失が当然大きいのに対して、土壌窒素の無機化と供給は地温の上昇にともなって徐々に進行するので、上述のような損失が比較的少なく水稻の窒素吸収に対する貢献度が高いものとする。これと対照的な長野は生育前半における土壌窒素の占める比率が低い。このことは土壌の窒素潜在地力に乏しいことも原因しているが、土層断面形態や粒径組成、粘土の性質(モンモリンを主体とした2:1型)などからみて保肥力に富む水田であるからと考えられる。

以上のように水田の窒素肥沃度が水稻の窒素吸収に関与する割合は有機物の施用量や土壌窒素の放出量、放出時期のみでなく、土壌のもつ諸性質との関係、また施肥に対する応答の仕方、さらにはその水田をとりまく環境条件によって異なるので、水田の窒素肥沃度を生産の場で考える場合は、これらの諸因子を総合的に考慮してい

第2表 窒素肥沃度の異なる試験地別にみた施肥効果 (主効果)

(有意差 **1%, *5%, '10% 水準)

因子と水準	試験地 形質	長 野			三 郷			大 町		
		玄米重 (kg/a)	全籾数 ($\times 10^3/m^2$)	登熟 (%)	玄米重 (kg/a)	全籾数 ($\times 10^3/m^2$)	登熟 (%)	玄米重 (kg/a)	全籾数 ($\times 10^3/m^2$)	登熟 (%)
元肥N量の 効果	元肥N 6 kg/10 a	59.1	30.5	97.1	70.5	36.8	92.2*	67.2	32.8	94.2
	〃 9 kg/10 a	62.6**	33.9**	96.4	70.1	39.1**	89.0	72.5**	35.2**	95.1**
穂肥N量の 効果	穂肥N 3 kg/10 a	59.6	31.2	97.5'	68.9	35.9	91.3	66.5	32.1	94.7
	〃 6 kg/10 a	62.1*	33.3*	96.0	71.7*	39.8**	89.9	73.2**	35.9*	94.7
穂肥時期 の効果	出穂前 25 日施用	61.9*	33.3*	96.8	69.8	38.4	90.8	—	—	—
	〃 18 日 〃	59.8	31.2	96.7	70.8'	38.4	90.4	—	—	—
実肥N量の 効果	実肥N 0	60.3	31.7	96.2	70.5	37.4	90.3	68.7	33.7	94.1
	〃 3 kg/10 a	61.4	32.7	97.3	70.2	38.4	90.4	71.3**	34.3	95.3**
総 平 均		60.8	32.2	96.8	70.3	37.9	90.6	69.9	34.0	94.7
主効果の l. s. d.		1.8	1.7	1.9	2.9	2.2	2.7	2.0	1.2	0.7

く必要があるものと思われる。

(2) 水田の窒素肥沃度と施肥効果

これまで述べた窒素肥沃度の異なる長野、三郷、大町において、同一試験設計で、元肥窒素量、穂肥の量と時期、実肥窒素量の効果を、これらの因子間はもちろん他の種々の条件との関連で試験した(直交表を用いた多因子計画 L₃₂)。試験に組入れた因子間にいくつかの2因子交互作用がみられたが¹⁰⁾、さらに試験場所を因子として組入れて考えると複雑になるので、ここでは試験場所別の調査結果の1部の主効果のみを第2表に示した。

元肥を 6 kg/10 a から 9 kg/10 a に増加した場合の効果は、第2図の土壤に由来する窒素吸収量と関連づけてみると次のとおりである。生育前半の土壤窒素放出量の多い三郷は全籾数の増加がみられるものの発熟歩合の低下により玄米重に増収効果がみられない。しかし、生育前半の土壤窒素放出量の少ない長野や大町では元肥増施により全籾数が増加し、それが玄米収量の向上に結びついている。また、第2図によれば元肥窒素は幼穂形成期頃までにほとんど吸収し尽されることと、元肥窒素の吸収利用の程度は試験地によって大きく異なっている。粘土含量や塩基置換容量が低く、しかも有効土層の浅い大町は元肥窒素の吸収量が最も少なく、これと対照的な土壤の特性を持つ長野は最も多い。そして三郷はこれら両試験地の中間的な結果を示している。このように、元肥窒素の適量は生育前半の土壤窒素放出量と保肥力に関係のある土壤の特性によって決ってくる。

穂肥窒素を 3 kg/10 a から 6 kg/10 a に増加した場合の効果は、3か所の試験地でいずれもその効果に有意差(1~5%水準)が認められた。しかし、穂肥の施用時期を穎花分化中期に相当する出穂前 25 日と、穎花分化終

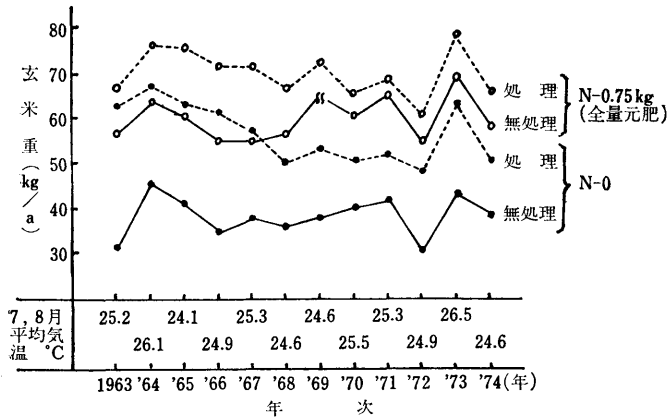
期の出穂前 18 日に施用した場合の効果は窒素肥沃度の異なる長野と三郷とはその効果に相違がある。すなわち、生育前半ことに穂首分化期前後において土壤窒素の放出量の少ない長野は穂肥を穎花数に影響のある出穂前 25 日に施用した水準の方が全籾数を増加し玄米収量が高い。これに比べて上記した時期の土壤窒素放出量の多い三郷では、むしろ追肥時期を遅らせた方がやや勝る傾向だが、穂肥の時期にあまり細かい配慮が必要でないといえる。

つぎに、実肥の施用効果は、長野と三郷では認められないが、大町の場合、元肥と穂肥窒素の増施効果が顕著である上に、さらに実肥窒素の施用効果が明らかであり絶対収量も高い。このことは、これまで述べたように土壤窒素の供給量と保肥力の相違に由来しているものと思われる。すなわち、施肥量が各試験地同一であるにもかかわらず、生育後半の葉身中窒素含有率の総平均値は大町が長野や三郷に比べて低いことと、これに加えて単位面積当たりの全籾数もとくに少なくない¹⁰⁾ことが実肥の効果を顕著にした大きな理由とみられる。

前項で述べたような窒素肥沃度の異なる水田での施肥に対する応答の仕方からみて、地力窒素の放出量が少ない場合や保肥力に乏しい水田では、1回の施肥量を増加したり、施肥回数を多くし、また追肥の時期にも細かい注意を払うという努力が必要である。しかし、このような土壤の特性を補う技術的対策をこうずれば水田の生産力は必ずしも低いとはいえない。

3. 土壤窒素の発現能力

水田土壤の有機態窒素の無機化促進については、原田¹¹⁾が総括したように乾燥、温度上昇、凍結、塩類添加、



第3図 玄米収量に対するクロルピクリン連年土壌処理の影響 (P_2O_5 と K_2O は 0.75 kg/a 施用, 堆肥無施用, 試験場所長野農試水田, n は欠測)

攪拌, 反応転換などの効果とその発現機作が明らかにされており; また, クロルピクリンなど殺線虫剤による燻蒸処理によっても無機化を促進させることが報じられている¹²⁻¹⁵⁾。

長野農試水田(理化学性は前述とほぼ同様)で毎年同一圃場を用い, クロルピクリン燻蒸処理を無堆肥の条件で1963年から現在なお繰返して, 土壌窒素の発現量とその消耗が水稻の収量におよぼす影響を調査している。第3図はその歴年収量を示したもので, 12年を経過した現時点でみると, ①クロルピクリン処理区は無処理区に比べて窒素無施用水準, 施用水準いずれの場合も増収効果が顕著である。しかし, 試験開始後6年目頃から年次の経過とともに, 処理区は無処理区に対する増収度合が低下しつつある。この傾向は窒素施用水準においてとくに強い。ここで興味ある点は, 無窒素でもクロルピクリン処理を行なうことにより, 試験開始後4~5年はこの圃場で適量に近い窒素を施用した無処理区の収量を上廻る結果が得られており, なお, 12年を経過した時点でも増収している。

クロルピクリンの土壌処理が以上のような増収を示した主な要因は土壌窒素の有効化を促進したためと考え, 上述の圃場で試験開始後6年目に ^{15}N 標識硫酸を用いて土壌窒素の吸収状況の推移を試験してみた。その結果, 処理区の水稲は無処理区に比べ生育の各時期にわたって土壌に由来した窒素の吸収量の多いことが認められた。地上部だけを見ても処理区は無処理区より1作に10a当たり約3kgの土壌窒素を多く吸収している¹⁴⁾。

一方, 土壌の面からみると, 室内においてクロルピクリン処理を行なった場合はアンモニア態窒素の発現量が

多くなることが認められ, また, 試験開始後4年を経過した刈取り直後の跡地土壌の潜在地力を測定した結果, 風乾土を $30^{\circ}C$ および $40^{\circ}C$ で湛水保温したとき生成するアンモニア態窒素はクロルピクリン処理区の方が無処理区より少なく, 全炭素や全窒素含量もやや低下していた。さらに, 処理区は無処理区に比べ土壌3相のうち固相率が增大しており, 作土の密度も大であることを認めた¹⁴⁾。

以上の試験結果は, 窒素肥沃度がとくに高くない鈣質土壌の圃場条件下で土壌窒素を可能なかぎり発現させてみたときの, 収量や水田の肥沃度がどのような早さで変わるかをみたものである。第3図からも土壌をクロルピクリン燻蒸という極端な処理を行なうことにより短期間に土壌窒素を収奪している状況をうかがうことができる。それにしても, 処理土壌は12年を経過した時点でもなおかつ多量の窒素を供給し得る能力を備えていることを知ることができると同時に, 水田の肥沃度は, その水田の資産を意味することが強く感ぜられる。

4. 窒素肥沃度増大の可能性と期待

水田における堆肥の連用試験は全国的にみると, 20~50年という長年月をかけて行なっている貴重な試験が多い。指定試験の成績をまとめた結果¹⁶⁾によると, 無機質肥料のみを連用して行けば水稻収量は年次の経過とともに低下していくが, これに堆肥を併用することにより, このような収量低下を防止することができるし, また一層収量を増加させることができるとしている。出井¹⁷⁾は, 一定量の有機物を連用した場合に土壌中に集積する有機物の量は年々増大し, 無限年度には一定量に到達し, その水準での平衡状態あるいはそれに近似した状態になる。平衡状態下では毎年加えられる有機物と同一量の有機物が一年間に分解され, 土壌中の有機物の量や質における増減や, 変化がないということを推定している。

長野農試で行なった堆肥の連用試験についてみると(第4図), この試験を行なった年数の範囲では無機質肥料に堆肥を併用した効果は認められていないが, 堆肥のみを施用した区は無窒素区に比べて年次の経過とともに収量が漸増し, 10年目頃から三要素区(各 3.7 kg/10 a)や三要素堆肥区と同程度の収量水準に達している。

このように, 堆肥, 稲わらなどの有機物施用は水田

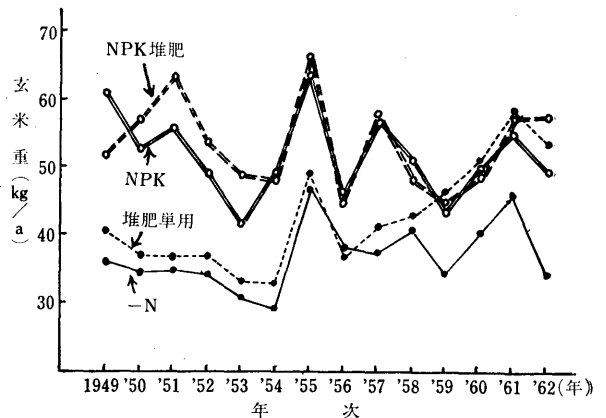
の肥沃度を向上させる有効な手段であるが、これを阻む因子として労力、資材、過剰投入による障害など幾つかの問題点が残されていることは周知のとおりである。今後、水田の窒素肥沃度を維持または増大していくことがどの位可能か、そして、それにどの位期待が持てるかという観点に立ったときの問題点は幾つかあるが、その中で重要な点として有機資材の資源に制約されることがあげられる。

上述した指定試験の取りまとめによると地力維持に必要な堆厩肥の量は地域によって異なるが、少なくとも年間10a当たり1.1t位必要とされている。この堆厩肥を作るのには稲わらで500~600kg必要であり、この稲わらの量は10aから生産される量にほぼ相当する。つまり収穫されたわらを全量施用して、ようやく地力維持が保てるということになる。したがって、ある特定の水田に堆厩肥を集中的に施用する場合を除いて、全体の水田の肥沃度をさらに増大させることはこれまでの水田利用体系の中では有機資材の物量的な面から限界がある。

堆肥1tの連年単用により平衡状態に達したとき期待し得る収量水準は既述の指定試験の場合玄米400kg/10a内外であり、第4図の試験のように条件のよい例をみても600kgに達しない。したがって、より高収をねらうとすれば有機物の投入量を増加するか、または目標収量を得るために必要な窒素量との差を化学肥料に依存しなければならないし、その施用法についても工夫が必要となってくる。

5. むすび

今日、水稻の施肥技術が高度化した反面、土壤肥沃度の低下が憂慮されている。具体的データで示す資料は持ち合せないが、社会情勢の変化からみてそのような趨勢にあることは否定できない。その原因が施肥技術の高度化にあるのか、肥沃度の低下が施肥技術の高度化を必要としたのかは議論の別れるところであるが、いずれにしても、現在の施肥技術は反収増が強く要求された時代に開発されたものである。その時代には少なくとも今日以上に土づくりに対する関心と努力が払われていたように記憶している。土壤の供給する窒素は既述のように量的に無視することができないし、また供給の仕方についても施肥技術では到底おぼない優れた点を備えている。したがって、水田に立脚した稲作体系下では地力で目標収量をあげ得るような土づくりを進めることが理想的であろう。しかし、現実には、そして今後要求されるであろう高反収を土づくりのみで達成させることは前述の例をみても容易でない。ゆえに、目標収量が高まるにつれて、



第4図 移植水稻に対する堆肥の連用効果
(長野農試水田, 晩植, 堆肥1.1t/10a, N施用区は1955年まで10a当たり5.63kg, それ以後3.75kg施用, P₂O₅とK₂Oは各年3.75kg/10a施用)

肥沃度の維持と施肥技術の向上はともに要求されるものと考えられる。

文 献

- 1) 江川友治: 堆厩肥の土壤肥科学的論議, 歴史的に総括的に, 農業技術, 19, 1~5 (1964)
- 2) 山下鏡一: 水田における堆肥の効果の解析, 農業技術, 19, 6~11 (1964)
- 3) 熊田恭一: 土壤腐植の効用, 堆肥の効果と関連して, 農業技術, 19, 20~25 (1964)
- 4) 出井嘉光: 後期重点追肥と土壤肥料, 土壤肥料の研究, 166~172 (1970)
- 5) 吉田武彦: 日本の耕地の生産力と施肥, 農業技術, 26, 201~206 (1971)
- 6) 川田信一郎: 土への関心と執着, 圃場と土壤, 39, 40, 25~32 (1972)
- 7) 弘法健三: 土を守る心, 圃場と土壤, 39, 40, 33~43 (1972)
- 8) 熊沢喜久雄: 施肥と地力, 圃場と土壤, 63, 64, 59~63 (1974)
- 9) 渡辺 巖: 地力と有機質肥料, 農及園, 49, 969~972 (1974)
- 10) 御子柴 稔: 窒素施肥による水稻の生育収量の制御に関する土壤肥科学的研究, 長野農試報, 37 (1974)
- 11) 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)
- 12) 石沢修一・松口彦彦: 湛水条件下における土壤および水の微生物におよぼす農業の影響, 農技研報, B, 16, 1~90 (1966)
- 13) 日高 醇: クロールピクリンによる土壤消毒とその肥料的効果の原因, 土と微生物, 5, 17~25 (1963)
- 14) 御子柴 稔: 水田における土壤燻蒸処理の土壤肥料的効果とその注意点, 農及園, 48, 931~934 (1973)
- 15) 西川光一・田村実・竹谷宏二: 水稻に対するクロールピクリンの肥料的効果に関する研究, 石川農試報, 8, 9~20 (1974)
- 16) 原田登五郎: 粗大有機質肥料の施用効果, 土壤肥料全編 419~436 (1958)
- 17) 出井嘉光: 地力資源の確保と有機物の役割, 北海道土肥研究通信, 75 (1974)