

肥効調節型被覆尿素を用いた水稲の全量基肥不耕起直播栽培*

佐藤 徳雄・渋谷 暁一・三枝 正彦・阿部 篤郎

(東北大学農学部附属農場)

1992年10月31日受理

要 旨: 速効性の硫酸を基肥および追肥に用いる慣行栽培を対照区として、肥効調節型被覆尿素を用いた水稲(品種チヨホナミ)の全量基肥不耕起栽培(LP区)を試み、次の結果を得た。1) LP区の水稲は生育のごく初期に対照区よりやや劣るものの、6月初旬以降は草丈、葉色、茎数および乾物重のいずれにおいても対照区より優った。2) 対照区では、湛水直後に急激な土壤無機態窒素の消失が起こり、稲体は窒素欠乏状態(クロロシス)を追肥時期まで示した。これに対してLP区の水稲は、栽培期間中正常な生育を示した。3) LP区の玄米収量は、登熟期が高温・多照で経過した1990年が57.1 kg/a、低温・寡照で経過した1991年が51.2 kg/aで、対照区よりもそれぞれ55%および33%優った。対照区の低収量の原因は、施肥窒素が湛水とともに消失し、主としてm²当たり穂数が少なくなり、籾数の確保が不十分であったためと考えられる。4) LP区の窒素吸収量は、対照区に比べて分けつ盛期以降は著しく優り、成熟期には対照区の1.57倍に達した。施肥窒素の利用率は、全量基肥区のLPが63.2%、対照区の基肥硫酸が8.5%、幼穂形成期の追肥硫酸が52.8%、穂揃期の追肥硫酸が41.5%であった。5) 以上の結果から、水稲の不耕起直播栽培に対する肥効調節型被覆尿素の全量基肥施用効果が大いことが明らかになった。

キーワード: 重窒素・水稲・生育収量・全量基肥施用・肥効調節型被覆尿素・不耕起直播栽培

Single Basal Application of Total Nitrogen Fertilizer with Controlled-Release Coated Urea on Non-tilled Rice Culture: Tokuo SATO, Kyoichi SHIBUYA, Masahiko SAIGUSA and Tokuro ABE (*Experimental Farm of Tohoku University, Kawatabi, Naruko, Tamatsukuri, Miyagi 989-67, Japan*)

Abstract: Single application of total nitrogen fertilizer with controlled-release coated urea on non-tilled rice culture (LP-plot) was compared with a conventional application method using easily released nitrogen fertilizer, ammonium sulfate (AS), for both basal and top-dressing (AS-plot). The results obtained were as follows. 1) The growth of rice on LP-plot was relatively inferior to that on AS-plot in the young seedling stage, but superior in plant height, leaf color, number of tiller and dry weight after the beginning of June. 2) A drastic reduction of soil mineral nitrogen due to denitrification occurred in AS-plot just after submerging, and severe nitrogen deficiency of rice, chlorosis, lasted until the top-dressing stage, whereas rice on LP-plot showed normal growth at all times. 3) Brown rice yields of LP-plot in 1990 with a hot summer and in 1991 with a cool summer were 57.1kg/a or 155% of AS-plot and 51.2kg/a or 133% of AS-plot, respectively. The drastic reduction in grain yield of AS-plot seems to be related to decrease of numbers of ears reflecting nitrogen deficiency of plant at the vegetative growth stage. 4) Amounts of nitrogen uptake of rice plants on LP-plot were somewhat inferior to that on AS-plot in the early growth period, but were extremely superior after the active-tillering stage and reached 1.57times of that on AS-plot at the maturing stage. Recoveries of controlled-release coated urea for basal application, AS for basal application, AS applied at panicle formation stage and AS applied at full heading time were 63.2%, 8.5%, 52.8%, and 41.5%, respectively. 5) From the foregoing, we conclude that a single basal application of total nitrogen fertilizer on a non-tilled rice culture is highly effective using controlled-release coated urea.

Key words: Controlled-release coated urea, Growth and yield, ¹⁵N-Nitrogen, Non-tilled rice culture, Rice, Single application of fertilizer.

寒冷地における水稲の直播栽培としては初期の苗立ちを容易にするために、暖地の乾田直播の長所を活かした折衷直播栽培が推奨されている¹⁾。この折衷直播栽培は、暖地の乾田直播が4~5葉期に湛水するのに対し、平均気温が10~12°Cになる播種10~15日後に湛水し、生育初期の保温効果を高める方式である。しかしながら、この方法は、畑状態で播種し、出芽後に湛水するため、従来の速効性の窒

素肥料では酸化的な畑状態中に大部分が硝酸化され、降雨や湛水時に脱窒・流亡する恐れがある^{10,13,18)}。また、作業工程に耕起、鎮圧、整地といった更に省略可能な工程を含んでいる。

一方、近年開発されたポリオレフィン系肥効調節型被覆尿素(緩効性窒素肥料)は、その溶出が地温に依存し、作物の生長に合わせた肥効が得られるので、極めて施肥効率が高いことが報告されている³⁾。また、水稲不耕起直播栽培は地耐力があり、天候に拘らず適期に作業ができ、かつ、土壌を酸化的に維

* 大要は、第193回講演会(1992年4月)において発表。

持し、水稻根の活性を高く保つことが報告されている^{4,5,11,16}。そこで本報告では、寒冷地における水稻の省力・低コスト栽培を行なう一方法として、従来より湛水を早めに計画した不耕起直播栽培と肥効調節型被覆尿素を組み合わせ、水稻の全量基肥不耕起直播栽培を検討したので報告する。

材料と方法

栽培試験は、東北大学農学部附属農場3号水田(黒ボク土)で実施した。

品種はチヨホナミ(やや短稈で偏穂数型の早生品種)を用いた。播種は、1990年は4月26日に1991年は4月24日に乾田状態で行ない、湛水は生育初期の保温効果を高めるために出芽後6~7日目(播種20~27日目)に行なった。催芽もみには出芽・苗立ちを促進するための酸素供給剤(過酸化カルシウム)と酸素供給能力を改善するための軟質高度珪酸白土(通称:ソフトシリカ)を粉衣¹⁷⁾して用いた。播種方法は、前年水稻収穫後不耕起状態で放置した30cm幅の刈株と刈株の中間に、逆回転方式の溝切機で幅2.5cm、深さ5cmの溝を切って施肥、間土した上に、a当たり乾もみ換算で約0.5kgの催芽もみを条播した。また、播種20日前に非選択性茎葉処理移行型グリホサート液剤を散布して裸地期間に発生した雑草(主としてズメノテッポウ)を防除した。

施肥処理は、肥効調節型被覆尿素区(以下LP区と略)と対照区を設けた。LP区は25°C水温中で100日間に80%溶出するLPコート100(チッソ旭肥料(株)製)をNとしてa当たり0.8kgを全量基肥に、対照区は硫酸を用い、Nとして基肥に0.5kg、幼穂形成期と穂揃期に各々0.15kgずつ追肥した。また、この他に基肥として、両区ともa当たり熔燐をP₂O₅として0.75kg、緩効性の被覆型加里(CK70:チッソ旭肥料(株)製)をK₂Oとして0.58kg施用した。

1区面積は4.5m×30m、135m²とし、反覆なしで行なった。

調査は、草丈、茎数、葉齢、葉色(ミノルタ葉緑素計SPAD-501)は各区12株×3ヶ所、茎数、収量構成要素は0.36m²(0.3m×1.2m)×3ヶ所を、根系分布は播種条間(2条)をはさんで縦60cm、横60cm、深さ0~10cm、10~20cm、20~30cmに含まれる根量を3ヶ所から計量した。また、土壌無機態窒素含量⁶⁾(NH₄⁺+NO₃⁻)は施肥条間をはさんでタテ10cm、ヨコ10cm、深さ10cmの土壌を3ヶ所

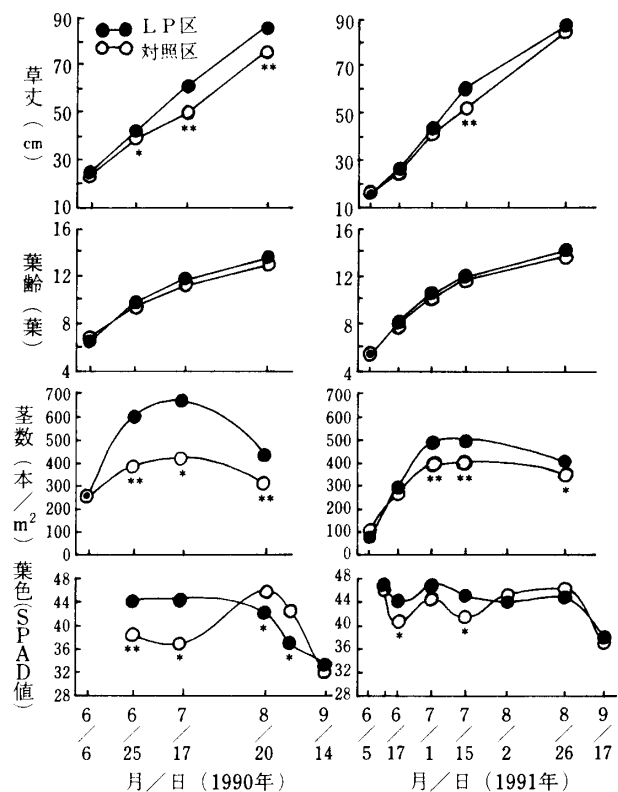
から採取して定量した。すなわち、土壌100gにIMKCl 500mlを加え、振とう器で1時間振とう後濾過した。その後濾液100mlを採取し、デバルダ合金と酸化マグネシウムを加え、水蒸気蒸留し捕集されたアンモニアを硫酸で滴定して無機態窒素を求めた。

施肥窒素の挙動は¹⁵N-LP100(3.06atom%)と¹⁵N硫酸(3.15atom%)を用い、枠試験区(30cm×30cm枠、出穂期と成熟期は60cm×60cm枠)で1回4枠ずつ5回の試料について発光分光分析法⁹⁾で定量した。

結 果

1. 生育経過と乾物重の推移

LP区と対照区の草丈、葉齢、主稈葉数、茎数および葉色の推移を第1図に示した。1990年は播種後14日目に、1991年は20日目に生芽し、出芽後6~7日目に湛水した。LP区は、対照区に比較して両年とも6月初旬以降には生育が優り、草丈、茎数は著しく増加した。出穂期は1990年が8月8日、1991年が8月19日で、対照区との差はみられなかった。穂揃期に



第1図 草丈、葉齢、茎数及び葉色(SPAD値)の推移。

(注)**:1%水準、*:5%水準で有意差があることを示す。

第1表 水稻地上部乾物重の推移 (g/m²).

年次	処理区	6月5日 (分けつ 初期)	6月30日 (分けつ 盛期)	7月16日 (幼穂 形成期)	8月12日 ¹⁾ (穂揃期)	9月14日 ¹⁾ (成熟期)	(茎葉・穂)
1990	LP区	3.2	141	315	847	1,204	(578・626)
	対照区	4.9	66	158	451	850	(458・392)
	有意差 ²⁾	ns	**	**	**	**	* **
1991	LP区	3.9	90	183	646	997	(510・487)
	対照区	4.7	70	149	499	871	(477・394)
	有意差 ²⁾	ns	ns	ns	**	**	* **

1) 1991年は8月20日および9月30日.

2) **:1%水準, *:5%水準で有意差あり, ns:有意差なし.

第2表 水稻収量および収量構成要素.

年次	処理区	玄米重 (kg/a)	穂数 (本/m ²)	有効茎 歩合 (%)	もみ数		登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)	登熟度 ¹⁾
					(粒/穂)	(×100粒/m ²)			
1990	LP区	57.1	435	64.8	72.1	314	83.9	21.67	1,818
	対照区	36.9	308	74.4	65.4	201	80.9	22.66	1,833
	有意差 ²⁾	**	**	ns	**	**	ns	**	ns
1991	LP区	51.2	405	83.0	70.2	284	87.7	20.56	1,803
	対照区	38.5	345	88.6	63.5	219	84.4	20.76	1,752
	有意差 ²⁾	**	**	ns	ns	**	ns	ns	ns

1) 登熟歩合×玄米千粒重, 2) 第1表と同じ.

おける草丈は1990年が86cm, 1991年が87cm, 主稈葉数は13.6葉および14.1葉, m²当たり穂数は435本および405本であり, それらの値は対照区よりも草丈で3~10cm, 主稈葉数で0.5~0.6葉, 穂数で60~127本多くなった.

1990年における葉色(SPAD値)の推移をみると, 対照区よりLP区の方が変動が少なく, LP区は, 出穂期頃から登熟期前半にかけては, 穂肥および実肥を施用した対照区よりも劣ったが, ほかの時期は高めに推移した. そのため, 登熟中期以降も活性が高く, 秋まさり的な生育を示した. これに対して対照区の葉色は, 湛水開始後から穂肥時までは低めに推移し, 窒素欠乏状態を示した. また, 水稻生育量の小さかった1991年は両区の差が小さく経過したが, 傾向としては1990年とほぼ同様であった.

乾物重は, 第1表に示すように, 生育状態を反映して6月初旬まではLP区の方が対照区よりもやや少なかったが, 分けつ盛期以降は逆転して対照区よりも著しく優った. 成熟期におけるLP区のm²当たり乾物重は1990年が1204g(茎葉578g, 穂626g), 1991年が997g(茎葉510g, 穂487g)で, 対照区よりも1990年が41%(茎葉21%, 穂60%),

1991年が14%(茎葉6%, 穂24%)多くなった.

2. 収量および収量構成要素

LP区と対照区の収量および収量構成要素を比較した結果を第2表に示した. なお, 当農場の所在する鳴子町のa当たり平均収量および作況指数は, 夏期が高温多照で経過した1990年が46.4kg:113, 低温寡照で経過した1991年が29.1kg:71であった.

LP区のa当たり玄米収量は, 1990年が57.1kg, 1991年が51.2kgで, 両年とも当農場における移植栽培に匹敵する収量が得られた. これに対して対照区の収量は, 1990年が36.9kg, 1991年が38.5kgで, LP区よりもそれぞれ35%および25%ほど減少した.

1m²当たりもみ数は, LP区では1990年が31,400粒(72.1粒/本), 1991年が28,400粒(70.2粒/本)で, 対照区よりもそれぞれ55%および30%ほど多かった. LP区の登熟歩合は, 1990年が83.9%, 1991年が87.7%と対照区よりも高い値であった. しかしながら, LP区の玄米千粒重は, 1990年が21.67g, 1991年が20.56gと対照区よりも低い値であったので, 両者の登熟度(登熟歩合×玄米千粒重)には大きな差は認められなかった.

3. 土壤中の無機態窒素の動向と植物体による吸収利用

1990年における施肥条間をはさんで1l (10cm×10cm×10cm)の作土中に含まれる無機態窒素含量を第3表に示した。

対照(硫安)区の100g乾土中の無機態窒素含量は、播種直後には32.00mgであったが、その後、脱窒・流亡し、6月5日には3.58mgに低下し、6月30日には無機態窒素の大部分が消失した。

これに対してLP区の無機態窒素は、播種直後には4.63mgであったが、6月5日には脱窒・流亡により1.31mgに低下した。しかしながら、その後も地温の上昇に比例して少量ずつ溶出し、6月13日には5.59mgで対照区の約5.9倍、6月30日には0.71mgで対照区の2.09倍となった。

稲体によるm²当たり窒素吸収量の推移を第2図に見ると、6月5日にはLP区が0.13g、対照区が0.16gで対照区の方が多かったが、それ以降は逆転してLP区の方が著しく多くなった。

成熟期におけるm²当たり窒素吸収量は、対照区が6.62g(施肥窒素1.84g、土壌窒素4.78g)であるのに対し、LP区は10.13g(施肥窒素5.06g、土壌窒素5.07g)と53%ほど多くなった。

第3表 土壤無機態窒素の推移。

(mg/100g乾土)

処理区	4月24日	6月5日	6月13日	6月30日
LP区	4.63	1.31	5.59	0.71
対照区	32.00	3.58	0.95	0.34
有意差 ¹⁾	**	**	**	**

1) 第1表と同じ。

重窒素トレーサー法による施肥窒素の利用率は収量結果をよく反映し、高収量のLP区では63.2%であったが、低収量の対照区では23.0%(基肥硫安が8.5%、幼穂形成期追肥硫安が52.8%、穂揃期追肥硫安が41.5%)で、とりわけ、基肥硫安の利用率が著しく低かった。

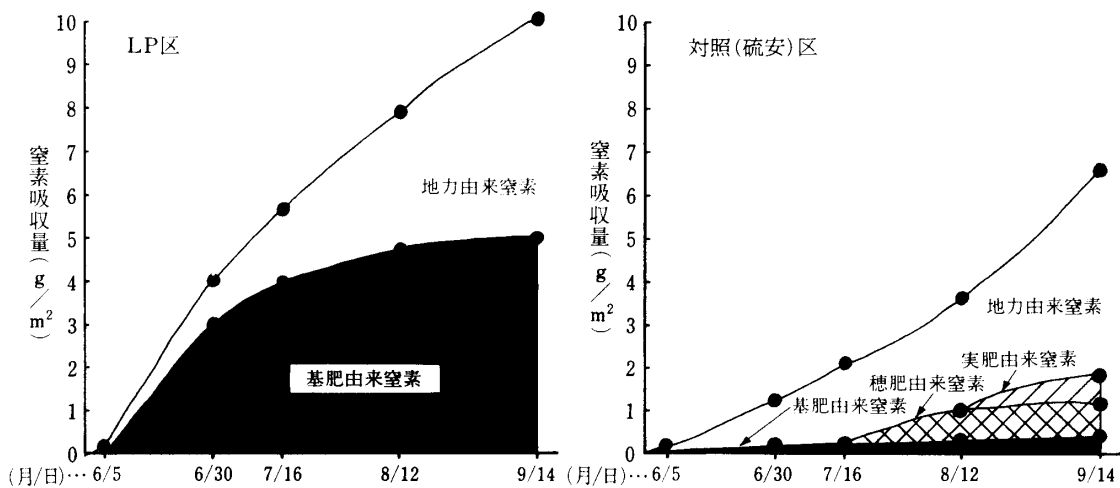
4. 根系分布

水稻収穫時におけるm²当たり根の乾物重は第4表に示すように、対照区が233gであるのに対し、LP区が297gで27%ほど多く、生育収量に比例した結果を示した。深さ別の根の分布割合は、両区とも施肥位置に相当する0~10cm層位で85%を占め、下層に行くにつれて順次減少した。

考 察

不耕起水田では表面流去による排水がよく、また、地耐力が大きいことより降雨直後でも作業ができること、あるいは降雨による土膜形成、固結等を阻止し、出芽・苗立ちを良好にできる^{5,16)}などの利点があり、不良気象条件への適応技術として活用されている^{1,2)}。しかしながら、出芽・苗立ちするまでの畑状態中に施肥窒素が容易に硝酸化成し、脱窒・流亡する^{10,13,18)}おそれがあるため、施肥法、施肥形態などが水稻の生育収量に大きな影響を与えることが考えられる。

不耕起直播栽培におけるこれまでの施肥法をみると、寒冷地では初期生育を促進させ、茎数を早期に確保するために、総窒素量の40~50%を播種時に、20~30%を湛水時に施用している¹⁶⁾。暖地では播種時の施肥は省略されることが多く、湛水時に基肥に相当する量(40%程度)を施用している。また、不



第2図 稲体の由来別窒素吸収経過(1990年)。

第4表 水稻収穫時における根乾物重の比較(1990年). (g/m²)

区分\層位	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	合計
LP区	254(85.5)	40(13.5)	3(1.0)	297(100.0)
対照区	197(84.5)	33(14.2)	3(1.3)	233(100.0)
有意差 ¹⁾	**	ns	ns	ns

1) 第1表と同じ.

耕起直播栽培では、低節位から分けつが発生して有効茎となるので穂数の確保が容易である。そのため穂肥は減数分裂期に肥効が発現し、粒の充実を図るために総窒素量の20%程度を出穂の15~20日前に施用している。更に、実肥も施すことがあるが、総窒素量に対する穂肥、実肥の割合は寒地よりも暖地の方が高い¹⁶⁾。

このように、従来の速効性窒素肥料では、播種時に施用した窒素の大部分が脱窒・流亡して窒素欠乏状態となり、水稻の生育・収量を低下させる恐れがある。それゆえ、この時期の施肥窒素の利用率を如何にして高めるかが大きな問題であり、これまでは施肥量と施肥回数を増すことにより対応してきた¹⁶⁾。本研究では施肥回数を増す代わりに肥効が持続的な肥効調節型被覆尿素を用いて水稻の全量基肥不耕起栽培を試みた。

速効性硫安を用いた対照区の水稲は、6月初旬まではLP区よりやや優ったが、それ以降は土壤無機態窒素が不足するため、葉色が低めに推移し、生育が劣った。また、低い窒素吸収量を反映し、穂数が少なくなり粒数の確保が不十分となったため著しい低収量を示した。これに対して、被覆尿素(LP)の溶出は、地温の低い畑状態中は少なかったが、湛水後は施肥位置の地温に比例して高まり、登熟後期まで持続していることが葉色および窒素吸収量の推移から判断された。このため、LP区の水稲は、湛水後生育が旺盛になり、対照区より茎数および乾物重が著しく増加した。

本研究の不耕起直播栽培における施肥窒素の利用率はLP(全量基肥施用)区が63.2%であるのに対して速効性硫安を用いた対照区は23.0%(基肥硫安が8.5%、幼穂形成期追肥硫安が52.8%、穂揃期追肥硫安が41.5%)と著しく低いものであった。緩効性のLPに比べて硫安の利用率が低いことはこれまでの重窒素トレーサー法を用いた水稻栽培でも確認されている^{8,12,15)}。しかしながら、本研究の対照区の基肥硫安の利用率はこれらに比べて著しく低いものであった。これは、基肥に施用したアンモニア態窒

素の大部分が畑状態中で硝酸化成され、その後の降雨・湛水によって脱窒・流亡した^{10,13,18)}ためと考えられる。これに対してLP区では、徐々に溶出するため脱窒・流亡が少なく、稲体は施肥窒素とともに土壤窒素の吸収も増大した。その結果、m²当たり穂数や1穂着粒数が増加すると共に登熟度も高まって高収量に結びついたものと考えられた。

このように、肥効調節型被覆尿素を用いた水稻の全量基肥不耕起直播栽培は、農作業の省力化とともに肥料による環境負荷を著しく軽減させることが期待され、21世紀へ向けた環境にやさしい農業形態として極めて有望な栽培法と思われる。

謝辞 本研究を行なうに当たり肥効調節型被覆尿素¹⁵N-LP100を供与下さいましたチッソ旭(株)佐藤 健氏に深く感謝致します。

引用文献

1. Awazaki, H. and Y. Ohno 1986. A new direct seeding culture of rice in Hokkaido—its characteristics and stabilization of seedling establishment—. JARQ 20, 1—12.
2. Broeshart, H. 1971. The fate of nitrogen fertilizer in flooded rice soils. IAEA-PL 341/4, IAEA, Vienna. 47—54.
3. 藤田敏夫・前田正太郎・柴田 勝・高橋知剛 1989. 被覆肥料に関する開発(肥料の現状と将来)—21世紀を目指す肥料に関するシンポジウム, 講演集. 111—131.
4. 人見 進 1976. 水稻の不耕起直播栽培の確立に関する基礎的研究. 岡山農試臨報 68:1—50.
5. 井出一浩 1971. 不耕起作溝条播方式による直播. (地中耕起)技術論—稲, 連続極限省力栽培. 近代農林社, 福岡. 77.
6. 井の子昭夫 1986. 可給態窒素. 土壤標準分析・測定法委員会編, 土壤標準分析・測定法. 博友社, 東京. 118—124.
7. 甲斐秀明 1978. 水田土壤の肥沃土. 川口桂三郎編, 水田土壤学. 講談社, 東京. 229—231.
8. Kamekawa, K., T. Nagai, S. Sekiya and T. Yoneyama 1990. Nitrogen uptake of rice (*Oryza sativa* L.) from ¹⁵N labelled coated urea and ammonium sulfate. Soil Sci. Plant Nutr. 36: 333—336.

9. 狩野広美・米山忠克・熊沢喜久男 1974. 発光分光分析法による重窒素の定量について. 土肥誌 45: 549—559.
10. 水本順敏・坂上 朗 1965. 水稻直播栽培の施肥法に関する研究. 静岡農試研報 10: 43—59.
11. 野々山芳夫 1981. 水稻の直播栽培に関する土壤肥料学的研究. 中国農試報 E18: 1—62.
12. 佐藤徳雄・三枝正彦・渋谷暁一・阿部篤郎 1992. 水稻のポット苗移植とマット苗移植に対する肥効調節型被覆尿素の全量基肥施用効果. 日作東北支部報 35: 39—40.
13. 塩入松三郎・青峰重範 1974. 水田の脱窒現象に就いて. 土肥誌 16: 104—116.
14. 常松定信・鷲尾 養 1973. 水稻の直播栽培における播種深度, 土壤の乾湿, 土性と発芽・苗立ちについて. 日作紀 42 (別 2): 7—8.
15. 上野正夫・熊谷勝巳・加藤之信・井上敏子・田中伸幸 1990. 土壤窒素と緩効性被覆肥料を利用した全量基肥技術 (その 2). 土壤窒素の発現予測と被覆肥料の利用率を基にした全量基肥一発施肥体系. 農業および園芸 65: 1266—1270.
16. 鷲尾 養 1984. 乾田直播栽培. イネ・基本技術. 農業技術大系作物編 2. 農山魚村文化協会, 東京. 341—372.
17. 渡辺富雄・和田潔志・西川康之 1988. 湛水土壤中直播における出芽・苗立の安定化技術. 農業技術 43: 310—314.
18. Yoshida, T., R.A. Roncal and E.M. Bautista 1973. Atmospheric nitrogen fixation by photosynthetic microorganism in a submerged Philippin soil. Soil Sci. and Plant Nutr. 19: 117—123.