

環境にやさしい・水稻の省力施肥技術

—埼玉県のとりのくみ—

埼玉県農業試験場 環境生物部

部長 日 高 伸

1. はじめに

これまでの農業技術は安価な化学肥料や農薬など化学合成資材の多量消費に支えられて、生産性向上を追求してきた。この過程において、BHC、DDT、水銀剤など残留毒性の強い農薬が大量に撒かれ、水田や川に生息するホタルやとんぼなど昆虫の多くが少なくなった苦い経験をもっている。しかし、様々な公害問題も技術革新によって、多くの難問を解決してきた。そして、今日は、社会は再度、大きな試練に立たされている。それは、地球温暖化防止をはじめとする様々な環境問題への解決と地域住民の価値感の多様化に伴う生産技術の変更にある。すべての分野でこれまでの生産効率重視の技術体系を見直し、環境にやさしい新たな技術革新が求められている。環境と密接な関係にあり、地域の環境保全に貢献してきた農業もまた同様である。

今日の全国規模で推進されている環境保全型農業は生産性と環境に留意しつつ化学肥料、農薬の一層の効

率的利用、環境負荷をできる限り軽減し、安全で良質な食糧生産、人と自然にやさしい新たな農業技術の開発を目指している。新たな農業技術は環境への負荷削減を考慮しつつ、農家の労力削減や作業性の向上に貢献でき、低コスト化、高品質化の追求である。被覆窒素肥料を用いた水稻の全量施肥技術は本誌をはじめ、多くの研究成果が発表されている。これまでの基肥—追肥（分施）体系にとってかわる新しい施肥技術として、ほぼ確立したと思われる。この間、試験研究の成果を普及に移譲するまでには多くの試練があったことと推

第1図 1980年代以降の稲作を巡る社会・技術的背景
 〈社会背景〉 〈キーワード〉

公害問題から環境問題への移行
 資材多投資型近代農業のひずみ
 省力化・低コスト化・生産調整

安全性 価値観
 物質循環 水系汚染
 国際化 高齢化

〈技術背景〉

被覆窒素肥料等の開発
 フロアブル剤等の開発

〈キーワード〉

全量基肥 省力施肥
 箱 施 薬 省力施薬

本 号 の 内 容

§ 環境にやさしい・水稻の省力施肥技術…………… 1
 —埼玉県のとりのくみ—

埼玉県農業試験場 環境生物部

部長 日 高 伸

§ イチゴの本圃の省力栽培…………… 8
 —なぜイチゴ本圃の省力栽培技術が必要なのか—

福岡県農業総合試験場 園芸研究所

専門研究員 伏 原 肇

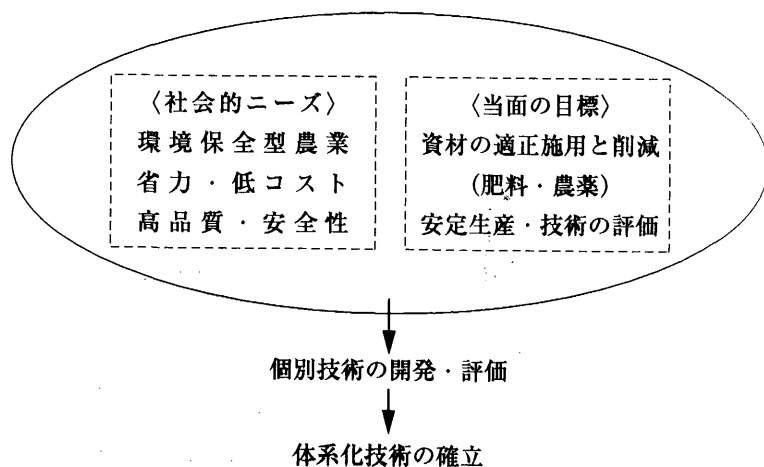
測される。何故なら、水稻の施肥法はすでに論理的に確立された技術であり、全量を基肥に施用することは到底受け入れられない強い抵抗があったことは否定できない。これを可能にしたのは、精度の高い肥効調節型肥料が開発され、従来の施肥法と遜色のない収量が得られること、そして何よりも省力化技術として農家に魅力があったこと、環境保全型農業の推進として、肥効調節型肥料が注目されたことにある。全量基肥技術が開発されてきた社会的、技術的背景を第1図に示す。

埼玉県では1985年に始めて取り上げ、その成果をふまえて、近い将来に慣行施肥体系から全量施肥への転換が進むであろうとの予測にたって、試験を継続してきた。この間、シグモイドタイプ溶出の被覆窒素が開発され、一層、全量施肥技術の安全性を確認することができた。埼玉県農業試験場では1992年から土壌肥料—作物—病虫害の連携により、環境にやさしい稲作技術（省力施肥、化学肥料の削減が可能な肥効調節型肥料、また飛散や流出の少ない除草剤や施薬剤の選択）の開発に取り組み、作期に応じた体系化技術を確認した（第2図）。今回、被覆窒素肥料の全量施肥技術について開発の経緯と成果、普及性について、総枠を紹介し、次回に省力施肥法として普及が期待されている育苗箱全量施肥、移植に代わる栽培法として次世代の乾田直播栽培について被覆窒素肥料の適用を紹介する。

2. 分施肥体系から基肥重点施肥法へ

わが国の慣行的に行われている全層施肥+穂肥

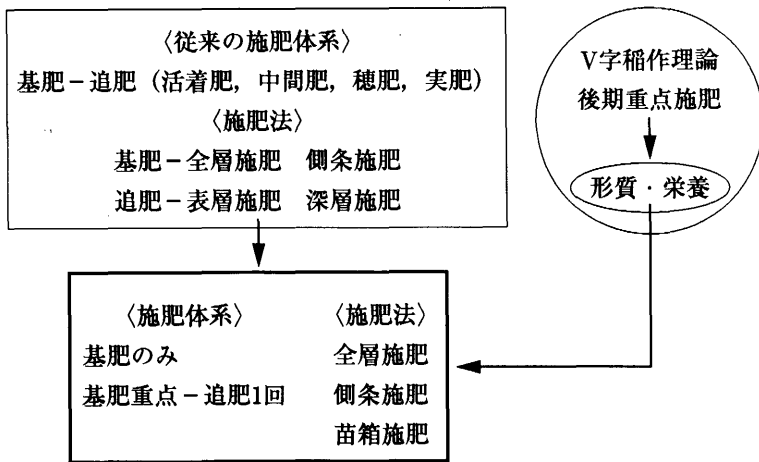
第2図 環境にやさしい稲作技術のニーズと取り組み



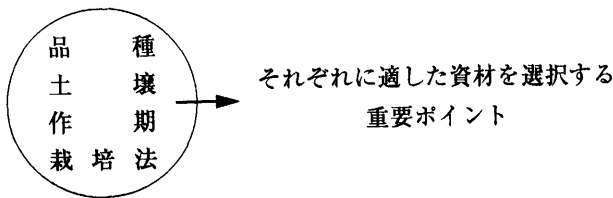
の基本的な施肥法は1945年頃には確立されていたが、これを栄養生理学的観点（分施肥1955年）から、まだ理想型稲づくりとして生理生態学的一連の研究（V字稲作理論1959年）によって、水稻の施肥理論が確立する。これらの研究を基礎として、各地にあった幾つかの施肥技術が確立される。いずれも最大収量を得るための草型の改善、これを人為的にコントロールするための窒素施肥時期、施肥量の決定、そして施肥効率を高める施肥法の改善であった。これら相互の技術を体系化して、わが国の水稻施肥法は1970年代の前半には完成する。

ペースト肥料を用いた側条施肥田植機が1970年代の後半に開発されるが、その後、目だった施肥法の展開はなく、約20年が経過した。しかし、この間にわが国の稲作農業は大きな変動期を向かえる。1971年以降の長引く生産調整政策、米価の据え置き、国際競争力の向上、低コストさらに1980年代のグルメブームによる米の品質向上、そして、1990年代の環境保全型農業の推進等が緊急の研究課題として取り上げられるようになった。中でも、高齢化農業社会に対応した省力化技術の開発は重要である。こうした中、水溶性の肥料を無機質・有機質の膜で覆って、溶出速度を調節する工夫によって成分の溶出速度、溶出時期を調節する被覆窒素肥料が開発された。すなわち、全量基肥技術開発の到来である（第3図）。1979年頃から、被覆窒素肥料を用いた施肥試験が全国の農業試験場を中心に行われ、これまでの基肥—穂肥体系の施肥概念とは全く異なり、窒素施肥量の全量を基肥に施用する全量基肥の施肥法が検討され、品種や地域の条件に合った資材の選択（第4図）、施肥量が検討された。稲作の施肥理論（草型と窒素の養分吸収）を念頭に入れ、各地の実状に応じて慣行施肥体系の窒素供給にほぼ合った資材の選定と配合、施用量が決定される。その中で、山形では土壌窒素の発現量、施肥窒素の利用率向上を考慮した被覆窒素肥料の施肥法、福井、福岡ではワンショット施肥法として普

第3図 全量基肥施肥技術



第4図 全量基肥施肥技術開発のポイント



及をはかり、栃木では早期早植栽培、埼玉では小麦後の普通栽培について、また愛知、滋賀など各地に適した全量基肥施肥法が開発された。

新しい稲作技術体系に適用した施肥法も各地で検討され、千葉では湛水土壤中直播栽培に適した施肥法として、側条施肥と深層追肥を組み合わせた施肥技術を開発した。島根では湖沼の富栄養化対策を兼ねて、側条施肥法によって窒素20~58%、リン15~28%の溶出量が削減でき、被覆窒素肥料の施用によって、さらに窒素の流出防止と増収が期待された。新潟ではペースト肥料を用いて、不耕起移植栽培に適した施肥体系を確立し、側条施肥法一被覆窒素肥料体系では窒素利用率が高いことが示された。秋田では不耕起移植栽培で基肥窒素の利用率が低く、側条施肥が困難な条件に適した苗箱全量施肥法を開発し、東北地域で普及しつつある。これら被覆窒素肥料を活用した新たな農法は規模拡大を図る稲作農家にとって、また兼業農家や高齢化の進む稲作農家にとって、省力効果

のみならず低コスト、収量、品質の向上が期待され生産性の高い農法といえる。また、環境への負荷の少ない施肥農業の確立にも、省力・機能性資材を活用した新農法に期待することが大きい。

3. 埼玉県における全量基肥施肥技術の開発から普及まで

全量基肥施肥技術の開発にあたっては土壌窒素と被覆肥料の窒素供給量が水稲の窒素吸収に比較的適合する資材を選択し、施肥量を決定することが重要である。その基本的な考

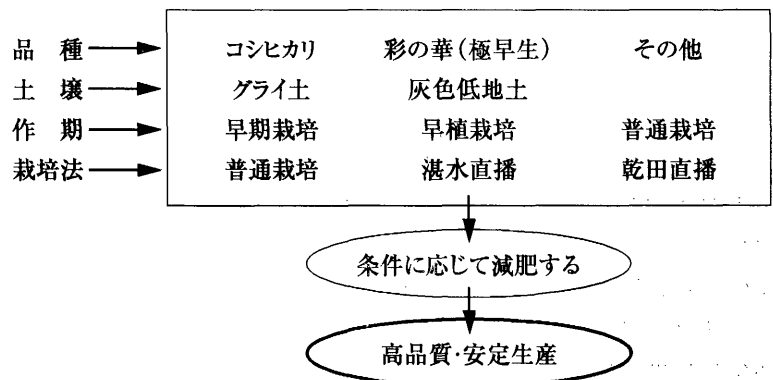
え方を整理すると以下のとおりである。それぞれの条件に応じて、検討する必要があるが、特に、作期、作型、品種（コシヒカリと他品種）、土壌（窒素発現の程度）については個々に適した資材の検討が必要である。

- 水稲の窒素利用率、施肥効率を明らかにする。
- 全量基肥では生育途中の窒素の過不足を補正できない。あらかじめ、被覆肥料の溶出特性、水田土壌の窒素無機化量を明らかにする。
- 地力窒素供給量と肥料の窒素溶出量の和が水稲の時期別窒素吸収量の推移にできるだけ近い肥料を選択し、配合割合、基肥量を決定する。
- 栽培法、作期、品種に最適な資材を選定し、肥効を確認する。

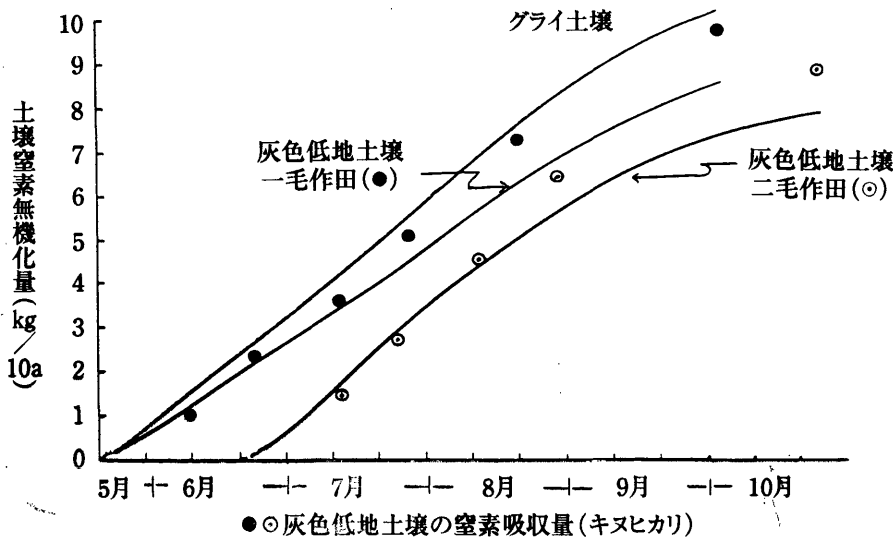
1) 埼玉県水田土壌（灰色低地土、グライ土）の土壌窒素発現量

本県を代表する水田土壌の窒素無機化量は第6

第5図 個々に適した資材を選択

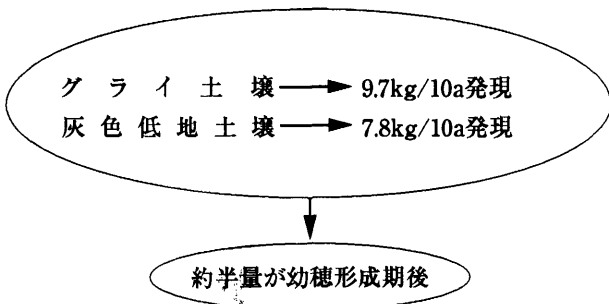


第6図 水田土壤の窒素無機化量の予測と土壤窒素吸収量



図に示すように、土壤の種類、作期によって、異なるパターンを示す。早植栽培のグライ土では移植～成熟期までの積算値が9.7kg/10a、灰色低地土では7.8kg/10aであり、両者の差は7月上旬以降に拡大する傾向がみられる。早植栽培では幼穂形成期までに水稻生育期間中の約53%が、普通栽培では約49%が発現した。灰色低地土の窒素無施肥栽培の水稻による窒素吸収量は幼穂形成期までは土壤窒素無機化量の推移とほぼ一致していたが、それ以降は水稻の窒素吸収量が無機化量を上回って推移した。下層土の窒素発現、灌漑水由来の窒素が考えられる。

水稻の窒素吸収量の約7割は土壤窒素から



2) 栽培法、施肥法と窒素利用率

本県の早植栽培5品種の窒素利用率は概ね、基肥N：21～32%，中間肥N（移植後45日）：28～34%，穂肥N：36～53%である。小麦後水稻（以下：普通栽培）のコシヒカリは基肥Nの利用率が19%，中間肥N：17%，穂肥N：27%に低下した。

従って、基肥窒素、追肥窒素をこみにした化成肥料の窒素利用率は概ね40%以下である。

以上の化成肥料の窒素利用率に対して、被覆肥料(LP-N)全量基肥の窒素利用率は早植栽培のLP100-N：50～66%，LPS100-N：80%，LP50-L：72%，普通水稻でもLP50-Nの利用率は80%と高い。平成7年度の被覆肥料を用いた全量基肥と化成肥料の慣行施肥体系で比較した窒

素利用率でも明らかのように、被覆肥料の窒素利用率は化成肥料を大きく上回った。

<全量基肥施肥の効果その1>

施肥窒素利用率の向上

(平成7年)		慣行施肥	→	全量基肥
キヌヒカリ	普通植	38.8	→	62.5%
彩の華	湛直播	34.3	→	62.1%
あかね空	乾直播	7.0	→	62.0%

細粒灰色低地土壤

1～3割の減肥が可能

<全量基肥施肥の効果その2>

施肥効率・生産能率の向上

		施肥効率	生産能率
早植	慣行施肥	55.9	37.3
	全量基肥	86.8	41.4
湛直	慣行施肥	34.5	39.3
	全量基肥	48.0	39.7
普通植	慣行施肥	59.1	39.4
	全量基肥	89.5	43.4

施肥窒素の利用率に対して、水稻の生産性から施肥効果を評価する施肥効率 Y/F (収量 $Y \div$ 施肥窒素量 F)と生産能率 Y/N (収量 $Y \div$ 窒素吸収量 N)が知られている。被覆肥料の全量基肥はいずれの栽培法でも施肥効率、生産能率が高まる。

3) 被覆窒素肥料の溶出特性

第7図はビン培養一圃場埋設法で得られた8資材の窒素溶出曲線を示す。LP40, LP50, LP70, LP100はリニアタイプとして、LPS60, LPS100, LPS100はシグモイドタイプとして、それぞれ特徴ある溶出曲線が得られた。100日間培養時の最大溶出率は、LP40~LP70では約

90%が、その他のタイプは約80%であった。シグモイドタイプの溶出開始期はSタイプが約30日、SSタイプが約40日で立ち上がりが見られた。溶出開始期までにS, SSタイプでは2%以下の溶出であった。

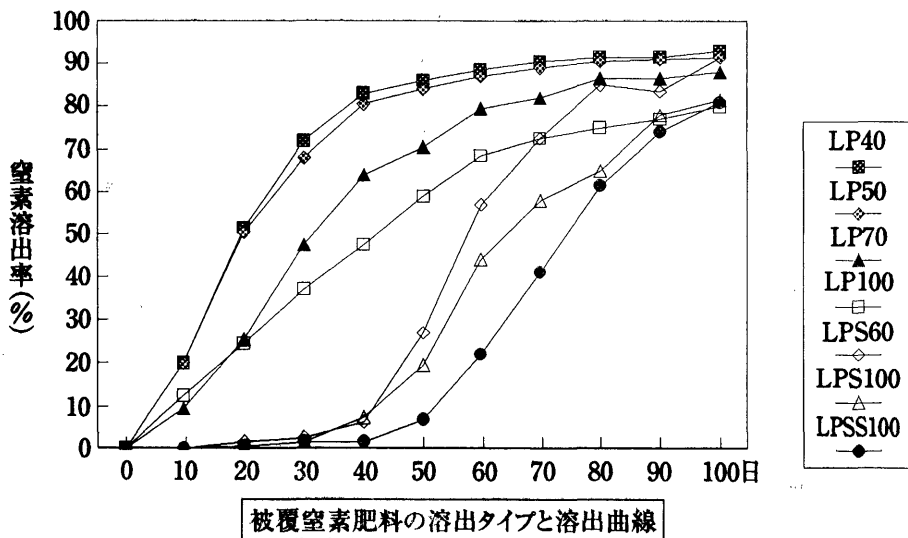
4) 作期・作型別の全量基肥施肥一資材の選択

従って、被覆尿素の単独または溶出タイプの異なる被覆尿素の組み合わせによって、従来の分施肥体系(基肥+追肥)に代わって、全量を基肥に施用することができる。例えば、グライ土は地力窒素を補完する資材として、移植時期と水稻の生育、養分吸収、収量性から判断してLP100が最適で

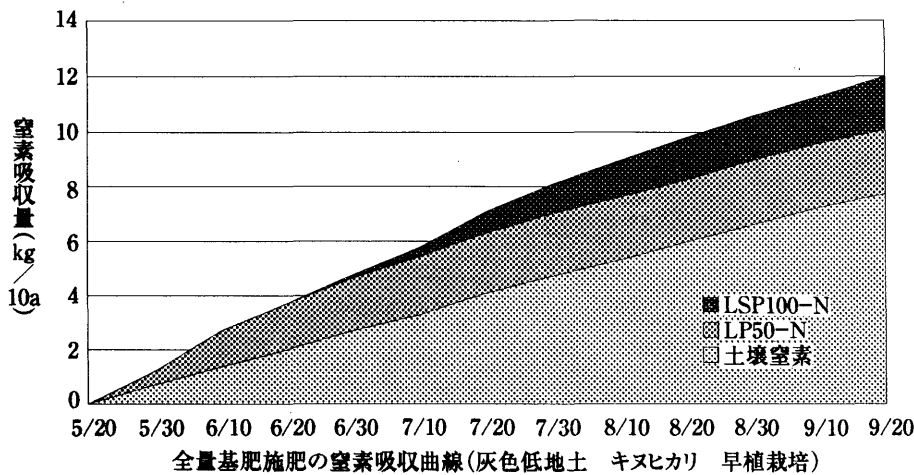
あった。一方、灰色低地土の早植栽培では土壤窒素発現量から判断して、肥料に依存する施肥体系(基肥+追肥)を必要とし、初期生育と有効茎歩合の確保をねらいとして、また穂肥の代替として、リニアタイプ(LP50)+シグモイドタイプ(LPS100)の配合肥料を選定した(第8図)。

作期、品種に適した被覆肥料を選択した場合には被覆肥料の窒素溶出の推移が水稻の窒素吸収に比較的よく一致する。しかし、LP50やLP100などのリニアタイプは水稻の生育中期以降も経時的に窒素が溶出するために、慣行施肥体系の葉色の推移に比べると、幼穂形成期直前の葉色の低下はみられず、同時期の葉色はやや高めに推移する。生育中期の窒素の過剰は収量不安定化の一因であるので、溶出のタイプ、窒素の施用量など適正な資材の選択と施肥量によって収量を安定的に高めることができる。

第7図 被覆肥料の溶出タイプと溶出曲線



第8図 全量基肥の窒素吸収曲線 (灰色低地土, キヌヒカリ, 早植栽培)



以上の結果から埼玉県^実の作期、作型に適用できる被覆肥料の種類を第1表にさらに、各地の実証試験圃場で得られる成績を第2表に示す。

以上の全量基肥は増収技術、品質向上技術をねらいとした施肥法ではなく、あくまでも施肥省力の技術である。しかし、全量基肥では安定して高い収量が得られ、また玄米窒素濃度から判断した品質および出荷等級も安定して高い評価が得られている。さらに、施肥窒素の利用率が高まることから、慣行施肥量の1～3割程度を減肥しても、高位に安定した収量が得られる。従って、省力・安定多収・環境保全型施肥技術として高く評価できる。

<全量基肥施肥の効果その3>

収量性の安定・向上

収量指数：99～112 (平均103)
平均収量：530kg/10a
各地の実証圃 平成5～8年から

埼玉県では全量基肥の平均収量指数は103%である。また、平成5年の冷害年では対照区比111%の収量指数が得られた。これらの試験成果はこれまで慣行的に行われてきた基肥一追肥体系に比べて何ら遜色ない収量が得られることを示している。これも肥効調節型肥料(被覆窒素肥料)の溶出コントロールの精度が高まったことによるが、

第1表 作期・栽培法の全量基肥に適用できる被覆窒素配合肥料

作期・栽培法	土壌	品種	被覆肥料	窒素削減率	備考
早植栽培 ^実	グライ土	キヌヒカリ,他	LP100配合	10～20%	コシヒカリ除く
	灰色低地土	キヌヒカリ,他	LP50+LPS100配合	10～20%	コシヒカリ除く
普通栽培	灰色低地土	キヌヒカリ,他	LP50配合	20～30%	小麦後
乾田直播	灰色低地土	あかね空	LP40+LPS100配合	20%	5月中旬
湛水直播	灰色低地土	彩の華	LP50配合	20～30%	小麦後

第2表 埼玉県の各地で実証された全量基肥試験の成果

作型	年月日	品種	N減肥率 (対照区Nkg/10a)	供試肥料	収量指数 (対照区収量kg/10a)	試験地 土壌	試験地
早期栽培	H7・5/4	コシヒカリ	0(5.6)	LP40+LPSS100	101(491)	グライ土	浦和市
	H7・5/4	コシヒカリ	24(4.2)	LP40+LPSS100	103(470)	泥炭土	大宮市
	H7・5/7	コシヒカリ	9(6.9)	LP40+LPSS100	106(512)	グライ土	浦和市
早植栽培	H8・5/10	キヌヒカリ	21(5.3)	LP50+LPS100	103(473)	灰色低地土	大宮市
	H8・5/15	キヌヒカリ	29(8.4)	LP50+LPS100	108(525)	灰色低地土	富士見市
	H8・5/22	キヌヒカリ	26(7.6)	LP100	103(571)	グライ土	富士見市
	H6・5/23	キヌヒカリ	20(8.0)	LP50+LPS100	100(594)	灰色低地土	農 試
普通栽培	H6・6/4	ゆめみのり	0(11.3)	LP50	99(558)	灰色低地土	川島町
	H6・6/6	キヌヒカリ	0(7.8)	LP50	99(558)	灰色低地土	川島町
	H5・6/23	キヌヒカリ	20(8.0)	LP50	111(415)	灰色低地土	農 試
	H6・6/23	キヌヒカリ	20(8.0)	LP50	112(534)	灰色低地土	農 試
	H7・6/23	キヌヒカリ	20(8.0)	LP50	104(523)	灰色低地土	農 試
	H8・6/22	キヌヒカリ	20(8.0)	LP50	101(536)	灰色低地土	農 試

研究機関等で得られた地域・品種にあった被覆窒素肥料の選択と配合についての成果もまた生育・収量の安定化に貢献している。従って、省力施肥が可能となり農作業上のメリットは大きい。夏の暑い日の作業を軽減（労働力・時間の削減）できる他、追肥数日前からの精神的な負担（肥料の準備、施肥量配分・計画、葉色診断による追肥時期の判断、天気の心配）からの解放である。特に、全量施肥技術は施肥管理の行き届かない農家、労力的に余裕のない農家に最適な技術である。また、慣行の追肥体系による施肥作業が事実上は困難な大区画水田に導入が望まれる。

このように、肥効調節型肥料は施肥技術が長年の目標としてきた肥料成分の飛躍的な利用率向上を実現したのみならず、これによって施肥量を削減でき、河川の富栄養化防止、地下水の硝酸汚染防止対策など環境保全型農業の要として普及が期待されている。研究機関では農業従事者の高齢化が進む中、他の作物についても環境保全と省力化を目指した体系化について技術開発が求められて

<全量基肥施肥の効果その4>

炎天下の追肥作業の省力

労力的に余裕のない農家に最適

<全量基肥施肥の効果その5>

環境と調和した農業技術

施肥については
環境保全型農業技術指針の達成
(埼玉県)

いる。

民間では、肥料に農薬や植物成長調整剤微生物資材入り肥料などの様々な機能を持った高付加価値肥料の開発が進められている。これら資材を活用した新たな農法は規模拡大を図る稲作農家にとって、また兼業農家や高齢化の進む稲作農家にとって、省力効果のみならず低コスト、収量、品質の向上が期待され生産性の高い農法である。そして、環境への負荷の少ない施肥農業の確立にも、省力・機能性資材を活用した新農法に期待することが大きい。これらの資材を使った農法を「省力・機能性資材活用型先進的農法」と命名した。愛称を「E農法」とし、技術の普及を図っている。Eは Easy (楽), Elimination (省力), Environment (環境), Economical (経済的), Effect (効果, ききめ), Expectation (期待), いい (良い) を意味している。埼玉県経済連は環境にやさしい肥料・資材を活用した農法をJ A・E農法として推奨し、資材の普及推進を図っている。