

水稲に対する肥効調節型肥料の施用効果

九州農業試験場

総合研究第1チーム長

脇 本 賢 三

1. はじめに

水稲の施肥に関してはこれまで多くの試験例があり、養分の中でも水稲の生育及び収量を最も左右する窒素の施肥法については、速効性窒素肥料を供試したきめ細かい施肥技術（分施肥）が確立されている。

近年、労働力の減少や低コスト化のための規模拡大に対応するために施肥労力の省力化が強く求められており、その有力な方法の一つとして肥効調節型肥料を用いた省力施肥法の研究が盛んに行われている。本肥料の利点を挙げると、水稲の生育、養分吸収に合わせた肥効発現が得られるため、肥効率の向上が図られ、効率的施肥が可能である。その上、速効性窒素肥料と違い施用後窒素が流亡等により損失することが少ないことから、環境への養分負荷の影響が小さい。

このように、施肥効率向上による施肥量の節減とそれに伴う環境への養分負荷低減技術の開発は、環境問題への関心が高まる中で極めて重要な課題となっている。

しかし、本肥料は窒素溶出が地温に依存しているため、選択を誤ったり、気象条件が大きく変動

するような場合には、水稲の生育や養分吸収が合わず、かえって収量・品質の低下を招いたり、また環境への養分負荷が増大したりする危険性も含んでいる。肥効特性を良く理解した上で本肥料を活用すれば、従来の速効性窒素肥料では実現できなかった画期的な施肥技術の開発も可能となる。

ここでは、まず移植栽培における本肥料の施用事例、次いで、近年省力栽培技術として再浮上してきた直播栽培における施用例を紹介し、これらの事例の中から本肥料の利用法と今後の課題について述べてみたい。

2. 肥効調節型肥料の施用効果

1) 移植水稲に対する被覆尿素施用の影響

表1は移植水稲に対し従来の速効性窒素肥料の分施肥に比べ被覆尿素の全量基肥施肥法が収量及び収量構成要素等に与える影響を調べた結果である。ここでは被覆肥料の特性を最も効果的に活用する方法として全量基肥施肥法を取り上げた。

試験は被覆尿素（シグモイド型100日タイプ）と硫安の混合割合を変えて行ったものである。気象条件が年度により大きく異なり、収量の年次変動も大きかったが、ここでは便宜的に3年平均で

本 号 の 内 容

§ 水稲に対する肥効調節型肥料の施用効果	1
----------------------	---

九州農業試験場

総合研究第1チーム長

脇 本 賢 三

§ 浸透性水田における窒素の動態について	6
----------------------	---

—環境負荷低減を目指して—

富山県農業技術センター

農業試験場 土壌肥料課

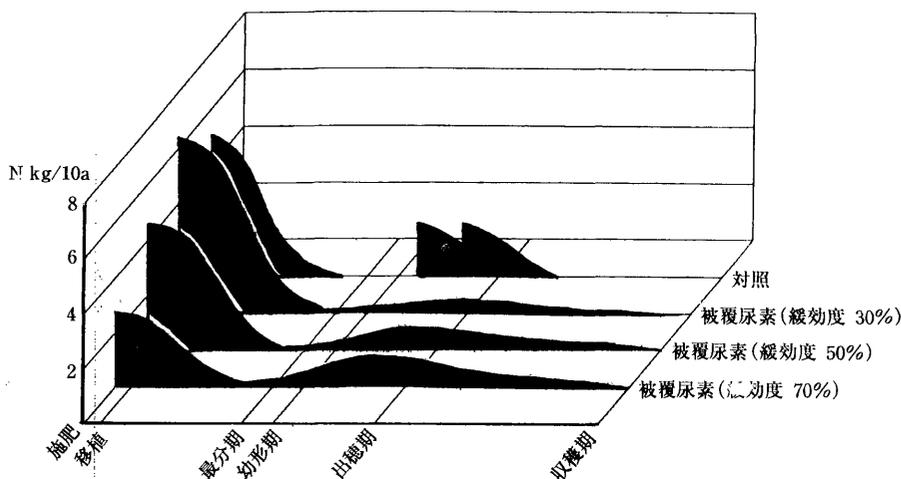
統括研究員 田 村 有希博

表 1 被覆尿素と速効性窒素の混合割合の違いが収量に及ぼす影響 (移植)

試験区	年度	玄米重 kg/10a	総粒数 x10 ⁵ /m ²	穂数 本/m ²	登熟 歩合 %	玄米窒素 含有率 %
無窒素	平成6年	576	28.1	291	91.5	1.22
	7年	341	21.3	251	75.1	1.16
	8年	415	22.1	244	88.8	1.20
	平均	444	23.8	262	85.1	1.19
速効性窒素	平成6年	717	34.2	369	92.1	1.36
	7年	627	32.2	366	85.4	1.32
	8年	609	30.1	342	90.6	1.29
	平均	651	32.2	359	89.4	1.32
被覆尿素複合 (緩効度 30%)	平成6年	721	35.9	424	90.8	1.32
	7年	621	35.2	460	80.1	1.35
	8年	595	31.8	349	87.3	1.27
	平均	646	34.3	411	86.1	1.31
被覆尿素複合 (緩効度 50%)	平成6年	797	39.3	448	91.1	1.38
	7年	625	36.4	431	77.7	1.45
	8年	621	33.1	369	87.1	1.33
	平均	681	36.3	416	85.3	1.39
被覆尿素複合 (緩効度 70%)	平成6年	739	38.1	417	89.5	1.38
	7年	646	33.4	420	85.6	1.38
	8年	652	34.1	357	90.1	1.36
	平均	679	35.2	398	88.4	1.37

注 1) 土壌: 淡色黒ボク土, 2) 品種: ヒノヒカリ, 3) 栽植密度: 15cm×30cm, 4) 苗質: 中苗, 5) 被覆尿素的種類: シグモイド型100日タイプ, 6) 窒素施用量: 9kg/10a, 7) 窒素の施肥法: 対照区は速効性窒素肥料(硫安)を分施(基肥+穂肥Ⅰ+穂肥Ⅱ, 5-2-2), 被覆尿素複合区はいずれも全量を基肥として全面全層施用

図 1 全量基肥栽培の施肥N溶出イメージ



みた場合の混合肥料の効果を解析することにする。

玄米重は速効性窒素分施肥区に比べ被覆尿素複合(緩効度30%)区では同等, 緩効度50%と70%ではいずれも約105%となり, 緩効度が大きい方が増収となった。収量構成要素の中で穂数は被覆尿素複合の緩効度で大きな違いはなかったが, 被覆尿素複合区は速効性窒素分施肥区より10~15%増加した。穂数の増加は総粒数の増加につながり, その結果増収となった。

本試験では被覆尿素区の窒素施用量を硫安分施と同量の9kg/10aに設定した。被覆尿素施用の場合は窒素の吸収率が速効性窒素肥料施用より高いため, 減肥してもほぼ同等の収量が得られるが, ここではあえて硫安分施と同等施用とし, 収量性を比較した。その結果被覆尿素の増収効果が判然と見られたものと考えられる。

参考のため本試験で行った施肥窒素の溶出イメージを図1に示した。シグモイド型被覆尿素的窒素溶出は施用後約45日頃までは溶出が抑制され, 最高分けつ期頃から溶出が始まり, その後急激に溶出率が高まる。この時期はちょうど硫安分施肥区の場合の穂肥施用時期に当たっている。

以上のように, 被覆尿素を供試すれば一般に有効茎歩合が高まり, 穂数が確保しやすい。従って, 倒伏しにくい品種では被覆尿素的の供試で収量向上が期待できる。有機物を圃場に還元して地力増強を図ることが少なくなった現在, 地力窒素と類似の窒素供給パターン

で窒素を供与できる緩効性窒素肥料の施用意義は大きいものと思われる。

しかし、一方において、近年、消費者の好みが良い食味米指向となっており、収量向上より良食味米生産への要求が高まっている。飯米の食味は米の窒素含有率（たん白質含有率）に左右される部分が大きく、窒素含有率の低い米を生産するために、従来の施肥法の見直しが現場では行われ始めている。

被覆尿素的窒素肥効は緩効的であり、しかも種々の溶出型のものを作出できるため、その特性を最大限に利用して、全量基肥施肥という超省力施肥法が確立されている。しかし、緩効性窒素肥料は、窒素肥効が持続的であることから、生育後期にまで窒素が吸収されやすく、そのため玄米窒素含有率が高まりやすい。食味を向上させる上では、この窒素の持続性が米の食味低下要因にもなる。

表1の結果は被覆尿素的の混合割合が収量及び玄米窒素含有率に及ぼす影響を示しており、生産者の目的に応じて被覆尿素的の緩効度の選択が必要と思われる。すなわち、良食味米生産を指向すれば緩効度が30%程度のものがよく、増収を期待する場合は50~70%に設定するとよい。

表2は有機物連用条件下における被覆尿素的の施用例である。本圃場は稲麦作付け体系で管理した有機物長期連用水田であり、平成8年度で稲わら堆肥（以下堆肥と略す）を約30年連用したことになる。無窒素の収量レベルをみてもわかるように、地力の高い土壤条件である。被覆尿素的複合（窒素溶出がシグモイド型、緩効度50%）施用が収量に及ぼす影響をみると、有機物無施用条件では硫安分施肥区に比べ被覆尿素的複合区が増収となり、増収割合は窒素施用量が少ない場合及び低収年の場合で高い傾向がみられた。一方、堆肥連用条件では硫安分施肥区に比べ被覆尿素的複合区が増

収効果はほとんど認められなかった。従って、地力の高い土壤条件で被覆尿素的を施用する意義は主として施肥量や施肥回数の節減に限定され、収量増はあまり期待できないものと思われる。

これまで述べてきた試験では、被覆尿素的の施用方法を全面全層施用法とした。しかし、より効率的な窒素施用方式としては局所施用が考えられる。側条施肥はその一例である。水稻の初期生育確保や水質汚染防止に効果を発揮した。また、寒地で注目されているシグモイド型被覆尿素的を用いた育苗箱全量施肥法（育苗及び本田で必要な窒素

表 2 有機物施用条件下における被覆尿素的の収量に及ぼす影響（移植）

土壤条件	試験区	N施用量	平成7年度		平成8年度	
			玄米重 kg/10a	指数 %	玄米重 kg/10a	指数 %
有機物 無施用	無窒素	0	323	58	436	74
	硫安分施肥	7kg	483	86	530	90
	硫安分施肥	9kg	560	(100)	591	(100)
	被覆尿素的複合	7kg	575	103	577	98
	被覆尿素的複合	9kg	592	106	633	107
堆肥 2t	無窒素	0	467	83	473	80
	硫安分施肥	7kg	584	104	652	110
	硫安分施肥	9kg	586	105	677	115
	被覆尿素的複合	7kg	593	106	642	109
	被覆尿素的複合	9kg	584	104	653	110

注 1) 土壤:細粒灰色低地土, 2) 品種:ヒノヒカリ, 3) 栽植密度:15cm×30cm, 4) 苗質:中苗, 5) 被覆尿素的の種類:シグモイド型100日タイプ,被覆尿素的複合の緩効度は50%, 6) 窒素施用量:7kg/10a, 9kg/10a, 7) 窒素の施肥法:硫安分施肥区は基肥+穂肥Ⅰ+穂肥Ⅱ(3-2-2及び5-2-2),被覆尿素的複合区はいずれも全量を基肥として全面全層施用, 8) 堆肥連用年数:31年, 9) 作付け体系:稲-小麦,有機物無施用区は稲わら及び麦わらのいずれも持ち出し

総量をすべて育苗箱に施用し、移植作業と同時に肥料を本田に持ち込む方式）は施肥の省力化、窒素吸収効率の向上、初期生育促進などの点からみて寒地に見合った効果の高い技術と考えられる。

この育苗箱全量施肥法の参考事例として、筆者が暖地の普通期水稻（中苗移植）に対して行った

試験結果（データ省略）を紹介する。

中苗育苗の場合は比較的地温が高い時期であり、また育苗日数（約35日）が長いため、被覆尿素からわずかに溶出する窒素が苗に吸収され、移植時期には窒素含有率の高い、草丈の大きい苗となった。このような苗は通常の苗に比べ軟弱で、気象変動の影響を受けやすい等、生産が不安定となりやすい。暖地に本技術を定着させるためには、コーティング肥料からの初期の窒素溶出をできるだけ抑制できる被覆技術の開発等、安定育苗のための技術開発が必要である。

しかし、ここでは試験的にこのような苗を移植した場合の生育に与える影響をみると、代かき及び無代かきのいずれの土壌条件でも初期から生育が旺盛で、被覆尿素を本圃に全面全層施用したものと比べ収量性にはほとんど違いがなかった。特に不耕起移植栽培においては、減水深が大きく、硫安等速効性窒素肥料の表面施用では窒素の肥効が上がり難いため、施肥苗移植の効果は大きい。

以上のように、移植水稻に対して肥効調節型肥料を活用すれば、気象条件にあまり左右されず一般に穂数の確保が容易であり、その結果安定栽培ができる。また窒素吸収効率が高いため施肥量を節減することができる。窒素の緩効的溶出を利用して根の近くに施用しても濃度障害を受け難いため、側条あるいは直下施用が可能であり、窒素の吸収効率が高まる。また環境への窒素の流亡や損失が少なく、環境保全の面でも望ましい管理ができること等、利用価値の高い肥料である。

2) 湛水土中直播水稻に対する被覆尿素施用の影響

稲作経営の担い手が高齢化するとともに、後継者不足を生じており、またウルグアイラウンド農業合意を受けた国際化対応として一層の低コスト化が要請されている状況下で、我が国の稲作を推進させるためには、省力技術による大規模経営を指向せざるをえなくなっている。

現在我が国の水稻栽培技術の中では移植方式が主流であり、省力栽培が可能な直播技術の利用は、これまで一部の農家あるいは一部の地域に限られていた。このことは、移植方式が安定生産に最も適した技術であることを物語るものである。

しかし、大規模経営を行うためには移植方式には限界があり、十分な対応を仕切れないとの判断から大幅な省力化が可能な直播技術が再び注目を集め、本技術を積極的に普及させる機運が高まっているのが現状である。直播の中でも湛水直播は、移植栽培の行えるところであれば技術導入でできることから適用範囲が広く、本方式の栽培技術が積極的に検討されているところである。ここでは、湛水直播の中でも耐倒伏性の大きい湛水土中直播に対する被覆尿素の施用事例を紹介する。

表3は良食味品種「ヒノヒカリ」を供試した結果である。肥料は窒素溶出がシグモイド型・100日タイプの被覆尿素窒素を50%及び70%含有（残りは速効性窒素）した複合肥料を供試した。肥料は代かき時に全量を全面全層施用した。

試験実施年は好天に恵まれ、速効性窒素分施区の収量が約700kg/10aと極めて収量レベルの高い年であった。玄米重は速効性窒素分施区と被覆尿素複合区がほぼ同等であった。収量構成要素をみると、移植は被覆尿素複合区が速効性窒素分施区より多く、これまで述べてきた移植及び乾田直播の場合と同様の傾向であった。また、窒素吸収量は緩効度70%の被覆尿素複合区が最も多く、施肥窒素の吸収効率は70%と最も高かった。

表 3 水稻の収量に及ぼす被覆尿素の影響（湛水土中直播）

試験区	玄米重 kg/10a	総籾数 x10 ⁴ /m ²	穂数 本/m ²	登熟 歩合 %	窒素 吸収量 kg/10a	施肥窒素の 吸収効率 %
無窒素	533	26.0	337	92.3	7.78	-
速効性窒素分施	708	36.9	473	84.6	12.78	50.0
被覆尿素複合(緩効度 50%)	728	38.2	513	86.1	12.98	52.0
被覆尿素複合(緩効度 70%)	707	37.1	486	86.5	14.79	70.1

注 1) 土壌:細粒灰色低地土, 2) 品種:ヒノヒカリ, 3) 播種密度:15cm×30cm, 点播, 4) 窒素施肥:速効性窒素の場合は3葉期, 出穂20日前, 出穂10日前に追肥, 5+2+2(合計 N9kg/10a), 被覆尿素の場合はシグモイド型・100日タイプ(緩効度50%及び70%)の肥料を全量基肥として施用(N9kg/10a)

湛水土中直播で供試した被覆尿素複合は移植栽培で用いたものと同じタイプであり、栽培様式の違う直播にもほぼそのまま適用できそうなことが窺われる。本試験は播種後の水管理を湛水としたため、基肥に施用した被覆尿素複合中の速効性窒素が流亡等により損失することはほとんどないと思われる。しかし、最近、湛水土中直播では播種後の落水が出芽率向上に有効なことがわかり、そのため播種後約1週間くらい落水管理とする。落水で土壌にかなりの亀裂が生じ、入水後は透水性が大きく、このような条件では代かき時に施用した速効性窒素は流亡等による損失の恐れも出てくる。このような場合は、全量基肥方式として施用する肥料は、混合する速効性窒素の割合を少なくし、一部をリニア型の被覆尿素で置き換える等、栽培条件に対応した肥料形態の工夫が必要になるものと思われる。

3. 利用法と今後の課題

肥効調節型肥料は従来の速効性肥料と違い肥効発現型を自在に選択できること、また緩効的な肥効発現であることを利用して、施肥労力の省力化、肥料成分の効率的吸収、濃度障害の軽減等の面の他に、環境への養分負荷量が少ないことか

ら、環境保全的施肥技術を確立する上で有力な手段となる。

水稻栽培においては、移植、直播をとわず、基肥重点あるいは全量基肥施肥法により大幅な省力化が可能となり、また施肥量の節減や収量向上も達成しやすい。

しかし、窒素の肥効が生育後期まで継続する機会が多いため、成熟期の玄米窒素含有率が高まり、食味低下の起こることが懸念される。食味を高く維持する手段として、①窒素溶出が比較的早いタイプの肥料を供試する、②緩効性窒素の混合割合を下げる、③窒素施用量は吸収効率を考慮して減肥する等が考えられる。水稻の窒素要求及び収量・品質を考慮した各種タイプのブレンド方式が今後さらに検討される必要がある。

肥効調節型肥料の今後の課題としては、肥料価格の引き下げ、温度依存性（温度変化に伴う成分溶出の影響度）の低下、被覆資材の土壌中での可分解性、農薬入り肥料等の開発が挙げられる。これらの中にはすでに研究がかなり進んでいるものもある。今後はさらに高機能性を有する肥料の開発が望まれる。

お詫びと訂正

8月号掲載の「イチゴの本圃の省力栽培」で誤植がありました。執筆者並びに読者各位に深くお詫び致しますとともに、下記のとおり謹んで訂正致します。

誤

(11頁20行目)

表 4 作業疲労度の比較 (1955: 静岡農試)

正

表 4 作業疲労度の比較 (1995: 静岡農試)