

緩効性肥料を利用した水稻の全量基肥栽培法

手塚 俊 介

I 緒 言

本県は約140,000haの耕地面積を有し、その中で水田面積は70%を超え水田化率が高い。一戸当たりの耕地面積は1.56haと全国平均を大きく上回り、経営の大規模化が進んでいる。土地利用型農業については、水稻栽培を中心としてさらに生産性を高める目的で栃木県ライスプラン¹³⁾などが打ち出され、個々の農家あるいは集団での経営規模拡大および水田の大区画化が推進されており、そのためには低コスト技術の確立が望まれている¹²⁾。

一方では生産者の兼業化と高齢化が進み、また果樹や野菜部門との複合経営農家にとっては季節的な労働集中などから、水稻の適期追肥等の栽培管理が適切に行われず、減収する場面も見受けられ、合理的な省力栽培への期待が高まっている。

そうした背景を踏まえて本県では植木¹⁵⁾が緩効性肥料の効率的利用について報告し、施肥回数削減と施肥窒素量の節減の可能性を示唆した。さらに山口²⁰⁾は被覆尿素を利用した穂肥専用肥料の開発に取り組み、一回の追肥で慣行の二回追肥と同等の収量および品質が得られる「一発穂肥」を提案し、普及するに至った。

今日、緩効性肥料は開発が進み、溶出パター

ンと溶出期間の異なる様々な肥料が商品化されつつある。これらを利用して水稻の養分吸収パターンに応じた養分供給ができれば、全量基肥施肥栽培法（以下、全量基肥と略す）は可能と考えられ、追肥作業を省略できるばかりでなく、緩効性肥料のもつ優れた肥料機能により環境への負荷軽減にも配慮した施肥法として注目されている。

そこで筆者は、本県黒ボク土地帯における良食味米の安定生産と省力栽培を目的に、緩効性肥料を利用した全量基肥について検討した。その結果、水稻の生育および収量性の高位安定が維持できる省力施肥法を確立し、水稻の適正な窒素吸収パターンに応じた窒素の供給と吸収に關して知見が得られたので報告する。

II 全量基肥に用いる緩効性肥料の種類検討

1. 目 的

窒素溶出特性が異なる緩効性肥料について、それぞれが水稻の生育、収量および窒素吸収経過に及ぼす影響を明らかにする。

2. 試験方法

試験は1991~1993年の3ヶ年間に栃木農試水田圃場で行った。土壌条件は厚層多腐植質多湿黒ボク土（猪倉統）であり、その化学性を第1

第1表 供試土壌（作土層）の化学性

pH		T-C	T-N	CEC	交換性塩基 mg/100g			Truog-P ₂ O ₅	リン酸
H ₂ O	KCl	%	%	me/100g	CaO	MgO	K ₂ O	mg/100g	吸収係数
6.2	5.4	9.46	0.60	41.1	559	97	11	4.3	2380

第2表 供試緩効性肥料の特性

肥料銘柄名	溶出期間	成分	構造	備考（被覆材，原料など）
LP100号	100日	N：40%	被覆尿素	ポリオレフィン系樹脂（熱可塑性）
LP S100号	100日	N：40%	被覆尿素	ポリオレフィン系樹脂（熱可塑性） 10%溶出到達期間30日
LP S S100号	100日	N：40%	被覆尿素	ポリオレフィン系樹脂（熱可塑性） 10%溶出到達期間45日
セラコートU-L	120日	N：36%	被覆尿素	植物油系アルキッド樹脂（熱硬化性）
スーパーIB	100日程度 (90%無機化)	N：32%	化学合成緩効性 肥料の混合造粒	イソブチルアルデヒド縮合尿素， ホルムアルデヒド加工尿素肥料

注1．溶出期間は25℃水中で窒素の80%が溶出する期間

2．成分は保証成分量

表に記した．供試した緩効性肥料はそれぞれ溶出特性が異なるタイプであり，その特性は第2表に示したとおりである．すなわち，窒素の溶出が施肥直後から始まるリニアタイプとしてLP100号とスーパーIB，施肥後のある一定期間は溶出が抑えられるシグモイドタイプとしてLP S100号，LP S S100号およびセラコートU-Lを供試した．

1) 緩効性肥料の溶出特性

リニアタイプのLP100号とシグモイドタイプのLP S100号およびLP S S100号の3タイプを供試し，圃場埋設法により残存窒素量を測定して溶出経過を調査した．その方法は各肥料2.0gを2.38mmの篩に通した埋設圃場の生土約50gと混和して寒冷紗に包み，水田圃場の作土層（5～10cm深）に埋設し，約10日間隔で抜き取り，肥料と土を分離後ケルダール法により全窒素を定量した．埋設期間は1992，1993年とも5月12日から約150日間とした．

2) 水稻の生育収量と窒素吸収

対照区の施肥窒素量は基肥0.4kg/a（以下，施肥量は成分量で示す）と出穂前18日の追肥に0.2kg/a，穂揃い期追肥に0.2kg/aの計0.8kg/

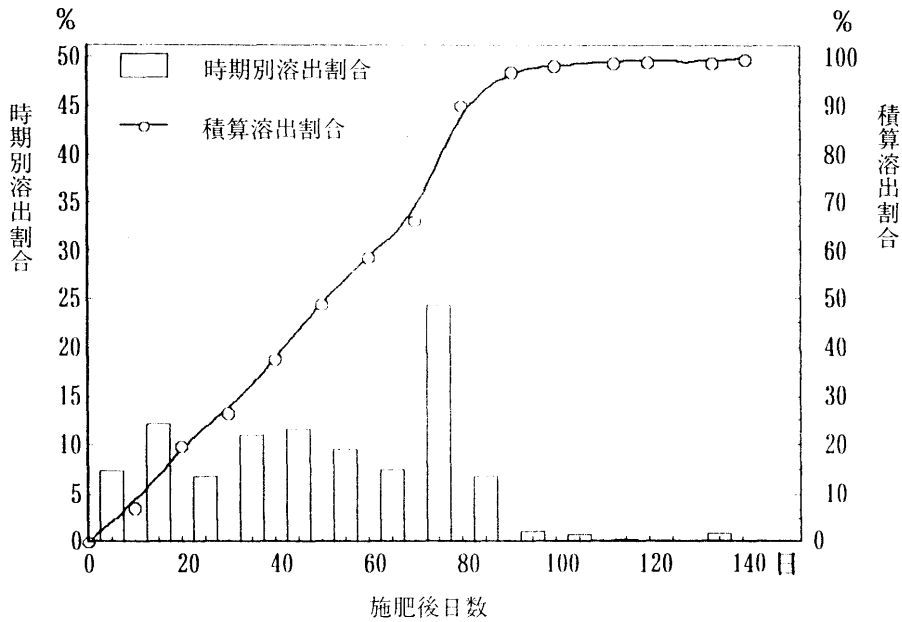
aを塩安で施用した．全量基肥区は第2表に示した各緩効性肥料0.6kg/aに，速効性窒素として塩安で0.2kg/aの窒素を粒状配合して植代時に全面施用し，追肥は行わなかった．ただし，LP S S100号施用区は肥料の特異性を考慮して1992年に「塩安+LP S S100号=0.4+0.3kg/a」へ変更したが，それでも有用性に乏しいと判断し，1993年は試験を中止した．

各試験区ともリン酸はようりんで1.5kg/a，カリウムは塩化加里で1.0kg/a施用した．肥料以外は同一の栽培条件とし，品種はコシヒカリを供試し，一株4本を稚苗手植えした．栽培型は5月上旬に移植する早期早植体系である．試験区は1区あたり36m²の2反復で，栽植密度は

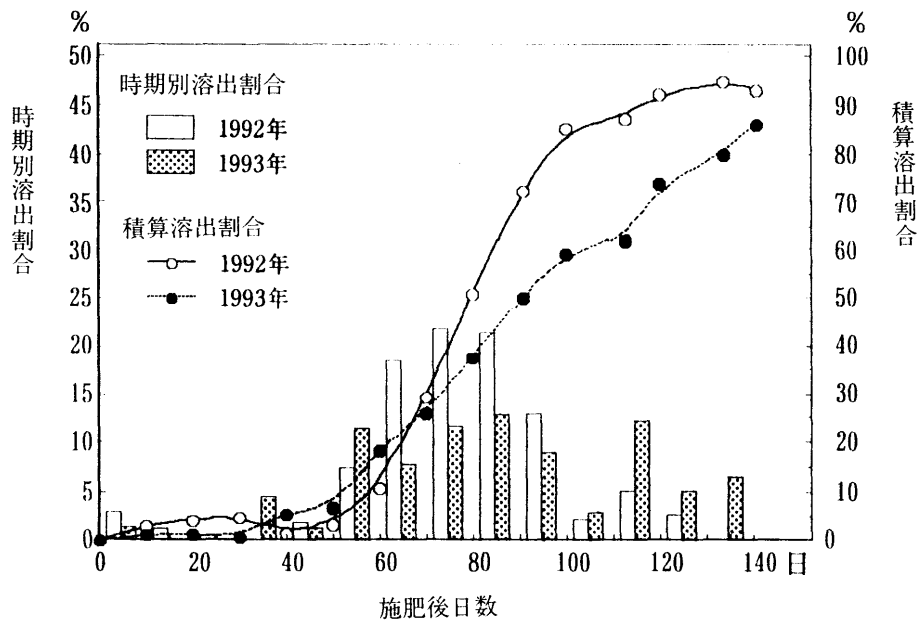
第3表 水稻の年次別生育ステージ

生育ステージ	1991年	1992年	1993年
施肥・植代	5月6日	5月4日	5月4日
移植期	5月9日	5月7日	5月7日
最高分けつ期	6月27日	7月2日	7月5日
穂肥期	7月15日	7月23日	7月22日
出穂期	7月31日	8月10日	8月16日
穂揃い期追肥	8月1日	8月10日	8月17日
成熟期	9月13日	9月23日	10月15日

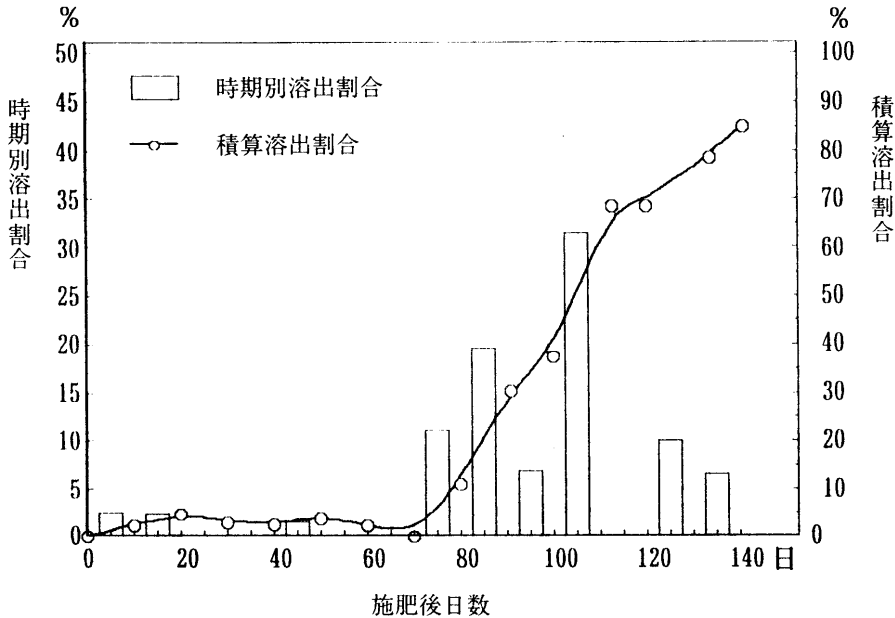
緩効性肥料を利用した水稻の全量基肥栽培法



第1図 LP100号からの窒素溶出特性(1992年)



第2図 LPS100号からの窒素溶出特性および年次変動



第3図 L P S S 100号からの窒素溶出特性 (1992年)

22.2株/㎡とした。水管理は必要穂数が確保できるまでは常時湛水とし、その後は間断灌水を継続した。

生育調査は1区あたり20株を追跡調査し、移植後30日、移植後50日、最高分けつ期、出穂前30日、出穂前15日、出穂期および成熟期の各生育ステージごとに1区につき平均的な5株を抜き取り、乾物重測定および窒素吸収量測定に供した。

3. 結果および考察

試験は早期早植の条件下で行ったが、3ヶ年とも生育期間中の気象条件に違いがみられた。1991および1992年は気象経過は異なったものの作柄は良好であり、豊作年であった。1993年は冷害をとまう著しい凶作年となった。生育ステージの年次変動は第3表に示した。

1) 緩効性肥料の窒素溶出特性

被覆尿素肥料、L P 100号、L P S 100号およびL P S S 100号の窒素溶出特性を第1～3図に示した。L P 100号は施肥直後から窒素の溶

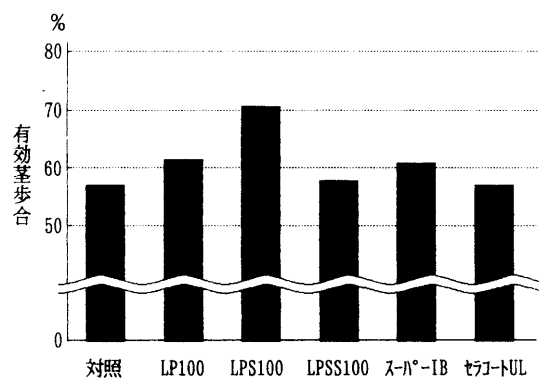
出が見られ、施肥後80日には溶出割合が約90%に達した。溶出速度は10日間に約10%の溶出割合で経過し、施肥後100～110日で溶出は完了した。L P S 100号は施肥後50日頃から溶出が始まり、その後の50日間で80%以上を溶出した後、溶出速度が緩慢となった。L P S S 100号は施肥後70日頃まで溶出が抑えられ、その後溶出したが溶出速度は期待されたほど速まらず、施肥後100日での溶出割合が40%、120日で70%、140日を経過してもなお溶出は継続した。

さらに、それぞれの溶出特性と第3表の水稻コシヒカリの生育ステージとの関係をみると以下のように推定できる。L P 100号は出穂期前に溶出が完了した。L P S 100号は最高分けつ期頃から溶出が始まり、出穂期の溶出割合は約80%で成熟期間中に溶出は完了した。L P S S 100号は幼穂形成期頃から溶出を開始し、出穂期の溶出割合が約40%に過ぎず成熟期に至っても溶出は継続した。

L P S 100号の窒素溶出特性は第2図に示し

緩効性肥料を利用した水稻の全量基肥栽培法

たとおりで、年次間差から肥料の温度依存性が認められ、1993年のような低温条件では溶出速度は遅くなり、それにともない溶出期間も長くなった。



第4図 緩効性肥料の種類と有効茎歩合の関係 (1991, 1992年平均)

2) 水稻の生育経過

生育調査結果を第4表に、また、その茎数の推移から有効茎歩合を算出し第4図に示した。

LP100号およびスーパーIB施用区は生育初期から旺盛な生育を示し、栽培期間を通して生育量は多かった。最高分けつ期の時点での茎数は他の処理区よりも多く、出穂期の茎数(推定穂数)は対照区より10~20%多くなった。LPSS100号施用区は対照区に較べ生育途中まで草丈が低く推移し、茎数も出穂期までは少なかった。しかし、有効茎歩合が高く、穂数は容易に確保できた。セラコートU-L施用区は対照区と同じかやや旺盛な生育経過であった。LPSS100号施用区は緩効性肥料利用区間中で唯一対照区に較べて劣る生育量であった。

全量基肥による各区の葉色の推移について対

第4表 生育調査結果 (1991, 1992年平均)

処 理	草 丈 cm				茎 数 本/㎡				葉 色 SPAD値				
	+30	MAX	△15	出穂	+30	MAX	△15	出穂	+30	MAX	△15	出穂	#25
対 照	33.2	61.1	79.3	98.4	380	625	497	388	40.7	33.4	28.9	31.1	34.4
LP 100	31.4	62.8	84.4	103.0	337	644	520	420	40.6	36.7	31.0	31.4	33.7
LPS 100	32.1	59.9	84.0	103.0	337	521	447	377	40.2	34.0	31.5	33.0	36.3
LPSS100	32.8	58.4	77.8	95.2	343	549	462	353	40.4	33.3	28.0	30.6	32.7
ス-ハ-IB	34.6	66.7	85.1	104.1	418	758	619	482	41.9	38.1	29.7	30.6	32.1
セラコートU-L	31.6	60.4	81.5	99.3	362	601	501	385	40.2	34.6	29.3	30.2	32.1

注1. +30: 移植後30日, MAX: 最高分けつ期, △15: 出穂前15日, #25: 出穂後25日

2. 葉色はミノルタ葉緑素計(SPAD-502)による測定値

第5表 成熟期の形態(1991~1993年平均)

処 理	稈長 cm	穂長 cm	倒伏 程度	葉身長 cm			節 間 長 cm					
				n	n-1	n-2	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅
対 照	82.6	18.3	1.0	27.4	37.1	41.6	33.6	20.0	15.0	10.2	3.9	0.1
LP 100	85.9	18.4	3.0	30.2	40.7	43.5	33.6	21.6	16.4	10.6	4.1	0.2
LPS 100	83.5	19.0	1.9	31.8	42.4	42.5	34.9	21.0	14.9	9.3	3.5	0.1
ス-ハ-IB	84.4	19.3	2.5	29.9	39.9	43.0	33.2	21.1	15.9	10.3	4.0	0.1
セラコートU-L	83.9	18.4	2.1	29.6	39.4	41.9	33.9	21.1	15.5	9.9	3.6	0.1

注. 倒伏程度: 0 (無) ~ 5 (甚), 葉身長: n=止葉長, 節間長: N₀ (穂首節間) ~ N₅ (第5節間)

照区と比較すると、L P 100号、スーパー I B およびセラコート U-L 施用区は生育前～中期は濃く推移し、出穂後から淡くなった。L P S 100号施用区は最高分けつ期頃から対照区より濃く転じ、その後も濃く推移した。L P S S 100号施用区では生育全期間とも淡く推移しており、緩効性窒素の肥効が葉色にも見られなかった。

以上の生育経過は第5表の成熟期の形態の違いにも影響した。全量基肥では全般に稈長が伸びやすく、それにとまって倒伏程度は大きくなる傾向であった。特に、L P 100号およびスーパー I B 施用区でその傾向が強く、下位節間長は他の処理区よりも長くなった。L P S 100

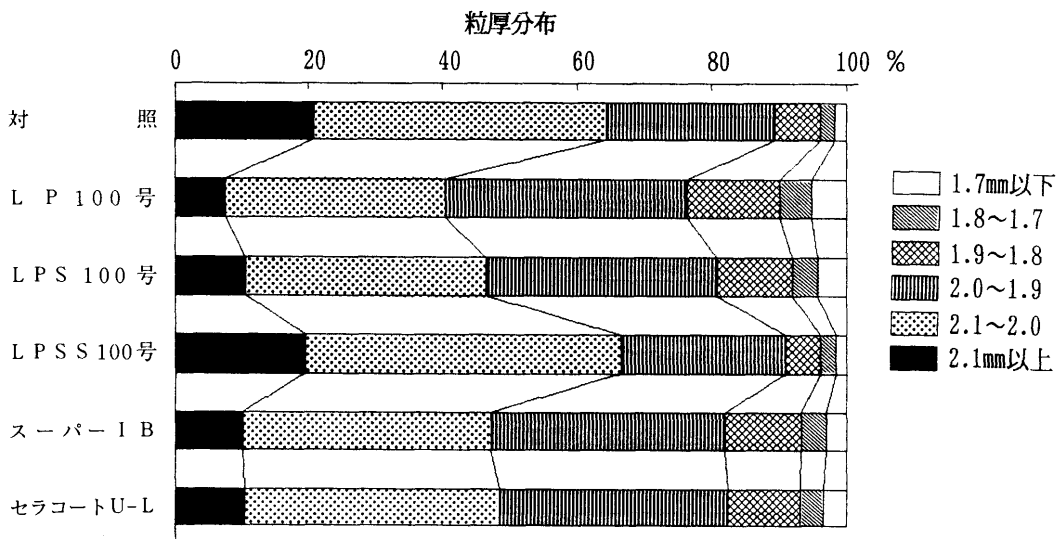
号施用区は生育中～後期の肥効が他の処理区よりも多いと考えられ、上位の節間長および葉身長が長くなった。

3) 水稻の収量性および玄米の品質

収量および収量構成要素を第6表に示した。L P S S 100号施用以外の全量基肥各区の収量は対照区よりも5%程度増収した。1991および1992年の2ヶ年平均ではL P S 100号施用区が61.7kg/aで最高収量を示し、以下、L P 100号、セラコート U-L、スーパー I B 施用区の順であったが、各資材間の統計的な差は認められなかった。全量基肥区の増収要因には、総粒数が増加したことがあげられ、その形態は二つのグループに大別できた。一つは穂数増加により総粒数を確保したもので、L P 100号およびスーパー I B 施用区である。これらは生育前半から旺盛な生育を示し、茎数の推移がやや過剰に経過し穂数は400～430本/m²で総粒数がやや過剰であった。もう一方は一穂粒数が増えることにより総粒数も増加するグループで、初期の窒素溶出が抑えられたL P S 100号およびセラコート U-L 施用区が本グループに類別される。穂

第6表 収量および収量構成要素
(1991, 1992年平均)

処 理	玄米重 kg/a	穂数 本/m ²	総粒数 ×100	登熟 歩合%	千粒重 g
対 照	57.5	361	287	92.3	21.9
LP 100	61.6	396	373	80.1	20.9
LPS 100	61.7	374	349	83.5	21.3
LPSS100	53.5	326	266	92.5	22.0
スーパーIB	60.5	432	333	87.0	21.1
セラコートU-L	61.1	365	341	85.7	21.2

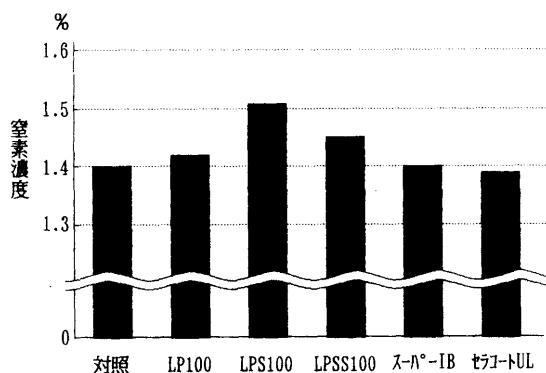


第5図 緩効性肥料の種類が玄米の粒厚分布に及ぼす影響(1991, 1992年平均)

緩効性肥料を利用した水稻の全量基肥栽培法

数は対照区と同じかやや多い程度であったが、総粒数は20%程度増加した。これらは緩効性窒素の溶出パターンの違いに起因するものと推察される。LPSS100号施用区は期待された緩効性窒素の肥効が十分に発現せず、穂数および粒数の減少により7%減収した。

以上のように総粒数増加の傾向は一方で玄米品質に少なからず影響を及ぼしている。過剰な粒数増加は千粒重および登熟歩合の低下をもたらし、しいなや屑米が多く発生する結果となった。全量基肥区の産米は検査等級が対照区と同等であったが、第5図に示したように粒厚分布は小粒化の傾向にあり、その傾向は特に、LP



第6図 緩効性肥料の種類と玄米中窒素濃度の関係 (1991, 1992年平均)

100号施用区で著しいことが明らかとなった。

また、食味との関連が指摘されている玄米中の窒素濃度は、第6図に示したとおり、スーパーIBおよびセラコートUL施用区で対照区とほぼ同等であった他は高まる傾向にあった。これらの施肥レベルでは食味低下が懸念されるので、施肥量および施肥窒素の配合割合についての検討が必要と考えられた。

4) 水稻の窒素吸収

第7表に示したとおり、LP100号、スーパーIBおよびセラコートUL施用区では生育期間を通じ窒素含有率が高く推移し、吸収量も多く推移した。ただし、セラコートUL施用区については成熟期の吸収量が1.11kg/aにとどまり、対照区を下回った。また、これらの区は最高分けつ期以前の吸収割合が多くなり、過剰生育に影響していると考えられる。LPSS100号施用区の吸収量は幼穂形成期頃まで比較的少なく推移したが、出穂15日前(穂肥追肥時期)頃から多く転じ、成熟期の吸収量は1.30kg/aに達した。その吸収経過をみると、最高分けつ期から出穂期にかけての吸収割合が特に多かった。

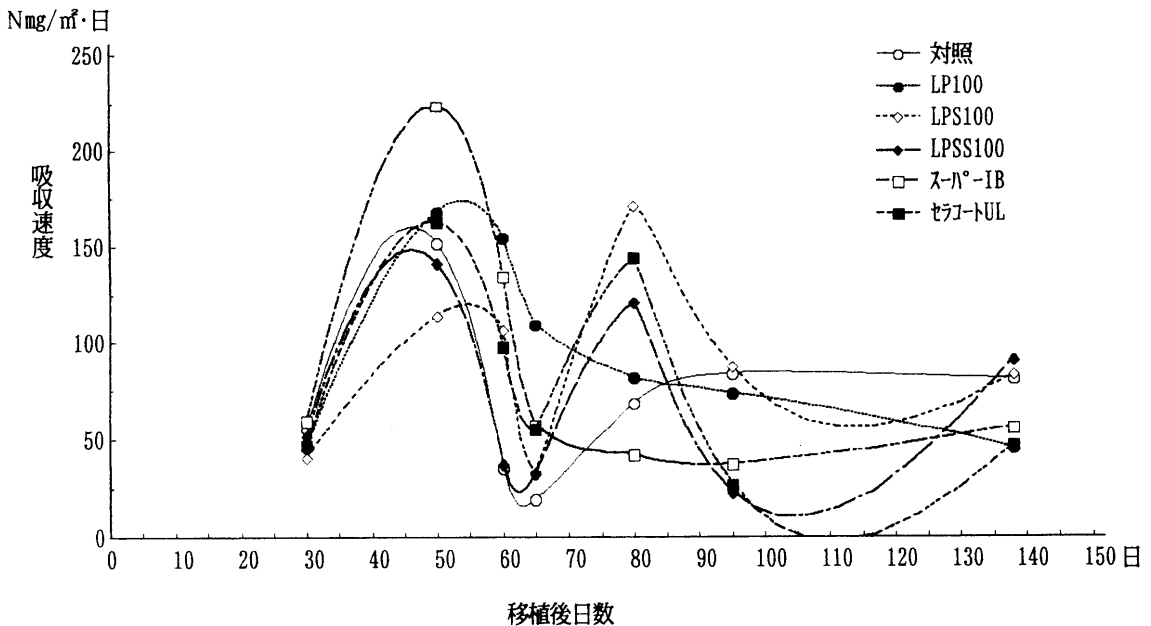
LPSS100号施用区の場合は肥効発現が遅れたと推察され、最高分けつ期から出穂期にか

第7表 水稻の窒素吸収経過 (1991~1993年平均, kg/a)

処 理	生育ステージ						成熟
	+30	+50	MAX	△30	△15	出穂	
無窒素	0.07	0.26	0.28	0.30	0.43	0.55	0.79
対 照	0.17	0.48	0.51	0.53	0.63	0.80	1.17
LP 100	0.14	0.48	0.63	0.74	0.87	1.02	1.22
LPS 100	0.12	0.35	0.46	0.50	0.75	0.93	1.30
LPSS100	0.16	0.44	0.48	0.51	0.69	0.74	1.15
スーパ-IB	0.18	0.63	0.77	0.82	0.89	0.96	1.22
セラコートU-L	0.14	0.47	0.57	0.62	0.84	0.90	1.11

注1. +: 移植後日数, MAX: 最高分けつ期, △: 出穂前日数

2. LPSS100区だけは1991, 1992年2ヶ年の平均値



第7図 窒素の吸収速度の推移 (1991～1993年平均)

けて増加した吸収量は、無窒素区のそれとほぼ同量であり、その期間にはL P S S 100号からの窒素溶出がほとんど無かったものと考えられる。出穂期から成熟期までの増加割合は大きくなったものの、それでも全窒素吸収量は対照区より少なかった。

これらのことを窒素吸収速度¹⁴⁾として、第7図に示した。各処理区とも移植時から移植後50日前後にかけて吸収速度が速まった。その後L P 100号およびスーパーIB施用区は漸次速度は低下し、特にスーパーIB施用区の低下の程度が大きく、肥効が生育後半まで持続しなかったことによるものと考えられる。その他の処理区では出穂前15日前後に再度吸収速度が上昇し、対照区とL P S 100号施用区が登熟期間の吸収速度を比較的速く回復した。L P S 100号施用区は初期の吸収速度こそ緩やかであったが、後半の上昇速度、吸収速度ともに最も速く、このことが効率的な窒素利用に関与していることが明らかになった。

一般に全量基肥は、肥効調節型の緩効性窒素を利用するため施肥窒素の利用効率が高まると言われている。本試験の結果での無窒素区の吸収量を差し引いた見かけ上の施肥窒素利用率は、第8図に示した。L P S 100号施用区の64.1%を最高に他の処理区もおおむね45～55%に達し、対照区と同等以上に高まった。ただし、セラコートU-L施用区では40%以下であった。これらの施肥窒素利用率は、日高²⁾、柴原¹¹⁾、上野¹⁸⁾の重窒素標識被覆尿素を用いた試験の結果とほぼ一致している。

これら緩効性肥料の窒素溶出パターンを水稻の生育反応や収量性などから総合的に判断した結果、目標収量レベルを慣行施肥法と同等以上に設定した全量基肥では、生育前半の窒素供給量を控え、抑制的な生育をさせ、生育後半にかけて窒素供給量を増やし生育増加を促すような施肥体系が望ましい。これによって水稻は橋川¹⁾が示す窒素供給パターンと同様に秋まきり的な生育相で推移することになる。それに合致

緩効性肥料を利用した水稻の全量基肥栽培法

した緩効性肥料としてはL P S 100号が最も有効と考えられた。

Ⅲ 全量基肥における施肥量の検討

1. 目的

Ⅱの試験において全量基肥に適用効果が高いと判断した被覆尿素肥料L P S 100号について、適正な施肥量および速効性窒素肥料との配合割合を明らかにする。

2. 試験方法

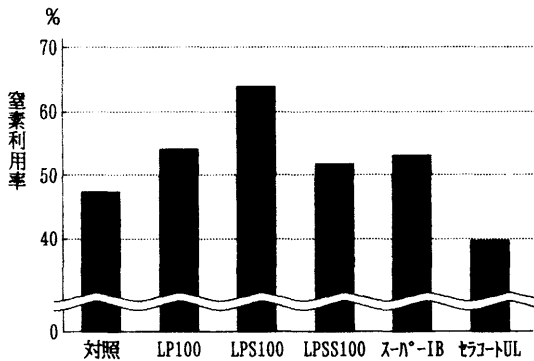
試験は1992および1993年の2ヶ年実施した。対照区は従来の追肥体系とし、その施肥窒素量は、塩安による基肥0.4kg/aと出穂前18日の追

肥に0.2kg/a、穂揃い期追肥に0.2kg/aの計0.8kg/aとした。全量基肥区は緩効性窒素にシグモイドタイプの窒素溶出特性をもつ被覆尿素肥料L P S 100号を用い、速効性窒素の塩安と粒状配合した。その配合量と割合「速効性窒素+緩効性窒素」kg/aは「0.2+0.6」、「0.3+0.5」、「0.3+0.4」および「0.2+0.4」に設定した。その他の栽培条件はⅡの試験に準じた。

3. 結果および考察

1) 水稻の生育経過

生育経過を第8表に示した。施肥窒素量が多いほど稈長が長く、茎数(穂数)も多く、また、第9図に示した乾物生産も旺盛であったことから、生育量は最終的に全施肥窒素量によって支配されると推察した。ただしその生育経過は、出穂15日前頃までL P S 100号の配合量にかかわらず塩安0.3kg/a配合区の茎数増加や乾物生産量が多く推移したため、この間の生育は速効性窒素の肥効に依存し、その後はL P S 100号からの緩効性窒素に影響されるものと思われた。全量基肥区の葉色の推移は、対照区に較べ、最高分けつ期頃から濃くなっており、L P S 100号からの肥効発現が葉色の変化からも認められた。出穂期の葉色はL P S 100号施用量の多いものほど、また全施肥窒素量の多いものほど濃く、登熟期間中も同様に推移した。



第8図 緩効性肥料の種類と施肥窒素利用率の関係 (1991～1993年平均)

注. 利用率は無窒素区の吸収量を差し引いた見かけ上の値である。

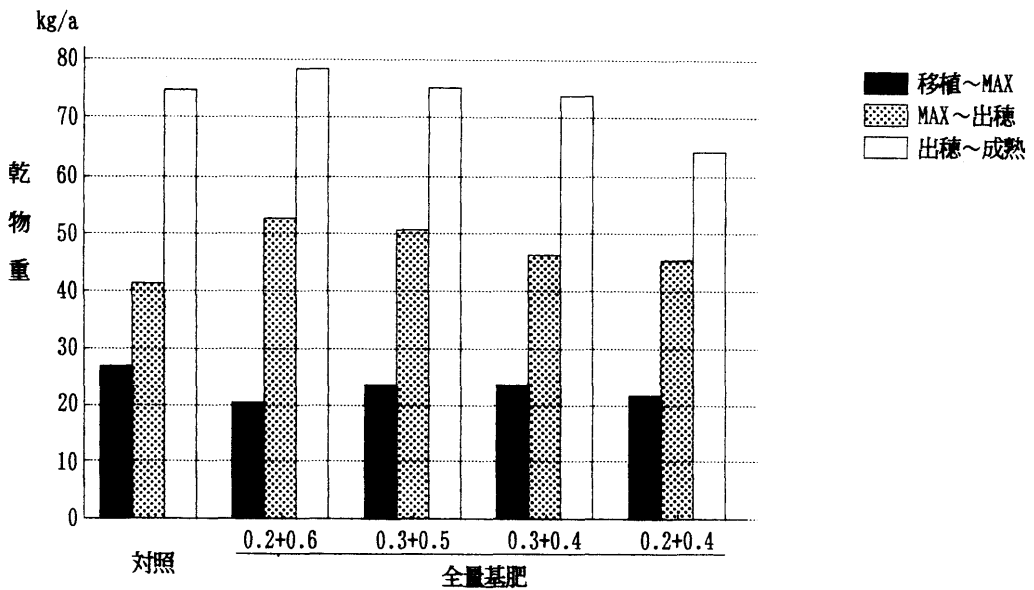
第8表 窒素配合量と生育経過 (1993年)

処 理	草 丈 cm				茎 数 本/㎡				葉 色 SPAD値				
	+30	MAX	△15	出穂	+30	MAX	△15	出穂	+30	MAX	△15	出穂	#25
対 照	30.1	59.2	74.0	90.1	348	613	503	398	40.7	34.1	29.0	31.5	33.8
0.2+0.6	31.2	57.1	77.9	97.6	315	532	441	398	39.4	35.7	35.7	36.9	35.0
0.3+0.5	32.1	58.7	77.9	97.5	329	543	476	401	40.1	35.5	35.7	35.8	35.0
0.3+0.4	30.7	57.4	75.8	94.0	329	566	481	383	39.5	34.2	34.2	34.3	32.4
0.2+0.4	30.2	55.6	75.8	93.9	310	528	460	370	39.7	34.1	33.6	33.1	31.1

注1. 全量基肥処理は「速効性窒素+緩効性窒素」の施肥量(kg/a)で表示、対照区の施肥量は基肥 0.4kg/a、追肥 0.2kg/a×2回(第9～12表および第10, 11図も同様の表示である)

2. +30: 移植後30日, MAX: 最高分けつ期, △15: 出穂前15日, #25: 出穂後25日

3. 葉色はミノルタ葉緑素計(SPAD-502)による測定値



第9図 肥料の配合割合の違いによる乾物重の推移 (1993年)

第9表 窒素配合量と収量および収量構成要素

処 理	1992年					1993年				
	収量 (比) kg/a (%)	穂数 本/m ²	総粒数 ×100	千粒重 g	登熟 歩合 %	収量 (比) kg/a (%)	穂数 本/m ²	総粒数 ×100	千粒重 g	登熟 歩合 %
対 照	53.6(100)	368	271	22.4	90.3	50.5(100)	392	298	19.7	86.2
0.2+0.6	59.3(111)	377	355	21.7	78.8	53.3(106)	394	374	18.8	75.6
0.3+0.5	58.8(110)	371	331	21.9	83.4	55.0(109)	401	386	18.9	75.4
0.3+0.4	57.5(107)	381	320	21.9	84.3	53.3(105)	379	358	18.9	78.7
0.2+0.4	— (—)	—	—	—	—	53.5(106)	369	358	18.9	78.8

2) 水稻の収量性および玄米の品質

精玄米重は全量基肥によって5～10%増加する傾向がみられ、減肥した場合でも対照区より増収した。この増収要因は、収量構成要素を第9表に示したとおり、LPS100号施用によって総粒数が対照区より20～30%増加したためと考えられた。

速効性および緩効性の窒素配合割合を検討した結果、「0.2+0.6」区と「0.3+0.5」区は生育後半の窒素供給量が多いため、総粒数が過剰となり登熟歩合の低下につながった。一方、LP

S100号を減肥した「0.3+0.4」区は総粒数がやや減少したものの、登熟歩合が向上したためほとんど減収とならなかった。さらに、速効性窒素も減肥した「0.2+0.4」区についても「0.3+0.4」区と同様な傾向であった。これらのことから全量基肥では20～30%減肥しても、対照区並の収量が維持できるものと考えられた。

全量基肥による玄米の外観品質は、処理間差が判然とせず、対照区と同様の品質が得られた。しかし、第10表に示したように、玄米の粒厚分布からは総粒数の増加により屑米の割合が多く

緩効性肥料を利用した水稻の全量基肥栽培法

なり、玄米も小粒化の傾向であることが認められた。この対策としては減肥して収数過剰を抑えることで改善が図れると考えられる。

L P S 100号を利用した全量基肥区の玄米中の窒素濃度は、第10図に示したとおり対照区と同じ施肥量では明らかに高くなり、減肥した場合に対照区と同等かそれ以下に抑えられた。これはL P S 100号の利用率が高いためと考えた。L P S 100号の施用量が多いと登熟期間の窒素供給が多くなり、玄米への窒素の取り込みも多くなると推察され、食味低下に及ぼす影響が懸念された。

3) 水稻の窒素吸収

全量基肥における水稻の窒素吸収経過は、L P S 100号の肥効発現時期と推察される最高分けつ期まで対照区より少なく推移した。しかし、それ以後は対照区を逆転し、成熟期に至るまで多く推移した。なお、データは省略したが水稻の窒素含有率の推移は、L P S 100号の施用量が多いほど高く推移する傾向であった。第11表に示した窒素吸収量から、「0.3+0.4」区は施肥量が0.1kg/a 多い対照区にやや優る吸収をしており、施肥量を約10%減肥しても対照区と同等の吸収量が保持できると考えられた。このことは、KAMEKAWAら⁵⁾の報告と同様に減肥の可能性を裏付けるものとなった。

また、無窒素区の吸収量を差し引いた見かけ

第10表 窒素配合量と玄米重歩合(%)

処 理	1992年		1993年	
	精玄米	屑米	精玄米	屑米
対 照	97.7	2.3	98.8	1.2
0.2+0.6	94.1	5.9	96.2	3.8
0.3+0.5	95.6	4.4	96.2	3.8
0.3+0.4	96.1	3.9	97.3	2.7
0.2+0.4	—	—	97.3	2.7

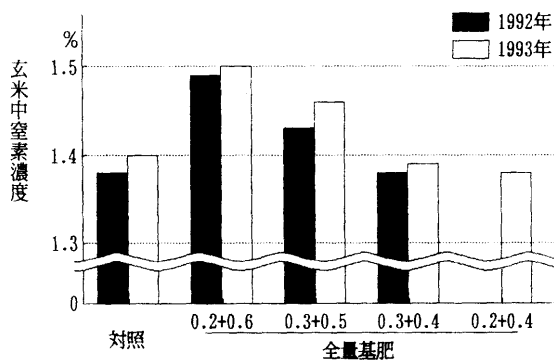
注. 精玄米は粗玄米200gを5分間段階篩いして、1.7mm以上となった重量割合を示した

上の施肥窒素利用率は、第11図に示したとおり対照区が45~57%であったのに対し、全量基肥区では49~77%に高まった。

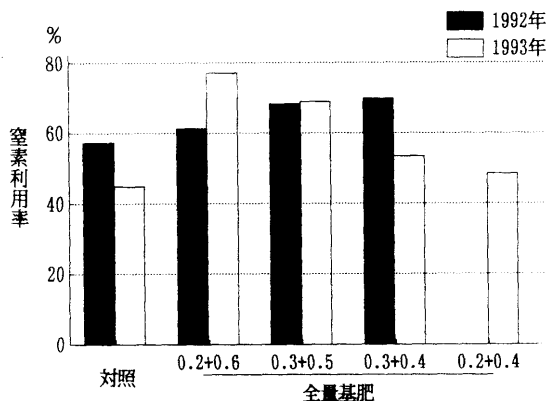
これらの結果から、初期生育を確保するための速効性窒素成分は0.2~0.3kg/a 程度で十分であり、また、施肥効率および玄米品質を考慮すると緩効性窒素成分はL P S 100号0.4kg/a 程度が適当であると考えられる。

IV 総合考察

水稻の全量基肥は各種の緩効性肥料の開発にともなって急速に研究が進み²¹⁾、他県におい



第10図 肥料の配合割合と玄米中窒素濃度の関係



第11図 肥料の配合割合と水稻の施肥窒素利用率の関係

注. 利用率は無窒素区の吸収量を差し引いて求めた見かけ上の値である。

第11表 窒素配合量と水稻の窒素吸収経過 (kg/a)

処 理	生育ステージ (1992年)					生育ステージ (1993年)				
	+30	MAX	△15	出穂	成熟	+30	MAX	△15	出穂	成熟
対 照	0.12	0.52	0.53	0.81	1.19	0.14	0.52	0.54	0.79	1.16
0.2+0.6	0.09	0.37	0.67	0.96	1.23	0.10	0.49	0.73	1.04	1.42
0.3+0.5	0.10	0.45	0.75	0.99	1.28	0.12	0.49	0.79	1.03	1.35
0.3+0.4	0.09	0.41	0.75	0.92	1.22	0.12	0.45	0.69	0.88	1.17
0.2+0.4	—	—	—	—	—	0.11	0.38	0.61	0.85	1.09

注. +30 : 移植後30日, MAX : 最高分けつ期, △15 : 出穂前15日

ては専用肥料として製品化され、既に普及が図られている。全量基肥を安定した施肥技術とするためには、それぞれの地域における水稻の生育パターンを知るとともに、水稻の窒素要求量に応じた施肥が必要となり、地力窒素の発現量を勘案する必要がある^{6,8)}。水稻の適正な窒素吸収量と地力窒素吸収量との差が施肥窒素吸収量であり、生育ステージごとに利用率を考慮した窒素量が継続して供給できればよいことになる^{7,18)}。ところが、全量基肥での問題は、窒素の溶出が生育の初期に多くなり過剰生育を招き、生育相が乱れたり、あるいは、生育過程上望ましい時期に追肥をしにくいため、後期の窒素栄養が凋落しないかということであろう。また、予測が困難な気象変動にどう対応できるかといったことも危惧される。

これまでに開発され、窒素の溶出速度が高度に調節可能である緩効性肥料には、一次反応式にそって溶出するものが多く⁹⁾、窒素の溶出割合は次の式によく適合し、溶出予測が可能であることが知られている⁴⁾。

$$N = A \{1 - \exp[-k(t - TAU)]\},$$

$$TAU = TAU_1 + TAU_2$$

ただし、 k : 溶出速度定数 (d^{-1})、 t : 温度変換日数 (d)、 TAU : 窒素が溶出を開始する

までの期間 (誘導期, d)、 TAU_1 : 誘導期において温度に無関係な部分 (d)、 TAU_2 : 誘導期において温度に依存する部分 (d)、 A : 最大溶出率 (%) である。

リニアタイプの窒素溶出特性を示す肥料の中には、土壌や地域の気象条件などにより、水稻の生育初期の段階で窒素成分が過剰に溶出する場合がある。北村ら⁶⁾が指摘するように、このような溶出特性をもつ全量基肥では地域によって生育前期の窒素供給量が多くなり、籾藁比および千粒重が低下し、穂長が短くなる場合がある。本試験でもLP100号およびスーパーIB施用の早期早植の全量基肥では水稻の繁茂量が過剰傾向になり、生育収量が不安定になることを認めた。

この点を改良すべく開発されたのがシグモイドタイプの溶出特性を示す被覆尿素肥料である。リニアタイプでは反応式のなかで温度に依存する誘導期がほとんど無かったのに対して、シグモイドタイプはこの期間が温度に依存しない誘導期に加算されることになる⁴⁾。本試験の条件下ではLP S100号で約50日、LP S S100号で約70日の誘導期間を示す結果となった。上野ら^{16,17)}は生育後期に秋落ちする土壌でも、シグモイドタイプの肥料によって地力の高い条件に転換できることを指摘し、土壌のもつ地力と施肥が一体化し、目標とする窒素肥沃条件を作り

うるシミュレーションを策定した。さらに、北村ら⁶⁾は緩効度の高い肥料を用いた全量基肥では、窒素肥沃度の低い圃場でも、速効性肥料の分施肥より肥効が高まり、玄米収量が増加すると報告をしている。

本県ではコシヒカリの栽培指針として、生育前期を小出来にし、生育診断に基づいた追肥体系を打ち出し、いわゆる「小作り追い込み型稲作」、あるいは「じっくり型稲作」を推進している¹²⁾。L P S 100号と速効性窒素の粒状配合肥料を用いた全量基肥は、それに合致した窒素供給能をもち、安定した生育収量に結びつくことが明らかとなった。L P S 100号には適度の温度依存性が付与されており、気象変動によって水稻の生育速度が変わっても、窒素溶出はそれに対処でき得るある程度の対応幅をもつので安定性に寄与できる。これは気象変動の大きかった3ヶ年の試験期間における結果からも明らかである。

ここで、L P S 100号を利用した全量基肥における施肥窒素の供給と吸収を、従来の分施肥の場合と比較して第12表のとおりモデル的にとらえると次のように考えられる。従来の分施肥体系における施肥窒素吸収経過は、無窒素区との差および吸収量の増加量から推定し、移植期～穂肥期は施肥窒素0.40kg/aの供給に対して吸収量は0.18kg/a、同様に穂肥期～成熟期は0.40kg/aに対して0.23kg/a吸収している。これを第2図のL P S 100号の窒素溶出曲線から推定し、「0.3+0.4」区の場合にあてはめると、穂肥期までに供給される施肥窒素は、塩安から0.30kg/aとL P S 100号から0.20kg/aの計0.50kg/a、以後、成熟期まではL P S 100から0.17kg/aが供給され、吸収量はそれぞれ0.37、0.07kg/aとなる。施肥効率を穂肥期の前後でそれぞれ求めると、分施肥体系は45.0%および57.5%であり、「0.3+0.4」区的全量基肥は74.0%および41.2%の施肥窒素利用率となる。また、こ

の推論からは水稻が生育期間中に施肥窒素から吸収する窒素のうち、穂肥期以前に吸収する割合は、分施肥体系の44%に対して全量基肥で84%に高まることが特徴的である。ただし、前述のとおり全量基肥では初期生育は抑制気味であるため過剰生育とはならず、窒素栄養は有効茎割合を高め、積極的に穂数を増加させる方向に作用すると考えられる。また、後期に施肥窒素吸収量の不足が懸念されるが、地力窒素発現が予測される黒ボク土壌では後期窒素が品質面でマイナス要因になることが指摘されているため、この程度でも十分と考える。逆に地力の低い土壌であれば、L P S 100号の配合割合を増加する必要が生じる。

上記の値から施肥窒素の利用効率を算出すると追肥体系では51%であるが、全量基肥で63%に上昇しており、施肥量の10～20%を減肥しても吸収量は不足しないことになる。このことは窒素の用水への流失や脱窒の発生を抑制するなど系外への施肥窒素の損失を軽減することにもなり¹¹⁾、環境保全的な立場から低投入農業への寄与が期待できる。

緩効性肥料を利用した全量基肥には、より一層の省力的位置づけが求められ、側条施肥による方法が省力安定多収施肥法として検討され、また、湛水直播栽培においてもその可能性が示唆された^{3, 10, 19)}ところである。今後、これらを地域適応技術にアレンジできれば省力・低コスト技術としての評価がより高まるであろう。

V 摘 要

1991年～1993年に農業試験場黒ボク土水田において、早期早植の栽培体系によるコシヒカリの全量基肥を緩効性窒素肥料、特に被覆尿素肥料を用いて検討した。

1. リニアタイプの緩効性肥料は施肥直後から窒素の溶出が始まるが、シグモイドタイプの場合は施肥後にある一定の溶出を抑える期間

第12表 窒素の吸収モデル

処理区	施肥量 N:kg/a	窒素 吸収量 kg/a	地力 窒素 kg/a	施肥 窒素 kg/a	施肥窒素 利用率 %
1. 移植期～穂肥期					
無窒素		0.35	—	—	—
慣行分施	0.40(塩安)	0.53	0.35	0.18	45.0
全量基肥 0.3+0.4	0.30(塩安) 0.20(LPS100)	0.72	0.35	0.37	74.0
2. 穂肥期～成熟期					
無窒素		0.41	—	—	—
慣行分施	0.40(塩安)	0.64	0.41	0.23	57.5
全量基肥 0.3+0.4	— (塩安) 0.17(LPS100)	0.48	0.41	0.07	41.2
3. 全生育期間					
無窒素		0.76	—	—	—
慣行分施	0.80(塩安)	1.17	0.76	0.41	51.3
全量基肥 0.3+0.4	0.30(塩安) 0.37(LPS100)	1.20	0.76	0.44	65.7

- 注 1. 第 10 表の吸収量の 2 ケ年の平均値から算出
 2. 施肥窒素利用率は無窒素区差引による見かけ上の値
 3. L P S 100 の施肥量は溶出曲線からの推定量

対応し、水稻の生育に適応した窒素供給が期待できる。

5. 配合割合は、緩効性窒素多施用が食味低下に影響するため「速効性窒素：緩効性窒素＝2～3：4」とし、施肥量は目標収量を慣行施肥法と同等もしくは10%以内の増収割合に設定した場合、被覆尿素利用によって窒素の利用効率が向上するため、慣行の20%減肥が適当である。

6. この全量基肥では施肥窒素の供給量は初期に少なく、中期から後期にかけて増加し、水稻は最高分けつ期から出穂期の間の吸収割合を高めた。

7. 水稻の生育は最高分けつ期頃まで抑制的に経過するが、緩効性窒素の肥効により有効茎（誘導期間）の存在が認められた。それは L P S 100号で約50日、L P S S 100号で約70日であ

った。

2. リニアタイプの緩効性肥料を全量基肥に利用すると、水稻の生育前半に肥効が高まって過繁茂となる場合があり、耐倒伏性の弱い品種への適用は不適であった。

3. シグモイドタイプの窒素溶出特性をもつ被覆尿素肥料 L P S 100号を速効性窒素肥料と配合することにより、慣行の追肥体系と類似した窒素供給が可能であった。これにより安定した生育および収量が確保でき、一切の追肥を必要としない省力的な施肥法を確立した。

4. L P S 100号には温度依存性が認められ、窒素溶出の速度と量がある程度の気象変動にも歩合が高まり穂数は十分確保できる。また、持続的な窒素供給によって総収量の増加が容易であり、増収要因として作用する。

謝 辞

本試験の計画および実施にあたっては、青木一郎元土壤肥料部長ならびに鶴野慶吉前土壤肥料部長に、また、取りまとめにあたっては岩崎秀穂土壤肥料部長に御指導を頂いた。さらに栃木県経済連の方々には資材の提供に御尽力頂いた上に有益な助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

Ⅵ 引用文献

- 橋川潮・白岩立彦 (1991) 滋賀県短大学術誌39：15-21
- 日高伸 (1994) ¹⁵N Information 10：2-11 重窒素圃場利用研究会
- 今井克彦・今泉諒俊 (1990) 愛知農総試験報22：41-50
- 石橋英二・金野隆光・木本英照 (1992) 土肥誌63：664-668
- KAMEKAWA T., NAGAI T., SEKIYA S., and YONEYAMA T. (1990) Soil Sci. Plant Nutr. 36：333-336
- 北村秀教・今泉諒俊 (1990) 愛知農総試験報22：51-60
- 北村秀教・今泉諒俊 (1991) 土肥誌62：439-444
- 深山政治 (1988) 千葉農試特報15：1-92
- 尾和尚人 (1993) 土肥誌64：590-601
- 世古晴美・佐村薫・越生博次 (1989) 兵庫中央農技セ研報37：9-12
- 柴原藤善・辻藤吾・西村誠 (1992) 滋賀農試研報33：17-29
- 栃木県 (1994) 平成6年度稲作及び豆類推進資料：1-11, 12-32
- 栃木県 (1994) 栃木県ライスプラン：1-32
- 東北農業試験場 (1990) 水稻に対する全量基肥施肥法 (緩効性肥料の利用による全量基肥施肥法の策定) 農研センター編：1-6
- 植木与四郎 (1988) 栃木農試研究成果集7：59-60
- 上野正夫・熊谷勝巳・佐藤之信・井上每子・田中伸幸 (1990) 農及園65(7)：828-834
- 上野正夫・熊谷勝巳・佐藤之信・井上每子・田中伸幸 (1990) 農及園65(11)：1266-1270
- 上野正夫・熊谷勝巳・富樫政博・田中伸幸 (1991) 土肥誌62：647-653
- 安原宏宣・神田正治・角治夫・伊藤淳次・山根忠昭・中島孝次・永瀬勝正・藤原健比古・出川正幸 (1992) 島根農試研報26：1-24
- 山口正篤 (1993) 安心イネづくり：p 92-97 農文協
- 全農肥料農薬部 (1988) 窒素の全量基肥施用による水稻栽培試験成績集：95-100

**The whole quantity application methods with slow-acting fertilizer
as basal dressing in rice cultivation**

Shunsuke TETSUKA

Summary

The methods of whole quantity application using slow-acting fertilizer containing coated urea was studied in order to reduce the cost of split fertilizer application and establish the more economical rice cultivation in Tochigi Prefecture. A high quality rice cultivar, "Koshihikari", was cultivated for the early-season culture in the paddy field of black volcanic ash soil from 1991 to 1993, and used in the present studies. The results were summarized as follows:

1. The linear type slow-acting fertilizer supplied nitrogen into soil immediately after the application, however, the dissolution of nitrogen in the sigmoid type slow-acting fertilizer was slow. The time lag between fertilizer application and nitrogen dissolution was approximately 50 days on one of the sigmoid type slow-acting fertilizer, LPS100, and 70 days on LPSS100, respectively.

2. When the linear type slow-acting fertilizer was used as the whole quantity application of basal dressing, the plants absorbed an excess of nitrogen fertilizer in early growth stage, sometimes cause to the rank growth. The linear type slow-acting fertilizer application was not adapted for the cultivars which lack in lodging resistance.

3. Because the nitrogen dissolution of LPS100 was only depend on temperature in soil, it was expected that the rate of nitrogen supply was stable to the condition of rice cultivation in paddy field and corresponded with the nitrogen uptake in the each stage of rice plants.

4. In order to fit the nitrogen supply to the split fertilizer application according to the usual practice, LPS100 and quick-acting fertilizer were mixed in the rate of 4:2 - 3 (nitrogen weight) for the whole application, in which the rate of LPS100 was reduced to keep the eating quality high. Appropriate amount of the mixed fertilizer was 80% of that in the split application, because the efficiency of nitrogen absorbed by rice was higher in the slow-acting fertilizer containing coated urea than quick-acting one.

5. Using the mixed fertilizer in the whole quantity application as basal dressing, the supply of nitrogen was slow in the early stage and then increased, and the rate of nitrogen uptake increased between maximum tiller number stage and heading stage. The rice plants grown slowly before maximum tiller number stage, however, nitrogen dissolved continuously from coated urea increased the percentage of fruitful culms, spike number and total grain number.

The fertilizer application methods proposed in the present study may be practical and useful for high yielding and stable rice production.

[Bull. Tochigi Agr. Exp.
Stn. No.42 : 9~24 (1994)]