

移植水稻基肥としての固形肥料の施用 とその肥効

丸本卓哉*・高遠 宏**・東 俊雄*

1. 緒 言

1974年から1979年にかけて、ハワイにある East-West Center の企画で実施された INPUTS (Increasing Productivity Under Tight Supplies) プロジェクトの国際共同研究に山口大学も参画し、水稻に対する窒素肥料の効率的施用法に関する圃場試験を行ってきた¹⁻⁴⁾。その試験結果によれば、従来の基肥全層施用に比べて、基肥深層(または局所)施用の効果が高いことが示された。なかでも USG (大粒尿素, 米国 IFDC 製) や固形肥料 (Peat Ball, 日本肥糧(株)製) を基肥として地表下 8~10 cm の深さの株間に挿入した場合、水稻による窒素の利用率が極めて高く、生育経過も良好となり、収量も高くなることが示された。

わが国の水稻栽培において、窒素肥料の深層施用が、脱窒防止の面からも優れていることが古くから知られているにもかかわらず、深層(または局所)に肥料を施用することは作業上困難なため、実際には余り行われていなかったのが現状である。近年になり、水稻田植機に施肥装置を附属させて、水稻苗の移植と同時にペースト状肥料を側条に施肥する機械⁵⁾、粒状肥料を側条に施肥する機械⁶⁾などが開発、実用化され、徐々に普及してきている。また、固形肥料を深層に施用する機械⁷⁾(深層追肥用に主として使われる)も開発されており、肥料の施用効率を高められるような施肥法が実行されている。

* 山口大学農学部

** 日本肥糧(株)

(118) 移植水稻基肥としての固形肥料の施用とその肥効

本報では、先に述べたように水稻基肥の深層²(局所)施用で極めて効果の高かった固形肥料を、動力式固形肥料深層施肥機を使って水稻の基肥として施用したときの効率と、その肥効について1979年に山口大学農学部附属農場で実施した圃場試験の結果を試験Ⅰとして報告する。また、固形肥料深層施用の場合には、水稻を移植した後から、施肥機を水田に入れて作業することの困難性から、水稻移植前に肥料を深層へ施用する一つ的手段として、大形の固形肥料を使わず、大粒状固形肥料(SPB, 粒径約10mm)を用い、代かき時に田面へばらまき、ロータリーで代かきを行えば、ある重量と大きさを持ったものならば、肥料粒がすぐに崩壊しなければ、深層へも入れることができるのではないかと考え、施肥の省力を第一目的として、大粒状固形肥料(SPB)の施用試験を1982年に山口大学農学部附属農場で行った。同時に大粒状固形肥料中の窒素の水稻による吸収利用効果を確認するため、¹⁵Nラベルの大粒状固形肥料を用いた試験の結果も合わせて試験Ⅱとして報告する。つづいて、大粒状固形肥料(SPB)の効率的な施用を行うための基礎データを得る目的で、¹⁵NラベルのSPBおよび対照の¹⁵Nラベル尿素を使用したポットでの水稻栽培試験(1983年実施)結果と土壤中での窒素の動態についても、まとめて試験Ⅲとして報告する。

2. 試験Ⅰ: 固形肥料深層施肥機による固形肥料の施用とその肥効

2-1 試験方法

(1) 試験圃場(水田)土壌の理化学性

山口大学農学部附属農場の互いに隣接する水田5区画(1区画約1000m²)を試験圃場とした。土壌の理化学性は表1に示したとうりであって、黑色片岩を母材とする崩積性の土壌で、谷間に位置し、下層に不透水層があり、透水性の不良な水田である。

(2) 試験設計

施肥設計(窒素施用量)を表2に示す。固形肥料(PB)は日本肥糧(株)試製

表 1 供試水田土壌の理化学的性質

	試 験 水 田				
	A	B	C	D	E
土 性	CL	CL	CL	CL	CL
pH (H ₂ O)	6.4	6.0	6.5	5.5	5.9
有 機 態 C (%)	1.6	1.9	1.6	1.5	1.3
全 N (%)	0.16	0.14	0.16	0.14	0.11
有 効 態 P (ppm)	66.0	52.0	86.0	33.5	51.5
CEC (me/100 g)	9.3	7.6	8.9	7.2	7.1
交換性塩基 (me/100 g)					
Ca	5.6	4.7	5.7	3.4	3.6
Mg	0.6	0.7	0.9	0.5	0.7
Na	0.4	0.7	0.7	0.5	0.3
K	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1

表 2 試 験 設 計

試験区	基肥の 種 類	基 肥		追 肥		計
		(7/7)*	(7/21)**	(8/7)	(8/13)	
A (無窒素区)	—	—	—	—	—	0
B (固形基肥区)	PB	—	1.08	—	—	1.08
C (固形基肥増区)	PB	—	1.50	—	—	1.50
D (固形基肥 +追肥区)	PB	—	0.75	0.6	—	1.35
E (慣行区)	Urea	0.49	—	—	0.6	1.09

* 移植1週間前

** 移植1週間後

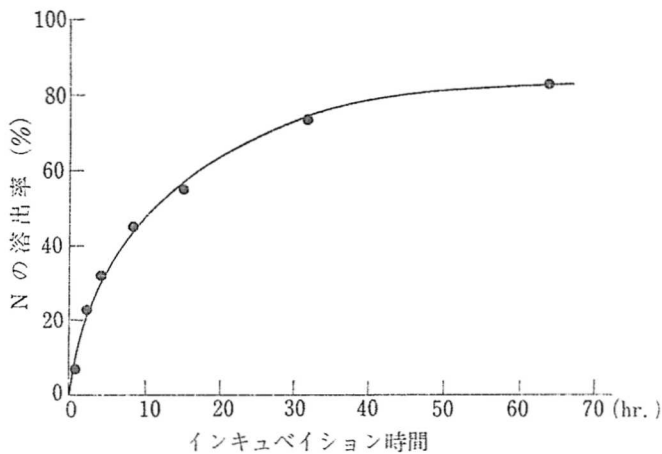


図 1 固形肥料からの湛水土壌中への窒素の溶出速度

(120) 移植水稻基肥としての固形肥料の施用とその肥効

の1個約15gの桃核状のもので、成分値はアンモニア態N: 7.56%, 可溶性 P_2O_5 : 5.43%, 水溶性 K_2O : 5.58%で、窒素の湛水土壤中での溶出速度が図1に示すようになっている。

施肥方法としては、慣行のE区は水稻移植前1週間前に尿素を全層施用し、固形深層基肥のB、CおよびD区は水稻移植後1週間後に固形肥料深層施肥機*(日本肥糧㈱製、動力式1HP)で供試固形肥料を施用した。施肥量の差は、水稻条間へ施肥する数を加減することによって調節した。固形基肥増のC区は各条間すべてに施用し、固形基肥標準のB区は2/3条間(3条間のうち2条間)に施用、固形基肥+追肥のD区は1/2条間(隔条間)に施用した。DおよびE区の追肥はすべて尿素を使用した。リン酸とカリについては、A(無窒素区)およびE(慣行)区はa当りそれぞれ P_2O_5 および K_2O の1.0kgに相当する過リン酸石灰および塩化加里を基肥として施用し、BおよびD区はPBに含有されている分量がa当り1.0kgに対して不足する量だけ



写真1 固形肥料の深層施用

を基肥として追加施用した。C区についてはPB中にほぼ等量含有されているので、そのままとした。固形肥料深層施肥機による固形肥料の施用状況を写真1に示す。

供試水稻品種は中生新千本を用い、1979年6月14日に稚苗を機械移植した。除草、病

害虫防除には農薬を適宜散布した。

(3) 調査方法

生育調査は草丈、茎数および収穫時の稈長、穂長、穂数を各区100株について実施した。一穂粒数、玄米千粒重、稔実歩合は各区25株について、収量

* 動力式固形肥料深層施肥機は、約8~10cm間隔で1個の固形肥料を約10cmの深さに施用できる。

は各区全刈りで調査を行った。分析用作物体は各区25株の水稲を収穫時に採取し、風乾後、わらと穂に分離して粉碎後、供試した。

2-2 試験結果および考察

(1) 固形肥料深層施肥機の効率

本体に1回に積載できる固形肥料の量は約8kg(約500個)である。それで、8~10cm間隔で1個の固形肥料を深層に施用すると、圃場の1辺が40mとすれば、片道で400~500個の固形肥料が必要となるが、これはほぼ1回の積載量で1条施用できる。片道20mならば往復2条が可能であるが、これより走行距離が長いと、途中で固形肥料を補充しなければならない。10aの圃場に標準量を施用する所要時間は平均約1時間であったが、水田の畦際部には機械で施用できない箇所が残り、そこは手作業によらなければならなかった。また、稚苗移植1週間後の活着直後に機械で条間を往復することは、かなり神経を使う作業であり、稲を踏みつけたり、倒伏させたりするため、あまり好ましいことではないようである。これらの問題点と労力的な面を考え合わせると、移植時に同時施用できる施肥機の開発が望まれる*。

(2) 生育経過

表3に生育調査の結果を示す。移植後26日目までは、いずれの固形肥料基肥深層施肥区の生育も慣行の尿素区(E区)に劣っていたが、45日目以降は生育がE区を上回り、とくに穂数が多くなった。固形肥料施用区間では、基肥量の多いC区がB区より勝ったが、基肥量を減らして穂肥として追肥したD区の生育がより勝った。全生育期間を通して、基肥としては多量の窒素量を施用したBおよびC区においても、作物体の生育で異常はみられず、むしろ茎の太い、がっしりした稲のできる傾向が観察された。また、固形肥料深層施肥による生育むらも認められなかった。

(3) 収量および収量構成要素

表4に示すように、もみおよび玄米収量は $D > B > C > E > A$ 区の順で、

* 現在は、粒状肥料用の施肥田植機で、固形肥料の細粒状品であれば、使用が可能となっている。

表3 生育調査

試験区	移植後日数				
	26	45	76	111	111
	草丈 (cm)			稈長	穂長
A	—	—	73	65	16
B	35	70	89	79	16
C	35	69	98	87	17
D	34	69	102	85	18
E	41	68	94	80	21
	茎数 (No./m ²)			穂数	
A	—	—	320	300	
B	220	754	560	500	
C	226	760	548	520	
D	232	744	554	540	
E	250	588	432	420	

表4 収量および収量構成要素

試験区	基肥の種類	収量*			もみ/わら比	収量指数**	穂数 (No./m ²)	一穂粒数	稈実歩合 (%)	玄米千粒重 (g)
		もみ	わら (kg/a)	玄米						
A	—	53.6	60.0	45.2	0.89	88	300	59	96	22.7
B	PB	63.5	87.8	53.3	0.72	104	500	58	96	21.3
C	PB	65.2	96.9	54.8	0.67	107	520	64	96	20.3
D	PB	72.2	99.3	60.6	0.73	118	540	72	95	21.6
E	Urea	61.1	89.5	51.3	0.68	100	420	60	97	22.5

* 風乾物

** 試験区(E)の収量を100とした。

慣行のE区を100とした収量指数はD: 118, C: 107, B: 104, A(無窒素区): 88であった。固形肥料を基肥として深層に施用し、尿素を穂肥として追肥したD区の収量が最高で、また、基肥に固形肥料のみを施用した区でも、かなりの収量増が期待できる。しかし、生育経過からみても、固形肥料(PB)の肥効の持続期間はほぼ最高分けつ期位までであって、高収量をあげるためには穂肥あるいは実肥の施用が不可欠と思われる。

(4) 肥料窒素の利用効率

水稻による窒素の総吸収量および肥料よりの窒素吸収量、肥料窒素の利用率は表5に示すとうりである。固形肥料の基肥深層施用によりかなり窒素の

表 5 水稻による窒素の吸収量と肥料窒素の利用率

試験区	施肥 窒素 総量	窒素吸収量			肥料窒素 吸収量	肥料窒素 利用率 (%)
		わら	もみ (N kg/a)	計		
A	0	0.32	0.50	0.82	—	—
B	1.08	0.67	0.61	1.28	0.46	43
C	1.50	0.96	0.69	1.65	0.83	55
D	1.35	0.87	0.78	1.65	0.83	62
E	1.09	0.68	0.75	1.43	0.61	56

利用効率が高くなっていることが推察されるが、固形肥料の基肥施用のみよりは、追肥を行うことが肥料窒素の利用率が高くなって、収量増につながり、より効率的であることが示唆されている。

3. 試験 II: 大粒状固形肥料 (SPB) の植代施肥の効果

3-1 試験方法

(1) 供試大粒状固形肥料 (SPB)

PB(固形肥料)を粒状にしたもので、粒径 8~10 mm, 重量平均 0.5 ± 0.03 g, 成分含量はアンモニア態 N: 10.38%, 可溶性 P_2O_5 : 10.28%, 水溶性 K_2O : 10.42% である。 ^{15}N ラベル SPB は N, P_2O_5 , K_2O いずれも 9.51% で, ^{15}N atom% は 10.2 である。SPB からの湛水土壤溶液中への窒素の溶出速度は 8 時間で約 50%, 24 時間で約 80% を示した。

(2) 供試水田土壤の理化学的性質

山口大学農学部附属農場の平坦地水田 (10 a) を供試した。土壤の理化学性は表 6 に示した。

表 6 供試水田土壤の理化学的性質

土性	有機態 C (%)	全 N (%)	C/N	pH (H_2O)	CEC	交換性塩基			
						Ca	Mg (me/100g)	K	Ng
CL	1.59	0.17	9.4	5.6	11.4	8.4	1.5	0.4	0.2

(124) 移植水稻基肥としての固形肥料の施用とその肥効

表 7 施 肥 設 計

試験区 No.	基 肥 の 種 類	基 肥 (6/15)*	追 肥		計
			(7/28)	(8/24)	
1	—	—	—	—	0
2	SPB	0.5	0.3	—	0.8
3	SPB	0.5	0.3	0.2	1.0
4	SPB	0.8	—	—	0.8
5	SPB	0.8	0.2	—	1.0
6	SPB	0.8	—	0.2	1.0
7	SPB	1.0	—	—	1.0
8	Urea	0.5	0.3	0.2	1.0

* 移植前日

(3) 試験設計

表 7 に示すように、SPB の肥効の現われ方、持続性、追肥回数 の減少の可能性をみるため、基肥施用量を 3 段階、対照として尿素の慣行施用を設けた。代掻き機に施肥機を付属させて、代掻きと同時に施肥することを想定した試験であるが、本試験では水稻移植前日に SPB を手で散布し、直ちに小型のロータリー式耕運機（井関農機）で植代掻きを 1 往復行った。¹⁵N ラベル SPB 区は足で踏み込んだ。追肥はすべて尿素を使用した。リン酸、カリについては、1 および 8 区は a 当たりそれぞれ P₂O₅ および K₂O の 1 kg に相当する過リン酸石灰および塩化加里を基肥として施用し、2～6 区は、SPB に含有される成分量が a 当たり 1 kg に対して不足する分量のみを追加施用した。7 区については SPB 区に等量含有されているので、そのままとした。

供試水田中に荒代掻き後、塩ビ製波板で 1 区 8m²(2×4m) づつに区画した。別に、¹⁵N ラベルの SPB を用いた試験のために 1 m² の小わくを設けた。¹⁵N SPB 区の施肥設計は 3 区 (0.5-0.3-0.2) と同様である。いずれも 1 区 2 連で実施した。水稻品種は日本晴、稚苗を 1 株当り 4 本、1982年(昭57年) 6 月 16 日に手植した。栽植密度は 20×25 cm とした。病虫害防除は薬剤を散布して適宜行った。

(4) 生育調査の方法

生育調査は各区10株について行った。収量調査は各区 2 m², 40 株について実施した。

(5) 化学分析用植物体の調整

各試験区より2株採取し、水洗後70℃にて通風乾燥した。収穫時のものはおもみとわらに分離し、もみはコーヒーミルで、わらはウィレー型粉碎機で粉碎し分析試料とした。窒素はブロックヒーターを用いて粉碎試料を濃硫酸、過酸化水素で分解した後、インドフェノール・ニトロプルシド発色法³⁾で定量した。

3-2 試験結果および考察

(1) 代掻き後の土壌中における SPB の分布

代掻き直後、直径 20 cm の塩ビの円筒を用いて約 15 cm の耕土を、試験区内の5ヶ所より採取した。2日間風乾した後、上部より3 cm 毎に5つに分け、それぞれの土層に入っている SPB の個数を数えた。表8に示すように0~3 cm の分布率が36.3%と高く、次いで6~9 cm の27.3%、3~6 cm の18.2%、9~12 cm と12~15 cm はいずれも9.1%を示した。試験区が8 m² と狭く、耕運機も

表8 代掻き直後の土層中における SPB の分布状況

深 さ (cm)	SPB の分布* (%)*
0 ~ 3	36.3
3 ~ 6	18.2
6 ~ 9	27.3
9 ~ 12	9.1
12 ~ 15	9.1

* 5ヶ所の平均

小型であり、代掻きによる耕土の反復程度が浅かったことから、確実に10 cm 位の深さに深層施肥機で入る PB の場合に比べると深層への混入割合が低く、約54%が6 cm 以内に混入されていた。

(2) 生育経過

表9に草丈、莖数および穂数の調査結果を示した。草丈については、無窒素1区と SPB の基肥 0.5 kg/a 施用の2, 3区が、若干初期生育が劣ったが、移植40日以降は、1区を除いていずれも大差がなくなった。草丈と異

表 9 生 育 調 査

試験区 No.	移 植 後 日 数			
	21	41	105	105
	草 丈 (cm)		稈長	穂長
1	27	65	59	16
2	26	68	71	19
3	27	73	69	18
4	27	72	68	19
5	27	72	68	19
6	28	71	70	17
7	29	76	70	18
8	28	71	66	18
	茎数 (No./m ²)		穂数	
1	240	420	320	
2	260	460	400	
3	300	500	400	
4	240	460	360	
5	260	460	380	
6	280	480	420	
7	300	520	400	
8	260	440	360	

なり茎数および穂数には有意な差が認められた。すなわち、最高分けつ期までの茎数確保は、SPBの方が対照に用いた尿素の全層施肥より勝り、収穫時の穂数も多くなる傾向が示された。また、基肥のSPB量が多くなると(0.8, 1.0kg/a)、分けつ数が増加することが示された。基肥にSPBを1.0kg/a施用した場合、追肥なしでも尿素区以上の生育を示したが、若干過繁茂気味であったことや無効分けつ数が多いことなどを考えると、基肥は最高でも0.8kg/a位にとどめる方が良いであろう。

(3) 収量および収量構成要素 (表 10)

本年度は8月下旬から9月中旬にかけて気温、日照ともに不十分で、収量は平年の7割程度であった。対照の尿素区(8区)の玄米収量を100としたときの指数でみると、3区(0.5-0.3-0.2): 127, 5区(0.8-0.2-0): 121, 2区(0.5-0.3-0): 107, 4区(0.8-0-0): 102が高かったが、6区(0.8-0-0.2): 94と7区(1.0-0-0): 97は低かった(表9参照)。4, 6, 7区は一穂粒数が

表 10 収量および収量構成要素

試験区 No.	収 量*			もみ/わら 比	収量 指数**	穂 数 (No./m ²)	一粒 粒数	稔実 歩合 (%)	玄 米 千粒重 (g)
	もみ	わら (kg/a)	玄米						
1	39.3	45.8	31.5	0.86	87	320	55	94	20.6
2	48.1	53.3	38.2	0.90	107	400	83	85	19.1
3	57.2	59.5	46.5	0.96	127	400	81	91	20.1
4	45.9	56.7	37.0	0.81	102	360	72	83	19.3
5	54.3	57.4	44.0	0.95	121	380	83	90	19.1
6	42.2	54.3	34.2	0.78	94	420	59	94	19.4
7	42.0	55.7	35.1	0.75	97	400	67	84	18.5
8	45.0	51.8	36.2	0.87	100	360	76	90	18.7

* 風乾物

** 対照の尿素区 No.8 を100とした。

地区に比べてかなり低かったが、いずれも穂肥を施していないことに原因したものである。実肥を省いた2区は7%, 5区は21%の増収を示した。これは省肥と省力の可能性を示している。対照区と同じ施肥量を施した3区は27%も増収したが、これは植代掻き時に同時施用した大粒状固形肥料の効果が尿素に勝ることを明確に示すものといえよう。

(4) 水稻による窒素の吸収と肥料窒素の利用率

図2に水稻による窒素の時期別吸収量を示した。SPB 基肥量を増した4, 5, 6, 7区は21~41日にかけての吸収量が増加し、穂肥を施さない4, 6, 7区は41~69日にかけての吸収量が低くなった。無窒素区のN吸収量を差引いて求めた肥料Nの利用率は3区が66%と最も高く、続いて2区: 63%, 5区: 56%, 8区: 45%, 7区: 35%, 4区: 34%, 6区: 31%を示し、表10の収量の傾向とおよそ一致している。

3区と同じ施肥設計で、¹⁵N-SPB を用いて栽培した水稻による¹⁵Nの吸収結果(表11)によれば、移植後20日間ではわずか8%しか吸収しなかった。20~40日にかけて22%, 40~70日間に14%, 70~106日間に14%を吸収し、積算のSPB-N利用率は58%に達した。70~106日にかけても吸収していることは、SPB はかなり長期に亘って、溶脱せずに土壤中に残存することを示している。代掻き時に硫酸を施用した場合、全層施肥に比べて窒素の

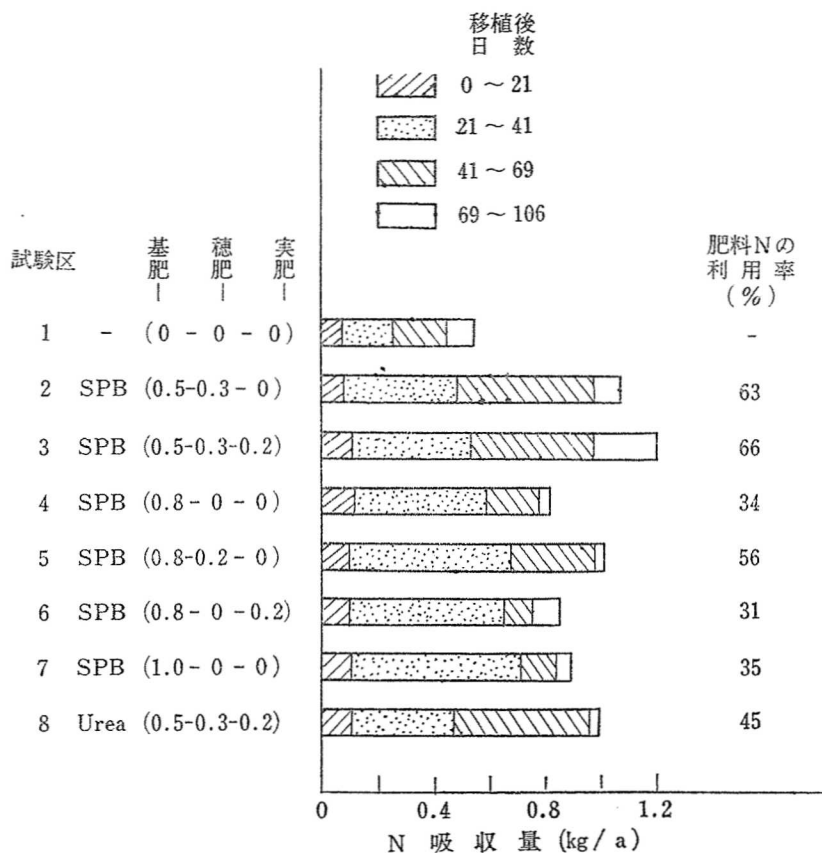


図2 水稻による窒素の吸収と肥料窒素の利用率

表 11 ¹⁵Nラベルの SPB を施用した現地わく試験 (0.5-0.3-0.2) より求めた基肥 N の水稻による吸収と利用率

基 肥	移 植 後 日 数					
	20	40	70	106		
¹⁵ N-SPB				わら	もみ	計
(施用量 Ng/a)	(吸 収 量 Ng/a)					
500	40±7*	150±26	220±10	120±10	172±16	292
	(利 用 率 %)					
	8	30	44	24	34	58

* ±SD.

利用率が低くなり(23%), 収量も低下することが示されている⁹⁾が, ここで用いた SPB の場合は利用率が高く, 増収したことは注目してよいであろう。また, 山形農試で行われたペースト状肥料の側条施肥区の水稲による窒素利

用率は約59%⁵⁾の高率を示しているが、本試験の結果(58%)もかなり高く、大粒状固形肥料 SPB の植代施肥は、十分実用可能であると思われる。

リン酸と加里の吸収についても分析したが、試験区間の含量に有意な差は認められなかった。

試験Ⅰの固形肥料(PB)の深層局所施用の結果に比べると、肥料Nの利用率は若干低かったが、植代掻き時の大粒状固形肥料(SPBP)の同時施用は、労力的には極めて簡単で、慣行施肥よりも収量増となったこと、また施肥量を2割減らした場合でも慣行区とほぼ同等の収量を上げることができたこと、心配されるような生育むらは観察されなかったことなどから考えて、従来の全層施肥法よりも有効であるといえる。ただし、基肥に施用する SPB の量と追肥の効果的施用については、まだ検討の余地がある。特に、西南暖地においては、初期生育が良すぎて過繁茂を招くような基肥の過剰施肥は避けなければならない。さらに、植代掻きの直前に手で SPB を散布しても大した労力ではないが、代掻き機に肥料散布の付属部品を装着することによって、均一に同時施用できるような機械が開発されれば、より効率的、実用的になるであろう。

4. 試験Ⅲ: ^{15}N ラベル大粒状固形肥料(SPBP)のポット栽培での、水稻によるNの吸収と土壤中での動態

4-1 試験方法

(1) ^{15}N ラベル SPB および尿素

^{15}N ラベル SPB は粒径: 8~10 mm, 平均重量: 0.41 g の大粒状で N: 9.51%, ^{15}N : 10.57 atom% (硫安態), P_2O_5 : 9.51% (可溶性), K_2O : 9.51% (水溶性) を含有し, ^{15}N ラベル尿素は N: 46%, ^{15}N : 10.0 atom% を含有しているものを供試品とした。

(2) 供試土壌およびポット

ポット試験の土壌は山口大学附属農場の水田作土を採取後、2 mm の篩を通したものを供試した。土壌の理化学的性質は表6に示したものと同一であ

(130) 移植水稻基肥としての固形肥料の施用とその肥効

る。ポットは a/5,000 のプラスチック製を用い、ポット最下部に一定量の砂利を詰め、それに調整した土壌 2 kg を入れた後、SPB 区の場合は、土壌表面に均一になるように ^{15}N ラベル SPB を加え、その上部にさらに 1 kg の土壌を加えた (SPB の施用位置は約 5 cm の深さである)。尿素区の場合は、 ^{15}N ラベル尿素を混合した 1 kg の土壌を上部に追加した。

(3) 施肥設計

表12に窒素肥料の施肥設計を示した。追肥はすべて尿素を施用した。リン酸およびカリは基肥としてポット当り 0.6 g になるように、過リン酸石灰および塩化加里を 1, 3, 4, 6 区に加え、2 および 5 区に対しては SPB 中の含量を差引いた不足分をそれぞれ添加した。施肥、湛水は 6 月 2 日、移植は日本晴の播種後 28 日目の稚苗をポット当たり 1 株 2 本植えとした。中干し期間 (7 月 23~27 日) を除いて、収穫 1 週間前まではポットを湛水状態にし、収穫前 1 週間は土壌が湿った程度に水分を調節した。収穫は 9 月 26 日であった。病虫害防除のための薬剤散布は適宜行った。

表 12 施 肥 設 計

試験区* No.	基 肥 の 種 類	基 肥	穂 肥	実 肥	計
		(6/2)**	(7/28)	(8/23)	
1, 4	—	0	0	0	0
2, 5	^{15}N -SPB	0.3	0.2	0.1	0.6
3, 6	^{15}N -尿素	0.3	0.2	0.1	0.6

* 試験区 1, 2, 3: 無栽培区
4, 5, 6: 水稻栽培区

** 移植前日

(4) 浸透水、土壌および植物体の分析

ポット底部の砂利部分に溜まる浸透水について、移植後 1, 2, 3, 4, 8, 17 週目に 100 ml を採取した。また、移植後 28 日, 55 日および 115 日目にポットより水を抜き地上部を刈り取った後、土塊を形を崩さないように取り出し、上部より 5 cm 間隔にナイフで切断した。約 3 日間、室内で風乾した後、注意深く手で砕きながら根を採取した。115 日目の試料については、

III. ^{15}N ラベル大粒状固形肥料(SPB)の試験 (131)

根の回収は不完全であった。土壌は2mmの篩を通し、分析に供するまでは4°Cで保存した。採取した植物体は、水洗後70°Cで4日間通風乾燥した後、ウイレー型粉碎機で粉碎した。収穫時のもみは、小型のコーヒーミルで粉碎して分析試料とした。以上の浸透水、土壌および植物体について、全窒素はセミマイクロケルダール法、無機態窒素はブルムナー法²⁾で定量した。いずれの試料についても、ケルダール分解後の試料を水蒸気蒸留し、アンモニアを0.1NHClに吸収させた。これをロータリーエバポレータを用いて濃縮した後、発光分光分析法^{11,12)}によって ^{15}N を分析した。

4-2 試験結果および考察

(1) 生育経過

水稻の生育は全期間を通して順調で、問題となるような病害はみられなかった。表13に草丈、茎数および穂数の調査結果を示す。移植後2週間の初期生育は尿素6区がSPB5区より若干勝っていたが、28日目にはほぼ等しくなった。茎数および穂数については、試験IIIの結果と同様にSPB区の方が多かった。

表13 草丈、茎数および穂数

試験区	移植後日数			
	28	55	115	115
(草丈: cm)				
4 無N	32	47	50*	17**
5 SPB	44	52	55	17
6 尿素	42	49	58	17
(茎数および穂数: No./ポット)				
4	14	14	6***	
5	31	38	24	
6	32	32	20	

* 稈長

** 穂長

*** 穂数

(2) 収量および収量構成要素 (表14)

対照の6区の玄米収量を100としたときのSPB5区の指数は113で、13%の収量増を示し、それは穂数の多いことに原因していた。これも1982年

表 14 収量および収量構成要素

試験区	収 量*			もみ/わら 比	収量 指数*	穂数	一穂 粒数	稈実 歩合 (%)	玄 米 千粒重 (g)
	もみ	わら	玄米						
4 無N	5.7	8.1	4.6	0.70	21	6	42	93	22.6
5 SPB	30.7	35.7	25.7	0.86	113	24	48	94	23.5
6 尿素	27.2	31.2	22.8	0.87	100	20	47	94	23.9

* 風乾物

** 対照の尿素6区の玄米収量を100とした。

に実施した圃場試験の結果と同じ傾向を示した。

(3) 浸透水中への ^{15}N ラベル基肥-N の溶出

ポット底部の砂利をつめた部分に溜っている浸透水は平均 200 ml であったが、この中に溶出されてきた基肥Nを経時的に定量した結果を示したのが表15である。100 ml の浸透水当たり施肥1週間後で SPB から平均 2.7%、尿素から 1.2% が溶出されており SPB のほうが2倍程高かった。その後、3週間目まで、その含量は水稲栽培区および無栽培区ともにほとんど変らなかった。3週以後、無栽培区で SPB および尿素ともに N 含量が低下したが、これは脱窒によるものではないかと考えられる。水稲栽培区のN含量の低下は、水稲根が底部まで伸長して浸透水中のNを吸収したことによるもの

表 15 浸透水中への ^{15}N ラベル基肥-N の溶出

試験区	移 植 後 日 数 (週)					
	1	2	3	4	8	17
	(N mg/100 ml)					
(無栽培)						
2 SPB	7.5±0.12* (2.5)**	6.4±0.11 (2.1)	6.0±0.36 (2.0)	5.5±0.34 (1.8)	4.2±0.06 (1.4)	1.5±0.0 (0.5)
3 尿素	3.4±0.09 (1.1)	3.4±0.09 (1.1)	3.4±0.02 (1.1)	3.4±0.06 (1.1)	2.3±0.01 (0.8)	1.5±0.08 (0.5)
(水稲栽培)						
5 SPB	8.3±0.09 (2.8)	6.6±0.63 (2.2)	6.5±0.10 (2.2)	1.7±0.10 (0.6)	tr.	tr.
6 尿素	3.7±0.06 (1.2)	3.6±0.07 (1.2)	3.4±0.07 (1.1)	0.4±0.01 (0.1)	tr.	tr.

* ±S.D.

** ()内の数値は添加基肥 N 量 (300mg N/ポット) に対する%。

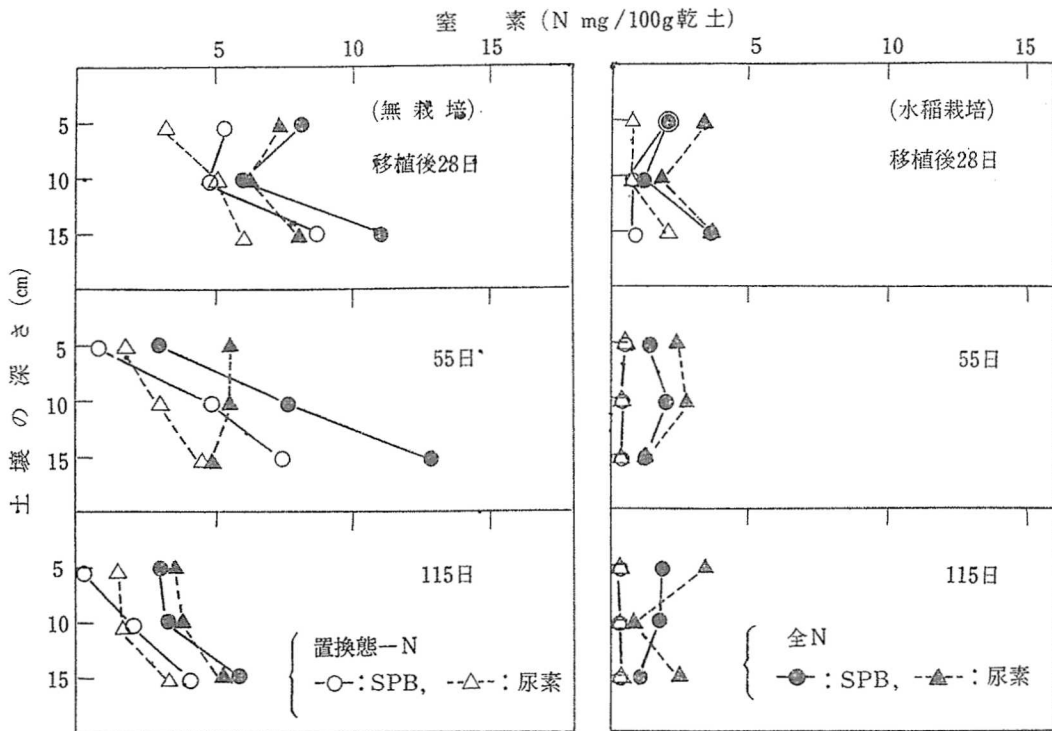


図3 ^{15}N ラベル基肥-Nの土層内での分布状況

と思われる。

(4) ^{15}N ラベル基肥-Nの土層内での分布状況

移植後22日, 55日, 115日目の土層内の基肥由来Nの分布状況を図3に示した。無栽培区についてみると, 28日目ですでにかなり下方へNが移動しているが, 55日目にかけてさらにその移動が大きくなっている。その移動の程度は尿素よりもSPBの方が大きい。115日目で土層内の全N含量が減少しているのは脱窒によるものと思われる。水稻栽培区においては, 28日目には有効な基肥Nがほとんど吸収されていて, その後の土層内Nの移動はほとんどみられなかった。

(6) 水稻による ^{15}N ラベル基肥Nの吸収と利用率 (表16)

移植後28日目でSPBは41.0%, 尿素は32.7%が地上部にとり込まれ, 根はどちらも大差なく8.0%と6.7%であった。その後地上部の基肥Nの吸

(134) 移植水稻基肥としての固形肥料の施用とその肥効

表 16 水稻による ^{15}N ラベル基肥-N の吸収と利用率

試験区	基肥 N 施用量	移 植 後 日 数									
		28			55			115			
		地上部	根	計	地上部	根	計	わら	もみ	根*	計
(N mg/ポット)											
5 SPB	300	123±3.1** (41.0)***	24±0.1 (8.0)	147 (49.0)	127±0.0 (42.3)	42±0.3 (14.0)	169 (56.3)	50±1.6 (16.7)	77±3.0 (25.7)	33±0.7 (42.4)	160
6 尿素	300	98±1.8 (32.7)	20±0.9 (6.7)	118 (39.3)	94±1.1 (31.3)	36±0.6 (12.0)	130 (43.3)	47±0.7 (15.7)	57±3.7 (19.0)	24±0.8 (34.7)	128

* 収穫時の根は完全に回収されなかった。 ** ±S. D.

*** ()内の数値は基肥-Nの利用率(%)を示す。

収量はほとんど増えなかったが、根の吸収量は、28～55日間の根の伸長に応じて増加し、SPB区：14.0%、尿素区：12.0%を示した。収穫時の根は完全に回収されなかったため、確かではない。収穫時のわらの基肥-Nとり込み量はSPBと尿素で大差なかったが、もみではSPBの方がかなり高かった。地上部の合計の利用率はSPB区：42.4%、尿素区：34.7%となり、SPBの方が約6%程高かった。本ポット試験での基肥Nの利用率は、1982年の圃場わく試験の結果(58%)よりかなり低かったが、その理由については不明である。さらに圃場試験においては70日以降の生育後期にも基肥-Nが14%程度吸収利用されていることが示されたが、ポット試験ではそのような結果は得られなかった。

(7) ^{15}N ラベル基肥-N の回収率

^{15}N ラベルSPBおよび尿素的の時期別回収率を図4に示した。棒グラフ上部の数値は回収率を示している。回収率100との差は脱窒量を示すものと考えられる。水稻無栽培区でみると、収穫時の115日目の回収率は尿素およびSPB区でほぼ同じであったが、28日目と55日目は尿素区が10%と15%低かった。土壌溶液中への溶出速度および下層への移動割合はSPBの方が尿素より速いにもかかわらず、55日目までの土壌中での残存量が多く、脱窒も少ないことが示された。最終時には、どちらも約60%のNが損失していた。

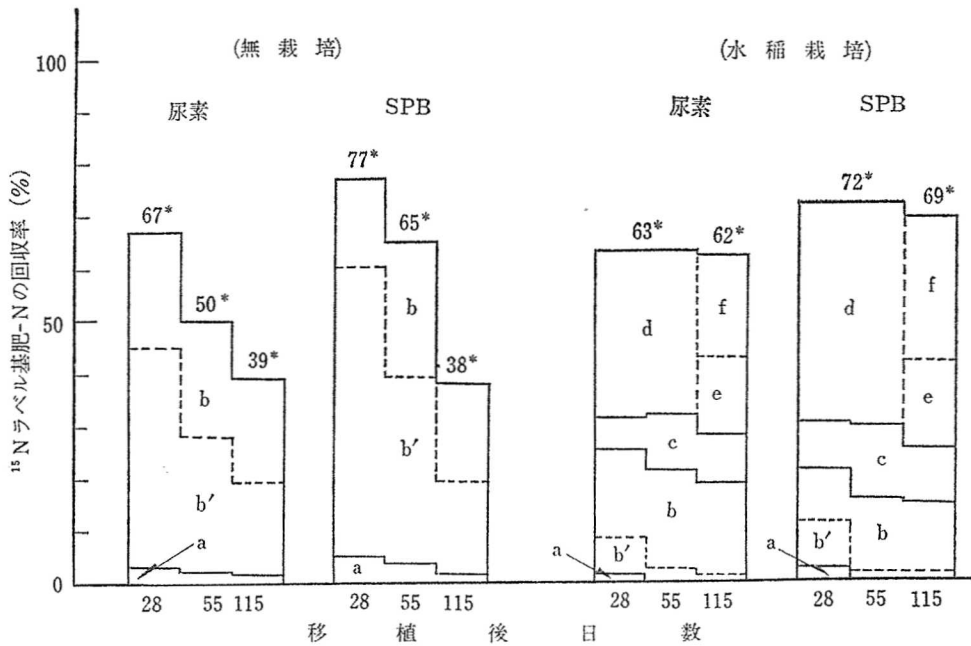


図4 ^{15}N ラベル基肥-Nの回収率

[a: 浸透水, b: 土壌の非置換態, b': 土壌の置換態, c: 水稲根(115日目)の根の回収は不完全である), d: 水稲地上部, e: わら, f: もみ, *回収率(%)を示す。]

水稲栽培区では、全生育期間を通して SPB の回収率が7~9%高く、なかでも、水稲地上部および根の吸収率が高いことがわかる。また表16にも示したように、SPB の方が尿素の全層施用の場合より根の生育が良いことがわかる。別にプラスチック製の根箱を用いて行った同様の試験によると、移植後40日目までの根の生育と下層への伸長速度は SPB 区の方が尿素区よりかなり優れていたことが観察された(写真2)。

これらのことから、SPBの深層施用は水稲根の根張りを良くし、生育初期のNの利用率が高まって分けつ数を多くし、穂数の増加によって収量増がもたら

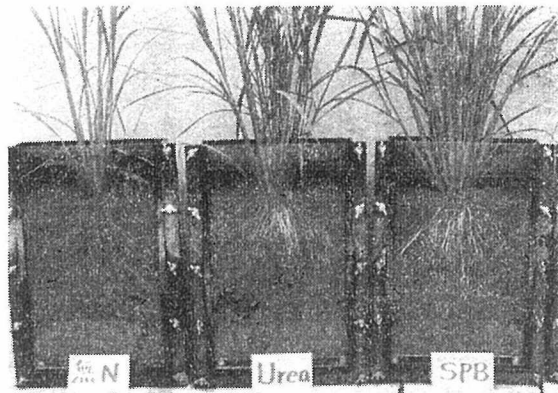


写真2 根箱試験における移植40日目の水稲根の状況

(136) 移植水稻基肥としての固形肥料の施用とその肥効

されることを示している。しかしながら、基肥としての SPB の肥効の持続性は最高分けつ期位までであり、高収量をあげるためには穂肥あるいは実肥の施用は不可欠である。ただし、2割程度の省肥は十分可能であると思われる。

5. 総合考察

移植水稻基肥として固形肥料 (PB) あるいは大粒状固形肥料 (SPB) を施用する場合の、簡便で効率的な施用法を検討してきたが、明らかになったいくつかの点について整理してみたい。PB および SPB に含有される養分は極めて速やかに水で溶出されるが、土壌の深層に入った場合は、簡単に溶出して損失することはない。しかしながら、日時の経過につれて、下層へと移動していくことがわかる。減水深が大きく、養分保持力の小さい土壌などでは窒素の損失量に関して若干の問題があるかも知れない。PB の場合は、単位面積当りの施用個数が少ないために、水稻条間あるいは株間に均一に施用することが不可欠であるが、手作業にたよることは極めて多大の労力を必要とし、わが国においては機械施用が必須の条件であろう。試験で用いた動力式固形肥料深層施肥機も実用化されてはいるが、移植と同時に施用できない難点があって、水稻の基肥施用には普及しにくい面があると思われる。PB を水稻基肥として施用する方法を普及させるためには、水稻移植時に同時施肥できる PB 施肥田植機の開発が不可欠であろう。

SPB の場合は、PB に比べて単位面積当りの施用粒数は多くなるが、深層へ入れる技術が問題となる。田植時に粒状化成肥料を機械施用した場合、田面水の飛沫によって施肥機の肥料吐出口がぬれて、そこへ肥料が付着し、やがて詰まって肥料の繰り出しがうまくいかなかったことが報告⁹⁾されているが、これなどは、水中崩壊性の低い肥料 (例えば SPB を細粒にしたもの) を使用すれば解決できる問題であろう。ただし、本報に示したように、SPB の場合は植代施肥でも約半量が深層に入り、その肥効は尿素に勝ることが示され、しかも、溶出速度の速い SPB の 36% が代掻き直後表層 0~3 cm に

分布することは、PBの深層施肥試験においてみられた初期生育の遅れをカバーすることができるという利点も有し、有効な施用法であるといえよう。しかしながら、確実に深層に入れたPBの場合に比較して、基肥Nの利用率が低かったことから考えると、確実に深層へ混入できる施肥田植機が開発されることが望ましい。また、肥料の深層施用の効果について、寒冷地と暖地で異なることが知られている^{9,13)}が、肥効の発現時期は施用する深さによっても大きく影響⁹⁾されることから、特に西南暖地において、過繁茂や倒伏をさけて効率的な施用を行うためにもその施肥深度について、さらにきめ細かな検討が必要であろう。

謝辞：本試験を実施するに当たり、試験用固形肥料 (PB)、大粒状固形肥料 (SPB)、¹⁵Nラベル大粒状固形肥料 (SPB) を試製していただいた日本肥糧株式会社研究所に謝意を表します。また、¹⁵Nの分析に際し、ご協力いただいた宮崎大学農学部玉井理教授、高木浩助教授に心より感謝いたします。

文 献

- 1) MARUMOTO, T., TATENO, K., KHAN, N.H., KAI, H., HIGASHI, T. and YAMADA, Y.: Studies on the effect of different methods of nitrogen application on the grain yield of rice in Japan. Proceedings of First Review Meeting INPUTS Project, East-West Center, Hawaii, USA. p.139-146(1976)
- 2) MARUMOTO, T. and HIGASHI, T.: Studies on N-efficiency improvement under flooded conditions. II. Effects of point placement and timings of nitrogen application on the yield of rice. *Bull. Fac. Agr., Yamaguchi Univ.*, **29**, 1-12(1978)
- 3) MARUMOTO, T., HIGASHI, H., TATENO, K., KHAN, N.H. and YAMADA, Y.: Studies on N-efficiency improvement under flooded conditions. III. Effect of deep point placed ureasupergranule and peat ball on growth and yield of rice. *Bull. Fac. Agr., Yamaguchi Univ.*, **30**, 61-72(1979)
- 4) YAMADA, Y. *et al*: Nitrogen efficiency study under flooded conditions, Review of INPUTS Study I. Paper presented at Adaptive Production Systems, East-West Center, Hawaii, USA. (1979)
- 5) 機械施肥田植研究会：施肥田植機によるペースト肥料の局所施肥技術，1—91，(1976)

(138) 移植水稻基肥としての固形肥料の施用とその肥効

- 6) 滋賀県農業試験場作物栄養係環境保全係・施肥田植機の施肥法に関する試験,
(2)粒状肥料の施肥法(現地試験), 昭和55年度試験成績概要書, p.16(1981)
- 7) TAKATOH, H.: Studies on deep placement of peat balls by mechanical means in rice fields. In Proceedings, Final INPUTS Review Meeting, INPUTS Project, East-West Center, Hawaii, USA, p.105~118(1979)
- 8) 石坂音治: インドフェノール・ニトロプルシド発色法, 微量拡散分析試験法。p.21-22, 南江堂(1969)
- 9) 御子柴 穆: 水稻の施肥位置, 日本土壤肥料学会編, 施肥位置と栽培技術—現状と問題点, p.139-194, (博友社)(1982)
- 10) Bremner, J. M.: Inorganic forms of nitrogen. In *Methods of Soil Analysis*. Vol. II. American Society of Agronomy, Madison, p.1179 (1965)
- 11) 狩野広美・米山忠克・熊沢喜久雄: 発光分析法による重窒素の定量について, 土肥誌, **45**, 549~559 (1974)
- 12) 山室成一: 発光分光分析法による ^{15}N 精密測定法, RADIOISOTOPES, **32**, 143-152 (1983)
- 13) 栗原 淳: 施肥位置による肥効増進, 肥効調節および環境保全, 日本土壤肥料学会編, 施肥位置と栽培技術—現状と問題点, p.5-47(博友社)(1982)