

機械施肥における肥料の繰出特性(2)

誌名	愛知県農業総合試験場研究報告 = Research bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center
ISSN	03887995
著者	伊藤, 清一 宮下, 陽里 澤田, 恭彦 濱田, 千裕
巻/号	19号
掲載ページ	p. 494-500
発行年月	1987年10月

機械施肥における肥料の繰出特性 (第2報)

粒状配合肥料の機械適性

伊藤清一*・宮下陽里*・澤田恭彦*・濱田千裕*

緒 言

肥料の性状は、肥料の種類によって大きく異なり、更に吸湿等の外的要因を受けることにより変化する。そのため、肥料の機械施用においては、使用する肥料と施肥機との適合性を考慮する必要がある。近年、省力・省資源技術として側条施肥田植機が開発され、著しい普及をみている。しかし、使用する肥料は現状のものであり、作業条件も一定でないことから作業精度が低下しやすい。特に、多湿時に作業を行う場合には肥料が詰まりやすく、均一散布が困難なことから、この解決策が今日的課題となっている。

筆者らは、前報⁽¹⁾において一般に普及している複化成肥料と粒状配合肥料(bulk blended fertilizer:以下「BB肥料」と言う。)について、その物理的性状(以下「物性」と言う。)と吸湿特性及び吸湿に伴う物性変化について検討した。その結果、肥料の流動性は、肥料の外観、形状によりほぼ定性的に判断でき、異なった形状の単成分肥料(以下「単肥」と言う。)が配合されているBB肥料の流動性は若干劣ること、肥料の流動性と硬度は吸湿に伴い著しく低下すること等を明らかにした。また、ある程度の流動性を保持するには、大気湿度RH60%以下で保管する必要があること等を報告した。

BB肥料は、物性の異なった粒状肥料が混合されていることから、機械施用に当たっては、繰出過程において成分むらが生じる可能性が考えられる。そこで、本報では、実用的な施肥技術としての見地から、BB肥料について、肥料の性状と肥料繰出装置に作用する振動及び肥料の供給方法(ホッパー内仕切りの有無)の関係について検討するとともに、繰出機構の違いが繰出精度に与える影響についても試験し、肥料の性状と施肥機との適合性について知見を得たのでここに報告する。

なお、本試験の実施に当たり、農林水産省農業研究センター機械作業部畑作機械化研究室の方々から懇切な御

指導と御援助をいただいた。また、肥料成分の分析には、当场作物研究所農芸化学研究室の方々に御協力いただいた。これらの方々的心より感謝の意を表する。

材料及び方法

実験1 肥料の性状、機体に作用する振動及び肥料の供給方法が繰出精度に及ぼす影響

(1) 試験構成

肥料の性状について、肥料の種類(2水準)、吸湿程度(4水準)と、供給方法(2水準)、機体振動(3水準)の4要因について検討した(第1表)。なお、機体振動の要因についてはBB464供試区のみ試験した。

(2) 供試肥料

水稻基肥用BB464と、そのN成分の80%をLPコート尿素で代替配合したLP入りBBについて、それらを25℃、RH85%環境下で、0、6、9、12時間吸湿させた肥料を供試した。なお、供試した肥料の含水比は第2表のとおりである。

第1表 試験の構成(実験1)

要 因	水 準
肥料の種類1)	BB464、LP入りBB
肥料の吸湿程度	吸湿時間0、6、9、12時間
供給方法	ホッパー内仕切り板有、無
機体振動2)	0、25、50Hz

注 1) 肥料の物性及び成分、構成単肥については前報参照
2) BB464供試区のみ試験した。

第2表 供試肥料の含水比(実験1)(%)

吸湿時間	0	6	9	12(時間)
BB464	1.53	3.39	4.54	5.16
LP入りBB	1.78	2.73	4.16	4.61

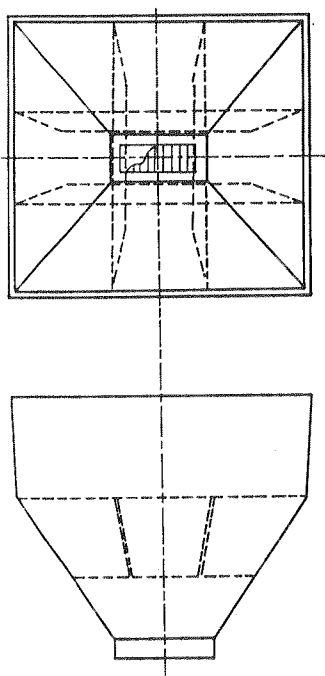
(3) 供試装置

肥料の繰出機構には、横溝ロール式を用い、繰出量が約18g/secになるようにロールの開度と回転数を設定した。

加振装置には1軸方向の油圧サーボ加振装置（振動シミュレータ：農林水産省農業研究センター実験装置）を供試し、これに繰出装置を装着して正弦波振動を水平方向に加えて実験を行った。なお、振動条件の設定に当たっては、実作業時の施肥機に加わる最も高い振動要因と考えられるエンジンの振動成分（ $f=n/30$ ）を考慮し、また、エンジンの回転数が800rpm前後で最も高い振動が発生することから⁽⁷⁾、本実験では、振動数を0及び25Hzとその高周波（ $f^2=2f$ ）である50Hzの3水準を供試した。なお、加速度は、各々の振動数において施肥機ホッパー内の肥料が動揺し始める 6.4 m/s^2 （25Hz）、 10 m/s^2 （50Hz）とした。

(4) 肥料の供給方法

一般に肥料をホッパーに供給する過程において、BB肥料の単肥間の流動性や粒形の違いによって粒度や成分がホッパー内で不均一に分布すると考えられる。これを防止するためには、ホッパー内を小区画に仕切ることが有効であると考えられる。このためホッパー内を9等分するアクリル製の仕切り板（第1図）を試作し、その有無が繰出精度に及ぼす影響について検討した。



第1図 供試ホッパーと仕切り板の概略図
（実線：ホッパー、破線：仕切り板）

(5) 調査項目、方法

繰出し前のホッパー内での肥料の粒度分布、成分の分布状態を調査するため、吸湿0時間の肥料について、静止状態及び25Hz-10分間加振後に、ホッパー中央部を層別（上層：表面～2cm、中層：5～7cm、下層：10cm～）に試料を採取した。仕切り板無しの場合は、上層と中層について、中央部と周辺部の試料を採取した。

次に、所定の条件において、肥料を繰り出し、以後30秒間隔で10秒間ずつ試料を採取した。採取した肥料の重量（結果の検討には、乾物換算した値を用いた。）、粒度分布及び成分を分析した。肥料の成分分析は、公定分析法⁽⁶⁾に基づき以下の分析法で行った。

N：ケルダール法

P_2O_5 ：バナドモリブデン酸法

K_2O ：原子吸光法

実験2 繰出機構、肥料の種類及び繰出量が繰出精度に及ぼす影響

(1) 試験構成

繰出機構としては、一般の施肥機に使用されている2機構を用い、これにはほぼ同様なホッパーを取り付けて供試した。肥料を3種類、繰出量は2水準供試し、2反復の要因実験を行った（第3表）。

第3表 試験の構成（実験2）

要因	水	準
繰出機構	横溝ロール式、回転目皿式	
肥料の種類	BB464、LP入りBB、側条施肥用BB	
繰出量	少、多（毎秒繰出量：5.4g/s、7.2g/s）	

(2) 供試繰出機構

肥料の繰出機構は、横溝ロール式と一部の施肥田植機に使用されている回転目皿式を供試した。両装置とも所定の繰出量が得られるように可変速モータで駆動した。

(3) 供試肥料

実験1で供試した2種類の肥料のほかに、 K_2O 成分肥料として、球状に造粒された流動性の高い塩加（ K_2O 塩加）が配合された側条施肥用BBを供試した。

(4) 繰出量の設定

繰出量は、5.4g/s（少）、7.2g/s（多）とした。これは、施肥田植機による作業（作業速度0.6m/s）を前提にして、N14%含有肥料で施肥量a当たり3、4kgに相当する。なお、繰出量の設定は、BB464で行った。

(5) 調査項目、方法

試料の採取は、所定の条件において肥料を繰り出し、以後40秒間隔で20秒間ずつ実施した。採取した肥料は重量を測定後、実験1と同様の分析法で成分を分析した。

試験結果及び考察

実験1

(1) 肥料の供給に伴う粒度、成分のホッパ内分布

静止時におけるホッパ内の層別、位置別の粒度分布を第2図に示した。なお、粒度の指標として試料の粒径分布から平均粒径を求めた。仕切り板有無の双方において、ホッパ中央部における層別の粒度分布をみると、下層になるにしたがい若干大粒化する傾向であったが、その差は僅かであった。仕切り板無しの状態での位置別分布をみると、上層ほど位置別変動が大きく、周辺部は、中央部に比べ大粒化する傾向を認めた。これは、肥料をホッパの中に投入する際、円錐状に肥料が堆積し、粒径の大きい粒子が周辺部に転がっていくためと推察された。以上の結果から、肥料の粒径、形状の差による分離がホッパ投入直後より生じることから、後述するようにホッパに仕切りやアジテータを取り付けるか、肥料の落ちる位置を移動させるなどの措置を行い、円錐をできる限り小さくする工夫が必要⁽³⁾である。なお、下層になるにしたがい、周辺部と中央部の粒度の差が僅かではあるが小さくなる傾向を示したが、これは、肥料の堆積した円錐が下層ほど小さいために肥料の分離が抑えられたためと考えられた。

仕切り板を使用した場合には、層別の分離は僅かにみられるが、位置による分離現象が個々の仕切りの中のみで発生するため、全体としては比較的齊一な粒度分布を得やすいと考えられる。

次に、ホッパ内における肥料の分布に及ぼす振動の影響を検討した。10分間加振後のホッパ内肥料の粒度分布を第3図に示した。仕切り板の有無に関係なく下層の粒度が加振前に比較して高くなり、層別の差異も振動により増加する傾向であった。重田らは、肥料をホッパに供給した状態で10 Hzの振動を加えたところ、上層の小径

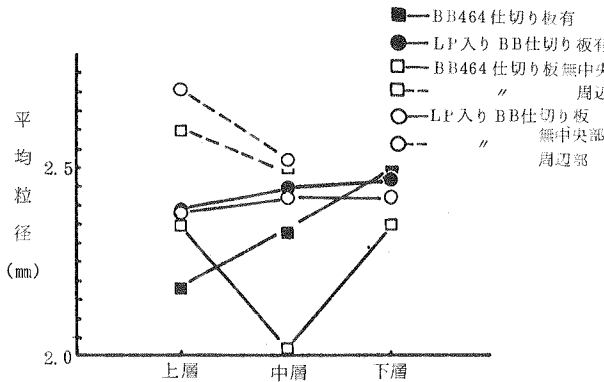
な肥料が下層の隙間に流入し、下層の平均粒径が低くなったと報告⁽⁸⁾しているが、本実験で供試した振動数では、肥料粒子は流動化し、流動性の高い粒子(球形、大粒)がホッパの側壁に沿って下層に移動し、下層の粒度が高くなったものと推察された。以上より、ホッパに供給された肥料は、作用する振動条件により粒子の移動形態が異なり、そのために、ホッパ内の粒度分布の変動傾向も異なる。また、その程度は、肥料の流動性が関与するものと考えられる。

肥料成分のホッパ内分布をみると、仕切り板を使用した場合には、BB464、LP入りBBともに、N、K₂Oは上、中、下層にはほぼ同程度分布したが、P₂O₅は、下層になるにしたがい多くなった。加振後の分布状態は、Nはほとんど変化しないが、K₂Oは中層に多く、下層では少なくなった。また、P₂O₅は加振前と同じように下層ほど多く分布し、その程度は、加振前に比べ高くなった。仕切り板を装置しない場合、層別分布傾向は仕切り板を装着した場合とほぼ同様であった。位置別分布をみると、N、K₂Oは、全体にはほぼ均一に分布したが、P₂O₅は、周辺部に多く分布した。加振後は、P₂O₅は周辺部に、K₂Oは中央部に移動する傾向を示した。

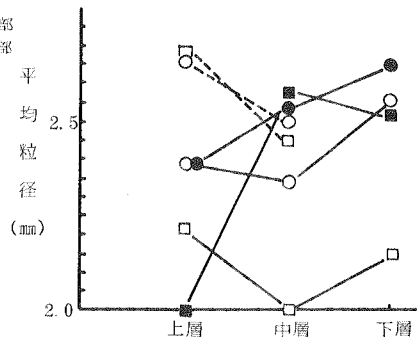
(2) 肥料の性状、機体に作用する振動及び肥料の供給方法が繰出精度に及ぼす影響

肥料は、施肥機からむらなく繰り出されることが望ましく、種類や吸湿程度によって繰出精度が左右されてはならない。本実験における繰出量の経時変化は、繰出開始直後には繰出量が少なく、その後多くなり、残量が少なくなると減少する傾向であった。繰出開始直後に繰出量が少ないのは、ホッパ最下層の肥料粒径が大きいため、繰出開始直後の肥料は粒径が大きく、見かけ密度が小さくなったためであろう。

繰出量の経時変動をみるため30秒間隔で10秒間ずつサンプリングした繰出量の変動係数を求めた。変動係数に影響する要因としては、肥料の吸湿程度が最も高く、BB

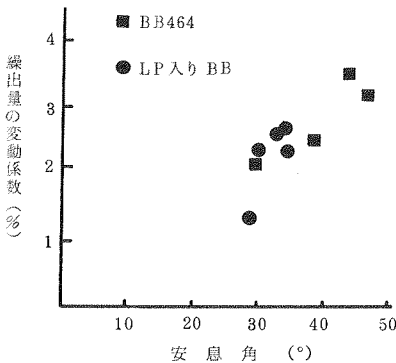


第2図 静止時のホッパ内粒度分布



第3図 振動後のホッパ内粒度分布

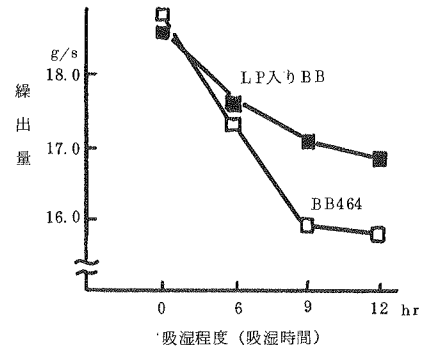
464の場合、吸湿0時間の肥料の変動係数が2.1%、同6時間の肥料が2.5%、同9時間の肥料が3.5%、同12時間の肥料が3.2%であった。LP入りBBの場合は、同じく1.4、2.2、2.5、2.5%であり、肥料の差も若干みられるものの、吸湿程度が高くなると、繰出量の経時的変動が大きくなる傾向であった。しかし、繰出量の変動係数は全て5%以下であり、ほぼ斉一な繰出しとみてよい。なお、前報で報告した吸湿した肥料の流動性（安息角）とこの変動係数との相関をみると、流動性が低下するにしたがい、変動係数が高くなる傾向を示し（第4図）、繰出量の変動は、その流動性が大きい要因であると考えられた。



第4図 肥料の流動性と繰出量の変動

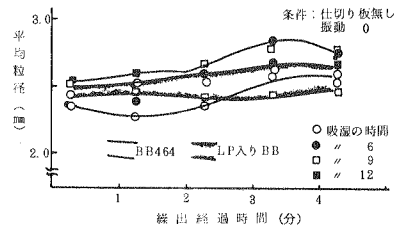
次に、測定した繰出量の平均を算出して（平均繰出量）その値に係わる要因について分散分析した結果、吸湿程度×肥料の種類、吸湿程度の要因効果が有意であった。そこで有意と認められた交互作用について考察すると、肥料の種類からみれば、肥料の種類に関係なく吸湿程度の影響がみられ、吸湿が進むにつれて平均繰出量が減少した。その傾向は、吸湿0時間の肥料>6時間の肥料>12時間の肥料間で著しく、9時間の肥料-12時間の肥料間では明確な差はみられなかった。次に、吸湿程度から考察すると、吸湿9時間の肥料と12時間の肥料では、LP入りBB>BB464の傾向であった（第5図）。肥料の吸湿程度により平均繰出量が大きく異なったことについては、供試肥料の見かけ密度がほぼ同じであることから、流動性の違いによるものと考えられ、吸湿程度が高い状態においてLP入りBB肥料の平均繰出量が多いのも、その状態における流動性に起因するものと考えられた。

繰り出された肥料の平均粒径は、繰出直後には大きく、その後、やや小径に推移し、徐々に大粒化する傾向にあった。これは、ホッパ中央部の肥料が、周辺部に比べ早く繰り出されるため、ホッパ内の粒度分布の差が、そのまま繰り出された肥料粒度の経時変動になったものと考え

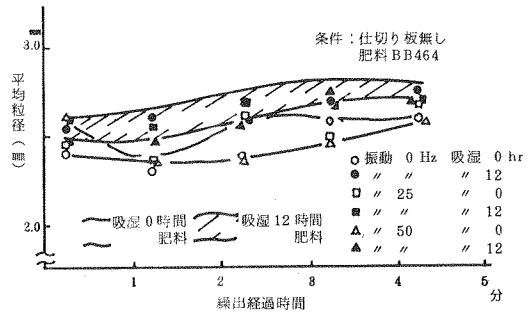


第5図 繰出量に係る要因効果

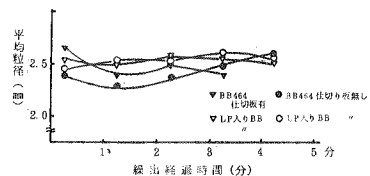
られた。次に、平均粒径の経時変動に及ぼす各要因の影響についてみると、肥料の種類については、LP入りBBはBB464に比べ、平均粒径の変動幅が小さく、吸湿程度による差も小さかった。また、この変動は、仕切り板を装着することにより若干小さくできた。肥料の吸湿程度、機体に作用する振動の影響はみられなかった（第6、7、8図）。



第6図 粒径の経時変化に及ぼす肥料の種類と吸湿程度

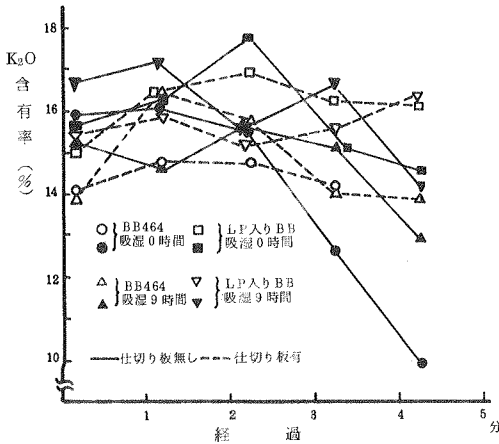


第7図 粒径の経時変化に及ぼす振動と吸湿程度の影響



第8図 粒径の経時変化に及ぼす肥料の種類と仕切り板の装着効果

繰り出された肥料の経時的な成分組成変動をみるため、 K_2O 成分の経時変化を示した(第9図)。肥料の種類、機体に作用する振動の要因については一定の傾向はみられなかった。仕切り板の有無については、仕切り板を使用した場合、比較的均一に繰り出されるが、使用しない場合には、 K_2O は繰出中後期より急激に減少する傾向を示し、仕切り板の使用効果がみられた。なお、BB464では、吸湿9時間の肥料より0時間の肥料の成分組成変動が大きかった。次に、成分毎に変動係数を算出し、成分の変動量を求めた(第10図)。成分別には、Nの変動量が最も小さく、 P_2O_5 、 K_2O の変動量はNに比べ大きく、仕切り板を使用しない場合には変動係数が15%~25%に達し、実用上支障のあることが推察された。吸湿程度と変動量の関係は、BB464を使用して仕切り板を装着しない場合、全ての成分において、吸湿0時間の肥料の変動量が大きい傾向を示した。そのうち、 P_2O_5 においては、吸湿0時間の肥料の他に吸湿6、9、12時間の肥料の変動量が大きく、 K_2O は、吸湿0時間の肥料の他に吸湿6時間の肥料が大きく、相対的に流動性の高い単肥の変動量が大きいことを示した。なお、機体に作用する振動が成分組成の変動に及ぼす影響はみられなかった。以上より、仕切り板を使用することにより、成分的には比較的均一に繰り出されることが明らかとなった。これは、上述のように、仕切り内では層別に若干の成分むらが見られるものの、ホッパ内全体からみれば相対的には成分の分布が均一であるためと、仕切り板を使用した場合、肥料は仕切りを単位として順に繰り出されるためと考えられた。

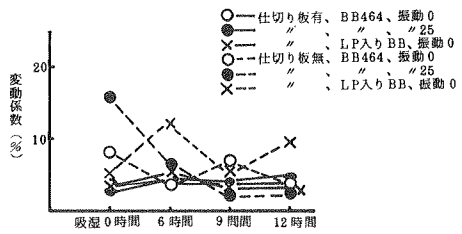


第9図 成分 (K_2O) の経時変化

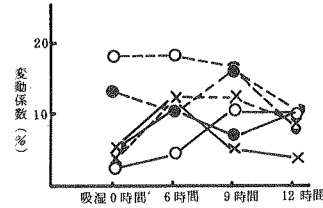
実験2

(1) 繰出量及び繰出量の経時的変動に及ぼす要因

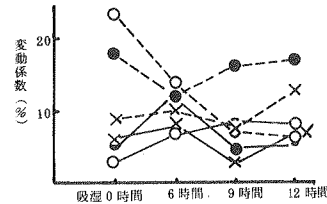
平均繰出量に対する肥料の違いの影響を検討した結果、流動性が比較的高い側条施肥用BBの繰出量がBB464、LP入りBBより多かった(第4表)。実験1においても



第10-1図 成分(N)の変動に及ぼす要因



第10-2図 成分 (P_2O_5) の変動に及ぼす要因



第10-3図 成分 (K_2O) の変動に及ぼす要因

同様な結果が得られ、肥料の流動性が優れると肥料繰出用の空隙への肥料の充填効率が良くなり、繰出量が増加するものと推察された。

第4表 繰出量に及ぼす各要因の影響(実験2)

要 因	横溝ロール式	回転目皿式
繰出量(少) BB464	100	100
LP入りBB	101.4	103.5
側条施肥用BB	135.7	113.6
繰出量(多) BB464	100	100
LP入りBB	96.9	95.9
側条施肥用BB	119.3	107.5

BB464の繰出量を100とした指数

繰出量の経時的変動は、変動係数が1~6%の範囲にあり、ほぼ均一な繰り出しが可能とみられた。繰出機構の違いが変動量に及ぼす影響は、回転目皿式が横溝ロール式より変動量が若干少ないものの、その差は変動係数で0.4%前後と僅少であった。

設定繰出量の多少による繰出精度に及ぼす影響はほとんど無く、両繰出機構とも供試施肥量の範囲内においては設定繰出量の多少に対する適応性が優れた。今後の施

肥作業は、他の作業との複合作業機として使用されることが多くなると予測される。一方では主作業の高速化が図られると、必然的に繰出量の増加が要求される。繰出量を増加させるためには、繰出部の駆動軸回転数を上げるか、繰出部の定量容積を大きくする方法が考えられるが、いずれも繰出部定量器（横溝ロールの場合はロール）の周速度が肥料の落下速度を上回ると繰出量の変動が大きくなる原因となる⁽⁴⁾。今後は繰出量の増加に対応できる繰出部の改良と繰出部周辺のホッパ形状についての検討が必要であろう。

(2) 成分の経時変動に及ぼす要因

繰出過程における成分の経時変動は、実験1と同様にNに比較して P_2O_5 、 K_2O の変動が大きい傾向を示したが、その差は実験1より小さく、Nは、変動係数で1.5～18%の範囲に、 P_2O_5 は、5～20%の範囲に、 K_2O は、2～24%の範囲であった。成分組成の経時変動に及ぼす要因としては、肥料の種類が最も高く、特に、側条施肥用BBの K_2O 変動が高かった。これは、側条施肥用BBに配合されているKC塩加が球状で、他の単肥に比べ流動性が高いためと考えられる。

なお、繰出機構による明確な差はみられず、成分組成の変動には繰出機構の影響はほとんど無いものとみられた。したがって、成分の均一な繰り出しには、肥料のホッパへの供給方法や肥料の性状が重要な検討事項と言えよう。

肥料の性状と施肥機との適合性

肥料の繰出量及びその変動に関与する要因としては、肥料の流動性が最も高い。肥料は、吸湿により流動性が低下すると、繰出量が減少し、繰出量の変動も大きくなる。また、側条施肥用肥料は、BB464やLP入りBBより流動性が高いために、繰出部の設定が同じでも繰出量が多い。以上より、繰出量を均一にするには、流動性の高い肥料を使用することが重要であり、また、肥料の見かけ密度が同じであっても流動性により繰出量に差異があるため、施肥作業の前には繰出量を確認する必要がある。

BB肥料を使用する場合には、成分むらが生じる。肥料の粒度変動と成分変動には、比較的高い相関関係があり⁽⁸⁾、上述したように単肥間の粒度や流動性が大きく異なると、その差異が成分組成変動に直接影響すると考えられる。また、吸湿程度により単肥間の流動性に差が生じた場合にも成分組成変動が大きくなることから、成分組成変動を小さくするためには、配合する単肥の性状ができるかぎり等しく、若干の吸湿では単肥間の流動性に差が生じないものを使用する必要がある。本試験で使用した3種類の肥料は、単肥間に粒形、粒径等に差異があり、流動性が異なるために成分組成変動を許容できる範

囲に抑えることができなかった。現状では、肥料の開発と共に、供給方法も含めた施肥機の改良が必要であろう。

現在市販されている施肥機に使用される繰出機構は、ほとんどが横溝ロール式であり、一部に回転目皿式のものがある。両機構とも繰出量の設定を行えば、繰出量の変動も少なく、所定の繰出量を得ることが可能である。また、ホッパ内を仕切ることにより、肥料を均一にホッパに供給でき、また、そのことにより繰り出された肥料の粒度及び成分変動を少なくすることが可能である。一般に作物は、施肥むらに対する補償作用をもっており、ある程度の施肥むらは許容されると考えられる。このことについて栗原^(2,5)は、変動係数30%以下の施肥むらは収量にほとんど影響しないと報告している。施肥むらには、施肥機の繰出むら（繰出量のむら、成分のむら）の他に、は場や作業条件などによる作業精度の低下によるものが考えられる。したがって、許容できる繰出むらは、30%よりかなり低いと考えられ、本研究での仕切り板を使用すれば、10～15%程度の許容できる施肥精度を得ることが可能である。

摘 要

B B肥料を供試し、肥料の性状と施肥機への肥料供給方法及び繰出機構が施肥精度に及ぼす影響について試験し、施肥技術としての肥料の性状と施肥機との適合性について次のような知見を得た。

1 平均繰出量及び繰出量、粒度の経時変動には、肥料の流動性が大きく関与している。平均繰出量は流動性により異なり、流動性の高い肥料は繰出量が多い傾向にある。また、流動性の優れた肥料を用いると均一な繰り出しが得られる。

成分組成の変動を低くするには、単肥間の性状が等しいことが望ましい。単肥のうち相対的に流動性が高い成分は、変動量が高い傾向を示した。

2 横溝ロール式、回転目皿式の繰出機構を使用した場合、繰出量の経時変動は6%以下であった。

3 BB肥料の繰出過程における成分変動は、 P_2O_5 、 K_2O で15～25%に達するが、ホッパ内を9分割する仕切り板を装着することにより、肥料を均一にホッパに供給でき、繰出時の肥料の成分変動を10%以下にすることが可能となった。

参 考 文 献

1. 伊藤清一・宮下陽里・澤田恭彦・濱田千裕, 1986, 機械施肥における肥料の繰出特性(第1報)肥料の吸湿程度と物性, 愛知農総試研報18, 438~444.
2. 栗原淳, 1974, 施肥の不均一性と作物収量, 肥検回報27, 1~15.
3. 栗原淳・越野正義, 1986, 肥料製造法, 養賢堂, 東京, p. 173~176.
4. 手塚右門ら, 1979, 施肥播種機に関する研究, 農事試研報(4), 107~113.
5. 日本土壌肥料学会, 1982, 施肥位置と栽培技術, 博友社, 東京, p. 42.
6. 農林水産省農業技術研究所, 1982, 肥料分析法, 7~38.
7. 農林水産省農業研究センター, 1984, 関東東海農業試験研究成績・計画概要集-総合農業・作業技術関係-, 75~76.
8. 農林水産省農業研究センター畑作機械化研究室, 1985, 畑作の機械化に関する研究, 31~40.

Delivery Characteristics of Fertilizing Machine (II)

Condition of compatibility between properties of bulk blended fertilizer and fertilizing machine

Seiichi ITO, Hisato MIYASHITA, Yasuhiko SAWADA and Yukihiko HAMADA

Summary

In order to raise the delivery accuracy of fertilizing machine, there are many points which must be clarified about conditions on compatibility between properties of fertilizer and fertilizing machine. We, in our previous paper, had mentioned of the physical properties and hygroscopic of granular fertilizer with reference to the effect of physical properties on hygroscopic degree. In this paper, we described an experimental study about conditions on compatibility between properties of fertilizer and fertilizing machine using bulk blended fertilizer from the practical point of view.

The results obtained were as follows;

1. Fluidity of fertilizer, which turned less flowing with moisture absorption, had effect considerably on the mean delivery rate and uniformity of delivery rate. With high fluidity of fertilizer, delivery rate increased and this composition was uniformed compare with low one.

In order to decrease the fluctuation of this composition, it was desirable that properties of individual straight fertilizer was as equal as possible. The higher fluid straight fertilizer among structures of bulk blended fertilizer showed a violent variation among the process of delivery.

2. In the case of using feed mechanism such as pulling out roll type and inclined feed plate type, a change on standing of delivery rate was lower than 6 per cent.

3. We made partition plate, which divided into 9 parts and attached to a hopper, and tried a few experiments. In that case, fluctuations of P_2O_5 and K_2O during operation were lower than 10 percent. Consequently it might be quite all right to consider that this partition plate was of much practical use.