学会賞受賞論文

(業績賞・技術)

新規水稻用水面施用剤「豆つぶ剤」の開発

藤田 茂樹^{1,*}, 平岡 学¹, 池内 利祐², 小林 方美³

¹クミアイ化学工業株式会社製剤技術研究所

²クミアイ化学工業株式会社研究開発部企画課

³クミアイ化学工業株式会社生物科学研究所

(2015年6月9日受理)

Development of the novel formulation “MAMETSUBU” for the paddy rice

Shigeki FUJITA,¹ Manabu HIRAOKA,¹ Toshihiro IKEUCHI² and Masami KOBAYASHI³

¹Kumiai Chemical Industry Co., Ltd. Formulation Technology Institute

²Kumiai Chemical Industry Co., Ltd. Research & Development Department Planning & Coordination Section

³Kumiai Chemical Industry Co., Ltd. Life Science Research Institute,
100, Shibukawa, Shimizu-ku, Shizuoka, Shizuoka 424-0053, Japan

Keywords: agricultural formulation, “MAMETSUBU” formulation, labor-saving, paddy field, application.

はじめに

現代の農業を取り巻く情勢として、農業従事者の高齢化とそれに伴う世代交代が挙げられる。また、農業従事者組織が法人化するとともに、農作地の大規模化が進みつつあり、農作業の全般的な効率化がますます重要になってくると考えられる。水田の農作業については、農業用機械の発達により田植えや収穫に関わる労働負荷が劇的に軽減するとともに、農薬防除に関しても、昨今の高性能の農薬有効成分の出現により、作業に要する時間は大幅に短縮された。しかし、そのような中でも農薬散布に関しては、労力を軽減する効率的な農薬施用を可能とする省力化製剤の市場ニーズがあった。例えば、水田用の除草剤は、10a当たり3kgまたは1kgを散布する粒剤が主流であるが、数kgの粒剤を持ったまま田植え直後のぬかるんだ水田に入り、水田一面に均一に薬剤を散布

することは、散布に要する時間もおかかるが、それ以上に肉体的、および精神的にも大きな負担が掛かるものであった。

このようなニーズの中で、水という拡散媒体がある水稲分野に限られるが、水田に入らずに畦畔から散布することをコンセプトに色々な省力化製剤が開発された。1991年には、小規模の水田であれば、水田に入ることなく畦畔から散布することが可能な直接散布フロアブル剤が開発され、使用面積を増やしていった¹⁾。しかし、フロアブル剤は、容器を手で振りながら液体製剤を水田に散布するため、風上に向かって散布した場合は薬液が衣服に付着したり、細かな液滴が水田外まで飛散してしまう問題があった。一方、1994年にはフロアブル剤と同様に畦畔から散布ができ、かつ、10a当たり10個程度の製剤を水田内に投げ入れることで施用が可能なジャンボ剤が開発され、広く普及していった²⁾。この製剤は散布者への被曝がなく、非常に省力的な散布が可能な製剤といえる。しかし、これらの省力化製剤は、水を拡散媒体として有効成分が広がるものであるため、藻類などの障害物がある水田では成分の拡散が著しく阻害される場合があった³⁾。

このような背景の中で、市場にある省力化製剤の課題や、

* 〒424-0053 静岡県静岡市清水区渋川100

E-mail: s-hujita@kumiai-chem.co.jp

© 日本農薬学会

その他の製剤化の視点を踏まえ、使いやすい新たな省力化製剤の開発を進めた³⁻⁵⁾。

1. 豆つぶ剤の設計

農薬製剤は固体製剤と液体製剤に大別されるが、新規の水面施用剤を設計するに当たり、散布時の飛沫が使用者にかかること、および稲体に薬液が付着する懸念、散布後大量に発生するポリ容器の処理の問題を考慮し、固体製剤が新規製剤開発の出発点となった。

次に、水田内に入らず畦畔からの散布を基本とし、ある程度不均一に散布しても水田全体に有効成分が拡散する省力化製剤を製剤要件として考えた。そのためには、粒剤のように水底に沈んだ製剤から有効成分が徐々に溶出するのではなく、水田内の水に有効成分が短時間で分散する製剤、すなわち、水面に浮遊して短時間で崩壊分散する拡散型の粒状製剤が望ましいと考えた。

ところで、省力化製剤の成分の拡散は、製剤自体の拡散力だけではなく、風や水温の変化による水の対流の影響によるところが大きい。従来、省力化製剤は、障害物がない水面を有した水田では優れた拡散性を示すが、水田を耕起した際掘り起こされる稲藁の残骸や、春先に発生する藻類や表層剥離によって、成分の拡散が著しく阻害される場合がある (Fig. 1)。このような藻類をはじめとする障害物の有無、さらに水田の規模や形、風の強さや向きなど、決して一様でない水田に対しても成分の拡散性不良を起こす影響を極力少な

くするためには、使用者が思った通りに、場合によっては色々な散布用の道具、機械を用いてばら撒くことが可能な製剤が好ましいと考えた。また、このように製剤を広範囲にばら撒くことは、使用する人にとっても農薬散布に対する満足感、安心感に繋がると考えた (Fig. 2)。具体的な製剤を設計するに当たり、製剤の大きさを多面的に検討した結果、造粒径が5mmと、従来の粒剤よりも大きな豆つぶ状の製剤が散布のしやすさ、飛距離、散布機への適性においてバランスが取れていると判断した。また、軽量化の視点から10a当たりの施用量は、当時のフロアブル剤やジャンボ剤の半量である250g/10aとした。以上の設計のもと「豆つぶ剤」を開発した (Figs. 3, 4, 5)。

2. 豆つぶ剤の調製

2.1. 豆つぶ剤の組成

豆つぶ剤の組成は、農薬有効成分、界面活性剤、製剤に硬さを付与する結合剤、中空体、賦型剤としての固体担体を必須成分とする。

界面活性剤は、製剤が水面で崩壊・分散し、成分を拡張させる性質を付与するものであるが、用いることができる界面活性剤は豆つぶ剤の有効成分によって異なるため、製剤化検討の都度、試行錯誤を繰り返して界面活性剤の種類や配合量、組み合わせを決定する。有効な界面活性剤は、製剤が水に浮いたときの界面、すなわち、固相 (製剤) と液相 (水)、気相 (空気) の境界で作用するものであり、製剤を構成する

Fig. 1. Spreadable lack of active ingredient. (A) Peeling of the paddy field surface and (B) Insufficient effect of herbicide.

Fig. 2. State immediately after application. (A) Jumbo formulation and (B) "MAMETSUBU" formulation.

Fig. 3. Plan of the “MAMETSUBU” formulation.

Fig. 4. “MAMETSUBU” formulation.

固体の粒子の隙間に水が浸入すると同時に粒子を分散させる作用する界面活性剤を使用する。

中空体は製剤が水に浮く性質を付与するために配合する。一般的な中空体としては、例えば、木粉やコルク片等の植物由来の中空体、パーミキュライトや発泡パーライト、発泡シラス、軽石等の鉱物質の中空体があるが、豆つぶ剤においては、単量体であるアクリロニトリルあるいはメタクリル酸エステルを共重合体させたマイクロスフェアを用いた。マイクロスフェアは粒径が数十～数百 μm の球状の中空体である。この中空体はそれ自体が軽量であり高い浮力を有すること、これを配合すると押し出し造粒が極めて容易となり、押し出しの際の圧力が減少し粒が圧密な状態になりにくくなるため、製剤組成に対し1～数%と少量の配合で十分な浮力が得られると考えられる。そのため、前述の一般的な中空体を用いる場合と異なり、製剤を構成する他の原料を余裕を持って配合することが可能となった。

Table 1. Physical properties of the “MAMETSUBU” formulation

Item	Physical property
Bulk density	0.4
Granule size (3–8 mm)	99%
Moisture content	1.2%
Floating ratio on the water	100%
Dispersion time	6–9 min.

2.2. 豆つぶ剤の製造

豆つぶ剤は前項記載の原料を必須成分として、通常の押し出し造粒型の粒剤と同様の工程にて製造する。具体的には、原料を均一に混合し、適量の水を加えてさらに混合した混練物を5mmの穴が開いた金属製のプレートから押し出し造粒し、得られた造粒物を転動させることで丸みを帯びた形状まで整粒後、所定の温度で乾燥し、粒長が3～8mm程度となるようにふるい分けして最終製剤となる。得られた製剤の大きさにはある程度のばらつきが生じるが、散布するときにある程度広がって飛ばすことのできる製剤となりむしろ好ましい。

2.3. 豆つぶ剤の物化性

得られた製剤の物化性の代表値を示す (Table 1)。嵩密度 (Bulk density) は500mL容のメスシリンダーに製剤を500mL入れ、そのときの製剤の重量を体積で除して求めた。粒度 (Granule size) については、一定量の製剤を目開き8mmと3mmのふるいでふるい分けし、3～8mmに分布する製剤の重量を供試した製剤の重量で除して求めた。水分 (Moisture content) はカールフィッシャー式水分測定器にて測定した。水面浮遊率 (Floating ratio on the water) は製剤を任意に50粒選び取り、水を張った大型のシャーレに全粒

Fig. 5. Dispersion and spread of the “MAMETSUBU” formulation.

を投入し、直後に水面に浮遊する粒の数を計測した。崩壊分散時間 (Dispersion time) は、水温20°Cの水を張った大型のシャーレに製剤1粒を投入し、粒が水面で完全に崩壊分散するまでの時間を10回繰り返し計測した。

3. 豆つぶ剤の散布

豆つぶ剤を設計するに当たり、特徴づけたのは種々の方法で使用者が思った通りに散布することができるということであり、製剤だけでなく散布方法についても検討を行い、豆つぶ剤の散布方法として有効な方法を確立した^{6,7)}。

3.1. 手まき散布

道具や機械を用いずに最も単純に手作業で散布する方法であり、10～30a程度の水田が対象である。手袋をはめ、ひとつかみおよそ10g程度を、畦畔を歩きながら下手投げで豆まきのように数mごとに散布する。飛距離は3～10mで10aの水田を一回りすると約3分で散布が終了する (Fig. 6A)。

豆つぶ剤の散布は基本的には畦畔を一周しながら各辺より行うが、3.2.～3.4. 節の散布方法を含め、風が強いときなどは風上から散布することも有効である。

3.2. ひしゃく散布

簡単な道具を用いて散布する方法であり、1ha程度までの水田に有効な散布方法である。磯や堤防から魚釣りをするときのコマセを撒くひしゃくを用いて散布する。ひとすくい度20～25gを下手投げで投げ入れると機械を用いることなく約15m程度の飛距離が得られる。畦畔を歩きながら数mごとに散布する (Fig. 6B)。

3.3. 袋散布

フロアブル剤のボトル散布をイメージした散布方法であ

Fig. 6. Application method of the “MAMETSUBU” formulation. (A) Hand application, (B) Dipper application, (C) Package application, (D) Engine duster application, (E) Unmanned helicopter application, and (F) Application to the water inlet.

り、10～30a程度の水田が対象である。豆つぶ剤を包装しているアルミ袋に特徴があり、袋を開ける位置によって開口部が全開とならない構造となっており、この状態で包装袋を手で握り持ち、フロアブル剤のボトル散布の要領で、畦畔を歩きながら数mごとに振り撒くように散布する (Fig. 6C)。

3.4. 動力散布

粒剤や粉剤を散布する動力散布機を用いて散布する方法である。粒剤や粉剤を散布する場合は、動力散布機のシャッター開度を調整し一定量を連続的に散布するが、豆つぶ剤の

場合は、シャッターレバーの開閉を人為的に瞬時にを行い、断続的に1ショットずつ、畦畔を歩きながら数mごとに散布する。飛距離は約25mであり、大型水田向きの散布方法といえる (Fig. 6D)。

3.5. 無人ヘリ散布

粒剤の散布装置を搭載した無人ヘリを用い、水田上空3~4mを飛行しながら空中から散布する方法である。シャッター開度（メータリング開度）を調整し連続的に散布するか、断続的に開閉することでスポット的に散布する。散布に要する時間は1ha当たり約3分と短く、大型水田向きの散布方法といえる (Fig. 6E)。

3.6. 水口施用

水田の水をいったん落水しておき、再び入水するときに水口付近に豆つぶ剤を一気に投入し、水の流れを利用して水田全体に成分を拡散させる処理方法である。本方法はフロアブル剤の施用方法の一つであるが豆つぶ剤にも適用することができる (Fig. 6F)。

3.7. ジャンボ剤

製剤をばら撒くことが豆つぶ剤の製剤設計上の思想ではあるが、水溶性フィルムに包装しジャンボ剤として散布することも施用形態の一つである。1袋当たり25gの製剤を、通常のジャンボ剤と同様に10a当たり10個を畦畔歩きながら数mごとに投げ入れて施用する。投げ入れられた製剤は、水田の水で水溶性フィルムが溶解し、中の豆つぶ剤が放出されて散らばりながら崩壊・分散する。

4. 豆つぶ剤の拡散性

4.1. 初期評価

試作した豆つぶ剤の妥当性を評価するには、最終的には実際の水田を用いた評価が必要であるが、段階的に種々の評価を行う。

まず、製剤が最低限具備する特性として、水に浮く性質、水面で崩壊・分散する時間と挙動を把握するために、水深4cmとした40cm×25cmのコンテナに製剤1粒を投入し評価する。評価は複数の連性で行うが、期待する特性が得られるまで製剤組成の検討を繰り返し行う。

次の段階として、実験室規模の成分拡散性評価を行う。実験は幅15cm、長さ4mのプラスチック製雨トイを用い、水深4cmとした水路の片端に、水路の面積に応じた薬量の製剤を施用し、所定時間ごとに所定の場所から採水し、水の中に含まれる有効成分を機器分析によって測定する。

雨トイを用いた拡散性評価の結果より製剤を選抜し、温室内容モデル試験に供試する。この試験は幅25cm、長さ8mの水路に模擬水田を調製し、端から50cmの地点に薬剤を処理

し、50cmごとに移植したイネへの薬害と除草効果を調査する。この評価系により製剤自体の拡散性能力を相対的に把握し、拡散性がより良好な製剤に改良を重ねる。

4.2. 小規模圃場試験

実験室および温室規模の評価より選抜された製剤は圃場試験に供試されるが、圃場規模で製剤自体の拡散性能力を評価するために、小規模水田を用いたモデル試験を実施する。

以下に小規模圃場試験の実例を示す。除草剤有効成分としてピリミノバックメチル1.8%、プロモブチド36.0%、ベンスルフロンメチル2.0%、ペントキサゾン8.0%を含有する豆つぶ剤を調製し、2m×20mの細長い水田の短辺側の端に、本水田の面積に対応する薬量10gを全量処理し、処理30日後の除草効果および稲への薬害を5mごとに調査した。その結果、処理地点から20m地点の全域で、ノビエ、コナギ、一年生広葉に対して高い除草効果を示し、またイネに対する薬害は問題なかった。以上の評価において、豆つぶ剤の自己拡散力は非常に優れていることを確認した (Fig. 7)。

4.3. 実規模圃場試験

最終的に実規模の圃場試験によって豆つぶ剤の拡散性を評価する。

まず、農薬としての効果を確認するための試験として、10aの水田を用い、豆つぶ剤を畦畔から散布する実規模圃場試験を実施する。

以下に実例を示す。除草剤有効成分としてピリミノバックメチル1.8%、プロモブチド36.0%、ベンスルフロンメチル2.0%、ペントキサゾン8.0%を含有する豆つぶ剤を調製し、18m×56mの水田の畦畔から手まき散布を行い、処理13日後と38日後の除草効果および稲への薬害を水田の四隅と中央部分を対象に調査した。その結果、いずれの地点でも、ノビエ、コナギ、一年生広葉、イヌホタルイに対して高い除草効果を示し、またイネに対する薬害は問題なかった。以上より、豆つぶ剤の拡散性、実用的な効果は問題ないことを確認した。

また、豆つぶ剤の散布方法の妥当性評価として、種々の大きさの水田に対し、第3節に記載した散布方法によって豆つぶ剤を施用後、所定時間ごとに所定の場所から採水し、水の中に含まれる有効成分を機器分析によって測定する。

以下に実例を示す。除草剤有効成分としてピリミスルファン2.7%を含有する豆つぶ剤を調製し散布した。いずれも水田の中には入らずに散布したが、散布条件については、水田の規模や風向きなどを考慮し、都度、最も実用的と思われる方法とした。各採水地点の水に含まれる成分濃度を分析し、均一性の尺度として標準偏差を平均値で割った変動率を算出した。数値は低い方がよいが、評価期間内で30%以下であれば実用上問題ないと考えている。いずれの散布方法におい

Fig. 7. Field trial.

Fig. 8. Hand application. (A) Outline of the paddy field, and (B) spreadability of the ingredient.

Table 2. The application method and the coefficient of variation of each experiment

Application method		Paddy field scale	Application time	Coefficient of variation
Hand application	One side of windward	20 a	2 min	3.7%
Package application	All sides	20 a	5 min	4.5%
Dipper application	All sides	1 ha	10 min	15.1%
Engine duster applicatipn	All sides	50 a	7 min	7.8%
Unmanned helicopter application	Eight points	85 a	3 min	24.7%
Application to the water inlet	One point	20 a	Few sec	6.0%
Jumbo formulation	20 bags	20 a	5 min	7.5%

でも成分の均一性は良好であった (Table 2, Fig. 8 (手まき散布のみ例示)). 以上より, 豆つぶ剤の各種散布方法の拡散性は問題なく, 散布方法として妥当であることを確認した。

おわりに

大きさが3~8mm程度の豆つぶ状であり, 水面で崩壊分散する水稻用の水面施用剤「豆つぶ剤」を開発した。この製

剤は、水田に入ることなく、使用者が思った通りに畦畔から散布することができる省力化製剤である。製剤自体の有効成分の拡散性を水田のモデル試験を行って評価し、非常に優れた拡散性を示すことを確認した。また、実際の圃場を用いて有効成分の拡散性を評価し、農薬の効果としても実用上問題ないことを確認した。農薬の散布を必要とする水田は必ずしも同じ状態ではないが、豆つぶ剤は多様な散布特性、およびすぐれた拡散性により、大きさ、形状、風向風速、拡散性の障害となる水面の浮遊物の状態など一様ではない水田に対し、合理的な農薬処理が可能な水面施用剤と考えられる。

豆つぶ剤は2000年に市場に登場したが、当初は認知度が高いジャンボ剤としての散布形態の方が使用面積も多かったものの、その後徐々にばら撒き型の散布形態も増加し、近年は当社の製剤比率においてジャンボ剤を上回るに至った。また、日本で生まれた製剤が韓国にも渡り、2006年以降市場で用いられるようになった。普及状況としては、2013年末時点で、日本国内の農薬登録数は20品目、普及面積約136,000ha、海外は韓国で5品目、普及面積約17,000haに至った。

謝 辞

豆つぶ剤の登録、普及する上での種々の評価を実施して頂いた公益財団法人日本植物調節剤研究協会、一般社団法人日本植物防疫協会、一般社団法人農林水産航空協会、全国農業協同組合連合会の関係者の皆様に感謝致します。

引 用 文 献

- 1) 辻 孝三：日本の農薬開発，ソフトサイエンス社，p. 63, 2003.
- 2) 小池好智：今月の農業，化学工業日報社，6月号，pp. 92-97, 2005.
- 3) 藤田茂樹，加藤 進：農林水産技術研究ジャーナル**34**，21-24,

2011.

- 4) 藤田茂樹，赤司宗貴，櫻田直巳，加藤 進：第20回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨集，p. 87, 2000.
- 5) 杉村俊雄，赤司宗貴，藤田茂樹，大川哲生：日本農薬学会第28回大会講演要旨集，p. 115, 2003.
- 6) 農薬概説，日本植物防疫協会，p. 114, 2012.
- 7) http://www.jpo.go.jp/shiryou/s_sonota/hyoujun_gijutsu/nouyaku/0030.html(2015年2月3日閲覧)

略 歴

藤田 茂樹（ふじた しげき）

生年月日：1959年11月13日

最終学歴：1983年3月静岡大学農学部農芸化学科卒業（生物化学研究室）

研究テーマ：農薬の製剤研究

平岡 学（ひらおか まなぶ）

生年月日：1970年10月8日

最終学歴：1998年3月静岡県立大学大学院博士課程修了（薬品製造化学教室）

研究テーマ：農薬の製剤研究

池内 利祐（いけうち としひろ）

生年月日：1963年5月19日

最終学歴：1986年3月静岡大学農学部農芸化学科卒業（生物化学研究室）

研究テーマ：農薬の製剤研究

小林 方美（こばやし まさみ）

生年月日：1967年12月18日

最終学歴：1991年3月宇都宮大学農学部農学科卒業（現：雑草科学研究センター）

研究テーマ：除草剤の研究・開発