

水田除草剤の水田内挙動と流出抑制について

天野昭子・小林忠彦

Behavior and Control of Herbicides in Paddy Field

Shoko AMANO and Tadahiko KOBAYASHI

要約：水田除草剤のチオベンカルブとメフェナセットについて、水田内での挙動を調査すると共に、流出抑制のための水管理について検討した。土壌への吸着と水深との間には相関が見られ、チオベンカルブは水深0.8cmのとき投入量の約90%が吸着したが、3.2cmでは60%未満となった。メフェナセットは水深が深くなるほど土壌吸着量は減少したものの、チオベンカルブほど顕著ではなく、水深3.2cmにおいても添加量の95%以上が土壌へ吸着した。チオベンカルブ及びメフェナセットの流出軽減対策として、薬剤が土壌に吸着しやすいよう極端な深水管理は避け、散布後少なくとも4日間は田面水を動かさず、また田面水中の薬剤量が低くなるまでの14日から20日間は水田の止水を徹底させることが、効果および環境負荷軽減の両面から見て最も有効な対策と考えられた。

キーワード：チオベンカルブ、メフェナセット、吸着、水深、水田

緒言

水稻栽培では、作期の多くを湛水状態で管理されるため、水を介して使用農薬が水田外へ流出する危険性は早くから指摘されている^{1) 2)}。中でも除草剤はその使用時期や量が地域ごとにまとまりやすく、流出調査対象としてよく取り上げられてきた³⁾。

水田の用排水をはじめとする水の動きは、農村の区画整備が進んではいるものの、構造上各地域の地形にゆだねるものが多く、排漏水の管理、制御の徹底が困難であるのが現実である。また、これまでの水管理指導は、主に生産向上と薬剤の効果を重視したものであった。そこで、筆者らは流出軽減のための水管理方法を検討する必要があると考え、水田土壌を中心に除草剤散布後の薬剤の挙動と水との関係について調査を行った。本試験では、使用量も多く、混合剤としても処理されるチオベンカルブとメフェナセットを対象とし、水田土壌、田面水及び排水路での農薬濃度を調査すると共に、薬剤の土壌への吸着と水深との関係について調査し、流出抑制について検討したので報告する。

なお本研究を行うに当たり、中山間農業技術研究所の鍵谷俊樹氏、生物産業技術研究所の形見武男氏にご指導、ご助言を頂いた。ここに記し感謝の意を表する。

実験方法

1 圃場実験

1.1 実験圃場

岐阜県農業技術研究所内にある水田 (10m×40m) で薬剤散布を行い、水田内及びその排水路を対象に調査を行った (図1)。圃場は研究所内を流れる排水路の一

番下流に位置し、用水は井戸水を使用した。

調査期間中の気温および降水量は、同市内に位置するアメダスよりデータを引用した (図2)。

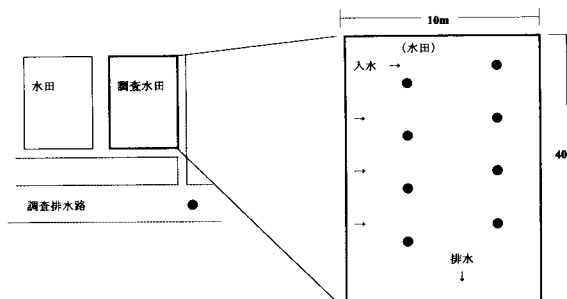


図1 調査地点
注) ●は試料採取地点を示す

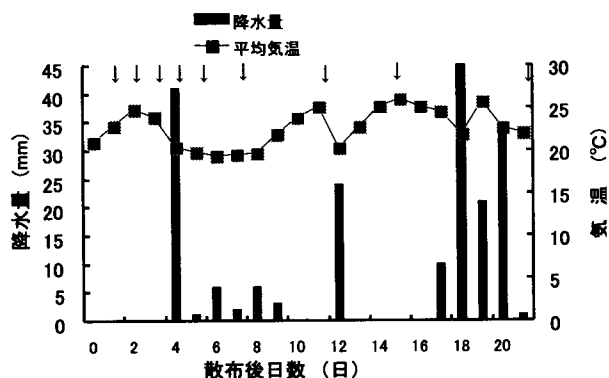


図2 試験期間中の平均気温と降水量
注) ↓はサンプリングを行った日を示す

1. 2 供試薬剤

使用薬剤は水田で使用登録のある除草剤でチオベンカルブとメフェナセットを使用した。

圃場への散布は、ウルフエース1キロ粒剤51[®]（成分：チオベンカルブ15%、メフェナセット3%、ベンスルフロンメチル0.51%・クミアイ化学工業(株)）を使用した。

2000年5月29日にイネ苗（品種はハツシモ）を移植し、2000年6月5日・午前10時に10a当たり1kgを散粒器で均一に散布した。水管理は、薬剤散布前に水深10cmとなるように調整し入排水口を塞いだ。その後は人為的な入排水は行わなかった。

1. 3 試験概要

調査水田の水、土壌および水田の排水路下流の水を採取して各薬剤の濃度を調査した。調査は、薬剤散布直前、散布後1、2、3、4、5、7、11、15、及び21日とし、午前10時から11時の間に行った。また田面水については、散布6時間後にも調査を行った。水深は土壌表面から水面までの値を5ヶ所で測定し平均値をとった。

水田土壌の調査についてはあらかじめ採取地点を定め、蓋付きの採土管（直径5cm、深さ5cm）を土壌表面いっぱいまで差し込み、土壌表面が動かないよう静かに上下に蓋をして採取した。田面水は、20mlのガラス製シリンジを用いて採取した。

1. 4 分析試薬及び装置

アセトン（アセトン300）、ジクロロメタン、チオベンカルブ標準品及びメフェナセット標準品は、和光純薬（株）の残留農薬分析用を用いた。ケイソウ土カラムはケムエルト[®]（20ml容量・Varian製）を用いた。

定量分析には、ガスクロマトグラフ-質量分析計（GC-HP6890、MS-HP5973・HP製）を用いた。カラムはHP-5MS（ ϕ 0.25mm、膜厚0.25mm長さ30m・HP製）を使用した。

1. 5 分析方法

田面水は100ml、水路の水は500mlを分析に供した。試料にジクロロメタン100mlを加えて振とう、抽出し、脱水、留去後アセトンで3mlに定容した。

土壌は、水分を吸引濾過して除いた後アセトン100mlを加えて振とう、抽出した。アセトンを留去した後、ケイソウ土カラムを用いてジクロロメタンに転溶し、溶媒を留去後アセトンで3mlに定容した。

定量はGC-MSを用いた。検出限界値はいずれも0.001mg/Lである。

2 吸着試験

2. 1 供試土壌

土壌は農業技術研究所内の試験用水田より採取した細粒灰色低地土を用いた。

pHは6.2、電気伝導度（EC）は $60.8\mu\text{S}$ 、陽イオン交換容量（CEC）は $10.9\text{meq}/100\text{g}$ 、有機炭素含有量は1.32%である。採取した土壌を風乾したあと粉碎し、2mm目の篩にかけたものを試験に供した。

蓋付きのガラス瓶に供試土壌を入れ、蒸留水を加えて48時間馴染ませた後、土壌表面が露出するようピペットで静かに蒸留水を取り除いた。

2. 2 供試薬剤

アセトンに溶かしたチオベンカルブ及びメフェナセットの標準品をフラスコに所定量取り、窒素を吹き付けて溶媒を乾固させた後、蒸留水を添加して使用濃度に調製した。これを薬剤水溶液として添加試験に供した。

2. 3 吸着試験方法

蓋付きガラス瓶（直径4cm）中の供試土壌の上に、 1cm^2 当たりの薬剤量が $0.8\mu\text{g}$ 、 $1.6\mu\text{g}$ 、 $3.2\mu\text{g}$ となり、またそれぞれに水深が0.8cm、1.6cm、3.2cmとなるように薬剤水溶液を調整し、静かに添加した。その後、蓋をして 25°C 条件下で48時間静置した後、添加した水溶液と土壌を全量採取して各薬剤量を分析した（図3）。

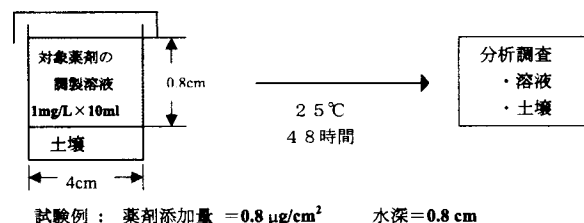


図3 吸着試験の概要

2. 4 分析方法

薬剤水溶液および蒸留水は全量をピペットで回収し、ケイソウ土カラムを用いてジクロロメタンに転溶後、留去しアセトン3mlで定容した。

土壌は全量を取り、アセトンで抽出、留去後ジクロロメタンに転溶した後アセトン3mlで定容した。

定量はGC/MSで行った。GC/MSの定量条件等は前述の圃場試験の方法と同じである。

添加回収試験は、薬剤水溶液10mlおよび供試土壌10gに10mg相当を添加し、上記の方法で分析を行った。チオベンカルブの回収率は水試料が $110.2\pm 15.0\%$ 、土壌試料が $90.32\pm 1.80\%$ 、メフェナセットは水試料が $121.0\pm 12.5\%$ 、土壌試料が $108.1\pm 13.5\%$ であった。

結果及び考察

1 圃場試験

1.1 チオベンカルブの水田での挙動

水田に散布したチオベンカルブの調査結果を表1に示した。田面水中のチオベンカルブ量は、散布から6時間後に最高値の40.5g/10aを示したあと減衰し、21日後には検出されなくなった (<0.05g/10a)。土壌中の薬剤量は散布3日後に最高値の29.8g/10aを示した後ゆっくりと減少した。田面水及び土壌中量の推移を、チオベンカルブの成分投入量である150g/10aを100とした値で図4に示した。チオベンカルブは速やかに田面水中に溶出した後土壌へと吸着され、散布3日後には土壌中量は田面水中量を超えた。降雨により田面水量が初期設定量以上となった4日目から7日目の間に再び田面水中の薬剤量が土壌中量をわずかに上回ったが、その後水中のチオベンカルブは急速に減衰した。

排水路におけるチオベンカルブの濃度は、薬剤散布1日後に0.015mg/Lで、2日後に最高値0.074mg/Lを示したが、散布7日後には検出限界値以下となった。これは田面水中の薬剤溶出量の推移と動きが一致していた。排水路で確認されたチオベンカルブについて、排水路での薬剤濃度と水量から流出量を求めたところ54.1gであった。また、調査地点に排水が流入する水田（調査水田を含めて約50a）についてチオベンカルブ剤の使用を調査したところ、その成分投入量は約300gであり、これら水田での薬剤散布日は調査水田と同じ日であった。先に求めた流出量と成分投入量から次式により計算したところ、チオベンカルブの流出率は36.0%であった。

流出率(%) = $\frac{\sum \{ \text{農薬濃度(ppm)} \times \text{排水路水量 (m}^3 \text{)} \}}{\text{成分投入量 (g)} \times 100}$

表1 チオベンカルブの水田内挙動

| 散布後日数 (日) | 水深 (cm) | 水田内 | | 排水路 (mg/L) | 排水路の流量 (m ³ /day) |
|--------------|------------|---------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| | | 田面水中 (g /10a) | 土壌中 (g /10a) | | |
| 散布前 | 10 | <0.1 | <0.05 | ND | 89.9 |
| 0.25 | 10 | 40.5±3.60 | - | - | - |
| 1 | 8 | 34.8±4.58 | 2.5±0.70 | 0.015 | 89.9 |
| 2 | 7 | 28.8±5.68 | 13.0±3.35 | 0.074 | 89.9 |
| 3 | 6 | 24.3±7.03 | 29.8±13.5 | 0.047 | 89.9 |
| 4 | 12 | 22.3±3.70 | 28.3±6.93 | - | - |
| 5 | 12 | - | - | ND | 179.7 |
| 7 | 10 | 15.0±5.43 | 12.0±3.58 | ND | 89.9 |
| 11 | 8 | 1.8±0.68 | 4.3±0.90 | - | - |
| 15 | 7 | 0.5±0.10 | 6.0±0.78 | ND | 89.9 |
| 21 | 5 | <0.05 | 3.0±1.13 | ND | 89.9 |

注) 水田内の調査はいずれも8連で行った

NDは検出限界値未満を示す (<0.001mg/L)

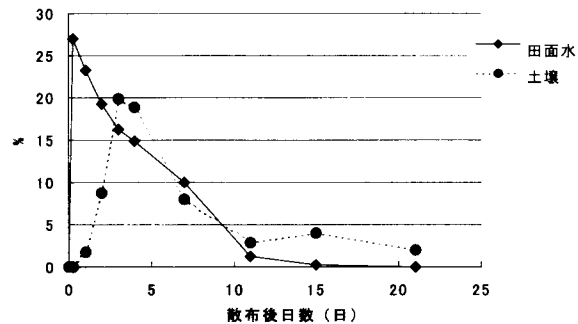


図4 水田中におけるチオベンカルブの挙動

1.2 メフェナセットの水田での動態

水田におけるメフェナセットの動態について、チオベンカルブと同様に調査した結果を表2に示した。田面水中のメフェナセット量は薬剤散布から2日後に7.3g/10aの最高値を示し、その後徐々に減衰して21日後には検出されなくなった (<0.05g/10a)。土壌中の薬剤量は散布4日後に18.3g/10aの最高値を示した後、やや減衰しているものの、その割合はとても緩やかであった。田面水中及び土壌中量の推移をメフェナセットの成分投入量30g/10aを100とした値で図5に示した。メフェナセットはチオベンカルブよりもやや遅れて田面水中に溶出した後土壌へと吸着され、散布4日後に土壌中量は田面水中量を超えた。

排水路におけるメフェナセットは散布2日後にのみ0.049mg/Lが検出され、田面水中の薬剤溶出量が最も高い日と一致した。また、調査地点に排水が流入する水田（調査水田を含めて約50a）についてメフェナセット剤の使用を調査したところ、その成分投入量は約165gであり、これら水田での薬剤散布日は調査水田と同じ日で

表2 メフェナセットの水田内挙動

| 散布後日数 (日) | 水深 (cm) | 水田内 | | 排水路 (mg/L) | 排水路の流量 (m ³ /day) |
|--------------|------------|---------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| | | 田面水中 (g /10a) | 土壤中 (g /10a) | | |
| 散布前 | 10 | <0.1 | <0.05 | ND | 89.9 |
| 0.25 | 10 | 4.7±0.75 | - | - | - |
| 1 | 8 | 6.8±0.33 | 1.0±0.20 | ND | 89.9 |
| 2 | 7 | 7.3±1.20 | 3.0±1.63 | 0.049 | 89.9 |
| 3 | 6 | 5.3±0.78 | 4.0±1.75 | ND | 89.9 |
| 4 | 12 | 4.3±0.75 | 5.5±1.73 | - | - |
| 5 | 12 | - | - | ND | 179.7 |
| 7 | 10 | 3.5±0.60 | 4.3±0.28 | ND | 89.9 |
| 11 | 8 | 3.0±1.05 | 2.8±0.40 | - | - |
| 15 | 7 | 1.8±0.10 | 3.8±0.68 | ND | 89.9 |
| 21 | 5 | <0.05 | 2.6±1.28 | ND | 89.9 |

注) 水田内の調査はいずれも8連で行った

NDは検出限界値未満をしめす (<0.001mg/L)

あった。排水路で確認されたメフェナセットの流出量は18.3gで、これらの値より求めたメフェナセットの流出率は11.1%であった。

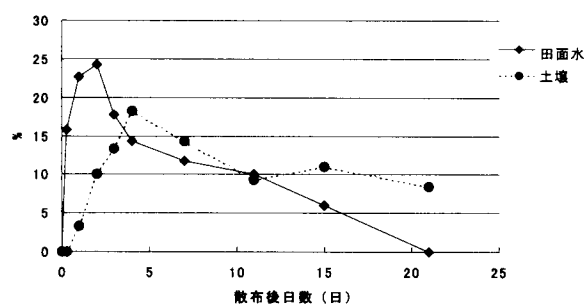


図5 水田中のメフェナセットの挙動

チオベンカルブ及びメフェナセットは散布後2日以内に田面水中へ溶出、拡散し、水田土壌へ吸着された。田面水中では両薬剤とも散布21日後には検出限界値以下となったが、土壌中の減衰は緩やかで、21日後にはチ

オベンカルブは初期投入量の2.0%、メフェナセットは8.8%の量が確認された。また、調査期間中、散布4日から9日後に連続した降雨が見られた(図2)が、排水路の調査では両薬剤とも降雨に伴う流出は認められなかった。

2 土壌吸着試験

チオベンカルブの吸着試験の結果を表3に示した。チオベンカルブの土壌吸着量は、単位面積当たりの投入量が多いほど吸着量も多くなったが、投入量当たりの割合で示すと、水深0.8cm区では87.9から91.4%、1.6cmでは70.3から77.3%、3.2cmでは41.9から58.1%となり、それぞれの区で大きな差は見られなかった。水深と吸着割合との間には高い相関が見られ、水深が深くなるほど吸着量は減少した。

メフェナセットの吸着試験の結果を表4に示した。メフェナセットの土壌吸着量は、チオベンカルブ同様、単位面積当たりの投入量が増えるに伴い増加した。投入量

表3 チオベンカルブの土壌への吸着割合

| 水深 (cm) | チオベンカルブ添加量 | | 土壌吸着量 (μg) | 吸着割合 (%) |
|------------|-----------------------|------|---------------|-------------|
| | (μg/cm ²) | (μg) | | |
| 0.8 | 3.2 | 40 | 35.3±0.12 | 88.2 |
| | 1.6 | 20 | 18.3±0.03 | 91.4 |
| | 0.8 | 10 | 8.8±0.03 | 87.9 |
| 1.6 | 3.2 | 40 | 30.7±0.16 | 76.7 |
| | 1.6 | 20 | 14.1±0.23 | 70.3 |
| | 0.8 | 10 | 7.7±0.08 | 77.3 |
| 3.2 | 3.2 | 40 | 16.8±1.52 | 41.9 |
| | 1.6 | 20 | 11.6±0.34 | 58.1 |
| | 0.8 | 10 | 5.3±0.72 | 53.2 |

注) 土壌吸着量調査は4連で行った

表4 メフェナセットの土壌への吸着割合

| 水深 (cm) | メフェナセット添加量 | | 土壌吸着量 (μg) | 吸着割合 (%) |
|------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------|
| | ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) | (μg) | | |
| 0.8 | 3.2 | 40 | 39.8 \pm 0.31 | 99.4 |
| | 1.6 | 20 | 19.7 \pm 0.21 | 98.3 |
| | 0.8 | 10 | 9.7 \pm 0.12 | 97.3 |
| 1.6 | 3.2 | 40 | 39.7 \pm 0.23 | 99.2 |
| | 1.6 | 20 | 19.6 \pm 0.02 | 97.6 |
| | 0.8 | 10 | 9.7 \pm 0.26 | 97.0 |
| 3.2 | 3.2 | 40 | 38.5 \pm 0.10 | 96.3 |
| | 1.6 | 20 | 19.4 \pm 0.06 | 96.9 |
| | 0.8 | 10 | 9.6 \pm 0.02 | 95.7 |

注) 土壌吸着量調査は4連で行った

当たりの割合で見ると95.7から99.4%となり、いずれの添加容量においても初期投入量の95%以上が吸着していた。水深と吸着割合との相関をみたところ、水深が深くなるほど吸着量は減少したが、チオベンカルブのそれより減少割合は少なかった。

土壌吸着量は、薬剤濃度や土壌の有機炭素含量等の条件に左右されることが分かっている⁵⁾が、今回の吸着試験ではチオベンカルブとメフェナセットは水深が深いほど土壌吸着量は減少する傾向にあった。特にチオベンカルブでは水深が3cm以上では吸着割合は投入量の60%以下となったが、圃場試験の結果では田面水中の最高溶出量を100とするとチオベンカルブが水深6cmで73.6%、メフェナセットが水深12cmで75.3%となり、室内試験の結果とはやや異なっていた。しかし、水深が10cmを越えた状態でもメフェナセットは75%以上が土壌に吸着しており、水深に影響を受けにくいという点は合致していた。

3 流出抑制

排水路における薬剤の最高検出値は、チオベンカルブが0.074mg/L、メフェナセットが0.049mg/Lで、どちらも公共用水域で定められている環境基準値（チオベンカルブ0.02mg/L・以下基準値とする）あるいは水質評価指針値（メフェナセット0.009mg/L・以下指針値とする）を越えていたが、これらの基準値および指針値は年間の平均値として示されており、両薬剤とも散布5日後には検出されないことから、流出は極めて一時的なものであり問題はないと考えられる。薬剤の流出状況は、チオベンカルブは田面水中濃度の推移に合わせるように山形を描いており、メフェナセットは田面水中濃度が最も高い時期に合わせ一時的に検出された。このことから水田で使用される農薬の流出は田面水の流出（横移動）に伴う

ものが大きいと推測され、田面水中の薬剤濃度が高いうちは水田からの漏排水を発生させないようにするのが、薬剤流出を抑制、防止するうえで最も効果的な方法と考えられる。この点から見て、除草剤散布後3から5日間は田面水を動かさないとするこれまでの指導内容は妥当と思われる。また、先に挙げた基準値あるいは指針値を目安とすれば、田面水中の薬剤濃度がそれぞれの値となるのにチオベンカルブは14.4日、メフェナセットは19.9日かかると算出された。このチオベンカルブの値については、散布14日後という山本ら（1999）⁶⁾の報告と一致した。

以上のことより、チオベンカルブ及びメフェナセットの流出軽減対策として、薬剤が土壌に吸着しやすいよう極端な深水管理は避け、散布後少なくとも4日間は田面水を動かさず、また田面水中の薬剤量が低くなるまでの14日から20日間は水田の止水を徹底させることが、効果および環境負荷軽減の両面から見て最も有効な対策と考えられた。

引用文献

- 1) 石川莞爾：生体および環境中における除草剤ベンチオカーブの挙動に関する研究。日本農業学会誌，5，287-293(1980)
- 2) 丸論：水田用ライシメーターからの農薬流出と水溶解度の関係。日本農業学会誌，15,385-394(1990)
- 3) 加藤三奈子，丸論：水田除草剤使用時における河川水中のベンチオカーブとモリネートの消長。千葉農試研報，19,127-132(1978)
- 4) 渡辺貞夫，渡辺重信，伊藤和敏：モデル水田における除草剤クロメトキシニルおよびベンチオカーブの水系への流出と土壌中での消長。日本農業学会誌，10,529-533(1985)

- 5) Sato, T., Kohnosu, S., and John, F.H., : Absorption of Butachlor to Soils. J. Agric. Food Chem., 35,397-402(1987)
- 6) 山本幸洋, 澤川隆, 金子文宣, 高崎強 : 除草剤チオベンカルブの水田からの流出特性および流出抑制対策. 千葉農試研報. 40,51-54(1999)

Abstract

Behavior of thiobencarb and mefenacet in paddy field, and the water management for outflow control were investigated. Between the amount of adsorption to soil and water depth, the correlation was seen. The soil adsorption rate of thiobencarb is about 90% at the 0.8cm water depth, but less than 60% at the 3.2cm water depth. Mefenacet is hold on the soil in less amounts as the water depth increases. However there is not such a clear tendency as will thiobencarb. More than 95% of mefenacet is adsorbed at the 3.2 cm water depth.

The three following points are mentioned as a measure to outflow mitigation.

- 1) Avoidance of extreme depth water management for herbicides to stability adsorb.
- 2) Don't move flooded water for at least for days after application.
- 3) Put stopping drain of a paddy field into practice for 14 to 20 days until the underwater amount of herbicides becomes low.

Keywords

Thiobencarb, Mefenacet, Adsorption, Water depth, Paddy field