イマゾスルフロン・オキサジクロメホン・ピラクロニル・ ブロモブチドフロアブル剤の短時間入水による水口処理における除草効果、 水稲への影響および有効成分の拡散

濱村謙史朗[★]・大島匡郎・中村直紀・奥野潤一・稲垣貴之・橋本仁一

キーワード: 水稲用除草剤, 水口処理, フロアブル, 短時間入水

Keywords: paddy herbicide, water inlet application, suspension concentrate, flowable, shortened irrigation time

緒 言

水稲用除草剤の剤型には慣用的な名称として1キログラム剤、ジャンボ剤、フロアブル剤、豆つぶ剤や顆粒水和剤などがあるが、中でもフロアブル剤(SC: suspension concentrate 剤とも呼ばれる)は散布器具を必要とせず、拡散性があるために1キログラム剤のように全面均一散布を前提としない省力的な剤型として最初に上市され、現在でも日本の水田で広く使用されている(Hamamura 2018)。フロアブル剤の散布方法は、水田の周囲を歩行しながら容器を振って薬液を水田内に処理する周縁部散布が一般的で、他にも田植同時処理、水口処理、ラジコンボートやラジコンヘリでの散布などが可能である。この内、水口処理は水田への用水の入水時に、容器から水口に一括投入して流し込む処理方法である。水口処理は処理時間が短時間ですむため省力的ではあるが、十分な拡散を得るためには、水田の均平度が高く、5~6cm深の入水が6時間以内で可能な水田で、水深0~1cm(ひたひた水)または2~3cmから新たに2~4cm深の入水を2~5時間で行う条件で使用する(植調協会 1995)。現場では投入後の入水に長時間を要することや、所定時間経過後に再度圃場に足を運んで止水する手間が煩わしいなど、処理方法としての改良や工夫が求められている。

一方、顆粒水和剤については「顆粒水口処理」(濱田ら 1999)として、フロアブル剤と同様な水口処理が可能なこと

に加え(大越ら 2011)、処理時の水深を5~6cmとした条件で、指定のメッシュバッグに充填した顆粒が溶けるまでの15分以上入水する(数時間の入水を必要としない)、より省力的な方法も可能とされている(日産化学工業株式会社 2020)。通常、入水時間が短い場合、田面水の移動量が少ないことから、有効成分の圃場内への均一な拡散には不利と考えられるが、顆粒水和剤のもつ水中で速やかに崩壊し分散する特性が、これを可能としていると考えられる。フロアブル剤も、微粒子(粒子径0.1 μ m~15 μ m)にした固体原体を水中に分散させた懸濁製剤であり(日植防協会 2020)、処理後の速やかな分散性を有することから、顆粒水和剤と同様に短時間の入水による処理方法が実用化できるのではないかと考えた。

そこで本報では、顆粒水和剤のような15分程度の短時間入水による水口処理がフロアブル剤にも適用できるか確認するため、異なる2つの形状の圃場条件において、有効成分の田面水中の濃度変化、除草効果および水稲への影響を調査し、その有効性と実用化に向けた課題を検討した。

材料および方法

試験 1. 矩形条件での従来入水および短時間入水による水口処理の除草効果と水稲への影響

試験は千葉県山武市板附の水田圃場で行った。供試圃場の土壌は、砂質埴壌土、腐植含有量2.0%, pH 5.6の条件であった。2018年4月17日に代掻きし、4月20日にコシヒカリの稚苗をクボタ社製の乗用田植え機(4条植え)で移植した。田植機の進行方向は圃場の長辺方向とした。栽植密度は18株/m²とした。移植時の苗質は草丈22.5cm, 葉齢2.0葉, 地上部乾物率13.0%であった。

移植同日の移植後に、圃場内に畔シート(塩化ビニル製、波形、幅25cm, 長さ20m/本)を土壌に10cm程度差し込むことで、短辺18.5m, 長辺49.0m, すなわち長辺:短辺が3:1、面積907m²の矩形の試験区(以下「矩形条件」と略記)を2区作成し、それぞれを従来の5時間かけて入水する方法で水口処理する区(従来入水区)と入水時間を18分程度と短くした水口処理区(短時間入水区)とした(第1図)。両区とも水口処理用の入水口(試験区の水口)を長辺の中央部に設けた。有効成分の田面水中濃度、除草効果および水稲へ

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
〒110-0016 東京都台東区台東 1-26-6

[★] hamamura@japr.or.jp
Kenshiro Hamamura[★], Masao Oshima, Naoki Nakamura, Junichi Okuno, Takayuki Inagaki and Jinichi Hashimoto: Weeding efficacy, crop injury and dispersion uniformity of the suspension concentrate of imazosulfuron, oxazicloromefone, pyraclostrobin and bromobutide in some trials of water inlet application with shortened irrigation time in paddy rice cultivation
Japan Association for Advancement of Phyto-Regulators (JAPR),
1-26-6 Taito, Taito-ku, Tokyo 110-0016, Japan
(2019年9月28日受付, 2020年10月10日受理)

第1図 試験1 矩形条件での短時間入水区および従来入水区の見取り図

の影響を調査するため、各試験区に調査地点を9か所設けた。試験区内の田面水の土畦畔からの漏水等の横浸透防止や栽培期間中の湛水深管理のため、試験区外周の畦畔や農道との間に1m幅の水路を設けた。また、除草効果を確認するため両試験区の隅部1か所に、25cm幅のプラスチック製段ボールで成形した1m×1m(1m²)の仕切り枠により無処理区を設置した。なお、供試圃場はパイプラインが整備され、試験区外周の水路部分に安定した水量を供給することができた。

供試剤は従来の使用方法での「水口施用」の適用を有する、イマゾスルフロン・オキサジクロメホン・ピラクロニル・プロモブチドフロアブル剤(有効成分含有率:イマゾスルフロン1.7%,オキサジクロメホン0.56%,ピラクロニル3.7%,プロモブチド16.3%)を用い、処理薬量は500mL/10aとした。

5月1日に供試剤を処理した。処理前には1時間の入水で水位が1cm上がるよう予めパイプラインの蛇口の流量調節を行った。すなわち、試験圃場の水口側でかつ長辺側の水路を100m²(幅1m×長さ100m)となるよう畔シートで仕切り、仕切った部分の水路の水を全て抜き、パイプラインの蛇口を開いて100m²部分の水路に用水を流し入れ、10分ごとに増加する水深を計測し、目標の流量となるよう蛇口の開度を調節した。パイプラインの蛇口に設置されている桝口(直径15cm)よりやや大きめの開口面積となるよう、試験区と水路を仕切った畔シートに幅15cmの開口部を設け試験区への入水口とし、入水開始までは畔シートで塞いだ。試験区の排水口を閉じ、入水口側水路に溜まった用水の水深が12cmになった時点で入水口を開いて、用水を試験区内へ入水した。入水開始後、供試剤を入水口の試験区側1点に高さ15cmから一気に流し入れた。初めに短時間入水区に入水・供試剤を投入し、規定時間入水して入水口を閉じ、続いて従来入水区の入水口を開き同様に供試剤を投入しそのまま規定時間入水を行った。また、処理時と止水時には物差しを用い調査地点9か所の水深を測定した。短時間入水区は供試剤処理の前日

に湛水し、処理時の水深は5~9cm、調査地点の平均は7.0cmであった。入水時間は18分、入水後の水深は5~9cm(平均7.2cm)であった。従来入水区は前日に落水し処理時の水深は1~2cm(平均1.5cm)、入水時間は5時間、入水後の水深は6~7cm(平均6.8cm)であった。いずれの試験区とも処理時の田面水に浮遊物はなかった。止水後は試験区外周の水路の水深を5cm程度に湛水して試験区内外の水位差を小さく維持し、試験区内の田面水が区外へ漏出するのを防止した。処理時の雑草の葉齢は、タイヌビエ(*Echinochloa oryzicola* Vasing.)が2.2葉期、コナギ(*Monochoria vaginalis* (Burm. f.) Presl var. *plantaginea* (Roxb.) Solms-Laub.)が1.2葉期、イヌホタルイ(*Schoenoplectus juncooides* (Roxb.) Palla)が2.1葉期、アゼナ(*Lindernia procumbens* (Krock.) Borbas)が0.5対期(第1葉展開中)で、水稻は3.3葉期であった。有効成分濃度の分析に供する田面水の採取を、処理終了直後から6日後(144時間後)まで経時的に行った。採水が終了するまで、降雨を除き試験区内への入水は行わなかった。調査地点における除草効果は、処理後41日目の6月11日に、各地点付近の1m²に発生している雑草を抜き取り草種ごとに乾物重を測定し、無処理区内(1m²)の値と比較することで評価した。水稻への影響は、除草剤によるとみられる水稻茎葉部の褐変症状、草丈抑制や茎数抑制などの生育抑制症状の害徴が最大となる時期に、-:害徴なし、+:害徴あり、++:著しい害徴ありの3段階で評価した。水稻の生育調査は、移植後52日目の6月11日および移植後91日目の7月20日に行い、各地点1m²の範囲で連続した5株の2条分(計10株)について草丈と茎数を測定した。

試験2 極細矩形条件での短時間入水による水口処理における除草効果と水稻への影響

試験は茨城県牛久市の水田で行った。供試圃場の土壌は、火山灰埴壌土、腐植含量4.5%の条件であった。2018年5月16日に代掻き、5月21日にコシヒカリの稚苗をクボタ社製の乗用田植え機(6条植え)で移植した。田植機の進行方向は圃場の長辺方向とした。栽植密度は18株/m²とした。移

第2図 試験2 極細条件（短時間入水）での試験区の見取り図

植時の苗質は草丈15.0cm、葉齢2.2葉、地上部乾物率は17.6%であった。供試剤および単位面積あたりの処理薬量は、試験1 矩形条件と同様とした。

短時間入水での直線的な拡散性を評価するため、試験区は短辺が水口側4m、水尻側6m、長辺が95m、すなわち長辺：短辺が19:1、面積475m²の極細矩形（以下「極細条件」と略記）とした（第2図）。試験区の作成手順や用いた資材は、試験1 矩形条件と同様とした。試験区の入水口は4m短辺側の中央部に設けた。除草効果および水稻への影響を調査するため、試験区の水口部（水口側畔シートから区内0.2m先）および水口部から10mおきに最遠部の94.8m地点（排水口側畔シートから区内0.2m手前）まで11か所の調査地点を設けた。また、除草効果および水稻への影響を評価するため、試験区外に無処理区と完全除草区をそれぞれ2区ずつ設置した。なお、供試圃場はパイプラインが整備され、安定した水量を供給することができた。

5月28日（移植後7日）に供試剤を処理した。流量の調節方法、試験区への入水方法や供試剤の処理方法は試験1 矩形条件と同様としたが、事前の流量調節には試験区入水口外側の15m²（2.5m×6m）部分を利用し、試験区内の水位が1時間あたり1cm上がる流量とした。処理時の水深は水口付近が4cm、水尻付近が7cm、調査地点の平均は5.5cmであった。入水時間は15分で、入水後の水深は平均5.9cmであった。有効成分の田面水中濃度分析に供する採水は矩形条件と同様に経時的に行った。72時間後の採水時に水口付近の水深が1cmとなったため、採水後すぐにこれが5cmになるまで入水した。処理時の田面水には浮遊物はなかった。処理時の雑草の葉齢は、ヒメタイヌビエ（*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. var. *formosensis* Ohwi）が2葉期、コナギが1.5葉期、イヌホタレイが1.5葉期で、水稻は3.2葉期であった。各地点および無処理区の雑草発生量の調査は、処理後38日目の7月5日に試験1 矩形条件と同様の方法で行った。水稻への影

響も同様に、3段階で害徴程度を評価した。水稻の生育調査は移植後49日目の7月9日に行い、試験1 矩形条件と同様の範囲・株数で草丈および茎数を測定した。

試験3. 除草剤有効成分の田面水中濃度の変化

試験1 矩形条件の両試験区、試験2 極細条件（短時間入水）ともに、有効成分の田面水中濃度の変化を調べるため、入水を終えた止水直後から経時的に採水した。試験1 矩形条件の短時間入水区では止水直後（処理18分後）、処理5時間後、24時間後、48時間後、72時間後、96時間後、144時間後の計7回採水し、従来入水区では止水直後（処理5時間後）、24時間後、48時間後、72時間後、96時間後、144時間後の計6回採水した。試験2 極細条件（短時間入水）では止水直後（処理15分後）、処理5時間後、24時間後、48時間後、72時間後、96時間後の計6回採水した。試験1 矩形条件では、3名で区内に入り排水口側から入水口側に向かって区内を移動しながら3地点ずつ合計9地点で採水し、1回の採水開始から終了までに約5分を要した。極細条件は1名で11地点を採水した。1地点ごとに採水後は水路に出て次の採水地点に移動するという作業を繰り返し、1回の採水開始から終了までに約10分を要した。採水には5000μLのマイクロピペットを用い、各調査地点の田面水の中層部からできるだけ濁り水を含まないように2.0mLずつ、2反復で採水した。採水後は直ちにアセトニトリル2.0mLを加えて攪拌した後5℃冷暗所に保存した。冷暗所での保存期間は採水後7日以内とした。分析直前にサンプル前処理用フィルター（Econofilter PTFE 13mm, 0.2μm, Agilent社製）を通して検液とした。液体クロマトグラフ質量分析計（LC-MS/MS, Triple Quad LC/MS 6410, Agilent社製）を用いて各成分濃度を分析した。使用した装置および操作条件は第1表に示した。

定量限界は4成分とも1μg/Lとした。試験1 矩形条件において短時間入水区の水口処理直前に採水した田面水を用いて、定量限界相当および検出が見込まれる2濃度（10およ

第1表 液体クロマトグラフ・質量分析計の装置および操作条件

液体クロマトグラフ・質量分析計 (LC-MS/MS)

高速液体クロマトグラフ：1200 シリーズ, Agilent 製

質量分析計：Triple Quad LC/MS 6410, タンデム四重極型, Agilent 製

データ処理装置：MassHunter, Agilent 製

液体クロマトグラフの操作条件

カラム：Zorbax Eclipse Plus C18 (Agilent 製), 内径 2.1 mm × 長さ 100 mm, 粒径 1.8 μm

溶離液：ギ酸アンモニウム水溶液 (0.1% ギ酸含有, 10 mM) / アセトニトリル = 3/7

流速：0.2 mL/分

カラム温度：40°C

質量分析計の操作条件

イオン化法：エレクトロスプレーイオン化法 (ESI), 正イオンモード

イオン化ガス温度：350°C

イオンスプレー電圧：4000 V

フラグメンター電圧：100 V

イオン検出法：MRM 法

設定質量数およびコリジョン電圧：

除草剤成分	プリカーサーイオン (m/z)	プロダクトイオン (m/z)	コリジョン電圧 (V)
イマズスルフロン	413	156	20
オキサジクロメホン	376	190	10
ピラクロニル	315	169	30
プロモブチド	312	194	5

第2表 添加回収試験の試験結果

除草剤成分	添加濃度 (μg/L)	回収率 (%)	平均回収率 (%)	RSD (%)
イマズスルフロン	1000	97, 95, 94	95	1.6
	10	91, 90, 83	88	5.0
	1	103, 100, 93	98	5.2
オキサジクロメホン	1000	102, 100, 99	100	1.5
	10	96, 94, 92	94	2.1
	1	97, 96, 95	96	1.0
ピラクロニル	1000	98, 97, 96	97	1.0
	10	93, 93, 91	92	1.3
	1	87, 82, 76	82	6.7
プロモブチド	1000	101, 99, 98	99	1.5
	10	81, 79, 77	79	2.5
	1	94, 82, 82	86	8.1

び 1000 μg/L) の計 3 濃度による添加回収試験をそれぞれ 3 反復で行った結果, 平均回収率はイマズスルフロン 88~98%, オキサジクロメホン 94~100%, ピラクロニル 82~97%およびプロモブチド 79~99%といずれの成分とも良好であった (第2表)。また, 分析用サンプルを 5°C 冷暗所で保存したため, 添加回収試験と同じ田面水を用いて保存安定性試験を行った。保存期間は 10 日間とし, いずれの成分とも 1 濃度 (40 μg/L), 2 反復で行った。その結果, 平均回収率はイマズスルフロン 99%, オキサジクロメホン 90%, ピ

第3表 保存安定性試験の試験結果

除草剤成分	添加濃度 (μg/L)	回収率 (%)	平均回収率 (%)	RSD (%)
イマズスルフロン	40	99, 98	99	0.7
オキサジクロメホン	40	92, 88	90	3.1
ピラクロニル	40	103, 96	100	5.0
プロモブチド	40	92, 91	92	0.8

ラクロニル 100%およびプロモブチド 92%といずれの成分とも良好であった (第3表)。

結 果

試験 1. 矩形条件での従来入水および短時間入水による水口処理における除草効果と水稻への影響

処理日以降, 採水期間中の日平均気温は, 試験圃場からの直線距離約 9 km のアメダス横芝光の観測では 17.6~22.2°C, 現地で実測した処理時の気温は 25.5°C, 流入水の水温は 22.5°C であった。風速・風向は処理開始時, 1 時間後, 5 時間後の 3 回測定し, いずれも南東から 1~2 m/s の微風条件であった。処理 33 時間後 (5 月 2 日午後 8 時頃) から処理 45 時間後 (5 月 3 日午前 8 時頃) にかけて観測された計 12 mm 程度以外に降雨はなかった。採水時の各調査地点の水深は第 4 表に示した。供試圃場の採水期間中の日減水深は, 試験区ごとの平均水深の推移および同期間中の降水量から求める

第4表 試験1 矩形条件での田面水採取時における短時間入水区および従来入水区の調査地点別の水深の変化
(単位: cm)

試験区	調査地点	18 分後	5 時間後	24 時間後	48 時間後	72 時間後	96 時間後	144 時間後
短時間入水区	平均	7.2	7.2	6.2	7.2	6.7	6.2	5.1
	1	5.0	5.0	4.0	5.0	4.5	4.0	3.0
	2	5.0	5.0	4.5	5.5	5.0	4.5	3.5
	3	6.0	6.0	4.5	5.5	5.0	4.5	3.5
	4	7.0	7.0	5.5	6.5	6.0	5.5	4.5
	5	8.0	8.0	6.5	7.5	7.0	6.5	5.0
	6	8.0	8.0	7.0	8.0	7.5	7.0	6.0
	7	9.0	9.0	8.5	9.5	9.0	8.5	7.5
	8	8.5	8.5	8.0	9.0	8.5	8.0	7.0
	9	8.0	8.0	7.5	8.5	8.0	7.5	6.0
従来入水区	平均	—	6.8	5.4	6.7	5.9	5.4	3.9
	10	—	7.0	5.5	6.5	6.0	5.5	4.0
	11	—	7.0	5.5	6.5	6.0	5.5	4.0
	12	—	7.0	5.5	6.5	6.0	5.5	4.0
	13	—	6.0	4.5	6.0	5.0	4.5	3.0
	14	—	6.5	5.5	6.5	6.0	5.5	4.0
	15	—	7.0	6.5	7.5	7.0	6.5	5.0
	16	—	6.5	5.0	6.5	5.5	5.0	3.0
	17	—	7.0	5.5	7.0	6.0	5.5	4.0
	18	—	7.0	5.5	7.0	6.0	5.5	4.5

24 時間後の採水後に 12 mm の降雨が観測された。

と、短時間入水区が約 0.6 cm/日、従来入水区が約 0.7 cm/日であり、従来入水区の方がやや大きかった。

供試剤の拡散状況については、短時間入水区、従来入水区ともに処理後直ちに田面水が白濁した。短時間入水区では、この白濁は処理後 15 分で、入水口を起点に試験区中央部に向かって 6.5 m、入水口の左側 3.8 m、右側 4.5 m まで、移植稲の条方向の風上側でかつ田面の低い方向にやや長い楕円状に、地点 6 を囲むように拡がった。同時点において入水口付近（調査地点 6 付近）では、直径約 1 m のより濃い白濁部が観察され、5 時間後もこの範囲の田面がわずかに白濁した状態であったが、24 時間後には消失していた。従来入水区では、白濁した田面水は処理 15 分後に、入水口を起点に試験区中央部に向かって 5.7 m、入水口の左側に 5.7 m、右側に 9.5 m まで、移植稲の条方向の風上側でかつ田面の低い方向に長い卵形状に拡がり、地点 15 は白濁の中に位置した。この時点で拡がっていた白濁は、短時間入水で観察した濃い白濁よりも濃いものであった。入水の間その白濁は、薄まりながら田面の低い側により広く、水流によって押し上げられ、地点 15 付近の白濁も薄まっていった。入水開始から 5 時間後の止水時には、試験区全体で田面水の白濁は認められなかった。

除草効果については、短時間入水区は調査地点 2 でタイムピエ、調査地点 5 でアゼナがわずかに残草したが、その他の調査地点で残草はなかった。従来入水区は全調査地点で残草はなかった（第 5 表）。

水稻への影響については、短時間入水区では入水口に近い調査地点 6 で葉鞘褐変および同症状から生じた流れ葉が、入水口側風下の調査地点 3 で葉鞘褐変が目立ち、調査地点 6 ではやや強めの分げつ抑制や 2 株の欠株も併せて観察された。この著しい害徴が認められた部分は、田面水の白濁が 5 時間以上停滞した場所と一致した。移植後 49 日目の生育調査における草丈および茎数は、調査地点 6 では欠株により低い数値となったが、全調査地点の平均では草丈および茎数ともに従来入水区と差はなかった。従来入水区では入水口に近い調査地点 15 で葉鞘褐変、流れ葉、分げつ抑制などの害徴が認められたが著しいものではなかった（第 5 表）。

試験 2. 極細条件の短時間入水による水口処理における除草効果と水稻への影響

処理日以降、採水期間中の日平均気温は、試験圃場までの直線距離約 5 km のアメダス館野の観測で 20.3～22.3℃、現地で実測した処理時の気温は 22.7℃、流入水の水温は 20.1℃であった。風速・風向は処理開始時、1 時間後、5 時間後の 3 回測定し、いずれも南東から 0～2 m/s の微風条件であった。処理 30 時間後（5 月 29 日）の午後 6 時から 36 時間後の翌日午前 0 時にかけて観測された計 8 mm 以外に降雨はなかった。採水時の各調査地点の水深を第 6 表に示した。供試圃場の日減水深は、再入水前の止水 72 時間後までの平均水深の推移および同期間中の降水量から求めると約 1.2 cm/日であった。

第5表 試験1 矩形条件での短時間入水区および従来入水区の調査地点別の除草効果と水稻への影響

		除草効果				水稻への影響				害徴 程度	葉害症状
		タイヌ ビエ	コナギ	広葉	イヌ ホタルイ	6月11日		7月20日			
		本数(本/m ²)	131	50	－	45	草丈 (cm)	茎数 (本/株)	草丈 (cm)		
無処理区	乾物重(g/m ²)	80.9	7.0	112.1	13.1						
	平均	<1	0	<1	0	35.2	24.2	110.7	31.3		
短時間 入水区	1	0	0	0	0	34.0	26.6	108.0	30.3	－	葉鞘褐変・分けつ抑制
	2	1	0	0	0	31.5	23.4	112.5	30.5	－	
	3	0	0	0	0	33.0	23.4	110.3	31.0	＋	
	4	0	0	0	0	34.3	25.4	108.2	32.3	－	
	5	0	0	3	0	32.5	25.2	111.2	33.0	－	
	6	0	0	0	0	33.5	17.5	106.7	26.7	++	
	7	0	0	0	0	38.8	25.4	114.0	36.0	－	
	8	0	0	0	0	40.0	24.8	114.0	31.3	－	
	9	0	0	0	0	39.0	26.0	111.0	31.0	－	
	平均	0	0	0	0	31.4	24.7	112.7	32.2		
従来 入水区	10	0	0	0	0	30.5	24.6	114.2	34.0	－	葉鞘褐変・分けつ抑制
	11	0	0	0	0	32.0	24.4	117.7	30.0	－	
	12	0	0	0	0	33.0	25.4	110.0	30.0	－	
	13	0	0	0	0	33.0	26.2	112.3	34.0	－	
	14	0	0	0	0	31.5	25.8	111.7	31.0	－	
	15	0	0	0	0	32.0	19.2	111.7	31.0	＋	
	16	0	0	0	0	30.0	26.4	109.8	34.0	－	
	17	0	0	0	0	31.0	25.0	116.3	32.7	－	
	18	0	0	0	0	30.0	25.4	110.3	32.7	－	

雑草調査は、6月11日(処理後41日目)に実施。除草効果の数値は、調査地点における残存雑草の乾物重の無処理区比(%)を示す。広葉はアゼナ、キカシグサおよびミゾハコベの合計値。

水稻生育量(草丈、株数)調査は、6月11日(移植後52日目)および7月20日(移植後91日目)に実施。各調査地点において連続した5株の2条分(計10株)を調査し平均値を示した。

害徴程度は、－：害徴なし、＋：害徴あり、++：著しい害徴ありの3段階で評価し、薬害症状を付記した。

供試剤処理後、直ちに投下地点の田面水が白濁し、白濁した田面水は流入水の勢いによって徐々に水尻方向へ移動、処理5分後には入水口から8m付近、処理10分後には13m付近、処理15分後の止水時には17m付近まで到達した。入水開始から5時間後は、8mから15m付近までの田面水がわずかに白く濁っている程度で、24時間後には濁りは全て消失していた。

除草効果については、ヒメタイヌビエに対しては試験区全体で高い除草効果が認められた(第7表)。コナギは入水口から50m以遠で残草がみられたが、80m地点までの残草個体は著しい生育抑制を示し、90m以遠での残草個体は調査後に再生育し開花・結実に至った。イヌホタルイは水口から40m以遠で残草がみられ、40mから50m地点までの残草個体は著しい生育抑制を示したが、60m以遠からは徐々に残草量が増え、90m以遠では残草量の無処理区との比率が30%以上となった。また、60m以遠の残草個体の花茎には小穂の着生がみられた。

水稻への影響については、入水口付近(0.2m地点)から50m地点程度まで葉鞘褐変の害徴がみられたが著しいものではなく、60m以遠では影響はみられなかった(第7表)。

試験3. 除草剤有効成分の田面水中濃度の変化

試験1矩形条件における有効成分の田面水中濃度の経時変化を第8表に示した。

短時間入水区では、止水直後の採水(処理開始から18分後)では入水口に近い調査地点6と入水口側で風下左手にあたる調査地点3でのみ検出され、調査地点6においていずれの有効成分ともに最高濃度となった。処理5時間後では、風上側の3調査地点(7～9)および排水口側風下部の調査地点1ではほぼ検出されなかったが、入水口付近および中央部から風下にかけての5調査地点(2～6)で全ての有効成分が検出された。しかし、調査地点間の濃度差は大きかった。処理24時間後から48時間後にかけては、時間の経過に伴い風上側でも検出され始め、処理72時間後にはいずれの有効成分も試験区全体で同程度の濃度となった。この時点での各

第6表 試験2 極細条件（短時間入水）での田面水採取時の調査地点別の水深の変化

(単位: cm)

試験区	調査地点	止水直後	5 時間後	24 時間後	48 時間後	72 時間後	96 時間後
	平均	5.9	5.9	5.0	4.0	3.0	5.8
調査地点	0.2 m	4.0	4.0	3.0	2.0	1.0	4.0
	10 m	5.0	5.0	4.0	3.0	2.0	5.0
	20 m	5.5	5.5	4.5	3.5	2.5	5.0
	30 m	6.0	6.0	5.0	4.0	3.0	5.5
	40 m	5.0	5.0	4.5	3.5	2.5	5.0
	50 m	6.0	6.0	5.0	4.0	3.0	6.0
	60 m	6.0	6.0	5.0	4.0	3.0	6.0
	70 m	7.0	7.0	6.0	4.5	3.5	6.5
	80 m	6.5	6.5	5.5	4.5	3.5	6.5
	90 m	7.0	7.0	6.0	5.5	4.5	7.0
	94.8 m	7.0	7.0	6.0	5.5	4.5	7.0

調査地点は、入水口からの距離を示す。

48 時間後の採水後に 8 mm の降雨が観測された。

第7表 試験2 極細条件（短時間入水）での調査地点別の除草効果と水稻への影響

		除草効果			水稻への影響			
		ヒメタイヌ ビエ	コナギ	イヌ ホタルイ	7 月 9 日		害徴 程度	薬害症状
無処理区	本数 (本/m ²) 乾物重 (g/m ²)	64 27.4	44 4.9	96 13.4	草丈 (cm)	茎数 (本/株)		
調査地点	0.2 m	0	0	0	76.4	23.0	+	葉鞘褐変・分げつ抑制
	10 m	0	0	0	66.5	22.0	+	葉鞘褐変・分げつ抑制
	20 m	0	0	0	68.0	26.0	+	葉鞘褐変
	30 m	0	0	<1	65.3	27.0	+	葉鞘褐変
	40 m	0	<1	2	66.8	23.1	+	葉鞘褐変
	50 m	0	2	2	70.4	26.7	+	葉鞘褐変
	60 m	<1	2	7	69.8	27.5	—	
	70 m	0	2	9	70.9	27.0	—	
	80 m	<1	3	10	72.2	26.0	—	
	90 m	<1	5	30	72.5	24.5	—	
	94.8 m	<1	7	50	72.5	27.0	—	

調査地点は入水口からの距離を示す。

雑草調査は、7 月 5 日（処理後 38 日目）に実施。除草効果の数値は、調査地点における残存雑草の乾物重の無処理区比 (%) を示す。

水稻生育量（草丈、株数）調査は、7 月 9 日（移植後 49 日目）に実施。各調査地点において連続した 5 株の 2 条分（計 10 株）を調査し平均値を示した。無処理区の生育量は草丈 58.6 cm、茎数 15.5 本/株、手取り除草した完全除草区は草丈 68.2 cm、茎数 24.5 本/株であった。また害徴程度は、—：害徴なし、+：害徴あり、++：著しい害徴ありの 3 段階で評価し、薬害症状を付記した。

調査地点の有効成分の田面水中濃度は、いずれも従来入水区の同時期とほぼ同程度であった。一方、従来入水区では、いずれの有効成分も止水直後（処理開始から 5 時間後）に、排水口側かつ風下側の調査地点 10 の濃度が最大となり、同時点で最も低濃度であった入水口側かつ風上側の調査地点 18 に比べ 20～30 倍の差であった。しかし、24 時間後には最高濃度と最低濃度との差は 2～3 倍となり、48 時間後には全調査地点でほぼ同じ濃度となった。

試験 2 極細条件（短時間入水）における、有効成分の田面水中濃度の経時変化を第 9 表に示した。いずれの有効成分も、

止水直後の採水（処理開始から 15 分後）では 10 m 地点で最も濃度が高く、5 時間後には 0.2 m 地点から 30 m 地点までの濃度が高く、この傾向は 72 時間後まで続いた。再入水した後の採水となった処理 96 時間後は、0.2 m 地点から 94.8 m 地点までいずれの成分とも濃度の差は小さかった。

考 察

水稻用一発処理除草剤のフロアブル剤（イマゾスルフロロン・オキサジクロメホン・ピラクロニル・プロモブチドフロアブル剤）を供試し、水口処理における薬剤投入後、従来の

第8表 試験1 矩形条件での有効成分の田面水中濃度の経時変化

イマズスルフロン (単位: µg/L)								
試験区	調査地点	18分後	5時間後	24時間後	48時間後	72時間後	96時間後	144時間後
短時間入水区	平均	199	155	133	85	73	65	47
	1	<1	1	15	102	92	70	49
	2	<1	305	332	121	87	70	47
	3	4	415	248	120	61	65	48
	4	<1	6	264	102	82	63	47
	5	<1	95	98	98	73	67	47
	6	1,788	569	192	91	74	64	48
	7	<1	<1	23	48	67	63	46
	8	<1	<1	18	40	59	61	46
	9	<1	<1	7	40	60	58	47
従来入水区	平均	—	201	117	75	65	56	40
	10	—	770	169	74	66	55	39
	11	—	102	122	75	64	55	40
	12	—	94	120	75	63	55	38
	13	—	98	88	74	64	57	40
	14	—	121	83	75	65	58	41
	15	—	483	119	76	64	56	40
	16	—	98	133	75	65	55	42
	17	—	13	145	78	66	58	41
	18	—	31	72	77	65	56	41
オキサジクロメホン (単位: µg/L)								
試験区	調査地点	18分後	5時間後	24時間後	48時間後	72時間後	96時間後	144時間後
短時間入水区	平均	57	29	16	9	7	5	4
	1	<1	<1	2	12	8	5	3
	2	<1	64	33	14	7	6	4
	3	18	79	28	13	6	6	4
	4	<1	1	31	13	9	5	4
	5	<1	18	12	12	8	6	4
	6	495	102	35	11	8	8	4
	7	<1	<1	2	4	7	5	4
	8	<1	<1	2	3	5	5	3
	9	<1	<1	<1	3	5	4	3
従来入水区	平均	—	32	16	8	6	5	3
	10	—	107	15	8	5	4	3
	11	—	17	16	7	5	4	3
	12	—	25	20	7	5	4	3
	13	—	13	8	9	6	5	3
	14	—	24	8	8	6	5	3
	15	—	77	24	9	6	6	4
	16	—	15	13	9	7	5	3
	17	—	4	19	8	6	5	3
	18	—	5	23	6	6	5	2
ピラクロニル (単位: µg/L)								
試験区	調査地点	18分後	5時間後	24時間後	48時間後	72時間後	96時間後	144時間後
短時間入水区	平均	408	309	239	146	109	90	64
	1	<1	<1	20	184	133	98	65
	2	<1	599	566	218	128	96	63
	3	1	837	438	211	87	92	65
	4	<1	10	492	181	133	89	65
	5	<1	192	191	173	111	95	63
	6	3,674	1,142	380	149	118	89	66
	7	<1	<1	33	73	105	88	64
	8	<1	<1	25	61	85	84	63
	9	<1	<1	10	59	86	79	63
従来入水区	平均	—	390	210	122	93	77	53
	10	—	1,504	307	123	92	76	52
	11	—	195	225	121	91	73	53
	12	—	186	227	122	89	75	51
	13	—	166	151	121	92	80	55
	14	—	245	128	119	93	80	54
	15	—	954	231	120	91	77	55
	16	—	184	229	122	97	77	55
	17	—	26	263	123	95	79	51
	18	—	54	131	124	94	78	53
プロモプチド (単位: µg/L)								
試験区	調査地点	18分後	5時間後	24時間後	48時間後	72時間後	96時間後	144時間後
短時間入水区	平均	2364	1252	1069	803	770	706	816
	1	<1	181	230	996	923	757	657
	2	4	2,422	2,344	1,196	897	724	1,332
	3	4,690	3,469	1,909	1,147	658	725	1,368
	4	<1	63	1,969	995	877	685	667
	5	3	809	842	981	799	768	674
	6	16,577	4,315	1,953	863	841	758	683
	7	<1	6	185	393	714	688	662
	8	<1	1	134	329	606	642	657
	9	<1	<1	59	324	614	609	647
従来入水区	平均	—	1,601	1,135	782	747	735	615
	10	—	5,394	1,478	768	746	729	613
	11	—	845	1,197	761	738	708	610
	12	—	1,191	1,487	763	744	717	603
	13	—	773	733	781	746	753	631
	14	—	1,165	681	782	738	744	622
	15	—	3,769	1,401	790	738	727	624
	16	—	887	1,116	795	785	741	626
	17	—	149	1,376	799	745	749	612
	18	—	240	746	803	746	742	590

表中の数値は2反復の平均値を示す。

5時間の入水を行った場合と15分間程度の短時間入水を行った場合において除草効果、水稲への影響および有効成分の田面水中濃度の変化について調査した。

試験1 矩形条件では、除草効果および水稲への影響については、従来入水区および短時間入水区とも各草種に対し高い除草効果が確認され、薬剤投入後の入水時間による実質的な

第9表 試験2 極細条件（短時間入水）での有効成分の田面水中濃度の経時変化

イマズスルフロン（単位：μg/L）							ピラクロニル（単位：μg/L）						
調査地点	15分後	5時間後	24時間後	48時間後	72時間後	96時間後	調査地点	15分後	5時間後	24時間後	48時間後	72時間後	96時間後
平均	221	147	151	128	103	32	平均	881	313	228	162	126	39
0.2 m	10	590	394	293	202	33	0.2 m	13	1,241	663	393	293	49
10 m	2,322	408	290	265	124	28	10 m	9,448	885	507	362	184	39
20 m	96	208	142	215	120	26	20 m	212	481	232	281	157	35
30 m	3	321	101	111	125	24	30 m	14	703	151	149	163	32
40 m	<1	40	107	87	114	29	40 m	<1	83	164	100	133	36
50 m	<1	22	69	76	92	31	50 m	<1	21	98	91	97	38
60 m	<1	18	119	68	81	33	60 m	<1	16	152	74	83	40
70 m	<1	3	73	65	77	29	70 m	<1	2	92	71	78	35
80 m	<1	11	120	71	73	22	80 m	<1	8	139	78	73	29
90 m	<1	<1	109	75	64	36	90 m	<1	<1	142	86	62	41
94.8 m	<1	<1	135	80	65	57	94.8 m	<1	<1	165	92	64	55

オキサジクロメホン（単位：μg/L）							プロモブチド（単位：μg/L）						
調査地点	15分後	5時間後	24時間後	48時間後	72時間後	96時間後	調査地点	15分後	5時間後	24時間後	48時間後	72時間後	96時間後
平均	66	27	14	11	8	4	平均	2106	1191	996	1015	1034	339
0.2 m	2	76	25	23	16	6	0.2 m	62	4,461	2,670	2,627	2,534	472
10 m	696	93	47	40	25	8	10 m	22,116	3,437	2,431	2,584	1,971	361
20 m	27	47	21	25	13	5	20 m	862	1,859	1,201	1,736	1,276	285
30 m	2	67	12	10	10	4	30 m	111	2,779	643	836	1,216	271
40 m	<1	8	11	7	6	3	40 m	14	353	666	626	998	322
50 m	<1	2	6	5	4	2	50 m	<1	77	406	523	742	331
60 m	<1	1	9	3	3	2	60 m	<1	61	631	405	642	343
70 m	<1	<1	5	3	2	2	70 m	<1	13	383	413	594	303
80 m	<1	<1	7	3	2	2	80 m	<1	44	595	448	552	233
90 m	<1	2	7	3	2	2	90 m	<1	20	603	469	445	366
94.8 m	<1	<1	7	4	2	1	94.8 m	<1	<1	725	502	410	440

調査地点は入水口からの距離を示す。
表中の数値は2反復の平均値を示す。

効果差はなかった。水稻への影響は、短時間入水区では入水口付近で2株の欠株を伴う葉害がみられたものの、試験区全体的水稻の生育量が十分に確保できたことから、実用的には大きな問題はなかった。なお、強めの葉害が発生した要因は、その調査地点の各有効成分の水中濃度が一時的に高濃度の状態で経過し、白濁が観察されていた処理5時間後までは、他の地点に比べ水中濃度が高く推移していたことにあると考えられる（第8表）。すなわち、この水中濃度が高く維持されていた間に稲が多量の有効成分を吸収した可能性や、この間に有効成分が多量に土壌吸着されることで、その後も稲が持続的に根から吸収した可能性が考えられる。直原ら（1995）は、ピリブチカルブ・プロモブチド・ベンゾフェナップフロアブルについて、20 m × 30 m の試験区における長辺際1辺の带状散布で、除草効果、田面水中濃度および土壌中濃度を経時的に調査し、田面水中濃度のみならず土壌中濃度についても処理後6時間までは高い偏りが持続することを報

じている。本研究においても田面水中濃度が一時的に高濃度で経過した地点で、土壌中濃度も高く維持された可能性がある。

また、試験1 矩形条件では、処理時から5時間後までの風速は2 m/s 以下であったが、田面水中の有効成分の動きは、従来入水および短時間入水の両条件とも、後述のように風の影響を少なからず受けることが示された。フロアブル剤は農薬原体を微粒子に粉碎して水中に分散させた製剤で、水と農薬原体以外に界面活性剤、増粘剤、凍結防止剤などから構成されている（森本 2016）。本試験で観察された田面水の白濁は、有効成分およびベントナイトやホワイトカーボンなどの増粘剤が田面水に懸濁した状態であったと考えられる。短時間入水区では、田面水の白濁部は入水15分後の観察において、入水口を起点に風下側よりもむしろ風上側で、かつ田面の低い方向にやや長い楕円状に拡がっており、その時点の白濁の分布から、除草剤の有効成分は白濁の中に位置していた

調査地点 6, 同地点に最も近い地点 5, そして田面の低い側の地点 9 に、先ず到達すると思われた。しかし結果は異なり、有効成分は処理 18 分後の止水時には、白濁が到達していない入水口側の風下左手の地点 3 から検出されている。すなわち、視認できる白濁の分布と有効成分の拡散方向は一致していなかった。これは、フロアブル剤中の有効成分が必ずしも白濁として視認される増粘剤等の挙動と一致しているわけではなく、有効成分が溶解あるいは分散した田面水が、風の影響を受けて風下側に移動したことが想像される。またこの時、有効成分ごとの地点 3 の濃度を入水口に近い地点 6 の濃度に対する比率として比較すると、水溶解度が 0.15 mg/L (20°C) と低いオキサジクロメホンおよび 3.54 mg/L (25°C) のプロモブチドが、水溶解度が 155.6 mg/L (20°C) と高いイマゾスルフロンおよび 50.1 mg/L (20°C) のピラクロニルよりも高かった(植調協会 2015)。水溶解度が特に低い (10 mg/L 以下) 除草剤原体は、粒剤化によって除草効果が低下することが多く、フロアブル剤化や、原体粒径をより小さくすることで、除草効果の低下が改善されることが知られている(一前 1992)。水溶解度の低い有効成分の挙動には、原体粒径の最適化など有効成分ごとに異なる製剤処方の影響があると考えられる。そして、5 時間後には水溶解度が高いイマゾスルフロンおよびピラクロニルについても地点 3 の水中濃度が高まり、その後は全ての有効成分で水中濃度が似た挙動を示したことから、水中に溶解あるいは分散した有効成分が、止水後も田面水の動きや濃度勾配に依存して拡散した可能性が考えられた。一方、従来入水区の白濁部は、処理後田面水の水深が高まるまでの間、初めは水流の延長上の田面および田植機の車輪やフロートが通過して溝状になった条間を、田面の傾斜や凹凸など不陸に依存して拡がる様子が観察された。入水が続け試験区全体の湛水深が深くなるに従って白い濁りは薄まり観察が困難となったが、有効成分は入水によって生じた田面水の流れによって移動したと考える。しかし、処理開始から 5 時間後となる止水時は、入水口から最も遠くかつ風下側の地点 10 において全ての有効成分濃度が最大となっており、風の影響が少なからずあった可能性も排除できない。そして、止水後の有効成分は田面水の動きや濃度勾配に依存して拡がり、24 時間後以降には試験区全体に拡散したと推察される。短時間入水区では 48 時間後まで各有効成分の濃度分布に偏りがみられており、本法により圃場内の田面水中の有効成分濃度が均一となるには、従来入水法よりも時間がかかることが明らかとなった。すなわち、処理後の有効成分の田面水中濃度は、従来入水区では処理 24~48 時間後に試験区全体でいずれの成分も概ね均一な濃度となったのに対し、短時間入水区では試験区全体が均一になるのに 72 時間程度を要した。本試験においては、処理 33 時間後から 45 時間後にかけての 12 mm の降雨が有効成分の拡散に寄与した

可能性も考えられるが、短時間入水での有効成分の拡散には、従来の薬剤投入後数時間入水する水口処理よりも長い時間(本試験では 72 時間程度)を要することが明確となった。

一方、試験 2 極細条件での水口処理(短時間入水)では、試験区の田面には入水口から排水口にかけて徐々に水深が深くなる約 4 cm の傾斜があり(第 6 表)、かつ処理時の風速は 0~2 m/s と微風ではあるが入水口からの追い風条件(第 2 図)となっていたにもかかわらず、処理後 72 時間が経過した時点でも試験区内における有効成分の田面水中濃度の最大・最小値の差が大きく、イマゾスルフロンで約 3 倍、オキサジクロメホンで約 12 倍、ピラクロニルで約 5 倍、プロモブチドで約 6 倍の差となっていた。これは、主に横方向の移動が制限されるため面的な拡散が進みにくい極細の試験区形状が影響したものと推察される。本試験では特にイヌホタルイが水口部から 60 m 以遠で残草した。イヌホタルイに対する除草効果の良否の境界となった 50~60 m 地点付近の、イヌホタルイ対象有効成分(植調協会 2015)の田面水中濃度の最高値をみると、イマゾスルフロンが約 120 µg/L、ピラクロニルが約 150 µg/L、プロモブチドが約 740 µg/L であった。この値は、供試剤の仮比重を 1 とした場合で、かつ有効成分が湛水深 5 cm の田面水に全て溶解したと仮定した場合の理論水中濃度に比べ、イマゾスルフロンで約 7 割、ピラクロニルで約 4 割、プロモブチドで約 5 割と低い。供試剤の除草活性は各有効成分の田面水中濃度だけではなく、土壌中濃度も影響すると考えられ、有効成分によって異なる、土壌への吸着性についても考慮する必要がある。また、除草効果は有効成分の組み合わせによっても左右され、一発処理剤の除草効果の良否は、既発生個体を枯殺または抑制する効果と処理後の発生を防止する効果の両面に基づくため、有効成分濃度と除草効果の関係について理解するには、より詳細な検討が必要である。一前ら(1995)は、ピリブチカルブ・プロモブチド・ベンゾフェナップフロアブル剤について 5 m × 30 m の細長い試験区で、短辺側から水口処理を行ったときの除草効果を検討し、水口から離れた地点で除草効果が劣る場合があることを報告しており、面的な水の移動が制限される条件が有効成分の拡散に影響する可能性を示している。

なお、試験 2 で用いた圃場には、SU 剤のイマゾスルフロンに抵抗性を示すコナギおよびイヌホタルイが発生することを、発根法(Hamamura *et al.* 2003)およびポット試験法(汪 2001)によって確認しており(未発表)、それらバイオタイプに対する除草効果と有効成分濃度との関係についても十分な検討が必要である。

以上のことから、本試験で供試したフロアブル剤は、平面的な拡散が可能な試験 1 のような条件においては、薬剤投入後の入水時間を極端に短くした水口処理(短時間入水)は、薬剤投入後数時間の入水を必要とする従来の水口処理とほぼ

同等の除草効果が得られることもあるが、有効成分が田面水中を均一に拡散するにはより時間がかかり、これにより局所的な水稻への葉害を助長することもありうる事が明らかとなった。有効成分濃度の偏りは、面的な水の移動が制限される試験2のような条件ではより顕著であり、各有効成分を十分に拡散することができずに除草効果が低下することも起こりうる。

すなわち、フロアブル剤の短時間入水による水口処理の実用化を図るためには、従来法よりも有効成分の拡散が遅れることを考慮し、圃場規模、圃場形状、処理時期、作期、土質・土性、減水深、風速および水口設置場所などの条件を変えた検討を行うこと、有効成分によっては除草剤抵抗性バイオタイプも考慮した除草効果の検討を行うことが今後の重要な課題である。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、公益財団法人日本植物調節剤研究協会高橋宏と専務理事には試験遂行に関し貴重なご助言並びにご指導を賜った。また、同協会渡邊寛明常務理事には論文作成に関し丁寧なご指導を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

濱田暢之・若山健二・松本直樹・釜谷拓和・縄巻勤 1999. 水稻用除草剤カフェンストロール・ピラゾスルフロンエチル顆粒水和剤の開発およびその施用技術の確立. 雑草研究 44, 377-382.

Hamamura, K. 2018. Development of herbicides for paddy rice in Japan. Weed Biology and Management 18, 75-91.

Hamamura, K., T. Muraoka, J. Hashimoto, A. Tsuruya, H. Takahashi, T. Takeshita and K. Noritake. 2003. Identification of sulfonylurea-resistant biotypes of paddy field weeds using a novel method based on their rooting responses. Weed Biology and Management 3, 242-246.

一前宣正 1992. フロアブル液剤の直接散布による水田雑草防除に関する研究. 雑草研究 37, 92-96.

一前宣正・倉持仁志・近内誠登・印南春紀・大淵悟 1995. ドライフロアブル剤、高濃度乳剤、サスポエマルジョン剤および錠剤の水口処理による水田除草法. 雑草研究 40, 47-49.

一般社団法人日本植物防疫協会（日植防協会）2020. 農薬の分類. 農薬概説 2020, pp. 101-106.

直原一男・向田秀司・丸山俊城・一前宣正・近内誠登 1995. ビリブチカルブ・プロモブチド・ベンゾフェナップ混合フロアブル剤の散布方法と拡散性および殺草効果. 雑草研究 40, 262-270.

公益財団法人日本植物調節剤研究協会（植調協会）2015. 薬剤特性 KYH-0901 フロアブル（バッチリ LX フロアブル）. 平成 27 年度水稻関係除草剤試験申請書綴（試験計画及び薬剤特性）, pp. 81.

森本勝之 2016. 農薬製剤・施用技術の最新動向④. 水稻除草フロアブル剤 その組成・製造法・特性. 植物防疫 70, 549-555.

日産化学工業株式会社 2020. 水田除草に適した除草剤散布方法、顆粒水口処理とは？ <https://www.nissan-agro.net/minakuchi/>（2020 年 8 月 9 日アクセス確認）

大越章由・押山悦夫・鈴木宏一 2011. メッシュバッグを用いた顆粒水和剤の水口施用. 第 31 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨, 3-4.

汪光熙 2001. 「雑草科学実験法」. 日本雑草学会編, pp. 362-363.

財団法人日本植物調節剤研究協会（植調協会）1995. フロアブル剤の開発利用に関する研究. 植調三十年史, pp. 36-38.