ライシメーターを用いたプレチラクロール粒剤の 水稲移植前使用における有効成分流出量の把握

佐山 玲*, 三浦 恒子

秋田県農業試験場

(2014年7月3日受付, 2015年6月30日受理)

Runoff of pretilachlor applied before transplanting of rice plant by lysimeters

Akira SAYAMA and Chikako MIURA

Akita Agricultural Experiment Station, Yuwa, Akita-shi, Akita 010-1231, Japan

The runoff in forced drainage and leaching where pretilachlor was applied before the transplanting of rice plants was investigated by lysimeters. The concentration of pretilachlor in forced drainage in 2009 and 2010 was 174.0 and 112.3 $\mu\text{g/L}$, respectively. Each total amount of pretilachlor in forced drainage was 52.2 mg and 252.6 mg, and the runoff percentage was 8.7 and 42.1, respectively. On the other hand, the total amount of leaching was 0.7 mg and 3.3 mg, and each percentage was 0.1 and 0.6, respectively. Based on these data, the forced drainage at the time of transplanting was considered to be strongly involved in the pretilachlor outflow from paddy fields. © Pesticide Science Society of Japan

Keywords: lysimeter, pretilachlor, rice plant, application before transplanting, runoff.

緒 言

水田農薬の河川への流出経路は、主に水尻からの排水と考えられている¹⁻³⁾。この農薬流出防止のため、施用後の止水期間の遵守が重要である。数種の除草剤では、施用後の止水期間を従来の3~4日から7日程度にすることにより排水中の濃度が低下することが示されている⁴⁻⁶⁾。このような知見を受けて、2009年に農林水産省が農薬使用後の止水期間を7日程度とする指導を行っている⁷⁻⁹⁾。

プレチラクロール(2-クロロ-2',6'-ジエチル-N-(2-プロポキシエチル)アセトアニリド)を含有する初期除草剤は、水田一年生雑草等の防除を目的に全国的に使用されている。秋

田県の使用面積(2010年度日本植物調節剤研究協会調べ推定値)は、ソルネット1キロ粒剤19,809 ha, エリジャン乳剤1,544 ha, エリジャンEW乳剤4,470 ha, エリジャンジャンボ56 ha, 合計25,879 haで秋田県の2010年度の水稲栽培面積91,300 ha¹⁰⁾の約28%を占める。

プレチラクロールは、 K_{oc} 値が400~3,400(25°C)で¹¹⁾、土壌中の移動性は小さく^{11,12)}、水にやや溶けにくい(水溶解度(25°C): 74 mg/L)¹¹⁾。また、加水分解による水中の推定半減期は200日以上(25°C, pH 1, 7, 9)で、好氣的湛水土壌中の推定半減期は19日である¹³⁾。

本有効成分は水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準値(2.9 $\mu\text{g/L}$, 以下「水産基準値」)に対し、環境中予測濃度(第2段階の水産PEC: 1.1 $\mu\text{g/L}$)が近接し、水質モニタリングの実施や、水田からの流出防止対策の実施が求められている^{14,15)}。環境省の文献調査によると、水道統計では2005~2008年のデータで、調査地点数2,176のうち、19地点で第

* 〒010-1231 秋田市雄和相川字源八沢 34-1

E-mail: Sayama-Akira@pref.akita.lg.jp

© 日本農薬学会

2段階の水産PEC超過が確認され¹⁵⁾, また, 水田農薬の河川におけるモニタリング調査(環境省, 2005~2009年度)でも第2段階の水産PEC超過地点が6地点で確認された¹⁶⁾.

水田における除草剤の効果的な使用時期は, 使用適期内の早めの除草剤処理により防除効果の安定を促すため, 代かき後10日までとされている¹⁷⁾. 秋田県の大規模農家では代かきが数日に及ぶことがあるため, 除草剤の使用時期を水稲移植後にした場合は, 殺草晩限より遅れる可能性がある. このため, プレチラクロール含有製剤を始めとする初期除草剤の水稲移植前使用は, 大規模水稲経営を中心に水稲栽培における主要な技術の一つである.

水稲移植栽培では, 代かきから移植までの期間を湛水状態にすることで, 移植時に土壌が硬くなり, 苗が活着不良になることを防いでいる. 一方, 移植時に苗の倒伏や流出を防止するため, 移植時に強制落水して田面水深を調節することが多い. このため, 移植前に散布した初期除草剤の流出が危惧される^{10,14,18)}.

著者は, 2006~2008年に環境省の農薬残留対策総合調査事業の中で雄物川関連水系や子吉川でのプレチラクロールの濃度消長を調査した. その結果, プレチラクロールの流出率は, 2.2~26.5%と他の調査対象農薬であるジクロシメット, プロベナゾールに比べ明らかに高かった¹⁶⁾. その検出時期は移植時期と一致しており, 移植時の強制落水が流出の原因になっていると推察された.

プレチラクロール粒剤の使用時期は, 「湛水散布では植代後~移植前4日または移植直後~ノビエ1葉期ただし移植後30日まで」であったが, 2012年から, 「湛水散布では植代後~移植前7日または移植直後~ノビエ1葉期ただし移植後30日まで」または「移植時」に変更されている. しかし, プレチラクロールの加水分解による半減期が比較的長く, 好気的湛水土壤中の推定半減期が19日¹³⁾であることから, 本剤が移植時の落水により流出する可能性は依然として高いと考えられる.

水田農薬の流出経路は, 水尻排水の他に浸透排水, 漂流飛散, 揮発および畦畔浸透が挙げられる^{2,3,4,7,19)}. このうち, 浸透排水による流出量は, これまでライシメーターを用いて測定され, 10数種類の農薬の調査報告によると, 水尻排水による流出量の1/10以下と少ない³⁾. しかし, これまでにプレチラクロールの移植前使用における浸透排水による流出量の測定事例はなく, これを明らかにし, 流出の軽減手段を見出すことは重要である.

ここでは, プレチラクロール粒剤の水稲移植前使用における移植時の強制落水と浸透排水による流出状況を調査した.

実 験 方 法

1. ライシメーターの構造

試験に用いたライシメーターは, 秋田県農業試験場内に

設置されており, 面積 15m^2 ($5\times 3\text{m}$), 高さ 1.8m のコンクリート製である(Fig. 1). このライシメーターに充填されている土壌は灰色低地土(土性:CL)であり, 秋田県の水田の21.5%に分布する代表的な土壌である²⁰⁾. また, 試験開始時の土壌の化学性をTable 1に示す. 本ライシメーターの地表下 40cm には, 黒曜石パーライトを疎水材(商品名: ネットライト²¹⁾, 芙蓉パーライト株式会社製)とする暗渠が設置されている. 浸透水はこの暗渠に集まり, 地表下 60cm の取水口より取り出せる. 水尻の構造は, 直径約 10cm の塩化ビニル製の管がコンクリート壁に埋め込まれ, 外部の排水溝に通じている. 田面水の止水あるいは強制排水は管の内側に設置した止水板の開閉により実施した.

2. 試験区の構成と供試農薬

試験は, 上記のライシメーター1基を用いて2009年と2010年の2回行った. 供試農薬はプレチラクロール粒剤(商品名: ソルネット1キロ粒剤, 有効成分4.0%)とした. 散布量は製剤として $1\text{kg}/10\text{a}$ であり, ライシメーター当たりの有効成分量は 600mg である.

プレチラクロール粒剤は水稲の移植前に使用し, 反復は設けなかった. また, 供試農薬の使用日は, 2009年が当時の農薬登録上の使用晩限よりも1日遅い移植前3日(推奨される7日以上)の止水期間に対して4日短いとし, 2010年が農薬登録上の使用晩限である移植前4日(推奨される止水期間より3日短い)とした.

供試した水稲品種は「あきたこまち」で, 2009, 2010年とも, 栽植密度 $22.2\text{株}/\text{m}^2$, 植え付け本数4本/株とし, 速効性化成肥料により基肥 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=6\text{kg}:6\text{kg}:6\text{kg}$ および追肥 $\text{N}:4\text{kg}$ を施肥した.

2009年の主な作業日は, 代かきが5月18日, 移植が5月22日であり, 供試農薬の使用日は移植3日前の5月19日とした. 2010年の主な作業日は, 代かきが5月18日, 移植が5月24日であり, 供試農薬の使用日は移植4日前の5月20日とした.

試験期間中の水管理は, 代かき後から移植時までは, 灌水による水深の調整は行わなかった. 移植日に止水板を完全に開放し田面水をすべて排水して, 強制落水とした. 中干し期間は2009年は6月29日~7月7日, 2010年は7月6日~7月21日とした. 降下浸透量の設定は $5\text{mm}/\text{日}$ とし, 代かき後に暗渠出口に設置したバルブ開度により調整した. ライシメーターへの灌水は, 雄物川を水源とする試験場内のファームポンドの水を用いた. 用水の供給頻度は一週間に1回程度とした. 移植時以外の落水は, 2009年は中干し開始日の6月29日まで行わなかった. 2010年は多降雨のため, 6月29日(中干し1週間前)に強制落水により水深を調整し, その後, 自然減水により田面水がなくなった7月6日から中干しを開始した.

Fig. 1. Placement of the culvert in the lysimeter. A: side view of a cross section, B: view from above.

Table 1. Physical and chemical characteristics of soil in the lysimeter

Soil texture	pH (H ₂ O)	EC (dS/m)	CEC (molc/kg)	Total-C (g/kg)	Total-N (g/kg)
CL	5.6	0.055	21.8	18.0	1.67

試験期間の降水量は、試験場所に最も近いアメダスデータ（秋田市大正寺）²²⁾を用いた。また、試験期間の田面水深の推移は、実測値と推定値を用い、推定値は水収支（降水量、灌水量、降下浸透量およびペンマン法による蒸発散量）から求めた^{23,24)}。

3. 試料水の採取方法

移植時強制落水による排水は移植日（2009年：5月22日，2010年：5月24日）に採水した。落水時間（約15分）の初期，中期，終期において，合計15Lを分取した。分取した排水は混合して攪拌後，ガラス繊維ろ紙（Whatman, GF/B, 直径6.0cm）でろ過し，ろ液と懸濁粒子（以下SS）に分けて分析に供した。移植後の水尻における採水は，実施しなかった。

2009年の浸透排水の採取は，5月29日（処理10日後），6月2，11，18，25日，7月31日，8月26日に行い，暗渠の排水口から2Lを採取して2連で分析した。2010年の浸透排水の

採取は，5月26（処理6日後），28，30日，6月1，5，7，9，11，14，17，21，26日，7月1，7日に排水口から1Lを採取して1連で分析した。

灌水に用いた水にプレチラクロールが含まれる可能性があったことから，灌水時に一部を採取して分析に供した。2009年は6月5，12日に用水供給口から2Lを採取し，2連で分析した。2010年は5月26日，6月1，7，11，14，26日，7月1，7日に1Lを採取し1連で分析した。

4. 分析方法

4.1. 水試料の抽出，精製法

分析に用いた有機溶媒は，すべて和光純薬株式会社製の特級試薬を用いた。強制落水時の排水のろ液および浸透排水からの抽出は，全自動固相抽出装置（オートトレース™SPE, Zymark社製）を用いた。まず，メタノールおよび蒸留水でコンディショニングしたスチレンジビニルベンゼン共重合体ミニカラム（PSDVB SPECIAL, 200mg/6mL，ユニフレッ

クス社製)に試料500mL通水し、蒸留水10mLで洗浄後、窒素ガスで10分通気乾燥した。次に、ジクロロメタンとメタノールで予め洗浄した脱水カラム(無水硫酸ナトリウム, 2.8g, ユニフレックス社製)を上記のミニカラム下部に連結し、窒素ガスで1分通気乾燥後、ジクロロメタン5mLで溶出した。精製操作は抽出液のジクロロメタンを留去後、残留物をヘキサン5mLで溶解して、フロリジルミニカラム(Sep-Pak Plus Florisil Cartridges, 910mg, Waters社製)に負荷し、ヘキサン5mLで洗浄後、ヘキサン:アセトン(95:5)12mLで溶出した。精製液は減圧濃縮し、アセトン1mLで定容した。

4.2. SS試料の抽出, 精製法

SS試料からの抽出および精製操作は以下のとおりである。まず、前述のろ過操作後のガラス繊維ろ紙を500mLのサンプル瓶に入れ、アセトン100mLを添加し、30分間の超音波による抽出を行った。抽出液はガラス繊維ろ紙(Whatman, GF/B, 直径6.0cm)によるろ過後、40°C以下で減圧濃縮してアセトンを留去し、ヘキサン5mLを添加した。その後、溶解した液に蒸留水10mLを加え、多孔性ケイソウ土カラム(CHEM ELUT CE1020, Varian社製)に負荷後5分間静置し、ヘキサン80mLで溶出した。さらに、ろ液と同様にフロリジルミニカラムで精製した。

4.3. 定量法

水試料, SS試料ともに定量はガスクロマトグラフ質量分析計で行った。分析条件はTable 2に示す通りである。プレチラクロール標準品(99.0%)は和光純薬株式会社の残留農薬分析用を用いた。

強制落水時の排水ろ液および浸透排水の定量限界は $0.4\mu\text{g/L}$ で、SSは 0.16mg/kg dw とした。

以上の分析操作による添加回収試験を2009年と2010年にそれぞれ2反復で行った結果、回収率は排水ろ液および浸透排水が88~120%, SSが89~117%の範囲であった。

結 果

2009, 2010年の試験期間中の水収支をFigs. 2, 3に示し

Table 2. Analytical conditions for GC-MS

GC-MS	Varian Saturn 2000
Mode	EI
Ionization voltage	70 eV
Column	DB-1HT (15 m $\times$ 0.25 mm i.d., d_f =0.1 μm)
Carrier gas	He 1 mL/min
Injection temp.	250°C
Oven temp.	60°C (0.5 min) $\rightarrow$ (20°C/min) $\rightarrow$ 100°C $\rightarrow$ (5°C/min) $\rightarrow$ 165°C $\rightarrow$ (20°C/min) $\rightarrow$ 280°C
Monitor ion	m/z 238
Sample amount	2 μL

た。代かき時の田面水深は、2009年が48 mm, 2010年が109 mmであった。代かき後は、降雨によるコンクリート枠からのオーバーフローはなかった。水稻の移植に向けた強制落水前の田面水深は、2009年は20 mm, 2010年は150 mmであった。強制落水時にはすべての田面水を排水したので、ライシメーター当りの排水量は2009年が300 L, 2010年が2250 Lである(Table 3)。強制落水時の排水中のSS重量は、ライシメーター当たり2009年が244.0 g, 2010年が11.3 gであった。2010年の田面水深が2009年と比べて深かった理由は、代かき時の田面水深が深かったことおよび5月18日の代かき後から移植前日の23日までに18 mm, 移植当日の24日に42 mmの降雨があったためである²²⁾。また、浸透排水量は、降下浸透量の設定を5 mm/日としたため、ライシメーター当たり75 L/日である。

灌水に用いた用水のプレチラクロール濃度は、2009年では6月5日に $3.3\mu\text{g/L}$ であったが、6月12日は定量限界未満であった。2010年の同濃度は、5月26日に最高 $4.2\mu\text{g/L}$ を示した後、6月14日に $0.8\mu\text{g/L}$ 、6月26日以降は定量限界未満であった。測定日間の濃度は直線的に増減すると仮定した場合、灌水によるプレチラクロールの流入量は2009年で3.2 mg, 2010年で4.3 mgであった。

強制落水および浸透排水によるプレチラクロールの総流出量と流出率の算出結果をTable 3に示す。

強制落水時の排水ろ液中のプレチラクロール濃度は2009年が $173.6\mu\text{g/L}$ 、2010年が $111.4\mu\text{g/L}$ であり、水量を乗じて求めたライシメーター当たりの流出量はそれぞれ52.1 mg, 250.6 mgであった。SSのプレチラクロール濃度は2009年が 0.2mg/kg dw 、2010年が 172.1mg/kg dw であり、SSの重量を乗じて求めたライシメーター当たりの流出量はそれぞれ0.1 mgと2.0 mgであった。ろ液とSSによる流出量の合計は、2009年が52.2 mg, 2010年が252.6 mgであり、流出率はそれぞれ8.7%と42.1%であった。また、SSを含む排水中のプレチラクロール濃度は、2009年が $174.0\mu\text{g/L}$ 、2010年が $112.3\mu\text{g/L}$ であった。流出量全体に対するSSによる流出量の割合は、2009年が0.2%, 2010年が0.8%であった。

浸透排水のプレチラクロール濃度は、2009年では5月29日から6月11日にかけて $0.5\sim 0.6\mu\text{g/L}$ 検出されたが、その他の時期は定量限界未満であった(Fig. 2)。調査日間の濃度が直線的に増減すると仮定した場合、浸透排水によるプレチラクロールの流出量は0.7 mgであった。2010年では、調査開始の5月26日から検出され、6月1日に最高 $4.7\mu\text{g/L}$ を示した後減衰し、6月26日以降は定量限界未満であった(Fig. 3)。2009年と同様にプレチラクロールの流出量を算出した結果、3.3 mgであった。浸透排水によるプレチラクロールの流出率は2009年が0.1%, 2010年が0.6%であった。

したがって、移植時の強制落水と浸透排水によるプレチラクロールの流出量の合計は、2009年が52.9 mg, 2010年が

Fig. 2. Leaching concentration of Pretilachlor applied before transplanting and environmental conditions (2009). A: pudding, B: waterfall and transplanting, C: application before transplanting.

Fig. 3. Leaching concentration of Pretilachlor applied before transplanting and environmental conditions (2010). A: puddling, B: waterfall and transplanting, C: application before transplanting.

Table 3. Runoff of Pretilachlor applied before transplanting

	Amount of runoff water (L) ^{a)}	Conc. of Pretilachlor in filtered runoff water (µg/L)	Amount of Pretilachlor in filtered runoff water (mg/15 m ²)	Amount of SS in runoff water (mg/15 m ²)	Conc. of Pretilachlor in SS (µg/kg dw)	Amount of Pretilachlor in SS (mg/15 m ²)	Conc. of Pretilachlor in filtered runoff water and SS (µg/L)	Amount of Pretilachlor in leaching water after applied pretilachlor (mg)	Total amount of Pretilachlor by outflow (mg/15 m ²) ^{b)}	Ratio of Pretilachlor by outflow (%) ^{c)}
2009	300	173.6	52.1	244.0	0.2	0.1	174.0	0.7	52.9	8.8
2010	2250	111.4	250.6	11.3	172.1	2.0	112.3	3.3	255.9	42.7

a) 2009: 2 cm water depth at transplanting in the lysimeter, 2010: 15 cm water depth. b) 2009: 25-May–26-Aug, 2010: 26-May–7-July. c) Amount of applied Pretilachlor (600 mg/15 m²; Soruneto G. 4%, 1 kg/10 a).

255.9mgであり、流出率はそれぞれ8.8%, 42.7%であった。

考 察

水稻移植栽培では、移植時に強制落水して田面水深を調節することが多い。このため、移植前に散布した初期除草剤の流出が危惧される。秋田県の雄物川と子吉川のモニタリング調査において、プレチラクロールの流出率は他の農薬と比べて高く、その検出時期は水稻の移植時期と一致した。プレチラクロールは主に水田の初期除草剤として使用されるため、移植時の強制落水により流出していると推察された。そこで、本研究では、水稻移植前のライシメーターにプレチラクロール粒剤を散布し、移植時の強制落水による排水および浸透排水による流出量の把握を試みた。

本研究において、移植時の強制落水による排水中のプレチラクロール濃度は、2009年が174.0 $\mu\text{g/L}$ 、2010年が112.3 $\mu\text{g/L}$ であった。この濃度は、プレチラクロールの水産基準値2.9 $\mu\text{g/L}$ の60倍と39倍に相当した。また、12種類の除草剤の流出状況を調査した研究では、作付け期間中の流出率を0.18~33.8%と報告している²⁵⁾。本研究において、移植時の強制落水による流出率は2009年が8.7%、2010年が42.1%であり、2010年の値は上記報告の流出率の範囲を超えるものであった。また、移植時の強制落水による流出量は、浸透排水による流出量と比べて2009年が75倍、2010年が77倍と多く、水田からの農薬の主な流出経路を水尻からの排水とするこれまでの知見と一致した。これらの結果は、プレチラクロールの水田からの流出に移植時の強制落水が強く関与するという予測を支持するものである。

本研究で、強制落水の排水中濃度は2009年が174.0 $\mu\text{g/L}$ 、2010年が112.3 $\mu\text{g/L}$ であり、流出量はそれぞれ52.2mg/15m²、252.6mg/15m²であった。2009年の排水濃度が高かった原因は供試農薬使用日を、使用晩限よりも1日遅い移植前3日としたためと考えられた。2010年の強制落水の排水によるプレチラクロールの流出量が多かった原因は、2010年は2009年に比べ水深が深く排水量が多かったためであり、有効成分流出の制御に水量の制御が重要であると考えられた。水稻移植直前の田面水位は、代かき時の水位、移植までの降水量および圃場の減水深の影響を受けることから、プレチラクロールを移植前に使用する場合の流出対策として、代かき時の水位を必要以上に深くしないことが挙げられる。

強制落水による排水は排水ろ液の有効成分流出が多く、SSによる流出が少なかった。その原因は、排水量に占めるSS重量の割合が少なかったためと考えられる。2009、2010年のSS量を比較すると2009年が多く、その理由は、代かきから田植えまでの期間が2010年は長く、土壌が十分沈降したためと考えられる。SSのプレチラクロール濃度が2010年に高かった理由は、移植当日の42mmの降雨によりプレチラク

ロールの吸着した土壌粒子が巻き上げられたことによると考えられた。

浸透排水は、2009年に処理10日後、2010年に処理6日後から採取を開始した。2009年は最初の処理10日後の採取ですでに0.6 $\mu\text{g/L}$ 、2010年は最初の処理6日後の採取ですでに0.5 $\mu\text{g/L}$ 検出された。最初の採取で有効成分が検出されたが、土壌中には植物残渣根等により間隙や亀裂があるため²⁶⁾、浸透が想定以上に早くなったと考えられた。2009年は最高濃度を把握できなかったが、濃度レベルが強制落水による排水ろ液中の濃度に比べ極めて低いことが確認できた。2010年の浸透排水濃度は2009年に比べ高かった。この理由は、代かき時の作土層の下部および耕盤には間隙や亀裂等があり、そこを通じてもプレチラクロールが地下浸透したと考えられ、年次により土壌中間隙や亀裂等の多さに違いがあったためと考えられた。

なお、灌水によるプレチラクロールの推定流入量は、使用量の600mgに対して2009年で0.5%、2010年で0.7%であったことから、強制落水による排水および浸透排水中の濃度推移に大きく影響しなかったものと考えられる。

本研究の結果から、プレチラクロール剤は代かき時~落水時使用から移植同時あるいは移植後使用に切り替えていく必要があると考えられた。

北海道ではプレチラクロール剤の代かき時~落水前の使用は、河川への流出による環境への影響のおそれがあることから、防除基準から削除している。(財)日本植物調節剤研究協会は、除草剤散布後7日間落水、かけ流しをしないようにキャンペーンを行っており¹⁸⁾、プレチラクロールについて移植時処理の有効性を普及することで、田植え前からの転換を促している¹⁴⁾。また、秋田県では農作物病害虫・雑草防除基準で、計画的な農作業による代かきから移植時までの日数の短縮と初期除草剤の田植え後の使用を指導している²⁷⁾。さらに、秋田県では2008年から「あきたecoらいす」という減農薬米をスタンダードとする米作り運動を県をあげて行っており、農薬による環境負荷軽減を目標とし、初期除草剤の移植時または移植後使用を指導している¹⁰⁾。

以上の流出防止対策に加え、実水田では、畦畔浸透等により有効成分が流出することから¹⁾、畦畔の適正管理が重要である。また、多降雨時の水尻流出も起こりうるため、適正な余剰貯留水深を設けることに努めなければならない²⁸⁻³¹⁾。

要 約

ライシメーターを用いて、プレチラクロール粒剤の水稻移植前使用における移植時の強制落水と浸透排水による流出状況を調査した。

強制落水時の排水中のプレチラクロール濃度は、2009年が174.0 $\mu\text{g/L}$ 、2010年が112.3 $\mu\text{g/L}$ であった。この時流出したライシメーター(15m²)当たりの有効成分量は2009年が

52.2 mg, 2010 年が 252.6 mg であり, 流出率はそれぞれ 8.7% と 42.1% であった. 浸透排水により流出した有効成分量は 2009 年が 0.7 mg, 2010 年が 3.3 mg であり, 流出率はそれぞれ 0.1% と 0.6% であった. これらのことから, プレチラクロールの水田からの流出に移植時の強制落水が強く関与していると考えられた.

謝 辞

本試験を行うにあたり, ライシメーターの管理や稲の栽培については, 秋田県農業試験場作物部長, 金和裕博士にご協力いただいた. また, 論文の作成に当たり, 日本植物防疫協会技術顧問, 中村幸二博士にご指導いただいた. ここに記して深く感謝の意を表する.

引 用 文 献

- 中村幸二, 高橋義行: 農業の環境科学最前線, 日本農業学会編, ソフトサイエンス社, pp. 108-120, (2004).
- 中村幸二, 柴 英雄, 長谷川英世: 農業誌 **8**, 9-15 (1983).
- 中村幸二: 農業環境科学研究 **7**, 1-10 (1999).
- 石井康雄, 稲生圭哉, 小原裕三: 農環研報 **23**, 15-25 (2004).
- 渡邊裕純, 高木和広, 石原 悟, Vu Hong Son, Thai Khanh Phong, 田中 拓: 今月の農業 **51**(2), 26-34 (2007).
- 渡邊裕純, 本林 隆, Thai Khanh Phong: 今月の農業 **51**(5), 89-97 (2007).
- 環境省水・大気環境局土壌環境課 農業環境管理室: 農業の流出防止技術の紹介, 日本植物調節剤研究協会, (2009).
- 日本植物調節剤研究協会: 平成 20 年度農業流出防止技術評価事業調査結果報告書 (2009). <https://www.env.go.jp/water/report/h21-01/full.pdf> (2013 年 3 月 29 日閲覧)
- 農林水産省消費・安全局農産安全管理課農業対策室: 農業適正使用の指導に当たっての留意事項について. 18 消安第 14701 号 (2007).
- 秋田県: 稲作指導指針, pp. 3-6, p. 162, (2011).
- 環境省: 水産動植物の被害防止に係る農業登録保留基準として環境大臣の定める基準の設定に関する資料 プレチラクロール (2011). http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=18480&hou_id=14358 (2013 年 3 月 29 日閲覧)
- 農業残留分析法研究班編: 農業の残留分析法 (改訂版), 中央法規出版株式会社, (2006).
- 食品安全委員会農業専門調査会: 農業評価書 プレチラクロール (2008).
- 環境省: プレチラクロールについて (案) (水産動植物の被害防止に係る登録保留基準関係) (2011). <http://www.env.go.jp/council/10dojo/y104-29/mat03.pdf#search='プレチラクロールについて'> (2013 年 3 月 29 日閲覧)
- 環境省: 農業による水産動植物の被害防止のための実環境中濃度の実態把握について 環水大土発第 111012001 号 (2011).
- 環境省: 農業残留対策総合調査 (2005~2009). <http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/report2/index.html> (2013 年 3 月 29 日閲覧)
- 三浦恒子, 藤井直哉: 東北の雑草 **10**, 6-8 (2010).
- 日本植物調節剤研究協会 HP: 平成 24 年度除草剤適正使用キャンペーンについて (2012). <http://japr.or.jp/index.html> (2012 年 4 月 10 日閲覧)
- 日本植物防疫協会編: 農業概説, 日本植物防疫協会, (2012).
- 土壤保全調査事業全国協議会編: 日本の耕地土壌の実態と対策 (新訂版), 博友社 (1991).
- 芙蓉パーライト株式会社 HP: <http://www.fuyo-p.co.jp/seihin/index.html> (2013 年 3 月 29 日閲覧)
- 気象庁 HP 気象統計情報: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2013 年 3 月 29 日閲覧)
- 秋田地方気象台 HP: 気象観測資料: <http://www.jma-net.go.jp/akita/siryo.htm> (2013 年 3 月 29 日閲覧)
- H. Tanba: "Nogyo Doboku Handbook," Jpn. Soc. Irri. Drain. Rec-lam. Engin., Tokyo, pp. 191-192, (2000).
- 丸 論: 農業誌 **18**, S135-S143 (1993).
- 山根一郎編: 水田土壌学, 農文協, pp. 40-48 (1982).
- 秋田県: 秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 平成 26 年度版 (2014).
- T. K. Phong, H. Watanabe, T. Q. Hien, S. H. Vu, T. Tanaka, D. T. T. Nhung and T. Motobayashi: *J. Pestic. Sci.* **33**, 159-165 (2008).
- S. H. Vu, S. Ishihara and H. Watanabe: *Pest Manag. Sci.* **62**, 1193-1206 (2006).
- T. K. Phong, H. Watanabe, T. Nishimura, K. Toyoda and T. Motobayashi: *Weed Biol. Manag.* **8**, 243-249 (2008).
- M. Sudo, Y. Goto, T. Okajima, R. Horiuchi and H. Odani: *J. Pestic. Sci.* **37**, 140-147 (2012).