

称号及び氏名	博士（応用生命科学）	朝倉 草平
学位授与の日付	平成26年3月31日	
論文名	水稲用除草剤ピリミスルファンの実用化と水田転換畑への応用に関する研究	
論文審査委員	主査	大門 弘幸
	副査	今堀 義洋
	副査	谷森 紳治
	副査	中山 祐一郎

論文要旨

雑草管理に化学的防除が導入されてからの農作物生産における労働時間の短縮は著しい。例えば日本の水稲栽培では、手取り除草で10aあたり50時間とされてきた労働時間が、現在は2時間以下と大幅に減少した。この間に270種類以上の除草剤が開発され、より高活性な化合物によって単位面積当たりの薬量は減少し、水稲一作では1984年の4904 g a.i./haに対し、2003年にはその40%まで軽減された。1987年に登録されたスルホニルウレア系除草剤（以下、SU剤）は、100 g a.i./ha以下でノビエを除く水田雑草に効果を示し、残効期間も長いことから、一発処理剤として利用されるようになった。しかし、1996年にSU剤抵抗性のミズアオイが発見され、SU剤抵抗性雑草の広がりが問題となっている。このような背景の中、日本では除草剤の使用成分数を抑えた環境負荷の軽減が試みられている。農林水産省は、その地域の各農薬の慣行的な使用回数を50%以下に抑えた特別栽培農産物（他に肥料の制限あり）を規定しており、除草剤でも幅広い雑草種の防除剤の開発が望まれている。

主要穀類の水稲に加えて、食料自給率向上に必須な畑作物生産では、外来雑草の蔓延が顕在化している。例えば、帰化アサガオ類は外来雑草の一つであり、2007年頃から水田転換畑のダイズ栽培等で問題となってきた。転換畑は排水性が悪く作物の生育不良が生じやすい。一方、外来雑草も過剰水分の影響を受けるが、その応答反応の知見は少

ない。外来雑草の特性を把握することは、防除対策を立てる際の基盤となることから、過剰水分の影響を評価するモデル実験系の構築が急がれる。

そこで本研究では、第1章では水稲作における有効な新規除草剤ピリミスルファンの開発とその最適な使用法を検討し、第2章では水田転換畑ダイズ作で問題となる帰化アサガオ類とヒロハフウリンホオズキの発生状況を調査し、ピリミスルファンによる防除の可能性を検討した。第3章では、ダイズおよびアサガオ類の過剰水分の影響を評価する試験系の構築を行い、帰化アサガオ類の耐湿性評価を行った。

第1章 新規水稲用除草剤ピリミスルファンの除草効果の評価

ピリミスルファンの除草活性を測定するために、主要雑草であるタイヌビエ、SU剤抵抗性のコナギとイヌホタルイを供試して、450 mL容のプラスチックカップに滅菌した埴壤土を60 mL入れ、各濃度に設定したピリミスルファンを200 mLを加え、30°Cのグロースチャンバー内で除草効果試験を行った。ピリミスルファンの半数致死濃度(IC₅₀)は、タイヌビエに対して4.79 ppb、SU剤抵抗性コナギに対して6.66 ppb、SU剤抵抗性イヌホタルイに対して2.91 ppbであった。また、1/5,000 aポットによる試験では、種子繁殖性の10種(SU剤抵抗性2種を含む)、塊茎による栄養繁殖性の6種を供試して効果を確認したところ、25 g a.i./haですべての草種に対して卓効を示し、単一の成分で主要雑草の防除が可能な水稲用除草剤として利用できる可能性が示された。

水田では田面水に除草剤を拡散させて防除するが、畦畔管理の不備や大雨によるオーバーフローなど、水田系外への田面水の流出が生じ、除草効果が低下することがある。そこで、ピリミスルファンの実用化にあたり、湛水深を4 cmとして薬剤処理したポットに、ゴムチューブで表面水を抜き、新たに水を加える試験区を設け、効果の安定性を評価した。その結果、タイヌビエ、コウキヤガラ、SU剤抵抗性コナギ、SU剤抵抗性イヌホタルイに対しては、除草効果が不十分となることがわかった。この現象はピリミスルファンの水溶解度が比較的高いことに起因する。そこでピリミスルファンの溶出制御による除草効果の安定化を試み、67 g a.i./10aの溶出制御製剤を開発し、発生前からノビエ3葉期まで使用できる一発処理除草剤—ピリミスルファン1キロ粒剤—を創出した。

次に、このピリミスルファン1キロ粒剤を使い、発生期間が長いために一発処理除草剤を使用した際に残草し易く、難防除雑草とされるコウキヤガラとシズイの防除法を検討した。コウキヤガラについては、千葉県自然発生圃場で処理時期を検討し、初期剤と組み合わせて移植後20日目にピリミスルファン1キロ粒剤を施用することが最適であった。青森県で問題雑草となっているシズイは、温暖地の圃場試験では長期にわたる発生がみられなかったため、循環型恒温水槽を用い、青森県藤坂試験場の気温に準じて水温を調節したモデル試験系によって評価した。その結果、ピリミスルファン1キロ粒剤は、処理時期を遅くしても除草効果が高く、今後の雑草防除に有用な薬剤となることが示された。

第 2 章 静岡県袋井市の水田転換畑ダイズ圃場における帰化アサガオ類とヒロハフウリンホオズキの発生生態の解析とピリミスルファンによる防除法の検討

帰化アサガオ類やヒロハフウリンホオズキは、ダイズ用除草剤では防除が難しく、水田転換畑ダイズ圃場では大きな問題となっている。本章では、静岡県袋井市の水田転換畑ダイズ作において、帰化アサガオ類とヒロハフウリンホオズキの発生生態を調査し、ピリミスルファンによる防除の可能性を検討した。

本圃場のアサガオ類の発生は、慣行の除草剤を土壌処理した区において、2010 年ではダイズ（フクユタカ）播種後 9 日目にみられ、2 葉期には 24 個体/m²が確認された。2011 年では播種時に既に 4 個体/m²の発生がみられ、2 葉期には 25 個体/m²、5 葉期には 30 個体/m²が確認された。発生したアサガオ類は、マメアサガオ、ホシアサガオ、マルバアメリカアサガオの 3 種であった。一方、ヒロハフウリンホオズキは、2010 年ではダイズ播種後 18 日目には 124 個体/m²、2011 年では 9 日目までに 500 個体/m²を超える発生が見られた。両雑草類によるダイズ収量への影響は甚大であり、2010 年では慣行の土壌処理で防除した区（以下、土壌処理区）では、土壌処理に加えて手取りした区（以下、土壌処理+手取区）に比べて子実重で 66%減収した。2011 年ではダイズ 2 葉期または 5 葉期に手取り除草する区を設けた。子実収量は、土壌処理区に比べて土壌処理+手取区では、2 葉期の手取り区で 78%、5 葉期の手取り区で 95%それぞれ増加した。このことから、帰化アサガオ類とヒロハフウリンホオズキの侵入圃場では、除草剤の土壌処理に加えてダイズ 2 葉期から 5 葉期に適正な防除を行うことで雑草害が軽減されることが示された。

ピリミスルファンの転換畑ダイズ作への適用を想定し、ダイズ 2 葉期または 5 葉期に茎葉処理し、帰化アサガオ類に対する除草効果とダイズ生育に対する影響を調査した。その結果、両処理時期ともに 10 g a.i./ha 以上で無処理に比べて達観調査で地上部の生育量を 90%程度を抑え、帰化アサガオ類に対して高い除草効果を示した。多くのアサガオは枯死し、残草した個体についても蔓の伸長を抑え、ダイズへの絡み付きも軽減された。一方、40 g a.i./ha まではダイズ生育への影響はなく安全性が確認されたが、5 葉期の 80 g a.i./ha 処理では、主茎先端が枯れる薬害が生じた。薬害の多寡の原因として、葉面積の拡大とともに個体あたりの薬剤の曝露量が増えたことがあげられる。以上のように、ピリミスルファンによる帰化アサガオ類の防除では、ダイズ本葉 2 葉～5 葉期において 10 ～20 g a.i./ha で適用できる可能性が示された。

第 3 章 ダイズと帰化アサガオ類の過剰水分条件下に対する応答反応

マメアサガオ、ホシアサガオ、マルバアメリカアサガオについては、過剰水分に対する応答反応に不明な点が多い。そこで、発芽時と生育初期における耐湿性評価のモデル試験系を構築し、過剰水分への応答反応を評価した。アサガオの種子は、いずれの試験においても刺傷処理を施し、休眠打破したものを使用した。

発芽に及ぼす気相酸素濃度の影響を明らかにするために、アルゴンガスで気相を置換する簡易な発芽試験法を構築した。本法では、酸素濃度 0%を想定した処理区の酸素濃度は、実測値で 0.62%であり、完全な嫌気条件は設定できなかった。想定した酸素濃度 (0, 1, 5, 10, 20%) 条件下では、マメアサガオは、いずれの区でも比較的高い発芽率を示し、ホシアサガオは、0%区においても 30%の発芽率を示した。一方、マルバアメリカアサガオは、ダイズ品種フクユタカと同様に、0%区と 1%区では発芽が著しく抑制された。置床 4 日目における幼根長と下胚軸長は、マルバアメリカアサガオではダイズと同様に酸素濃度の低下に伴う抑制が顕著であった。以上のように、帰化アサガオ類の酸素低濃度条件における発芽特性の種間差が明らかになった。

生育初期の過剰水分の影響を評価するために、水稻試験用に作成されたパイプの調整が可能な大型の FRP ポットを用いて、土壌水分の制御を行う実験系を構築した。本手法を用いてダイズ (品種：フクユタカ) の初期生育の湿害の様態を観察した。パイプをポットの土壌表面と同じ 0 cm 区に設定した場合に土壌水分は速やかに上昇し、その後の体積含水率は平均 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ と静岡県菊川市の水田圃場の飽和体積含水率に近い条件となった。一方、土壌表面よりパイプの排水位置を 15 cm 下げた区では体積含水率が $0.20 \text{ m}^3/\text{m}^3$ で推移した。0 cm 区では、水位設定後 10 日目から 34 日目まで、主茎長、主茎節数、一次分枝数、地上部乾物重は、15 cm 区に比べて低く推移した。地上部乾物重は、播種後 17 日から 29 日まで 0 cm 区では 15 cm 区の約 40%に抑えられた。以上のように、FRP ポットを用いて土壌水分を変動させる試験系が構築でき、今後、転換畑の雑草生態の研究に応用することが期待される。本試験系を用いて、マメアサガオとマルバアメリカアサガオの過剰水分に対する反応を調査したところ、両種ともに生育抑制が認められたが、播種後 20 日目以降、マメアサガオでは胚軸からの不定根の形成が著しく、過剰水分に対する応答反応の種間差異が示された。

以上のように、本研究では、単一の成分で除草が可能な新規水稻用除草剤ピリミスルファンを一発処理剤として創出した。また、難防除性草種について適切な防除時期を明らかにした。帰化アサガオ類にも本剤が活性を有し、防除資材として利用できる可能性を示した。除草剤研究に利用し得る発芽実験法と地下水位を制御するポット試験法を提案し、帰化アサガオ類の過剰水分条件における発芽と初期生育の種間差異を明らかにすることができた。

審査結果の要旨

農作物生産において雑草管理に除草剤を効果的に利用することは重要であり、高品質、多収穫を実現し、労働時間の短縮にも繋がる。我が国の水稲作においては、スルホニルウレア系除草剤（SU 剤）が一発処理剤として利用されているが、SU 剤抵抗性雑草の広がりや問題となっている。一方、畑作においては、帰化アサガオ類のような外来雑草の蔓延が顕在化しており、水田転換畑のダイズ栽培で問題となっている。そこで本研究では、水稲作における有効な新規除草剤ピリミスルファンの開発とその最適な使用法を検討し、さらに、水田転換畑ダイズ作における帰化雑草類の発生状況を調査し、ピリミスルファンによる防除の可能性を検討した。また、水田転換畑における過剰水分に対するダイズとアサガオ類の応答反応を評価する試験系を構築し、除草剤開発の基盤となる実験手法を提案した。

第1章では、水田雑草のタイヌビエ、コナギ、イヌホタルイに対するピリミスルファンの除草活性を評価した。ピリミスルファンの半数致死濃度は、タイヌビエで **4.79 ppb**、SU 剤抵抗性コナギで **6.66 ppb**、同イヌホタルイで **2.91 ppb** と、いずれも低投入量で効果的であった。また、種子繁殖性の **10 種** と栄養繁殖性の **6 種** の雑草にも卓効を示し、単一成分で防除が可能な水稲用除草剤として利用できる可能性が示された。次に、畦畔管理の不備や大雨による田面水の流出を考慮し、本剤の溶出制御製剤を開発し、水田のオーバーフロー時の効果とその安定性を評価したところ、発生前から **3 葉期** 頃まで使用できることが示された。本溶出制御製剤を供試し、難防除性のコウキヤガラとシズイの防除法について、千葉県と青森県における現地試験によって検討したところ、本剤はいずれに対しても除草効果が高く、雑草防除に有効な薬剤となることが示された。

第2章では、静岡県袋井市の水田転換畑ダイズ圃場において、帰化アサガオ類とヒロハフウリンホオズキの発生生態を **2 年間** にわたり調査し、ピリミスルファンによる防除の可能性を検討した。試験圃場におけるマメアサガオ、ホシアサガオ、マルバアメリカアサガオおよびヒロハフウリンホオズキの発生は、慣行の除草剤を土壌処理した区では、ダイズ播種直後、**2 葉期**、**5 葉期** に確認された。両雑草によるダイズ収量への影響は甚大であり、慣行の土壌処理区では **2 葉期** 手取り区に比べて **66%** 減収したが、ピリミスルファンをダイズ **2 葉期** または **5 葉期** に茎葉処理したところ、高い除草効果を示した。なお、**40 g a.i./ha** まではダイズ生育への影響はなく安全性が確認されたが、**5 葉期** の **80 g a.i./ha** 処理では、主茎先端が枯れる薬害が生じた。したがって、ピリミスルファンによる帰化アサガオ類の防除では、ダイズ本葉 **2 葉**～**5 葉期** において **10**～**20 g a.i./ha** で適用できることを明らかにした。

第3章では、水田転換畑におけるダイズと帰化アサガオ類に対する除草剤開発の際に基盤となる耐湿性評価のモデル実験系の構築を試みた。まず、発芽時と生育初期における過剰水分に対する応答反応を評価するために、アルゴンガスで気相を置換する簡易な

発芽試験法を作出した。想定した酸素濃度（0, 1, 5, 10, 20%）条件下では、マメアサガオは、比較的高い発芽率を示し、ホシアサガオは、0%区においても30%の発芽率を示した。一方、マルバアメリカアサガオは、ダイズと同様に、0%区と1%区では発芽が著しく抑制され、幼根長と下胚軸長についても抑制が顕著であった。さらに、生育初期の過剰水分の影響を評価するために、水稻試験用に作成された大型のFRPポットを用いて、土壌水分の制御を行う実験系を構築した。排水パイプの高さの調整により地下水位0 cmに設定した区では、ダイズの主茎長、主茎節数、一次分枝数、地上部乾物重は、地下水位15 cm区に比べて低く推移し、地上部乾物重は約40%に抑えられ、窒素固定活性も抑制された。アサガオ類においては、胚軸からの不定根の形成などの過剰水分に対する応答反応の種間差異が示された。以上の結果から、本手法が水田転換畑の雑草生態の解析と除草剤開発研究に有用であることが示された。

本研究では、単一の成分で除草が可能な新規水稻用除草剤ピリミスルファンを一発処理剤として開発し、難防除性草種への適切な防除時期を明らかにした。帰化アサガオ類にも本剤が活性を有し、除草剤として利用できる可能性を示した。さらに、除草剤研究に利用し得る発芽実験法と地下水位を制御するポット試験法を提案し、帰化アサガオ類の過剰水分条件における発芽と初期生育の種間差異を明らかにした。これらの成果は、水稻ならびにダイズの除草剤の開発とその実用化に資せるとともに、作物学、雑草学、農薬化学の分野における応用研究としても高く評価できるものである。したがって、最終試験の成績とあわせて博士（応用生命科学）の学位を授与することを適当と認める。