

平成 23 年度 豊岡市コウノトリ野生復帰学術研究奨励論文

抑草機や有機質資材による水田雑草コナギ防除の可能性 ～コウノトリ育む農法の支援を目指して～

神戸大学農学部資源生命科学科

熱帯有用植物学研究室

河原露子

要旨

コウノトリ育む農法の支援を目的として、機械と有機質資材による抑草効果について調査を行った。

アイガモロボットの走行により、条間の雑草は抑えることができたが、株間の雑草は抑えられなかった。走行のタイミングを水稻移植直後に集中させることが必要であると考えられた。

チェーン引きと有機質資材の投入という 2 つの技術を組み合わせた結果、抑草効果は相殺された。圃場試験とポット試験より籾酢液を 2 L/a 投入することで、ナタネ油の搾りかすを 10 kg/a、米ぬかを 10 kg/a、くず大豆を 4 kg/a 投入した時と同程度の抑草効果が得られることが分かった。有機酸や、溶存酸素および土壌中の酸化還元電位の急低下が抑草に関与していることが示唆された。

第1章 緒論

2006年12月に有機農業推進法が制定されてから、日本では有機農業の取り組みが盛んになってきている。日本農業の新しい展開方向として有機農業が位置づけられ、各地で地域に広がる有機農業や有機の里つくりといった取り組みが開始されている。中島（2010）は技術展開の方向としては、自然との共生が強く意識され、低投入・内部循環の高度化の技術体系の構築が目指されるようになってきていると報告している。

地域に広がる有機農業が実践されている例がある。それが「コウノトリ育む農法」である。兵庫県では、豊岡市を中心として自然との共生を目指したコウノトリ育む農法が行われている。ここで、コウノトリ育む農法が広まるまでの経緯を説明する。

コウノトリは全長約1m10cm、体重5kg、翼を広げると2mにもなる日本最大の鳥の一種である。かつては日本各地の里山に生息しており、日本人にとってなじみの深い鳥であった。豊岡周辺の但馬地方では、古くからコウノトリをめでたい鳥として愛でる習慣があった（小野ら2008）。豊岡の盆地では里山の松の上に巣をつくり、眼下に広がる湿田や円山川の水際の湿地で、カエルやドジョウ、ナマズやフナなどを餌としていた。この盆地は低地全体が淡水と海水が混じる汽水域であり、生物相が豊かであったことから、豊岡の湿地はコウノトリの大切なえさ場であったのだ。

しかし戦後、生産性を上げることを最大の目的とした近代的な農業がすすめられたことで、コウノトリの住処が徐々に奪われていった。湿地の乾田化が全国で強力に推し進められ、農薬使用によるえさの小魚や水生生物の減少、体内の化学物質の残留、蓄積の影響と思われる繁殖力の低下もあって、1971年にコウノトリは自然界から姿を消した（小野ら2008）。

このようにコウノトリがまちから姿を消してしまっただが、人々の中にはコウノトリがい

た頃の風景がしっかりと息づいていた。豊岡では、再びコウノトリと暮らせる日を目指し、地道な活動が半世紀近く続けられてきた。1985年、ソビエト連邦（現、ロシア連邦）のハバロフスクからオス4羽、メス2羽、合計6羽の非常に若いコウノトリが贈られることになった（小野ら2008）。この若いコウノトリがつがいを組み、1989年に初めて人工での繁殖に成功し、次第に人工飼育されているコウノトリの個体数が増加した（岸野2008）。人工飼育開始から25年、2002年には豊岡の飼育コウノトリは100羽を突破した。これを契機にコウノトリ野生復帰事業が本格的に議論されはじめた。そして2005年9月24日、コウノトリの郷公園から5羽のコウノトリが放たれた。この歴史的瞬間から2年後の2007年には123羽のコウノトリが豊岡で暮らし、そのうち20羽が野外で暮らすようになったと報告されている（中貝2007）。

この様な経緯から、豊岡市ではコウノトリ育む農法が取り組まれている。次に、コウノトリ育む農法の内容について述べる。コウノトリの絶滅原因を考慮した時、まず農業の変革が求められ、農薬や化学肥料を削減し、さらにコウノトリのえさ場機能を有した新たな水田づくりが求められた。具体的には農薬の不使用または削減、化学肥料の栽培期間中不使用、種子の温湯消毒、深水管理、中干し延期、早期湛水（できれば冬期湛水）などがこの農法の柱となっている（西村2008）。これらの手法はただ農薬や化学肥料の削減をするだけでなく、コウノトリが安心してえさをついばむことのできるように多様な命を育むと同時に、我々人間にも安全でおいしいお米を栽培できる環境をつくっていくというのを目的として行われている。例えば、中干し延期は、トノサマガエルやアマガエルのオタマジャクシがカエルに変わる時期までに水田から水を抜かないようにするために行われている。早期（冬期）湛水は産卵時期が2月から3月であるアカガエルが卵を産むことができる環境にするために行われている（中貝2007）。冬期湛水はアカガエルだけではなく、多様な生物の増殖を可能としている農法である（西村2008）。コウノトリ育む農法は年々広まっていき、2010年にはこの農法の実施面積が220haに達した（内藤2011）。

コウノトリ育む農法には課題も残されている。その1つが雑草害である。この農法は除草剤を使用しない農法であるため、雑草の対策が問題となっている。これらのことをふまえ、本試験ではコウノトリ育む農法を支援することを目的とし、除草剤にかわる幾つかの技術の抑草効果を調査する。この試験を実施するにあたり、現時点でほうこくされている無農薬栽培における雑草害について述べる。

無農薬栽培ではコナギ (*Monochoria vaginalis*) の発生が著しいといわれている。コナギは北海道南部以南の水田に発生するミズアオイ科、単子葉の広葉一年生雑草で、幼時は線形葉を出す、生長するとハート型の葉を着ける (野口ら1997)。コナギは日本の水稻作では常に代表的な強害雑草の一つとされてきた (松尾ら1997)。コナギが水田において強害雑草となる要因は、以下の3つが考えられる。

1つは、コナギがいったん水田に侵入すると、その雑草群落の優占種となりやすい性質をもっていることである (金森ら1977)。コナギは嫌気条件、すなわち湛水条件下で発芽率が高まるといわれている (片岡ら1978)。また、稲の根から出される物質が、コナギ種子の発芽に対する促進作用を持つという報告もある (竹内ら1991)。これらは水田で生息するにあたって非常に有利な性質であるといえる。種子生産量も多く、個体あたり成熟種子数は約1500粒であると推定されている (片岡ら1979)。1さく果中約120粒、1株あたり2760粒という報告もある (金森ら1977)。さらに、水田内で効率的に繁殖できるよう、閉鎖花を多くつける、開放花では開花する前に自家受粉を行うといった自殖率を高める生殖特性を持つことも報告されている (Imaizumi *et al.* 2008)。

もう1つは、窒素吸収が旺盛である (野口ら1997) ということである。コナギは地上部の窒素含有率が水稻と比較して2倍にのぼり、水稻と養分競合を行う (荒井ら1956)。福島県と山形県において有機栽培水田の雑草を出穂前に調査したところ、最も優占した雑草は全雑草乾物重の70%を占めるコナギであり、水稻の減収要因がコナギによる穂数減であるという報告もある (長谷川2008)。

もう1点は、有機質資材を投入して抑草を試みてもコナギは生き残る可能性が高いということである。水稻移植直後の有機質資材の投入による抑草方法では、田面水および土壌中を急激に還元化することで雑草の発生を抑える。しかし、コナギは上述したように還元化状態でも発芽をするため、還元化による抑草はできない。また、有機質資材を投入することで土壌中のFe(II)濃度が上昇し、これが雑草の生育を抑制するといわれている (Inubushi *et al.* 1984)。しかし、コナギはFe耐性が強く、Fe(II)濃度100 mg/l条件下でも発芽が抑制されないと報告されている (Nozoe *et al.* 2009)。

以上のことから、除草剤にかわる技術を検討するには、コナギの生態的特徴を念頭に置かなければならないと考えた。伊藤 (2010) は、その植物が最も不安定な時期にどのような環境を変えれば防除につながるのか、水田雑草の生き方と防除法を根本的に問いただしてみたい、と記している。そこで、出芽直後は生態的にきわめて弱い (伊藤2010)、発芽や成長過程において光を必要とする (稲葉1999)、根が有機酸により障害を受ける (稲葉1999)、という雑草の持つ性質をふまえたうえで、①雑草出芽初期、すなわち水稻移植直後に使用できる、②田面水を濁らせる働きをする、③有機酸を含む、もしくは生成するものを使用する、という条件を重視した。本試験では機械を用いた抑草法と、有機質資材の投入による抑草法について調査を行った。

機械には、近年新たに開発された水田用小型除草ロボットのアイガモロボット (写真1-1) を使用した。これはみのる産業株式会社や岐阜県情報技術研究所が共同で開発したロボットである。



写真 1-1. アイガモロボットが走行している様子

アイガモロボットに注目した理由は次の3点である。1つは、前述した条件のうち①水稲移植直後に使用可能、②の田面水を濁らせる働きをする、という2つの条件を満たすものだからである。アイガモロボットは小型であるため水稲移植直後に水田内を走行させることができる。走行によって田面水を濁らせる働きが期待されている（光井ら 2007）。このように雑草の弱点をふまえた抑草機構を持つことが重要であると考えた。もう1つは農家にとって導入しやすい機械であるためである。除草剤に代わる雑草対策として有力な機械除草は乗用大型機械が主流であるが、これを導入できるのは大規模農業を実施している一部地域に限られている。大型除草機には取り回しが悪く、水田の水持ちを悪くする危険性がある、高価であるため導入しにくい、という問題点がある。こういった従来の機械が有する問題を、農業者の意見を取り入れながら解決し、アイガモロボットは開発された。アイガモロボットには稲を検出するカメラが搭載されており、水田に設置したロボットが1枚の水田内の抑草を自動で行うため手間がかからない（光井ら 2010）。また、小型軽量で運搬

や取り回しが容易であり、導入しやすい価格設定が行われている。光井ら（2011）はアイガモロボットの目標価格を 30 万円に設定している。最後の理由は、環境に優しい抑草手段であるためである。アイガモロボットは除草剤を使用しないだけでなく、バッテリー駆動であるため、エンジン使用時の排オイルや排気ガスの排出がない（光井ら 2011）。このため環境に優しい抑草機として水田生態系の生物多様性の維持と保全に役立つと考えられる。

以上の理由から、アイガモロボットの抑草効果を調査し、実用化に貢献することが有益であると考えた。

有機質資材には、これまで雑草防除には使用されていなかった籾酢液という資材を使用した。これまで米ぬか（中井ら 2009；中山ら 2002）、くず大豆（鯨ら 2004）、ナタネ油の搾りかす（須藤ら 2010）など様々な資材の抑草効果が調査されているが、安定した効果が得られたという知見は少ない。これらの資材による安定した抑草効果を得られる条件をさらに詳しく研究していくとともに、新たに活用できる資材を探し出すことが必要であると考えた。籾酢液を使用した理由は次の 2 つである。1 つは、籾酢液を有効利用するためである。籾酢液は株式会社サタケが NEDO と共同で行っている籾殻の熱分解ガスを熱源とした籾乾燥システムのフィールドテスト事業において、副産物として生成されている。この副産物が農地で活用できる可能性を探るため、抑草効果の有無を調査した。もう 1 つは籾酢液には抑草効果が期待できたためである。籾酢液は有機酸から成る（明和工業株式会社ホームページ 2009）ため、上述したとおり、雑草の根の成長を抑制できる可能性がある（稲葉 1999）。また水稻の移植直後に投入することで、雑草が生態的に弱い時期に抑制することが可能であると考えた。以上の理由から、籾酢液の抑草効果を確認する試験を行った。

さらに、総合的な雑草防除技術を検討する必要があるという報告がなされている（中井ら 2011）ことから、チェーンによる抑草と有機質資材の投入という 2 つの技術を組み合わせることによる効果についても調査を行った。

今回調査を行う抑草方法では、雑草の出芽を抑える、もしくは発生初期の雑草の生育を

抑えることをねらいとしているため、雑草の発生が揃っているとより高い効果が期待できる。そこで、水田における一年生の広葉およびカヤツリグサ科雑草の発生様相は代かき時期により大きく変化し（小荒井ら 2001）、代かき時期が早いと雑草はだらだらと発生し、代かき時期が遅いと一斉に発生する（野口ら 1997）という報告があることから、水稻の移植時期を通常より遅い 6 月上旬に設定した。

第2章 水田におけるアイガモロボットとチェーン引きの抑草試験

<はじめに>

豊岡市を中心とした兵庫県の取り組みであるコウノトリ育む農法は、除草剤を使用しない農法であるため、雑草の対策が問題となっている（須藤ら2011）。除草剤を使用しない雑草管理技術の1つとして機械除草が挙げられる。有機農業の先進農家では、ハンディタイプの除草機や乗用田植え機を改良した手作りの除草機を使用している（伊藤2011）。安価な材料で簡単に自作できるチェーン除草機が農家の間に広まってきており（日本農業新聞2010）、新潟県立長岡農業高校では生徒が考案した竹ぼうき除草機を棚田で使用する活動が行われている（日本農業新聞2011）など、機械除草に対する関心が高まりつつある。機械除草への注目が高まる中、水田用小型除草機械アイガモロボット（写真2-1）がみのる産業株式会社と岐阜県情報技術研究所などにより開発された。アイガモロボットは環境に優しく、かつ省力的な除草手段として新たに開発されたものである。平成20年度には経済産業省「地域イノベーション創出研究開発事業」の委託研究において自律走行機能を備えたロボットが開発された（光井ら2010）。これをベースに、2010年度からは農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の委託を受け、稲の栽培体系まで含めたロボットによる除草技術の実用化研究が開始された（光井ら2010）。アイガモロボットの走行には、クローラによる雑草の踏み潰し、表層土壌の攪拌と雑草の掻き出し、土壌攪拌による水中照度の低下という効果が期待されている（光井ら2007）。ここで、アイガモロボットの走行によりもたらされる効果は除草効果ではなく、抑草効果であるという判断から、本紙ではアイガモロボットを抑草機と表すこととする。

アイガモロボットの除草効果試験は2006年及び2007年岐阜県内の3箇所で行われており、週2回の走行を7週間連続して行うことで抑草効果が認められている（光井ら2007）。しかし、農家に導入するには安定した効果を得られておらず、自律走行技術についてもまだまだ

だ検討が必要である。そこで、本研究ではアイガモロボットの実用化に向けてその抑草効果と抑草メカニズムについて調査を行った。対照としてチェーンによる抑草効果の調査も行った。

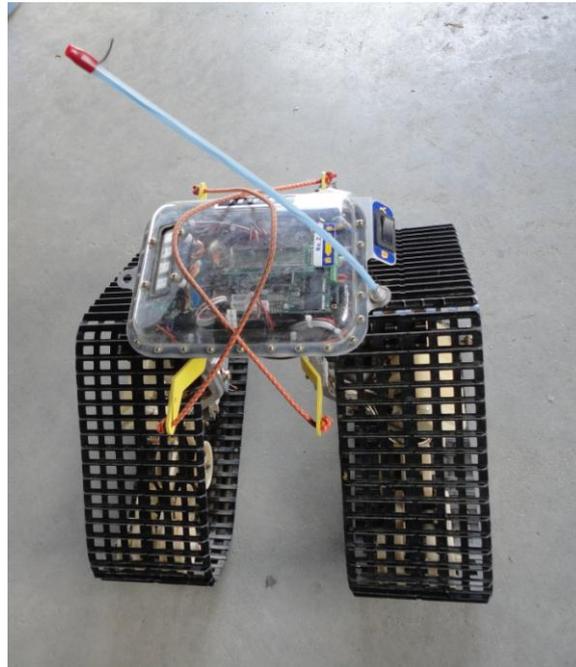


写真2-1. アイガモロボットを上から見た様子

(本試験機はリモコン操作型であり、本来の自走式のタイプとは異なっている)



写真2-2. チェーンを6条用乗用田植え機のうしろにわたした鉄パイプに取りつけ牽引して
いる様子

<材料及び方法>

1. 材料

アイガモロボット（写真 2-1）はみのる産業株式会社からリモコン操縦型のロボットをお借りした。ロボットは秒速約 0.5m で走行する。使用したロボットの仕様を以下に示す（表 2-1）。

本試験で使用したチェーンは、鉄パイプとチェーンをナイロンひもで結びつけて作製した。ナイロンひもの間隔は 5cm、チェーンは 90cm のものを二股になるよう 45cm のところでナイロンのひもに取りつけた。ナイロンひもとチェーンの長さは合わせて 80cm になるように調節した。総重量はパイプ込みで 23kg となった。これを 6 条用乗用田植え機に取りつけて使用した（写真 2-2）。

水稻はヒノヒカリを供試した。

表 2-1. 使用したアイガモロボットの仕様

全長	500mm
全幅	450mm
高さ	500mm
(クリアランス高)	(300mm)
クローラ幅	150mm
全備重量	8600g
モーター	7.2Kgf-cm 18.5W × 2
バッテリー	Ni-MH 24V-4.3Ah

2. 試験地

兵庫県立農林水産技術総合センター（兵庫県加西市別府町南ノ岡甲 1533、北緯 34 度 55 分・東経 134 度 53 分）内の C-2 番圃場で行った。土壌は沖積層・壤土である。

3. 試験区設定

水稻の苗の種類、投入する機械、圃場の前歴といった条件をかえて 11 区の試験区を設定

した（表 2-2）。試験区のレイアウトは下図のようにした（図 2-1）。ただし、残草量、濁度、収量のデータは圃場の前歴による区分けを考えずに平均値を算出した。

表 2-2. 試験区の設定

苗の種類	抑草方法	圃場の前年の夏作
ポット苗 (中苗)	アイガモロボット	除草剤使用
		無除草
	チェーン	除草剤使用
		無除草
	無処理	除草剤使用
マット苗 (稚苗)	アイガモロボット	除草剤使用
		無除草
	チェーン	除草剤使用
		無除草
	除草剤処理	除草剤使用
	無処理	除草剤使用

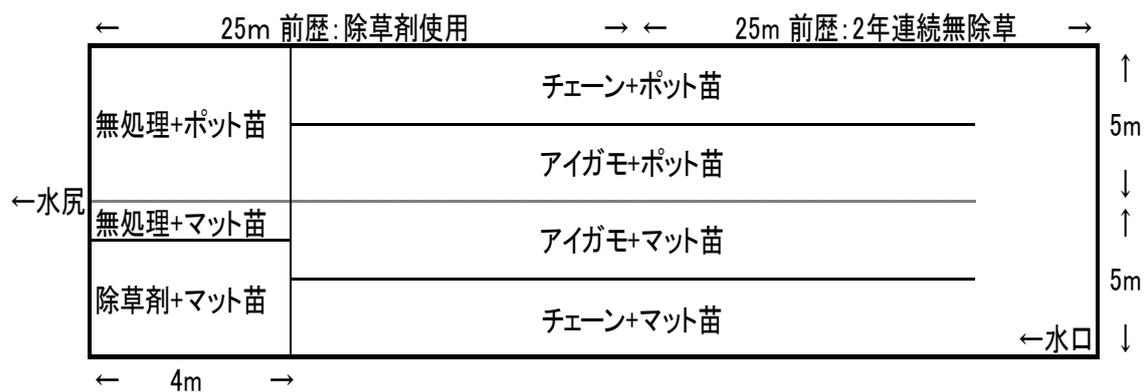


図 2-1. 試験区の設定

注) 一線は畦畔板を示す。

4. 耕種概要

2011年4月21日に浸種、4月27日に播種されたポット苗の中苗と5月12日に浸種、5月28日に播種したマット苗の稚苗を使用した。代かきを6月7日に行い、6月10日にヒノヒカリのマット苗の稚苗とポット苗の中苗を移植した。移植は乗用6条田植え機で行った。基肥として尿素硫化燐安48号(N:P₂O₅:K₂O=0.4:0.4:0.4/a)を12.5kg施用し、穂肥としてC-3号(N:P₂O₅:K₂O=0.3:0.3:0.3/a)をマット苗区、ポット苗区それぞれに4.5kgずつ施用した。水深は5cm前後で保った。アイガモロボットは移植3日後の6月13日に初走行させ、週2回で5週間、計10回(6月16日、19日、23日、27日、30日、7月4日、8日、10日、14日)走行させた。チェーンは、移植5日後の6月15日に初走行させ、週1回で5週間、計5回(6月22日、30日、7月6日、13日)走行させた。

4. 濁度調査

アイガモロボットとチェーンが走行することによる水の濁度を30cmのシリンダーを用いて測定した。ひしゃくを用いてシリンダーに注意深く水を濁らせないように調査区の田面水を採り、上からのぞきながら中の水を出していき、シリンダー底部に張り付けてある白いプラスチックに書かれた2重線(図2-2)が見えるところで排水を止め、そのときのシリンダー内の水位を濁度の指標とした。濁度の値(cm)が小さいほど濁っていることになる。アイガモロボットとチェーンの走行直前と走行5分後の濁度を6月30日に調査した。また6月23日のアイガモロボット走行直前、5分後、4時間後、9時間後および27時間後における濁度の経過と7月13日のチェーン走行直前、2時間後、5時間後における濁度の経過を記録した。アイガモロボットとチェーンが走行した区はポット苗区とマット苗区でそれぞれ2反復、無処理区は反復なしで測定を行った。

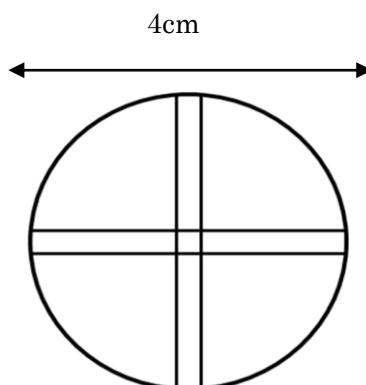


図 2-2. 濁度を測定するシリンダー底部に
張り付けられている白板プラスチック板

5. 残草量

アイガモロボットとチェーンが走行する直前と直後の雑草の様子を比較するために、畦畔板で 50cm 四方の枠を作成し、任意の場所に設置してその中の水を抜き、上から撮影した。調査場所の雑草の発生に影響を与えることをさけるため、畦畔板の設置と取り外しは速やかに行った。アイガモロボット走行区は 7 月 4 日、チェーン走行区は 7 月 6 日に走行した時に撮影を行った。最終的な残草量は 7 月 19 日に抜き取り調査を行って確認した。ポット苗区は 50cm×99cm、マット苗区は 50cm×90cm 内の雑草を株間と条間に分けて抜き取り、種類別に乾物重を測定した (図 2-2)。1 区につき 3 か所で調査を行った。ただし区画の面積が小さいため無処理+ポット苗区、除草剤+マット苗区では 2 か所、無処理+マット苗区では 1 か所で調査を行った。1 か所につき株間と条間をそれぞれ 3 反復ずつ取った。データは株間と条間の残草量を足したものと分けたものをそれぞれグラフに表した。

6. 水稻の生育調査及び収量構成要素

10 月 13 日に各試験区につき 4 m²内の稲株を地際から刈り取り、雨よけ条件下で通風乾燥させた後、稈長、穂長、穂数および収量の調査を行った。また、別に各区 5 株を地際か

ら刈り取り、収量構成要素を調査した。収量構成要素は1区につき2か所で調査を行った。
ただし区画の面積が小さいため無処理+ポット苗区、除草剤+マット苗区、除草剤+マット苗
区では1か所で調査を行った。



図 2-3. 雑草の抜き取り調査における、株間と条間の分け方

<結果>

1. 濁度調査

6月30日にアイガモロボットとチェーンを走行させたところ、アイガモロボット走行直後の濁度は3cm付近、チェーン走行直後の濁度の値は1cm付近まで低下した(図2-4)。アイガモロボット走行区も、チェーン走行区も走行直前は無処理区の濁度の値のほうが低くなっていた。アイガモロボット走行区では、走行直後から27時間後までは濁度の値が変化しなかった(図2-5)。すなわち、アイガモロボットが走行した程度では今回の試験地の壤土は照度が半分程度に低下するくらいしか濁らなかった。チェーン走行区では走行から5時間後まで低い値をとっていた(図2-6)。無処理区の濁度はアイガモロボットとチェーンを走行させる前では他の区より濁っていることが観察された。また、田面水の濁りは時間帯や天気によって左右されることが観察された。

2. 雑草調査

7月4日のアイガモロボット走行において、走行の直前と直後では、走行直後に条間の雑草が倒伏していたが、繁茂量に変化は見られなかった(写真2-3)。7月6日のチェーン走行においても、条間の雑草の倒伏は見られたが、走行の前後で繁茂量に変化は見られなかった(写真2-4)。主に株間に残草しており、条間にもわずかに残草していた。このとき、枠内において本葉が2~3枚出ているコナギが優占していた。アイガモロボットとチェーンの走行直後で水稻の倒伏は見られなかった(写真2-3, 4)。

移植39日後の残草量はポット苗区で少なくなった(図2-7)。無処理+マット苗区では大きなヒエが1株残草していたため誤差が大きくなった。ポット苗区ではアイガモロボット走行区、チェーン走行区、無処理区の順で残草量が少なくなった。マット苗区ではアイガモロボット走行区、チェーン走行区、無処理区の残草量に差が見られなかった。

株間と条間の残草量を比較すると、アイガモロボットとチェーン走行区では条間の残草

量が顕著に少なくなっていた（図 2-8）。無処理区では株間より条間で残草量が多くなっていた。

3. 水稻の生育・収量および収量構成要素

ポット苗区では区による稈長と穂長の違いは見られなかった（表 2-2）。マット苗区では除草剤区の稈長が高くなっていたが、その他の区では稈長、穂長に違いが見られなかった。精玄米重はポット苗区、マット苗区どちらもアイガモロボット走行区で低くなった。

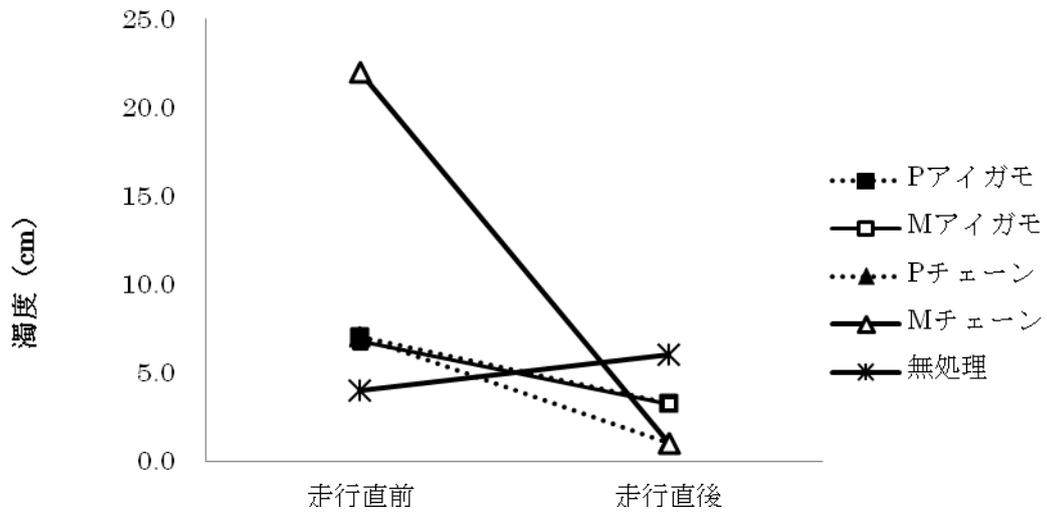


図 2-4. アイガモロボットとチェーン走行直前と直後の濁度 (2011 年)

※P はポット苗、M はマット苗を表す

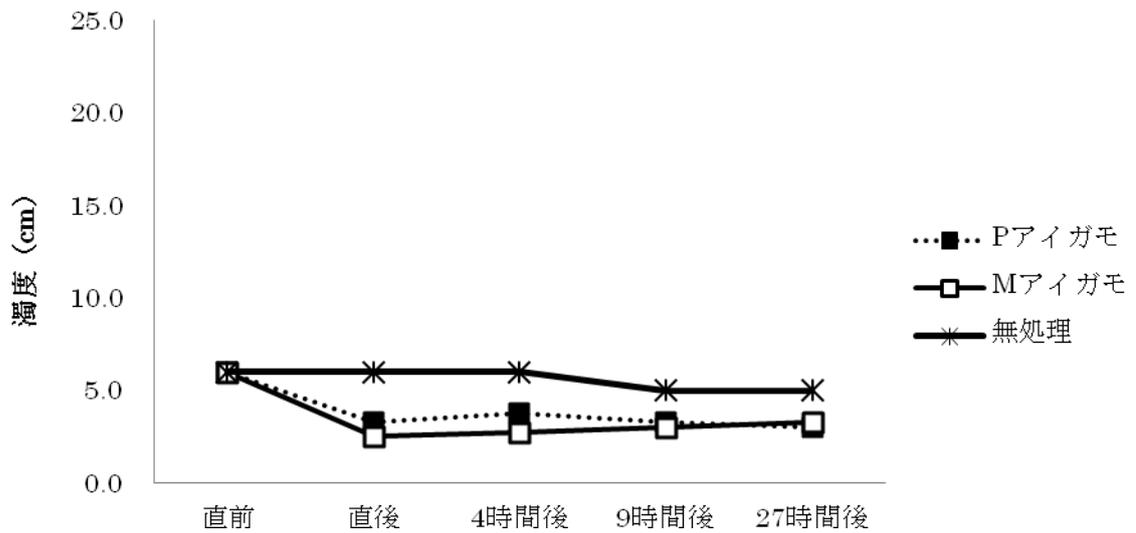


図 2-5. 6 月 23 日のアイガモロボット走行時の濁度経過 (2011 年)

※P はポット苗、M はマット苗を表す

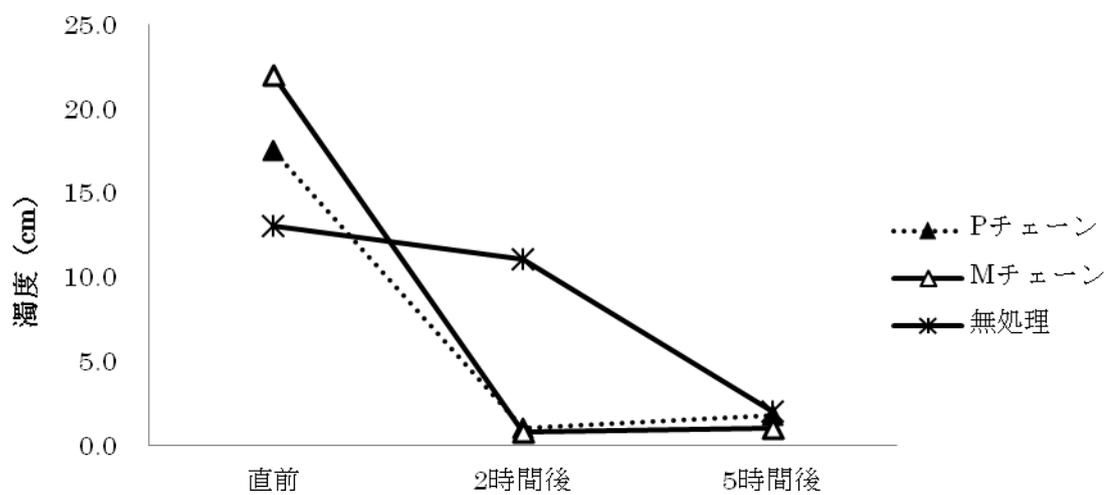


図 2-6. 7月13日のチェーン走行時の濁度経過 (2011年)

※Pはポット苗、Mはマット苗を表す



ポット苗



マット苗

写真 2-3. 7月4日のアイガモロボット走行直前（左）と直後（右）の雑草及び水稻の様子

A: ポット苗区アイガモロボット走行直前、B: ポット苗区アイガモロボット走行直後

C: マット苗区アイガモロボット走行直前、D: マット苗区アイガモロボット走行直後

※優占種はコナギ、その他イヌホタルイ、ヒメミソハギ、アゼナ、ミゾハコベが発生して

いた。



ポット苗



マット苗

写真 2-4. 7月6日のチェーン走行直前（左）と直後（右）の雑草及び水稻の様子

A: ポット苗区チェーン走行直前、B: ポット苗区チェーン走行直後

C: マット苗区チェーン走行直前、D: マット苗区チェーン走行直後

注) 優占種はコナギ、その他イヌホタルイ、ヒメミソハギ、アゼナ、ミゾハコベが発生していた。

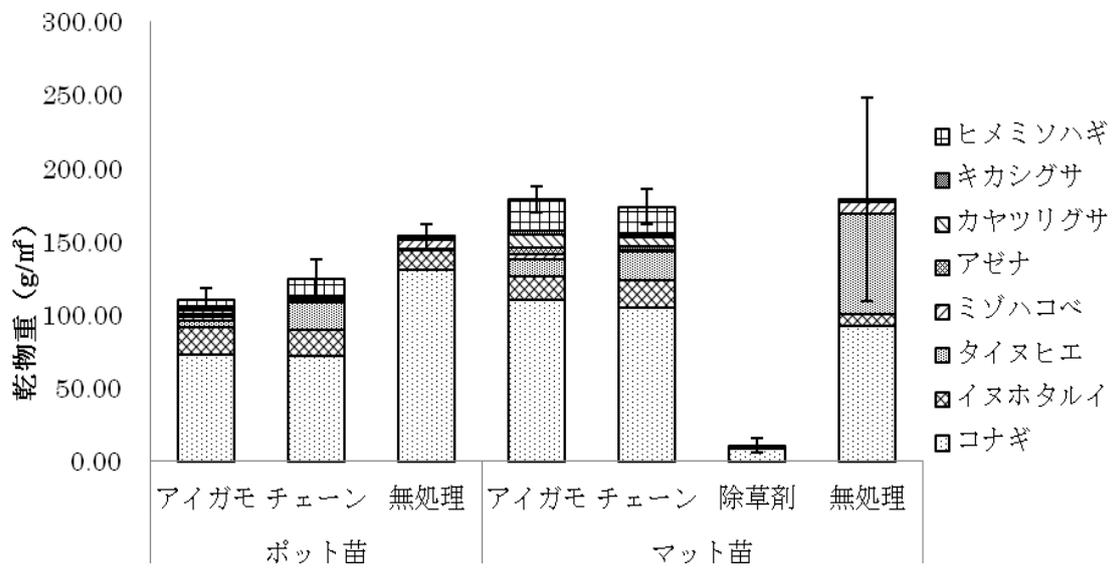


図 2-7. 移植 39 日後の㎡当たり残草量 (2011 年)

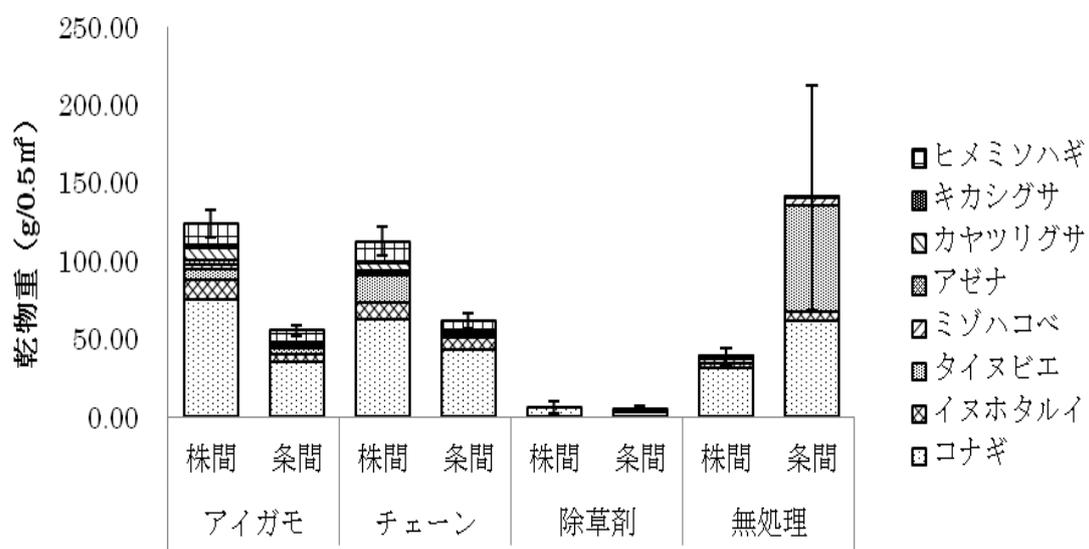
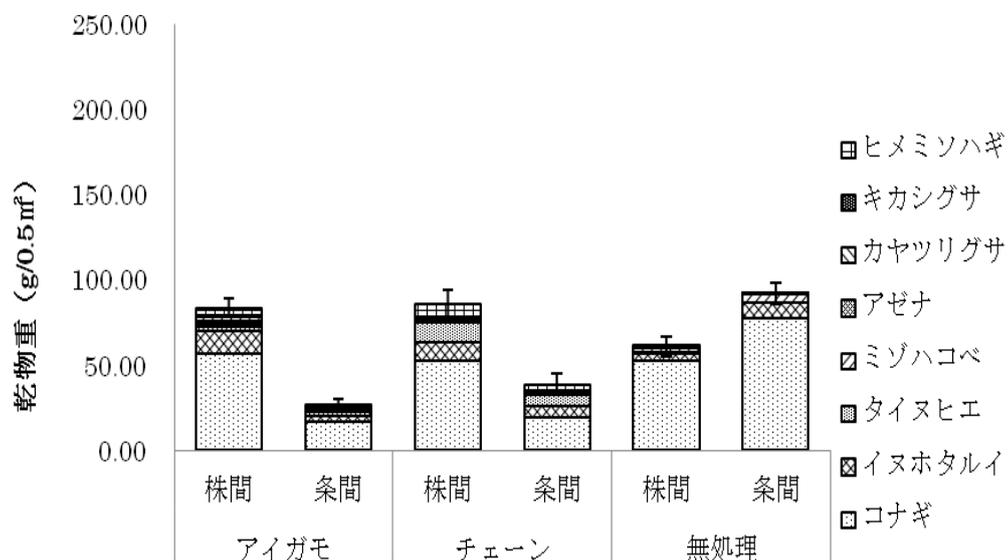


図 2-8. 移植 39 日後のポット苗区 (上) 及びマット苗区 (下) の株間と条間の残草量 (2011 年)

表 2-2. 水稻の生育、収量および収量構成要素

		稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米重 (kg/a) (%)	全重 (kg/a)	籾重 (kg/a)	株数 (株/m ²)
ポット苗	アイガモ	89	19.8	244	83	87	22.1	41.3 (85)	122	52.4	16.3
	チェーン	90	19.7	245	88	88	22.4	48.3 (100)	121	52.9	16.5
	無処理	90	20.4	254	96	92	22.2	48.4 (100)	141	60.6	16.3
マット苗	アイガモ	86	19.5	189	78	83	23.3	29.8 (65)	87	37.8	17.2
	チェーン	87	18.6	259	76	84	22.5	40.6 (89)	114	49.7	18.0
	除草剤	95	18.9	397	76	64	21.5	55.3 (121)	172	75.2	18.5
	無処理	89	18.9	258	85	81	22.5	45.8 (100)	133	57.8	16.8

注) 精玄米重の()内の数字は対無処理区比 (%) を表す

<考察>

1. 濁度調査

アイガモロボットを走行した区とチェーンを走行した区のどちらも走行直後は田面水が濁った（図 2-4）。アイガモロボットの走行に関しては、走行から 1 日経過しても田面水の濁りが維持され、チェーンでは走行から 5 時間経過しても田面水の濁りが維持されることが確認された（図 2-5）。無処理区がよく濁っていることも観察されたが、これはホウネンエビなどの水生昆虫が活動していたためだと思われる。田面水の濁りにより、出芽後の雑草の成長が著しく抑制されるという報告がなされている（福島ら 2003）。また、本試験において最も多く見られた雑草であるコナギの発芽には光が必要であり（稲葉 1999）、その抑草法のひとつとして田面水を濁らせておくことが挙げられる。これらのことから、田面水の濁りによる雑草の抑草効果を把握することは重要であるといえる。今後の調査では、田面水が定期的に一定期間濁ることによる抑草効果を比較できるような区画設計を行う必要がある。また、測定する時間やその時の水温を記録しておき、濁度の程度および維持可能時間を詳しく調査する必要がある。田面水が濁る要因と濁りが継続する時間を把握することで、アイガモロボットの効果を最大限に引き出すことのできる走行のタイミングを認識することができるだろう。濁りが継続できる条件の解明も大切なポイントである。

2. 雑草調査

7月上旬にアイガモロボットとチェーンを走行させた際、その走行の前後で雑草の繁茂量に違いが見られなかった（写真 2-3,4）。以上から、アイガモロボットとチェーンには7月上旬まで残草している雑草に対する除草効果がないということがいえる。これは雑草の引き抜き抵抗が大きく関係していると考えられる。水田雑草は発生してから日が経つにつれ、引き抜き抵抗が大きくなる。コナギの引き抜き抵抗は葉齢が進むにつれて累乗関数的に増加するという報告がある（安達ら 2011）。アイガモロボットやチェーンの抑草効果を発揮す

るためには、雑草が出芽する前もしくは出芽してすぐの時期に集中的に走行させ、本葉が出葉するまで残草させないようにする必要がある。

苗質による残草量の違いについて考察する。ポット苗とマット苗ではポット苗を移植した区の残草量が少なくなっていた（図 2-8）。これは、ポット苗とマット苗の活着の違いによるものである。葉齢の進んだ苗ほど活着や初期生育が優れているといわれている（山本ら 1995）。中苗であるポット苗は稚苗であるマット苗に比べて活着が良いため移植初期の雑草との競合に有利である。これにより、最終的な残草量にも影響が出たのだと考えられる。

次に、アイガモロボットの抑草効果について考察する。本試験ではアイガモロボットの走行によって十分な抑草効果を得ることができなかった。2007 年度に岐阜県内の 3 箇所の圃場でアイガモロボットの試験が行われたとき、無処理区と比較して 20～50%まで抑えられていることが報告されている（光井ら 2008）。そのときの試験圃場概要とスケジュールを以下に示す（表 2-4）。

表 2-4. 2007 年度の岐阜県内におけるアイガモロボット実証研究の

試験圃場およびスケジュール

場所	圃場標高	平均気温	土壌	供試品種	代かき	走行期間	最終残草調査日
岐阜市	10m	16.4℃	灰色低地土	ハツシモ	6/7	6/19～8/3	8/4
中津市	390m	14.3℃	多湿黒ボク土	コシヒカリ	5/18	5/29～7/10	7/9
飛騨市	493m	11℃	灰色低地土	コシヒカリ	5/16	5/31～7/21	7/13

本試験と違っているのは、土性である。沖積層・壤土よりも、灰色低地土や多湿黒ボク土の方が濁りやすく、抑草効果が得られた可能性がある。また、水田圃場の雑草発生量も大きく影響している。本試験では、移植 39 日後に雑草を抜き取ったところ、無処理区の乾物重は 150 g/m²となった。一方 2007 年の試験では、中津市の圃場における無処理区の残草乾物重は 20 g/m²程度、飛騨市の圃場では 60 g/m²程度であったと報告されている（光井ら

2008)。このことから、本試験で抑草効果が得られなかったのは圃場の雑草発生量が多かったためだと考えられる。

条間の雑草はクローラの踏み潰しにより抑草できていたが、株間の抑草はできていなかった。その効果はチェーンと同程度であった。これは、①初期の抑草が不十分であったこと、②アイガモロボットが走行した際に株間に土がたまり、水深が浅くなったことが原因だと考えられる。

①についてはアイガモロボットの投入のタイミングをかえることで大きく改善する必要があると考えられる。今回は移植3日後に初走行させ、その後は1週間に2回のペースで5週間走行させたが、5週目まで雑草が残っていた場合の走行では、上述したとおり除草することができなかった。そこで考えられるのが、移植直後の時期にアイガモロボットの走行を集中させるということである。例えば、移植1~3日後に初走行、その後1週間は毎日走行、2週目と3週目は週に2回走行させ、その後は走行させないという方法が考えられる。このように初期に走行を集中させ、田面水を常に濁らせておくことで、条間の雑草はもちろん、株間の雑草の発生を抑制することも可能であると考えられる。初走行をできるだけ早く、かつ水稻にダメージを与えないよう行うために、初期生育の良いポット中苗もしくは成苗を使う必要がある。また、6月中・下旬の移植では、代かき後約20日間コナギの発生を抑制すれば、コナギの生育量、種子生産量ともきわめて少なくなる（片岡ら1979）という報告があることから、4週目以降の走行は必要ないとした。今後の試験では、水田雑草、特に発生量が著しく多かったコナギの出芽および生育特性を考慮に入れたうえで走行のタイミングを改善していく必要があるだろう。しかし、②の問題については走行のタイミングをかえるだけでは解決できない。株間に土がたまっている様子を下に載せる（写真2-3）。この状態を防ぐためにはアイガモロボット自体に株間の土を取り除く機能を取りつける、深水で管理を行うといったことが必要であろう。



写真 2-3. 2011 年 8 月 11 日、アイガモロボットが走行した圃場の様子

3. 水稻の生育・収量および収量構成要素

ポット苗区においてはアイガモロボット走行区とチェーン走行区で稈長と穂長に違いが見られなかった(表 2-2)。しかし、精玄米重はアイガモロボット走行区がわずかに劣った。これは 1 穂粒数が少なかったことが原因であると考えられる。マット苗区においてはアイガモロボット走行区の精玄米重が顕著に低かった。これは穂数が少なかったことが原因である。穂数が少なくなった原因としてはまず雑草害が考えられるが、残草量が同程度のチェーン走行区においては穂数の減少がみられていないことから他の原因があると考えられる。収量構成要素を調査するための稲株を刈り取った際、生育が悪く、穂数が 8~9 本しかない株を採取してしまった可能性がある。今後の調査において、調査用の稲株を採取するときには生育が平均的である稲株を選出する必要があるだろう。また、ポット苗区とマッ

ト苗区のどちらにおいても無処理の収量が優れていた。これはホウネンエビなどの水生昆虫の活動により、無処理区で濁りが継続したため、また無処理区が圃場の隅に設置されたことにより周縁効果が働いたためといった原因が考えられる。

まとめ

本試験ではアイガモロボットによる抑草効果を得ることができず、その効果はチェーンによるものと同程度であった。条間の抑草はできていたが、株間に多く残草してしまった。主にコナギが残草していた。アイガモロボットを実用化するには、水田雑草（特にコナギ）の出芽および生育特性を考慮に入れたうえで、抑草効果を得られる走行のタイミングを確認することが必要であると考えられる。これにより、安定した収量を得ることも可能になるであろう。また、アイガモロボットの走行による田面水の濁りが水田雑草の抑草にどの程度貢献しているか、濁りはいつまで継続するかといったことについても明らかにすることが必要であろう。

第3章 水田におけるチェーン引きと有機質資材の組み合わせ抑草試験

<はじめに>

コウノトリ育む農法をはじめとする有機稲作の取り組みにおいて、機械除草や米ぬかといった有機質資材の投入など様々な抑草技術が試みられている。しかし、これらの技術単体で安定的な効果が得られたという事例は少ない。チェーン引きといった機械のみによる抑草は難しく、まだまだ改善点が多いということは2章で述べたとおりである。有機質資材に関しては、土壌表面に施用してもタイヌビエ、コナギ、イヌホタルイが多発し、雑草害により著しく減収している圃場が見られる(中井ら 2009)。そこで、本試験では雑草発生量の多い圃場で移植直後の有機質資材投入と、定期的なチェーン引きという2つの技術を組み合わせることによる相乗効果を期待し、調査を行った。また、株式会社サタケと NEDO の共同研究事業である『籾殻の熱分解ガスを熱源とした籾乾燥システムのフィールドテスト事業』で生成される副産物を有効利用するために、この副産物の一つである籾酢液を投入し、水田雑草の抑草効果を検討した。比較として古くから民間農法で使用されているナタネ油の搾りかす(鯨ら 2004)も投入した。これらの抑草メカニズムについて検討した。

<材料及び方法>

1. 材料

有機質資材として籾酢液とナタネ油の搾りかすを使用した。籾酢液は 59 g/l とその成分として酢酸が最も多く、低 pH の水溶液である。これは、株式会社サタケからいただいたものを使用した。籾酢液の成分を以下に示す(表 3-1)。また、ナタネ油の搾りかすは兵庫県立農林水産技術総合センターに保管されていたものを使用した。

本試験で使用したチェーンは第2章で使用したのと同じものを人力で引いた。ナイロンひもの間隔は 5cm、チェーンは 90cm のものを二股になるよう 45cm のところでナイ

ロンのひもに取りつけた。ナイロンひもとチェーンの長さが合わせて 80cm になるようにひもの長さを調節した。総重量はパイプ込みで 23kg となった。

水稻はヒノヒカリを供試した。

表 3-1. 靱酢液成分表

成分名	100mlに含まれる重量 (mg)
アセトアルデヒド	0.0
酢酸メチル	0.0
メタノール	291.9
ピリジン	0.0
酢酸	5908.3
アセトール	1502.4
プロピオン酸	601.8
N-酪酸	69.0
フルフラール	202.3
フルフリルアルコール	46.9
フェノール	203.5
シクロテン	39.7
o-クレゾール	24.8
p-クレゾール	62.5
グアヤコール	186.7
4-メチルグアヤコール	68.1
4-エチルグアヤコール	17.6
その他の成分	2163.6
水分	92110.9
比重	1.035
pH	2.5
測定日	平成13年3月29日

※明和工業株式会社ホームページ (2009) <http://www.meiwa-ind.co.jp> より

2. 試験地

兵庫県立農林水産技術総合センター (兵庫県加西市別府町南ノ岡甲 1533、北緯 34 度 55 分・東経 134 度 53 分) の B-16 番水田圃場で試験させていただいた。土壌は沖積層・壤土である。

3. 試験区設定

ナタネ油の搾りかす単独区、粃酢液単独区、チェーン引き単独区、ナタネ油の搾りかすおよび粃酢液とチェーン引きの組み合わせ区からなる 8 区画を設定した。試験区の構成を図 3-1 に示す。各区 6.4 m² で 2 反復とした。試験区の境界は水稻移植後に畦畔板で仕切った。ナタネ油の搾りかすは 10 kg/a、粃酢液は 1 L/a と 2 L/a の濃度でそれぞれ投入した。投入は畦畔板で仕切った後、田面水上に均一に広がるよう畦から行った。



図 3-1. 試験区の構成

注) 一線は畦畔板を示す

4. 耕種概要

2011年4月21日に浸種、4月27日に播種されたポット苗の中苗を用いた。

1回目の代かきを5月17日、2回目の代かきを6月6日に行い、6月9日にヒノヒカリポット苗の中苗を移植した。基肥としてコウノトリ有機(N: P₂O₅: K₂O=4.1: 6.5: 4.1)を1区画につき5 kg ずつ施肥した。移植はトライやるウィークで体験に来ていた中学生により手植えで行われた。移植直後に上記の濃度で有機質資材を投入した。水深は5 cm 前後に保った。チェーンは移植7日後の6月16日に引き始め、1週間に1回(22日、29日、7月6日、13日)で合計5回引いた。チェーン引きの時の水深は3~5cmであった。速度は人が歩く速さよりも速くして引いた。

5. 水質調査

6月8、11、13、17日に水中のpH、溶存酸素、電気伝導度、土壤中(地下5 cm 部分)の酸化還元電位、濁度及び水温を測定した。計器は株式会社東興化学研究所のpH/ORPメーターTPX-999i、株式会社堀場製作所の溶存酸素メーター、東亜ディーケーケー株式会社のポータブル電気伝導率計CM-31Pをそれぞれの測定に使用した。濁度は第2章と同様に30 cmのシリンダーを用いて測定した。シリンダーに調査区の田面水を入れ、上からのぞきながら中の水を出していき、シリンダー底部に張り付けてある白いプラスチックに書かれた2重線が見えるところで排水をとめて、シリンダー内の水位を記録した。

6. 残草量調査

移植47日後に各試験区につき50 cm×50 cm内の雑草を抜き取り、種類別に乾物重を測定した。反復してデータを採取しなかった。

7. 生育及び収量調査

10月20日、各試験区につき3 m²内の稲株を地際から刈り取り、雨よけ条件下で通風乾燥させた後、稈長、穂長、穂数および収量を調査した。

玄米の食味調査を2012年1月13日に行った。株式会社クボタのフルーツセレクターK-BA100Rを使用して3回測定し、その平均をとった。チェーン有り区と無し区では分けずに平均し、投入した資材の種類による違いをグラフに表示した。

<結果>

1. 水質調査

ナタネ油の搾りかす投入区の水中pHは投入直後から2日後にかけて7.2まで低下していた(図3-2)。水中溶存酸素は資材投入直後にはナタネ油の搾りかす投入区で6.4 mg/Lから1.8 mg/Lまで急激に低下したが、8日後には8.2 mg/Lまで上昇した(図3-3)。糞酢液投入区ではどちらの濃度でも投入直後の低下は見られなかった。水中電気伝導度はすべての区で有機質資材投入後に低下した(図3-4)。土壌中の酸化還元電位は投入後日数が経るごとに還元化していった(図3-5)。田面水温は20℃~30℃の間であった(図3-6)。濁度は投入前と投入後で濁度に変化が見られなかった(図3-7)。

2. 残草量調査

すべての区で、主にコナギ、クログワイ、キシユウスズメノヒエが残草していた(図3-7)。チェーン有りの区と無しの区を比較すると、有りの区の方が多く残草していた。糞酢液2 L/a投入区はナタネ油搾りかす投入区と同程度の残草量であった。糞酢液1 L/a投入区の残草量は無処理区とあまり変わらなかった。また、糞酢液2 L/a+チェーン無し区のコナギ残草量は他の区に比べて顕著に少なかった。

3. 水稻の生育、収量及び食味調査

成熟期の水稻の稈長及び穂長には区による違いが見られなかった（表 3-2）。穂数はナタネ油の搾りかす投入区で顕著に多く、チェーンの有無に関わらず対無処理区が 120%以上となった。籾酢液 1 L/a+チェーン無し区と籾酢液 2 L/a の区では無処理区より穂数が少なくなったが収量はあまり変わらなかった。収量は籾酢液 1 L/a の区以外、すべてチェーン無し区の方が多くなっていた。

玄米の食味はナタネ油の搾りかす投入区で顕著に低くなった（図 3-9）。籾酢液投入区の食味は無処理区と同等であった。

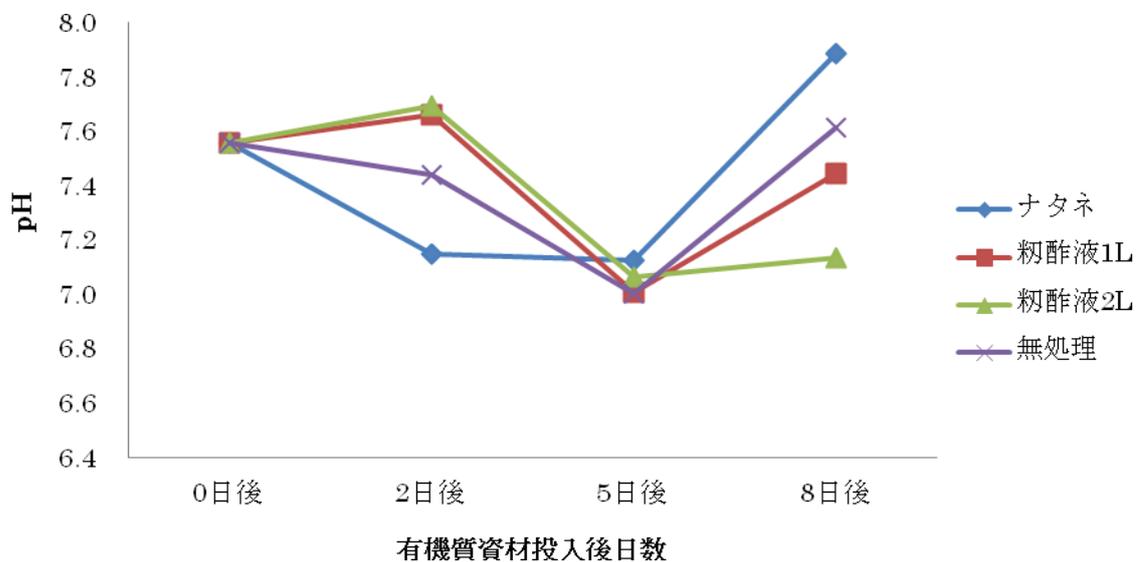


図 3-3. 田面水の pH の経時的変化 (2011 年)

注) ナタネはナタネ油の搾りかすをさす

投入後日数 0 日後は投入前日の値を示している

(図 3-3～図 3-10 まで同様である)

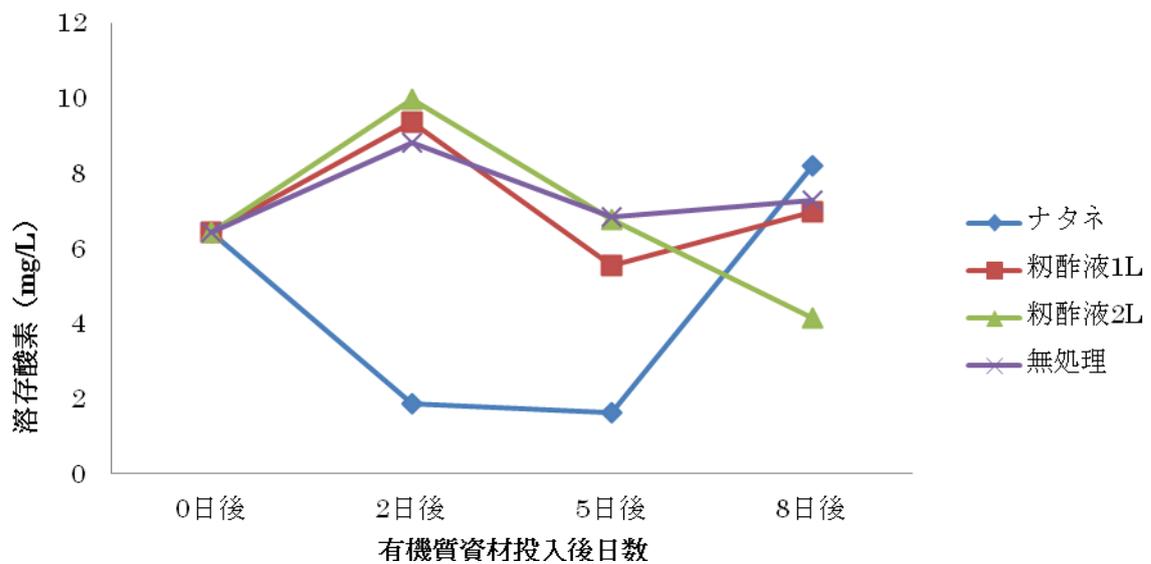


図 3-4. 田面水の溶存酸素の経時的変化 (2011 年)

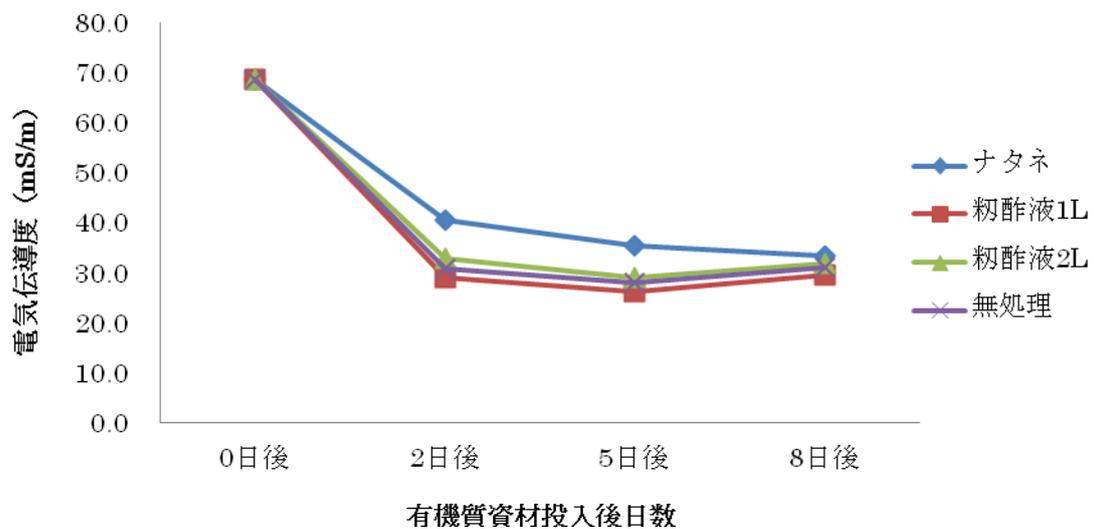


図 3-5. 田面水の電気伝導度の経時的変化

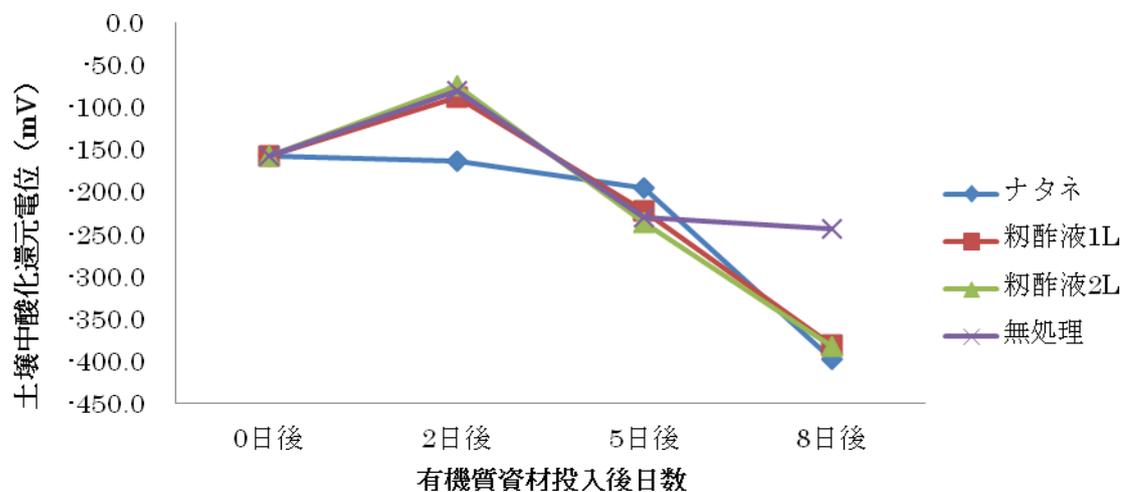


図 3-6. 田面水の土壌中酸化還元電位の経時的変化 (2011 年)

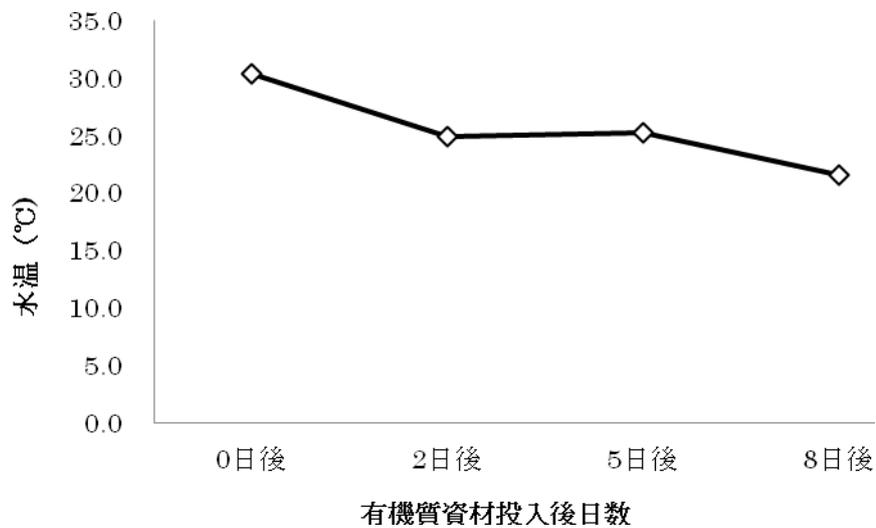


図 3-7. 他の項目測定時における田面水の水温の経時的変化 (2011 年)

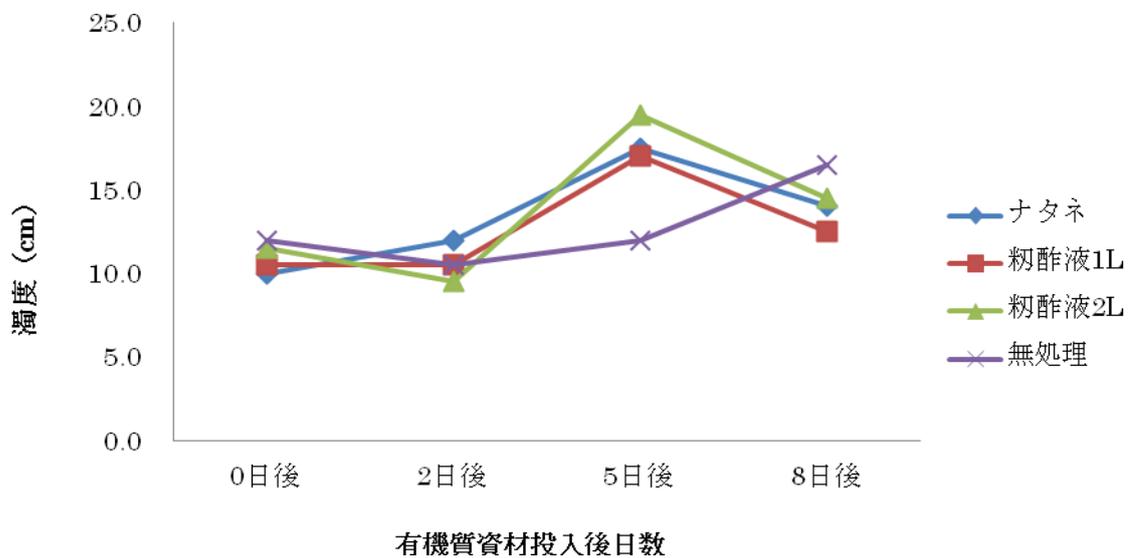


図 3-8. チェーンなし区における田面水の水濁度経時的変化 (2011 年)

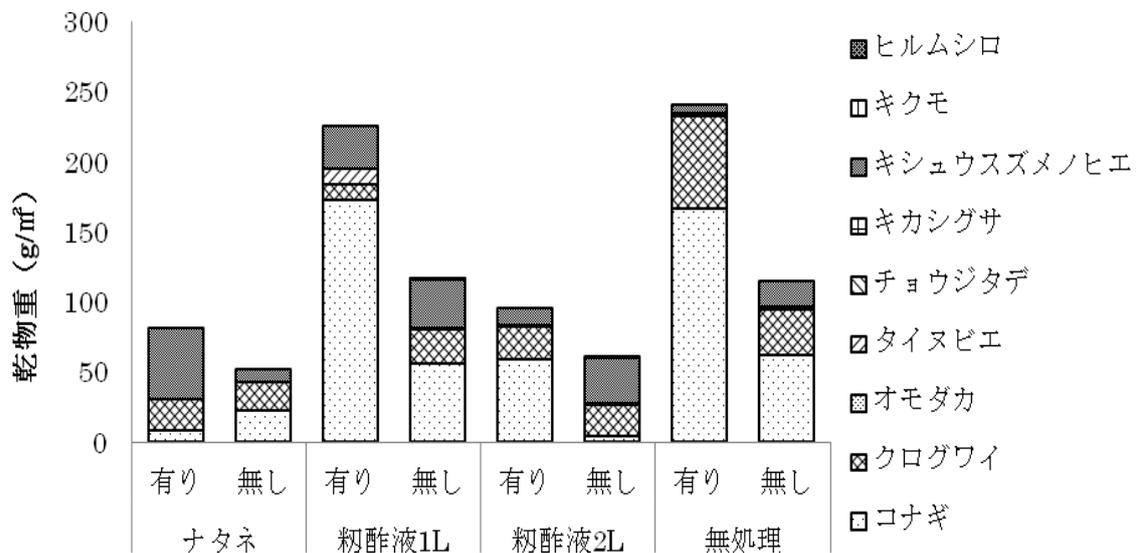


図 3-9. 移植後 47 日目の m² 当たり残草量 (2011 年)

※有りはチェーン有り、無しはチェーン無しを表す

表 3-2. 水稻の成熟期の生育および収量 (2011 年)

有機質資材	チェーン	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	収量 kg/a
ナタネ油の 搾りかす	有り	101 (99)	20.9 (98)	367 (120)	60.0 (104)
	無し	102 (99)	20.9 (98)	382 (125)	65.1 (113)
籾酢液 1L/a	有り	101 (99)	20.9 (99)	327 (107)	65.2 (113)
	無し	100 (99)	20.8 (98)	257 (84)	55.8 (97)
籾酢液 2L/a	有り	99 (99)	20.8 (98)	240 (79)	51.6 (90)
	無し	99 (99)	20.7 (97)	321 (105)	60.8 (106)
無処理	有り	99 (99)	20.8 (98)	287 (94)	55.9 (97)
	無し	102 (99)	21.2 (100)	305 (100)	57.5 (100)

※()内の数字は対無処理チェーン無し区比 (%) を表す。

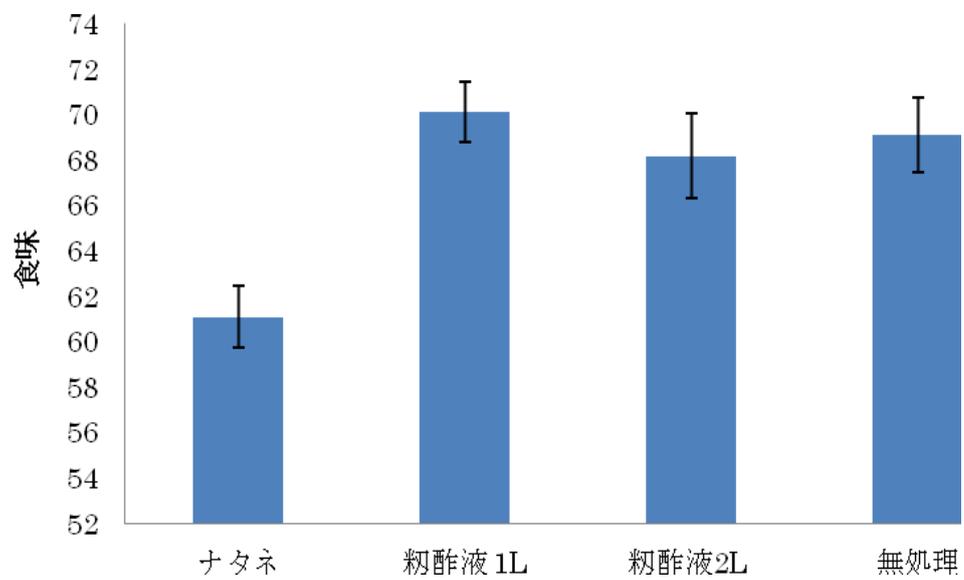


図 3-10. 食味試験の結果 (2011 年)

<考察>

1. 水質調査

ナタネ油の搾りかす投入区の pH および溶存酸素は投入直後に低下した (図 3-3,4)。溶存酸素の低下はナタネ油の搾りかすを分解する微生物活性による水中の酸素の低下が原因ではないかと思われる。室井ら (2005) は米ぬかの分解により生成された有機酸により、施用直後から電気伝導度が 50 mS/m まで上昇したと報告しており、また中井ら (2009) は米ぬかの土壌表面処理 1 日後に処理量に応じて酸化還元電位が低くなったと報告しているが、本試験ではどちらの傾向も得られなかった (図 3-5,6)。これは測定法の未熟さが原因であると思われる。投入前 (0 日後) の電気伝導度は代かきに翌日に測定したので、その影響を大きく受けてしまったのだろう。代かきにより土壌中の養分が水中に溶けだし、それにより 0 日後の電気伝導度値が高くなり、その後資材投入による値の変動が見られなかったと考えられる。また土壌中酸化還元電位は測定において値が非常に不安定であり、今回のデータが正確であるか定かではない。濁度については、有機質資材の投入により田面水が濁るという結果は得られなかった (図 3-8)。このことから、ナタネ油の搾りかす 10 kg/a や 籾酢液 2 L/a 程度の濃度では水生生物に影響するものではなかったと考えられる。今回の濁度調査だけでは遮光による雑草の発生及び生育抑制効果を評価することはできない。なぜなら、発生した藻類やウキクサ類による遮光を考慮できていないためである。今後、遮光による抑草効果を調査する際には藻類、ウキクサ類の発生量を明確に記録した上で、調査手法や測定器具を改善する必要があるだろう。圃場における水質調査は天気や気温など様々な要因に作用されるため非常に困難である。有機質資材投入による水質の変化を調査するにはポットによる試験を行う、反復数を増やすといったことが必要であろう。

2. 残草量

まず、有機質資材とチェーンの併用による効果について考察する。須藤ら (2010) は、

ナタネ油の搾りかすと機械除草（竹箒状の器具と除草カルチ）の併用で発生雑草の乾物重が少なくなるということを報告しているが、今回の結果はそれに反するものとなった。チェーン引きはひたひた水条件で引いたほうが効果があるといわれているが、本試験では水深3～5cmのまま引いたので効果がなかった。有機質資材投入により作られた水環境を乱してしまったのだと考えられる。また、チェーンを引くことによって水田に繁茂していたアオミドロやアミミドロといった藻が動かされてしまい、光があたって雑草が生息しやすい環境を作り出してしまったことも原因の一つであると考えられる。

次に、有機質資材の種類による残草量の違いを検討する。須藤ら（2010）はナタネ油の搾りかすを水稻移植直後に10 kg/a投入することで無処理区の約55%の残草量になることを報告している。本試験でも同様の傾向が認められた（図3-9）。また、粃酢液投入区に着目すると、粃酢液2 L/a投入区の残草量はナタネ油の搾りかす投入区と同程度であった。一方、粃酢液1 L/a投入区の残草量は無処理区の残草量との差が見られなかった。このことから粃酢液は多量投入によりナタネ油の搾りかすと同等の抑草効果を得られるといえる。

ここで、水質調査の結果と併せてこれら有機質資材の抑草メカニズムについて考察する。過去の研究では、米ぬかなど有機物資材の雑草制御作用の発現は、有機物を分解する微生物活性による土壌表面の溶存酸素量の低下と還元化、土壌構造の変化、雑草に有害な有機酸類の生成等の直接的原因と、施用に伴うウキクサ類の発生増加による遮光等の間接的原因によると考えられている（稲葉 1999）。本試験から、ナタネ油の搾りかすに関しては溶存酸素の急低下（図3-4）が発芽に酸素を必要とするキカシグサ、タイヌビエ、チョウジタデなどの発芽を抑制し、分解過程で生成された有機酸が発芽に酸素を必要としないコナギ（片岡ら 1978）などの生育を抑制したと推察される。一方粃酢液に関しては、成分そのものが有機酸であり、液に含まれる数種の有機酸が雑草の生育を抑えたのだと考えられる。ただし、有機酸による抑草は種子根の根端細胞を破壊し、発根障害を起こさせる（稲葉 1999）ことを目的としているため、タイミングが重要となる。特にコナギは発根が素早いため、手

遅れとなってしまいう事例が多々ある（稲葉 1999）。本試験で、籾酢液 2 L/a チェーン無し区においてコナギの残草が顕著に少なくなっている（図 3-9）のは、代かき 3 日後に水稻を移植し、移植直後に籾酢液を投入したというタイミングがコナギの発根のタイミングとあっていたためだと思われる。

3. 水稻の生育、収量及び食味調査

ナタネ油の搾りかす投入区の水稲の穂数は無処理区より顕著に多かった（表 3-2）。これはナタネ油の搾りかす由来の窒素養分（佐々木ら 2010）を水稻が吸収したためと考えられる。籾酢液の水稲に対する肥料としての効果は本試験では認められなかった。収量は籾酢液 1 L/a 投入区を除くすべての区でチェーン無しの区の方が多かった。これはチェーン有りの区の方が残草量が多かったためである。籾酢液 1 L/a 区に関しては穂数も収量と同様にチェーン無しの区の方が少なかったことから、収量調査で生育の悪い稲株を多く刈り取ってしまった可能性が考えられる。水稻移植直後から収穫期まで稲株を観察したところ、籾酢液の投入により稲の葉の葉身が細くなった、黄化した、という現象は見られなかった。また、籾酢液投入区における成熟期の水稻の稈長および穂長が無処理区と同程度であったことから、本試験において籾酢液は水稻に害を及ぼしていないことが分かった。

本調査でナタネ油の搾りかす投入区よりも籾酢液投入区で食味が高くなった（図 3-10）。これは、一般に水稻は窒素吸収量が多いほど食味が落ちる傾向にある（井上 1999 ; 稲津ら 1996）ためである。ナタネ油の搾りかすには窒素分が含まれているのに対し、籾酢液には含まれていないためこの結果になったのだと考えられる。

まとめ

本試験では、有機質資材投入と 3~5cm の水深で行うチェーン引きによる抑草の相乗効果

は得られなかった。さらに、チェーン引きによってより多くの雑草を発生させてしまった。

こ有機質資材投入のみによる効果を見ると、ナタネ油の搾りかすと糞酢液 2L/a の投入による抑草効果は同程度であった。糞酢液の効果をさらに検討するとともに、まだ活用されていない資材についても抑草効果の調査を行う必要があるだろう。

第4章 糞酢液と深水管理との組み合わせのポット試験

<目的>

糞酢液の抑草効果は単独では不安定であるので、深水管理と組み合わせて 1/2000a のワグナールポットで試験を行う。米ぬかにくず大豆の抑草効果を比較した。また、第3章の圃場試験と同様に環境調査も行う。

<材料及び方法>

1. 材料

有機質資材として糞酢液、米ぬか、くず大豆を使用した。糞酢液は第3章と同様、株式会社サタケからいただいたものを使用した。米ぬか、くず大豆は兵庫県立農林水産技術総合センター作物園芸部内で冷蔵保存されていたものを使用した。

水稻はヒノヒカリを供試した。

2. 試験地

兵庫県立農林水産技術総合センター（兵庫県加西市別府町南ノ岡甲 1533、北緯 34 度 55 分・東経 134 度 53 分）内で試験させていただいた。1/2000a ワグナールポットは C-2 番水田圃場の北側のコンクリートの溝に置かせていただいた。

3. 試験区設定

試験区は、糞酢液 2 L/a、1.5 L/a、1 L/a、米ぬか 10 kg/a、くず大豆 4 kg/a、除草剤(トップガン GT 粒)100 g/a という 7 つの投入区を設定した。それぞれ 4 反復行った。糞酢液はピペットマンを用いて処理した。

4. 耕種概要

2011年4月21日に浸種、4月27日に点描育苗箱に1ポット当たり2粒ずつ播種されたポット苗の中苗を使用した。6月3日にポットに土を充填し、基肥として尿素硫化磷安48号(N:P₂O₅:K₂O=0.4:0.4:0.4/a)を施用した。6月7日に代かきをし、水深を10cmに統一した。6月10日に草丈18.31cm(育苗シートから10本採取し、その平均値を算出)、41日苗のヒノヒカリ中苗を移植した。中苗がワグナルポットの中心にくるよう手植えをした。水稻移植直後にそれぞれの有機質資材を投入した。

5. 水質調査

6月9日、11日、12日、15日に水中のpH、溶存酸素、電気伝導度、土壤中(地下5cm部分)の酸化還元電位及び水温を測定した。計器は株式会社東興化学研究所のpH/ORPメーターTPX-999i、株式会社堀場製作所の溶存酸素メーター、東亜ディーケーケー株式会社のポータブル電気伝導率計CM-31Pをそれぞれの測定に使用した。

6. 残草量調査

移植48日後、7月28日にポット内すべての雑草を抜き取り、種類ごとに乾物重を測定した。

7. 水稻の調査

水稻移植から一週間毎に3週間(6月15日、22日、7月1日)、そして7月29日に草丈と茎数を調査した。

10月13日に稈長、穂長、穂数を調査し、全株を刈り取った。11月4日に収量および収量構成要素を調査した。

12月16日に株式会社クボタのフルーツセレクターK-BA100Rを使用して食味を測定し

た。3回測定してその平均値をとった。

<結果>

1. 水質調査

投入1日後、籾酢液 2 L/a 投入区と米ぬか投入区の水中 pH が 6.6 まで緩やかに低下した (図 4-1)。水中の溶存酸素は、投入1日後から米ぬか投入区で顕著にさがり、2.3 mg/L まで低下した (図 4-2)。2日後にはくず大豆投入区も 6.1 mg/L まで低下した。籾酢液を投入した区では溶存酸素の低下はみられなかった。水中電気伝導度はすべての区で投入1日後に値が低下した (図 4-3)。有機質資材投入1日後、米ぬか投入区の土壌中の酸化還元電位は-314.3 mV まで急激に低下した (図 4-4)。2日後にはくず大豆投入区も-73.5 mV までおだやかに低下した。籾酢液を投入した区では低下はほとんどみられなかった。水温は 20°C から 30°C の間であった (図 4-5)。

2. 残草量調査

除草剤処理区を除くすべての区で残草しており、どの区でもコナギが優占していた (図 4-6)。残草量はくず大豆投入区が最も少なく、次いで米ぬか投入区が少なくなっていた。籾酢液 2 L/a 投入区と 1.5 L/a 投入区の残草量は米ぬか投入区と同程度であったが、籾酢液 1 L/a 投入区の残草量は無処理区のものより多くなった。籾酢液を投入した区ではヒメミソハギやキカシグサが残草していたが、米ぬか区やくず大豆区では見られなかった。

3. 水稻の調査

水稻の草丈の推移には区間による違いが見られなかった (図 4-8)。無処理区と除草剤区の茎数は7月8日には少なかったが、7月28日にはほかの区との差が小さくなっており、籾酢液 1L/a 区で最も少なくなった (図 4-9)。

水稻成熟期の稈長、穂長には区間による差が見られなかった（表 4-1）。穂数は粃酢液 1.5L/a とくず大豆区が多かった。収量は粃酢液 1L/a 区で少なくなっていた。

食味は粃酢液 2 L/a 投入区と粃酢液 1.5 L/a 投入区で高く、次いでくず大豆投入区と無処理区で高い値をとった（図 4-10）。粃酢液 1L/a 区を除くすべての区で、除草剤区より高い値をとった。

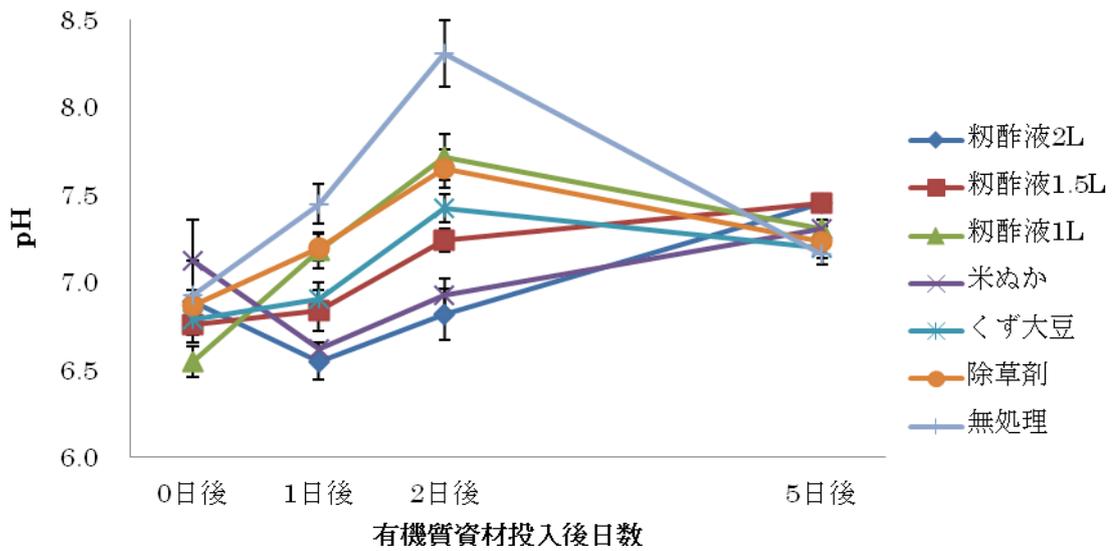


図 4-1. 田面水の pH の経時的変化 (2011 年)

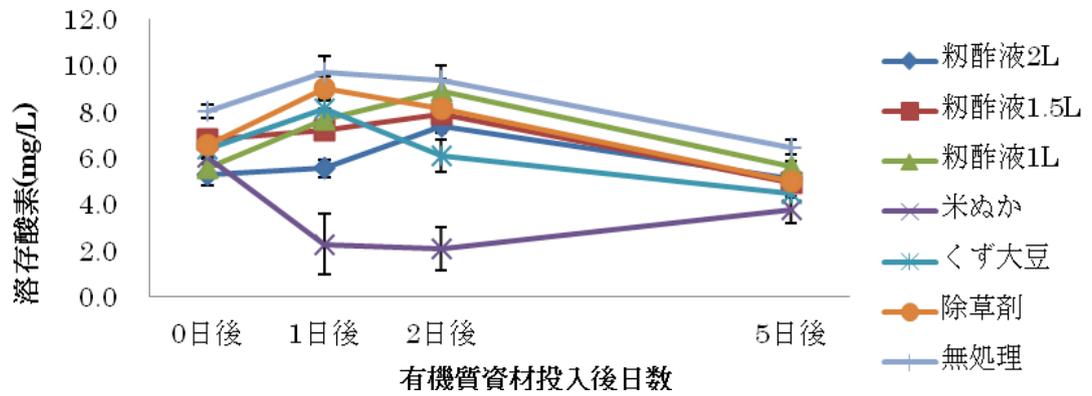


図 4-2. 田面水の溶存酸素の経時的変化 (2011 年)

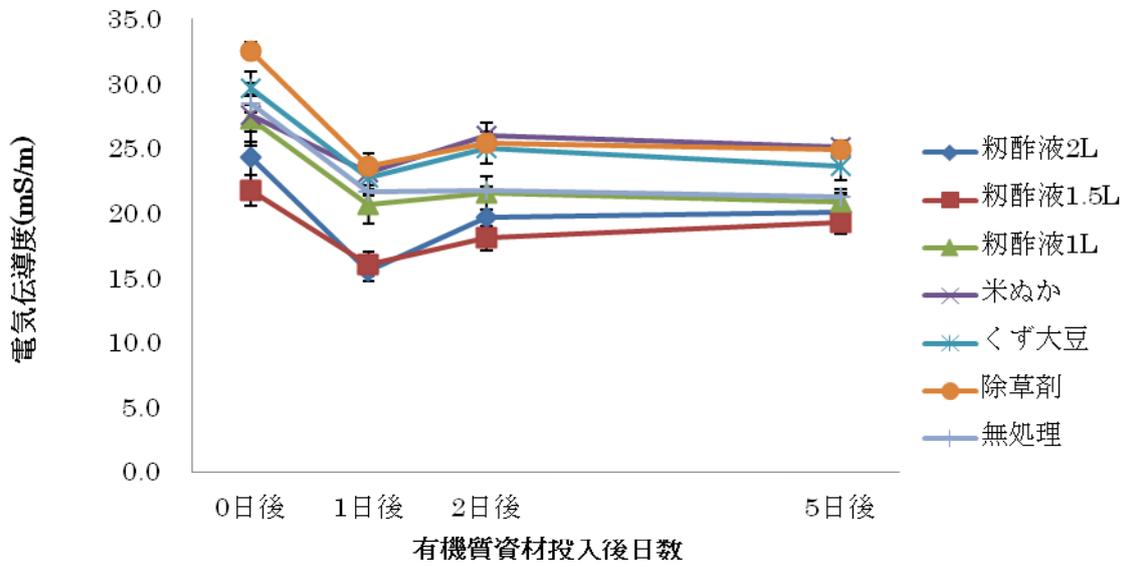


図 4-3. 田面水の電気伝導度の経時的変化 (2011 年)

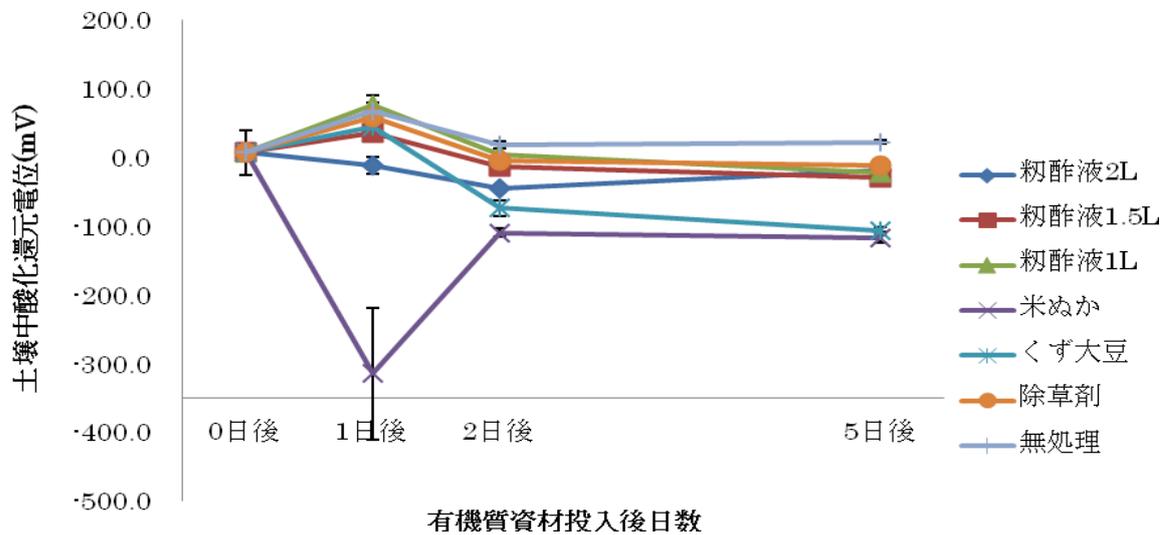


図 4-4. ポットの土壌中酸化還元電位の経時的変化 (2011 年)

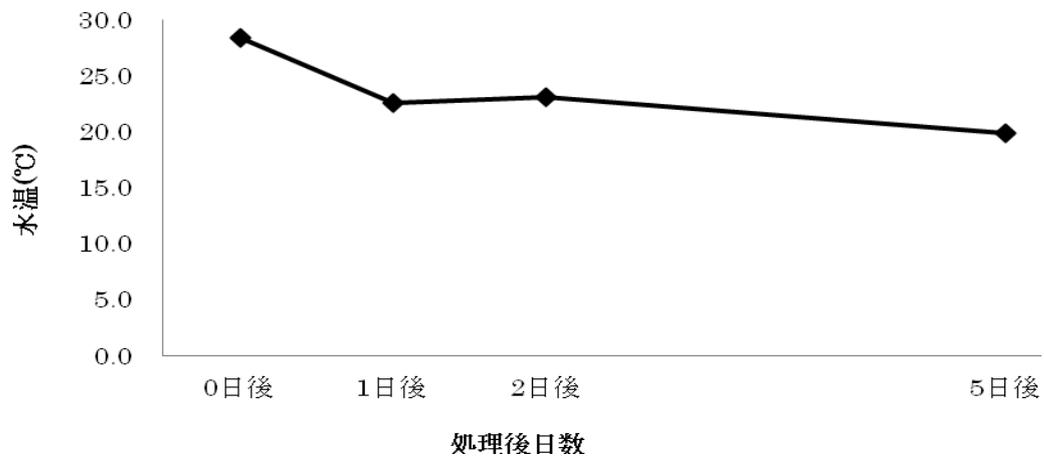


図 4-5. 他の項目測定時における田面水の水温の継時的変化 (2011 年)

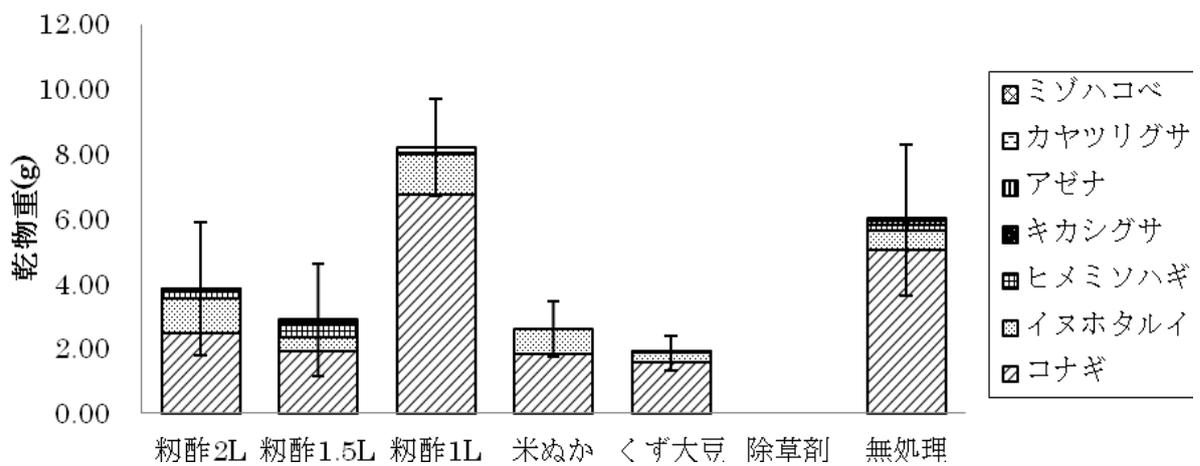


図 4-6. 移植後 48 日目の残草量 (2011 年)

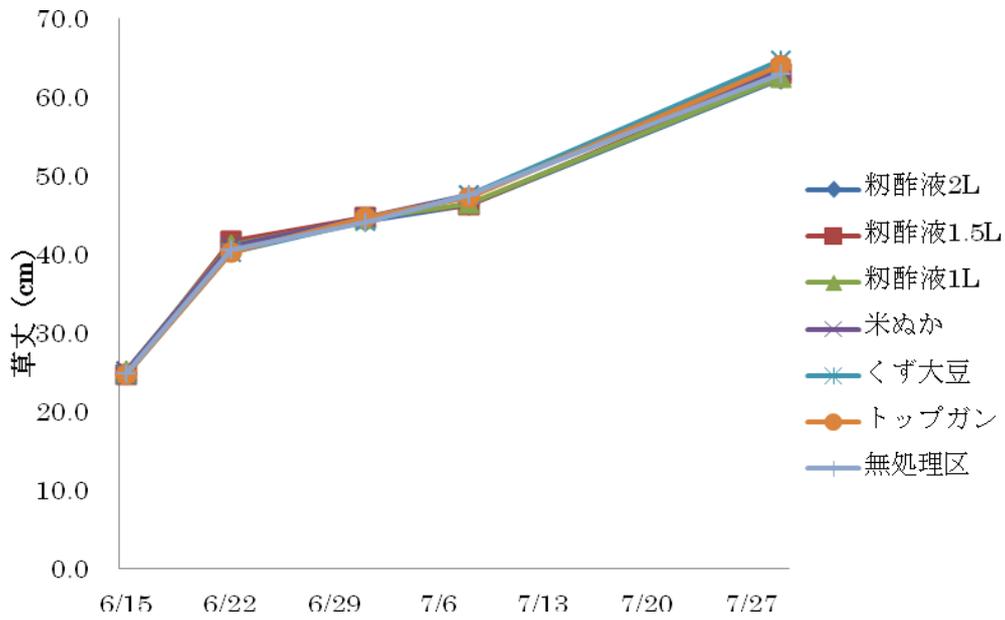


図 4-7. ポット試験の水稻草丈の推移 (2011 年)

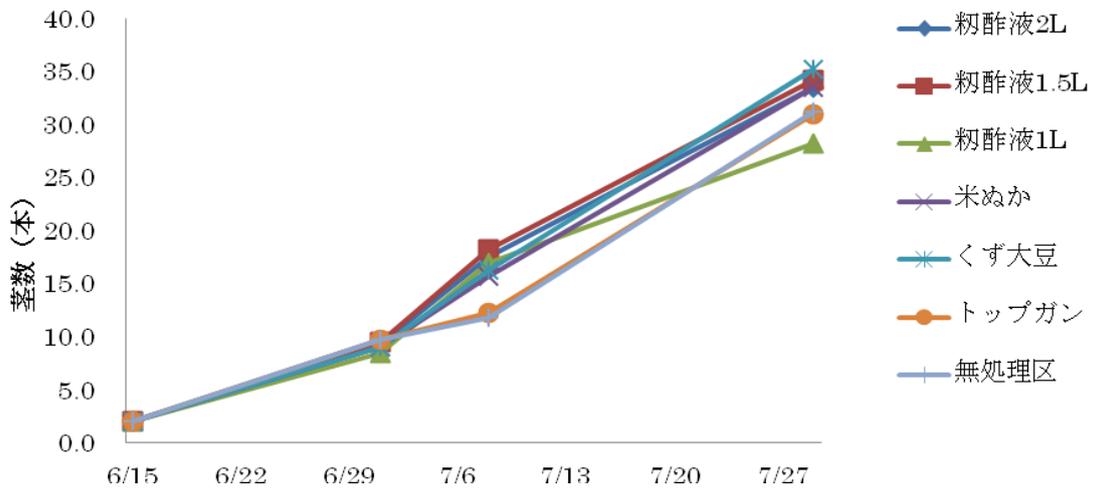


図 4-8. ポット試験の水稻茎数の推移 (2011 年)

表 4-1. 収量及び収量構成要素 (2011 年)

	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	1穂籾数 粒	登熟歩合 %	千粒重 g	精玄米重 kg/a (%)	全重 kg/a	籾重 kg/a
籾酢2L	65	17.5	575	63	79	21.5	60.0 (93)	241	78.5
籾酢1.5L	66	17.7	565	65	83	21.4	67.2 (104)	243	88.2
籾酢1L	66	19.6	430	65	73	21.8	45.7 (71)	194	62.8
米ぬか	70	17.5	535	66	83	21.1	64.0 (99)	251	82.0
くず大豆	65	18.4	610	65	86	21.6	75.7 (117)	267	95.5
除草剤	66	17.4	600	65	81	21.3	69.5 (108)	255	90.3
無処理	68	17.7	465	73	85	22.2	64.6 (100)	239	82.6

注) 精玄米重の()内の数字は対無処理区比 (%) を表す

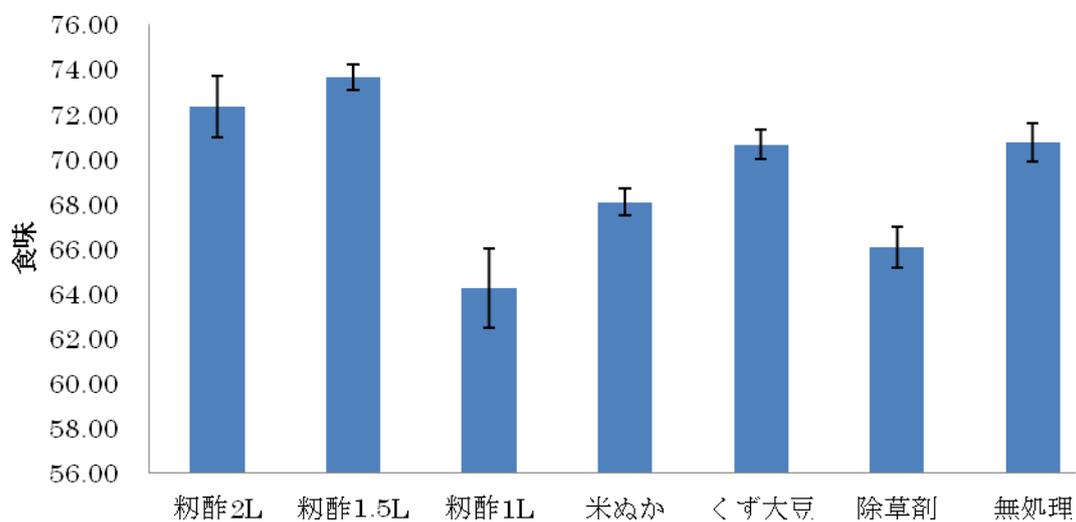


図 4-10. 食味測定値の比較 (2011 年)

<考察>

1. 水質調査

米ぬか投入区と粃酢液 2 L/a 投入区は投入 1 日後に pH の値が低下した (図 4-1)。これは米ぬかが分解中に生成する有機酸 (稲葉 1999) が原因であると考えられる。溶存酸素は米ぬか区とくず大豆区で低下がみられたが、その度合いが大きく異なった (図 4-2)。これはくず大豆の方が米ぬかよりサイズが大きく、分解が遅いためであると考えられる。土壌中の酸化還元電位についても同じことが言えるであろう (図 4-4)。第 3 章の圃場試験においては酸化還元電位の変化が認められなかったが、ポット試験においては米ぬか区とくず大豆区で低下するという傾向を得ることができた。電気伝導度は第 3 章と同様投入前の電気伝導度を代かき直後に測定し、値が高くなってしまったためその後の変化が見られなくなったのだろうと考えられる。

2. 残草量

粃酢液 2 L/a、1.5 L/a の投入で米ぬか投入と同等の抑草効果が得られた (図 4-6)。残草した雑草の種類を比較すると、第 3 章の圃場試験と同様に、粃酢液を投入した区ではコナギ、イヌホタルイの他に発芽に酸素を必要とするヒメミソハギやアゼナがみられたが、米ぬか投入区とくず大豆投入区ではみられなかった。これは、粃酢液では主成分である有機酸が雑草の発根障害を引き起こして生育を抑制するという戦略をとるのに対し、米ぬかやくず大豆ではその分解により微生物が活性化し、水中の溶存酸素の低下や土壌中酸化還元電位の低下が引き起こされることで発芽に酸素を必要とする雑草の発生を抑えるという戦略をとっているためであるという仮説を支持する結果であろう。

第 3 章の結果と併せると、粃酢液を多量投入することで、ナタネ油の搾りかすや米ぬかと同等の抑草効果が得られるといえる。また、その速効的な効果に注目すべきだろう。ただし、少量投入では効果が認められなかったため、まだまだ検討が必要である。

3. 水稻の調査

水稻の生育において、草丈には区による違いが認められなかったが茎数は7月8日の時点で無処理区と除草剤区で少なかった(図4-7,8)。これは、投入した資材による肥料効果が表れたためだと考えられる。7月27日に籾酢液1L/a区で茎数が最も少なくなったのは、雑草害が原因であると考えられる。収量は籾酢液1L/a区で顕著に少なくなっているが、これも雑草害が原因であろう。くず大豆投入区、籾酢液1.5L/a投入区では除草剤区と変わらない収量を得られた。ポット試験においても水稻への籾酢液の害は見られなかった。

まとめ

中苗を用いて深水管理と組み合わせれば、籾酢液の多量投入により米ぬかと同程度の抑草効果が期待できる。抑草メカニズムについては第3章で述べた推察を支持する結果となった。籾酢液が水稻に害を及ぼすという観察はされず、多量投入により収量が激減するという事はなかった。ただし、少量の投入により無処理区と同程度の残草量になり、収量も少なくなったことから、籾酢液の投入についてはまだまだ検討が必要であるといえる。

摘要

コウノトリ育む農法の支援を目的として、アイガモロボットの抑草試験、チェーン引きと有機質資材の組み合わせ抑草試験、深水管理における靱酢液の抑草ポット試験を行った。

アイガモロボットの走行により条間の雑草は抑えることができたが、株間の雑草は抑えられなかった。10回走行させたが抑草効果は得られず、チェーンと同程度の残草量であった。これは、走行のタイミングを水稻移植直後に集中させることで改善していく必要があると考えられる。

チェーン引きと有機質資材の投入という2つの技術を組み合わせた結果、抑草効果は相殺された。有機質資材の種類による抑草効果の違いを見たところ、靱酢液を2 L/a投入することで、ナタネ油の搾りかすを10 kg/a投入したときと同等の抑草効果が得られた。靱酢液は散布直後から有効であるのに対し、ナタネ油の搾りかすは投入後の溶存酸素の急低下および分解過程で生成される有機酸が雑草の抑制に関与している可能性が示唆された。

靱酢液の抑草効果をより詳細に確認するため、10cmの深水条件でポット試験を行ったところ、靱酢液を1.5 L/a～2 L/a投入すると、米ぬかを10 kg/a投入した時、あるいはくず大豆を4 kg/a投入した時と同程度の抑草効果があることが分かった。靱酢液は上述したとおり、米ぬかとくず大豆は投入後の溶存酸素および土壌中酸化還元電位の急低下と分解過程で生成され有機酸が雑草の抑制に関与している可能性が示唆された。圃場試験とポット試験のどちらにおいても靱酢液を投入した区の水稲に害は出なかった。

本試験の結果だけではコウノトリ育む農法の支援には遠く及ばない。次年度からはアイガモロボットの抑草効果を最大限に引き出すことができる投入のタイミングを確認することを目的として調査を行いたい。また、水田雑草、特にコナギの生態的特性と防除策を結び付けて考えていく必要がある。

Summary

I examined the effects of running “aigamo-robot”, combination of pulling chain and application of organic materials and application of “momisu-eki” on emergence or growth of paddy weeds.

Paddy weeds which grew between rice rows were controlled by running aigamo-robot. However weeds under the rice were not. The effect of aigamo-robot on weeds wasn't enough. It could be improved by changing the timing of running.

The combination of chain and organic materials was not good. These effects on weeds were offset. Observation showed the effect of the application of 2 L/a of momisu-eki was same level as the application of 10 kg/a of the colza oil cake.

I had a pot examination to confirm the effect of momisu-eki on paddy weed. Observation showed the effect of the application of 1.5-2 L/a of momisu-eki was same level as the application of 10 kg/a of the rice bran or 4 kg/a of the waste soybean. It was suggested that the immediate decline of the oxidation-reduction potential in paddy soil and dissolved oxygen in paddy water after the application and organic acids participated in the suppression of the paddy weeds. The damage of the momisu-eki to the rice was not observed.

For the support of “agricultural methods to bring up a stork”, more examination might be needed. I want to show the best timing of running of aigamo-robot. It is necessary to understand the characteristic of paddy weeds, particularly *Monochoria vaginalis*, for developing the method of weeds control.

謝辞

本研究を進めるにあたって、多くの方々にご協力いただきました。

忙しい中私を研修生として受け入れてくれ、一緒に調査をしてくださった須藤健一様をはじめとする兵庫県立農林水産技術総合センターの皆様。調査だけではなく、試験場での生活の面でもいろいろと優しく手助けしていただきました。

コウノトリ育む農法の現状を知るため、豊岡市に通わせてくださった浦田興様をはじめとする豊岡市の皆様。

興味深い研究テーマを与えてくれ、本論文の作成に関して終始貴重なご意見をくださった伊藤一幸先生。

調査方法や調査の結果について鋭いご指摘をくださった東先生。

水田における除草機械や統計のことを教えて下さった庄司先生。

生態学とはどのようなものか、ということをお教えくださった踞尾みのりさん、藤原さゆりさん。おふたりのおかげでこれまでやってこれることができたのだと思っています。

フィールドワークの楽しさ・大切さを教えてくださった玉田勝也さん、中村弥生さん。

暑い中、ポット試験の手伝いをしてくださった平山智士さん。

研究室に入りたてのころ、水田雑草の研究についていろいろ教えてくださった酒井久輝さん。

実験や調査が忙しいときに共に励ましあった石原瑠璃子さん、田中美涼さん、原田翔平さん。

稲の収量構成要素のデータをとるために、細かい作業を手伝ってくれた中野一真さん。

上記の方をはじめ、多くの方々から貴重なご意見・ご協力をいただきました。本当に感謝しています。ありがとうございました。

引用文献

- 安達康弘・月森弘 2011. コナギの引き抜き抵抗と機械的除草法による除草効果との関係. 雑草研究 56 (別)、78.
- 荒井正雄・川島良一 1956. 水稻栽培における雑草害の生態的研究 I・II. 日本作物学会記事 25, 115-119.
- 東聡志・金高正典・奈良悦子 2007. 機械除草と耕種的除草法の組み合わせによる無農薬水田雑草管理法の検討. 北陸作物学会報 42, 32-35.
- 福島和敏・保田謙太郎・芝山秀次郎 2003. 田面水の攪拌が雑草の発生に及ぼす影響. 雑草研究 48 (別), 224.
- Imaizumi I., Wang G.X. and Tominaga T. 2008. Pollination of chasmogamous flowers and the effects of light and emergence time on chasmogamy and cleistogamy in *Monochoria vaginalis*. *Weed Biology and Management* 8, 260-266.
- 稲葉光圀 1999. 「除草剤を使わないイネづくり」. 農山漁村文化協会, pp.29-62.
- 稲津脩・五十嵐俊成・野村美智子・田丸浩幸 1996. 水稻における食味向上のための肥培管理法に関する研究. 土肥要旨集 (Part2) 42, 288.
- 井上健一 1999. 水稻早生品種の登熟期間の物質生産と品質食味要因の関係の解析. 北陸作物学会報 34, 27-29.
- Inubushi K., Wada H. and Takai Y. 1983. Easily decomposable organic matter in paddy soil IV. Relationship between reduction process and organic matter decomposition. *Japanese society of soil science and plant nutrition* 30(2), 189-198.
- 伊藤一幸 2010. 化学防除から機械除草へのいざない—夢の除草法の現実へ—, 農業機械学会シンポジウム第 15 回テクノフェスタ
- 伊藤一幸 2011. 水田の雑草制御と生物多様性保全. 農業技術 65 (特別号), 106-111.

- 金森明美・清水正治 1977. 水田雑草コナギ (*Monochoria vaginalis* Presl) の生態的研究. 日作東海支部研究梗概 78, 45-49.
- 片岡孝義・金昭年 1978. 数種雑草種子の発芽時の酸素要求度. 雑草研究 23, 9-12.
- 片岡孝義・児嶋清・古谷勝司 1979. コナギの生育と種子生産. 雑草研究 24, 32-37.
- 岸野麻衣子 2008. 希少動物の野生復帰政策が地域景観に与える影響—兵庫県豊岡市におけるコウノトリシンボルを例として—. KGP.
- 小荒井晃・芝山秀次郎 2001. 水田の代かき後における数種一年生雑草の発消長と出芽深度. 雑草研究 46(1), 5-12.
- 鯨幸夫・小村由紀・登内良太 2004. 水稻の無農薬栽培における雑草防除. 北陸作物学会報 39, 24-27.
- 光井輝彰・鍵谷俊樹・大場伸也・広瀬貴士・小林孝浩・稲葉昭夫 2007. 水稻のクリーン農業を支援するロボット (アイガモロボット) の実証研究. 岐阜県情報技術研究所報告 9, 29-32.
- 光井輝彰・鍵谷俊樹・大場伸也・広瀬貴士・小林孝浩・稲葉昭夫 2008. 水稻の有機栽培を補助する小型移動機構(アイガモロボット)の開発—圃場におけるロボットを利用した除草実験(2007)—. 日本機械学会 2A1-B09.
- 光井輝彰・広瀬貴士・岩澤賢治・久田浩志・大場伸也・稲葉昭夫 2009. 水田用小型除草ロボット (アイガモロボット) の開発—水稻とマコモ栽培ほ場での除草実験—. 岐阜県情報技術研究所報告 11, 49-52.
- 光井輝彰・平湯秀和・田畑克彦・飯田佳弘・陶山純・葛谷和己 2010. 水田用小型除草ロボット (アイガモロボット) の開発—自律走行ロボットの開発(第2報)—. 岐阜県情報技術研究所報告 12, 33-35.
- 室井康志・小林勝一郎・高井芳樹 2005. ヒメタイヌビエの生育に対する米ぬか粉剤ならびにペレット剤の作用. 雑草研究 50 (3), 169-175.

内藤和明・菊池直樹・池田啓 2011. コウノトリの再導入-IUCN ガイドラインに基づく放鳥の準備と環境修復. 保全生態学研究 16, 181-193.

鷺谷いづみ 2007. 「コウノトリの贈り物」. 地人書館, pp.3-64.

中井讓・鳥塚智 2009. 米ぬか土壌表面処理による水田雑草の抑草効果. 雑草研究 54 (4), 233-238.

中井讓・中橋富久 2011. 機械除草の時期および回数がコナギの抑草効果と水稻収量に及ぼす影響. 雑草研究 56 (2), 111-114.

中山幸則・北野順一・牛木純 2002. 米ぬかの水田雑草防除に対する除草効果. 雑草研究 47 (別), 118-119.

中島紀一 2010. 有機農業技術の可能性と課題. 農林水産技術研究ジャーナル 33 (4), 5-9.

西村いつき 2008. コウノトリ育む農法の意義と将来展望. 日本作物学会記事 77 (別号 2), 350-351.

野口勝可・森田弘彦 1997. 除草剤便覧 選び方と使い方. 農山漁村文化協会発行, pp75-209.

農文協書籍編集部 1999. 「除草剤を使わないイネづくり」. 農山漁村文化協会, pp.108-116.

農山漁村文化協会 2003. 「米ぬかを使いこなす」 農山漁村文化協会, pp.14-162.

Nozoe T., Tachibana M., Uchino A. and Yokogami N. 2009. Effect of ferrous iron (Fe) on the germination and root elongation of paddy rice and weeds. Weed Biology and Management 9, 20-26.

小野泰洋・久保嶋江実 2008. 「コウノトリ、再び」. 株式会社エクスナレッジ, pp.7-250.

佐々木園子・濱名健雄・大谷裕行・鈴木幸雄・新妻和敏 2010. 水稻有機栽培の雑草防除に関する研究, 第 1 報 有機物施用によるコナギ抑草効果と水稻の生育および収量. 日作東北支部報 53, 5-6.

須藤健一・牛尾昭浩 2010. 水稲有機栽培田におけるナタネ油搾り滓の処理と機械除草が雑草発生量と水稲の生育に与える影響. 雑草研究 54 (別), 135.

須藤健一・澤田富雄・榎本拓司・鍋谷敏明 2011. いくつかの除草剤代替雑草防除技術が水田雑草発生量と水稲に与える影響. 雑草研究 56 (別), 150.

須藤健一・藤澤満彦・青山喜典・澤田富雄・鍋谷敏明 2008. 「コウノトリ育む農法」における除草法の違いが雑草発生量と動物相に及ぼす影響. 日本作物学会中国支部研究集録 49, 12-13.

竹内安智・米山弘一・横田孝雄・斎藤清美・小笠原勝・近内誠登・竹内哲夫 1991. コナギ種子の発芽に対するイネ幼植物の促進作用. 雑草研究 30(別), 132-133.

山本由徳・池尻明彦・新田洋司 1995. 葉齢を異にする水稲苗の活着、初期生育および出穂特性. 日本作物学会記事 64(3), 556-564.