

機械除草と米ぬか散布等を組み合わせた 水稲有機栽培体系の抑草効果と収量性

三浦重典^{*1}・内野 彰^{*1}・野副卓人^{*1}・田澤純子^{*1}・吉田隆延^{*2}・水上智道^{*2}・
鄭 凡喜^{*3}・万 小春^{*1}・仲川晃生^{*4}・中谷敬子^{*1}・澁谷知子^{*1}・白石昭彦^{*1}・
今泉智通^{*1}・青木大輔^{*5}・松岡宏明^{*1}

目 次

I. はじめに.....	55	5. 水稲の収量および形質.....	61
II. 材料と方法.....	56	6. 雑草の埋土種子数の推移.....	62
1. 試験圃場の設定.....	56	7. 有機栽培圃場の収量変動要因の解析.....	62
2. 有機栽培圃場の栽培体系.....	57	IV. 考察.....	63
3. 栽培概要.....	57	1. 高精度水田用除草機と米ぬか散布等による	
4. 調査項目と方法.....	59	除草法の雑草抑制効果.....	63
III. 結果.....	60	2. 水稲の欠株率, 生育および収量性.....	65
1. 試験地の気象条件.....	60	3. まとめ.....	66
2. 高精度水田用除草機と米ぬか散布等による		謝辞.....	66
除草法の雑草抑制効果.....	60	V. 摘要.....	67
3. 機械除草作業による欠株率.....	60	引用文献.....	67
4. 水稲の生育.....	60	Summary.....	69

I. はじめに

わが国では環境保全や農産物の安全性に対する国民の関心は高く、有機農産物に対する需要は着実に増加している。2006年に制定された「有機農業の推進に関する法律（有機農業推進法）」では、自然循環機能の増進や環境負荷軽減に資する有機農業の推進に関する施策を国などが総合的に講じ、有機農業の発展を図ることを謳っている。しかし、農産物の総生産量に占める有機農産物の生産量（有機JAS格付量）の割合は0.24%に過ぎない（農林水産省⁽²³⁾）。この原因として、わが国では汎用的な有機栽培技術が確立していないため、有機農業への新規参入が進まないことが一因として挙げられる。この

うち水稲の有機栽培技術は、これまで一部の先進的な生産者の経験と工夫により組み立てられてきたことから、投入する資材や育苗、水管理、除草等の技術および栽培管理法は生産者独自のものが多い。また、各技術等の有効性、適用範囲および問題点等は、科学的なデータとして十分に提示されているとはいえない。

水稲の有機栽培では、直接労働に係る労働時間の約3割を除草作業が占めており（農林水産省⁽²²⁾）、雑草対策が最も重要な課題である。しかし、化学合成除草剤を使用できない有機栽培では、単一の抑草技術で雑草害を防ぐことは困難である。このため、

平成26年7月23日受付 平成27年1月5日受理

- *1 農研機構中央農業総合研究センター
- *2 農研機構生物系特定産業技術研究支援センター
- *3 シンテックリサーチジャパン株式会社
- *4 農研機構本部
- *5 福井県立大学

栽培地域の気象や有機栽培圃場の条件等に合わせ、複数の抑草技術を組み合わせた雑草対策を講じる必要がある。有機栽培で利用可能な抑草技術には、機械やチェーンによる除草、米ぬかやくず大豆等の有機物散布、紙マルチの利用、複数回代かき等が挙げられる。このうち、機械除草に関しては、近年、多目的田植機に装着可能な高精度水田用除草機等の除草機械が開発、販売されている。高精度水田用除草機を利用した場合、除草作業の効率がよく、水稲の条間部分には比較的安定した抑草効果があるが、株間の除草効果が不十分であることが指摘されている(荒井・酒井⁽⁵⁾、菊池・野沢⁽¹⁰⁾、安達・月森⁽¹¹⁾)。米ぬかに関しては、土壌表面処理によりヒメタイヌビエやコナギ等の水田雑草の発芽が抑制されることが報告されている(室井ら⁽¹⁸⁾、中井・鳥塚⁽¹⁹⁾)。しかし、これらの報告では、各抑草技術が水稲の生育や収量に及ぼす影響については明らかではない。また、有機JASに基づいて栽培管理をした圃場を対象に、各種抑草技術の効果と水稲の生産性との関係を論じた文献は少なく、原田ら⁽⁸⁾による紙マルチを利用した有機栽培に関する報告以外で

は、佐々木ら⁽²⁶⁾の短報等が散見される程度である。

そこで、筆者らは、先進的な生産者の技術を参考にしつつ、入手しやすい資材や労働生産性の高い機械等を利用した有機栽培体系を提示することを目的に、有機JASに適合した有機栽培を試験圃場で実践することとした。特に問題となる雑草対策としては、作業効率および水稲条間の抑草効果が高い高精度水田用除草機を中核とし、これに雑草の発芽抑制効果が示唆されている米ぬかの散布をはじめ雑草の埋土種子低減に有効と考えられる2回代かき等を組み合わせた除草体系により高い抑草効果を実現しようと試みた。本報告では、有機栽培開始から6年間の有機栽培圃場における水稲と雑草の生育を調査するとともに、水稲の生育・収量については慣行栽培と比較しながら解析することで、汎用的な水稲の有機栽培体系について総合的に検討したので報告する。

本研究の一部は、農林水産省の農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(課題名「機械除草技術を中核とした水稲有機栽培システムの確立と実用化」)により行われた。

II. 材料と方法

1. 試験圃場の設定

試験は2008年～2013年に茨城県つくばみらい市の中央農業総合研究センター谷和原水田圃場(土壌は灰色低地土)で実施した。試験圃場は、栽培法によって有機栽培圃場と慣行栽培圃場を別々に設定した。有機栽培圃場は、2008年に有機栽培を開始した圃場2筆とした。ただし、有機JAS法では植付け前2年以上の間、本規格の基準に従い生産された農産物を有機農産物と定義している。このため、本

試験は正確には有機栽培転換期間中の圃場および有機栽培圃場で実施したこととなるが、ここでは一括して有機栽培圃場と表記する。慣行栽培圃場は、2008年から2009年が1筆、2010年以降が3筆(ただし2011年は2筆)とした。各圃場の面積、使用年次および試験使用開始年の土壌の化学性については表1に示すとおりである。なお、谷和原水田圃場は概してコナギの発生が多いが、どの圃場も通常の慣行除草体系(一発処理剤のみ、または一発処理剤

表1 試験圃場の面積、使用年次および使用開始年の土壌の理化学性

栽培法(圃場)	面積(a)	年次						土壌の化学性				
		2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	pH	全窒素(%)	全炭素(%)	P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹)	K ₂ O(mgkg ⁻¹)
有機栽培	Y1	9	○	○	○	○	○	6.0	0.36	4.8	61	302
	Y2	4	注1)	○	○	○	○	6.6	0.20	2.3	92	225
慣行栽培	K1	8	○	○	○	○	○	6.3	0.32	4.1	67	389
	K2	5		○	○	○	○	6.5	0.18	2.1	93	253
	K3	5		○	注2)	○	○	6.2	0.19	2.1	80	227

注1) 本試験には使用しなかったが有機栽培を実施

2) 本試験には使用しなかったが慣行栽培を実施

3) 土壌は各圃場の使用開始年の4月に作土層(0~10cm)から採取し十勝農協連産化学研究所に分析を依頼

4) P₂O₅はトルオーグ法により測定した有効態リン酸含量

と広葉雑草対象の中・後期剤の体系処理)で防除可能な発生程度である。本試験ではコナギの発生が比較的少ない2筆の圃場を用いて有機栽培を開始した。

2. 有機栽培圃場の栽培体系

有機栽培圃場の水稲の栽培体系は、有機栽培農家で行われている作業(稲葉⁹⁾)等を参考にして組み立てた(表2)。有機栽培の水稲の移植時期については、①中苗以上を移植する機会が多く育苗期間が長期間となること、②複数回代かきを行う場合には3~4週間の湛水期間が必要であること、③移植作業と除草作業との競合を回避できること、④水稲の初期生育が早く雑草抑制に有利と考えられること等から、慣行栽培に比べて遅く移植する生産者が多い。このため、本試験では、茨城県における水稲(コシヒカリ)慣行栽培の標準移植期である5月中旬より遅く、収量ポテンシャルが大きく低下しないと考えられる6月上旬に中苗を移植することとした。雑草対策は、高精度水田用除草機と米ぬか散布を中核技術とし、これに2回代かきを組み合わせた除草体系とした。なお、移植後は常時湛水状態を維持するために慣行栽培よりもやや深い5~10cmの湛水深で管理した。高精度水田用除草機は、乗用型多目的田植機の機体後部に接続可能な除草装置であり、国内の農機具メーカー3社から市販されている。本機には、高速回転する横軸回転ロータで水稲の条間を除草し、水平左右に揺動するレーキで株間を除草する方式の除草機構が採用されている(宮原¹⁶⁾)。本試験では、図1に示すように、田植機本体の肥料ホッパから除草機の後部にホースを取り付け、機械

除草と同時に土壌表面に米ぬかが散布できるよう高精度水田用除草機を改良した。2011年以降は、田植ユニットの側条施肥部分をとりはずしビニールホースを接続することにより、移植と同時に米ぬかが散布できるよう工夫した(図2)。米ぬかは、肥料ホッパ内の目皿やホース内での目詰まりを少なくするために無洗米製造工程で粒状に成形されたもの(市販品)を購入して用いた。有機栽培体系の雑草抑制効果を評価するために、圃場の一部に機械除草と米ぬか散布を行わない雑草放任区を設定した。移植時に米ぬか散布を行った2011年以降は、肥料ホッパの施肥スイッチを停止することにより、雑草放任区へ米ぬかが散布されないよう留意した。

3. 栽培概要

1) 育苗

育苗には、有機栽培圃場、慣行栽培圃場とも市販の無消毒種子(品種はコシヒカリ)を使用した。有機栽培用の種子は、2.2 mmのふるいで選別後に60℃で10分間の温湯消毒を行った。浸種・催芽後、市販の有機育苗培土(焼成赤玉土に乾燥オカラ、グアノ粉末等を混合したもの)をつめた育苗箱に吸水粉80g(乾粉で60g相当)を均一に播種、覆土し30℃の恒温器で出芽させた。出芽後は移植まで屋外で約5週間プール育苗を行った。慣行栽培用の種子は、オキシリニック酸20%・プロクロラズ5%水和剤の200倍希釈液に24時間浸漬後、浸種・催芽を行った。播種量は育苗箱1箱当たり吸水粉180g(乾粉で135g相当)とし、慣行法に従って約4週間育苗した。移植時の苗の葉齢(不完全葉を除く)、草丈および乾物率は、それぞれ6年間の平均で有機栽培

表2 有機栽培圃場の作業と導入した技術・機械および導入目的の概要

時期	作業	導入した技術・機械等	導入目的の概要
1~5月	耕起, 整地	レーザーレベラー ¹⁾ , ロータリー	圃場の均平化
5月上旬	播種, 育苗	温湯種子消毒, プール育苗	病害防除, 健苗育成
5月上旬~中旬	施肥, 入水 代かき	有機質肥料施肥 2回代かき(5月中旬と移植1~2日前)	養分供給 雑草抑制
6月上旬	移植	中苗移植 ²⁾ , 米ぬか散布 ³⁾ 移植後の湛水管理(水深5~10cm)	初期生育確保, 雑草抑制 雑草抑制
6月中旬~下旬	除草	高精度水田用除草機, 米ぬか散布 (移植日から約10日おきに2回)	雑草抑制
7月中旬~	中干し		根への酸素供給ほか
8月上旬	追肥	有機質肥料追肥 ³⁾	養分供給
9月下旬	収穫	収穫後耕起(できるかぎり早く)	雑草種子の増加防止

注1) レーザーレベラーによる圃場の均平化は2008年のみ実施

2) 移植時の株間は、2008~2010年が21cm、2011~2013年は18cm

3) 移植時の米ぬか散布と有機質肥料追肥は2011~2013年の試験で実施



図1 高精度水田用除草機による機械除草同時米ぬか散布作業



図2 田植ユニットの改良 (左) と移植同時米ぬか散布の状況 (右)

培用が4.1 齡, 18.8cm, 21.4%, 慣行栽培培用が2.4 齡, 15.0cm, 20.7%であった。

2) 本田管理

有機栽培圃場は、表2に示す栽培体系を基本に作業を実施した。各年とも移植の約4週間前に元肥としてフェザーミール、魚粕等を成分とした市販の有機質肥料(有機アグレット666特号:朝日工業株式会社)を施用した。施肥量は2008年~2010年がN, P₂O₅, K₂Oで各成分5 gm⁻², 2011年~2013年がN, P₂O₅, K₂Oで各成分3 gm⁻²とした。その後5月上旬~中旬にかけて入水し、代かきハローにより代かきを行った。代かき後はそのまま湛水を続け、移植日の1~2日前に再度代かきを行って湛水期間中に発生した雑草を土中に埋め込んだ。移植は6月5日~11日に6条植えの多目的田植機を用いて行った。栽植様式は2008年~2010年が条間30 cm×株間21 cm, 2011年~2013年が条間30 cm×株間18 cmとし、移植後は欠株がないよう補植した。圃場の両端から約2 mは、高精度水田用除草機が旋回する枕地とし、水稻の移植は行わず枕地に発生した雑草は刈払機等で定期的に除去した。

高精度水田用除草機による除草作業は、移植から約10日目および20日目の計2回行った。なお、多目的田植機(除草機)は、移植時および除草時と同じ位置(轍)を走行した。除草作業時の水位は3 cm程度とし、作業速度は0.4~0.5 ms⁻¹で作業後は速やかに水位を5 cm以上とした。減水深が大きくなった場合にも土壌表面が露出しないよう、移植から中干し期(7月下旬)までは水位を5~10 cm程度の湛水状態で維持・管理した。2008年~2010年は除草作業時(合計2回), 2011年~2013年は移植時と1回目の除草作業時(合計2回)に、米ぬかを毎回約50 gm⁻²(合計約100 gm⁻²)散布した。2011年~2013年は中干し終期に元肥と同じ有機質肥料をN, P₂O₅, K₂Oで各成分2 gm⁻²追肥した。

慣行栽培圃場は、化成肥料をN, P₂O₅, K₂Oで各成分5 gm⁻²施用し耕うんした後に入水して、移植日の2~3日前に代かきハローにより代かきを行った。5月中旬に稚苗を条間30 cm×株間15~21 cmで移植した。除草剤は、各年とも移植約10日後にジメタメトリン0.6%・ピラゾレート12%・プレチラクロール4.5%・プロモブチド6%混合粒剤を10 a当たり1 kg散布した。その後、水深3~5

cm 程度で管理し、中干し期（7月上旬）に化成肥料でNおよびK₂Oを各成分3 gm⁻²追肥した。また、中干し期に移植約6週間後の雑草調査を行った後、ベンタゾンナトリウム塩40%液剤の200倍希釈溶液を10 a当たり100リットル散布した。栽培期間中は化学農薬を用いた病害虫の防除は行わなかった。各圃場の移植日、除草日は表3に示すとおりである。

3) 収穫

観察により全穂数の80%程度の穂首が黄化した日（成熟目安）から1週間以内に収穫期の調査を行った。各圃場の収穫（坪刈り）日は表3に示すとおりである。収穫調査後、コンバインによる全刈りを行い、稲わらのみ全量圃場に還元した。

4. 調査項目と方法

1) 気象データ

試験期間中の気温および降水量は、谷和原水田圃場内に設置されている気象観測装置の観測データを利用した。

2) 雑草の埋土種子数の調査

試験圃場の土壌採取は圃場への入水前に行った。各圃場を3~4ブロックに分割し、ブロックごとに直径2.5 cmの円筒の採土器を用いて0~10 cmの作土層20箇所程度の土壌を採取し混合した。土壌は温室内で自然乾燥させた後100 gを雑草埋土種子数の調査に供試した。雑草埋土種子数の調査は、小林・渡邊⁽¹¹⁾の方法に従って実施し、土壌の乾燥密

度を1として埋土種子数をm²あたりに換算した。

3) 雑草の生育（残存）量の調査

有機栽培圃場では、各年とも移植約6週間（42日~47日後）に雑草の生育量を調査した。水稲が移植されている列を中心に左右7.5 cm計15 cm幅部分を株間、それ以外の15 cm幅部分を条間として、それぞれ0.3 m²（2010年以降は0.15 m²）の雑草の地上部を4箇所から採取した。雑草放任区は、移植直後にプラスチックダンボールで50 cm×50 cm枠を4箇所設置し、枠内の雑草を同日に採取した。採取した雑草は、熱風式乾燥機で80℃2日間乾燥後に乾物重を測定した。収穫期には、有機栽培圃場の除草区と慣行栽培圃場において、4)で示す収穫期調査後の地面に残存していた雑草を採取し、上記と同法で乾燥後に乾物重を測定した。

4) 水稲の生育期および収穫期の調査

有機栽培圃場の水稲の欠株率は、第1回目および第2回目の除草作業後に各圃場240~480株について調査した。草丈および葉色としてSPAD値（ミノルタ社製SPAD-502）は概ね7~10日間隔で、慣行栽培圃場および有機栽培圃場それぞれ10~20個体を調査した。茎数は概ね10~14日間隔で5個体×3箇所を調査した。収穫期には両圃場それぞれ3~4箇所、各20個体について稈長および穂長を立毛状態で計測した。収量調査として、約2m²の範囲内の水稲を両圃場3~4箇所刈り取り、玄米収量（水分含量15%換算）および穂数、千粒重等の形質を調査した。

表3 年次・圃場別の移植、機械除草、収穫作業日

年次	圃場	移植	機械除草 1回目	機械除草 2回目	収穫 (坪刈り)
2008年	有機栽培	6月11日	6月20日	6月30日	9月25日
	慣行栽培	5月19日	-	-	9月25日
2009年	有機栽培	6月9日	6月19日	6月29日	9月28日
	慣行栽培	5月15日	-	-	9月16日
2010年	有機栽培	6月11日	6月21日	7月1日	9月29日
	慣行栽培	5月14日	-	-	9月15日
2011年	有機栽培	6月10日	6月20日	6月30日	9月29日
	慣行栽培	5月19日	-	-	9月14日
2012年	有機栽培	6月8日	6月18日	6月28日	9月24日
	慣行栽培	5月18日	-	-	9月12日
2013年	有機栽培	6月5日	6月14日	6月24日	9月19日
	慣行栽培	5月17日	-	-	9月10日

Ⅲ. 結果

1. 試験地の気象条件

表4に栽培期間における年次別の平均気温と降水量を示す。気温は、いずれの年も平年並または平年以上の旬が多かった。特に2010年は、有機栽培圃場の移植から除草作業までの期間に相当する6月中旬と下旬の平均気温が22.9℃と24.8℃で、平年よりそれぞれ2.3℃および3.7℃高かった。その後も9月上旬頃まで高温傾向は続き、8月の平均気温は約28℃、月間降水量は9mmで高温・少雨の傾向が顕著であった。

2. 高精度水田用除草機と米ぬか散布等による除草法の雑草抑制効果

有機栽培圃場の埋土種子数が最も多かった2011年の雑草の残存数と構成比を表5に示す。有機栽培圃場での最優占雑草種はコナギで全体の60%を占めており、そのほか、タマガヤツリ(14%)、イヌホタルイ(9%)等が存在したがヒエ類はほとんどみられなかった。他の年次においても優占する雑草種に大きな違いはなかった。有機栽培圃場における移植6週後の雑草の乾物重を表6に示す。高精度水田用除草機と米ぬか散布による抑草効果は、各年とも条間では極めて高く、雑草乾物重は雑草放任区の2%以下であった。一方、株間の雑草乾物重は雑草放任区の6~35%となり条間に比べると年次変動が大きく残草量が大きかった。年次別では、2010年が除草区、雑草放任区とも雑草乾物重が最も大き

かった。水稲収穫期における雑草の乾物重を図3に示す。有機栽培圃場では、移植後6週後の調査と同様に2010年の雑草乾物重が60 gm⁻²で最も大きく、米ぬか散布時期を移植時に変更し栽植密度を高めた2011年以降は雑草乾物重が小さい傾向にあった。

3. 機械除草作業による欠株率

有機栽培圃場における機械除草作業後の水稲の欠株率を図4に示す。欠株率は年次により変動があり、1回目の除草作業後で1.5~9.7% (平均は4.4%)、最終的には1.8~12.1% (平均は6.0%) となった。苗の位置別の欠株率は、車輪の外側で高く、車輪の走行がない部分で低かった(データ省略)。除草作業中、多目的田植機本体が傾くことにより車輪外側の土が苗ごと押し出され、その上を除草機が通過して著しい欠株が生じる現象が観察された。

4. 水稲の生育

水稲の草丈は、有機栽培圃場の移植日が遅かったこともあり慣行栽培圃場に比べ有機栽培圃場で高く推移した(図5)。移植から出穂までの平均日数は、有機栽培圃場で64日、慣行栽培圃場で78日であった。出穂期で比較すると有意差はなかったが有機栽培圃場で草丈は高い傾向にあった(表7)。最高分けつ期の茎数は2013年を除き慣行栽培圃場で多い傾向にあったが、乾物重とSPAD値は有機栽培圃場で有意に大きかった(表7)。なお、病害虫に関

表4 年次別の気温と降水量 (中央農業総合研究センター谷和原圃場気象観測装置の観測データ)

項目	年次	5月		6月		7月			8月			9月		
		下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
気温(℃)	2008年	18.5	19.3	20.8	20.6	24.1	25.9	26.2	27.3	26.1	23.1	25.0	23.0	19.6
	2009年	19.4	19.7	20.1	<u>23.3</u>	23.6	25.8	25.4	25.2	25.5	23.9	22.3	20.4	20.9
	2010年	17.6	19.4	<u>22.9</u>	<u>24.8</u>	<u>25.4</u>	<u>26.2</u>	<u>28.0</u>	<u>28.0</u>	<u>27.9</u>	<u>28.4</u>	<u>27.3</u>	23.9	19.2
	2011年	17.1	19.6	20.9	<u>25.1</u>	<u>26.8</u>	<u>27.8</u>	23.5	26.6	<u>27.8</u>	24.0	25.9	<u>25.8</u>	19.2
	2012年	18.7	20.0	20.0	20.0	23.2	<u>26.1</u>	26.2	26.8	27.5	<u>28.1</u>	25.9	<u>26.3</u>	20.9
	2013年	20.5	20.3	<u>22.7</u>	21.4	<u>26.0</u>	25.6	24.8	27.1	<u>28.7</u>	26.1	25.2	23.9	20.6
	平年	18.5	19.8	20.6	21.1	22.7	24.1	25.3	26.0	25.6	25.3	24.1	22.3	20.0
降水量(mm)	2008年	56	22	31	90	6	14	19	25	57	262	0	61	59
	2009年	104	19	112	77	24	5	30	118	0	101	0	12	4
	2010年	47	3	55	41	37	5	49	6	3	0	106	77	224
	2011年	141	38	72	14	16	46	53	10	98	55	27	18	115
	2012年	61	59	77	43	66	43	6	10	9	0	56	12	77
	2013年	19	1	57	84	1	4	53	4	15	74	35	106	11
	平年	41	29	57	60	52	36	29	43	34	43	45	74	66

注1) 平年の値は気象庁「気象データ」の茨城県龍ヶ崎の観測データ(1981年~2010年)

2) 気温データの下線は平年より2℃以上高い値

表 5 有機栽培圃場の雑草種別残存本数と構成比 (2011年7月)

草種 (類)	本数 (本 m ⁻²)	構成比 (%)
コナギ	2,439	60.1
タマガヤツリ	561	13.8
イヌホタルイ	378	9.3
アゼナ類 ^{注2)}	350	8.6
ヒエ類 ^{注3)}	17	0.4
その他	311	7.7
合計	4,056	100.0

注1) 雑草放任区のデータ
 2) アゼナ, アメリカアゼナ, タケトアゼナを区別せずに調査
 3) タイヌビエ, イヌビエ, ヒメタイヌビエを区別せずに調査

表 6 有機栽培圃場の雑草乾物重 (移植6週後)

年次	処理	条間 (gm ⁻²)	株間 (gm ⁻²)
2008年	除草区	1.5 (2)	11.1 (16)
	雑草放任区		68.5 (100)
2009年	除草区	0.4 (1)	10.5 (35)
	雑草放任区		30.3 (100)
2010年	除草区	1.8 (1)	59.0 (30)
	雑草放任区		193.7 (100)
2011年	除草区	0.7 (1)	13.0 (17)
	雑草放任区		76.3 (100)
2012年	除草区	0.3 (0)	10.6 (14)
	雑草放任区		73.3 (100)
2013年	除草区	0.1 (0)	5.5 (6)
	雑草放任区		87.3 (100)

注1) 雑草放任区は条間と株間を区別せず調査
 2) () 内は雑草放任区を100とした時の相対値

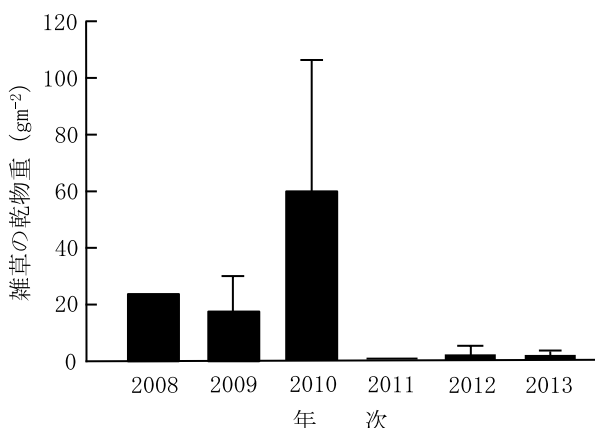


図 3 有機栽培圃場の雑草乾物重 (収穫期)

注) 図中のバーは標準偏差 (n=2)

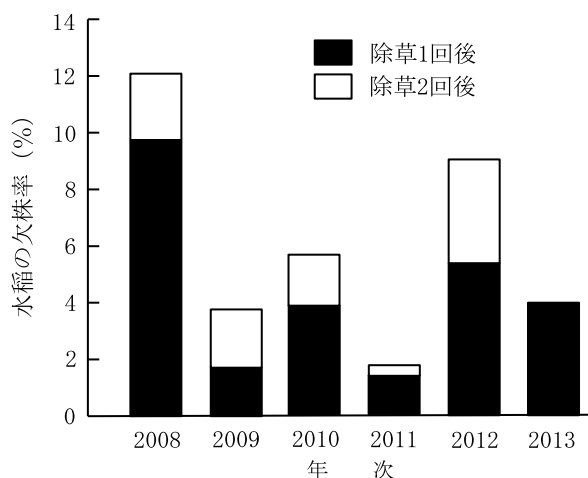


図 4 除草作業後の水稲の欠株率

しては、有機栽培圃場、慣行栽培圃場ともに葉いもち病、紋枯病 (2010年のみ) およびカメムシ類等の発生が観察されたが、いずれも軽微であった。

5. 水稲の収量および形質

収穫期に調査した水稲の形質および精玄米収量について表 8 に示す。有機栽培圃場の精玄米収量は6年間の平均で 497 gm⁻² となり慣行栽培圃場の 96% であった。年次別にみると 2010 年が 469 gm⁻² で慣行栽培圃場に比べ約 16% の大幅な減収となった。穂数は、有機栽培圃場で有意に少なかった。有意差

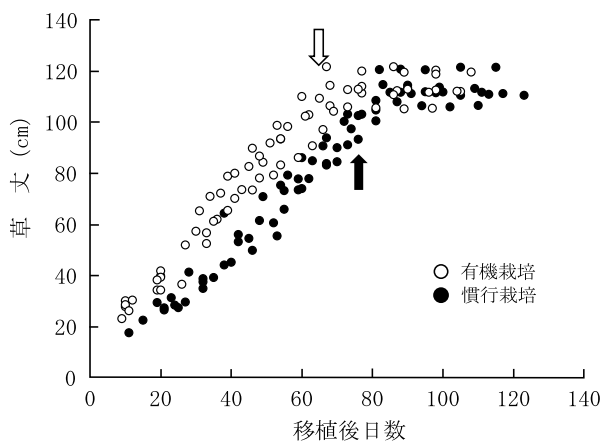


図 5 草丈の推移 (2008年~2013年)

注) 図中の矢印は出穂までの日数 (6年間の平均)

表7 年次・圃場別の最高分けつ期と出穂期の形質

年次	圃場 (栽培法)	最高分けつ期			出穂期	
		莖数 (本 m ⁻²)	乾物重 (gm ⁻²)	SPAD 値	草丈 (cm)	SPAD 値
2008年	有機栽培	384.1	287.3	41.1	103.1	33.6
	慣行栽培	520.0	280.0	33.7	103.3	31.2
2009年	有機栽培	385.2	287.0	41.6	109.6	35.8
	慣行栽培	446.3	192.1	36.9	100.7	30.3
2010年	有機栽培	309.1	286.0	38.9	110.3	34.5
	慣行栽培	394.8	182.8	33.6	97.6	35.5
2011年	有機栽培	395.4	304.1	37.4	102.5	34.5
	慣行栽培	410.3	255.4	30.1	102.8	33.3
2012年	有機栽培	395.1	319.1	35.7	97.3	31.8
	慣行栽培	449.2	209.9	31.8	91.9	30.4
2013年	有機栽培	545.2	289.2	39.8	104.5	34.8
	慣行栽培	492.2	296.7	29.9	103.3	30.4
平均	有機栽培	402.4	295.4	39.1	104.5	34.2
	慣行栽培	452.1	236.2	32.7	99.9	31.8
分散分析	有機/慣行 (%)	89.0	125.1	119.7	104.6	107.3
	年次 (5)	ns	ns	ns	ns	ns
	圃場 (1)	ns	*	*	ns	ns
	年次×圃場	ns	ns	ns	ns	ns

注) 分散分析欄の () 内は自由度, *は5%水準で有意差あり, nsは有意差なし

表8 年次・圃場別の収穫期の形質

年次	圃場 (栽培法)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本 m ⁻²)	もみわら 比	精玄米収量 (gm ⁻²)	玄米千粒重 (g)
2008年	有機栽培	89.3	18.8	307	0.92	521	21.2
	慣行栽培	90.5	17.5	406	0.75	552	21.0
2009年	有機栽培	98.1	19.4	320	0.96	537	21.7
	慣行栽培	89.3	18.1	321	0.78	488	22.3
2010年	有機栽培	92.3	19.7	295	0.78	469	20.5
	慣行栽培	88.6	20.6	356	0.82	556	22.3
2011年	有機栽培	93.4	19.0	332	0.89	511	22.5
	慣行栽培	93.6	18.5	354	0.85	528	22.7
2012年	有機栽培	86.0	18.7	292	0.76	416	22.7
	慣行栽培	82.6	19.3	353	0.74	441	22.1
2013年	有機栽培	91.7	18.8	354	0.88	530	21.9
	慣行栽培	91.9	19.0	411	0.78	549	21.9
平均	有機栽培	91.8	19.1	316	0.87	497	21.8
	慣行栽培	89.4	18.8	367	0.79	519	22.1
分散分析	有機/慣行 (%)	102.7	101.3	86.4	-	95.9	98.7
	年次 (5)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	圃場 (1)	ns	ns	*	ns	ns	ns
	年次×圃場	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注) 分散分析欄の () 内は自由度, *は5%水準で有意差あり, nsは有意差なし

はなかったが、有機栽培圃場では慣行栽培圃場に比べ稈長は長く、玄米千粒重は小さい傾向にあった。

6. 雑草の埋土種子数の推移

各圃場で最優占雑草種であったコナギの埋土種子数の推移を図6に示す。有機栽培圃場では、試験開始年の2008年は慣行栽培圃場よりもコナギの埋土種子数が少なかったが、試験開始後は年々増加し、2010年までの増加率は前年比2~4倍であった。2010~2011年にかけての増加率は高く、2011年の試験前の埋土種子数は平均でm²当たり8万粒を超え

ていたが、その後はやや減少に転じた。慣行栽培圃場では、試験期間をとおしてコナギの埋土種子数は2~3万粒前後で推移した。

7. 有機栽培圃場の収量変動要因の解析

有機栽培転換前の慣行栽培による生産性等への影響を除外するために、有機JAS法において有機農産物と認定される「有機栽培を3年以上継続した圃場」のデータを用いて、精玄米収量と収穫期の諸形質および雑草乾物重との相関を解析した。その結果、穂数およびもみわら比と精玄米収量との間に有

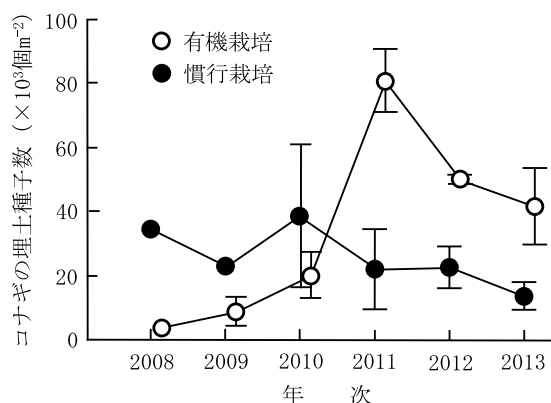


図6 コナギの埋土種子数の推移

注) 図中のバーは標準誤差 (有機栽培: n=2, 慣行栽培: n=3 (2011年は n=2))

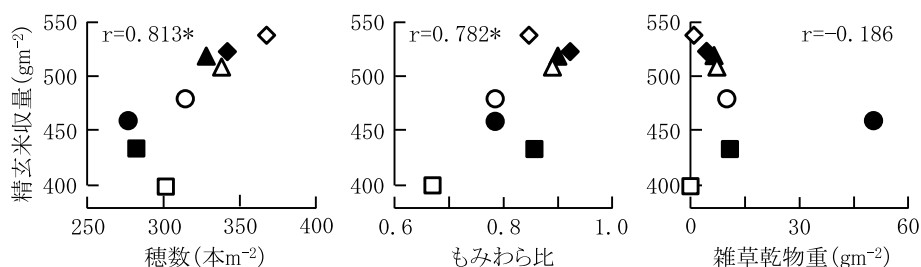


図7 穂数、もみわら比および雑草乾物重 (移植6週後) と精玄米収量との関係

注1) 有機栽培を3年以上継続した圃場のデータ (2010年~2013年)

○: Y1圃場2010年, △: Y1圃場2011年, □: Y1圃場2012年, ◇: Y1圃場2013年

●: Y2圃場2010年, ▲: Y2圃場2011年, ■: Y2圃場2012年, ◆: Y2圃場2013年

2) 雑草乾物重は条間と株間をあわせた平均値

3) *は5%水準で相関関係あり (n=8)

意な正の相関関係が認められた。しかし、移植6週後の雑草乾物重と精玄米収量との間には相関関係は認められなかった (図7)。同様に収穫期の雑草乾物重と精玄米収量との間にも相関関係は認められな

かった (相関係数-0.196: 図省略)。有機栽培2圃場間では、2010年の雑草乾物重がY1圃場に比べY2圃場で大きかったものの、収量や形質に関しては同一年次で大きな差はなかった。

IV. 考察

1. 高精度水田用除草機と米ぬか散布等による除草法の雑草抑制効果

本試験では、有機JAS法に基づく有機栽培圃場を設けて6年間の水稲栽培を行った。水稲の有機栽培で最も問題となる雑草対策として高精度水田用除草機を導入した。高精度水田用除草機を単独で利用する場合、移植から7~10日間隔で3回の除草作業が標準的である (宮原⁽¹⁶⁾, 菊池・野沢⁽¹⁰⁾)。一方、吉田ら⁽³¹⁾は、高精度水田用除草機による機械除草と米ぬか散布を組み合わせた水田用複合除草技術により、除草作業の回数を減らせる可能性を示唆して

いる。そこで、本試験では、高精度水田用除草機と米ぬか同時散布による除草作業に2回代かき等の耕種的抑草技術を組み合わせることで抑草効果の向上を目指した (表2)。その結果、移植約6週後の雑草乾物重は、条間では2回の除草作業で6年間ともに雑草放任区の2%以下に抑えられていた。一方、株間では雑草放任区の6~35%と抑草効果が条間より低く変動が大きかった (表6)。高精度水田用除草機は、条間の除草ロータが高速回転するため除草効果は高いが、株間除草レーキは水平揺動式であることから株間の除草効果がやや低いことが指摘され

ており（荒井・酒井⁽⁵⁾）、本試験でも同様の結果となった。

このうち、2010年は株間の雑草乾物重が 59 gm^{-2} で他の年次に比べて大きかった。この原因として、有機栽培の継続による雑草発生数の増加が考えられる。鴛田ら⁽²⁸⁾は、ノビエが優占する圃場において水田の雑草防除を除草剤利用体系から機械除草体系に切り替えると雑草発生が年々増加して機械除草後の残草量も増加することを報告し、これは残存した雑草の種子生産が主因と推察している。本試験では、雑草の埋土種子数の調査を行った結果、優占雑草であるコナギの埋土種子数は2008年の試験開始前から2010年の試験前まで徐々に増加していることが示された（図6）。圃場での雑草埋土種子数は圃場内での分布が均一ではなく変動も大きいため断定はできないが、有機栽培の継続により埋土種子数が増加したことは、2010年の残草量の増加の一因となった可能性がある。

一方、気象条件をみると、有機栽培圃場の移植から除草作業までの期間である6月中旬と下旬の平均気温は、2010年は平年より 2°C 以上高かった（表4）。このため、2010年は圃場内の水温も高かったと考えられ、移植から1回目の除草作業までの期間のコナギ等雑草の生育が促進された可能性がある。安達・月森⁽²⁾は、コナギの引き抜き抵抗が葉齢の進展に伴って累乗関数的に増加することを示している。前述したように本試験で用いた高精度水田用除草機の株間除草レーキは水平揺動により雑草を抜き取る方法のため、除草作業時の雑草の葉齢により抑草効果が強く影響を受ける可能性が高い。すなわち、2010年は移植直後からの高温でコナギ等の雑草の葉齢が進み引き抜き抵抗が大きかったため、株間の抑草効果が低下したと考えられる。2010年はその後も高温傾向が続いたことから、収穫期においても他の年次に比べて残草量が多かった（図3）と推察される。2010年のように気温が高く雑草の生育が促進的である場合には、除草作業の間隔を短縮する等の措置が必要と考えられる。一方、低温時に水稻を移植する場合は、水稻の生育や草冠による被覆、雑草の生育が緩慢になることが予想されるため、除草作業の間隔や回数について検討する必要がある。

本試験では、多目的田植機の簡易な改良（図1、

図2）により移植作業や除草作業と同時に約 50 gm^{-2} の米ぬかを散布した。特に、2011年以降は米ぬか散布時期を早めて移植時と1回目の除草作業時とし、株間を21cmから18cmに短縮する等栽培法を一部変更した。この結果、2011年以降ではコナギの埋土種子量は2010年以前より増加していた（図6）にもかかわらず、収穫期の雑草乾物重は抑制されていた（図3）。水稻の栽植密度を高めることは、光や養分の競合に関して水稻が雑草より有利になることから、雑草害を抑制するために有効と考えられる。鈴木・島宗⁽²⁷⁾は、コナギが優占する有機栽培圃場において密植により幼穂形成期の雑草乾物重が減少することを示している。荒瀬・内川⁽⁷⁾は、長野県内の棚田内の除草を行わない放任区で水稻の密植は疎植よりコナギ等の雑草発生量が少なかったことを報告している。コナギが優占する圃場で行った本試験においても、栽植密度を高めた2011年以降は雑草が抑制される傾向にあり、特に収穫期の雑草乾物重が著しく小さかったことから（図3）、栽培後期に抑草効果が強く現れたものと推察される。

また、小森⁽¹²⁾は、10 cm程度の深水管理に加え米ぬかペレットとくず大豆の散布は雑草の抑制に有効であることを報告している。中井・鳥塚⁽¹⁹⁾は、米ぬか処理量に応じてコナギの残草量が少なくなり、米ぬか 60 gm^{-2} 処理区では無処理区対比で生体重が13%に抑制されたとしている。中山⁽²⁰⁾は、米ぬか処理量を増加させると、無処理区に比べてタイヌビエの葉齢進展が遅れ種子根長が短くなることを報告している。本試験では、機械除草のみを行った試験区を設定していないことから米ぬか単独の抑草効果については明らかではないが、米ぬか散布が抑草に貢献していた可能性は高い。一方、米ぬかの散布時期の違い（2010年までと2011年以降）による水稻栽培初期の抑草効果は明確ではなかった（表6）。しかし、著者らのグループは同一年同一圃場で行った比較試験で、移植時の米ぬか散布が除草作業時までの雑草の生育を抑制すること（三浦ら⁽¹⁵⁾）、米ぬかによる抑草効果は土壌条件、施用時期や量等によって変動すること（Nozoeら⁽²⁴⁾、内野ら⁽²⁹⁾）を報告している。また、一部の有機栽培農家は移植後できるだけ早い時期に米ぬかやくず大豆等有機質資材の散布を実践している（稲葉⁽⁹⁾）。これらより、移植時の米ぬか散布は、雑草抑制に有効な技術と考

えられるため、今後とも検証を進める必要がある。加えて、米ぬか散布による抑草メカニズムについては未だ明らかになっていないため、著者らの研究グループでは米ぬか分解時等に生成される有機酸が雑草の発芽や生育に及ぼす影響についても解析中である(青木ら⁽³⁾)。

2. 水稲の欠株率、生育および収量性

除草作業終了後における水稲の欠株率は、6年間の平均で6.0%であり(図4)、これは、高精度水田用除草機を利用したこれまでの試験結果とほぼ一致している(菊池・野沢⁽¹⁰⁾)。本試験でもみられたように、除草作業による欠株は1回目の除草時に発生しやすい。これは、1回目の除草時が水稲の活着始期であり、本機の走行や株間除草レーキにより株が抜けたり損傷が生じやすい状況にあることが原因と考えられる。また、高精度水田用除草機を利用する場合、移植および除草作業で同じ位置を車輪が通過するため、耕盤が軟弱な場合等では機体の沈み込みが大きくなったり、片側に傾く可能性がある。本試験でも、本体が傾くことにより車輪外側の土が苗ごと押し出されて、その上を除草機が通過することで欠株率が高まる現象が観察された。このような場合には、機体の後輪に補助車輪を利用することで走行を安定させ、欠株を減らすことができる(宮原⁽¹⁶⁾)。本試験では、2008年の欠株率が12%と最も高かった(図4)。これは試験初年目であったためオペレーターが高精度水田用除草機による除草作業に慣れていなかったことが要因となった可能性がある。除草作業による欠株を低減させるためには、研修等によりオペレーターの習熟度を高めることも必要であろう。本試験では、除草時の作業速度は約 0.4 ms^{-1} であったが、作業速度が 1.0 ms^{-1} 程度で除草時の水深が3 cm以下では15%以上の欠株率となるという報告がある(菊池・野沢⁽¹⁰⁾)。欠株率は5%程度では減収しない(西山⁽²¹⁾)、欠株率15%程度までは減収が5%以内となる(渡邊ら⁽³⁰⁾)等、慣行栽培では欠株率が極端に大きくならなければ周囲株の補償作用もあり収量に及ぼす影響は小さいとの報告は多いが、圃場条件や作業時期に合わせて水深や作業速度を考慮した除草作業により欠株率を低減させることは、有機栽培において収量を安定させるために重要と考えられる。

農薬や化学肥料を使用しない有機栽培では、一般に水稲の生育や収量が慣行栽培より劣り、農家調査によれば減収率の平均値は25%という結果がある(MOA自然農法文化事業団⁽¹⁷⁾)。齋藤ら⁽²⁵⁾は、10年間の継続試験において無農薬区(有機JAS栽培相当)の慣行区に対する減収程度は平均で約10%であり、コナギの雑草害による穂数減が主要因と考察している。荒井・酒井⁽⁶⁾は、福島県で行った現地試験で、有機栽培では慣行栽培に比べて水稲の稈長および穂長がやや長く穂数が少ないこと、収量がやや劣ることを報告している。本試験の有機栽培圃場における収量は6年間の平均で慣行栽培圃場より約4%低かったが、前記した報告(齋藤ら⁽²⁵⁾、荒井・酒井⁽⁶⁾)に比べ減収率は小さかった。このことは、本試験で組み立てた有機栽培体系の有効性を示唆している。特に雑草防除に関しては、2010年を除き残草量が少なく(表6、図3)、収量との間に相関関係がなかった(図7)ことから、収量に影響しないレベルまで雑草は抑制されたと判断される。一方で、水稲の生育、収量に対する雑草の影響は発生する雑草種によって異なり、荒井・川島⁽⁴⁾はコナギ優占の群落よりノビエ優占の群落で水稲収量への影響が大きいと報告している。ヒエ類の耕種的な防除法としては、15 cm程度の深水管理が有効との知見(三石⁽¹⁴⁾、稲葉⁽⁹⁾)もあることから、本試験で実施した除草体系については、ヒエ類が優占する圃場で深水管理との組み合わせ等を行うことで有効性を確認することが必要である。

本試験の有機栽培圃場では、慣行栽培圃場に比べ生育期の草丈やSPAD値が全般に高かった反面、莖数は少ない傾向がみられた(表7)。また、収穫期の稈長はやや長く、穂数は有意に少ない(表8)等、水稲の生育は荒井・酒井の報告⁽⁶⁾と概ね一致した結果となった。本試験で莖数、穂数が少なかった原因として、2010年のように雑草が影響した可能性に加え、有機栽培圃場では慣行栽培圃場より3週間程度遅く移植したため出穂までの日数が短く、栄養成長期間が十分でなかった年次があったことが考えられる。また、機械除草による莖や根の物理的な損傷や米ぬか散布による生育障害の可能性もあり、今後検討を要する。一方、本試験では2回代かきを実施したため有機質肥料の施用後から移植まで3~4週間程度は湛水状態を維持した。これにより、有機

質肥料に含まれる窒素等の無機化が進んで生育期には十分な養分供給があったと推測され、これが草丈やSPAD値を高めた要因と考えられる。

収量については、有機栽培開始後3年以上経過した圃場のデータを用いて変動要因を解析した結果、穂数およびもみわら比と正の相関関係が認められた(図7)。また、有機栽培圃場と慣行栽培圃場では穂数に有意な差が認められた(表8)。これらは、本試験で組み立てた有機栽培体系(表2)で収量を高めるためには、穂数の確保が重要であることを示唆している。本試験では、2011年以降は有機栽培圃場の株間を21 cmから18 cmに短縮することで茎数や穂数の増加を試みた。しかし、2011年以降は茎数と穂数が増加する傾向にはあったものの、慣行栽培圃場より少ない状況が続いた(表7, 表8)。穂数を増加させるためには、雑草を安定的に抑制するとともに、栽植密度をさらに高めることや移植時期を早めて栄養成長期間を長くすることが有効と考えられる。栽植密度を高めることは生育初期の被蔭による抑草効果を高め、欠株による茎数、穂数の減少を抑制する効果がある反面、低農薬栽培では密植による穂数増加はわずかで多肥では穂いもちの多発生を招くとする報告(前田⁽¹³⁾)がある。また、移植時期を早めることは、一般にイネミズゾウムシやイネドロオイムシ等による被害の増加につながるほか、米ぬかの抑草効果を低下させる(内野ら⁽²⁹⁾)ため農薬を使用できない有機栽培には不利な点も多い。今後、有機質肥料の分解特性を明らかにし、施肥(追肥)時期や量等について検討することにより、穂数、もみわら比および登熟歩合等を高める対策を確立することも収量の変動を小さくするために必要であろう。

3. まとめ

以上、本試験の水稲有機栽培では高精度水田用除草機と米ぬか散布を中核とした除草体系により、概ね雑草害による水稲の減収が生じない程度の高い抑草効果が得られ、変動があるものの慣行栽培の96%程度の収量が確保されることが示された。このことから、本試験で組み立て実践した有機栽培体系は、農業現場への普及に有効な技術体系であると判断される。一方、株間の抑草効果がやや劣ること、水稲の欠株率が6%程度となり慣行栽培に比べて穂数が少ないこと等が課題としてあげられた。有機栽培での収量を安定、向上させるためには、水稲の栽植密度や有機質肥料の利用法等の栽培管理について改善していく必要があると考えられる。

本試験の有機栽培圃場には有機質肥料や米ぬか散布は行っているが、多くの有機栽培農家で実践されている堆肥等の施用は行っていない。このため、長期的な視点でみると地力の低下や窒素等の養分不足が問題となる可能性がある。また、農家圃場では有機栽培を継続することで、土壤の物理性等が変化し雑草の発生や残存が少なくなるという事例がみられる。本試験の結果は有機栽培転換初期の結果と位置づけ、今後も土壤の物理・化学性や雑草の動態等を継続的に調査、解析することで水稲有機栽培における生産性の維持、向上について検討していく予定である。有機栽培に関する試験を行う際には、有機栽培圃場と慣行栽培圃場とを別個に準備する必要があり、本試験では圃場数の制約があったことから十分な圃場反復をとることができなかった。本試験で組み立てた水稲有機栽培体系の有効性については、農家圃場での試験等を通じて確認していきたい。

謝辞

農研機構中央農業総合研究センターの中村貴紀氏、山崎公彦氏をはじめ業務科の技術専門職員の皆様および松永順子氏、太田五鶴氏、窪庭佐知子氏、稲沼幸子氏、加藤弘子氏、山田ミナ子氏には、試験

圃場での作業、栽培管理および調査等にご尽力いただきました。茨城大学東達哉氏、東京大学棚田大介氏には圃場調査やデータ整理等にご協力いただきました。ここに記して御礼申し上げます。

V. 摘要

茨城県つくばみらい市の水田圃場において2008年から2013年までの6年間、高精度水田用除草機による除草作業と米ぬか散布を組み合わせた除草法を中核とした有機栽培体系を実践し、雑草抑制効果、水稲の生育および収量について慣行栽培と比較した。

1. 有機栽培圃場における移植6週後の雑草乾物重は、条間では6年間ともに雑草放任区の2%以下に抑えられていた。一方、株間では雑草放任区の6~35%と抑草効果が条間より低く変動が大きかったが、2010年を除き収量に影響しない程度の抑草効果が得られた。
2. 有機栽培圃場では、2011年以降に米ぬか散布時期を早めて移植時と1回目の除草作業時に変更し、さらに水稲の栽植密度を高めた結果、収穫期の雑草の残存量は顕著に減少した。

3. 高精度水田用除草機を利用した除草作業では、水稲の欠株が1回目の除草時に発生しやすく、除草作業終了後における欠株率は6年間の平均で6.0%であった。

4. 有機栽培圃場では、慣行栽培圃場に比べ生育期の草丈やSPAD値が全般に高かった反面、茎数は少ない傾向にあった。また、収穫期の稈長はやや長く、穂数は有意に少なかった。玄米収量は6年間の平均で慣行栽培の96%程度となった。

5. 本試験で実践した有機栽培体系は、概ね雑草による減収がなく慣行栽培に近い収量が得られたことから、農業現場への普及に有効な技術体系であると判断された。水稲の有機栽培で収量を安定、向上させるためには、栽植密度や有機質肥料利用法等の栽培管理を改善することにより穂数の増加等を図る必要がある。

引用文献

1. 安達康弘・月森弘 (2009) 機械除草の時期と回数がコナギの発生及び水稲の生育に与える影響. 日作紀, 78 (別1), 64-65.
2. 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.
3. 青木大輔・内野彰・野副卓人・田中福代・三浦重典 (2013) コナギ種子の発芽に及ぼす芳香族カルボン酸の影響. 雑草研究, 58 (別), 131.
4. 荒井正雄・川島良一 (1956) 水稲栽培に於ける雑草害の生態学的研究 I・II. 日作紀, 25, 115-119.
5. 荒井義光・酒井孝雄 (2005a) 福島県浜通りにおける水稲有機栽培の実証 第1報 有機栽培初年目の深水・除草機による雑草防除の効果. 日作東北支部報, 48, 17-18.
6. 荒井義光・酒井孝雄 (2005b) 福島県浜通りにおける水稲有機栽培の実証 第2報 有機栽培初年目の水稲生育と収量. 日作東北支部報, 48, 19-20.
7. 荒瀬輝夫・内川義行 (2011) 棚田における栽植密度と除草管理法の違いが水稲収量に及ぼす影響. 信州大学農学部 AFC 報告, 9, 83-91.
8. 原田博行・鈴木泉・大場伸一・鈴木雅光 (2001) 水稲の有機栽培における再生紙マルチ利用による雑草防除. 山形農試研報, 35, 17-35.
9. 稲葉光國 (2007) 無農薬・有機のイネづくり. 農山漁村文化協会, 東京, 189p.
10. 菊池晴志・野沢智裕 (2007) 青森県における水田用除草機の利用方法. 日作東北支部報, 50, 97-98.
11. 小林浩幸・渡邊寛明 (2010) 雑草研究における埋土種子調査の目的と手法. 雑草研究, 55 (3), 194-207.
12. 小森秀雄 (2007) 有機栽培の水管理が水稲の生育と雑草の発生に及ぼす影響. 日作東北支部報, 50, 95-96.
13. 前田忠信 (2002) 低農薬栽培における栽植密度が水稲の生育、収量と穂いもち発生に及ぼす影響. 日作紀, 71(1), 50-56.
14. 三石昭三 (1976) 湛水土壤中直播水稲およびタイヌビエの生育に及ぼす深水の影響. 北陸作物学会報, 11, 16-18.
15. 三浦重典・内野彰・野副卓人・青木大輔・鄭凡喜・吉田隆延・水上智道・藤田耕一 (2012) 水稲

- 有機栽培における移植時の米ぬか散布と機械除草が雑草発生と収量に及ぼす影響. 農作業研究, 47 (別1), 49-50.
16. 宮原佳彦 (2005) 高精度水田用除草機の開発と実用化. 関雑研会報, 16, 11-17.
 17. MOA 自然農法文化事業団 (2011) 有機農業基礎データ作成事業報告書. 静岡, 20p.
 18. 室井康志・小林勝一郎・高井芳樹 (2005) ヒメタヌビエの生育に対する米ぬか粉剤ならびにベレット剤の作用. 雑草研究, 50 (3), 169-175.
 19. 中井譲・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.
 20. 中山幸則 (2010) 米ぬかの水田雑草防除への利用について. 農業および園芸, 85 (2), 252-257.
 21. 西山岩男 (1984) 補植をしない稲作のすすめ. 農業および園芸, 61 (10), 1189-1191.
 22. 農林水産省 (2004) 環境保全型農業 (稲作) 推進農家の経営分析調査報告. 農林水産省統計部, 26p.
 23. 農林水産省 (2014) 平成 24 年度認定事業者に係る格付実績. 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/jiseki_h24_260214r.pdf>, (参照 2014-05-28)
 24. Nozoe, T., A. Uchino, S. Okawa, S. Yoshida, Y. Kanda and Y. Nakayama (2012) Suppressive effect of rice bran incorporation in paddy soil on germination of *Monochoria vaginalis* and its relationship with electric conductivity. *Soil Science and Plant Nutrition*, 58, 200-205.
 25. 齊藤邦行・黒田俊郎・熊野誠一 (2001) 水稲の有機栽培に関する継続試験. 日作紀, 70 (4), 530-540.
 26. 佐々木園子・濱名健雄・大谷裕行・鈴木幸雄・新妻和敏 (2010) 水稲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稲の生育および収量. 日作東北支部報, 53, 5-6.
 27. 鈴木幸雄・島宗知行 (2010) 水稲有機栽培の雑草防除に関する研究 第3報 栽植密度の違いが水稲と雑草の生育に及ぼす影響. 日作東北支部報, 53, 9-10.
 28. 錫田広身・伊藤修・佐々木次郎 (2001) 除草剤連用水田における機械除草切り替え後の雑草発生と水稲生育・収量. 宮城農七報, 68, 1-15.
 29. 内野彰・青木大輔・今泉智通・岩上哲史・安達康弘・野副卓人・三浦重典 (2012) 新鮮有機物の施用によるコナギ抑草効果に及ぼす各種環境条件の影響. 雑草研究, 57 (別), 17.
 30. 渡邊肇・佐々木倫太郎・関口道・鈴木和美・三枝正彦 (2009) 異なる栽培法における欠株が水稲の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 78 (1), 95-99.
 31. 吉田隆延・水上智道・宮原佳彦・牧野英二・臼井善彦・関口孝司・三浦重典 (2010) 乗用型水田除草機と米ぬか散布を組み合わせた水田用複合除草技術の実証試験. 平成 21 年度生研センター研究報告会資料, 23-31.

Weed Suppression and Rice Production by Mechanical Weeding and Rice Bran Application Work in Organic Rice Cultivation System

Shigenori Miura^{*1}, Akira Uchino^{*1}, Takuhito Nozoe^{*1}, Junko Tazawa^{*1}, Takanobu Yoshida^{*2},
Tomomichi Mizukami^{*2}, Bum-hee Jeong^{*3}, Xiao-Chun Wan^{*1}, Akio Nakagawa^{*4},
Keiko Nakatani^{*1}, Tomoko Shibuya^{*1}, Akihiko Shiraishi^{*1}, Toshiyuki Imaizumi^{*1},
Daisuke Aoki^{*5} and Hiroaki Matsuoka^{*1}

Summary

From 2008 to 2013, field experiments were conducted to investigate the effects of organic rice cultivation on weed control and rice production at Tsukubamirai, Ibaraki, Japan. On the 10th and 20th days after transplanting, weeding was carried out with a riding-type weeder used in organic cultivation. From 2008 to 2010, rice bran was applied at each weeding time, but after 2011, it was applied at the time of transplanting and the first weeding. At the 6th week after transplanting, the weed dry weight after weeding was less than 2% compared with the weight when weeding on the interrow space was not conducted. However, for interhill space, the ratio varied between 6% and 35%, irrespective of weeding times. In particular, the weed dry weight at harvesting time greatly decreased after 2011. The average of the vacant hill rate after weeding was 6% throughout the trials. Plant height and leaf color (SPAD) were overall higher with organic than conventional cultivation; however, stem number tended to be lower. At the harvest time, the stem length was longer and the panicle number was significantly lower with organic cultivation. The average rice yield from organic cultivation was approximately 96% of the yield with conventional cultivation. It is concluded that the organic cultivation system used in this experiment is useful, because the weeding was effective and the rice yield was almost same as with conventional cultivation. It is also considered that an increase in panicle number is a more important factor to stabilize organic rice production.

*1 NARO Agricultural Research Center

*2 NARO Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

*3 SynTech Research Japan Co., Ltd

*4 NARO Headquarters

*5 Fukui Prefectural University