
独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 運営交付金プロジェクト研究
「難防除雑草の埋土種子診断と個体群動態－経済性評価統合モデルに基づく
総合的雑草管理(IWM)の検証」成果

総合的雑草管理(IWM)

マニュアル

平成 23 年 4 月

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター

はじめに

環境に配慮した持続的農業の推進に対する関心の高まりとともに、植物保護の研究分野においては総合的病害虫・雑草管理 (Integrated Pest Management, IPM) の重要性が認識され、病害虫防除では種々の農薬代替技術が開発されています。IPM の要素とされる総合的雑草管理 (Integrated Weed Management, IWM) においても、雑草の生態解明に基づいた合理的で効果的な除草剤利用技術に加えて、作付体系や耕耘の有無等の耕種的管理、さらにはカバークロープ利用等の生物的雑草抑制技術などを組合せた総合管理体系の開発・普及が求められています。しかしながら、根絶が困難な難防除雑草を対象とした場合には、一定の条件の下で個々の雑草防除法の効果が得られるものの、それらを組み合わせた総合管理の広域適用性や効果の安定性が保障されない場合があります。

そこで、(独)農業・食品産業技術総合研究機構では、IWM の適用条件を明らかにしてその効果の安定性・持続性の面での改善をはかるために、平成19年度からプロジェクト研究「難防除雑草の埋土種子診断と個体群動態 - 経済性評価統合モデルに基づく総合的雑草管理の検証」を実施しました。雑草埋土種子の解析による雑草の診断と増減予測に基づいて、IWM の適用性と安定性を評価し、生産現場で利用できる持続的な IWM 体系を提示することを目的とするものです。

本プロジェクト研究の終了にあたり、研究で得られた成果の中から現地実証試験により生産現場での普及に移せると判断された IWM 体系および関連技術に絞り、現地で取り組むために必要な手順を「総合的雑草管理マニュアル」として取り纏め公表することとしました。本書で解説している IWM の事例は決して多くはありませんが、生産現場での IWM の取組みの参考になれば幸いです。

平成23年3月

中央農業総合研究センター 雑草バイオタイプ・総合防除研究チーム長
(農研機構プロ「総合的雑草管理 (IWM)」推進責任者) 渡邊寛明

総合的雑草管理（IWM）マニュアル

目 次

はじめに

本書の構成 1

第一部 実用技術としてのIWM体系の事例

（1）夏季石灰窒素・小麦晩播不耕起栽培でネズミムギの被害を軽減する 4

（2）大豆作での麦リピングマルチ栽培により除草剤使用を削減する 10

（3）畦畔管理と収穫後の耕起により水稲乾田直播栽培でのイボクサを防除する 16

第二部 IWMに使える有用情報

（1）大豆不作付け期間の不耕起・短期湛水により雑草の発生を抑制する 24

（2）不作付け期間に湛水やカバークロップを利用して畑雑草の埋土種子を低らす 28

（3）中期深水管理により水稲湛水直播栽培の雑草被害を軽減する 32

（4）大豆作、麦作用のハイブリッド除草機で除草剤使用量を削減する 35

第三部 IWMの成否のかぎ

（1）総合的雑草管理の経済性評価 - 個体群動態を活用した収益の計算 - 42

（2）埋土種子の許容限界 46

（3）雑草種子の増減に關与する種子食昆虫 48

（4）雑草の個体群動態を予測するモデル 53

個体群動態モデルから防除への提言

不耕起播種による麦作雑草カズノコグサの防除 58

水田周辺の管理によりクサネムの増加を防ぐ 61

執筆者一覧 64

本書の構成

本書は、「第一部 実用技術としての IWM 体系の事例」、「第二部 IWM に使える有用情報」、「第三部 IWM の成否のかぎ」の 3 部構成となっています。

第一部では、本プロジェクト研究で取り組まれた IWM の中で現地実証試験において有効性と持続性が確認された 3 つの体系を取り上げました。体系によっては実証試験が実施された地域が限定的であるなど、広域的な適用性については十分解明されていないものもあります。しかし、本プロジェクト研究において現地試験で実証された IWM 技術のノウハウは実証地以外でも十分に活用可能なものであることから、より広い地域での活用に資するために実用技術としてその手順を解説しています。

第二部では、本プロジェクト研究で取り組まれた IWM の中で、現地での持続性評価には至らなかったものの、生産現場で IWM を実践する際に活用できると考えられた技術情報を解説しました。それぞれの技術情報について、適用できる現地の条件を詳細に記載することにより、現地での取組みの参考としています。また、ハイブリッド除草技術のように新しい除草機械が市販されていないものについては、試作機を用いた出前技術として現地での取組みを支援することとしました。

第三部では、IWM 体系の評価手法をできる限り平易なことばで解説するとともに、評価手法に基づく IWM 体系成功のための提言を示しています。本プロジェクト研究の実施により、IWM の成功のためには雑草を増やさない耕地管理、すなわち雑草埋土種子量の適正な管理が重要な要素となることが分ってきました。本項により、総合的雑草管理の理解がさらに広く深まることを期待しています。

第一部 実用技術としての IWM 体系の事例

(1) 夏季石灰窒素・小麦晩播不耕起栽培でネズミムギの被害を軽減する

水稲作との輪換ができない大豆－小麦連作体系圃場でのネズミムギ対策技術です。小麦収穫後に石灰窒素を施用してネズミムギ種子の死滅と発芽を促進させます。さらに、小麦晩播によって播種前に出芽するネズミムギを増加させ、非選択性除草剤の処理効果を高め、ネズミムギの発生密度と雑草害を減らしてゆく技術です。

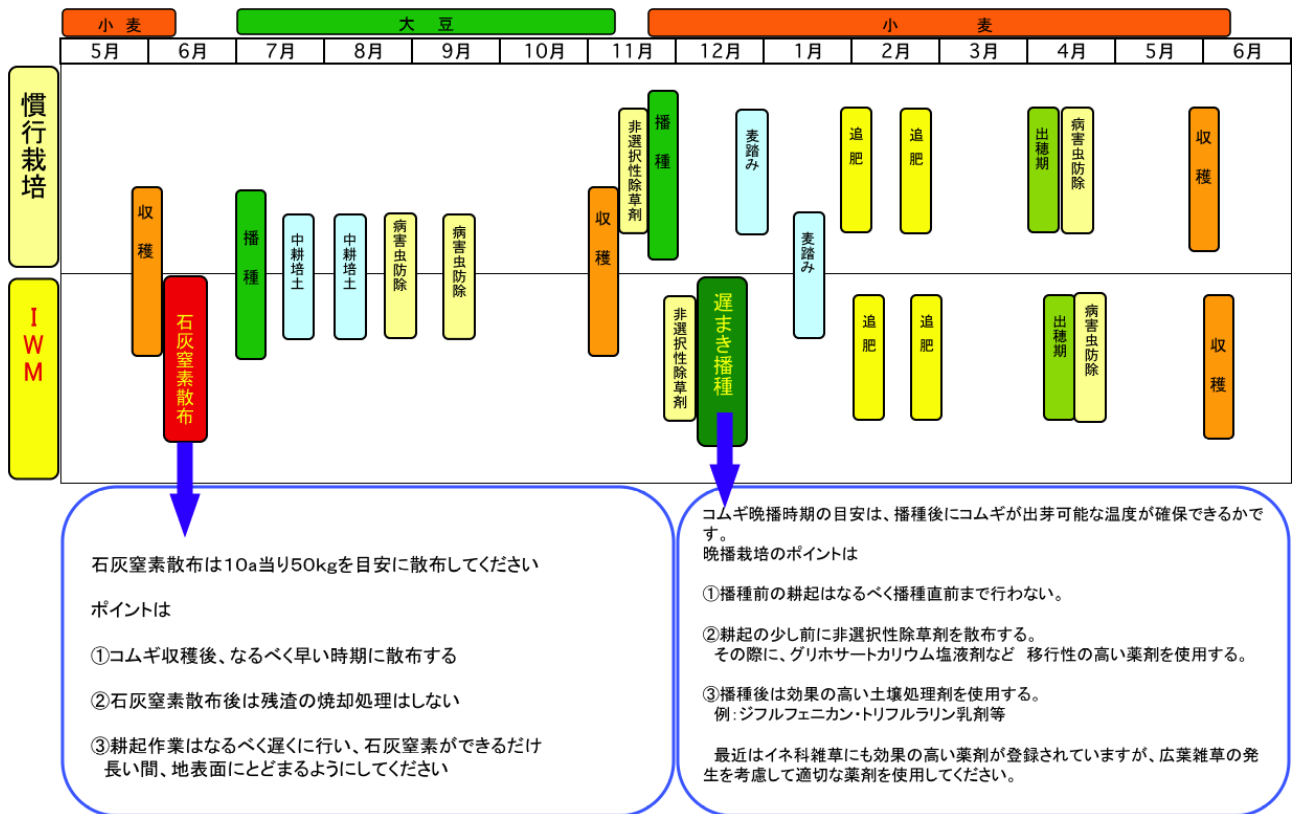


図1 一般的な麦大豆栽培管理と IWM 技術の実施時期（静岡県での実施例）

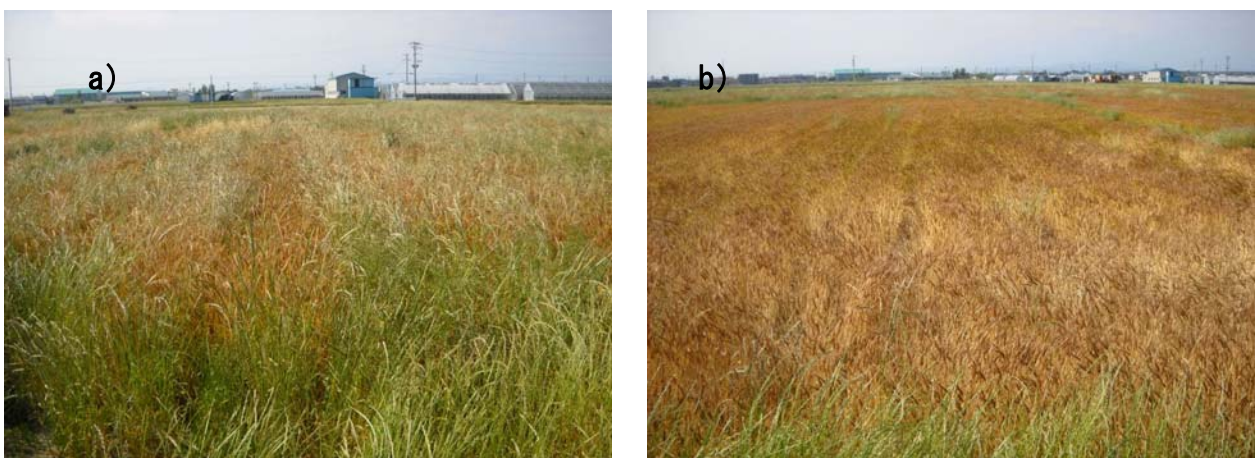


図2 慣行栽培 (a) と総合防除体系 (b) でのコムギ収穫期のネズミムギ発生量

ネズミムギとは

ネズミムギ（イタリアンライグラス）はイネ科の冬生一年生雑草です。生育期間が麦類と同じで、効果的な除草剤が少ないため難防除雑草となっています。本州以南の麦作で年々問題が広がっており、多発すると80%以上の減収をもたらします。連続2ヶ月の湛水で種子が死滅するため、米麦二毛作では問題になりませんが、固定転作での防除対策が求められています。

このネズミムギが問題となっている静岡県中遠地域で実証しました。

1. 夏季石灰窒素施用

石灰窒素には雑草種子の死滅効果と出芽促進効果があることが知られています。そこで、石灰窒素を施用すれば、ネズミムギ種子の死滅とネズミムギの出芽促進によって、小麦播種後のネズミムギの発生を減らすことが期待できます。

雑草種子の死滅効果という点では種子が地表面にある種子散布後、小麦収穫後の施用が相応しく、効果的な施用時期は夏季（小麦収穫後、大豆播種前）です。冬季施用（大豆収穫後、小麦播種前）の効果は認められず、夏季施用と夏冬の両方に施用した場合にネズミムギの発生が減少します（図3）。

施用量については、50kg/10a 施用でのネズミムギ出芽数は25kg 施用の約半分でした（図4）。50kg/10a 施用区ではネズミムギの埋土種子数も減少します。

なお、石灰窒素の50kg /10a 夏季施用は大豆播種前に窒素成分で10kgを投入する換算になります。静岡県中遠地域では慣行的に大豆は無施肥で栽培し、試験を行った圃場でも基肥、追肥は行っていません。3ヶ年の調査で、大豆播種前の石灰窒素施用は大豆収量、品質には悪影響は認められず、後作である小麦にも影響はみられません。

石灰窒素施用について留意点を2つ述べます。施用後にすぐ耕起して石灰窒素を土中に混和すると、土中の石灰窒素の濃度が低下してネズミムギ種子への効果が劣るようです。施用した石灰窒素が地表面のネズミムギに高濃度の接触するように、小麦収穫後なるべく早い時期に施用し、耕起は遅らせることが効果の向上につながると考えられます。

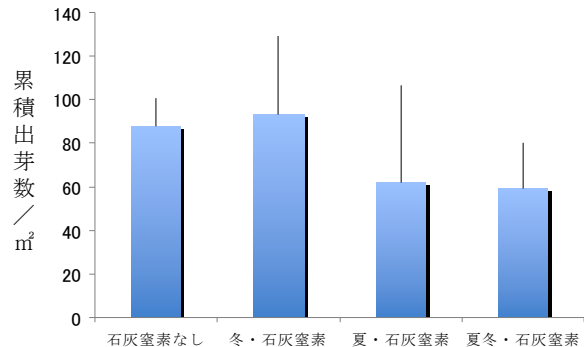


図3 石灰窒素の施用時期と小麦播種後のネズミムギ出芽数(2006年試験)
垂直線は標準誤差

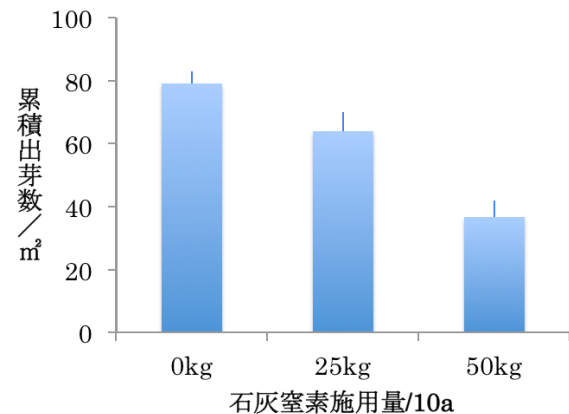


図4 石灰窒素の施用量と小麦播種後のネズミムギ出芽数(2008年試験)
垂直線は標準誤差

静岡県の実地圃場では慣行として小麦収穫後に残渣が焼却されています。石灰窒素施用後に残渣を焼却すると、ネズミムギ種子死滅効果が確認できませんでした。焼却熱が石灰窒素からのシアン化ガスに影響を及ぼすと考えられます。

2. 種子食昆虫・・・雑草種子を昆虫が食べてくれる?!

総合的防除体系を考える場合に、耕種的防除及び化学的防除に加えて生物的防除が挙げられます。その一つとして、昆虫などによる種子食があり（本マニュアル P48-52 を参照）、海外では種子食昆虫により地表面の雑草種子の3～7割が減少している事例が報告されています。静岡県中遠地域では現地で確認された種子食昆虫はエンマコオロギ、ゴミムシ等で、その他にも鳥やネズミが捕食している可能性もありましたが、雑草種子の減少率は14～27%（Ichihara et al. 2011）でした。現地圃場は大規模に圃場整備された水田団地の中央で、種子食昆虫の密度が低い環境での数値です。畦の面積率が高く、種子食昆虫の密度が高い条件ではある程度の効果が期待できるかもしれません。その場合は後述する不耕起管理を組み合わせることも必要でしょう。

3. 耕起か不耕起か・・・耕起条件

総合的防除体系、特に耕種的防除では耕起の時期や方法も重要になります。耕起すると土中の雑草種子の分布が変わります。試験を実施した静岡県中遠地域は稠密な重粘土質であり、土壌表面硬度も高いため、雑草種子の出芽可能深度は膨軟な黒ボク土壌等と比較して浅いと考えられます。ネズミムギの出芽深度は0～20mmであり（稲垣ら 2009）、土中の種子寿命は短く、1年で9割以上減少することがわかっています（市原ら 2010）。そのため、硬い土中に埋没したネズミムギ種子の多くが翌春までに出芽するか土中で死滅します。

実際に、大豆-小麦連作体系では耕起・不耕起の組合せによりネズミムギの出芽数が大きく変化します。大豆を不耕起栽培とすると、ネズミムギの当年産種子が地表に残るので、小麦播種前までの出芽総数は増加し、播種後も相当数が出芽します。小麦播種後のネズミムギの出芽数は、大豆耕起と小麦不耕起を組み合わせた場合に最も少なくなります（図5）。夏季の耕起でネズミムギ種子を土中に埋没させて出芽可能深度内の種子密度を減少させ、そのまま不耕起

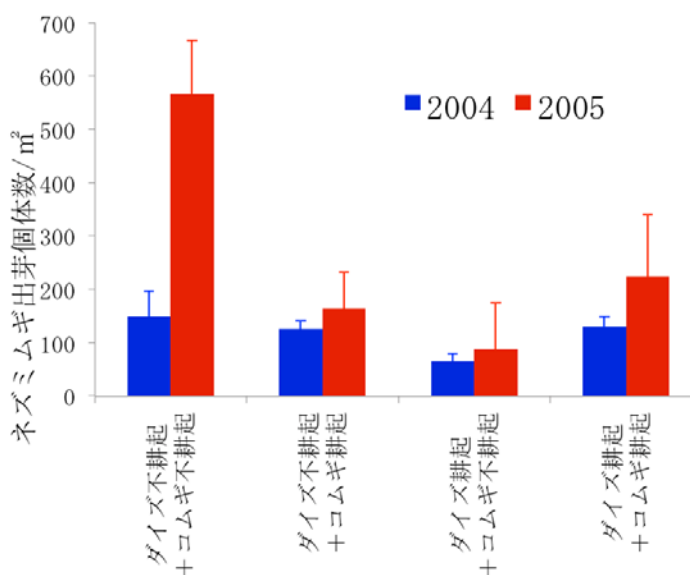


図5 耕起体系とコムギ作期のネズミムギ出芽数
垂直線は標準誤差. いずれも小麦播種後に土壌処理除草剤を施用

で土壌を硬化する体系が出芽の抑止効果が高いと考えられます。

このようなことから、静岡県中遠地域では大豆耕起—小麦不耕起体系を採用しています。一方で、夏の不耕起ではその間に種子食昆虫による種子の消耗が期待できます。現地の実状に応じて、土壌条件も加味し、効果の高い組合せを選択する必要があります。

4. 小麦晩播栽培

小麦播種を遅らせると、播種前に出芽したネズミムギを非選択性除草剤で防除することができます。遅い時期に出芽したネズミムギは生育期間が短いため、種子生産量が減少します。極端な場合には出穂に至りません。ネズミムギ抑制の面では、晩播は遅いほどよいのですが、小麦収量も減少します。晩限の目安は「播種後に小麦が出芽可能な気温」となります。実際には年次により降雨が少なかったり、低温が続く条件には出芽できない場合もあります。この限界は地域によって異なりますので、当該地域の条件に合わせて応用する必要があります。

11月播種と12月播種では小麦収量はあまり変わらず、1月播種では半分以下です(図6)。11月播種はネズミムギの雑草害で減収し、1月播種は小麦の生育不足による減収です。したがって、静岡県中遠地域では12月播種が播種の晩限といえます。

晩播による減収を補償するためには播種量を増加します。12月播種は播種量を1.5倍以上で収量を補うことができましたが、1月播種では播種量を増やしても収量を補えません。このことから小麦晩播栽培では、播種量を標準より5割程度増加させることがより収量の確保に繋がると考えられます。

播種を遅らせるほどネズミムギの出芽数が大きく減少しますが、小麦収穫時のネズミムギ穂数の差は小さくなります(図6)。この原因は遅まきでのコムギ生育不足によるネズミムギ抑制効果の低下と、ネズミムギの埋土種子数です。多発圃場では小麦播種時のネズミムギ埋土種子量は m^2 当り10,000~15,000粒もありました。小麦晩播栽培で非選択性除草剤によって駆逐するネズミムギ数が慣行播種の10倍であったとしても、まだ1,000粒以上のネズミムギ種子が土壌中に存在しており、その1割が出芽、生存するだけで小麦収量の減収をもたらすのです。

これらのことから、小麦晩播栽培でネズミムギの抑制が可能な圃場はネズミムギの発生レベルが達観調査で中以下のレベルと考えられます。ネズミムギの被害調査についてはBOXを参照してください。

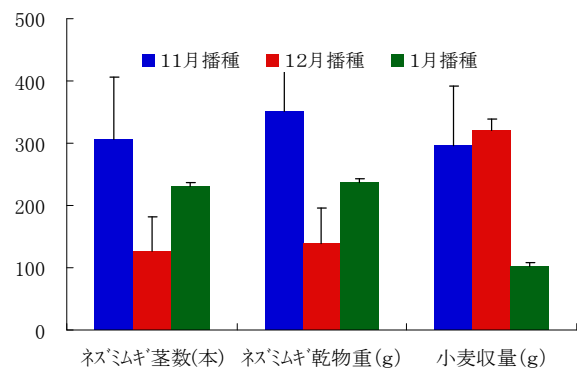


図6 ネズミムギ発生量と小麦収量 (m^2 当り)

(2008年のデータ、垂直線は標準誤差)

5. 総合的防除…技術の組み合わせで防除効果を倍增

夏季石灰窒素施用、小麦晩播栽培、大豆耕起－小麦不耕起栽培を個別に検証してきました。それらを組み合わせた効果を、ネズミムギの被害程度が達観調査で「多」の圃場で実証しました（図

2）。総合防除区は前作小麦収穫後に石灰窒素を50kg/10a施用しました。慣行栽培は、大豆耕起－小麦耕起の11月播種です。総合防除区は大豆耕起－小麦不耕起の12月播種で行いました。いずれも小麦播種前（慣行栽培は耕起前）にグリホサートカリウム塩液剤、小麦播種直後にジフルフェニカン・トリフルラリン乳剤を散布しました。

総合防除区では小麦収穫時のネズミムギ発生量が慣行の約1/4に減少し、遅まきにもかかわらず小麦収量は慣行区以上です（図7）。また、小麦収穫後のネズミムギ埋土種子量は総合防除区では慣行区の約1/3で、前年の同時期より減少しています。この条件では総合防除の継続により、ネズミムギ種子密度の増加を抑えることができると考えられます。

個体群動態モデル

（本マニュアル P53-57 参照）を用いた試算では、この総合防除体系を継続するとネズミムギの種子数、コムギの収量ともに一定レベルが維持されます。それに対して、慣行体系では1、2年でネズミムギ密度が飽和し、コムギ収量も低レベルが続いてしまうと試算されます（図8 ab）。

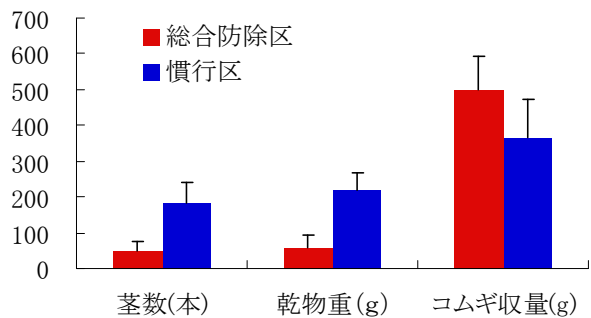


図7 m²当りネズミムギ茎数、乾物重及び小麦収量(2010)

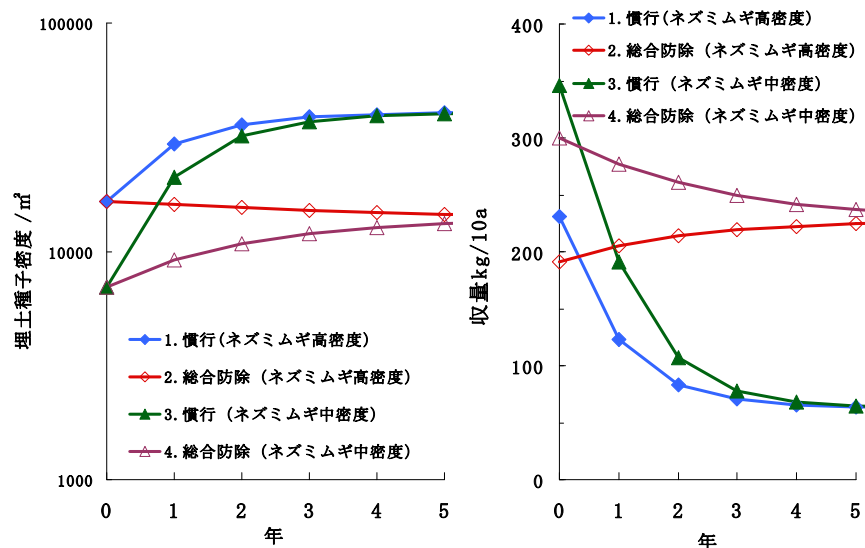


図8 個体群動態モデルから試算した慣行および総合防除体系でのネズミムギ種子密度(a)と小麦収量(b)の経年試算値

6. まとめ

夏季石灰窒素・小麦晩播不耕起栽培にかかるコストは10アール当り1万円強です（表1）。石灰窒素の購入費用及び播種量増加に伴う種苗費の上昇によるものです。慣行栽培で収穫放棄に及ぶような小麦収量の減収を考えると、予防的

な措置としてのコストはそれほど高いものではないと思われます。

注意していただきたいのは雑草が蔓延する原因の一つにトラクター等の圃場間の移動が挙げられます。増えすぎた雑草の埋土種子はロータリー等に付着した土とともに他の圃場に侵入してしまいます。雑草の発生が気になりはじめたら、すみやかな対策の導入が望ましいです。

表1 総合防除にかかる費用（コスト増となる項目を抜粋）

| | | | 慣行 | IWM | 上昇コスト | (単位: kg, 円, %) |
|-----|-----|-------|--------|--------|--------|-------------------------------------|
| 項 | 目 | | 10a当たり | 10a当たり | 10a当たり | 摘要 |
| 経営費 | 変動費 | 経直種 | 3,280 | 4,920 | 1,640 | 晩播のため播種量1.5倍 |
| | | 接肥 | 9,840 | 16,745 | 6,905 | 石灰窒素 $0.762 \times 2.5 = 6.095$ を追加 |
| | | 小計 | 13,120 | 21,665 | 8,545 | |
| | 固定費 | 減価償却費 | 9,045 | 11,644 | 2,599 | 不耕起播種機の減価償却 2,599円 |
| 合計 | | | 22,165 | 33,309 | 11,144 | |

注1) 算出基礎となる経営体の経営面積は小麦12ha+大豆12ha+水稻18ha

注2) 作業体系の変更に伴う労働時間の短縮は増減に入れない

耕起法や播種時期といった耕種的防除は、気象要因による効果の変動を伴うため、効果の不十分な年もあります。本マニュアルを参考に総合的雑草防除に取り組まれる際にも単年度の結果にとらわれることなく、長い目で雑草防除対策に取り組まれることを期待します。

BOX

「ネズミムギの被害調査について」

現場圃場でなるべく簡便にネズミムギの雑草害を評価するには達観調査が有効です。要するにネズミムギの発生状況を「目で見て」判断するのです。小麦収穫前のネズミムギ発生程度を無～甚の6段階(下表参照)で評価します。雑草の発生が圃場内で均一でない場合には、一つの圃場を20から30の小区画に分割して、

$$\frac{\text{ネズミムギが優占している小区画数}}{\text{全体の小区画数}} \times 100 = \text{相対植被率(\%)}$$

相対植被率を求めてから下表に当てはめて判断するとよいでしょう。ネズミムギの場合、達観ランクと減収率の関係もわかっています。

ネズミムギ発生量に関する達観調査の査定基準とネズミムギ個体数、乾物重、相対植被率およびコムギ減収率の関係

| 評価ランク | 査定基準(ネズミムギの発生状況) | ネズミムギ | | | コムギ |
|-------|----------------------|------------|------------------|---------------------|-------------------|
| | | 相対植被率 % | 個体数 /㎡ | 乾物重 g/㎡ | 減収率 % |
| 無 | なし | | | | 0 |
| 微 | ネズミムギが部分的に散見 | 4 (0-8) | 0.8 | 8.8 (0-17.6) | |
| 少 | ネズミムギが全体に散見 | 30 (20-41) | 8.5 (2.2-18.7) | 130.0 (86.0-180.7) | 8.2 (0-24.7) |
| 中 | ネズミムギが全体に目立つがコムギは見える | 51 (37-65) | 15.9 (7.0-25.3) | 185.3 (86.2-273.0) | 14.9 (-10.0-37.8) |
| 多 | ネズミムギによりコムギが部分的に見えない | 65 (58-71) | 35.7 (20.0-48.0) | 356.5 (228.2-452.6) | 40.9 (23.7-54.6) |
| 甚 | ネズミムギによりコムギが見えない | 82 (67-96) | 50.8 (35.7-79.3) | 558.9 (428.7-732.6) | 68.5 (55.7-75.1) |

ネズミムギの相対植被率は2007年のデジタル画像より算出した。()内の数値は95%信頼区間。
 ネズミムギ個体数、乾物重、コムギ減収率は2004年～2007年の平均値。()内の数値は年次平均のレンジ。
 コドラート調査では「無」と「微」を区別できなかったため、「無・微」とした。

鈴木ら(2010)より引用

(2) 大豆作での麦リビングマルチ栽培により除草剤使用を削減する

秋播き性の高い麦類品種を大豆と同時に播くことで生きたマルチ(リビングマルチ)として活用し、雑草を防除する技術です。麦類は低温に遭遇しないので、夏には出穂せずに枯死して自然に倒れ、茎葉が地表面を被覆します(図1)。



図1 リビングマルチ大豆栽培の概要

(a)麦類を大豆と同時に播くと、(b)大豆の畝間を被って雑草の生育を抑制するが、(c)夏には枯死する。

1. 抑草効果

麦類の被覆により雑草の地上部乾物重を80%程度抑制

麦類リビングマルチでは、被蔭によって出芽した雑草の生育を抑制して枯死させます。また雑草が徒長するため、麦類が枯死してその茎葉が倒れる際になぎ倒します。ただし播種後しばらくは被蔭が存在しないため、その間の雑草の出芽抑制効果は限定的です。麦類が十分に生育すれば雑草の最大繁茂期の乾物重を80%程度抑草する効果が期待できます。

抑草効果には草種間差があります。シロザ、ヒユ類など種子が小さな広葉雑草に対しては効果が高く、タデ類やノビエ類など種子が大きな雑草には劣る傾向があります(図2)。また、低温発芽性で、大豆の播種後すぐに多数が出芽する草種には効果が劣り、出芽が遅れる草種には効果が大きい傾向があります。スギナ、ギシギシ類などの多年生雑草には、リビングマルチの抑草効果は期待できません。

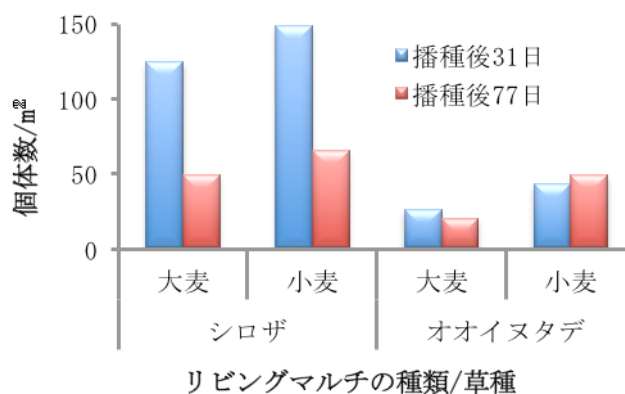


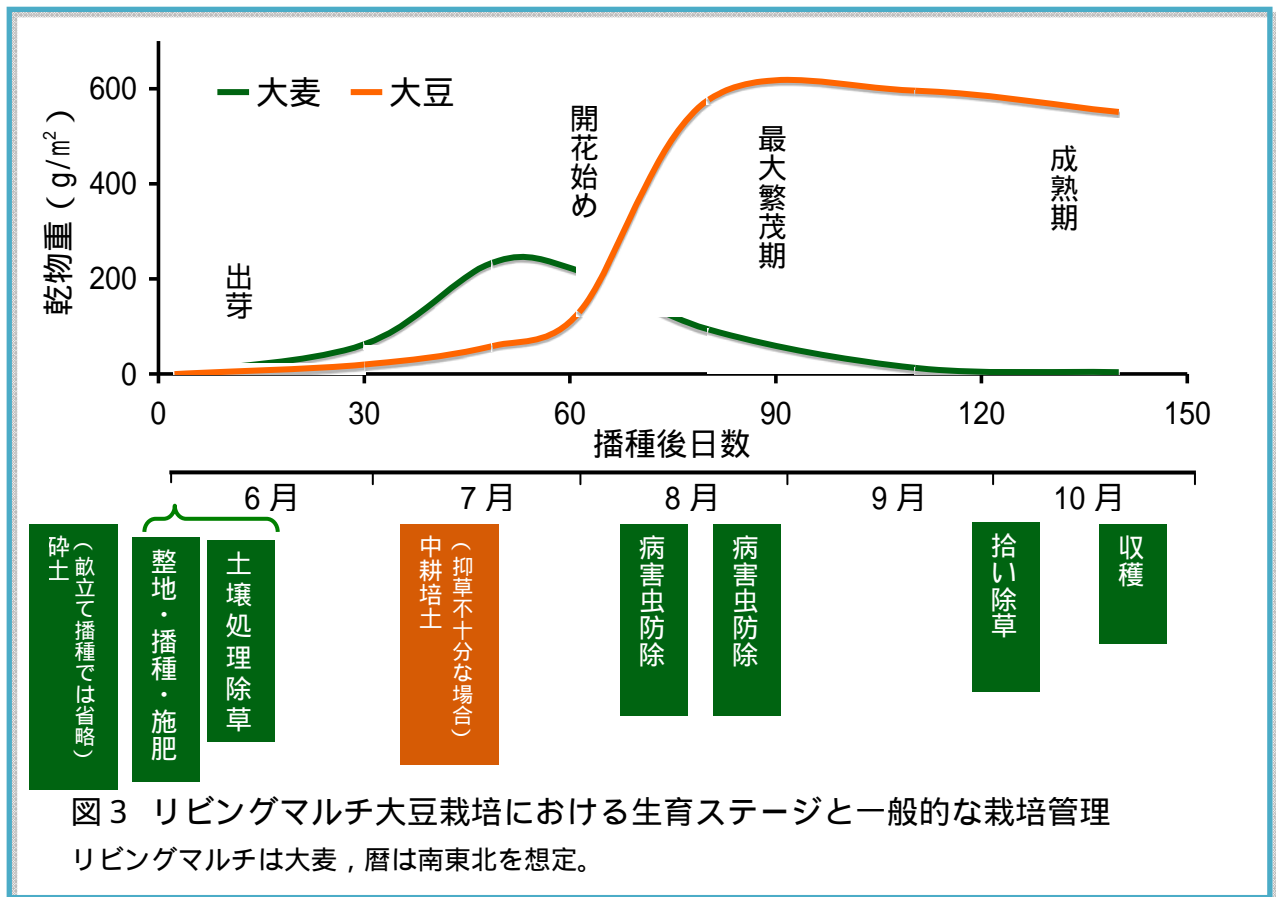
図2 リビングマルチ栽培期間中における雑草個体数の変化

2. 栽培方法の概要

麦の播種量は8~10kg/10a、ほかは慣行に準じて

1) 播種と施肥

圃場を耕起・整地して、大豆と麦類を同時に播種します(図3)。大豆は、倒伏しづらい品種が適しています。播種量は、大豆は通常と同じで2~3kg/10a、麦は8~10kg/10a程度とします。麦類、大豆ともに条播とする方式のほか、大豆を条播、麦類を散播とする方式、大豆、麦類ともに散播して土壌に浅く混和する方式などがあります。



大豆、麦類ともに条播の場合、大豆の条間は70～75cm程度で、麦類は大豆の条間に2条ずつ条播します(図1a)。大豆は13～15個体/m²、麦類は200個体/m²程度が出芽密度の目安です。播種にはハローシーダーを用い、大豆用肥料の施肥も同時に行います(2～3kgN/10a)。大豆を狭畦栽培する場合には、麦類は大豆の条間に1条だけ播種します。また、転作田には、畝立て播種機を用いて湿害に備えます。ハローシーダー、畝立て播種機ともに市販のものを利用できます(「麦類のリビングマルチに用いる大豆栽培技術マニュアル」(東北農研・中央農研 2010)を参照)。

2) 除草剤の散布と中間管理

雑草発生が少ないことが分かっている畑以外では、播種時に土壤処理除草剤を散布します。土壤処理除草剤は雑草の出芽を減らし、遅らせる効果があるので、リビングマルチとの組み合わせで抑草効果が高まります。生育期の茎葉処理除草剤は用いづらいため、残草の防除は中耕培土か手取りで行います。中耕培土を行った後には、リビングマルチの抑草効果は失われます。麦類の枯死後の防除作業は通常の大豆栽培と同様に行うことができます。

3. 大豆の生育と収量・品質

黒ボク土では減収傾向、沖積土では慣行並

黒ボク土の圃場では減収する場合がありますが(図4)、沖積土では慣行栽培と差が認められません。また、湿害対策により増収する傾向があります。減収の要因は、麦類との競

合により分枝数が制限され、莢数が減ることにあります。しかし、沖積土では子実重が大きくなる傾向があり、それが慣行並の収量が得られる要因になります。植物体は、麦類との競合により下位節間長が長く、茎径が小さくなる傾向があり、倒伏が助長される場合があります。中耕培土の省略も倒伏を助長します。莢のつく位置は慣行栽培よりも高くなるので、コンバインによる収穫ロスの減少が期待されます。虫害粒は若干増加する場合があります。大豆の子実成分は、慣行栽培との違いは認められません。

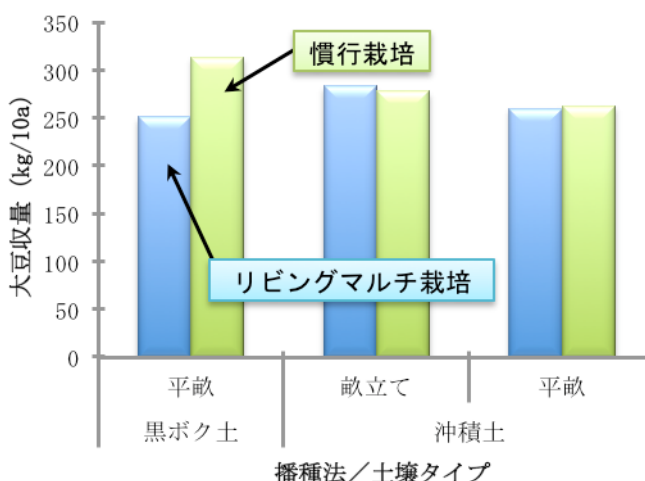


図4 土壌タイプと播種法が大豆の収量におよぼす影響

2007～2009年に実施した現地実証試験の平均値。

4. 麦類の品種と生育目標

地上部乾物重 150g/m²が目安

1) 麦類の品種

リビングマルチには大麦、小麦のいずれも用いることができますが、抑草効果には品種間差があります。抑草効果の高い品種は大麦に多く(表1)、マルチ用の品種として市販されている六条大麦のてまいらずは地表面を被蔭する能力が高く、高い抑草効果を期待できます。六条大麦のべんけいむぎやシンジュボシも、てまいらずに近い生育を示します。

小麦は大麦よりも生育初期の被蔭が劣る傾向がありますが、大豆の生育期間を通じてみると、大麦よりも抑草効果が高い場合もあります。小麦の方が耐暑性が強いので枯れる時期が遅れ、被蔭が長い期間持続するためと考えられます。長い生育期間は抑草の上では有利ですが、収穫期まで残った場合には汚損粒の原因ともなります。そのため、小麦品種を用いる場合には収穫期までに確実に枯死することを確認する必要があります。

表1 リビングマルチ大豆栽培に適する品種例とその特性

| 種 | 品種 | 特性 | 播性 |
|----|--------|---|----|
| 大麦 | てまいらず | 葉が幅広くねじれ、匍匐するなどマルチに適した形態。 生育が旺盛で、効率的に地面を被覆。 マルチ用の大麦品種として市販。 | - |
| | シンジュボシ | てまいらずに近い生育。 | |
| | べんけいむぎ | てまいらずに近い生育。 やや直立するが、地面の被覆には問題ない。 | |
| 小麦 | ゆきちから | 小麦としては初期生育が旺盛だが、収穫時に残存しやすい。 | |
| | ナンブコムギ | ゆきちからより生育は緩やかだが、収穫時に残存しにくい。 | |

2) 麦類の生育目標

リビングマルチとして用いる麦類は、南東北で適期に播種した場合、播種後50日頃に最

大繁茂期になります。この時点で、麦類の生育は地上部乾物重で $150\text{g}/\text{m}^2$ 以上、葉面積指数 (LAI) で約 3 以上を目標とします。地上部乾物重は大豆の約 3 倍、LAI は約 5 倍にあたります。播種後 30 日頃の地上部乾物重が $50\text{g}/\text{m}^2$ 以上が、最大繁茂期における目標生育量確保の目安となります。麦類の生育がそれより劣る場合には雑草抑制効果は期待できないので、早期に中耕培土などによる防除を検討します。

麦類には施肥をせず、大豆への施肥も $2\sim 3\text{kgN}/10\text{a}$ 程度と少ないため、地力が低い圃場ではこの程度の生育を確保することは困難です。地力の低い圃場で目標まで生育させるには、麦類への施肥も検討する必要がありますが、その技術は未確立です。

5. 技術の適用条件

播種後 2 ヶ月間の平均気温 22 未満、地力の高い圃場が望ましい

1) 気象条件

リビングマルチに用いる麦類の生育は、気象条件、特に気温に大きく左右されます。また、同じ圃場でも播種時期が遅いと生育が悪くなります(図 5)。これは播種時期が遅くなるほど生育期間の気温が上がり、暑さに弱い麦類の生育が抑制されるためです。

大麦と小麦を比較すると、大麦の方が早く枯死します(図 5)。大麦は、小麦よりも耐暑性が弱いので気温が生育の制限要因になりやすい傾向があります。小麦では、土壌条件など気温以外が制限要因になりやすい傾向がありますが、これは大麦よりも耐暑性が強いからです。

気温が低い条件では大麦、高い条件では小麦の生育が相対的に良好な傾向があり、

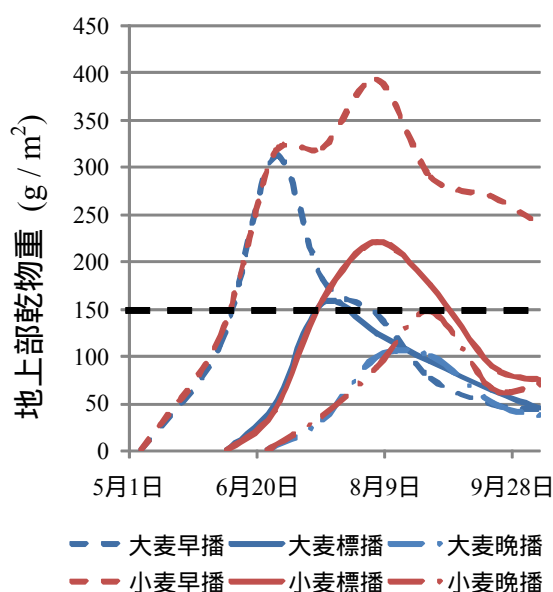


図 5 リビングマルチとして用いた麦類の地上部乾物重の推移

東北農業研究センター福島研究拠点(福島県福島市)において、2007年5月1日(早播)、6月3日(標播)、6月19日(晩播)に播種。破線は除草のための麦類生育の目安($150\text{g}/\text{m}^2$)。

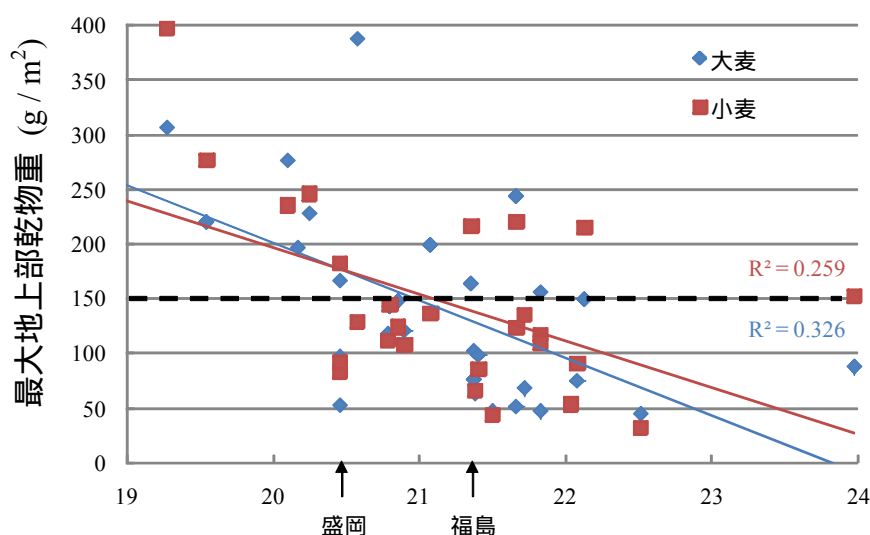


図 6 大麦と小麦の乾物重と気温の関係

2006~2009年に東北の6地点で行われた実証試験と東北農研(岩手県盛岡市)同福島研究拠点における圃場試験の結果。破線は麦類の生育目安($150\text{g}/\text{m}^2$)。R²は決定係数。青線、赤線はそれぞれ大麦、小麦についての回帰直線。矢印は盛岡市と福島市の播種後60日間の平均気温の平年値。

播種後60日間の平均気温()

播種後2ヶ月間の平均気温で20～21程度がその境界となります(図6)。播種後2ヶ月間の平均気温が22より高い条件ではリビングマルチ大豆栽培は困難です。

2) 土壌条件

リビングマルチ大豆栽培に用いる麦類の生育は大麦、小麦ともに土壌条件で変動します。東北各地で行った現地試験では、全窒素、全炭素など地力に関する項目の数値が高い圃場で麦類の生育が良好な傾向がありました。窒素の可給化パターンは土壌の種類によって異なるので一概には言えませんが、黒ボク土圃場では全窒素が0.3%を越えていれば、麦類は良好に生育するようです。また、粘土の割合が多く砂土の割合が少ない圃場では湿害が起こりやすいため生育不良の傾向があります。このような圃場では湿害を回避する対策が必要です。

3) 埋土種子の許容水準

リビングマルチ栽培では、播種前に圃場に含まれる雑草の埋土種子量が発生雑草量に強く影響します。これは、除草剤や中耕培土による防除が行われる慣行栽培に比べて、リビングマルチ栽培の抑草効果がおだやかなためです。このため、大豆の収量も埋土種子量に影響されやすい傾向があります。東北でリビングマルチ栽培を行うと、シロザ、ヒユ類などの広葉雑草の埋土種子量が多いほど大豆収量が減少する関係が見られます(図7)。一方、イネ科雑草は大豆栽培では比較的防除が容易なためか、埋土種子量と大豆収量の間で明確な傾向は認められていません。

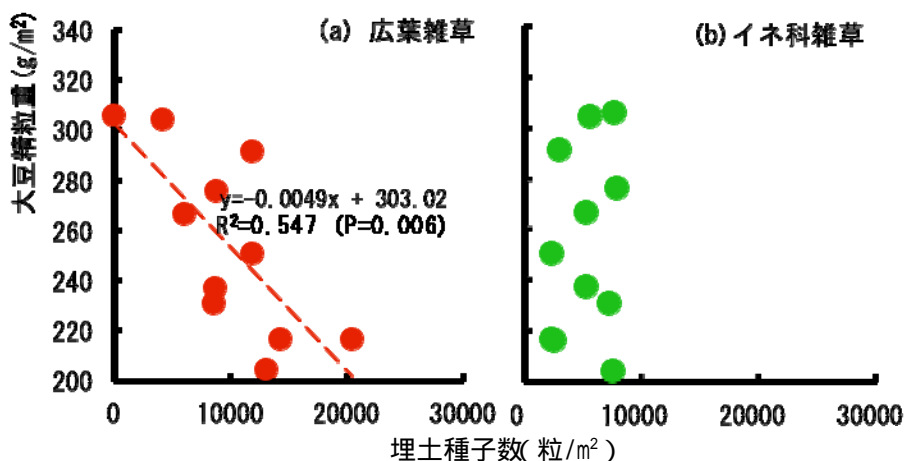


図7 リビングマルチ栽培における大豆播種時の埋土種子数(作土層、0-15cm)と大豆収量の関係

東北の複数の圃場で得た2007～2009年のデータ。圃場間、年次間で収量の平均値が等しくなるように補正。広葉雑草はタデ類、ヒユ類、シロザ、ツユクサ、イネ科雑草はノビエ類、メヒシバ、ヌカキビ。

広葉雑草と埋土種子量の関係(図7)から、所定の大豆の減収率に対して許容される作付け時、作土層中の埋土種子数を求めると、減収率5%で3000粒/m²、減収率10%で6000粒程度と試算されます。

6. 慣行体系との生産コスト比較

くず麦の利用と播種機の流用でコスト削減

大豆栽培にリビングマルチを導入すると、生産費は10aあたり約4,000円増加すると試算されます。ただし、くず麦を使うなど種子代を抑えれば慣行栽培と同程度になります(表2、図8)。また、追加する麦類の播種ユニットは、所有していれば流用できますし、年間使用面積を大きくすることでも費用を抑えられます(図8)。このように、リビングマルチ大豆栽培は、工夫次第で慣行の畝立て大豆栽培と同程度の費用で行うことができます。

表2 畝立てリビングマルチ大豆栽培の生産費の試算¹⁾

| 項目 | 10a当たり生産費 (慣行差) | | | 増減の要因(↑:増加、↓:減少) |
|---------------------|------------------|--------------------------|----------------------|---|
| | 慣行 ²⁾ | 畝立てリビングマルチ ³⁾ | | |
| | | 年間使用面積 | | |
| | | 234 a ⁴⁾ | 330 a | |
| 自動車及び農機具費 | ¥6,971 | ¥9,169 (+ ¥2,198) | ¥8,529 (+ ¥1,558) | (↑)播種ユニット追加分(36万円)×年間固定比率(14.3%)÷年間使用面積 |
| 農業薬剤費 | ¥3,992 | ¥2,931 (- ¥1,061) | ¥2,931 (- ¥1,061) | (↓)茎葉処理除草剤2剤 |
| 光熱動力費 ⁵⁾ | ¥1,908 | ¥1,889 (- ¥19) | ¥1,889 (- ¥19) | (↑)播種ユニット追加による播種時の燃料(0.52L) ⁶⁾ (↓)中耕培土(-0.74L)および茎葉処理除草剤散布2回 (-0.04L) |
| 労働費 ⁷⁾ | ¥12,385 | ¥11,907 (- ¥478) | ¥11,907 (- ¥478) | (↓)中耕培土(-0.21時間)および茎葉処理除草剤散布2回(-0.16時間) |
| 種苗費 ⁸⁾ | ¥2,338 | ¥2,338 | ¥2,338 | |
| その他 ⁹⁾ | ¥39,777 | ¥39,777 | ¥39,777 | |
| 費用合計 (慣行差) | ¥67,371 | ¥68,011 (¥640) | ¥67,371 (¥0) | |

- 1) 「第56次宮城農林水産年報農業経営統計調査大豆生産費統計(平成20年産)」を基本に試算した。
 2) 慣行栽培は堆肥散布、耕耘、畝立て耕耘同時施肥播種、土壌処理除草剤散布、中耕培土、茎葉処理除草剤散布2回、殺虫剤散布、殺菌剤散布および収穫作業を1回ずつ行うと仮定。
 3) 畝立てリビングマルチ栽培は堆肥散布、耕耘、畝立て耕耘同時麦類・大豆施肥播種、土壌処理除草剤散布、殺虫剤散布、殺菌剤散布および収穫作業を1回ずつ行うと仮定。
 4) 東北平均の1戸あたり大豆作付面積。
 5) 生産費の増減に係る燃料は全て軽油で、1Lあたり¥76で算出。
 6) 畝立てリビングマルチの播種作業の燃料消費は、播種ユニットの追加により慣行の燃料消費(2.62L)に比べて2割増加すると仮定。
 7) 労働費は東北平均の全労働時間(9.58時間)および労働費(¥12,385)より時給¥1,293として算出。
 8) リビングマルチに用いる麦はくず麦(¥0)を使用すると仮定。
 9) その他には肥料費、その他の材料費、土地改良及び水利費、賃借料及び料金、物件税及び公課諸負担、建物費、生産管理費、副産物価額、支払利子、支払地代、自己資本利子、自作地地代が含まれる。

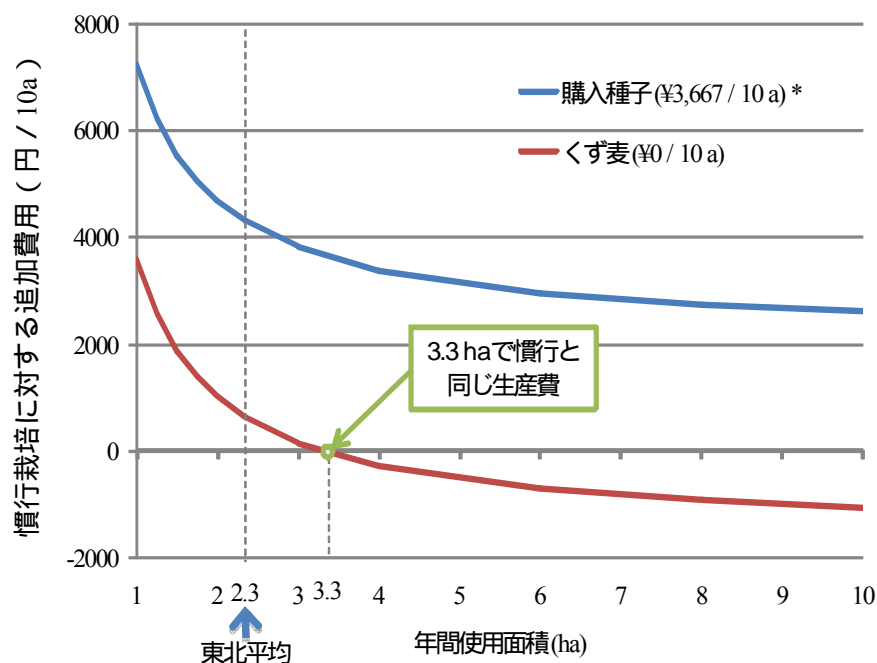


図8 播種機の年間使用面積、麦類の種子購入費用の増減による畝立てリビングマルチ大豆栽培の生産費の変動

*東北農研における購入実績

(3) 畦畔管理と収穫後の耕起により水稲乾田直播栽培でのイボクサを防除する

水田内、畦畔それぞれでイボクサに有効な防除対策を組み合わせます。乾田直播栽培で、イネ出芽前に非選択性茎葉処理剤を散布し、入水前と畦畔でそれぞれビスピリバックナトリウム塩液剤を散布します。水稲収穫後すみやかに圃場を耕起し、イボクサの種子生産を防止します。

1. 技術の内容

1) イボクサに有効な水田内管理と畦畔管理および稲収穫後の耕起による総合防除

水稲乾田直播栽培における慣行の除草体系はイネ出芽前までのグリホサート剤散布、入水前のシハ口ホップブチル・ベンタゾン液剤散布および入水後の初中期一発剤散布による除草剤3回体系です。慣行の除草体系では刈り払い等が行われている水田畦畔を発生源として侵入するイボクサが問題になることがあります。さらに、8月下旬頃に水稲の収穫が行われる早期栽培地帯では、稲収穫後にイボクサが再生し、種子が生産され、翌年以降の発生源となります。

イボクサの総合防除は次のような技術を組み合わせた体系です(図1)。

水田内の管理：入水前処理の除草剤としてビスピリバックナトリウム塩 2%液剤（商品名：ノミニー液剤）を使用します。

畦畔管理：ビスピリバックナトリウム塩 3%液剤（商品名：グラスショート液剤）等の除草剤を使用します。抑草剤であるビスピリバックナトリウム塩 3%液剤を使用する場合は、5月上旬に一度刈り払い後、雑草再生期の5月中旬頃（入水前）に処理します。その他、畦畔管理に有効な除草剤は表2参照

水稲収穫後の管理：水稲収穫後、すみやかに圃場を耕起することで、イボクサの再生・種子生産を防ぎ、翌年以降の発生量を減らします。

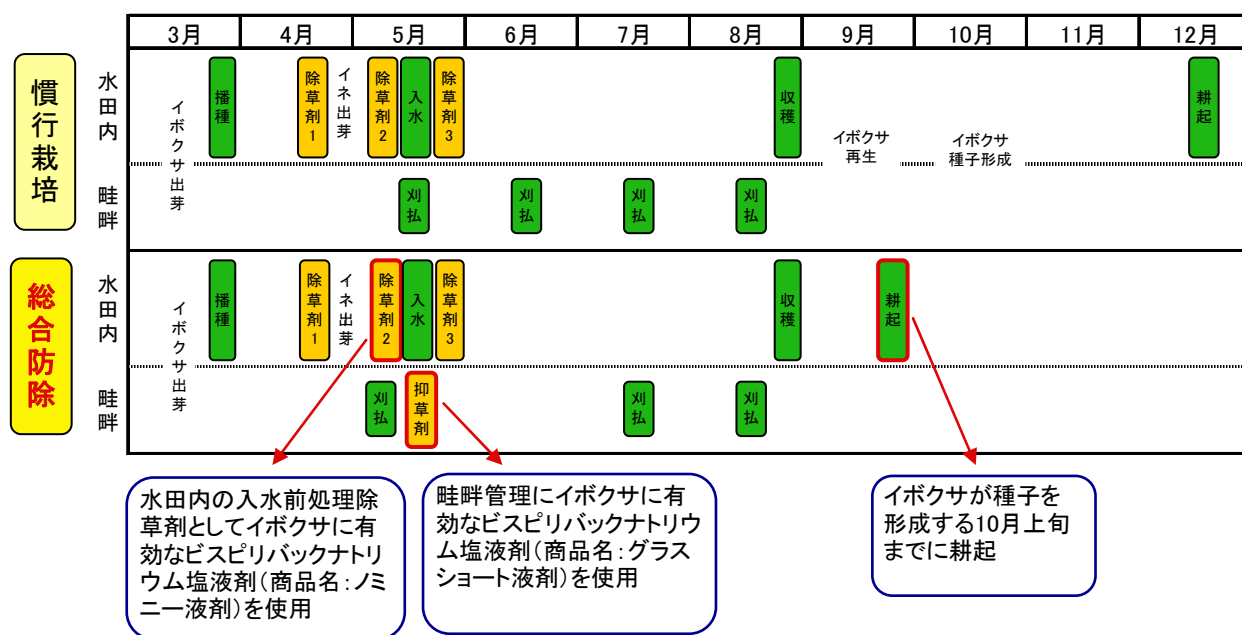


図1 イボクサの総合防除体系(IWM)

2) イボクサの特徴と水稲乾田直播栽培での問題

イボクサはツククサ科の一年生雑草で、平均気温が 8 となる 3 月中旬頃から出芽を始めます。開花開始時期は 9 月下旬頃で、開花後約 15 日で発芽能力のある種子を形成します。種子の寿命は 5~6 年と比較的短く、1 年後の生存率は約 10% です。

イボクサによる雑草害は水稲収量への影響だけでなく、収穫作業の障害や、高水分の茎が籾に混入し乾燥機にエラーが生じるなどの問題があります。

2. 技術の効果

1) 除草効果

水田内：水田内の防除だけでは畦際を中心にイボクサが残草しますが、畦畔も併せて防除することで水田内でのイボクサの残草はほとんどなくなります（図 2）。

畦畔：刈払による管理では畦畔斜面の下部にイボクサが残草しますが（図 3）、イボクサに有効なビスピリバクナトリウム塩液剤を使用することで残草は認められません（図 4）。

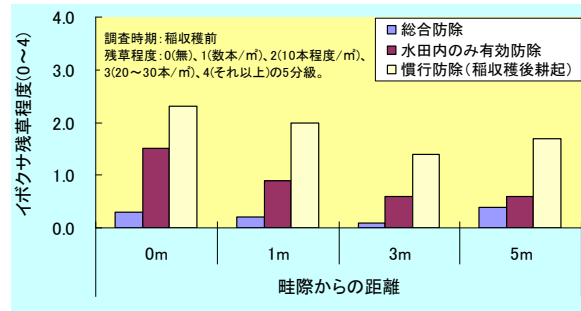


図2 除草効果(水田内)



図3 畦畔から侵入するイボクサ

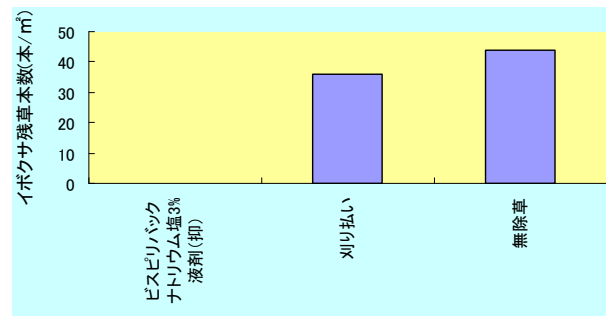


図4 除草効果(畦畔)

2) 水稲収穫後のすみやかな耕起

イボクサは水稲収穫後に再生し（図 5）、多くの種子を生産します。水稲収穫後、イボクサが種子を形成するまでに圃場を耕起することで、イボクサの再生・種子生産はほとんどなくなり、翌年のイボクサの発生本数が大幅に少なくなります（図 6）。



図5 水稲収穫後に再生するイボクサ

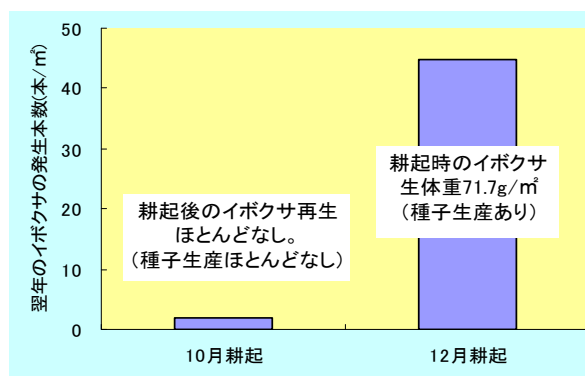


図6 早期耕起による除草効果

3) イボクサ発生本数の経年推移

水田内と畦畔を併せて防除することでイボクサの増加はみられません(図7上)。水田内だけの防除では畦畔際を中心にイボクサが増加します(図7中)。慣行体系では、水田内、畦畔ともに年々イボクサが増加してしまいます(図7下)。

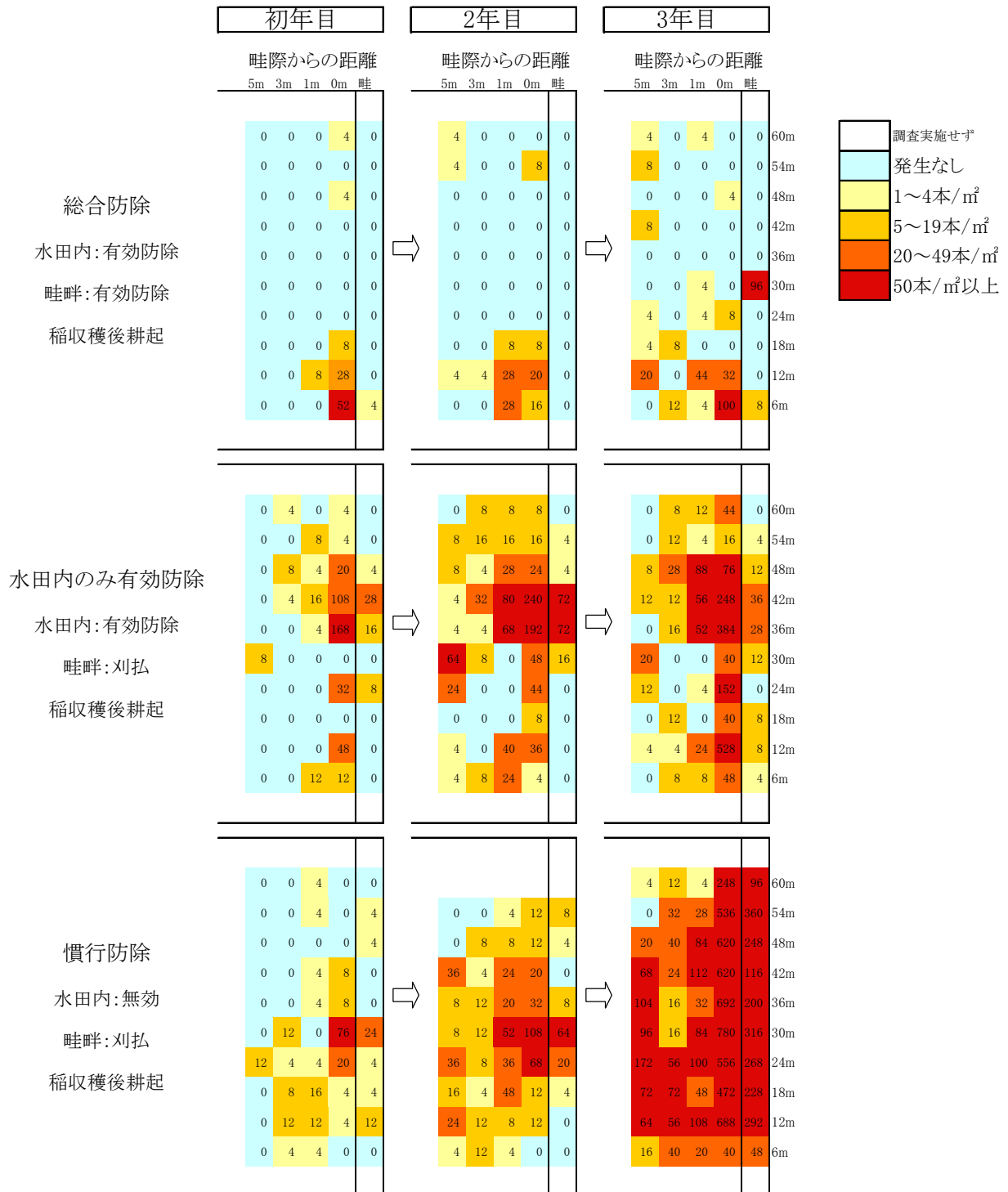


図7 除草体系別のイボクサ発生本数の経年推移

4) モデルによるイボクサの埋土種子増減予測

個体群動態モデル(本マニュアル p53-57)で、各体系でのイボクサの増減を試算しました。慣行防除では畦際から水田全体に(図8左上)、水田内のみ有効防除では畦に近い部分で(図8右上)、イボクサの埋土種子量が増加し、蔓延していきます。一方、総合防除では畦際でも減少し(図8左下)、蔓延を防止できます。なお、総合防除で稲刈り後の耕起ができなかった場合は水田全体に蔓延していきます(図8右下)。

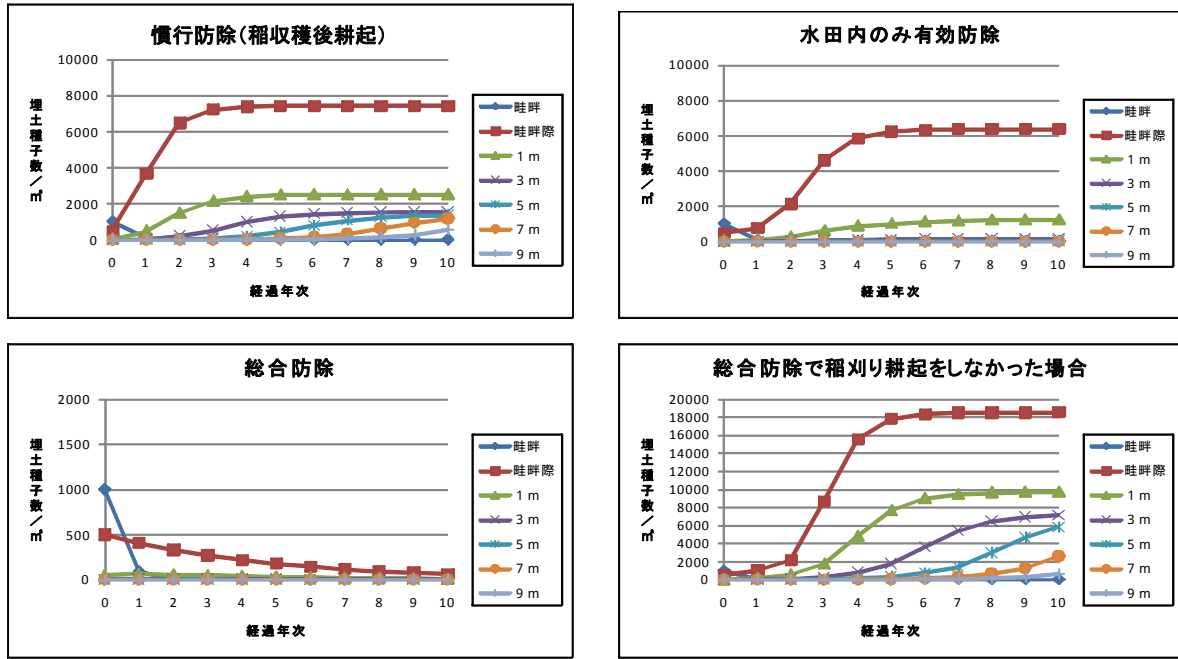


図8 個体群動態モデルによる除草体系別のイボクサ埋土種子数の経年推移の試算例

3. 技術の適用条件と留意点

1) 畦畔のイボクサ防除に有効な除草剤

表に示した薬剤を使用することで、畦畔でのイボクサの発生を抑え本田内への侵入を防ぐことができます(表2)。ただし、薬剤の種類によって有効な処理時期が異なることから注意が必要です。また、薬剤処理後の植生は大きく異なり、ビスピリバックナトリウム塩液剤では雑草の生育を抑制する効果がありますが、グルホシネート液剤では大部分の雑草が枯死します。

表2 畦畔で使用できるイボクサに有効な薬剤

| 使用時期 (イボクサ) | 薬剤名 (商品名) | イボクサに 有効な 使用量 (/10a) | 畦畔植生への影響 |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 発生始 | アシュラム液剤 (アージラン液剤)※ | 1500ml | 雑草全般の発生を抑制 |
| | DCMU水和剤 (カーメックスD水和剤) | 300g | 広葉雑草が枯死し、イネ科雑草が優占 |
| | 2, 4-ジメチルアミン液剤 (2, 4-Dアミン塩液剤) | 100g | 広葉雑草が枯死し、イネ科雑草が優占 |
| 生育期 | ビスピリバックナトリウム塩3%液剤 (グラスショット液剤) | 500ml | 広葉雑草が枯死し、イネ科雑草は抑制 |
| | グルホシネート液剤 (バスタ液剤) | 500ml | 大部分の雑草が枯死 |

注)※近畿以西で使用可能

2) 水稲播種方法の違い

技術の検証は冬季代かきV溝直播栽培で行いましたが、耕起播種による乾田直播栽培への適応は可能だと考えられます。イボクサは4月上旬までに半数くらい出芽することから、4月上旬以降に耕起播種する場合、それまで発生していたものは耕起により枯死し、その後の発生量は少なくなります。

3) ビスピリバックナトリウム塩液剤の薬害

入水前処理(図9)により、イネに草丈抑制、葉色が淡くなるなどの薬害が生じることがあります。薬害は発生しても軽微で収量への影響はみとめられません。



4) 水稲収穫後の耕起時期

イボクサが種子を形成する10月上旬頃までに耕起を行うことが重要です。イボクサが生体重で100g/m²再生すると2000個程度の果実(1果実に6~9個の種子が入っている)を生産します(図10)。キシウスズメノヒエ等が多い場合はイネ収穫後、グリホサート液剤を処理してから耕起します。

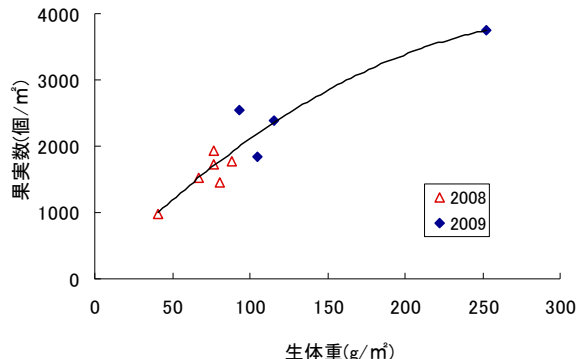


図10 イボクサ残草量と果実生産数

5) 畦畔の形状

畦塗りを実施した畦畔では、畦上面は比較的乾燥することから、イボクサはあまり残草しません。湿潤な畦下部からの発生・侵入が主となります。また、畦塗りをを行う際にできる溝に水が溜まっていると、イネ出芽前や入水前処理除草剤の効果は期待できません。なお、畦が低く、土壌水分が高い場合、イボクサは畦上面でも旺盛に生育します。

6) ビスピリバックナトリウム塩液剤の除草効果が小さい雑草に注意

キシウスズメノヒエ、オオクサキビなどにはビスピリバックナトリウム塩液剤の除草効果が小さいことから留意する必要があります。

7) イネ出芽前のグリホサート液剤処理の効果

イネの出芽前においてイボクサが4葉程度と小さい場合には極めて有効です。

4. 慣行体系とのコスト比較

水田内と畦畔の除草にかかる経費のみを試算したものです(表3)。総合防除では10a当たりの除草経費は11,359円と慣行防除より3,636円安くなります。この理由は、1)総合防除では水田内の入水前に用いる除草剤が慣行防除より安価であることと、2)畦畔除草に抑草剤であるビスピリバックナトリウム塩3%液剤(商品名:グラスショット液剤)を用いることで刈払回数が慣行防除より1回減ることから、慣行防除と比較して労働時間および労働費が減少します。

表3 除草体系別の10a当たりの労働時間と必要経費

| | 総合防除 | 慣行防除 |
|--------------|----------------------------|-------------------|
| 水田内除草 | | |
| イネ出芽前 | グリホサート液剤 | グリホサート液剤 |
| 入水前 | ビスピリバックナトリウム2%塩液剤(除)* | シハロホップブチル・ベンタゾン液剤 |
| 入水後 | 初中期一発剤 | 初中期一発剤 |
| 畦畔除草 | ビスピリバックナトリウム3%塩液剤(抑)*+刈払3回 | 刈払4回 |
| 労働時間(時間/10a) | 4.38 | 5.30 |
| 必要経費(円/10a) | | |
| 農薬費 | 6519 | 9160 |
| 燃料費 | 456 | 535 |
| 労働費 | 4383 | 5300 |
| 合計 | 11359 | 14994 |

注)* 水田内除草と畦畔除草に用いるビスピリバックナトリウム塩は商品が異なる。

第二部 IWM に使える有用情報

(1) 大豆不作付け期間の不耕起・短期湛水により雑草の発生を抑制する

大豆播種前に不耕起管理や短期湛水管理を行うことで、地表面の雑草種子を損耗させるとともに、大豆播種前の雑草の出芽を促進させます。その結果、大豆播種後の雑草の出芽も斉一化し、土壌処理除草剤などの防除効果が向上するので、大豆生育期の雑草が減少します。

1. 背景と目的

大豆栽培において、雑草は常に大きな問題となっています。特に圃場内の雑草種子量が多い場合、土壌処理剤では防除しきれない雑草が大豆生育期に繁茂します。宮城県では、アメリカセンダングサ、シロザ、オオイヌタデといった草種が水田転作大豆で生育期に大型化して残草します。その結果、雑草との競合による大豆収量低下やコンバイン収穫時の雑草まき込みによる品質の低下などが生じます。

雑草の種子そのものを防除することは非常に困難です。一方、出芽して間もない幼植物であれば容易に防除できます。不耕起条件では地表面に大量に雑草種子が存在するので、雑草が早くから出芽します。雑草種子の発芽に必要な条件は光、酸素、温度、水分などが挙げられますが、本技術は、大豆播種前の圃場の水分を高めることで、発芽に好適な条件をつくり、出芽を前進・斉一化させた後、土壌処理除草剤などを活用して効率的に防除するものです(図1)。

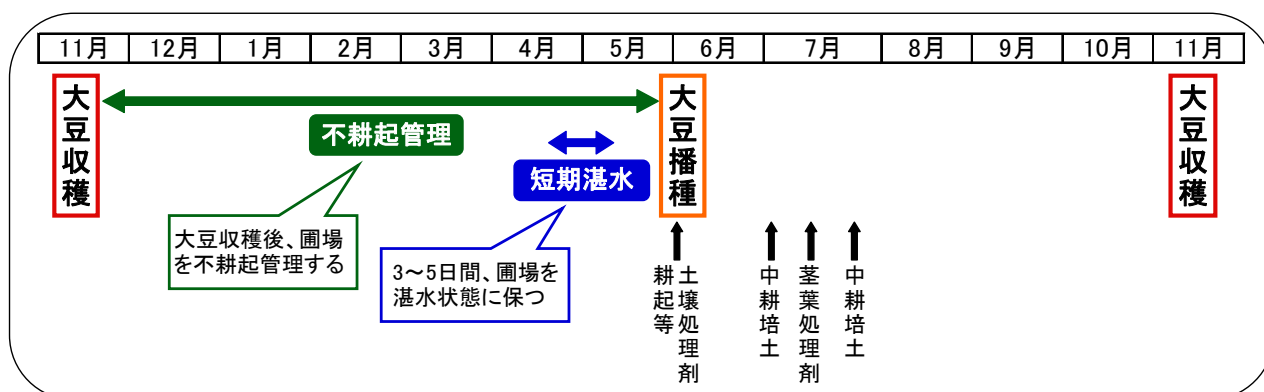


図1 一般的な大豆栽培管理(南東北を想定)と本技術の実施時期

2. 具体的な試験データ

1) 大豆播種前の短期湛水管理

大豆を播種する前に圃場を一時的に湛水管理し、圃場の土壌水分を高めることで雑草の出芽を早め、大豆生育期間中の雑草量を減少させます。

湛水管理は3~5日間とし、圃場の地表面がすべて水没する程度まで入水します(図2)。湛水後、大豆播種までは1ヶ月程度おきます。その間に発生させた雑草を播種時の耕起作業等で枯殺します。

年次により雑草の量や種類が異なりますが、短期湛水処理により大豆播種前の雑草出芽数は湛水を行わな



図2 播種前湛水の状態(4月28日)

い慣行体系に比べて大幅に増加します（図3）。その結果、大豆播種後の雑草出芽数は慣行体系に比べて顕著に減少します（図4）。

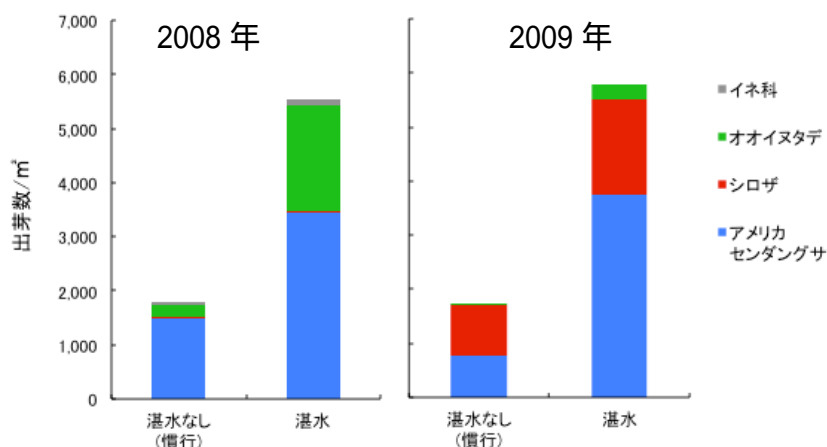


図3 大豆播種前までの雑草出芽数—短期湛水による効果—
注)凡例以外の草種については出芽数が著しく少ないため除外(以下同様)

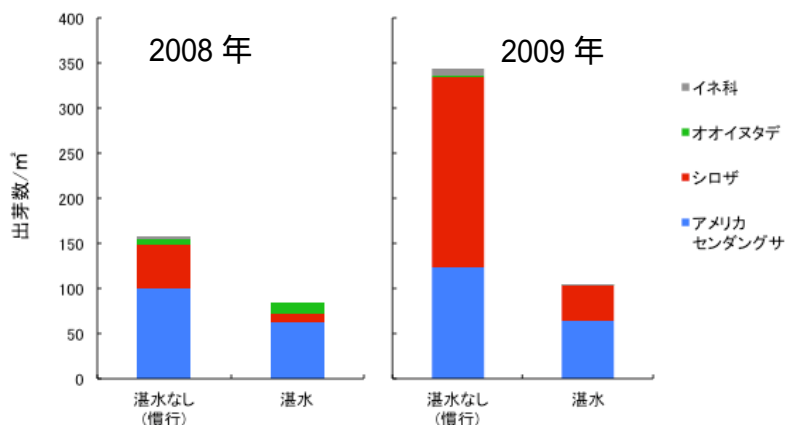


図4 大豆播種後の雑草出芽数—短期湛水による効果—
注 1)播種後 30 日目のデータ
注 2)播種時にジメテナミド・リニュロン乳剤を散布

2) 大豆播種前の不耕起管理

前作収穫後、大豆播種前まで耕起を行わず、地表面に雑草種子を放置した状態を維持します（図5）。不耕起管理することで、鳥類や昆虫類の摂食による損耗効果が期待されます。地表面の雑草種子は早く出芽する傾向があるため、大豆生育期間中の雑草量は減少すると期待されます。

年次により雑草の量や種類が異なりますが、不耕起管理では、耕起を行う慣行体系に比べて大豆播種前の雑草出芽数は大幅に増加

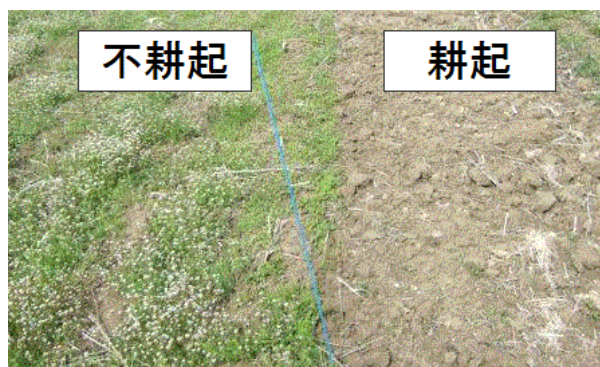


図5 不耕起と耕起の雑草発生状況
(4月28日)

します（図6）。その結果、大豆播種後の雑草出芽数は慣行体系に比べて明らかに減少し

ます（図7）。

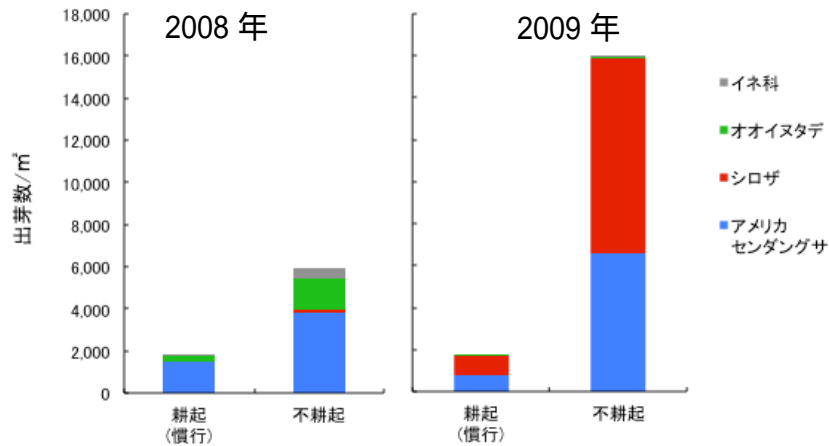


図6 大豆播種前までの雑草出芽数－播種前不耕起の効果－

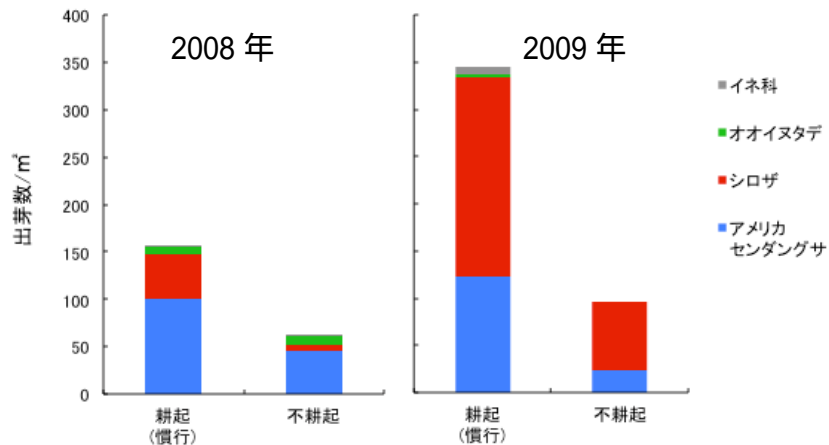


図7 大豆播種後の雑草出芽数－播種前不耕起の効果－

注 1)播種後 30 日目のデータ

注 2)播種時にジメテナミド・リニュロン乳剤を散布

3 . 留意事項

本技術の導入だけで雑草がすべて防除できるわけではありません。雑草の出芽を促すことで、除草剤等の防除効果を高めることを目的としているため、大豆播種時の土壌処理剤や生育期の茎葉処理剤、中耕培土等、他の防除手段と組み合わせた体系防除が必須です。

また、技術の導入に際しては、各地域の圃場条件等を考慮することが必要です。特に、水はけが悪く湿害が懸念される圃場では、短期湛水の導入の可否、入水の時期等を慎重に検討してください。

早期に出芽した雑草や冬雑草が繁茂しすぎると、耕起のみでは鋤き込みきれず（図8）、大豆播種後に再生してしまうことがあります。大豆播種前の雑草発生量が著しい場合には、移行性のある非選択性除草剤の散布やフレールモアなどによる刈



図8 耕起のみでは播種前の雑草を鋤き込みきれなかった例

取りを実施する必要があります。

短期湛水や不耕起による雑草の出芽前進・斉一化の程度は、種子の休眠程度や気象条件により変化します。例えば、春季に低温が続く、湛水後の降雨が少ない等の条件により、大豆播種前の雑草の出芽が少ない場合では、大豆播種後の雑草出芽数が慣行体系に比べ増加する場合があります(図9上)。ただし、このような場合でも、短期湛水、不耕起管理の雑草種子に対する影響は変わらず、出芽時期は全体として前進・斉一化するので、後発生の雑草は減少します。そのため、発生した雑草の大半を中耕培土や茎葉処理型除草剤で防除でき、その後の残草は大きく減少します(図9下)。

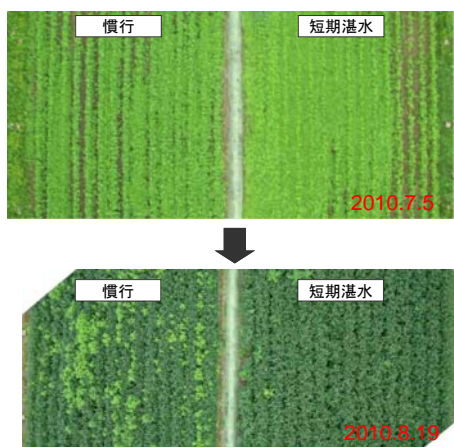


図9 短期湛水による雑草出芽前進効果

(写真:地上約20mの高さから撮影)

上:中耕培土、生育期除草剤処理前。短期湛水区の雑草が多い。

下:中耕培土、生育期除草剤処理1ヶ月後。処理後の雑草発生は短期湛水区で少ない。

注) 2010/6/3 大豆播種、ジメテナミド・リニュロン乳剤散布、
2010/7/14 中耕培土、ベンタゾン液剤、セトキシジム乳剤処理

4. 今後の課題

本事例では、短期湛水期間を3～5日間としていますが、最適な短期湛水期間については、まだ検討の必要があります。また、宮城県大崎地区の灰色低地土での結果ですので、他の条件での検証も必要です。

(2) 不作付け期間に湛水やカバークロープを利用して畑雑草の埋土種子を減らす

冬期湛水 + 夏期水稻栽培を3年程度継続すると、シロザ類やヒユ類の埋土種子量は約80%低減できます。また、冬期にヘアリーベッチを栽培し、春期に1ヶ月程度の湛水処理を行うと、大豆栽培期間中のヒエ類の発生量を抑制できます。

1. 研究の背景と目的

一年生雑草の発生源は土壌中の埋土種子です。さまざまな雑草防除技術の効果を高めるには、埋土種子量を減らして、作物栽培期間の雑草の発生量を減らすことが必要です。土壌中での種子の生存期間は草種によって異なり、長期間に渡って生存する草種も少なくありませんでした。このため、雑草が種子を生産しないような栽培管理を続けたとしても、元々埋土種子量の多い圃場では、埋土種子量を十分に減らすには長期間かかるでしょう。

水田転換畑の大豆作で総合的雑草管理を行うために、大豆の固定単作および水稻 - 大豆の短期輪作（水稻 - 水稻 - 大豆の3年3作など）を対象として、畑雑草の埋土種子量を低減させるための管理指針を検討しました。こうした体系では、冬～春期は不作付け（休閒）期間となっています。この期間に湛水管理やカバークロープを栽培することによる、畑雑草の埋土種子量の低減効果や大豆栽培期間中の雑草の発生の抑制効果について紹介します。

2. 具体的な試験データ

1) 冬期湛水と夏作物栽培の組み合わせによる畑雑草の埋土種子の減少率

水稻 - 大豆などの田畑輪換体系は畑雑草の発生を抑制するとされています。しかし、湛水処理が畑雑草種子の生存や休眠に及ぼす効果について、これまで明確なデータがありません。そこで、冬期湛水と夏作物栽培（水稻または大豆）を組み合わせた体系での畑雑草種子の生存率を経時的に調査しました。冬期湛水期間は11～5月、水稻栽培（常時湛水）および大豆栽培は6～10月としました。調査対象としたのは水田輪作の大豆作で代表的な一年生雑草であるシロザ、ホソアオゲイトウ、イヌビエ、オオイヌタデ、オオイヌホオズキ、マルバルコウの6種です。

供試した6種の種子はそれぞれ特徴的な盛衰を示しました。湛水が続くとすみやかに死滅する草種もあれば、逆に畑条件で死滅しやすい草種もあります（図1）。

シロザの種子は、冬期湛水と水稻栽培の体系（PP）を継続すると死滅率が高まり、3年継続で80%以上が死滅しますが、畑条件では数年間ではほとんど死滅しません（図1A）。ホソアオゲイトウも同様に、冬期湛水と水稻栽培の体系で死滅率が高まります（図1B）。

これに対し、イヌビエの種子は通年畑管理（UU）の方が冬期湛水と水稻栽培の体系よりも種子の死滅率が高まります（図1C）。オオイヌタデも似た傾向ですが、イヌビエより死滅しにくいことがわかります（図1D）。

オオイヌホオズキ、マルバルコウの種子はどの体系でも死滅率に差はありません。オオイヌホオズキはどの体系でも1年半で80%以上死滅します（図1E）。一方、マルバルコウの種子はどの体系でも3年で30%程度しか死滅しません（図1F）。

以上の結果から、シロザやホソアオゲイトウが優占した大豆作圃場で埋土種子を減少さ

せるには、田畑輪換では不十分であり、冬期湛水と水稻栽培を3年以上継続することが必要と判断されます。

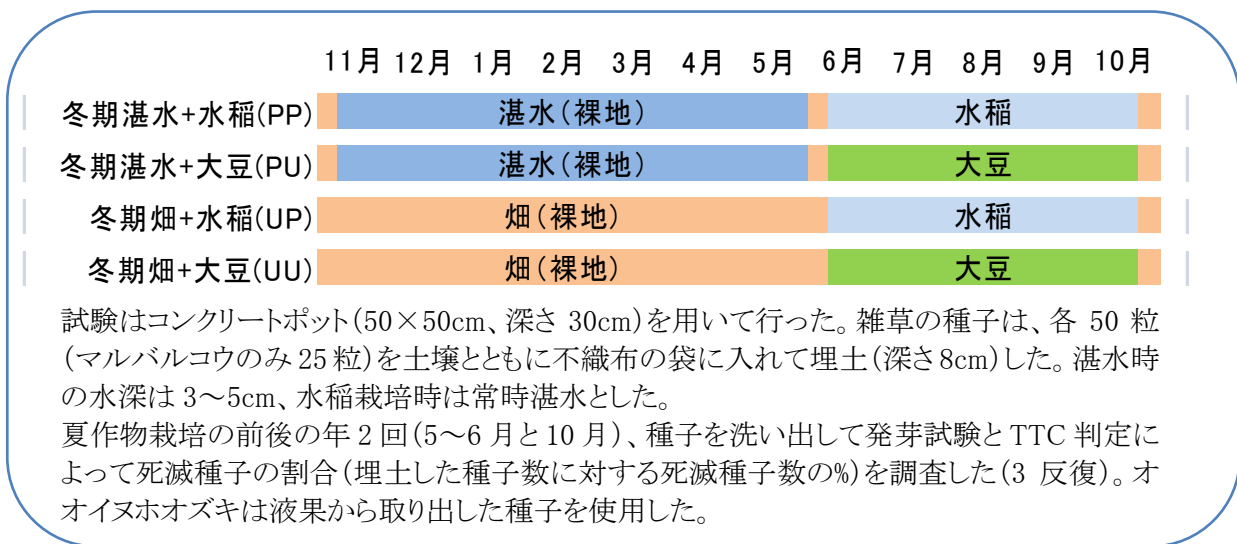
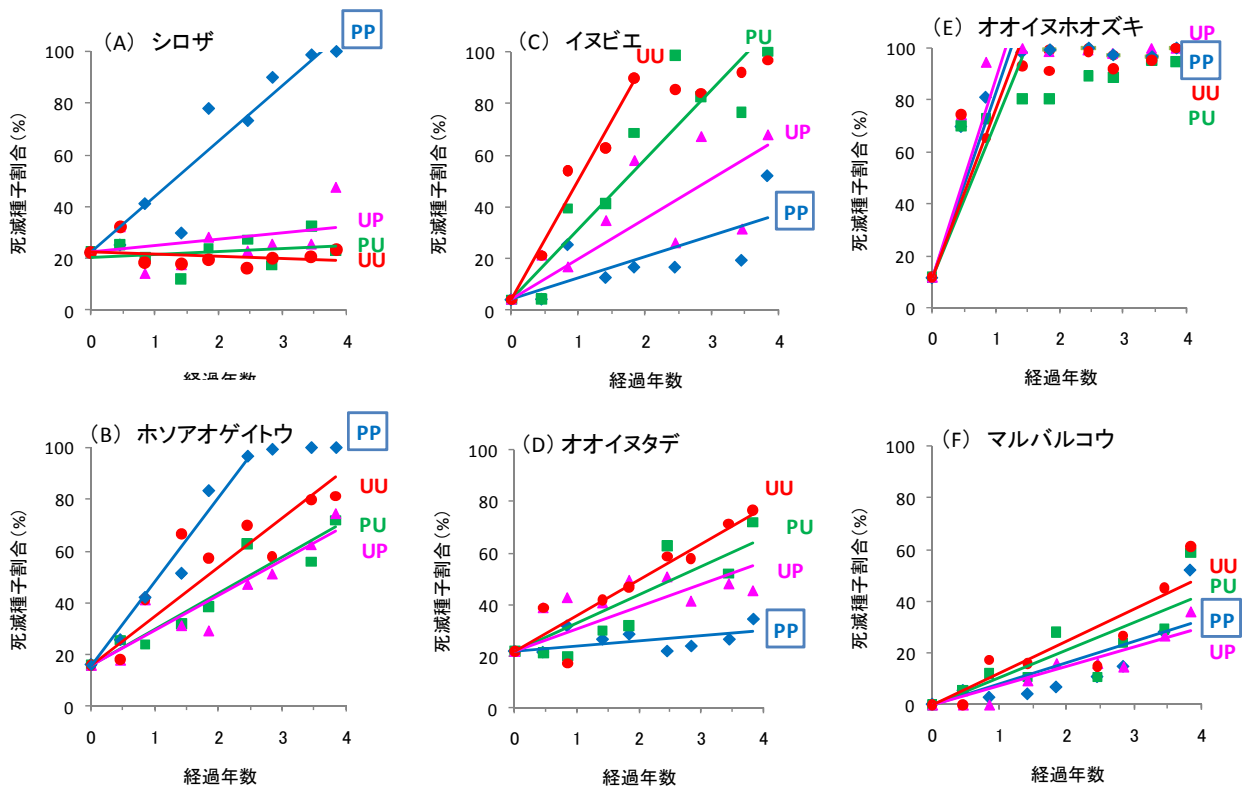
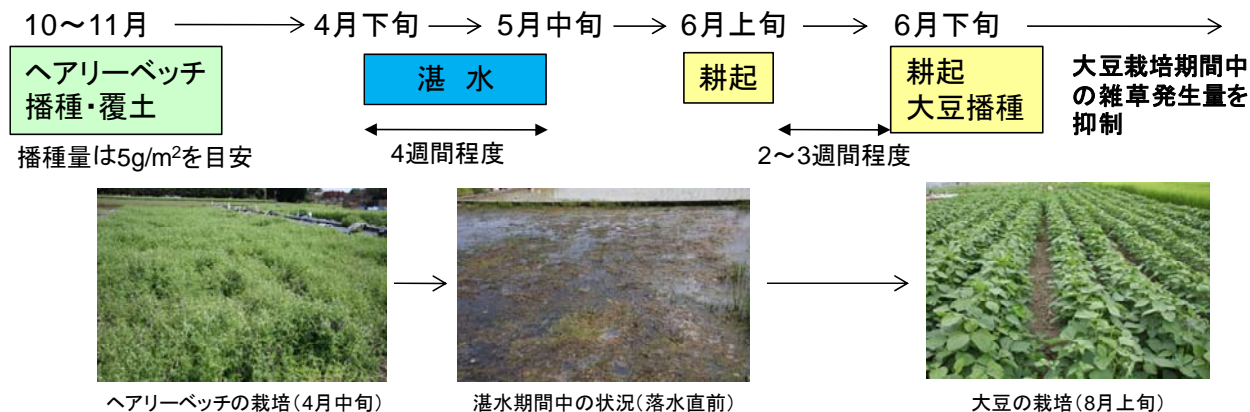


図1 一年生夏畑雑草6種の埋土種子の死滅割合

2) ヘアリーベッチと短期湛水の組み合わせによる畑雑草の発生抑制効果

水稻作前にカバークロープを栽培し、刈り取り直後に湛水すると、水稻作の雑草の発生や生育が抑制されることが知られています。この体系は大豆作の雑草に対しても効果があ

ると期待されます。そこで、大豆単作圃場での休閑期間にカバークロップを栽培し、その後1ヶ月程度の湛水処理の組み合わせが、代表的な畑雑草であるイヌビエ、オオイヌタデ、シロザ3種の出芽に及ぼす影響を調査しました。ヘアリーベッチの栽培および湛水の方法は図2のとおりです。4月下旬に地表面を覆っているヘアリーベッチを刈り払い機などで刈り倒し、その後入水して約4週間の湛水とします。



<参考> 慣行栽培

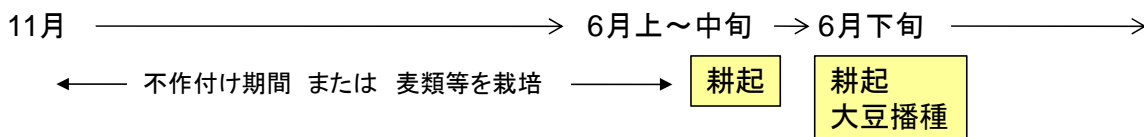


図2 カバークロップと湛水を組み合わせた抑草技術の概要（関東地域）

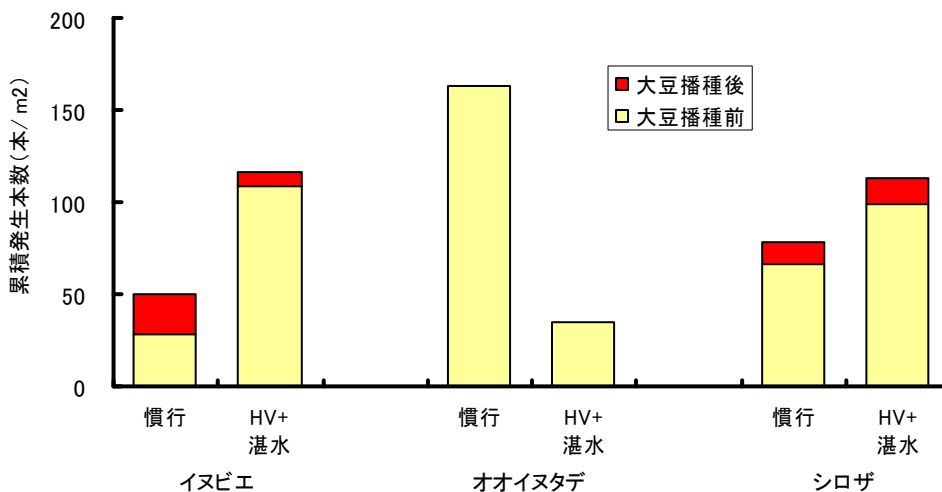


図3 ヘアリーベッチ栽培 (HV) と湛水処理の組み合わせが大豆の雑草発生量に及ぼす影響

ヘアリーベッチ栽培と短期湛水処理の組み合わせにより、湛水期間終了後から耕起・大豆播種前までのイヌビエの出芽発生が促進され、大豆播種後の出芽数が大幅に減少します。一方、オオイヌタデ、シロザでは大豆播種後の出芽数に対する影響は見られません（図3）。

この結果から、ヘアリーベッチを栽培し、春期に1ヶ月程度の湛水処理を行う体系が大
豆栽培期間中のイヌビエの抑制手段として有望と考えられます。

3．留意事項と今後の研究方向

この結果は関東地方（茨城県つくば市）での小規模な圃場試験で得られたものです。カ
バークロップと湛水を組み合わせた栽培体系は、地域や立地に応じて湛水期間や湛水後の
耕起までの期間を調整することで適用場面が広がる可能性があります。湛水やカバークロ
ップの栽培による畑雑草の抑制技術については、今後さらに他の草種に対する効果も検討
するとともに、現地圃場での検証を重ねて、適用範囲を検討していく必要があります。

(3) 中期深水管理により水稻湛水直播栽培の雑草被害を軽減する

過酸化カルシウムコーティング種子湛水土中条播栽培で、イネ生育中期に深水管理を行うことで、雑草の発生・生育を抑制することにより雑草被害を軽減します。また、イネの茎数を抑制し、有効茎歩合を高めます。

1. はじめに

近年、生産組織や認定農業者の経営規模拡大に伴い、省力・低コスト技術として湛水直播栽培が急速に増加しています。しかし、湛水直播では、生育中期の茎数が過剰となり収量品質が不安定となることや、雑草抑制が困難であることが課題となっています。

そこで、過酸化カルシウムコーティング種子湛水土中条播栽培で、イネ生育中期に深水管理し、イネ生育制御と中期雑草発生抑制を図り、直播コシヒカリの収量・品質の安定、向上と総合的な雑草管理による除草剤散布回数の削減を目指します。

2. 生育中期に深水管理

生育中期に、既存畦畔で実施可能な水深 10cm 程度の深水に管理します。深水を始めるのはイネの葉齢 5 葉～6 葉からで、9 葉で深水を終了します(図 1)。これは、湛水しても軟弱徒長しない時期から最高分げつ期を過ぎた頃に当たります。

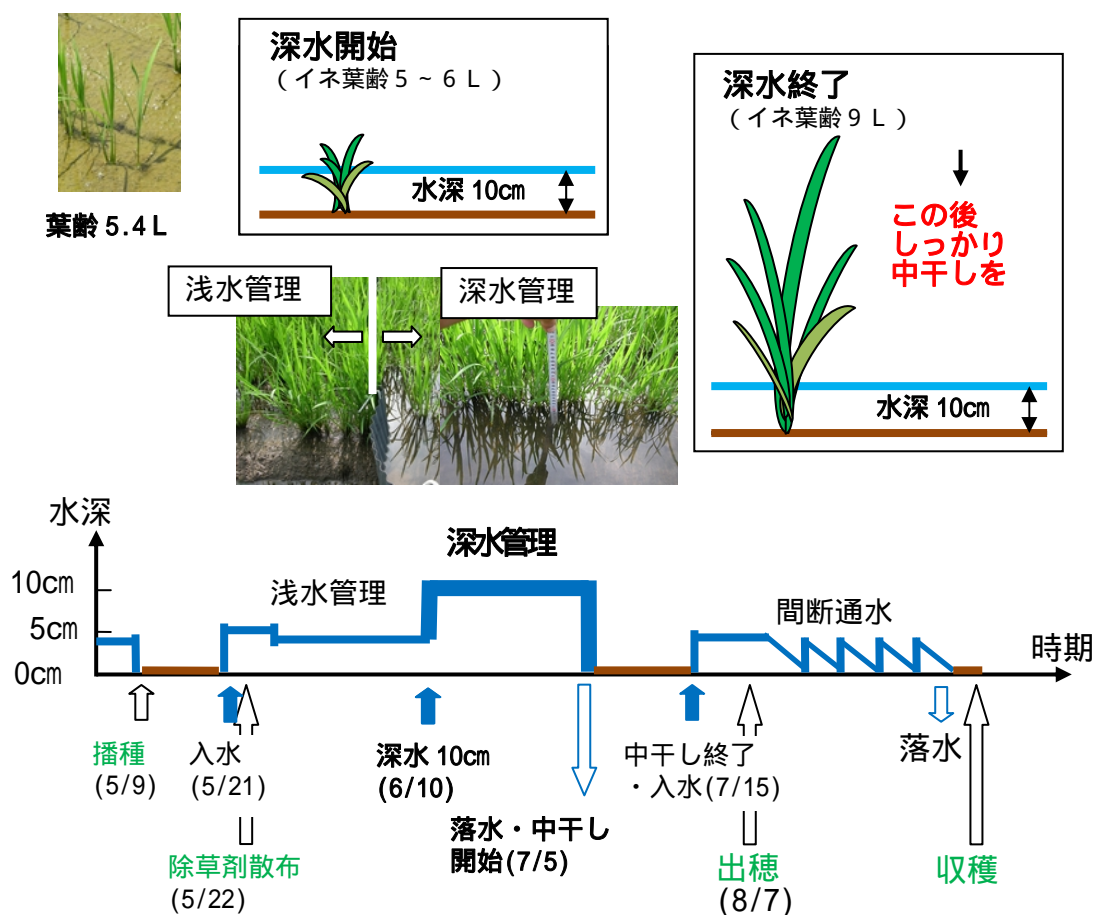


図 1 中期深水管理の水管理 (模式図)

中期深水管理技術は、茎数が多くなりがちな地帯に適する技術です。慣行浅水管理でも茎数が不足する場合には深水管理を行いません。また、漏水の激しい圃場でも中期深水管理を実施しません

中干しは、幼穂形成期まで慣行浅水管理と同様に確実にを行い、稲体健全化と倒伏防止、コンバイン収穫の地耐力確保を図ります。茎数抑制の効果は劣りますが、天候不順な場合には、9葉期よりやや早めに深水処理を終了させます。

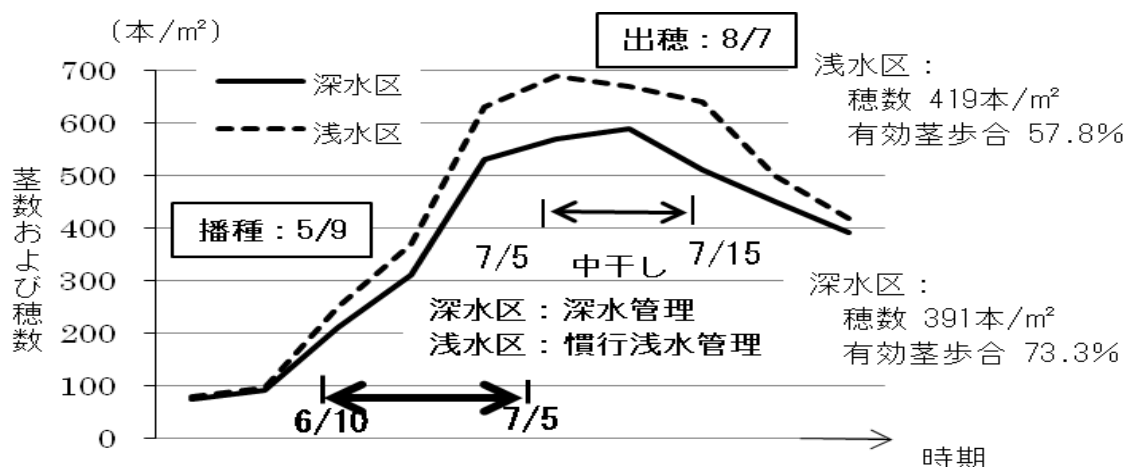


図1 中期深水管理による茎数の推移 (H19~22傾向値*)
*年次により調査月日、調査回数が異なるため、傾向値として図示する。

3. 中期深水管理で茎数が抑制されて有効茎歩合が高まり、収量・品質が安定・向上する生育中期（葉齢5～6Lから9L）に水深10cm程度の深水に管理することで、最高茎数を抑制し、有効茎歩合を高めます（図2）

穂数はやや減少しますが、一穂粒数が増加し、倒伏もわずかに軽減されます。その結果、収量、品質は慣行の水管理と同程度か、やや向上します（表1）

表1 中期深水管理による生育および収量（H19～H22平均）

| | 深水区 | | 浅水区 | |
|---------------|------------|--|------------|--|
| 稈長 (cm) | 99.9 ± 6.3 | | 98.0 ± 7.0 | |
| 穂数 (本/m²) | 372 ± 28 | | 413 ± 48 | |
| 一穂粒数 (粒/穂) | 88.1 ± 3.7 | | 83.4 ± 2.6 | |
| 全粒数 (百粒/m²) | 328 ± 21 | | 343 ± 31 | |
| 倒伏程度 | 3.1 ± 1.7 | | 3.8 ± 0.8 | |
| 精玄米重 (kg/10a) | 550 ± 56 | | 545 ± 46 | |
| 登熟歩合 (%) | 82.5 ± 9.8 | | 81.8 ± 8.7 | |
| 千粒重 (g) | 20.8 ± 0.7 | | 20.9 ± 0.6 | |
| 良質粒割合 (%) | 68.2 ± 2.9 | | 65.6 ± 6.4 | |

4 . 中期深水管理で中期雑草の発生生育が抑制され、収穫期の雑草量が減少する

除草剤はイネ 1 葉期に一発除草剤を 1 回施用します。中期深水管理により、生育中期の雑草発生と生育を抑制するとともに（図 3）、収穫期の雑草量も減少させることができます（図 4）。慣行の水深 3 ~ 5 cm の浅水管理では、時々田面が露出する



中期深水管理



慣行浅水管理

図 3 生育中期の雑草量の比較

こともあります。これに対して中期深水管理では、湛水により除草剤の効果が維持されるとともに、雑草の発生が抑えられると考えられます。

福井県の慣行湛水直播栽培では除草剤 2 回散布が一般的ですが、この体系により除草剤 1 回散布で十分な除草効果が得られます。

ただし、中期の深水管理では、初期に発生したヒエなどの雑草を枯殺することはできません。1 回目の除草剤処理が遅れないよう、適切に散布します。散布 10 日後頃にヒエ等の残草状況を確認し、除草効果が不十分であれば、追加で 2 回目の除草剤を散布します。

また、中干し以降に発生する雑草については、慣行栽培と同様に対応します。

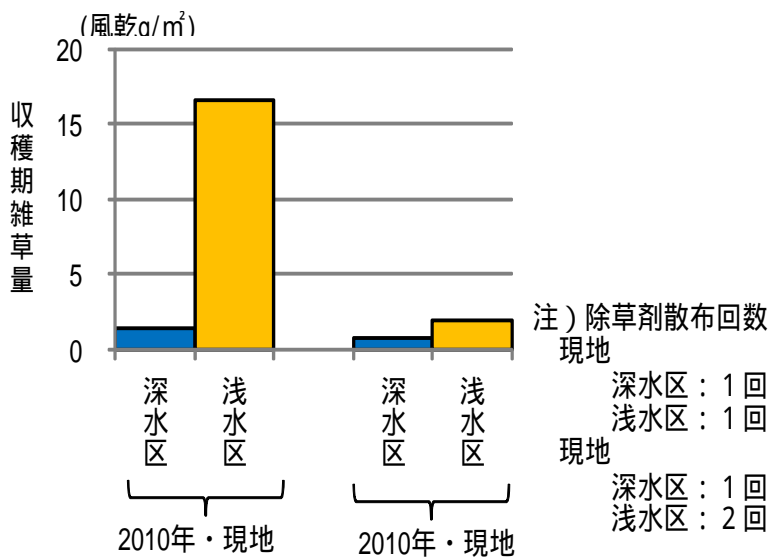


図 4 収穫期の雑草量

(4) 大豆作、麦作用のハイブリッド除草機で除草剤使用量を削減する

大豆や麦などの畑作物を対象に、条間の中耕と株間・株元への茎葉処理除草剤の帯状施用を組み合わせたハイブリッド除草機を開発しました。慣行の除草方式と比較して、同等の抑草効果を保ちつつ、除草剤使用量を50%程度削減することができます。

1. ハイブリッド除草機とは？

環境負荷低減の観点や、特別栽培農産物への消費者ニーズや関心が高いこと、さらには近年の資材費の高騰などから、化学肥料や化学合成農薬の使用量削減が求められています。

除草剤施用を削減する場合の代替手段として、機械除草がまず挙げられます。さまざまなスタイルの除草機が開発され、市販されていますが、機械のみで作物の株間まで十分に除草することはなかなか困難です。除草剤と同等の抑制効果を得るためには、何度も作業するなど、長い作業時間が必要となります。したがって、大規模栽培では機械除草のみで対応することは難しいのが現状です。

そこで、除草剤を全く使わないのではなく、機械除草と併用して、使用量を削減することが考えられます。つまり、作物条間は機械で除草し、株間および株元にのみ除草剤を散布する方式（ハイブリッド除草、図1）です。

東北農業研究センターでは、移植水稻を対象に、乗用管理機または乗用田植機に、機械除草ロータと除草剤局所散布ノズルを装備したハイブリッド除草機を開発しました。水稻用ハイブリッド除草機では1回の作業あたりの茎葉処理除草剤の使用量を1/3に削減しても、2回の作業で高い除草効果が得られています。同様の方式により、畑作物向けのハイブリッド除草機を開発しました。

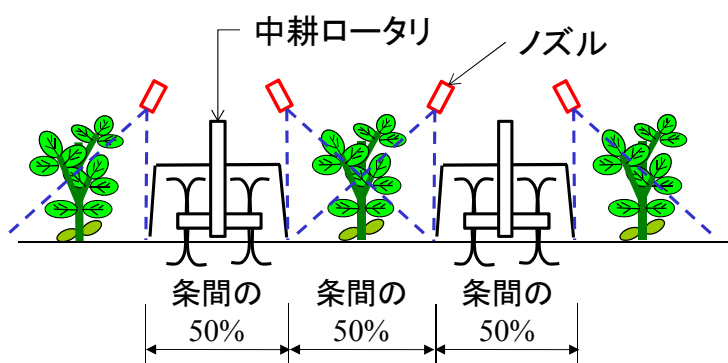


図1 ハイブリッド除草の概念図

2. 畑作用ハイブリッド除草機の構造

基本的な構成は、(a)機械除草部、(b)除草剤散布部、(c)ベース車両、からなります。(a)の機械除草部は、本州以西の水田転換畑を主な対象として考え、中耕ロータリとしました。北海道のように作業が梅雨時期に当たらず、圃場が水田でない場合には、爪型のカルチベータを利用することもできるでしょう。(b)株間・株元など作物条部分への除草剤散布は、ポンプで加圧された薬液を中耕ロータリに取り付けた散布ノズルから噴霧します。(c)ベースとなる車両は、乗用管理機（図2）およびトラクタ（図3）、どちらも可能です。ベ

ース車両に(a)機械除草部と(b)除草剤散布部、および薬液タンクを搭載します。

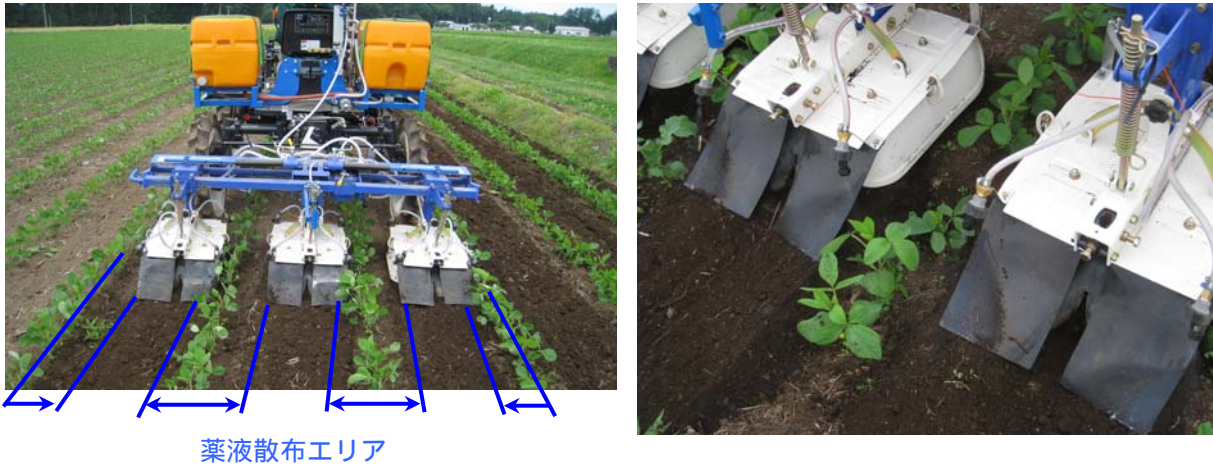


図2 開発した畑作用ハイブリッド除草機 (乗用管理機型)



図3 開発した畑作用ハイブリッド除草機 (トラクタ型)

中耕同時の除草剤局所施用ということから、噴霧粒径は大きく、作業速度が遅いので薬液の所要流量は小さくなります。したがってノズルの散布圧は低く、流量も少ないため、ポンプは小型・低吐出圧のもので十分で、ベース車両のバッテリーで駆動する電動ポンプ(図4)を利用しています。

ノズルは、ロータリカバーの前部・後部の2ヶ所に設置されています(図5)。これは、(1)中耕時に飛散した土で雑草が被覆される場合があるため、あらかじめロータリ前方のノズルで雑草への薬液付着を確保する、(2)進行方向に対し斜め前方向と斜め後ろ方向に、異なる角度から噴霧することによって雑草への薬液付着を増やし、かつ作物の陰になる雑草にも薬液を付着させる、というねらいがあります。

除草剤を散布する株間・株元部分の幅は、作物条間と中耕ロータリの耕耘幅で決まります。通常の大豆の条間と、一般的な中耕ロータリの幅から、条間のおよそ半分が除草剤散布必要領域と想定し(図1) 除草剤施用量を半減させる設定としています。作物条間は、70~80cm(基本設定は75cm)に対応できます。

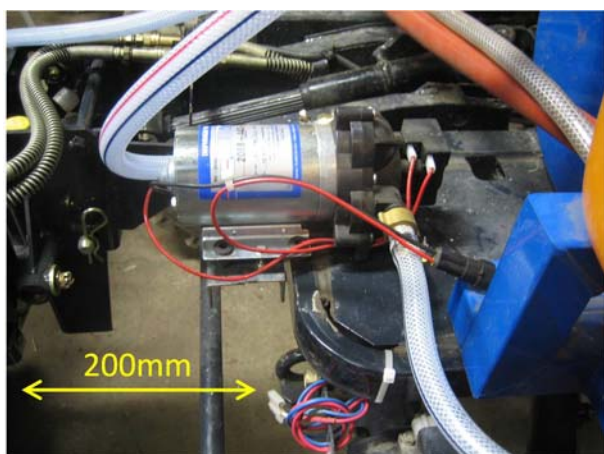


図4 散布用電動ポンプ
(乗用管理機型)



図5 前後のノズルの配置

3. ハイブリッド除草機の作業方法と作業時期

通常の中耕作業と同様に、作物条間へ進入して作業します。作物条間は中耕ロータリで機械除草され、作物の近傍にだけ除草剤薬液が帯状に散布されます。作業速度は、同じ中耕ロータリ・ベース車両を用いた通常の中耕作業と同等です。

作業時期は、中耕作業の一般的な適期（大豆では土壌処理除草剤の効果が切れる播種4週間後頃から開花期前）と、使用する茎葉処理除草剤の使用時期とが重なる期間内になります（図6）。加えて、雑草の生育程度、土壌条件や天候などを確認・考慮の上、作業時期を決めます。

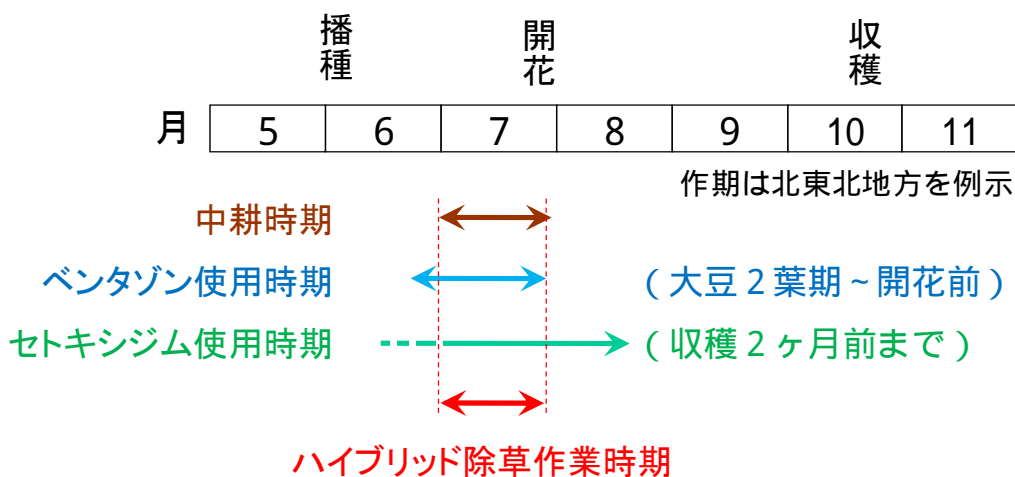
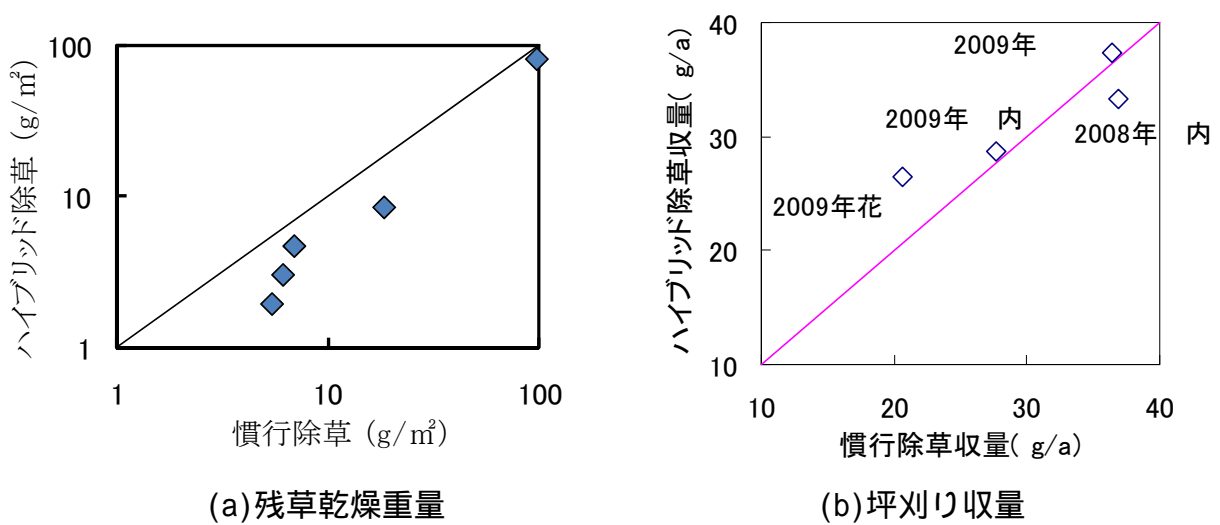


図6 ハイブリッド除草の作業時期の例（大豆）

4. 除草の効果

大豆の圃場でハイブリッド除草作業と慣行の除草作業を比較すると、作業3週間後の残草量は慣行除草（中耕+全面散布）より少ない傾向にありました（図7a）。また、坪刈り収量にも差は見られませんでした（図7b）。したがってハイブリッド除草は、慣行の方式と同等の除草効果があると考えられます。



- ・ハイブリッド除草：開発機による中耕と同時の茎葉処理除草剤帯状散布を1回
- ・慣行除草：開発機で中耕のみ実施した後（同日～6日後）にハイブリッド除草と同じ除草剤を全面散布、1回
- ・使用剤はベンタゾンとイネ科除草剤の混合
- ・残草量は除草作業の3週間後に計測
- ・東北農研内圃場および、矢巾町・花巻市の現地圃場の結果(2008～09年)

図7 大豆圃場での残草乾燥重量および坪刈り収量の比較

5. 除草剤散布量の削減量

除草剤散布幅は作物条間の50%程度なので、圃場面積あたりの散布量は全面散布（1aあたり10L）に比べて約50%削減されます（表1）。

表1 ハイブリッド除草機の作業性能

| 作業機 | 作業速度 (m/s) | 作業能率 (a/h) | 薬液散布量 (L/a) | 施用量削減率 (%) |
|--------|------------|------------|-------------|------------|
| 乗用管理機型 | 0.38～0.44 | 15.4～32.3 | 5.1 ± 0.4 | 41～59 |
| トラクタ型 | 0.56～0.63 | 21.2～28.2 | 5.2 ± 0.2 | 46～50 |

- ・土の後の数字は標準偏差
- ・作物は大豆および小麦
- ・施用量削減率は慣行の10L/aに対する比率
- ・東北農研内圃場および花巻市、矢巾町の現地圃場の結果

6. 畑作用ハイブリッド除草機の適用対象と利点

現在までにハイブリッド除草の効果を確認しているのは大豆のみですが、中耕をおこなう畑作物であれば、適用が可能と考えられます。圃場全体での除草剤施用量を削減できる

ので、除草剤購入費が節減できます。また、通常は別工程で行う除草剤散布作業を同時に行えるので、総作業時間の短縮も期待できます。

ただし、ハイブリッド除草では除草剤の総使用量を削減できますが、除草剤の有効成分数と使用回数は変わらないので、特別栽培農産物のための農薬使用回数削減にはつながらないことに注意する必要があります。

7. ハイブリッド除草を実施するには

現在のところ、ハイブリッド除草機は未だ市販されていません。ハイブリッド除草機を使ってみたい生産者の方は、東北農業研究センターの「出前技術指導」を利用することができます。下記の URL から申込フォームを利用してください。

<http://tohoku.naro.affrc.go.jp/DB/Delivery/index.html>

また、畑作用ハイブリッド除草技術の内容紹介は

<http://tohoku.naro.affrc.go.jp/seika/jyouhou/H21/hatasaku/H21hatasaku008.html>
にあります。

第三部 IWM の成否のかぎ

(1) 総合的雑草管理の経済性評価 - 個体群動態を活用した収益の計算 -

総合的雑草管理では、数年先までの雑草密度やその被害を考慮した防除体系の選択が重要となります。望ましい雑草防除体系の選択（雑草防除の意志決定支援）のために、個体群動態モデルを利用した埋土種子量等の試算値から、経済性に関する指標（純収益、割引現在価値等）を計算します。ここでは、その計算手順を水稲乾田直播栽培の事例を用いて説明します。

1 . 個体群の動態から経済性指標を求める手順の概要

1) 除草体系の決定

第1のステップは、選択すべき雑草防除体系（戦略）を決定し、必要なデータを収集することです。必要なデータとは、各都道府県が出している「経営指標」程度の経営に関するデータ、雑草防除体系ごとに整理した農薬等のコストおよび薬剤散布や畦畔刈払に要する作業時間等です。雑草個体群の動態や雑草害を試算するために必要なデータは得られているものとしします。

2) 雑草密度と作物収量の試算

個体群動態モデルを用い、数年先までの埋土種子量を試算します。次いで、埋土種子量から得られた作物生育期の地上部密度、それによる作物の減収率を計算し、各年の収量を試算します。

3) 純収益の計算

動態予測に基づき計算された各年の収量、各種コスト、販売単価、作業時間等から、各年の純収益を求めます。

4) 割引現在価値の計算

それぞれの雑草防除体系の純収益を年次ごとにプロットし、明らかな優劣がつけられない場合には、雑草防除体系ごとに割引現在価値[†]を計算し、その値を総合に比較します。

[†]割引現在価値とは、特定の割引率によって一定期間のキャッシュ・フローを現在の価値に変換したものです。たとえば、割引率を10%とすると、1年後の100万円は90.9(100/1.1)万円、2年後の100万円は82.6(100/1.1²)万円となり、2年分の割引現在価値は173.6円となります。

2 . 水稲乾田直播栽培におけるイボクサ防除の例

1) 3つの雑草防除体系 - イボクサ総合防除、慣行1、慣行2 -

ここで説明する事例は、水稲乾田直播栽培でのイボクサの防除です。対象とする雑草防除体系は、畦畔、水田内ともにイボクサに効果の高い抑草剤・除草剤を併用する総合防除（表1）畦畔の除草をグリホサート剤によって行い、水田内では水稲収穫後の秋耕を実施しない慣行1（表2）畦畔は刈払で管理し、水稲収穫後の耕起を実施する慣行2（表3）です。詳細については、「畦畔管理と収穫後の耕起により水稲乾田直播栽培でのイボクサを防除する（p16-21）」を参照してください。

表1 イボクサの総合防除

| 管理時期 | 畦畔 | 水田 |
|------|------------|------------|
| 冬季 | - | 代かき |
| 畦塗り期 | 畦塗り | - |
| 出芽前 | - | グリホサート剤散布 |
| 入水前1 | 刈払 | - |
| 入水前2 | ビスピリバック剤散布 | ビスピリバック剤散布 |
| 入水後1 | - | 初中期一発剤散布 |
| 入水後2 | 刈払 | |
| 入水後3 | 刈払 | |
| 収穫後 | - | 耕起 |

表2 慣行1（除草剤による畦畔管理、収穫後耕起なし）

| 管理時期 | 畦畔 | 水田 |
|------|-----------|-----------------|
| 冬季 | - | 代かき |
| 畦塗り期 | 畦塗り | - |
| 出芽前 | - | グリホサート剤散布 |
| 入水前1 | - | - |
| 入水前2 | グリホサート剤散布 | シハロホップ・ベンタゾン剤散布 |
| 入水後1 | - | 初中期一発剤散布 |
| 入水後2 | グリホサート剤散布 | - |
| 入水後3 | - | - |
| 収穫後 | - | - |

表3 慣行2（刈払による畦畔管理、収穫後耕起あり）

| 管理時期 | 畦畔 | 水田 |
|------|-----|-----------------|
| 冬季 | - | 代かき |
| 畦塗り期 | 畦塗り | - |
| 出芽前 | - | グリホサート剤散布 |
| 入水前1 | - | - |
| 入水前2 | 刈払 | シハロホップ・ベンタゾン剤散布 |
| 入水後1 | 刈払 | 初中期一発剤散布 |
| 入水後2 | 刈払 | - |
| 入水後3 | 刈払 | - |
| 収穫後 | - | 耕起 |

（水色部分はイボクサ防除に有効な管理）

上記の手順を説明する事例は、水稲乾田直播栽培でのイボクサの防除です。ここで対象とする3つの雑草防除体系は、畦畔、水田内ともにイボクサに効果の高い抑草剤・除草剤を併用する総合防除(表1)、畦畔の除草をグリホサート剤によって行い、水田内では水稲収穫後の秋耕を実施しない慣行1(表2)、畦畔は刈払で管理し、水稲収穫後の耕起を実施する慣行2(表3)です。詳細については、「冬季代かきV溝直播水稲栽培でイボクサ被害を軽減する」を参照してください。

2) 雑草個体群の動態と作物収量の試算

個体群動態モデルを用いた埋土種子量の試算結果については、「冬季代かきV溝直播水稲栽培でイボクサ被害を軽減する」を参照してください。与えられた埋土種子量と防除圧における地上部の密度から作物の減収率が計算できます。収量の初期値は480 kg/10aとしてあります。そうして得られた収量の経年変化を示すと図1のようになります。総合防除体系ではイボクサの密度が低く、減収を生じないため、最高収量が維持できます。それに対して、慣行1、2ではイボクサの密度増加により、年々収量レベルが低下します。

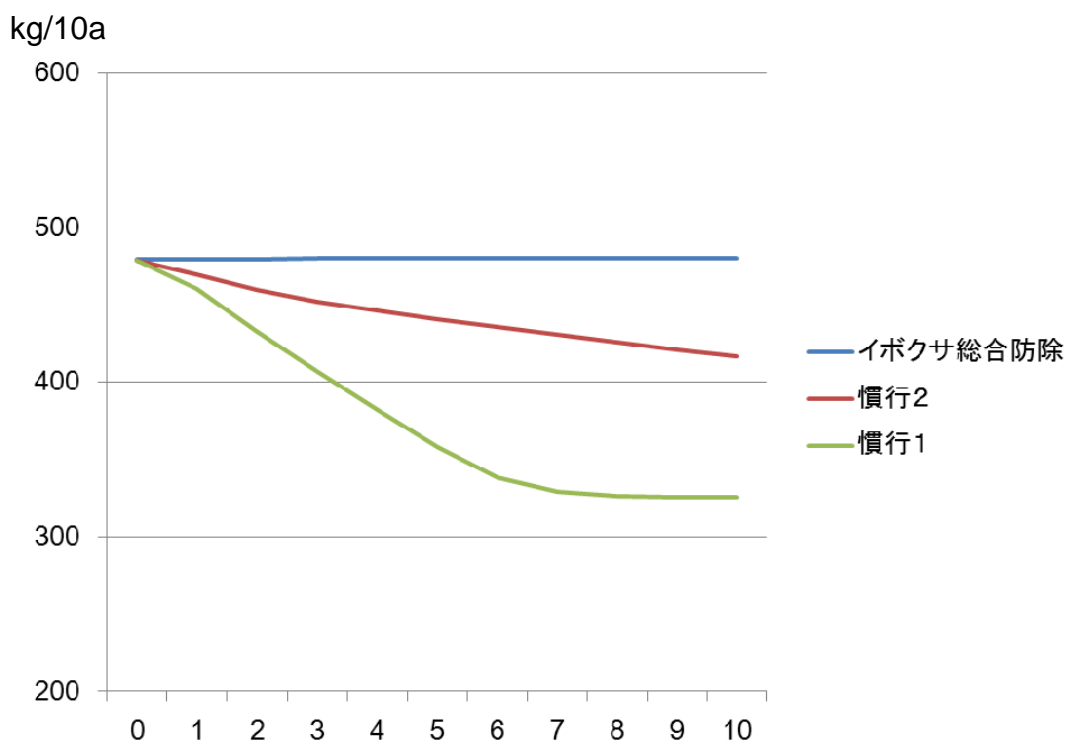


図1 各雑草防除体系における収量の経年変化

3) 予想される純収益の経年変化

収益性は三重県経営指標における水稲乾田直播栽培の値を用いました。品種はコシヒカリです。雑草防除に関わるコストについては、「冬季代かきV溝直播水稲栽培でイボクサ被害を軽減する」を参照してください。

純収益の経年変化は、図2の通りです。イボクサ向けの総合防除を実施した場合には、最高収量での収益が維持できますが、慣行の場合には減収により収益性が低下しています。

とりわけ、収穫後耕起を実施しない慣行1の収益低下が顕著です。

この場合は、線が交錯していないため、それぞれの代替案の優劣関係は明確ですが、参考までに割引率2%とした場合の割引現在価値を計算すると、慣行1が996,506円、慣行2が1,159,740円、イボクサ総合防除が1,252,281円となります。

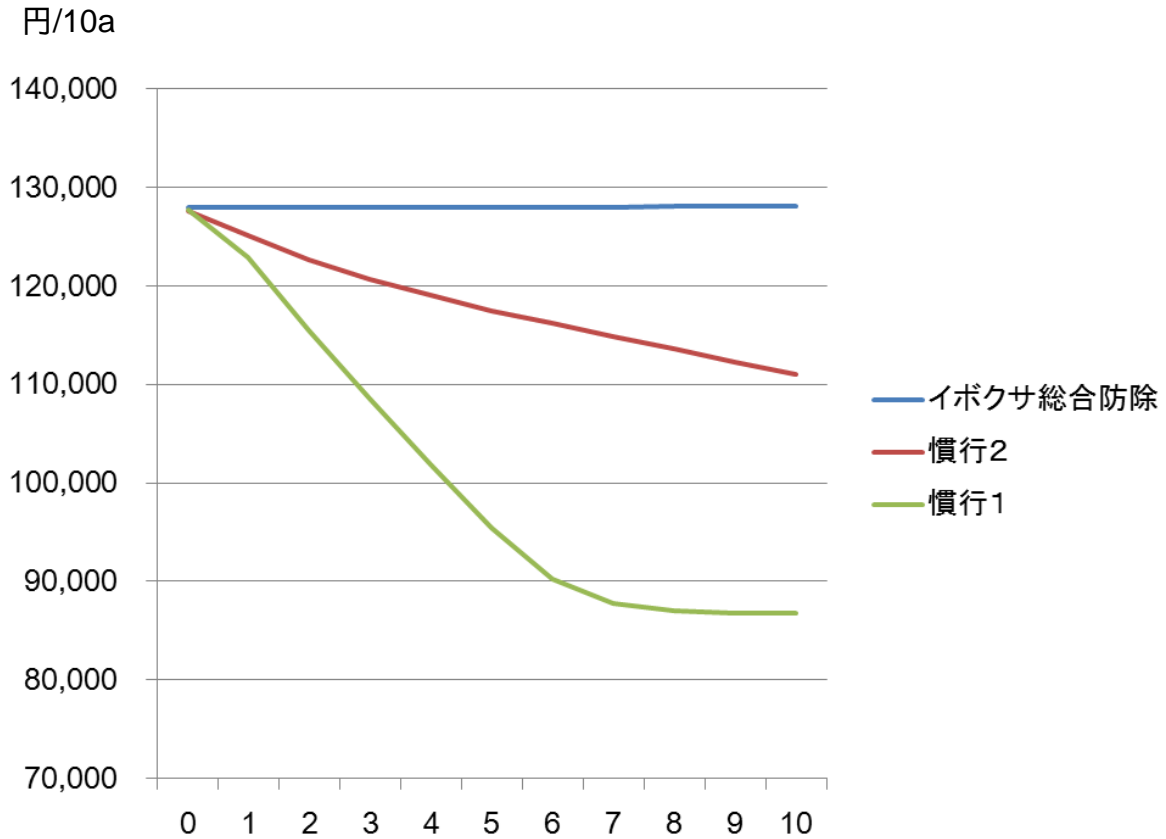


図2 各雑草防除体系の純収益の経年変化

3. おわりに

本節では、雑草の個体群動態から経済性指標を求める手順を、水稻乾田直播栽培におけるイボクサ防除を例に説明しました。実際には、雑草防除に関する意思決定をする上で、10年先まで考えて決定する必要はないと思いますが、この事例は将来を仮想的に示すことによって、各雑草防除体系の含意を明らかにしています。また、実際の場面では、イボクサのみが発生することは希であり、ヒエ等の他の重要草種の動態にも注意する必要があります。

(2) 埋土種子の許容限界

総合的雑草防除で用いられる代替技術の成否は雑草の埋土種子量に大きく左右されます。したがって、圃場の埋土種子量とその許容限界を事前に知っておくことが重要です。

発生雑草量が多いほど雑草害が大きくなります(図1左)。また、耕地では、埋土種子量と発生雑草量に相関があり、埋土種子が多いほど発生が多い傾向のあることが知られています(図1中)。以上から、埋土種子量が多いほど雑草害も大きい傾向があることがわかります(図1右)。したがって、許容される減収幅 A_Y を定めれば、原理的には発生雑草量の許容限界 A_W (図1左) だけでなく埋土種子の許容限界 A_S (図1右) も推定できます。

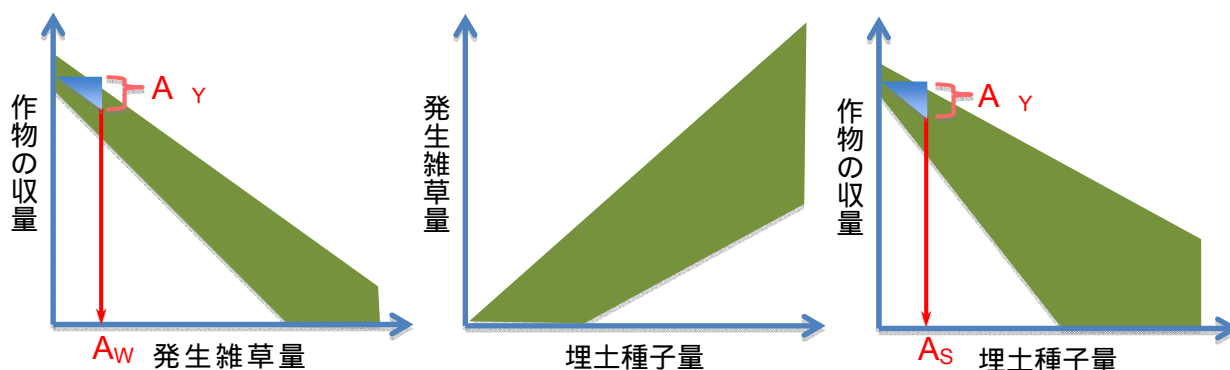


図1 雑草の埋土種子量・発生量と作物の収量の関係と許容限界

雑草の埋土種子量・発生量と作物の収量の間を明らかにした上で、許容される減収幅 ($A_{\Delta Y}$) を定めれば、発生雑草量の許容限界 (A_W) と埋土種子量の許容限界 (A_S) が試算できる。

埋土種子の許容限界の設定は、総合的雑草管理の普及に欠かせないものと考えられ、リビングマルチ大豆栽培やイボクサ、ネズミムギの総合防除が試みられました(表1)。しかし、許容限界は地域や雑草の種構成、作目や細かな栽培方法によって大きく変動します。

表1 除草剤代替技術についての埋土種子の許容限界の試算例

| 作目 | 地域 | 栽培法 | 対象草種 | 許容限界 | 試算の前提 |
|----|----|--------------------------------|----------------------------|---|---|
| 大豆 | 東北 | 麦リビングマルチ (標準期播種、播種後土壌処理剤散布) | 広葉一年草(タデ類, ヒユ類, シロザ, ツユクサ) | 3,000/m ² 作土層(0-15cm)に含まれる埋土種子数を対象 | 6圃場から3年間にわたり収集した埋土種子数・大豆精粒重を, 年次間・圃場間で補正。補正データを用いて作成した直線回帰式から試算。減収5%を許容限界とした場合。 |
| 水稻 | 東海 | V溝不耕起直播栽培(慣行体系) | イボクサ | 水田内: 200/m ² 畦畔際: 1,500/m ² | 個体群動態モデルより試算。減収5%を許容限界とした場合。畦畔際は水田内の埋土種子がなく、畦畔際からの茎の侵入により、畦畔際的水稻の減収が5%になる場合。 |
| | | V溝不耕起直播栽培(総合防除体系) | | 水田内: 1,000/m ² 畦畔際: 9000/m ² | |

| | | | | | |
|----|----|----------------------|-------|--|---|
| 小麦 | 東海 | 夏季石灰窒素コム ギ晩播不耕起栽培 | ネズミムギ | 5,000 /m ² 作土(0-10cm)に 含まれる埋土種子 数を対象 | 2圃場から3年間、1圃場から 1年間収集した埋土種子数、コムギ収量から推測。 |
|----|----|----------------------|-------|--|---|

* ネズミムギとイボクサ防除の慣行体系および総合防除体系の内容は、p.4とp.16を参照

信頼するに足り、汎用性の高い許容限界を設定するためには今後、多くの作目、地域、栽培方法でこのような許容限界設定の試みがなされ、そのデータが蓄積されることが強く望まれます。

そこで、埋土種子の許容限界設定のための試験を実施するための指針として、埋土種子の調査法の概要を図2にまとめました。詳細については、「埋土種子調査マニュアル」(中央農研・東北農研・九州沖縄農研 2009)や、「雑草研究」の第55巻第3号と第56巻第1号に掲載されている埋土種子の調査法に関する特集記事を参照してください。

図2 草種を定めずに行う雑草埋土種子調査の一般的な手順

| | | |
|-----|--|---|
| [1] | 土壌採取 | 圃場内の複数地点から作土深(例えば15cm)まで合計で1~2kg程度採取。採取面積を記録する。 |
| [2] | 乾燥 | 薄く広げて自然乾燥か、乾燥機(40℃)。 湿土の分析は採取後速やかに。 |
| [3] | 種子抽出 比重分離法 高比重塩類溶液 で浮かせて回収 直接分離法 メッシュで土から 分離して回収 | 採取した土壌をよく攪拌した後、乾土で200gを取り分けて1回の分析サンプルとする。 ・比重分離法：比重1.4の塩類溶液を使用。 ・直接分離法：2mmの目のメッシュを使用。 |
| [4] | 残さからの種子回収 | ズーム付きの実体顕微鏡下で(残さを除くのではなく)、残さから種子を拾い出す。 |
| [5] | 種子の同定 | 同定が確実な種子サンプルと見比べる。サンプルがない場合は図鑑類を利用。 |
| [6] | 種子の生死判別 | TTC法か押しつぶし法による。 回収種子数が1草種あたり7個未満ならもう1サンプル分析分析するのが望ましい([3]に戻る) |
| [7] | 種子密度の算定 | 種子数を1m ² 当たりの密度に換算。 $\text{回収種子数} \times (\text{採取サンプル総重量(g)} / \text{分析サンプル重(g)}) / \text{採取面積(m}^2\text{)} = \text{種子密度(個/m}^2\text{)}$ |

(3) 雑草種子の増減に關与する種子食昆虫

近年、雑草の埋土種子の増減に種子を食べる昆虫（種子食昆虫）の關与が大きいことが明らかになりました。ここでは、畑地における種子食昆虫相とその生活史、種子選好性、種子食能と圃場における種子損耗の実態、そして種子食昆虫の雑草防除への利用性について紹介します。

1. 畑圃場における種子食性の地表歩行性昆虫

種子食者は、種子散布前に採食する散布前種子捕食者（predispersal predator）と、散布後の地表の種子を食べる散布後種子捕食者（postdispersal predator）に分けられます。後者の散布後種子食者は、地表で活動するものが多いため、その調査には地表歩行性昆虫を捕獲するピットフォールトラップ（図1）が用いられます。

これを畑圃場に設置すると、コオロギ類や雑食・種子食性とされるゴミムシ類のゴモクムシ亜科やマルガタゴミムシ亜科の虫が採集されます（表1）。日本の畑地の種子食性ゴミムシ類では、ウスアカクロゴモクムシ、ヒメケゴモクムシ、クロゴモクムシ、オオゴモクムシ、ホシボシゴミムシなどが普通種です。



図1 地表面に埋めたピットフォールトラップ

表1 ピットフォールトラップで捕獲されたゴモクムシ亜科とマルガタゴミムシ亜科およびコオロギ上科の昆虫
2009年6月～11月に大豆畑（福島市）で調査

| 雑食・種子食者 | |
|-----------|-------------------------------|
| (ゴモクムシ亜科) | |
| | 捕獲個体数 |
| 1 | ゴミムシ 18 |
| 2 | ホシボシゴミムシ 17 |
| 3 | オオゴモクムシ 87 |
| 4 | ヒメケゴモクムシ 770 |
| 5 | コゴモクムシ 35 |
| 6 | ウスアカクロゴモクムシ 1009 |
| 7 | クロゴモクムシ 184 |
| 8 | アカアシマルガタゴモクムシ (マルガタゴミムシ亜科) 21 |
| 9 | マルガタゴミムシ 117 |
| (コオロギ科) | |
| 10 | マダラスズ 214 |
| 11 | エンマコオロギ 33 |

2. 主な種子食性ゴミムシ類とコオロギ類 (ゴモクムシ亜科)

ゴミムシ：体長約 12mm 程度で、初夏活動する種類では比較的個体数が多く、ホシボシゴミムシとは胸板後角の微突起の有無で区別します。

オオゴモクムシ：体長約 20mm のゴモクムシ亜科最大の種類で、あごが大きい。

ヒメケゴモクムシ：上翅背面に微毛が密生し、ツヤがなく、体長約 12mm の種類。個体数は多く、ケウスゴモクムシとは頭部の微毛数で区別します。

ウスアカクロゴモクムシ：体長約 15mm で、上翅背面にツヤがあり、胸板後角がとが

っていないのが特徴で、畑地の主要種です。

クロゴモクムシ：体長約 12mm で、ウスアカ、ヒメケと同様主要種の 1 種で、上翅背面にツヤがあり胸後角が角張り、コゴモクムシとは前肢附節の微少構造で区別します。

アカアシマルガタゴモクムシ：体長 7mm 程度で胸がやや四角っぽく、上翅にツヤがあります。

(マルガタゴミムシ亜科)

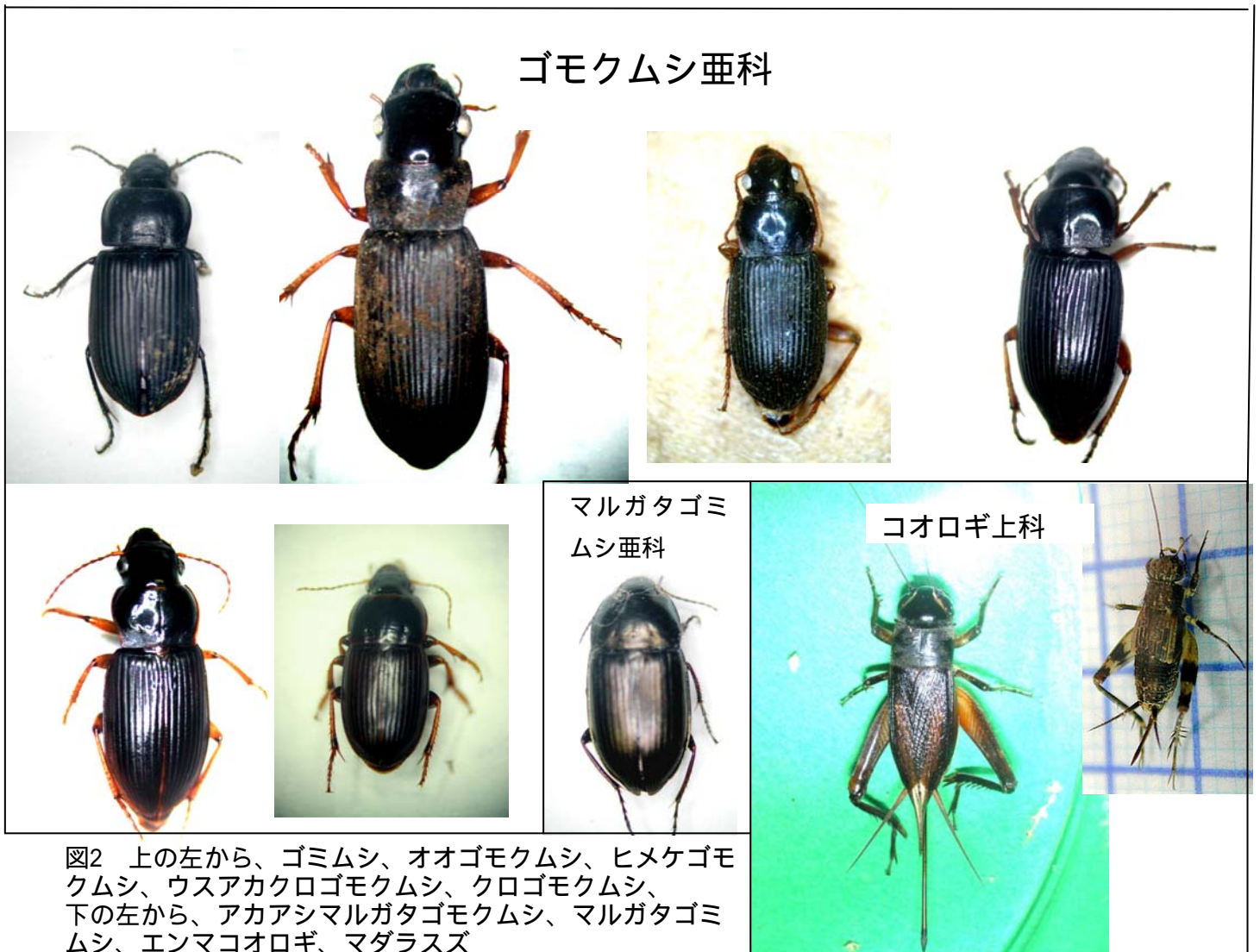
マルガタゴミムシ：体長約 7mm 程度で、胸が丸く、全体として紡錘形です。

(コオロギ上科)

エンマコオロギ：成体で体長 30mm を越える濃褐色の大きなコオロギ。

マダラスズ：体長約 7mm 程度のコオロギ科の昆虫、脚のまだら模様が特徴。

なお、より詳しいゴミムシ類の分類同定には、保育社の原色日本甲虫図鑑()が便利です。



3 . ゴミムシ類とコオロギ類の南東北における生活史と種子選好性

1) 生活史

文献や福島での発生消長の調査からは、ホシボシゴミムシ、ゴミムシ、アカアシマルガタゴモクムシ、マルガタゴミムシは、成虫越冬で春に産卵し、6、7月に新成虫が羽化して活動のピークを迎えたあと秋を迎え越冬に入るようです。オオゴモクムシ、ヒメケゴモクムシ、コゴモクムシ、ウスアカクロゴモクムシは幼虫越冬で、春～夏に成長し、7～9月に成虫になり産卵し、幼虫で越冬します。共に年1化性であることは同じです。

コオロギ類のマダラスズ、エンマコオロギは東北では卵で越冬し、春夏を通して成長し、夏に成虫になります。雑食性で土壌小動物、雑草種子、植物を食べるほか、動物の死体も摂食するようです。晩夏から産卵し、卵越冬に入り、共に年1化です(図3)。

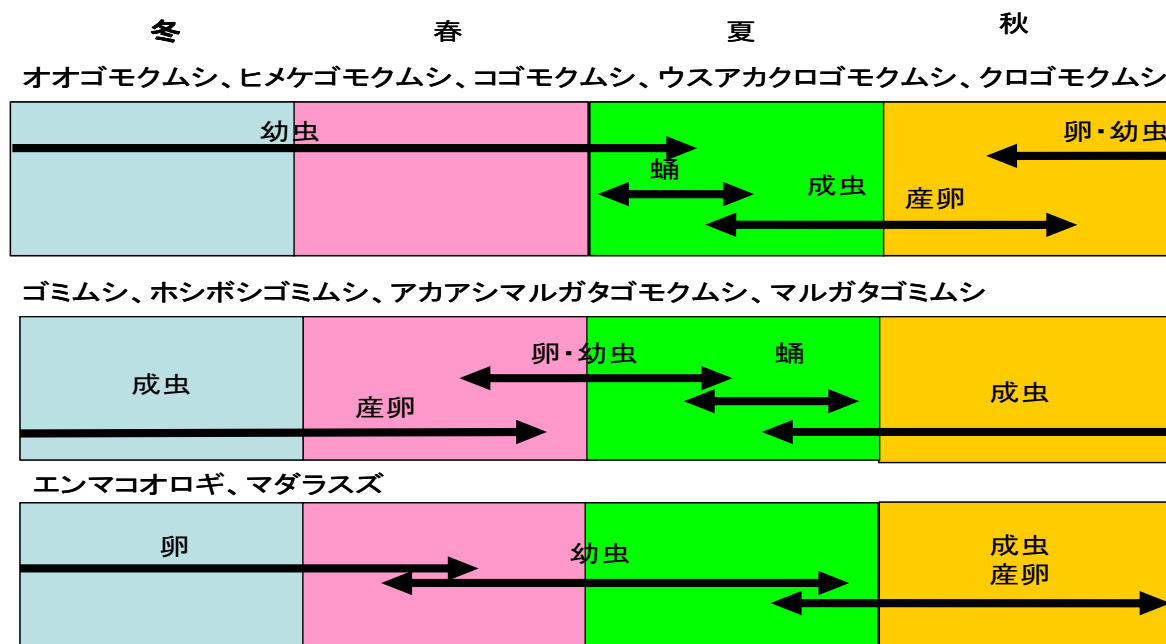


図3 南東北における主な種子食昆虫の生活史

2) 種子選好性

種子食性のゴミムシ類の小型、中型の種類や小型のコオロギ類のマダラスズでは、一般に、穎(えい)の比較的柔らかいメヒシバや粒径の小さなホソアオゲイトウ、シロザなどの種子を選好しますが、体が大きなオオゴモクムシやエンマコオロギでは、アキノエノコログサ、イヌビエ、イヌタデなど種子を包む穎や果皮が固い大きな種子も採食します。また、種子食量も、大型のオオゴモクムシは1日1個体当たり雑草種子を約25粒、エンマコオロギは約45粒食べ、中型のウスアカクロゴモクムシやヒメケゴモクムシ、ホシボシゴミムシは、それぞれを15～20粒、またマダラスズは約10粒採食します。

一般にゴモクムシ亜科の食性は、雑食であり種子のみを餌とはせず、昆虫の死体やトビムシなどの小動物も食べますが、肉食とされているアオゴミムシ亜科やナガゴミムシ亜科は種子を殆ど食べません。典型的な肉食者であるオオアトボシアオゴミムシの口器は、比較的左右対称で、やや平たく、細長いのに比べると、雑食・種子食性のオオゴモクムシ、ウスアカクロゴモクムシではより肉厚で根元が太く頑強な感があります。小動物だけでなく固い種子も食べられるように適応した形態かもしれません(図4)。



図4 捕食者オオアトボシアオゴムシ(左)、雑食・種子食者ウスアカクロゴモクムシ(中)とオオゴモクムシ(右)のあご

4. 種子食者による種子損耗の実態評価

ゴムシ類、コオロギ類など種子食昆虫が生息し、雑草種子以外の餌が存在する畑地における雑草種子損耗の実態はどのくらいでしょうか。コオロギ類、ゴムシ類を主とする種子食者は8月～9月に多くなり(図5)、同時に種子損耗率も80%以上と大きくなり、種子食者による雑草種子損耗が推測されました。

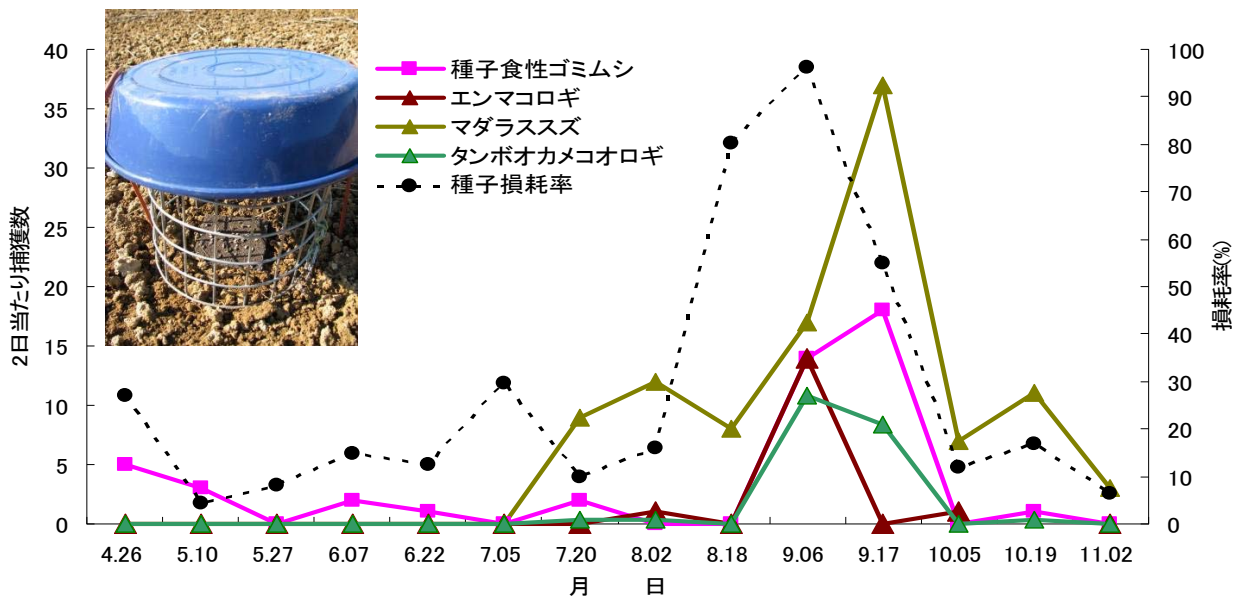


図5 福島市内の東北農研福島拠点の大豆圃場において、シロザ種子50粒をベニヤ板に糊付けしたカードを1.5cm網目(ネズミ等の小型ほ乳類や鳥は入れないが、ゴムシ類、コオロギ類は自由に入れる大きさ)の金網カゴ(図5内の写真)に入れて1週間放置し、自由採食させ残存種子数を計数。昆虫数は、金網カゴの近くにピットフォールトラップを2日間設置し捕獲。

5. まとめと今後の展望

日本の畑地においても、地表面に落ちた雑草の種子を食べるコオロギ類やゴムシ類が生息し、それぞれ食べる種子に好みがあり、晩夏から秋にかけてはそれらによって相当量の畑地雑草の種子が食べられています。雑草の総合防除(Integrated Weed Management)においては雑草個体群の動態予測が重要ですが、種子食者による種子損耗程度を予測モデルに組み込めば、動態をより正確に予測することが可能となります。種子損耗度調査方法の精度評価と改良が今後とも必要です。また防除技術への応用においては、種子食者は主

に地表面の種子しか採食できないので、地中のシードバンク減耗に対しての効果は期待できませんが、散布された種子のシードバンクへの加入を軽減することはできるでしょう。その効果を高めるためには、種子を地表面で多数の種子食者に暴露して食べさせることが必要です。例えば、圃場周辺に耕転などで攪乱しない草地を設け種子食者の越冬場所として保全することで種子食者相を増強したり、種子散布後は耕起を避けて種子を表面に残しておくような栽培管理を行うことが考えられます。これらの有効性の評価や技術化に向けての研究が望まれます。

(4) 雑草の個体群動態を予測するモデル

WeedModel は、Microsoft Excel 2004 で動作する耕地雑草の個体群の変化をグラフ表示する簡易シミュレーションシートです。栽培体系や防除手段が雑草の増減に与える影響を試算し、総合的雑草防除の立案を支援や、個体群動態のパラメータ推定をするためのツールとして利用できます。このシートは <http://cse.naro.affrc.go.jp/masai/weedmodel.html> からダウンロードできます。

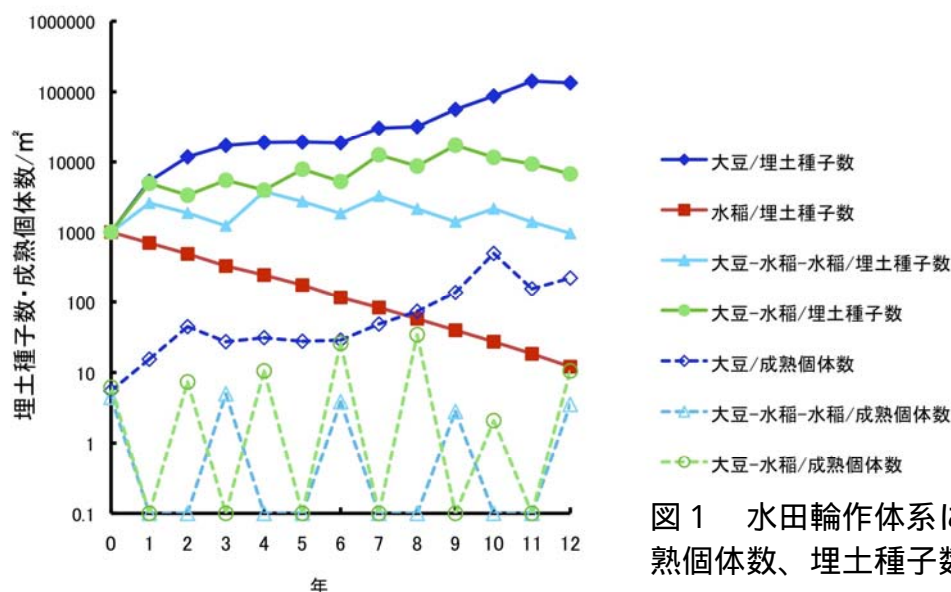


図1 水田輪作体系における雑草の成熟個体数、埋土種子数の増減試算例

1. モデルによる増減試算例

個体群動態モデルを用いて、雑草土中種子の死滅率や除草剤による防除率といった数値からさまざまな条件での雑草の増減を試算できます。水田輪作での雑草の増減試算例を図1に示します。これは水田輪作で代表的な雑草である、オオイヌタデを想定したパラメータを入力して得られた試算です。試算結果では、大豆連作では密度が毎年増加して数年以内に飽和に達します。また、輪作条件でも雑草は減少せず、3年に1回の大豆作であっても漸増～微増すると試算されます。この試算は現場の実態や類似した過去の多くの圃場試験の結果と適合するものです。

モデルは総合的防除体系の評価や生態研究への仮説提示など、現場と研究をつなぐ有効なツールとなります。以下に、シートの利用法を説明します。

2. シートの説明

WeedModel 1.04 には以下のシートが含まれています。説明、水田輪作 大豆連作、大豆-水稲、大豆-水稲-水稲、水稲連作の4体系での畑雑草の増減を試算し、結果をグラフ上に出力します。田畑共通 「水田輪作」のシートを拡張して、水田雑草、畑雑草の双方に対応できるシートです。麦総合防除 麦類連作での夏作期の管理変更による雑草の増減を試算し、結果をグラフ上に出力します。米麦二毛作 麦類連作(夏期は休耕)、麦類-水稲、水稲連作の3体系での冬生雑草の増減を試算し、結果をグラフ上に出力します。水田輪作(不確実性) 「水田輪作」のシートにパラメータの確率的変動を加えて

試算しています。乱数を用いて指定した範囲でパラメータの値を決定するので、再計算する度に異なる出力が得られます（図1はその出力結果の一例です）。緑色のセルに確率変動を加味した計算式が入っています。田畑共通（不確実性）、麦総合防除（不確実性）、米麦二毛作（不確実性）「水田輪作（不確実性）」と同じです。

3. モデルの仮定とパラメータに関する解説

入力パラメータは年間の実際の事象順に上から下に配列しています（表1）。

「水田輪作」のシートを例に説明します。

1) 初期の埋土種子

m²あたりの種子密度を入力します。便宜的に「出芽可能層」「出芽不可能層」としています。例えば、雑草の侵入初期に地表面のみに種子が存在する場合、「出芽可能層」=1000、などとするのが入門的な使い方です。

雑草の種類によって、出芽可能深度は異なります。一般的に、種子サイズが大きいほど出芽可能深度は深くなります。「可能層」

「不可能層」が具体的に何cm以上、以下なのかは草種によって異なります。10cm以上、以下と想定すれば、ほとんどの草種にあて

はまります。ただしこれは、耕起による土中垂直分布の変化（後述）を考えると不都合が生じます。また、地表面近くの種子の挙動や運命がそれより深い位置の種子とは大きく異なることも考慮に入れるべきでしょう。深度別の出芽割合や、土壌の硬軟によるその変化に関する定量的なデータも蓄積され、「出芽可能層」ではなく、「0-1cm」「1-5cm」「5-10cm」「10-20cm」といった区切りでデータの解析や試算をすることが望ましいことです。便宜的に、としたのはそういう意味です。

2) 耕起による種子の垂直移動率

耕起によって種子の土中垂直分布が変化する確率です。初期設定ではMossら(1992)のデータを引用した値を入れています。「浅い層 深い層」=0.2というのは、耕起によって層（出芽可能層）の種子の2割が深い層（出芽不可能層）に移動し、8割はそのまま浅い層に残ることを意味します。また、「深い層 浅い層」=0.05というのは、深い層の種子の5%が浅い層に移動し、95%は深い層に残ることを示します。これは通常のロータリー耕を想定した値です。プラウ耕や他の耕起作業では異なる値になります。プラウ耕の場合、「浅い層 深い層」=0.95、「深い層 浅い層」=0.35というデータがあります。

表1. 水田輪作の雑草動態モデルに必要な入力パラメータ*

| | | | |
|----------------------------|---------|--------|---------|
| 初期の埋土種子 (/m ²) | 出芽可能層 | 1000 | |
| | 出芽不可能層 | 0 | |
| 耕起による種子の垂直移動率 | 浅い層→深い層 | 0.2 | |
| | 深い層→浅い層 | 0.05 | |
| 代掻きによる種子の垂直移動 | 浅い層→深い層 | 0.2 | 荒代 本代 |
| | 深い層→浅い層 | 0.6 | 0.1 0.7 |
| | | | 大豆期 水稻期 |
| 出芽1. 作物播種前 | 出芽率 | 0.02 | 0.02 |
| 出芽2. 土壌処理剤効果持続期間内 | 出芽率 | 0.15 | 0 |
| 出芽3. 土壌処理剤の効果消失後 | 出芽率 | 0.03 | 0 |
| 播種前の耕起/非選択性除草剤による死滅率 | | | 1.00 |
| | 播種後出芽前 | | 生育期 |
| 除草剤の効果 | | 0.99 | 0.8 |
| 出芽3の生育途中の枯死率 | | | 0.2 |
| 種子生産量 | 出芽1 | 出芽2 | 出芽3 |
| 個体あたり最大種子生産量 | 2000 | 1500 | 500 |
| m ² あたりの最大種子生産量 | 200000 | 100000 | 10000 |
| 種子食害率 | | | 0.02 |
| 年内の出芽率 | | | 0.01 |
| | | 大豆期 | 水稻期 |
| 土中の種子死滅率 | | 0.2 | 0.3 |

* 下線はオオイヌタデを想定した数値例、
種子数（斜体字）以外はすべて0~1の値をとる。

3) 代掻きによる種子の垂直移動率

代掻きによって種子の土中垂直分布が変化する確率です。この実測データはまだほとんど得られていません。そのため、“もっともらしい” 数値を初期値として入れています。

“もっともらしい” の前提は、

雑草種子は土粒より比重が軽いため、代掻き後はより表層への分布率が高まる

水深が深い、丁寧な代掻きほど時間をかけて沈降すると考えられるので、荒代よりも本代作業の方が表層への分布率が高い

比重が関係しない畑条件での耕起作業よりも表層に集まる率が高い

という点を考慮した仮の数値です。

現在のモデルでは、ある程度の範囲でこの数値を変化させても、動態に大きな影響を及ぼすことは確認されていません。また、代掻き以外でも、機械除草などで湛水期に土壌を攪拌した場合、作業後に表層に雑草種子が集中すると予想されます。コナギではそれがその後の動態に影響があると考えられます。

4) 出芽率

埋土種子から出芽する種子の割合です。0.2 であれば、出芽可能層の種子のうち 20% がその年に出芽することを示します。このセルは計算式には引用されていないので、どんな値を入れても、結果に反映されません。本モデルでは、出芽時期別に幼植物の繁殖成功が異なると仮定し、出芽時期を以下の 3 つに分割しています。

作物播種前 (出芽 1)

土壌処理剤効果持続期間内 (出芽 2)

土壌処理剤効果切れ後 (出芽 3)

ムギ作雑草カラスムギを例に取ってみましょう (図 2)。

シートの「大豆」のセルでは、出芽 1 = 0.02、出芽 2 = 0.15、出芽 3 = 0.03 と入力してあります。0.02 + 0.15 + 0.03 = 0.2 で、その年の総出芽率と一致します。土中の出芽可能種子のうち、2% が作物播種前に出芽し、15% が土壌処理剤の効果持続期間内、3% がその後に出芽すると仮定したものです。1、2、3 の配分を変えることで、草種ごとの、栽培体系ごとの出芽パターンの違いを表現することができます。たとえば、播種後 1 ヶ月間に出芽が集中する場合には 0.01、0.18、0.01 といった値になるでしょうし、出芽がだらつく場合には、0.02、0.10、0.08 といった値になるでしょう。「水稻」のセルでは、0.02、0、0 となっています。これは入水前に土中種子の 2% が出芽し、湛水後は出芽しないことを示します。

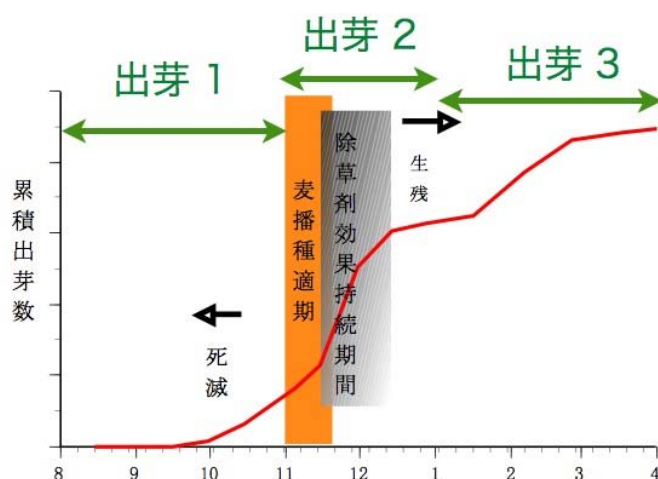


図 2. 麦圃場におけるカラスムギの出芽パターン例と耕種操作との関係。麦播種以前に出芽したカラスムギ幼植物は播種前の耕起作業等により死滅する。播種直後一定期間に出芽したカラスムギ幼植物は除草剤の効果によって死滅する。除草剤の効果持続期間後に出芽した幼植物は生残する。

5) 耕起/非選択性除草剤による死滅率

作物播種前に出芽した幼植物(出芽1)は通常、播種前の耕起作業や、その前の非選択性茎葉処理剤で防除します。このセルには1、つまり100%死滅・完全防除を仮定した数値を入れています。試しに1以下の数値(播種前出芽個体を取りこぼす)を入力してみてください。その後の密度が大幅に増加してしまいます。

6) 除草剤の効果

播種後出芽前の土壌処理剤と生育期の茎葉処理剤の効果をそれぞれ別に数値化していません。当該セルの0.99は土壌処理剤による99%枯殺を、0.8は茎葉処理剤による80%枯殺を示しています。“出芽2”集団は土壌処理剤と茎葉処理剤の両方の影響を受け、“出芽3”集団は茎葉処理剤の効果のみを受ける設定にしています。つまり、土壌処理剤の効果を受けて生残した1%の“出芽1”集団の80%が茎葉処理剤で死滅するという仮定です。

しかし、土壌処理剤の効果を受けなかった、出芽時期の早い個体は茎葉処理剤の適期には葉齢限界を超えている可能性もあります。その場合には、茎葉処理剤の効果の数値と体系処理の効果の前提を変えた計算式にする方がより現実に近い試算になるでしょう。

7) 途中の枯死

作物の庇陰や競合によって生育途中で枯死する“出芽3”個体の割合です。リビングマルチ条件での雑草動態を試算する場合、このパラメータが重要となります。

8) 種子生産量

雑草の出芽時期が早いほど、個体サイズが大きくなり、その結果、より多くの種子を生産します。しかし、一定面積内の生育量には限界があり、密度が高すぎると逆に個体あたりの種子生産量は減少します。面積あたりの個体数と種子生産量には下式のような関係が成り立つとされ、図3のようになります。

$$S_i = \frac{S_{\max i}}{1 + \frac{S_{\max i}}{A_{\max i}} d_i} d_i$$

S_i : 出芽 i 集団の種子生産数

$S_{\max i}$: 出芽 i 集団の個体あたり最大種子生産数

$A_{\max i}$: 出芽 i 集団の面積あたり最大種子生産数

d_i : 個体密度

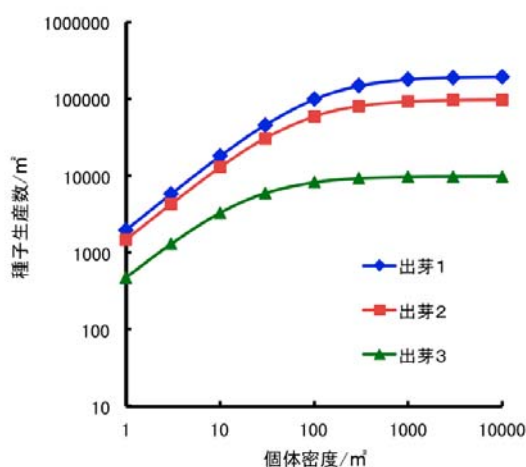


図3 個体密度と種子生産量、出芽時期との関係

9) 種子食害率

地表面に落ちた雑草の種子は、げっ歯類、鳥類、節足動物による食害によって減少します。食害の程度は季節や、不耕起期間、周辺環境によって異なると考えられます。夏秋期は節足動物による摂食圧が高く、降霜後、節足動物の活動が停止した冬春期には鳥類による摂食圧が高まると考えられます。種子食動物の繁殖地、居住地である農地周辺の草地面積が種子食者の密度を大きく左右するはずで、たとえば、周辺に採草地が存在する耕地や、畦畔面積比の高い農地、不耕起栽培を取り入れた輪作では摂食の影響が大きくなると考えられます。

「水田輪作」シートでは種子生産後（作物収穫後）に秋耕され、種子が土中に埋没されることを想定しているため、低い値(0.01)としています。秋耕をせずに冬期に不耕起状態で維持した場合、どんな環境で程度種子が減少するのは今後のデータ蓄積が必要です。

10) 年内の出芽率

生産された種子が越冬前に発芽し、枯死する割合です。これも初期値では低い値(0.01)としており、通常は無視してよいかもしれませんが。ただし、冬生一年生草種が夏までに発芽・出芽して種子生産に至る前に枯死することは珍しくありません。また、石灰窒素施用による休眠覚醒・出芽促進効果を評価する場合には必要なパラメータとなります。

11) 土中の種子死滅率

出芽しなかった種子が土中で何割死滅するかの値です。土壌環境や管理条件に変動がないならば、生存種子は指数関数的に減少し、その割合は草種ごとに異なるとされています。初期値では大豆期、水稻期ともに0.25としています。年に25%ずつ死亡する場合、1/100に減少するのに16年要することになります。

一般的にはイネ科の草種は死滅率が高く、種子サイズの小さい広葉草種（風散布型のキク科を除く）は死滅率が低いとされています。湛水土中で死亡率が高い草種では水稻期のセルにより高い値を入力します。さまざまなデータを入れて、経年変化の違いを確認してみましょう。従来言われてきた、“田畑輪換は理想的な耕種的防除”とか、“雑草種子は寿命が長い”ことがモデルでいかに動態として表現されるのか、確認してみましょう。

12) 不確実性

防除圧や種子の死滅率といった、ここまで用いてきたパラメータの値は毎年一定不変ではありません。ある分布幅で変動する確率変数ととらえるべきです（図4）。どのパラメータがどんな分布型を持つのか、というほどのデータは蓄積されていません。（不確実性）のシートでは、緑色の文字のセルで正規分布乱数を用いて毎回異なる値を発生させています。正規分布乱数を生成させるには標準偏差を指定する必要があり、この値は当該セルに隣接した下線の数値です。パラメータの値が0以下、1以上とならないような工夫を施す必要があります。経年変化の試算は、乱数によって生成された新たなパラメータの組合せごとに一定の範囲内の毎回異なる出力となります。したがって試算結果は、密度が1/10に低下する確率は % , という確率予報となります。

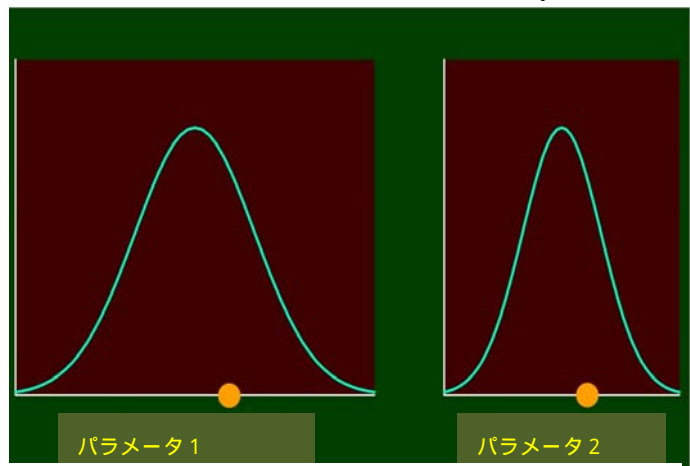


図4 パラメータとその変動幅の例
平均値を中心とした正規分布をする場合。

4. 留意点

データ入力と結果の解釈は雑草の生態と防除についてある程度基礎知識のある方がおこなってください（単に学習のため使用する場合を除きます）。利用上の注意はWebサイト <http://cse.naro.affrc.go.jp/masai/weedmodel.html> をご参照ください。

個体群動態モデルから防除への提言

不耕起播種による麦作雑草カズノコグサの防除

1. カズノコグサの埋土種子動態

カズノコグサがまん延する圃場では、麦収穫直後の埋土種子は約 20,000 粒あります。水田輪作体系の場合、夏作は水稲もしくは大豆が作付される場合が多く、それぞれが作付けされると次の麦作播種までに埋土種子は夏作が水稲の場合約 80%、大豆の場合約 95% が死滅します(表 1)。

種子生産量や埋土種子の死滅率などをパラメータとして動態モデルを作成すると、除草剤処理を土壌処理剤のみとし、その除草効果を 90% と仮定した場合、カズノコグサの埋土種子は夏作大豆の場合においても年々増加することがわかります(図 1)。

2. カズノコグサの埋土種子が減少する条件を探る

埋土種子動態モデルのパラメータのうち、増減に強い影響を与えるパラメータは播種前出芽個体の除草効果と播種後土壌処理剤の除草効果です。水稲跡では麦播種までにカズノコグサがすでに多く出芽しており、それらの個体を十分に防除しないと埋土種子は減らないことを示唆しています。また、カズノコグサは麦播種後 40 日以内に約 80% が出芽し(図 2)栽培初期に出芽したものの種子生産量が多い(図 3)ため、播種後土壌

表1 カズノコグサの埋土種子動態

| 調査時期 | 埋土種子数(粒/m ²) | |
|---------------|--------------------------|------------------|
| | 夏作水稲圃場 | 夏作大豆圃場 |
| 夏作前(6月5日) | 22160 | 26660 |
| 夏作収穫後(10月29日) | 12400 ± 3525 (56) | 3800 ± 3511 (14) |
| 小麦播種前(11月18日) | 6000 ± 2291 (27) | 3100 ± 3647 (12) |
| 小麦播種後(11月20日) | 4100 ± 962 (19) | 1400 ± 742 (5) |

夏作前の値は表面散布種子数と前年度から持ち越し埋土種子数の合計値
値は表層10cmの平均値土標準偏差、括弧内は夏作前に対する割合(%)

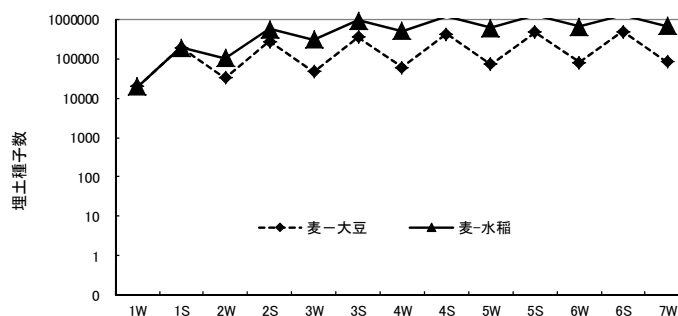


図 1 カズノコグサの埋土種子動態モデル

埋土種子数は表層 10cm、1 m²あたりの種子数

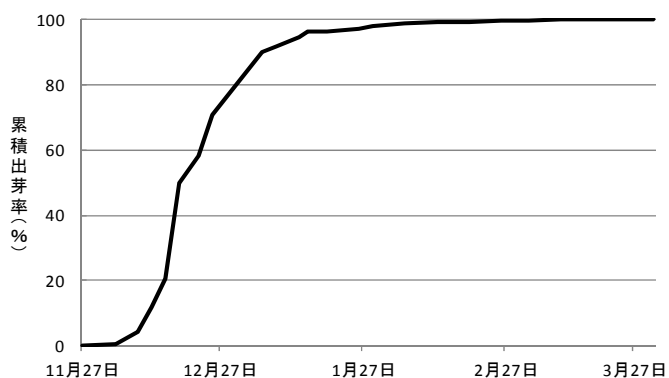


図 2 カズノコグサの出芽パターン

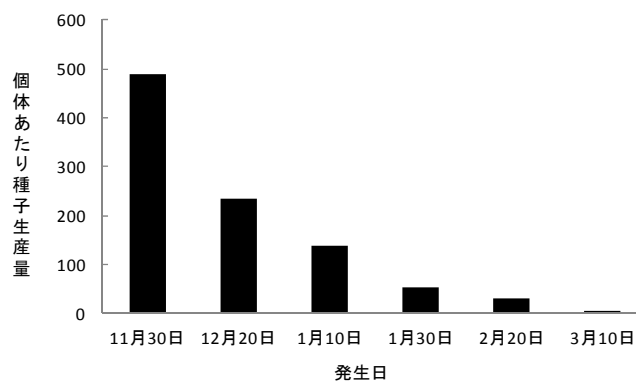


図 3 出芽時期の異なるカズノコグサの種子生産量

処理剤による初期除草が重要です。しかし、カズノコグサは出芽深度が比較的深く、生長点も深い位置にあることなどから、土壌処理剤の効果不安定になりがちです。播種後 40 日程度で残草が多い場合には、カズノコグサ 2 葉期ぐらいの時期にチフェンスルフロンメチル剤を処理することが有効です。完全枯死はほとんどしませんが、強い生育抑制によって種子生産量を減らすことが可能です。

播種前既発雑草を完全に防除し、土壌処理剤とチフェンスルフロンメチルを体系処理した場合には、夏作に大豆を栽培した場合にはカズノコグサの埋土種子は減少しますが、水稻の場合には増加します(図 4)。

除草剤以外の耕種的方法として、播種時期を遅らせることが挙げられます。九州北部の慣行的な播種時期である 11 月 20 日前後から、12 月 5 日前後に播種時期を遅らせ、播種前既発雑草を完全に防除し、除草剤を体系処理すると水稻との輪作でもカズノコグサの埋土種子は漸減すると試算されます(図 5)。

3. 不耕起播種による発生量低減の可能性

さらに耕種的に発生量を低減する方法として不耕起播種が挙げられます。スズメノテッポウでは不耕起播種によって発生量を大幅に減らすことができると言われており、似たような出芽を示すカズノコグサにおいても発生量の低減が期待されます。ポット試験の結果では、表層に近い種子ほど早く発芽する傾向にあります(表 2)。

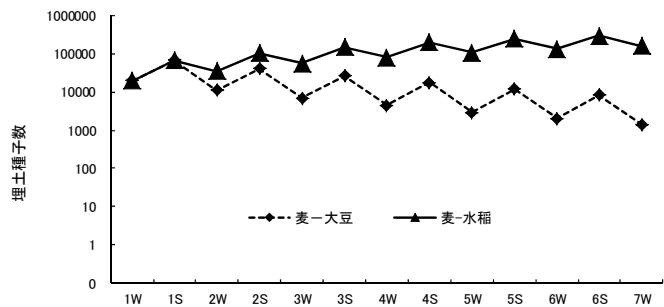


図 4 播種前既発雑草を完全に防除し、チフェンスルフロンメチルを体系処理した場合のカズノコグサの埋土種子動態モデル

埋土種子数は表層 10cm、1 m²あたりの種子数

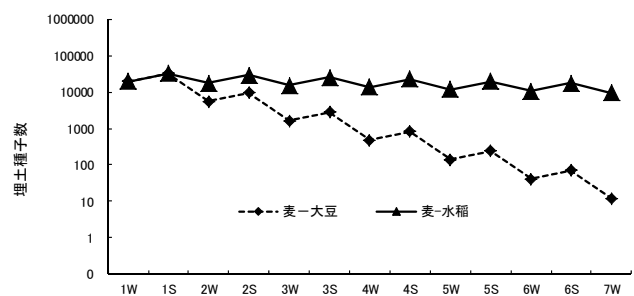


図 5 播種時期を遅らせて、播種前既発雑草を完全に防除し、チフェンスルフロンメチルを体系処理した場合のカズノコグサの埋土種子動態モデル

埋土種子数は表層 10cm、1 m²あたりの種子数

表 2 カズノコグサの 度別埋土種子の生存率(ット試)

| | 10月13日 | 11月25日 |
|------|--------|--------|
| 0cm | 1.3 | 0 |
| 2cm | 2.9 | 0.7 |
| 4cm | 13.8 | 0 |
| 6cm | 24.9 | 0 |
| 8cm | 37.0 | 0 |
| 10cm | 32.2 | 0 |

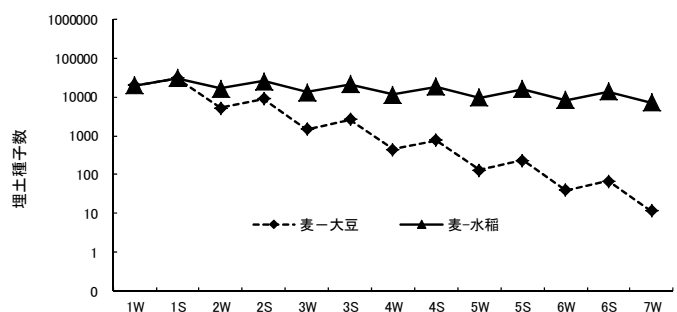


図 6 播種時期を遅らせて、不耕起播種し、非選択性除草剤と土壌処理剤を同時処理した場合のカズノコグサの埋土種子動態モデル

埋土種子数は表層 10cm、1 m²あたりの種子数

したがって、表層にある種子が発芽してから、既発雑草を非選択性除草剤で防除し、不耕起播種することで発生量を大幅に低減できると考えられます。ただし、播種時期が早かったり、非選択性除草剤の処理と播種後土壌処理剤の処理間隔が空いてしまうと、その間に出芽したカズノコグサの防除は困難になるので、播種後麦出芽前に両者を同時処理することが必要です。そうした場合には、チフェンスルフロンメチルを体系処理しなくても埋土種子は減っていくことが動態モデルからわかります（図6）。不耕起播種については、播種機や使用除草剤の選定など検討すべき事項はありますが、有望な技術であると考えられます。

個体群動態モデルから防除への提言

水田周辺の管理によりクサネムの増加を防ぐ

1. 暖地水田作におけるクサネムの埋土種子動態

近年、暖地では直播栽培や田畑輪換が導入された水田を中心に田畑共通雑草であるクサネムが問題となってきています。クサネムは水稲作、大豆作双方で発生するため、それぞれの栽培でクサネムの種子生産量を抑制して、埋土種子数の低減を図る必要があります。

暖地では、クサネムは夏作開始前の5月から7月頃の地温の上昇と土壤の乾燥により、一部の種子の休眠が覚醒し、出芽するため、夏作開始時の埋土種子数は減少します。夏作開始時の生存種子の割合は、種子が強い乾燥に曝される土壤表面や麦収穫後、長期期間乾燥に曝される大豆作で大きく低下します(図1)。夏作開始前に出芽した個体は、夏作開始時の耕起・代かきにより死滅します。また、クサネムは水田畦畔際や水田内の作物を作付けしない休耕部分などの水田周辺にも多く発生します。中干し期にあたる8月以降に水田周辺で発生したクサネムは、草高は低くとも、大量の種子を生産します(図2左)。

したがって、本田内だけ防除しても、水田周辺の防除を行わないとクサネムの埋土種子数は増加すると予想されます。

2. 個体群動態モデルからクサネムの埋土種子が減少する条件を探る

そこで、水田周辺の管理方法も考慮した個体群動態モデルを用いて、さまざまな作付体系でクサネム埋土種子数の増減を試算しました。試算からは、前年秋に結実・落下した種子が冬春季に土壤表面に放置される「水稲連作(秋耕なし)」の作付体系のみクサネムの埋土種子数が減少する結果となりました(図3)。

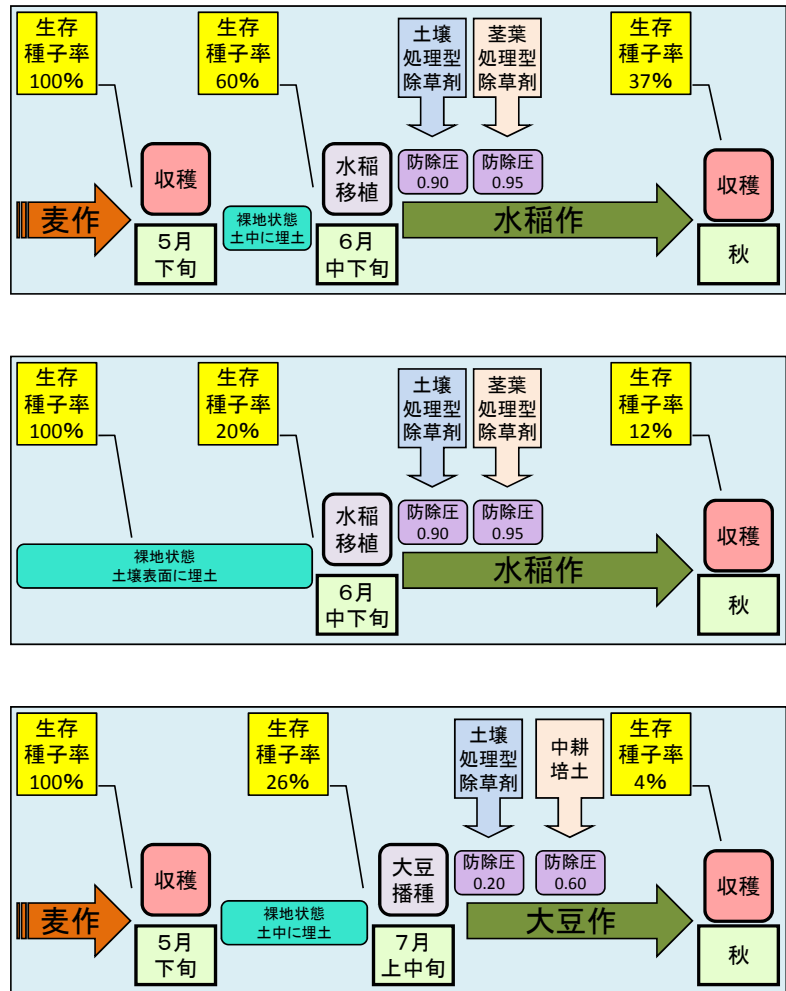


図1 暖地水田作におけるクサネム種子の動態と防除体系
 上:水稲作 中:水稲作(秋耕なし) 下:大豆作
 麦収穫前後から裸地状態の期間に休眠覚醒が進行する。

このモデルでは、大豆作における土壌処理型除草剤による防除圧を 0.20、中耕培土による防除圧を 0.60、水稲作における土壌処理型除草剤による防除圧を 0.90、茎葉処理型除草剤による防除圧を 0.95、水田周辺の防除圧は夏作開始約 30-40 日間を 1.0 (完全防除)、それ以降を 0.0 (放任) としています (図 1)。

クサネムの種子生産量は、水稲移植および大豆播種約 30 日後に出芽した個体では、それぞれ 13.3 個 / 個体 (未熟種子を含む。3 ヶ年の平均値。成熟種子生産量は 4.5 個 / 個体。)、0.5 個 / 個体 (未熟種子を含む。2 ヶ年の平均値。成熟種子生産量は 0.04 個 / 個体。) とごく少量となります (図 2)。そこで、夏作開始から 30 日間、本田内を完全に防除した場合で試算すると、水田周辺のクサネムを夏作開始約 30-40 日間まで完全防除、それ以降は放任とした場合には、埋土種子数が減少するのは「水稲連作 (秋耕なし)」の作付体系のみです (図 3)。それに対して、作付け期間を通して水田周辺のクサネムを完全に防除すると、すべての作付体系で埋土種子数は減少すると試算されました (図 4)。

3. 水田周辺の管理が重要

したがって、クサネムの埋土種子数を減少させる雑草管理としては、水田畦畔際や水田内の作物を作付けしない休耕部分などの水田周辺の管理を作付け期間を通して完全に防除することがきわめて重要であることがモデルから提示されました。また、いずれの試算でも「水稲連作 (秋耕なし)」は、埋土種子数を減少させる作付体系でした。暖地水田作では、二毛作が前提ですが、クサネムによる被害が甚大な水田では、麦作を休止し、冬季を休閑として秋耕を行わない水稲普通期栽培を数年間継続することも埋土種子数を減少させる管理法として有効であることが試算結果から示唆されます。

今回使用したクサネムの個体群動態モデル用のパラメータは、現地実証を行っていないので、その妥当性については今後さらに検討していく必要があります。

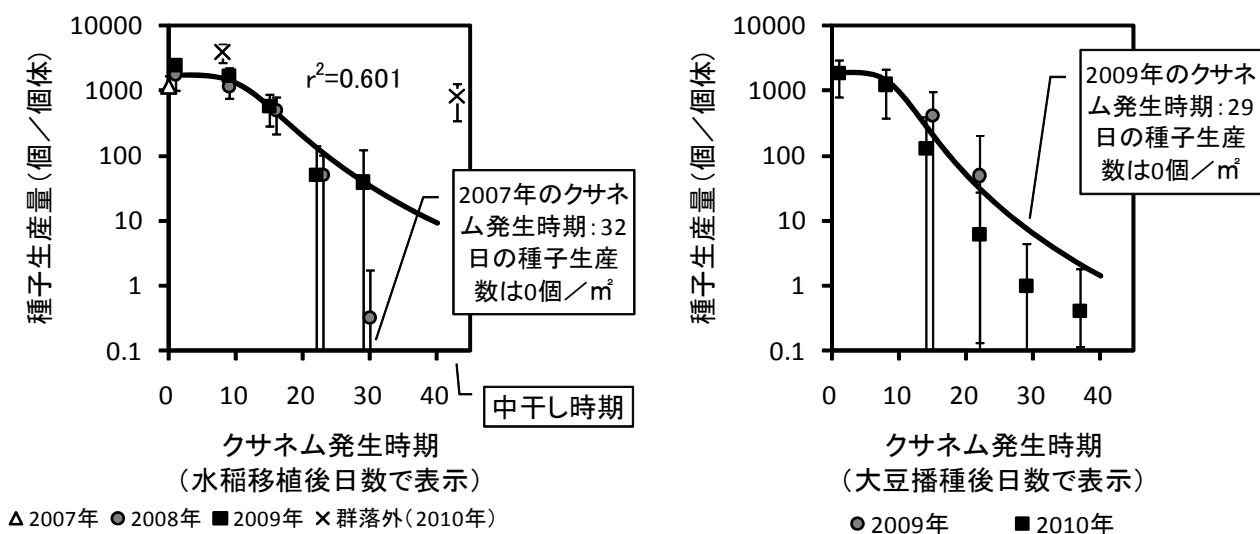


図2 暖地の水稲普通期栽培および大豆栽培におけるクサネムの種子生産量

- 1) 未熟種子も種子生産量に含めた。
- 2) 縦棒は、標準偏差を示す。
- 3) 水稲(品種:ヒノヒカリ)は6月19-23日に移植、大豆(品種:フクユタカ)は7月6-7日に播種した。

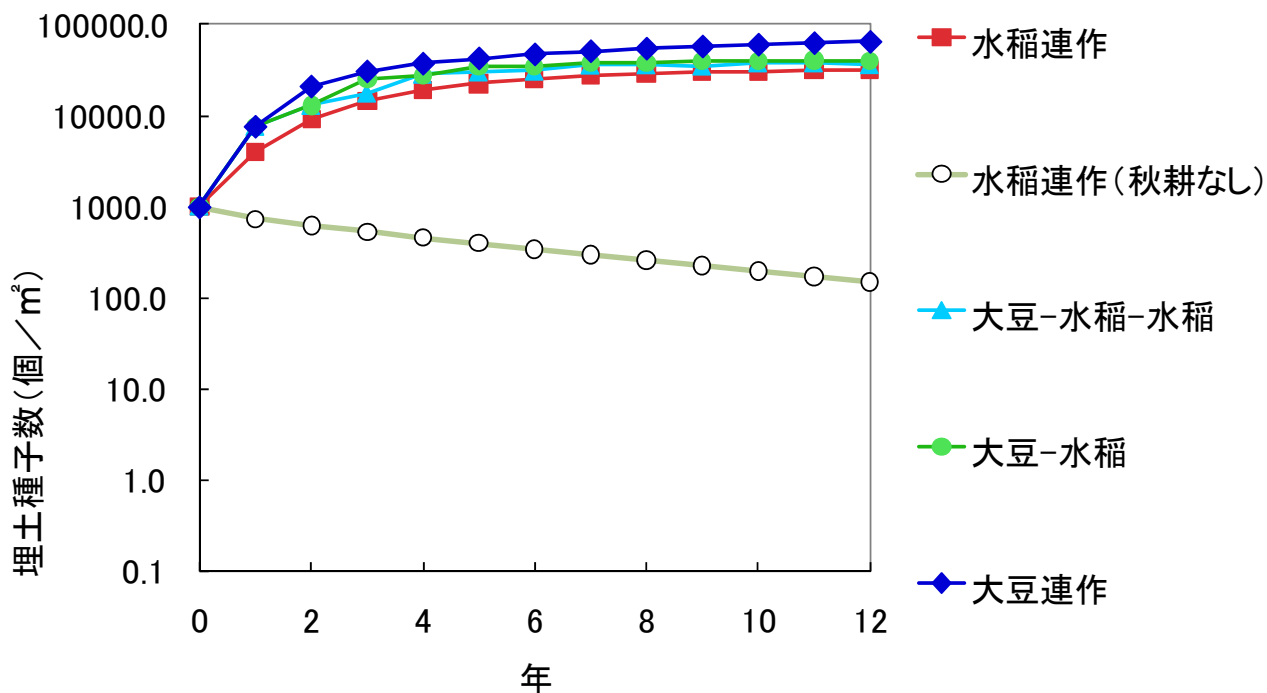


図3 個体群動態モデルのシミュレーション結果

(防除圧は、水稲作では土壌処理型除草剤で『0.90』, 茎葉処理型除草剤で『0.95』, 大豆作では土壌処理型除草剤で『0.20』, 中耕培土で『0.60』とし、水田周辺部は中干し期まで完全に防除した場合)

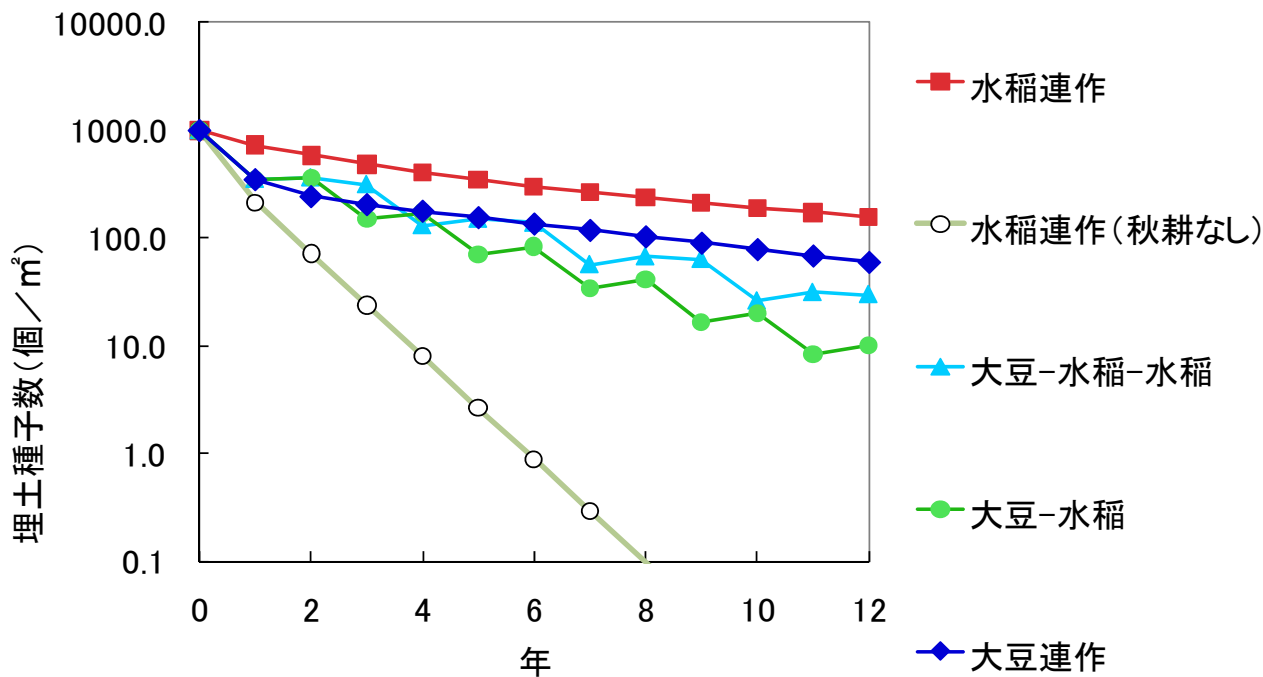


図4 個体群動態モデルのシミュレーション結果

(本田内は夏作開始から30日間、水田周辺部は作付け期間を通じて完全に防除した場合)

執筆者一覧

第一部

- (1) 夏季石灰窒素・小麦晩播不耕起栽培でネズミムギの被害を軽減する
静岡県農林技術研究所 石田義樹
中央農業総合研究センター 浅井元朗
- (2) 大豆作でのリビングマルチ栽培により除草剤使用を削減する
東北農業研究センター 小林浩幸・好野奈美子・飛奈宏幸
- (3) 畦畔管理と収穫後の耕起により水稻乾田直播栽培でのイボクサを防除する
三重県農業研究所 中山幸則
中央農業総合研究センター 川名義明
日本植物調節剤研究協会 林 伸英・金久保秀輝

第二部

- (1) 大豆不作付け期間の不耕起・短期湛水により雑草の発生を抑制する
宮城県古川農業試験場 辻本淳一・三上綾子
- (2) 不作付け期間に湛水やカバークロープを利用して畑雑草の埋土種子を低らす
中央農業総合研究センター 三浦重典・中谷敬子・澁谷知子
- (3) 中期湛水管理により水稻湛水直播栽培の雑草被害を軽減する
福井県農業試験場 見延敏幸・和田陽介
- (4) 大豆作、麦作用のハイブリッド除草機で除草剤使用量を削減する
東北農業研究センター 天羽弘一

第三部

- (1) 総合的雑草管理の経済性評価 — 個体群動態を活用した収益の計算 —
中央農業総合研究センター 林 清忠
- (2) 埋土種子の許容限界
東北農業研究センター 小林浩幸
- (3) 雑草種子の増減に關与する種子食昆虫
東北農業研究センター 山下伸夫
- (4) 雑草の個体群動態を予測するモデル
中央農業総合研究センター 浅井元朗
個体群動態モデルから防除への提言
 - ①不耕起播種による麦作雑草カズノコグサの防除
九州沖縄農業研究センター 大段秀記
 - ②水田周辺の管理によりクサネムの増加を防ぐ
九州沖縄農業研究センター 小荒井晃

総合的雑草管理 (IWM) マニュアル

2011年4月30日 初版第1刷

編集・発行 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター

〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1

電話 029-838-8481

印刷・製本 株式会社 川又感光社

〒305-8666 茨城県つくば市東新井 8-14

電話 029-851-2221
