

水稲湛水直播栽培における石灰窒素の秋施用と不耕起越冬による漏生イネ防除対策

宮城県古川農業試験場 作物栽培部 水稲チーム 副主任研究員 博士（農学） 大川茂範

水稲直播栽培の拡大と漏生イネの問題

宮城県においては、近年水稲直播栽培への取り組みが拡大しており、2018年の実績は水稲作付面積の4.1%にあたる3,089haにのぼる。その背景には、2011年の東日本大震災からの復旧事業に伴い、大区画圃場の整備や営農組織の再編と大規模化が進む中で、大区画圃場に適した乾田直播栽培体系、鉄コーティングやべんがらモリブデンコーティング等の新たな湛水直播栽培技術の開発と普及、そして直播栽培でも薬害を心配せずに使用できる除草剤等の各種農薬・資材の開発と農薬登録の拡大があり、技術革新により省力・低コスト化を実現した大きな成果といえる。

しかしながら一方で、直播栽培は播種されたイネ種子の出芽苗立ちに適した圃場環境を整えることが基本であるため、意図せず前作収穫時に圃場に落下した種子（こぼれ糶）に由来するイネの実生、すなわち“漏生イネ”の発生も助長される栽培法であることに注意しなければならない。直播栽培では、耐倒伏性の高い品種が推奨されるため、取り組み初年目には前作と異なる品種を作付けすることも多く、また、直播栽培を継続する中では前作と異なる品種を作付けせざるを得ない事情が生じることもある。このような場合は、特に漏生イネの発生による収穫物への前年作付品種の玄米が混入するリスクに注意する必要がある。異品種混入を引き起こす漏生イネの問題は、産地ブランドの信頼性に関わることから、これまであまり表立って議論されておらず、現地での発生実態も把握されていないのが現状である。しかし、直播栽培取り組みの推進と産地としての品種・品質管理の徹底を両立させるうえでは、その対策は避けられない課題である。

漏生イネへの技術的な対策としては、採種事業において古くから実践されてきた、プレチラクロール剤の移植直後の散布や出穂期における徹底した異株の抜き取りが一般的である。2000年代には、新たな飼料イネ専用品種の導入支援の一環として、専用品種導入後、復元田での漏生イネへの対策も同時に考える必要があるという認識

の下、収穫後の不耕起・耕起や石灰窒素の秋施用といった不作付け期間の防除管理についても検討されてきた（大平ら・2008、辻本、大川・2008、大川、辻本・2008、2009、大平、佐々木・2010）。

前者のうち、作期内における有効な初期除草剤による対策は、移植栽培を前提としたものであり、農薬登録上も直播栽培には適用できない。一方で後者の対策、前作収穫後から翌年作付前までの作付期間外の対策は、直播栽培にも適用できる可能性がある。そこで、寒冷地における作付け期間外の漏生イネ対策技術として有効とされる「不耕起越冬」と「石灰窒素の秋施用」を組み合わせた場合の直播栽培での効果を検証することとした。

紫イネを用いた場内モデル試験

2016～2018年に行った古川農業試験場内の圃場（灰色低地土）において、紫イネ（茎葉が紫色で栽培品種と明確に見分けることが可能）をこぼれ糶のモデルとして用い、イネ収穫後の圃場にその糶を撒き、その後に石灰窒素の施用と各耕起処理を組み合わせ、翌年の漏生イネ（紫イネ）の発生量を評価した。

水稲収穫後、こぼれ糶が落ちた圃場を耕起せず、概ね11月中旬に石灰窒素を50kg/10 a施用し、そのまま越冬さ

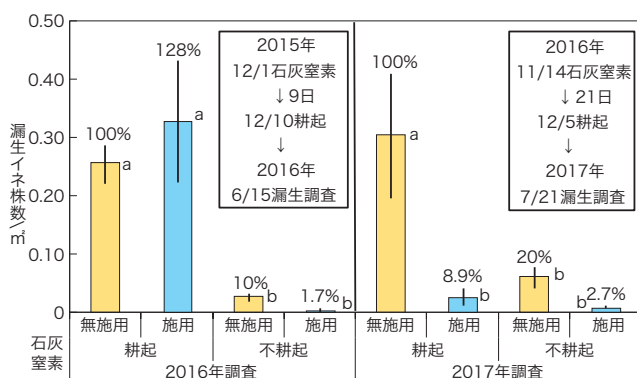


図1 漏生イネ発生におよぼす石灰窒素施用と不耕起越冬の影響（場内試験）

前年の水稲収穫後に稲わらを除いた圃場に紫イネ種子700～1,200粒/m²をこぼれ糶に見立てて施用後、各対策を施した。翌年5月初頭に春耕、中旬に代かき・鉄コーティング「ひとめぼれ」種子を播種し、以後、慣行管理とした。その後、圃場内に発生した紫イネを漏生イネとして調査した。値は平均値で、数値は各年の耕起・石灰窒素無施用を100とした相対値、バーは標準誤差、異なるアルファベットは5%水準で有意差があることを示す（Tukey法、n=3～6）。

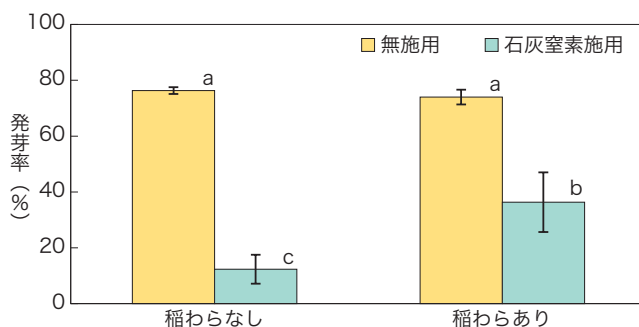


図2 石灰窒素施用によるこぼれ粕の発芽抑制効果と稲わらの影響 (場内試験)

2017年11月16日、試験場内の水稻収穫後の圃場に、紫イネ種子をこぼれ粕として播種し、翌日石灰窒素(50kg/10a)を施用、耕起せずに24日後に紫イネの粕を回収し、25℃明条件28日間の発芽率を調査した。値は平均値でバーは標準誤差、異なるアルファベット間には5%水準で有意な差があることを示す(角変換後のTukey法、n=3)。

せることで、翌作の水稻湛水直播栽培における漏生イネの発生が慣行管理(石灰窒素無施用・秋耕実施)の1.7~2.7%まで抑制された(図1)。不耕起状態で越冬するだけでも慣行対比10~20%まで漏生イネの発生を抑制できたが、石灰窒素を組み合わせることで防除効果が向上した(図1)。一方、石灰窒素の施用後に耕起した場合であっても、慣行対比8.9%まで漏生イネの発生を抑制できたが(図1右)、施用から耕起までの期間が短い場合(図1左)や、石灰窒素の施用時に稲わらが圃場に残っている場合(図2)には防除効果が低下した。すなわち、施用した石灰窒素からシアナミドが生成し、こぼれ粕に作用して防除効果を発揮するためには、石灰窒素の施用後は一定の不耕起期間が必要であり、稲わらを除いたほうが効果は安定すること、石灰窒素の施用と不耕起越冬管理には相乗的な効果があることが示された。

なお、不耕起越冬による漏生イネの防除は、寒冷地向けの対策である。収穫後、越冬前の耕起を行わず、こぼれ粕が地表面にある状態で越冬させ、地表面の乾湿や凍結・融解を繰り返すことで種子の発芽能力を消失させる。地域によっては鳥類による摂食も期待でき、翌春までに生存種子を大きく減耗させることが可能である(古川農試・2014)。

一方、暖地では、収穫後のできるだけ早い時期にロータリ耕による耕起を行い、地表の種子を土中に埋め込み、土中で発芽に十分な湿度条件を保つことで、漏生イネ種子の発芽を促し、その後の冬季間の低温でこの芽生えを死滅させることが有効である(大平、佐々木・2015)。ただし、越冬前に効率よく発芽を促すためには、年内に日平均気温10℃以上の有効積算気温で100℃日以上十分な温度条件を確保する必要がある。

現地圃場における効果実証試験

宮城県内で12年前から水稻直播栽培に取り組み、経営

する11haの圃場全てで湛水直播栽培(鉄コーティング表面播種)を行っている生産者の管理圃場にて、石灰窒素の秋施用と不耕起越冬による漏生イネの防除効果について実証試験を行った。この生産者は、飼料用品種や糯品種等、多様な品種の栽培にも取り組んでいるため、品種の混入防止が重要な課題となっている。

鉄コーティングによる湛水直播栽培を続けている圃場22a×2筆について、それぞれ石灰窒素施用区(650m²)と無施用区(1,550m²)を設け、一方の圃場は慣行どおり秋耕を行い、もう一方は不耕起で越冬する圃場とした。なお、実証圃場は灰色低地土に分類される埴壤土である。両圃場とも2017年は飼料用米として「ふくひびき」を湛水直播栽培して10月上旬に収穫、圃場が乾燥するのを待ち11月12日にわら上げを行った。11月13日に石灰窒素施用区に粒状石灰窒素(シアナミド態窒素成分20%)を50kg/10aずつ、ライムソーワにて施用した。その21日後(12月4日)、一方の圃場はロータリで慣行どおり耕起した。もう一方の圃場は耕起せず、そのまま越冬させた(不耕起)。なお、各作業時間を計測したところ、石灰窒素の散布作業に32分/10a(タンクからの吐出量が少なく往復散布したため、やや時間を要した)、ロータリ耕に26分/10aを要した。

前作の「ふくひびき」は、当年作の「げんきまる」よりも早生の品種であることから、播種したイネの条間に発生した株、あるいは出穂が播種条の株よりも極端に早い株を漏生イネとして調査した。水稻収穫後の石灰窒素施用による漏生イネの抑制効果は両圃場で認められ、早期出穂株を漏生イネとみなした場合には、無施用の26~44%まで発生が抑制された(図3)。

一方、秋耕を実施せずに不耕起で越冬した場合、漏生イネの抑制効果は認められなかった。これは、前作の秋に降雨が続き圃場が乾かなかったために、収穫時のコン

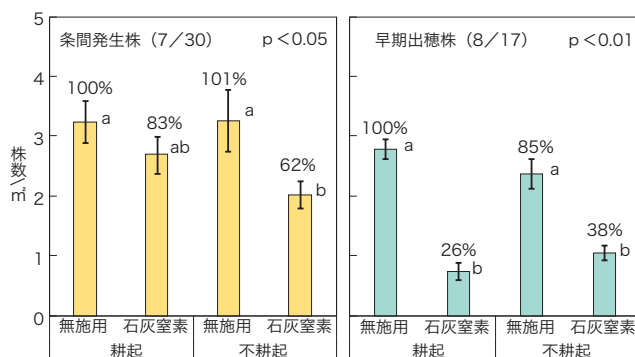


図3 漏生イネ発生におよぼす石灰窒素施用と不耕起越冬の影響 (2018年現地試験)

2017年11月に各対策を施し、翌春4月に耕起・代かき後、鉄コーティング「げんきまる」を条間30cmで表面播種し慣行管理とした。漏生イネ発生量の指標として、条間に発生したイネの株数(左図)と「げんきまる」の出穂前早期に出穂したイネの株数(右図)を調査した。値は8~16調査域の平均値で、バーは標準誤差、数字は相対値(%)、異なるアルファベット間には1%または5%の水準(p)で有意な差があることを示す(Tukey-Kramer法)。

パインの走行や稲わら収集時のトラクタの走行により、不耕起を想定した圃場の土壌表面が大きく攪乱され、こぼれ糞の多くが土中に埋没したためと考えられた。

石灰窒素に由来する可給態窒素による基肥代替効果

試験場内のモデル試験、現地実証試験ともに、石灰窒素50kg/10aを越冬前に施用することで、翌春の土壌アンモニア態窒素が4kgN/10aほど増加していた(図4)。

試験場内のモデル試験では、「ひとめぼれ」の鉄コーティング直播栽培において、慣行基肥量で直播栽培を行うと水稻の生育が過剰となり、より倒伏しやすくなった。そのため、基肥を無施用とするか2kgN/10a以上減量することで、過剰な生育と倒伏が軽減され、安定した収量を確保できた(図5)。

現地実証試験では、生産者によると「もともと地力が

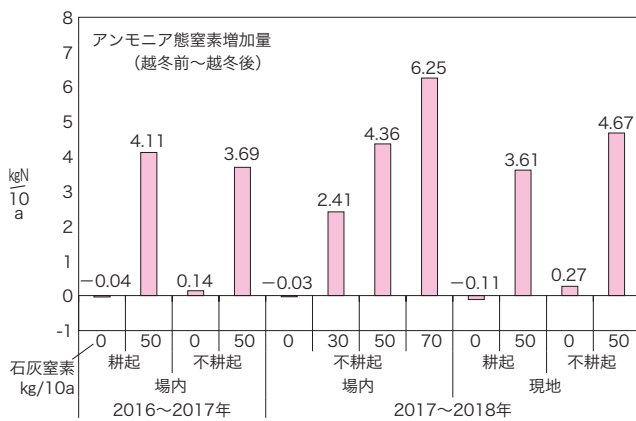


図4 石灰窒素施用による土壌アンモニア態窒素量の変化 (2016~2018年)

各試験において水稻収穫後の石灰窒素施用前と越冬後の春耕前に圃場の土壌を採取した。採取土壌は風乾後、10%塩化カリウム溶液で抽出されるアンモニア態窒素量を測定し、越冬前後での増加量を求めた。値は各試験区内5カ所より採取し混合した土壌の分析値をもとに、作土深10cm相当の土壌を100kg/m²と仮定した場合の換算値を示す。

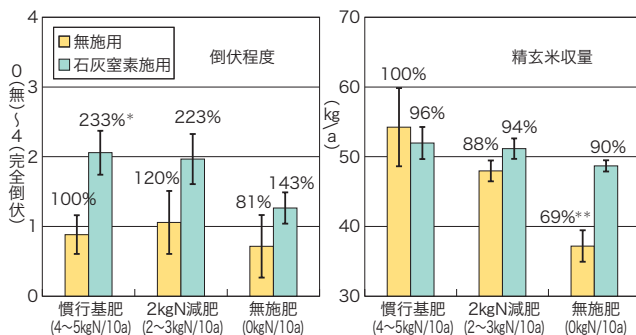


図5 石灰窒素施用と基肥減量が倒伏程度と玄米収量におよぼす影響 (場内試験)

2015・2017年の水稻収穫後に石灰窒素50kg/10aを施用し、不耕起状態で越冬後、「ひとめぼれ」の鉄コーティング水稻直播栽培を行った。播種時に側条施用する基肥(緩効成分入一発型肥料)を、2016年は0、3、5kgN/10a、2018年は0、2、4kgN/10aとし、以降、慣行管理とした。倒伏程度は出穂後33日以降に0：倒伏なし～4：完全倒伏の5段階で評価した。精玄米収量は篩目1.9mm、水分15%換算とした値。数字は慣行基肥無施用を100とした相対値、バーは標準誤差、*および**はそれぞれ5%および1%水準で慣行基肥無施用に対して有意な差があることを示す(Dunnett法、n=6)。

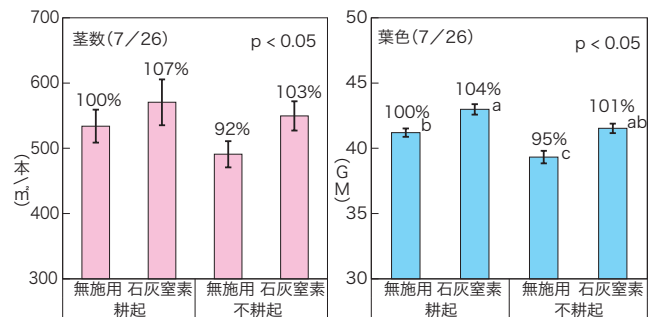


図6 石灰窒素施用および耕起法の違いによる水稻生育の変化 (2018年現地試験)

圃場管理と試験区の内容については図3の脚注のとおり。葉色は主茎完全開葉以下2枚目を葉色計(SPAD-502Plus、コニカミノルタ)で測定した値。値は3地点の平均値で、バーは標準誤差、異なるアルファベット間には5%水準で有意な差があることを示す(Tukey法)。

低い圃場で倒伏の心配もあまりない」とのことから、基肥の減量が行わなかった。実際に問題となる程度の倒伏はなかったが、作付水稻「げんきまる」の生育への影響をみると、茎数・葉色が石灰窒素の施用により耕起・不耕起とも高まる傾向があり(図6)、これは石灰窒素に由来する窒素成分の肥効が発現していると考えられた。

収量や品質への影響をみると、「げんきまる」は耐倒伏性が高い品種で倒伏の助長はなく、収量構成要素への影響もなかったものの、石灰窒素の施用により玄米タンパク含量が高まる傾向が確認されたため(データ省略)、実際には一定の減肥が可能であったと考えられた。すなわち、現地実証試験でもおよそ4kgN/10a分の基肥を節減できると考えられる(図4)。

漏生イネ対策の掛かり増しコストの試算

現地実証試験の結果をもとに、本防除対策におけるコストを試算した。本技術を導入することで、慣行管理に対して掛かり増すのは石灰窒素の資材費(7,453円/10a)とその散布にかかる労力(32分/10a)である。不耕起を合わせることで、秋のロータリ耕にかかる労力(26分/10a)が軽減され、今回の試験では実施しなかったが、石灰窒素の持ち越し分の約4kgN/10aの基肥(3,897円/10a相当)を節減できるため、石灰窒素施用の掛かり増しは3,556円となる(表1)。本技術の導入により、以上の掛かり増しがあるものの、異株抜き取り作業の労力削減と玄米の異種穀粒混入による品質低下のリスクを低減させることができる。

生産者の評価

現地実証試験を担当頂いた生産者からは次の評価を得ている。

①漏生の問題は、糯品種から粳品種へ切り替える場合等にも重要である。現行の調製ラインには色彩選別機が組み込まれているので、白濁する糯米等も除くことができ

表1 漏生イネ防除対策の実証体系における掛かり増しコストの試算

	資材・作業	慣行		実証体系	
		耕起	石灰窒素+耕起	不耕起	石灰窒素+不耕起
経費	石灰窒素 ^{注1}	0円/10a	7,453円/10a	0円/10a	7,453円/10a
	基肥 ^{注2} (窒素成分)	6,819円/10a (7kgN/10a)	2,922円/10a (3kgN/10a)	6,819円/10a (7kgN/10a)	2,922円/10a (3kgN/10a)
	合計	6,819円/10a	10,375円/10a	6,819円/10a	10,375円/10a
	増加分	-	3,556円/10a	0円/10a	3,556円/10a
労働時間	石灰窒素施用	0分/10a	32分/10a	0分/10a	32分/10a
	ロータリ耕	26分/10a	26分/10a	0分/10a	0分/10a
	合計	26分/10a	58分/10a	0分/10a	32分/10a
	増加分	-	32分/10a	-26分/10a	6分/10a

注1：粒状石灰窒素の単価を2,981円/20kgとし、50kg/10a施用するものとして試算した。

注2：水稲直播コート（17-17-10：2,484円/15kg）を慣行では7kgN/10a相当を施用、石灰窒素を施用する場合は3kgN/10a相当に減肥するものとして試算した。

るが、これを別途色選にかけるとなると300円/30kg程度のコスト増になる。そのため、防除効果が高ければ、石灰窒素の施用による3,500円余は妥当な経費といえる。

②直播栽培では、有機物残渣のすき込みによる還元障害の防止や地力増進が必要と実感している。天候によっては意図せず不耕起のままの越冬となる場合もあるが、基本的には石灰窒素を施用したとしても耕起は行いたい。石灰窒素の施用による有機物残渣の腐熟促進効果にも期待している。

③現在は全て湛水直播であるが、今後は乾田直播にも取り組んでいきたい。乾田直播でも漏生イネは発生するだろうし、まだ当地域では確認していないが、将来的には雑草イネの発生にも警戒が必要であろう。それらへの対策技術としてより確実な防除技術の開発も期待している。



今回の現地実証試験は、地力が比較的低い圃場で行った。収量や品質に悪影響をおよぼすような結果ではなかったが、場内試験が示すように、例年イネが倒伏するような地力の高い圃場や耐倒伏性が高くない品種を用いて鉄コーティング表面播種を行う場合には、石灰窒素の施用により倒伏し、収量や品質が低下するリスクもある。作付け前に、地力に由来するものを含めた可給態窒素分析等の土壤診断を実施することで、圃場の特性をよく理解し、これに基づき基肥の減量を行う必要がある。また、前作のこぼれ粉が多量の場合には、本法のみで漏生イネを完全防除することは難しいため、手取り等、ほかの防除対策も併せて行う必要がある。状況によっては、移植栽培に切り替えて有効な除草剤による防除も検討すべきである。本技術は、あくまで、やむを得ず直播栽培で品種切り替えを行わざるを得ない場合の緊急的な対応措置

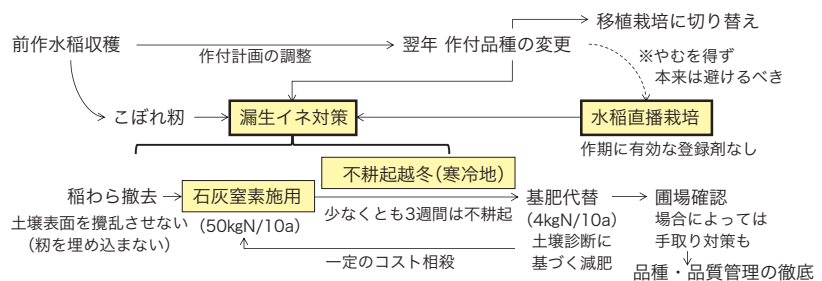


図7 水稲直播栽培における漏生イネ防除対策の考え方

として考えるべきである（図7）。

本研究は、農研機構 生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業（旧 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業）」28020C「水稲直播栽培における雑草イネ・漏生イネの防除体系の確立と実用化」の支援を得て行ったものである。

〈引用文献〉

- ・大平陽一、白土宏之、川名義明、伊藤景子、今須宏美、佐々木良治、2019、石灰窒素散布後の耕起時期が漏生イネの萌芽・苗立ちに及ぼす影響、日本作物学会紀事88（3）、168-175
- ・大平陽一、佐々木良治、2015、温暖地西部における飼料イネ種子の土中埋設時期が越冬後の発芽力に及ぼす影響、日本作物学会紀事84（4）、345-350
- ・大平陽一、2016石灰窒素の秋季施用による漏生イネの発生低減、石灰窒素だよりNo.150.10-12
- ・農研機構「雑草イネ・漏生イネ防除技術マニュアル」、https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/129066.html（2019年9月27日閲覧）
- ・農研機構「飼料用米の生産・給与技術マニュアル<2016年度版>」、https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/ricm2016.pdf（2019年9月27日閲覧）
- ・宮城県古川農業試験場、2009、寒冷地において飼料用稲収穫後の耕起は翌年の漏生イネの発生を助長する、東北農業研究成果情報、<http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H21/suitou/H21suitou019.html>（2019年9月27日閲覧）
- ・宮城県古川農業試験場、2014、飼料用稲収穫後の不耕起による漏生イネの抑制、普及に移す技術89参考資料6、https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/res_center/89sankoushiryou6.html（2019年9月27日閲覧）