

水稻湛水直播栽培における酸素発生剤種子被覆および播種前の代かきによる石灰窒素の出芽障害緩和

松島憲一^{*1)}・脇本賢三¹⁾・吉永悟志¹⁾・田坂幸平¹⁾・大森博昭²⁾

(¹⁾農業技術研究機構・²⁾電気化学工業株式会社)

要旨: 石灰窒素によるスクミリングガイ防除を組み入れた湛水直播栽培技術の確立に向けて、水稻種子への酸素発生剤被覆が石灰窒素による出芽障害に与える影響について、ポット試験による出芽試験、およびシャーレでの発芽試験により調査した。その結果、酸素発生剤を被覆した場合、石灰窒素散布土壤中に播種した種子の幼芽伸長が促進される傾向にあった。また、酸素発生剤を混合した石灰窒素溶液ではカルシウムシアナミド濃度が減少したことから、酸素発生剤は石灰窒素を分解する作用があることが解った。次に石灰窒素散布土壤の播種前の代かきの有無が出芽に与える影響をポットによる出芽試験で調査した。播種前の代かきにより湛水中のカルシウムシアナミド濃度が低下し、出芽障害が抑えられた。また、圃場条件下での出芽試験の結果、酸素発生剤被覆種子であっても窒素量 8 g/m² の石灰窒素散布土壤で出芽率の低下がみられた。以上の結果、石灰窒素によるスクミリングガイ防除を湛水直播栽培において実施する場合は、播種前に代かきを行う作業体系の播種法が適しており、スクミリングガイ防除と出芽障害回避の双方の視点から併せみて、窒素量 4 g/m² 程度の石灰窒素散布が適当であると結論された。

キーワード: 酸素発生剤, 代かき, 水稻湛水直播, スクミリングガイ, 石灰窒素, 葉害。

近年の米の輸入関税化措置や農業従事者の高齢化などの稲作をめぐる諸状況に対応して、稲作の大規模低コスト化・省力化のための直播栽培技術の開発・導入が国内各地で進められているところである。中でも湛水直播による水稻栽培面積は1996年から2000年までの5年間で70%の増加がみられる。九州などの温暖地域においても湛水直播栽培の導入が試みられているが、これら地域ではスクミリングガイ (*Pomacea canaliculata* (LAMARCK)) による食害が湛水直播栽培導入の妨げの一つになっている (和田ら1999)。スクミリングガイは水稻苗に対して食害を与え、特に湛水直播栽培ではイネが本田で出芽するため、出芽直後の軟弱な幼芽を食害されることから、その防除法の確立が同地域での湛水直播栽培面積拡大の鍵となっている。このスクミリングガイの防除法の一つとして石灰窒素の散布が有効とされているが (宮原ら1987)、散布された石灰窒素が水稻苗に対しても葉害を与えることから、実際的水稻栽培においてスクミリングガイ防除に石灰窒素が使われている事例は多くはない。

筆者らは前報 (松島ら2002) において、水稻種子を酸素発生剤 (商品名: カルパー粉粒剤16) で被覆すると、石灰窒素を散布した土壤中へ播種しても、種子の出芽に与える葉害 (最終出芽率の低下・出芽の遅延) が抑制されることを報告した。また、被覆種子の場合、石灰窒素の散布量が多いほど、出芽率が若干高まる傾向もみられた。これらの結果により、湛水直播栽培時に石灰窒素によるスクミリングガイ防除を適用できる可能性が見いだされ、九州等の暖地における湛水直播栽培の導入制限要因の排除に期待が持たれた。しかし、前報では、この出芽障害回避機構が、土壤との接触による石灰窒素の分解・無毒化によるもの、または酸素発生剤の被覆によるものであることは推測

されたが、それぞれの関与は明らかではなかった。

このため、本研究は湛水直播栽培における石灰窒素散布による出芽障害を軽減する要因と考えられる種子への酸素発生剤被覆および土壤による分解について、その関係を明らかにするとともに、実際的水稻湛水直播栽培において、石灰窒素によるスクミリングガイ防除を導入するにあたっての諸条件を検討することを目的として実施した。

材料と方法

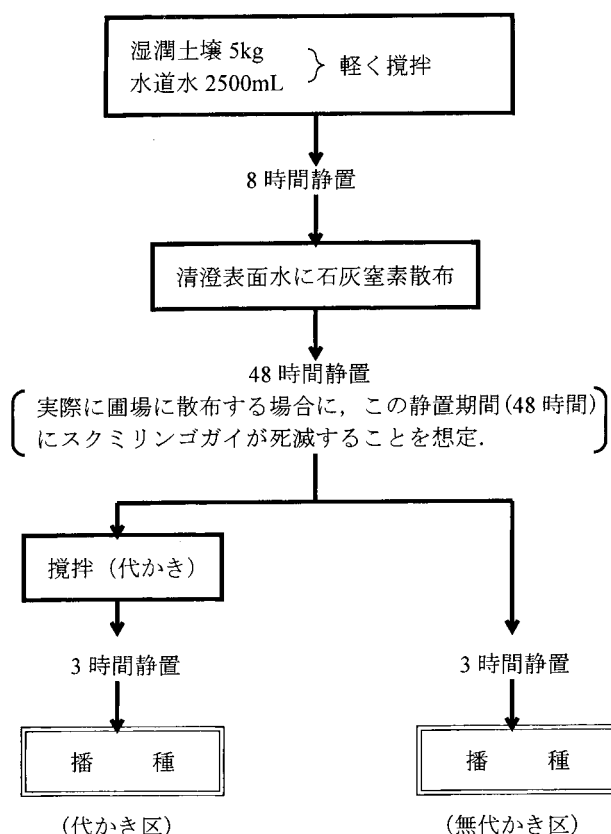
実験1. 酸素発生剤の水稻種子への被覆が石灰窒素による出芽障害に及ぼす影響

(1) 酸素発生剤被覆が石灰窒素散布土壤中に播種した水稻種子の出芽及び幼芽伸長に及ぼす影響

品種は、北部九州地域で最も多く栽培されているヒノヒカリを供試した。

試験には内寸縦190 mm、横335 mm、深さ155 mmの角形ポットを使用した。土壤は福岡県筑後市の九州沖縄農業研究センター内の細粒灰色低地土を使用し、粒状石灰窒素複合肥料 (全窒素含量10.6%、うちシアナミド態窒素9.2%、く溶性リン酸8.1%、水溶性加里7.5%、く溶性苦土6.2%含有 (試供品)、以下、石灰窒素と表記) を散布した。石灰窒素の散布量は窒素成分量で0 g/m² および5 g/m² とした。

石灰窒素の散布と播種は第1図に示した手順のうち、代かき区の手順で行った。湿潤土壤を5 kg 詰めた角形ポットに水道水2500 mLを加え、手で軽く攪拌し、8時間静置した。静置後、澄んだ表面水に石灰窒素を散布した。散布後48時間静置した後に土壤を攪拌 (代かき) し、さらに3時間静置した。散布後、代かきまでに48時間静置したのは、予備試験により、石灰窒素から溶出するシアナミ



第1図 ポット試験の土壌処理、石灰窒素散布および播種手順。

の濃度が散布後48時間前後で最大になることと、この静置期間にスクミリングガイがほぼ死滅することが判明していることに基づくものである。

ハト胸状に催芽した種子（以下、無被覆種子と表記）とこれに酸素発生剤（カルパー粉粒剤16）を乾粒重の2倍相当量を被覆した種子（以下、被覆種子と表記）を用いて出芽試験を実施した。なお、被覆作業は播種3日前に行い、被覆後、被覆直後の96%の重量になるまで陰干しし、播種まではビニール袋に密封して10℃の低温条件下で保管した。

以上の処理を行った後、土壌表面から10mmの深さに種子を細い棒で押し込んで播種し、播種後は20℃の恒温室（蛍光灯照明下）に静置し湛水条件下で出芽させた。1処理区につき50粒を3反復播種し、播種後15日後に最終出芽率と幼芽長（地上部長）を調査した。

(2) 酸素発生剤被覆および石灰窒素の量が石灰窒素溶液中で発芽させた水稻種子の幼芽伸長に及ぼす影響

石灰窒素の主成分であるカルシウムシアナミドが土壌粒子との接触により分解することを避けるため、石灰窒素と蒸留水による水溶液中で発芽試験を行った。実験1の(1)のポット試験での石灰窒素濃度条件に近づけるために、実験1の(1)で使用した水および石灰窒素量と同様の比率で懸濁液を作成した。すなわち、N5g/m²相当の水溶液

の場合、蒸留水2500mLに対して石灰窒素の量を3gの比率とした。この比率で0g/L(0%)、0.6g/L(0.06%)、1.2g/L(0.12%)、2.4g/L(0.24%)の4水準の濃度の試験区を設けた。これは実験1の(1)のポット試験における散布量に換算すると、窒素量で0g/m²、2.5g/m²、5g/m²、10g/m²に相当する。石灰窒素は乳鉢で粉碎し、蒸留水に入れてよく攪拌し、常温で48時間おいたものの上澄みを供試水溶液とした。

シャーレに50粒の水稻種子（ヒノヒカリ）と石灰窒素溶液60mLを入れ、20℃恒温、照明（蛍光灯）下で、ふたをして15日間静置し、その幼芽長を計測した。

(3) 酸素発生剤が石灰窒素溶液中で発芽させた水稻種子の幼芽・幼根長に及ぼす影響

実験1の(2)と同様に酸素発生剤被覆種子および無被覆種子を石灰窒素溶液（0g/Lおよび1.2g/L）で発芽試験を行い、試験開始15日後の幼芽長および幼根長を調査した。さらに酸素発生剤が石灰窒素による障害発現に与える影響を調査するために被覆種子50粒分に相当する酸素発生剤2.25gを種子に被覆せずにそのまま各シャーレの石灰窒素溶液に投入し、約30秒間振盪させた試験区も設けた。

(4) 酸素発生剤が石灰窒素溶液中のカルシウムシアナミド濃度に及ぼす影響

酸素発生剤が石灰窒素溶液中のカルシウムシアナミド濃度に与える影響を調べるため、濃度とその経時変化を調査した。

実験1の(2)及び(3)において使用した石灰窒素溶液、酸素発生剤及び被覆種子の量をもとに、蒸留水500mLに対して粉状石灰窒素（全窒素含量20%、うちシアナミド態窒素19%含有）を0.25g（実験1におけるN5g/m²相当区）、被覆種子400粒分に相当する酸素発生剤18g（36g/L）の比率で混合後、1時間振盪し、20℃恒温条件下で1日及び2日静置した上澄みの水溶液を測定した。これに加え、酸素発生剤量を2倍量（72g/L）、5倍量（180g/L）混合した試験区を設けた。また、被覆された酸素発生剤の状態を再現するため、酸素発生剤を高濃度に処理した試験区（酸素発生剤2000g/L）も設けた。これらに対して酸素発生剤を加えない石灰窒素溶液を対照区とした。

石灰窒素溶液は0.2μmメンブランフィルターでろ過し、5倍容量の2%酢酸で30分間振盪抽出してサンプリングし、濃度測定をおこなった。

石灰窒素の主成分であるカルシウムシアナミドの土壌溶液中の濃度は次の手順で測定した。一定量（0.5mL）のサンプルを比色管（25mL）に採取し蒸留水を加えて15mLとし、pH10.4炭酸塩緩衝液を10mL添加した後、ペンタシアノアンミン鉄(II)酸ナトリウム二水和物4%

水溶液を1 mL 添加し発色させ、530 nm の吸光度を分光光度計（島津製作所 UV-1200）を用いて測定し、標準溶液の検量線から濃度を求めた。

実験2. 石灰窒素散布土壌の播種前の代かきが水稻種子の出芽に及ぼす影響

(1) 石灰窒素散布土壌の播種前の代かきが水稻種子の出芽に及ぼす影響

使用した品種、種子処理、ポット、供試土壌、散布した石灰窒素は実験1の(1)と同様とした。石灰窒素の散布量は窒素成分量で5 g/m² および10 g/m² とした。また、対照として石灰窒素を無散布で無代かきの試験区を設けた。石灰窒素の散布と播種の手順は第1図の通りとし、石灰窒素散布後48時間静置した後に土壌を攪拌（代かき）し、さらに3時間静置したものを代かき区とし、散布後51時間静置したものを無代かき区とした。以上の処理を行った後、土壌表面から10 mm の深さに種子を細い棒で押し込んで播種し、播種後は20°C の恒温室内に設置し落水条件で出芽させた。1 処理区50粒を3反復播種し、播種後15日間の出芽状況及び播種15日後の最終出芽率を調査した。

(2) 石灰窒素散布後の代かきがカルシウムシアナミド濃度に及ぼす影響

石灰窒素散布後の代かきが石灰窒素の主成分であるカルシウムシアナミドに及ぼす影響を調べるため、石灰窒素散布土壌の表面水のカルシウムシアナミド濃度の経時変化を調べた。

1/5000 a ワグネルポットに、1875 g（容器の約半量）の乾燥土壌（佐賀市の水田土壌、細粒灰色低地土）を入れ、表面水位が4 cm になるように1825 mL の水道水を入れて攪拌（代かき）し、土壌表面が落ち着き、表面水が澄んだところに0.5~1.0 mm に粒度調整した粒状石灰窒素（全窒素含量20%、うちシアナミド態窒素19%含有）を0.6 g（窒素量6 g/m² 相当量）散布し、20°C 恒温条件下で静置した。散布2日後に再度攪拌（代かき）した処理区を「代かき区」、攪拌せずに放置した処理区を「無代かき区」とした。これら両処理区の表面水を経時的にサンプリングし、石灰窒素成分であるカルシウムシアナミド濃度を測定した。

ポットの表面水は0.2 μm メンブランフィルターでろ過してサンプリングした。サンプリングは粒状石灰窒素散布2日後から実施した。第1日目については代かき区にあっては代かきを行う直前の表面水をサンプリングした。その翌日からの5日間の表面水を同様に採取、ろ過してサンプルとした。これら計6日間のサンプルについてカルシウムシアナミド濃度の測定を実験1の(4)と同様にしておこなった。

実験3. 圃場条件下における石灰窒素散布土壌での水稻の出芽

実際の圃場条件下における石灰窒素散布土壌での水稻の出芽状況を調べた。福岡県筑後市の九州沖縄農業技術研究センター内の水田（細粒灰色低地土）で試験を実施した。代かきを実施した水田を2 m 四方に波板で区切って、8時間放置後、澄んだ表面水に石灰窒素を散布した。散布48時間後に再度代かき（攪拌）をして、その3時間後に細い棒を用いて10 mm の深さに酸素発生剤被覆種子（品種：ヒノヒカリ）を播種した。播種は12 mm 間隔25粒で2列、計50粒の種子を播種し、それを1試験区あたり3反復で行った。播種後は自然落水状態とし、排水不良の場合もしくは降雨による浸水時には強制排水した。試験区は石灰窒素散布量の異なる3区を設け、それぞれ窒素施用量換算で0 g/m²、4 g/m² および8 g/m² とした。試験は2000年8月16日から同30日までの15日間実施、試験期間中の試験圃場の気温の平均は最高気温で31.8°C、最低気温で24.6°C、日平均気温で27.8°Cであった。

結 果

1. 酸素発生剤の水稻種子への被覆が石灰窒素による出芽障害に及ぼす影響（実験1）

(1) 酸素発生剤被覆が石灰窒素散布土壌に播種した水稻種子の幼芽伸長に及ぼす影響

石灰窒素散布が湛水土中直播種子の最終出芽率（播種15日後）に及ぼす影響について第1表に示した。被覆種子の場合は石灰窒素の散布量にかかわらず92~94%の高い出芽率を示したが、無被覆種子の場合は散布量が多くなると最終出芽率が低下し、石灰窒素による出芽障害の影響が認められ、筆者らの前報（松島ら 2002）と一致した。

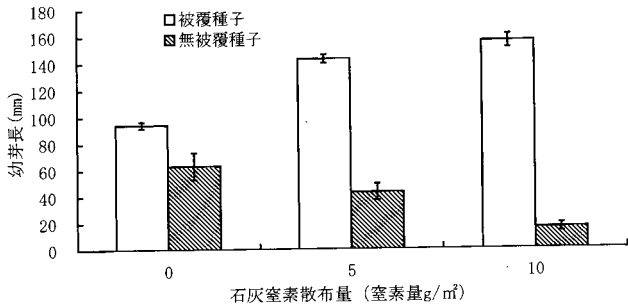
第2図に同じポット試験における播種15日後の幼芽長を示した。無被覆種子の場合は石灰窒素の散布量が多くなるほど幼芽長が短くなった。これは最終出芽率の低下と同様に石灰窒素による出芽障害の影響と考えられた。一方、被覆種子では無被覆の場合とは逆に散布量が多くなるほど幼芽長の伸長が旺盛になる結果となった。

(2) 酸素発生剤被覆および石灰窒素の量が石灰窒素溶液中で発芽させた水稻種子の幼芽・幼根伸長に及ぼす影響

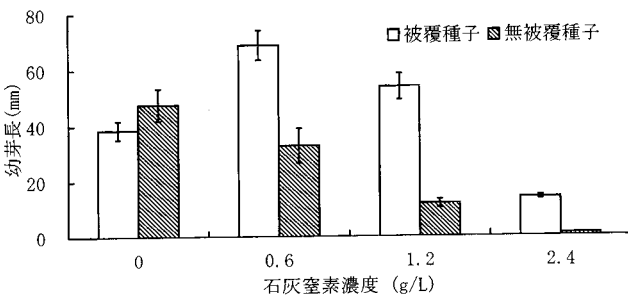
第1表 酸素発生剤被覆が石灰窒素散布土壌に播種した水稻種子の最終出芽率（%）に及ぼす影響。

	石灰窒素散布量 (窒素施用量換算で表示)		
	0g/m ²	5g/m ²	10g/m ²
被覆種子	92.0 a	92.0 a	94.0 a
無被覆種子	86.0 a	70.7 b	14.7 c

各処理区（被覆区・無被覆区）において同一文字間で5%水準の有意差なし。



第2図 酸素発生剤被覆が石灰窒素散布土壤に播種した水稻種子の幼芽長に及ぼす影響。
播種15日後。垂直線は標準誤差。



第3図 酸素発生剤被覆および石灰窒素濃度が水稻種子の幼芽伸長に及ぼす影響。
試験開始15日後。垂直線は標準誤差。

試験開始15日後の発芽率が、いずれの試験区においても高く(96.0~100%)、差が見られなかったため、試験開始15日後の幼芽長をもって評価を行うこととした(第3図)。無被覆種子の場合は石灰窒素量が増えるに従って幼芽長が短くなった。一方、被覆種子の場合は、2.4 g/L区では著しく短くなったものの、最も幼芽長が長くなったのは0.6 g/L区であり、次いで長くなった1.2 g/L区とともに、石灰窒素を添加していない蒸留水で発芽させた幼芽長よりも長くなった。このことにより被覆種子の場合は0.6~1.2 g/L程度の濃度の石灰窒素溶液中では出芽障害がみられず、むしろ幼芽の伸長を促進する効果があることが判明した。

(3) 酸素発生剤が石灰窒素溶液中で発芽させた水稻種子の出芽及び幼芽長・幼根長に及ぼす影響

試験開始15日後の発芽率が、いずれの試験区においても高く(94.7~98.0%)、差がみられなかったため、試験開始15日後の幼芽長・幼根長により評価を行うこととした(第4図)。石灰窒素を添加していない蒸留水で発芽させた場合、いずれの区においても幼芽は53~63 mmの正常な伸長を見せた。ただし、被覆種子の幼根長は7.1 mmと短く、酸素発生剤を種子に被覆せずに蒸留水中に投入した試験区でも17.6 mmと比較的短かったのに対し、無被覆種子では48.1 mmと長かった。このように酸素発生剤は幼根伸長を抑制した。

一方、石灰窒素溶液中で発芽・発根させた場合は、酸素発生剤被覆種子区で幼芽長が54.1 mmとなり、石灰窒素を添加しない蒸留水で発芽させた場合と同様の幼芽伸長を示したが、酸素発生剤を種子に被覆せずに石灰窒素溶液中に投入した試験区の幼芽長は23.1 mmであり、酸素発生剤無被覆区(16.0 mm)と同様に被覆種子と比べて短くなっており、これらの間には有意な差がみられた。また、無被覆種子区および無被覆種子+酸素発生剤区の幼根長はいずれも10 mm以下であり、石灰窒素を添加しない蒸留水で発根させた場合に比べて短くなった。

(4) 酸素発生剤が石灰窒素溶液中のカルシウムシアナミド濃度に及ぼす影響

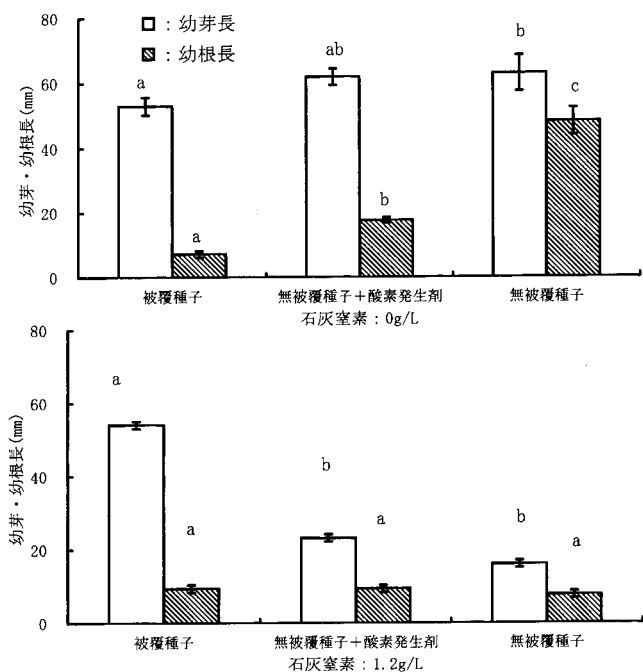
以上の発芽試験により酸素発生剤で被覆した種子では石灰窒素による出芽障害が軽減されることが判明した。このことから酸素発生剤が石灰窒素の主成分であるカルシウムシアナミドの分解を促進する可能性が考えられたため、石灰窒素と酸素発生剤を混合した水溶液について、カルシウムシアナミド濃度の経時変化について測定した(第5図)。この結果、混合溶液中のカルシウムシアナミド濃度は酸素発生剤の量が多くなるほど減少し、カルシウムシアナミドが酸素発生剤により分解されることが判明した。また、大量の酸素発生剤を混合し、種子に被覆された酸素発生剤の状態を再現した試験区では、混合直後295 g/mLであったカルシウムシアナミド濃度が2日後に19.8 g/mLまで減少した。このことにより、石灰窒素溶液は被覆された酸素発生剤層を浸透する際に分解され、水稻種子に到達するまでに無毒化している可能性が高いことが判明した。

2. 石灰窒素散布土壤の播種前の代かきが水稻種子の出芽に及ぼす影響(実験2)

(1) 石灰窒素散布土壤の播種前の代かきが水稻種子の出芽に及ぼす影響

第6図に播種後15日間の出芽状況を、第2表に播種15日後の最終出芽率を示した。被覆種子の場合、石灰窒素の散布量に関わらず、代かき区で90%以上の高い最終出芽率が見られ、対照区とした無代かき・無散布区との差はみられなかった。無代かき区では窒素量5 g/m²散布の場合で70.7%と低くなり、さらに窒素量10 g/m²散布の場合では22.7%と著しく低くなった。次に無被覆種子の場合では、窒素量N 5 g/m²散布土壤に播種した場合、代かき区で出芽が若干遅れたものの最終出芽率が80%を超え、対照とした無代かき・無散布区との差は見られなかったが、無代かき区では最終出芽率が50%と低くなり石灰窒素による出芽障害の影響が見られた。窒素量10 g/m²散布土壤の場合では、代かき区では56%の出芽率しか見られず、さらに無代かき区では出芽が全く見られなかった。

以上の結果、石灰窒素散布後、播種前に代かきをすることにより石灰窒素の出芽阻害作用が軽減されることが明



第4図 酸素発生剤が石灰窒素溶液中で発芽させた水稻種子の幼芽長・幼根長に及ぼす影響。

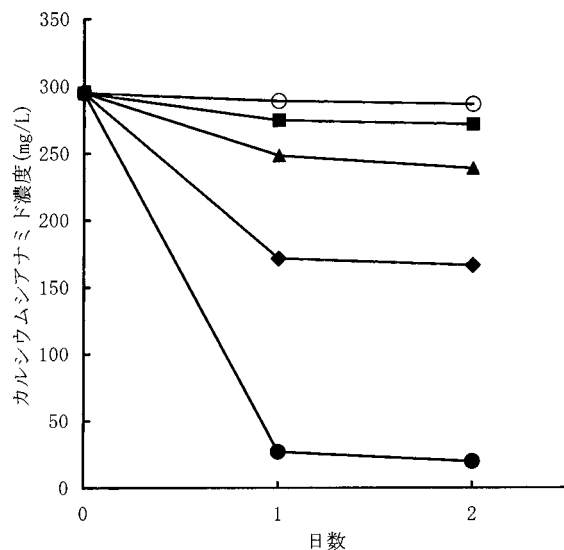
試験開始15日後、幼芽長、幼根長それぞれにおいて同一文字間で5%水準の有意差なし。垂直線は標準誤差。

かになった。また、酸素発生剤を被覆した種子の場合、無被覆種子より出芽阻害が軽減され、さらに代かきによる効果との相乗作用もみられ(第2表)、酸素発生剤を被覆した種子を代かき後に播種することにより、石灰窒素による出芽障害がほとんど生じないことが示された。

(2) 石灰窒素散布後の代かきがカルシウムシアナミド濃度に及ぼす影響

第7図に粒状石灰窒素散布後の表面水のカルシウムシアナミド濃度の推移を示した。無代かき区の場合は散布2日後で310.3 mg/L、散布7日後では168.8 mg/Lとなり、時間経過に従い徐々に濃度が低くなった。一方、代かき区の場合は散布2日後に295.0 mg/Lであったカルシウムシアナミド濃度が代かきにより急激に減少し、代かきの翌日(散布3日後)には21.9 mg/Lとなり、さらに代かき3日後(散布5日後)には0.4 mg/Lまで減少し、代かき4日後(散布6日後)には検出されなくなった。カルシウムシアナミドは土壌との接触作用により分解することが知られている(奥田 1961)。本実験においても代かきによって土壌と石灰窒素が攪拌され、接触作用が進んだことによりカルシウムシアナミドの分解が促進されたものと考えられた。

以上、実験2の結果、石灰窒素散布後、播種の前に土壌を代かきすることにより、湛水中のカルシウムシアナミドの分解が促進され、湛水中のカルシウムシアナミドが土壌水に移行することによりおこり得る葉害(直播水稻の出芽



第5図 酸素発生剤を添加した石灰窒素溶液中のカルシウムシアナミド濃度の変化。

○は酸素発生剤添加量0 g/L、■は36 g/L、▲は72 g/L、◆は180 g/L、●は2000 g/Lを示す。

障害)を軽減できることが明らかになった。

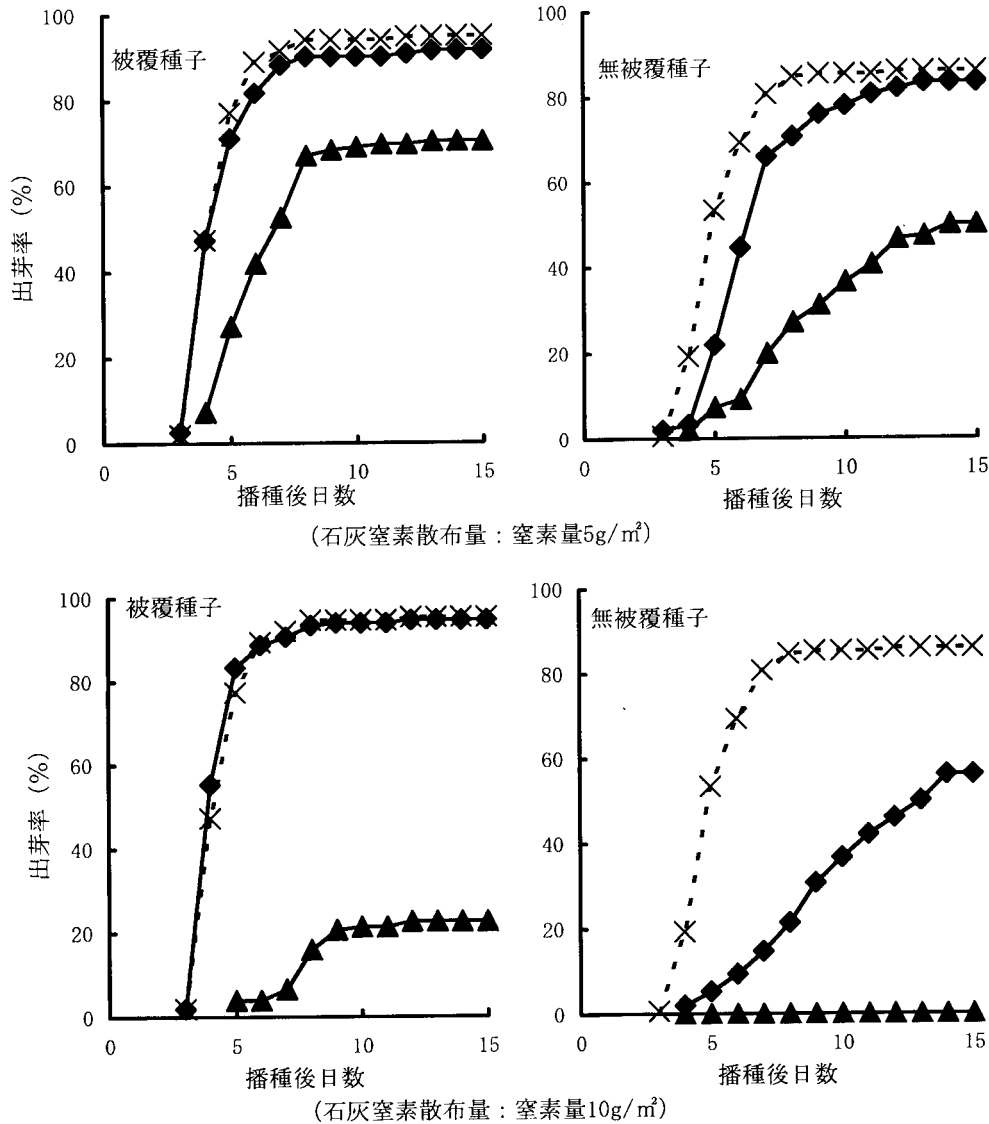
3. 圃場条件下における石灰窒素散布土壌での水稻の出芽(実験3)

実際の圃場条件下において石灰窒素散布土壌での出芽試験を実施した結果、窒素量4 g/m²区では80%程度の高い出芽率となり、対照とした無散布区との差が見られなかったが、窒素量8 g/m²区では60%程度の出芽率に留まる結果となった(第8図)。実験1の(1)および筆者らの前報(松島ら 2002)のポット試験では、被覆種子の場合は石灰窒素の散布量に関わらず高い出芽率を見せたが、圃場条件下での本出芽試験では石灰窒素量が多くなると出芽率が低下した。石灰窒素散布土壌への麦稈の施用により酸素発生剤被覆種子であっても出芽率が低下することが報告されており(松島ら 2002)、今回の圃場での出芽試験においても、石灰窒素散布量が多い場合に発芽障害が見られたのは、調査対象とした圃場の土壌中に残っていた麦稈等の植物残渣による影響と推察された。

なお、播種5日後に出芽率が減少しているのは、この日の降雨により試験圃場が冠水し、出芽した幼芽に土壌が覆ったために、出芽数が確認できなかったことによるものである。

考 察

実験1の(1)において、酸素発生剤被覆種子において石灰窒素の散布量が増えるに従い、幼芽伸長が旺盛になった(第2図)。これは、まず、種子に被覆された酸素発生剤が、カルシウムシアナミドと種子の直接の接触を妨いだことにより出芽障害が軽減されたと考えられる。次に、播



第6図 石灰窒素散布土壤の播種前の代かきが水稻種子の出芽に及ぼす影響。
◆は代かき区, ▲は無代かき区, ×は無代かき・無散布区を示す。

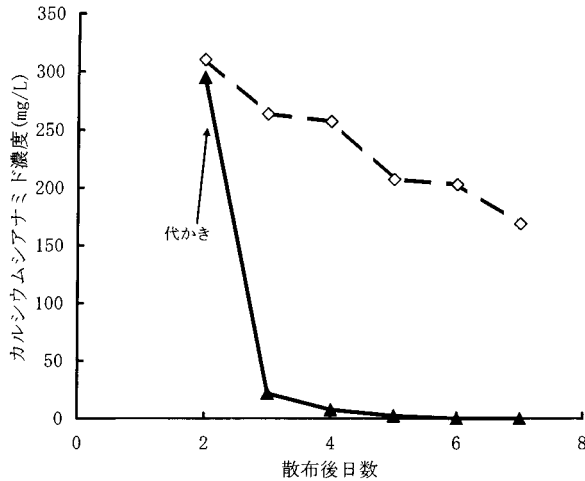
第2表 石灰窒素散布土壤の播種前の代かきが水稻種子の最終出芽率に及ぼす影響。

種子被覆の有無	代かきの有無	最終出芽率(%)		
		N0g/m ²	N5g/m ²	N10g/m ²
被覆	無代かき区	95.3	70.7	22.7
	代かき区	—	92.0	94.7
無被覆	無代かき区	86.0	50.0	0.0
	代かき区	—	83.3	56.0
LSD 5%	種子被覆の有無 (A)	9.8	10.2	14.4
LSD 5%	代かきの有無 (B)	—	10.2	14.4
	A×B	—	*	*

播種15日後, LSDは5%水準の最小有意差。*:5%水準で有意。

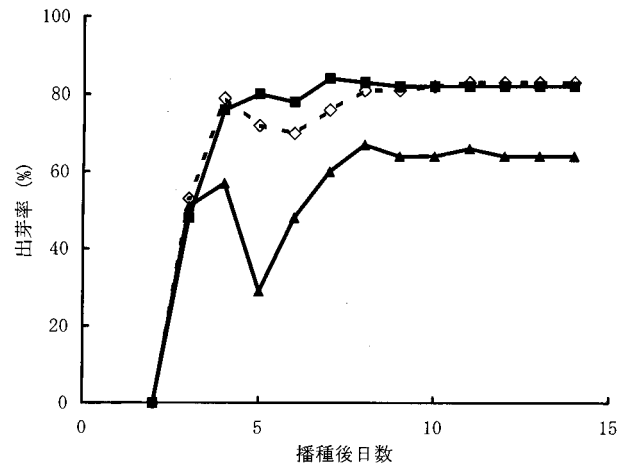
種前の土壤の代かきによりカルシウムシアナミドが分解するため, 種子が発芽・発根し土壤溶液と直接接する頃にはカルシウムシアナミドを含んだ土壤溶液は無毒化していることも出芽障害が軽減された理由として考えられる。さら

に, カルシウムシアナミドの分解産物である尿素の肥効により幼芽伸長が旺盛になったとも推察された。しかしながら, 土壤の影響を排除した実験1の(2)においても, 酸素発生剤被覆種子において0.6g/Lおよび1.2g/Lの石灰窒素溶液区で幼芽の伸長が促進されていることが認められた(第3図)。この原因として, 実験1の(4)により酸素発生剤がカルシウムシアナミドを分解する事が判明していることから, 種子に被覆されている酸素発生剤層を土壤溶液が浸透していく過程で, カルシウムシアナミドが無毒化・尿素化したためと考えられた。酸素発生剤がカルシウムシアナミドを分解するのは, カルシウムシアナミドがアルカリ条件下で不安定となる(McAdam and Schafer 1951) ことがその原因として挙げられる。また, 酸素発生剤は過酸化カルシウムと鉱物質微粉および細粒からなる粉粒剤であることから, 土壤粒子との接触により分解される石灰窒素(奥田 1961)が, これら成分との接触により土



第7図 石灰窒素散布後の代かきがカルシウムシアナミド濃度に及ぼす影響。

◇は無代かき区, ▲は代かき区を示す。



第8図 圃場条件下における石灰窒素散布土壌での水稻の出芽。

◇は石灰窒素散布量 0 g/m² (対照), ■は N 4 g/m², ▲は N 8 g/m² を示す。

壤の場合と同じように分解したものと推察された。

実験2により、石灰窒素散布後、播種前に代かきを行うことにより出芽障害が回避できることが明らかになったことから、実際の湛水直播栽培時に石灰窒素によるスクミリンゴガイ防除を行う場合にも、石灰窒素による出芽障害を防ぐために、播種前に代かきを行う必要があると考えられた。ただし、この播種前の代かきにより石灰窒素は無毒化されるため、その後の入水時には水路等外部からのスクミリンゴガイの侵入には十分注意する必要がある。

実験3において、実際の圃場での出芽試験の結果、石灰窒素を窒素量で 4 g/m² 散布した場合では出芽障害が見られなかったのに対して、窒素量で 8 g/m² 散布の場合では出芽に障害が見られた(第8図)。また、スクミリンゴガイの防除に関してのこれまでの報告(宮原ら 1987, 牧野・小澤 1987, 林ら 1988, 矢野ら 1990, 山下 1993, 菖蒲 1996, 平ら 1997, 和田 1997)によると、石灰窒素によるスクミリンゴガイ防除には窒素量で 4~6 g/m² の散布量が必要とされている。さらに湛水直播栽培においては、その初期成育が旺盛であるため基肥を多くすると過繁茂になりやすく、基肥はなるべく減らして、後期重点施肥を行うか緩効性肥料を利用するなどの施肥体系が必要とされている(姫田 1995, 西田ら 2000, 脇本 2000, 吉永ら 2002)。これらの結果を総合すると、酸素発生剤被覆種子を用いた湛水直播栽培の場合、出芽障害を受けずに、スクミリンゴガイを防除するためには、概ね窒素量で 4 g/m² 程度の石灰窒素の散布が適当と結論づけられた。

以上のように、石灰窒素によるスクミリンゴガイ防除を湛水直播栽培において実施する場合には、酸素発生剤を被覆した種子を用いること、播種前に代かきを行うこと、の2条件が必要であることが明らかになった。また、出芽障害を受けずにスクミリンゴガイ防除が実施でき、かつ、施肥管理上適当な石灰窒素の散布量は概ね窒素量で 4 g/m²

であると結論された。今後は、これら条件を検討した上で水稻の生育試験により、必要な追肥量などの施肥体系についての調査を行い、スクミリンゴガイ防除の可能な湛水直播栽培技術の確立を行う必要がある。

謝辞: 本研究において供試した粒状石灰窒素複合肥料については電気化学工業株式会社の弓掛弘達氏に分譲いただいた。ここに記して感謝を申し上げます。

引用文献

- 林嘉孝・永井清文・恒吉隆・戸高隆 1988. スクミリンゴガイに対する石灰窒素の施用効果. 九病虫研会報 34: 121-123.
- 姫田正美 1995. 直播稲作への挑戦 第1巻 直播稲作研究四半世紀の歩み. 農林水産技術情報協会, 東京. 176-181.
- 牧野秋雄・小澤明人 1987. 石灰窒素によるスクミリンゴガイの防除. 関東東山病虫研会報 34: 208-210.
- 松島憲一・脇本賢三・吉永悟志・田坂幸平・大森博昭 2002. 石灰窒素の散布が湛水土中直播水稻の出芽に及ぼす影響. 日作紀 71: 11-16.
- McAdam, J.R. and F.C. Schafer 1951. CYANAMIDES. In Kirk, R.E. and D.F. Othmer eds., Encyclopedia of Chemical Technology Second Edition. Vol.6. Interscience Encyclopedia, New York. 553-573.
- 宮原義雄・平井剛夫・大矢慎吾 1987. スクミリンゴガイに対する薬剤防除試験. 九病虫研会報 33: 106-109.
- 西田瑞彦・土屋一成・田中福代・脇本賢三 2000. 打込み式代かき同時土中点播直播水稻の生育・収量に及ぼす溶出タイプの異なる肥効調節型肥料の影響. 九州農業研究 62: 50.
- 奥田東 1961. 第3次改著土壌肥料論. 養賢堂, 東京.
- 菖蒲信一郎 1996. スクミリンゴガイの生態と防除. 植物防疫 59: 3-9.
- 平博之・山口純一郎・小森辰巳・田中靖・三原実・田中龍臣 1997. 普通期水稻における石灰窒素の秋施用によるスクミリンゴガイの

- 防除効果. 九農研 59:10.
- 和田節 1997. スクミリンゴガイの生態と防除. 農業技術 52:24-27.
- 和田節・市瀬克也・杉浦直幸・福島裕介 1999. 湛水直播水稻におけるスクミリンゴガイによる被害:播種後3週間落水体系による被害と雑草の発生. 九病虫研会報 45:68-71.
- 脇本賢三 2000. 水稻の打ち込み式・代かき同時土中点播直播栽培の技術概要と普及の現状. 農業技術 55:18-23.
- 山下泉 1993. 高知県におけるスクミリンゴガイの越冬状況とその防除対策. 四国植防 28:71-77.
- 矢野貞彦・森下正彦・城野晋・東勝千代 1990. スクミリンゴガイの発生実態と防除対策. 和歌山農試研報 14:45-50.
- 吉永悟志・竹牟礼稔・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・下坪訓次 2002. 暖地の湛水直播栽培における土中点播水稻の生育特性—後期重点施肥による生育特性の変化と収量性の向上—. 日作紀 71:328-334.

Alleviation of the Calcium Nitrate-Induced Suppression of Seedling Emergence by Seed Coating with Oxygen Supplier and Soil Puddling before Seeding in Direct-Seeding Rice in Submerged Paddy Field: Ken-ichi MATSUHIMA*¹⁾, Kenzo WAKIMOTO¹⁾, Satoshi YOSHINAGA¹⁾, Kohei TASAKA¹⁾ and Hiroaki OHMORI²⁾ (¹⁾*Natl. Agr. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region, Chikugo 833-0041, Japan;* ²⁾*Denki Kagaku Kogyo K.K.*)

Abstract: The effect of seed coating with oxygen supplier on the suppression of rice-seedling emergence by calcium nitrate applied to control apple snail, was examined in pots and petri dishes. The seed coating with oxygen supplier tended to promote elongation of the seedling in the soil supplied with calcium nitrate. Addition of oxygen supplier to calcium nitrate solution reduced the concentration of calcium cyanamide showing that the oxygen supplier decomposed calcium nitrate. The effect of soil puddling before seeding on the seedling emergence in the soil supplied with calcium nitrate was investigated in pots. The soil puddling before seeding promoted seedling emergence in the soil supplied with calcium nitrate, reducing the concentration of calcium cyanamide in the flood. In the field experiment, the seedling emergence from the seeds coated with oxygen supplier was inhibited by applying 8g nitrogen/m² of calcium nitrate, but not by 4g nitrogen/m² of calcium nitrate. Thus, we recommend puddling before seeding and coating the seed with oxygen supplier when apple snail is controlled by calcium nitrate in submerged direct seeding of rice. The suitable dosage of calcium nitrate for the effective control of apple snail without chemical injury was estimated to be 4g/m² as nitrogen.

Key words: Apple snail, Calcium cyanamide, Chemical injury, Direct seeding of rice in submerged paddy field, Oxygen supplier, Puddling.