水稲湛水直播栽培における害虫貝防除時の薬害回避に関する研究

松 島 憲 一
信州大学大学院農学研究科機能性食料開発学専攻　機能性食料育種学講座

要　約

本研究では省力，低コスト稲作技術としての水稲湛水直播栽培法の確立に向けて，湛水直播栽培におけるスクミリンゴガイ防除およびツマグロヨコバイ，ウンカ類防除時の薬害回避法について検討した。

石灰窒素を用いたスクミリンゴガイ防除能力についてポット試験で確認したところ，散布48時間後では窒素量2.5ｇ/㎡の散布量であっても５ｇ/㎡に比べて若干劣るが同等の殺貝能力が認められた。石灰窒素溶液を用いて水稲種子の発芽試験を行い，発芽後の幼芽伸長への影響を調べたところ，酸素発生剤無被覆種子では石灰窒素濃度が高くなると幼芽伸長が抑制されることがわかった。また，酸素発生剤を被覆した種子では石灰窒素を加えない蒸留水での発芽時よりも0.6ｇ/Ｌおよび1.2ｇ/Ｌの濃度の溶液の場合で幼芽伸長が向上した。しかしながら酸素発生剤を被覆せずに溶液中に加えて発芽試験を行った場合では無被覆の場合と同じく幼芽伸長が抑制された。石灰窒素溶液に酸素発生剤を混合し，石灰窒素の主成分であるカルシウムシアナミドの濃度を測定したところ，酸素発生剤を加えた場合にカルシウムシアナミド濃度が減少していることから，石灰窒素は種子に被覆された酸素発生剤層を浸透する過程で分解・無毒化したために，被覆種子の幼芽伸長が阻害されなかったと推察された。次に，石灰窒素散布土壌を用いたポット試験により水稲種子の土中出芽性を調査した。この結果，酸素発生剤被覆種子の場合，散布する石灰窒素量が増えても出芽障害や幼芽伸長阻害は見られず，むしろ向上する結果となった。一方，無被覆種子では石灰窒素量が５ｇ/㎡を越えると出芽障害が見られ，幼芽伸長も石灰窒素量が増えるに従い抑制された。また，播種前に石灰窒素散布土壌を代かきすることによる出芽への影響を調べたところ，播種前の代かきは石灰窒素による出芽障害を軽減することがわかった。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を代かきの有無で比較したところ，代かきをした後の濃度が著しく減少していたことから，石灰窒素による出芽障害は播種前の代かきによる石灰窒素の分解促進により軽減されることがわかった。同様にポットによる出芽試験を行い，石灰窒素散布土壌中の麦稈の影響を調べた。これにより麦稈を施用した石灰窒素散布土壌では出芽障害が増大する結果となった。なお，実際の圃場条件での出芽試験の結果では，窒素量４ｇ/㎡散布の場合は無散布の場合と同様の出芽率であったが，窒素量８ｇ/㎡の場合では出芽率が劣る結果となった。以上の結果，石灰窒素による水稲種子の出芽障害は酸素発生剤の被覆により軽減されること，播種前の代かきにより軽減されることが判明した。また，スクミリンゴガイ防除と水稲の生育を考えると窒素量で４ｇ/㎡の石灰窒素散布量が適量であると結論づけられた。

次に酸素発生剤とイミダクロプリド剤を混和被覆する場合の混和方法が出芽へ及ぼす影響や打込み式点播播種機での播種時における被覆剤の剝離程度について調査した。被覆３日後に播種した場合の最終出芽率をみると，過乾燥，標準乾燥条件では薬剤の有無・混和方法による大きな差はみられなかったものの，有意ではないが簡易混和区では出芽率が低い傾向にあった。無乾燥条件では薬剤無混和種子に比べイミダクロプリド剤混和種子の出芽率が低く，そのなかでも簡易混和種子が最も低かった。一方，被覆10日後に播種した種子の場合では過乾燥および標準乾燥種子において薬剤混和による出芽率の大きな低下はみられなかったが，無乾燥条件の種子では薬剤混和による低下が明らかにみられ，薬剤混和被覆種子の出芽率が対照に比べて一律に低い結果となった。一方，被覆剤の剝離率は，全層混和で大きく，簡易混和の場合で小さくなった。また，過乾燥条件の種子で剝離が大きかった。以上の結果，酸素発生剤とイミダクロプリド剤を水稲種子に混合被覆する場合は，全層混和もしくは標準混和の場合では出芽への障害が出にくいことが分かった。また，１週間以上の貯蔵を要する場合は被覆後に十分乾燥させることにより障害を防止することができることが分かった。しかしながら，出芽の良かった全層混和・過乾燥条件で剝離が多くなったことから，現時点では標準混和被覆種子を標準乾燥条件で使用することが良いと思われる。

今後，本研究で得られた結果である薬害回避防除法について圃場試験を行い，防除効果，水稲の栽培・生

育についてのより詳細な研究を実施すると共に，営農・経営に関した研究も含めて総合的に進めていく必要がある。

キーワード：イミダクロプリド剤，酸素発生剤，水稲湛水直播栽培，スクミリンゴガイ，石灰窒素

Ⅰ．緒　言

近年の米の関税化措置や米価の低迷に対応して，稲作の低コスト化が求められており，さらに，農業就業者の高齢化対策として省力化も同時に求められている。水稲の直播栽培は，育苗の手間が省け，また移植時の苗箱の運搬の必要がないため軽労化の進んだ栽培方法であり，これら前述の課題に対応し得る栽培法といえる。また，播種作業期が従来の移植作業期とずれるため，両者の組み合わせにより水稲作業の期間集中を避け，作業分散が可能となる。さらに，茶・果樹・野菜などとの複合的な営農の場合，地域によっては作業期が水稲の移植作業と重なることもあることから，直播栽培の導入による作業分散が経営上・作業上有効となる。

しかしながら，従来の直播栽培では，出芽・苗立ちが悪いことや，倒伏に弱いなどの栽培上の問題点，さらには，これらにともなう収量性の低下が大きな課題とされており，実際の直播栽培面積拡大の妨げとなっている。湛水直播栽培においては出芽苗立ちについて，過酸化石灰の水稲種子粉衣・被覆（太田・中山1970[1]，1971[2]）や落水出芽法（大場1997[3]）により改善されてきている。また，耐倒伏性向上については，転び型倒伏が発生しやすい従来の表面散播ではなく土壌中播種による栽培が有効とされ，特に九州農業試験場（現九州沖縄農業研究センター）が開発した「打込み式代かき同時土中点播機」（下坪・冨樫1994[4]）による栽培法は倒伏に強く（下坪・冨樫1996[5]，尾形・松江1998[6]，吉永2001[7]，2001[8]），今後の普及が期待されている。また，出芽性向上・耐倒伏性が付与された直播適応品種に開発も進められており，筆者らの研究においても有望な系統が見いだされている（松島ら2000[9]，2001[10]）。今後，これらの育成系統の品種化が期待されるところである。

また，九州を初めとした温暖な地域では，出芽直後の幼弱な苗を食害するスクミリンゴガイ（*Pomacea canaliculata*（LAMARCK），写真1）の被害が多く見られ，同地域における湛水直播栽培導入の障壁となっている。スクミリンゴガイの被害は直播水稲のみならず移植水稲においても問題となっており，その被害面積は1985年には51haであったが，1995年には4602haと拡大し，今後も増加するものと見込まれている（和田2000[11]）。

スクミリンゴガイの防除法の一つとして石灰窒素の散布が有効であり（宮原ら1987[12]），移植水稲栽培における石灰窒素の施用法・効果についてはこれまでに多くの報告がある（牧野・小澤1987[13]，平井1987[14]，林ら1988[15]，小澤・牧野1989[16]，恒吉1989[17]，矢野ら1990[18]，山下1993[19]，菖蒲1996[20]，平ら1997[21]，廣瀬ら1999[22]，和田1997[23]，2000[11]）。しかしながら，石灰窒素はスクミリンゴガイ防除に効果があるものの，水稲苗に対しても薬害を与えることから，その薬害回避のために移植栽培において石灰窒素散布後から移植までに約10日間をおくことが必要とされている（菖蒲1996[20]，和田1997[23]）。また，水稲収穫後に湛水し，石灰窒素を施用して越冬前の貝を減少させ，翌年の被害を軽減させる方法（牧野・小澤1987[13]，山下1993[19]，菖蒲1996[20]，平ら1997[21]）も報告されている。

一方，湛水直播栽培では出芽直後の軟弱な幼芽が本田に存在することになり，移植栽培よりもスクミ

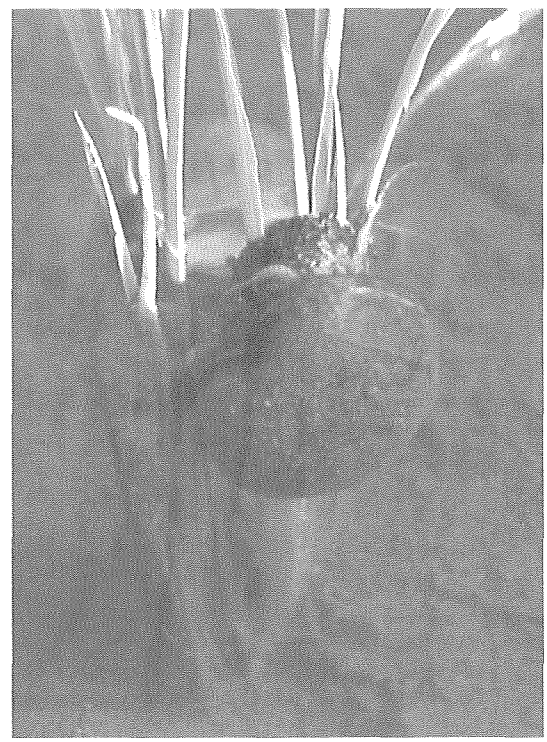


写真1　水稲苗を食害するスクミリンゴガイ

リンゴガイによる食害を受けやすいことから，効果的な防除法の開発が求められている。現在，普及が進んできている水稲湛水直播栽培における播種後落水管理は安定した出芽・苗立確保のために行われているが（大場1997[3]），湛水状態でのみ活動するスクミリンゴガイの食害回避にも有効とされており，さらに効果的な水管理方法についても報告されている（福島ら1998[24]，和田ら1999[25]，和田2000[11]，Wadaら1999[26]）。しかしながら，田面の高低，播種後の降雨などにより本田において完全な落水管理は難しいことや，雑草防除や漏水防止の観点からは播種後１週間から10日程度で再入水する必要があることから，落水処理のみによるスクミリンゴガイの食害回避は充分ではない。また，ロータリ耕うんにより殺貝する方法（高橋ら1999[27]，2000[28]，2001[29]，2002[30]，2002[31),32)]）も効果的な防除法ではあるが，小さな貝については殺害能力が劣るとされている。この他の湛水直播栽培における防除法に関しては薬剤防除法（鶴町ら1997[33)]）および石灰窒素の利用（注：平成８年度試験研究成績概要集作物編。佐賀県農業試験研究センター。）に関する報告がみられるものの，その報告例は少なく，湛水直播栽培におけるスクミリンゴガイ防除技術は確立されていないのが現状である。

この他に，温暖地域での水稲栽培においてはツマグロヨコバイ，ウンカ類の被害対策も重要である。特に飛来性のウンカ類の防除には飛来虫の産卵により発生する第２世代の密度の増大が水稲に被害を及ぼす。このため，脱皮阻害剤として第２世代の羽化を阻害するイミダクロプリド剤の使用がウンカ類の防除に有効とされている。本剤の使用について移植栽培では水和剤や粒剤の本田散布が行われてきたが，近年の省力的な苗箱施用のための薬剤が開発され一般化している。これに対し，水稲直播栽培においては，本田散布の他，イミダクロプリド剤（商品名：アドマイヤー水和剤）を酸素発生剤（商品名：カルパー粉粒剤16）と同時に混和被覆した種子を使用することが有効であるとされ，省力的な混和被覆について防除効果や出芽に対する影響に関するいくつかの報告がなされている。世古らはイミダクロプリド剤の混和被覆が出芽へ及ぼす影響については，混和被覆による出芽障害はみられないと報告しており（世古ら1991[34)]），福井県農試においても同様の報告がみられるが（注：平成11年北陸農業研究成果情報），その混和被覆方法や貯蔵方法などの違いによる出芽への影響や播種時の被覆剤剝離程度に関する報告は少ない。

以上のことから，本研究では，まず，石灰窒素によるスクミリンゴガイ防除を組み入れた湛水直播栽培法を確立するため，石灰窒素によるスクミリンゴガイ殺貝能力の確認，石灰窒素が直播水稲種子の発芽，土中出芽に及ぼす影響およびその薬害回避方法を調査し，実際の湛水直播栽培時に必要な施用量・施用方法について検討した。

また，水稲湛水直播栽培における省力的なウンカ類防除手法確立に向けてイミダクロプリド剤を酸素発生剤に混和被覆した種子について，混和被覆法の違いが被覆種子の出芽や，播種時の被覆剤剝離程度に及ぼす影響についても検討した。

なお，本論文は岐阜大学大学院連合農学研究科審査学位論文であることを付記する。また，本報告の大半は日本作物学会に発表（松島ら2000[35)]，2001[36)]，2002[37),38)]，2003[39)]）したものである。

II．スクミリンゴガイ防除のために散布した石灰窒素による湛水土中直播水稲種子への薬害回避について

１．石灰窒素の殺貝能力について

石灰窒素がスクミリンゴガイ防除に有効であることは宮原（1987[12)]）らにより報告された後，様々な実証試験がなされてきた。これらの報告では，スクミリンゴガイ防除に適当な石灰窒素量は窒素量で４～６ｇ/㎡（宮原ら1987[12)]，和田1997[23)]），４～８ｇ/㎡（牧野ら1987[13)]，矢野ら1990[18)]），６ｇ/㎡（林ら1988[15)]，恒吉1989[17)]，山下1993[19)]，毛利1997[40)]），といずれもほぼ一致しているが，効果がほとんど見られなかったという報告もある（廣瀬ら1999[22)]）。そこで，本研究では，本章第３節および第４節で実施されるポットを用いた石灰窒素散布土壌による出芽試験と同様の土壌条件下での石灰窒素による殺貝効果について予備的に調査し，その殺貝能力について確認を行った。

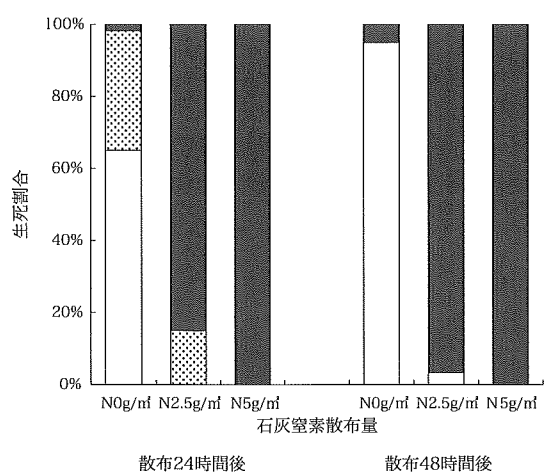
１）材料と方法

試験には内寸縦190㎜，横335㎜，深さ155㎜の角形ポットを用いた。土壌は福岡県筑後市の九州農業試験場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%含有（供試品），以下，石灰窒素と表記］のみの施用とした。石灰窒素の散布量を面積あたりで換算し，窒素成分で０ｇ/㎡，2.5ｇ/㎡および５ｇ/㎡の３段階とした。湿潤土壌を５kg詰めた角形ポットに水道水2500mLを加え，手で軽く攪拌し，２時

間静置した。各ポットに殻高10㎜以上30㎜以下のスクミリンゴガイを20頭ずつ放し，さらに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，24時間後および48時間後のスクミリンゴガイの生死を確認した。試験は25℃恒温条件下で各試験区とも3反復で実施した。散布後24時間におけるスクミリンゴガイの生死の判定は，ポット内を歩行するなど活動しているものを「生存」，土中に潜り確認できないものおよび蓋を閉めて動かないものを「不明」，殻より軟体部を一部露出して動かないものを「死亡」とした。また，散布後48時間における判定は，ポット中を歩行するなど活動しているものを「生存」とし，その他のものは清水中に移し，歩行を始めるなど活動を再開するものは「生存」に加え，それ以外の動かないものは「死亡」と判定した。

2）結果と考察

生死判定の結果を図II－1に示した。散布後24時間についてみると，窒素量5 g/㎡散布区ではすでに全ての貝が死亡していた。2.5 g/㎡区においても生存が確認できた貝はみられず，死亡貝が85%にのぼった。散布後48時間後についてみると，2.5 g/㎡区でも96.7%の高い死亡率が得られた。これまでの報告では石灰窒素の散布量が窒素量で4 g/㎡以下になると死亡率が低下する結果もみられ，2.5 g/㎡区でも殺害効果の高かった今回の結果とは異なっていた。これは本試験がこれまでの報告例にみられるような圃場条件下ではなく，ポットを用いて行われたものであるため，石灰窒素を含んだ表面水が縦浸透等により流出しなかったためと考えられた。実際に漏水田での石灰窒素によるスクミリンゴガイ防除効果は低いとされ（牧野・小澤1987[13]），水持ちの悪い圃場において防除効果が全く無かったとの報告もある（廣瀬ら1999[22]）。また，本試験はポットを用いた試験であるため散布後のポット静置により，実際の圃場で起こりうる風や動物の歩行などによる土壌と表面水の攪拌が無く，土壌と表面水の接触が最小限に押さえられたため，石灰窒素の分解が進まなかったことも殺害効果の高かった理由の一つとして考えられた。



図II－1　石灰窒素の散布によるスクミリンゴガイの殺貝効果（%）
ポット試験（25℃）
□ 生存　▨ 不明　■ 死亡

また，2.5 g/㎡区では散布24時間後において生死判定ができなかった（生存している可能性のある）貝が15%存在したことから，確実な防除効果を得るためには散布後48時間程度の時間が必要と考えられた。

なお，無散布区の48時間後において5%の死亡貝が見られたのは，殻面に穴が開いており，内部の軟体部が無くなっていたことから，スクミリンゴガイ同士による共食いの結果であると推察された。

2．石灰窒素溶液中における水稲種子の発芽について

スクミリンゴガイ防除に効果のある石灰窒素は移植水稲苗へ薬害を与えることが知られている（菖蒲1996[20]，和田1997[23]）。また，佐賀県農試のこれまでの調査よると，直播水稲種子に対しても，その出芽に際して障害を与えることがわかっている（平成8年度試験研究成績概要集作物編。佐賀県農業試験研究センター）。このため本節では石灰窒素が水稲種子の出芽に与える影響について調べるため，土壌の関与を排除した蒸留水と石灰窒素による水溶液中での発芽試験を行った。また，この際，湛水直播栽培において発芽促進のために利用されている酸素発生剤（カルパー粉粒剤16）の水稲種子への被覆が石灰窒素による出芽障害に及ぼす影響についても併せて調査した。

1）材料と方法

実験II－2－1　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稲種子の幼芽伸長に及ぼす影響

品種は，北部九州地域での湛水直播栽培に最も多く用いられているヒノヒカリを供試した。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）を乾籾重の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。石灰窒素は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%含有（試供品），以下，石灰窒素と表記］を供試した。第3節のポットによる出芽試験における石灰窒素濃度条件に近づけるために，第3節で使用する水量および石灰窒素量と同様の比率で懸濁液を作成し，その上澄みを石灰窒素水溶液とした。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。これは第3節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砕し，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粒の水稲種子（ヒノヒカリ）と石灰窒素溶液60mLを入れ，20°C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。

実験II－2－2　酸素発生剤が石灰窒素溶液中で発芽させた水稲種子の幼芽・幼根長に及ぼす影響

実験II－2－1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秒間振盪させた後に静置した試験区も設けた。

実験II－2－3　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II－2－1および実験II－2－2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（第3節のポット試験における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°C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。

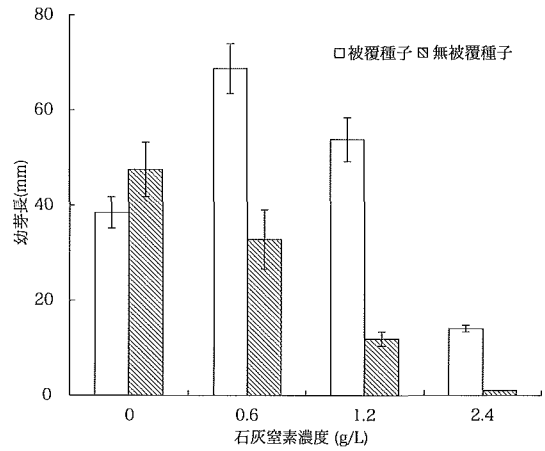
石灰窒素溶液は0.2μmメンブランフィルターでろ過し，5倍容量の2%酢酸で30分間振盪抽出してサンプリングし，濃度測定をおこなった。

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1mL添加し発色させ，530nm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。

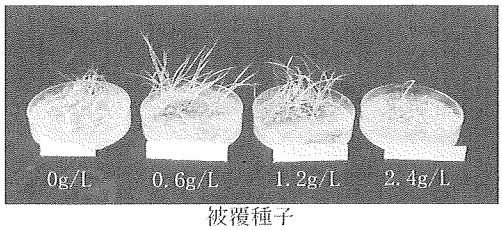
2）結果と考察

実験II－2－1　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稲種子の幼芽・幼根伸長に及ぼす影響

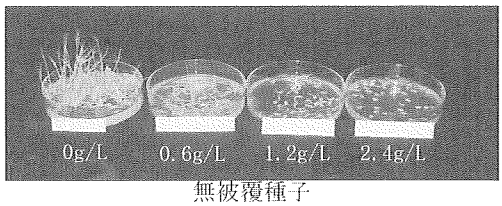
試験開始15日後の発芽率が，いずれの試験区においても高く（96.0～100%），差が見られなかったため，試験開始15日後の幼芽長をもって評価を行うこととした（図II－2，写真2）。無被覆種子の場合は石灰窒素量が増えるに従って幼芽長が短くなった。一方，被覆種子の場合は，2.4g/L区では著しく短くなったものの，最も幼芽長が長くなったのは0.6g/L区であり，次いで長くなった1.2g/L区とともに，石灰窒素を添加していない蒸留水で発芽させた幼芽長よりも長くなった。このことにより被覆種



図II－2　酸素発生剤被覆および石灰窒素が水稲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。



被覆種子



無被覆種子

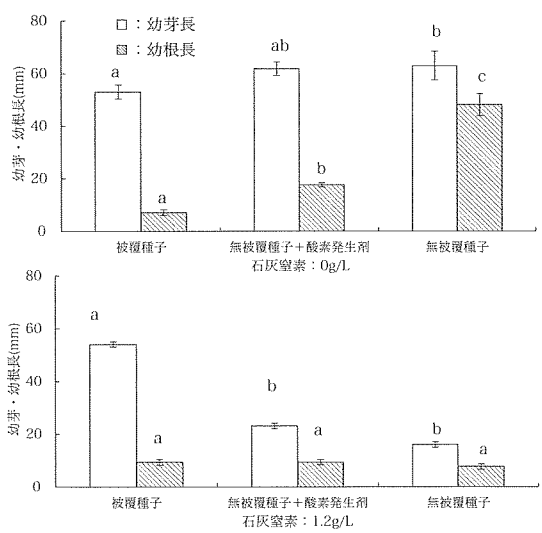
写真２　石灰窒素溶液による発芽試験
（試験開始15日後）

子の場合は0.6～1.2ｇ/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。

実験Ⅱ－２－２　酸素発生剤が石灰窒素溶液中で発芽させた水稲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（図Ⅱ－３）。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㎜の正常な伸長を見せた。ただし，被覆種子の幼根長は7.1㎜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㎜と比較的短かったのに対し，無被覆種子では48.1㎜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。

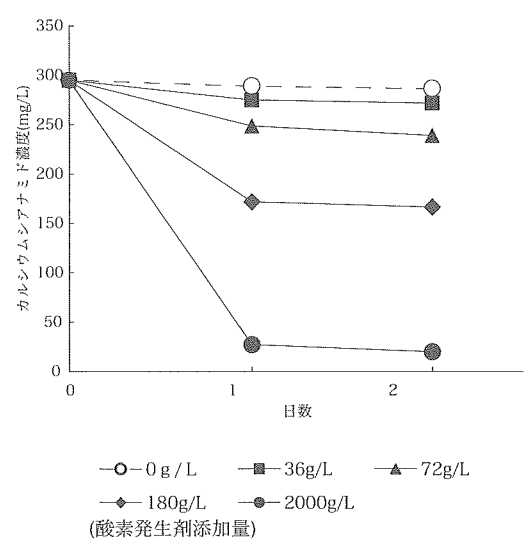
一方，石灰窒素溶液中で発芽・発根させた場合は，酸素発生剤被覆種子区で幼芽長が54.1㎜となり，石灰窒素を添加しない蒸留水で発芽させた場合と同様の幼芽伸長を示したが酸素発生剤を種子に被覆せずに石灰窒素溶液中に投入した試験区の幼芽長は23.1㎜で，酸素発生剤無被覆区（16.0㎜）と同様に被覆種子と比べて短くなっており，これらの間には有意な差がみられた。また，無被覆種子区および無被覆種子＋酸素発生剤区の幼根長はいずれも10㎜以下であり，石灰窒素を添加しない蒸留水で発根させた場合に比べて短くなった。



図Ⅱ－３　酸素発生剤が石灰窒素溶液中で発芽させた水稲種子の幼芽・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有意差なし。垂直線は標準誤差。

実験Ⅱ－２－３　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（図Ⅱ－４）。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295ｇ/mL であったカルシウムシアナミド濃



図Ⅱ－４　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

度が2日後に19.8g/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過程で分解され，水稲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。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[41]）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，土壌粒子との接触により分解される石灰窒素が（奥田1961[42]），これら成分との接触により土壌の場合と同じように分解したものと推察された。

以上の結果から，石灰窒素は水稲種子の発芽に悪影響を与えることが明らかになった。しかし，この出芽障害は酸素発生剤を水稲種子に被覆することにより回避されることがわかった。これは，水稲種子に酸素発生剤を被覆することにより直接，石灰窒素溶液と水稲種子が接することがなかったため（実験II－2－2），また，種子に被覆された酸素発生剤層を石灰窒素溶液が浸透する過程で分解され，水稲種子に到達する時には無毒化しているため（実験II－2－3）と推察された。さらに，酸素発生剤被覆種子の場合，石灰窒素濃度が高くなると出芽性が向上する結果となったが，これは酸素発生剤により石灰窒素が分解・尿素化することにより，その肥効の影響がみられたためと推察された。

次節ではさらに石灰窒素散布土壌での出芽試験を行い，土壌が石灰窒素に与える影響についても考察することとする。

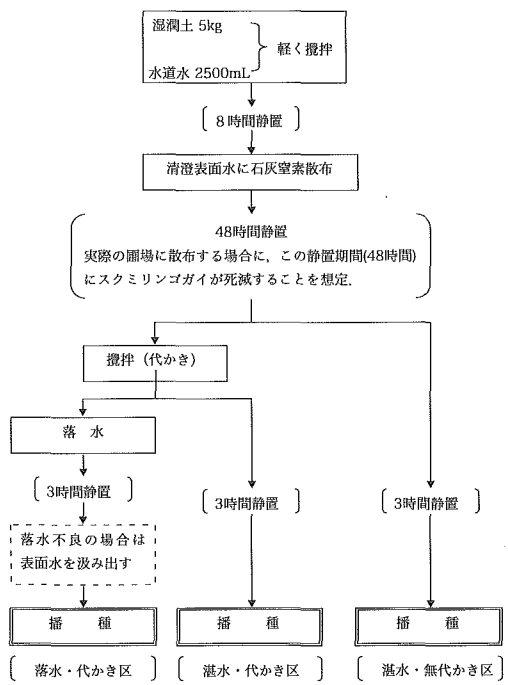
3．石灰窒素散布のポット土壌に播種した水稲種子の出芽について

第2節により，石灰窒素には水稲種子に与える薬害（出芽障害）がみられるものの，その薬害は酸素発生剤の被覆により緩和されることが判明した。本節では実際の水稲湛水直播栽培への石灰窒素利用に向けて，ポット試験により，表面水に石灰窒素散布した水田土壌へ水稲種子を播種し，その出芽障害の程度を調べることとした。また，この際，石灰窒素は土壌との接触により分解されることが知られていることから（奥田1961[42]），石灰窒素による水稲種子の出芽障害に土壌がどの程度影響しているかについても考察した。

1）材料と方法

実験II－3－1　石灰窒素散布土壌に播種した水稲種子の出芽

品種はヒノヒカリを供試し，第2節と同様の種子処理を行い無被覆種子および被覆種子とした。出芽試験には内寸縦190mm，横335mm，深さ155mmの角形ポットに排水用のパイプを二本底面に通したものを使用した。土壌は福岡県筑後市の九州農業試験場内の細粒灰色低地土を使用し，石灰窒素のみの施用とし，この他の肥料は施用しなかった。石灰窒素の散布量を面積当たりで換算し，窒素成分量で0g/m²，2.5g/m²，5g/m²，7.5g/m²および10g/m²の5段階とした。石灰窒素の散布と播種は図II－5のうち，落水・代かき区の手順で行った。湿潤土壌を5kg詰めた角形ポットに水道水2500mL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。澄んだ表面水に石灰窒素を散布するのは，石灰窒素が土壌粒子との接触によって分解されることを極力抑えるためである。散布後48時間静置した後に攪拌（代かき）し，ポット底面土壌中に通したパイプによって2～3時間で落水させたが，落水が不良である場合は表面水をスポイトで汲み出した。石灰窒素散布後に48時間静置したのは，石灰窒素から溶出するシアナミドの濃度が散布後48時間前後で最大になることと，第1節の結果により，この静置期間にスクミリンゴ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。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°Cの



図II－5　ポット試験の土壌処理・石灰窒素散布および播種手順

恒温室（蛍光灯照明下）に設置し落水条件で出芽させた。１処理区につき50粒播種し３反復とした。播種後14日間の出芽を調べ，平均出芽日数および最終出芽率を算出した。

実験Ⅱ－３－２　酸素発生剤被覆が石灰窒素散布土壌に播種した水稲種子の出芽及び幼芽伸長に及ぼす影響

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Ⅱ－３－１と同様とした。石灰窒素の散布と播種は図Ⅱ－５に示した手順のうち，湛水・代かき区の手順で行った。湿潤土壌を５kg詰めた角形ポットに水道水2500mL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壌を攪拌（代かき）し，さらに３時間静置した。以上の処理を行った後，土壌表面から10㎜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。

実験Ⅱ－３－３　石灰窒素散布土壌の播種前の代かきが水稲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Ⅱ－３－１と同様とした。石灰窒素の散布量は窒素成分量で５ｇ/㎡および10ｇ/㎡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図Ⅱ－５の湛水・代かき区および湛水・無代かき区のとおりとし，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㎜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。

実験Ⅱ－３－４　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。

1/5000a ワグネルポットに，1875ｇ（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４cmになるように1825mL 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㎜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0.6ｇ（窒素量６ｇ/㎡相当量）散布し，20℃恒温条件で静置した。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。

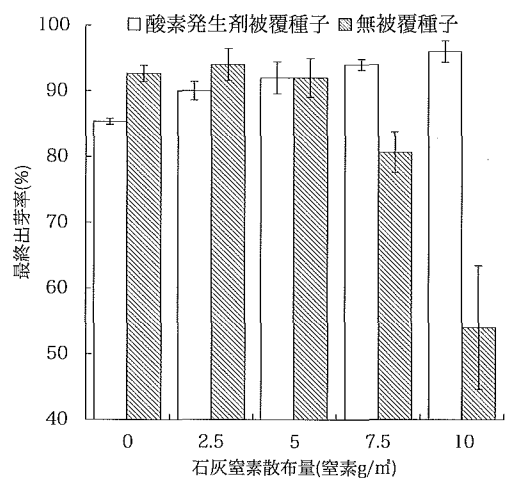
ポットの表面水は0.2μm メンブランフィルターでろ過してサンプリングした。サンプリングは粒状石灰窒素散布２日後から実施した。第１日目については代かき区にあっては代かきを行う直前の表面水をサンプリングした。その翌日からの５日間の表面水を同様に採取，ろ過してサンプルとした。これら計６日間のサンプルについてカルシウムシアナミド濃度の測定を第２節と同様にしておこなった。

２）結果と考察

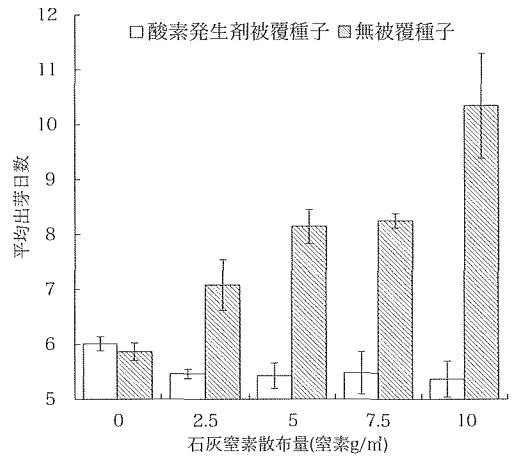
実験Ⅱ－３－１　石灰窒素散布土壌に播種した水稲種子の出芽

図Ⅱ－６に実験Ⅱ－３－１の播種後14日目の最終出芽率を示した（０ｇ/㎡，５ｇ/㎡，10ｇ/㎡散布区のみ写真３）。無被覆種子は石灰窒素の散布量が窒素量５ｇ/㎡を越えると出芽率が顕著に低下したが，被覆種子は石灰窒素の散布量にかかわらず出芽の低下は見られず，散布量が多くなると出芽率も高まる傾向がみられた。

図Ⅱ－７には播種後14日間の平均出芽日数を示した。平均出芽日数は播種から出芽までの日数の平均



図Ⅱ－６　石灰窒素散布量と最終出芽率との関係
（ポット試験，播種14日後）
垂直線は標準誤差。



図II－7　石灰窒素散布量と平均出芽日数との関係
（ポット試験，播種14日後）
垂直線は標準誤差。

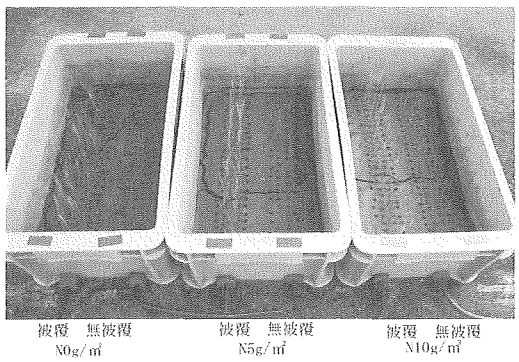


写真3　石灰窒素散布土壌での出芽試験
（播種14日後）

値であり，この値が小さいと出芽が速いということを表す。無被覆種子では石灰窒素散布量が多くなると平均出芽日数が長くなり出芽が遅れる結果となったが，被覆種子は石灰窒素の散布量にかかわらず短く，出芽が速い結果となった。

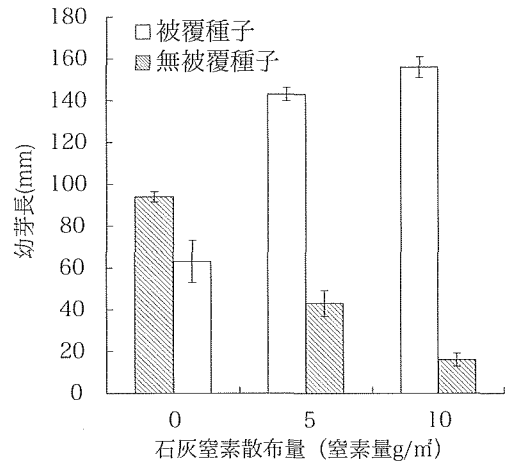
以上のように，移植栽培時において石灰窒素を散布すると水稲苗に薬害が見られるのと同じように，無被覆種子の場合は石灰窒素による薬害が出芽において見られることが明らかになった。一方，被覆種子の場合は石灰窒素散布量が増加しても出芽率の低下および出芽速度の低下はみられなかった。スクミリンゴガイ防除のために石灰窒素を散布する場合は窒素量4～6 g/㎡で効果があるとされており（宮原ら1987[12]，牧野・小澤1987[13]，林ら1988[15]，矢野ら1990[18]，山下1993[19]，菖蒲1996[20]，平ら1997[21]，和田1997[23]），今回の調査によりこれを超える量の石灰窒素を散布した場合でも被覆種子の場合は出芽障害が見られないことが判明した。

なお，石灰窒素散布区について播種後20日頃までの幼芽の状態を観察したところ，散布量にかかわらず褐変，黄化，枯死等の障害も見られなかった。

表II－1　酸素発生剤被覆が石灰窒素散布土壌に播種した水稲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）		
	0 g/㎡	5 g/㎡	10 g/㎡
被覆種子	92.0a	92.0a	94.0a
無被覆種子	86.0a	70.7b	14.7c

各処理区（被覆区・無被覆区）において同一文字間で有意差なし，単位：%



図II－8　酸素発生剤被覆が石灰窒素散布土壌に播種した水稲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。

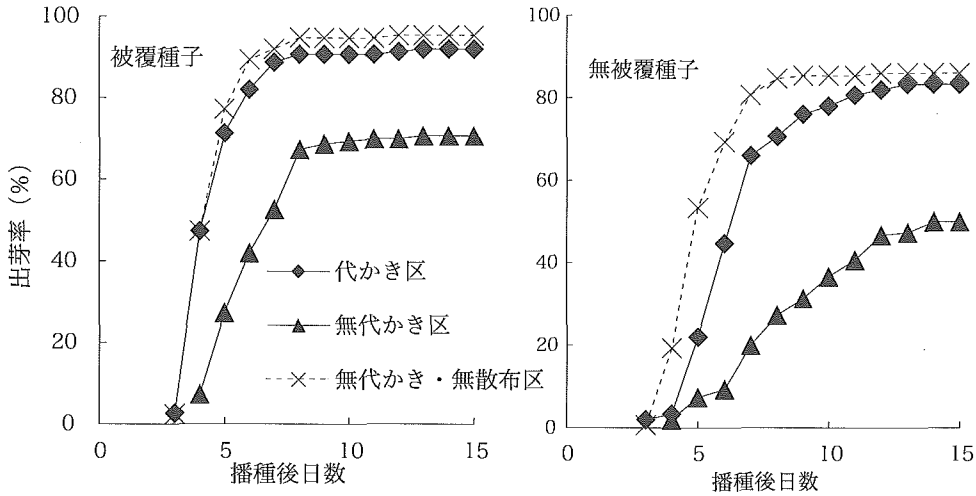
実験II－3－2　酸素発生剤被覆が石灰窒素散布土壌に播種した水稲種子の幼芽伸長に及ぼす影響

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表II－1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，本節実験II－3－1の結果と一致した。

図II－8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り，石灰窒素を加えない蒸留水で発芽させた場合より，ある程度の濃度の石灰窒素溶液の場合の方が被覆種子の幼芽伸長が旺盛だったという第2節での結果と一致した。

実験Ⅱ－３－３　石灰窒素散布土壌の播種前の代かきが水稲種子の出芽に及ぼす影響

図Ⅱ－９に播種後15日間の出芽状況を，表Ⅱ－２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５ｇ/㎡散布の場合で70.7％と低くなり，さらに窒素量10ｇ/㎡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５ｇ/㎡散布土壌に播種した場合，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



図Ⅱ－９　石灰窒素散布土壌の播種前の代かきが水稲種子の出芽に及ぼす影響

表Ⅱ－２　石灰窒素散布土壌の播種前の代かきが水稲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/㎡	N5ｇ/㎡	N10ｇ/㎡
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。＊：５％水準で有意。

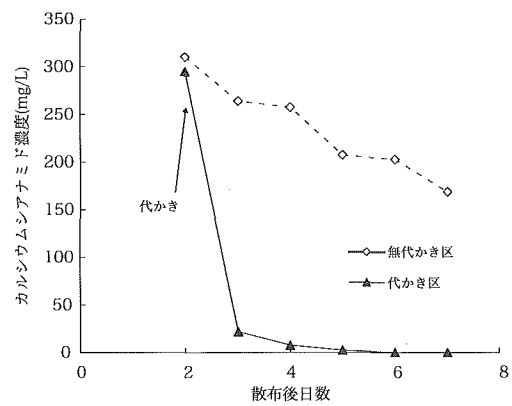
なり石灰窒素による出芽障害の影響が見られた。窒素量10ｇ/㎡散布土壌の場合では，代かき区では56％の出芽率しか見られず，さらに無代かき区では出芽が全く見られなかった。

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らかになった。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（表Ⅱ－２），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。

実験Ⅱ－３－４　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

図Ⅱ－10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310.3mg/L，散布７日後では168.8mg/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295.0mg/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21.9mg/Lとなり，さらに代かき３日後（散布５日後）には0.4mg/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[42]）。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Ⅱ－３－４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ることが明らかになった。これにより，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薬害（直播水稲の出芽障害）を軽減できることが判明した。



図Ⅱ－10　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

４．石灰窒素散布および麦稈施用した土壌に播種した水稲種子の出芽について

実際の圃場の場合は麦稈をはじめとした作物残渣等の有機物が土壌に混入しており，これまでの報告で稲わら，麦わらの施用により土壌の還元が進み，湛水直播における種子の出芽率が低下することが知られている（井澤ら1985[43]，井村ら1985[44]，土居ら1986[45]，大隅ら1988[46]，鍛冶原ら1989[47]，渡部ら1990[48]，萩原1993[49]）。また，佐賀県農試における調査（注：平成10年九州農業研究成果情報第13号上巻）によると，麦稈施用が石灰窒素による移植苗への薬害を増大させるということが示されている。

第３節のポット試験により酸素発生剤の種子被覆により石灰窒素による水稲種子への薬害が回避されることが明らかになったが，より実際の圃場条件に近いと思われる麦稈施用土壌を用いて，麦稈施用と石灰窒素散布の影響を出芽試験で調査した。

１）材料と方法

長さ約10㎜に裁断した麦稈を０ｇ/㎡，400ｇ/㎡，800ｇ/㎡の３段階で施用し，石灰窒素の散布量０ｇ/㎡，５ｇ/㎡，10ｇ/㎡の３段階とした計９組合せの処理区を設定した。なお，麦稈は入水前日に土壌と混和した。これ以外の実験条件はすべて第３節実験Ⅱ－３－１と同様とした。

２）結果と考察

石灰窒素を散布しない条件で無被覆種子の出芽性を見ると，麦稈無施用区では80.7％であったのに対し，麦稈400ｇ/㎡施用区で33.3％，800ｇ/㎡施用区で32.0％と著しく低下した。一方，被覆種子の出芽率は，麦稈無施用区で79.3％，麦稈400ｇ/㎡施用区で86.7％，800ｇ/㎡施用区で82.7％となり，麦稈の施用量が多くなっても出芽率の低下は認められず，萩原の報告（1993[49]）とほぼ一致した（表Ⅱ－３）。また，田中ら（1999[50]）は砂壌土に被覆種子を播種し，落水条件で出芽させた場合，その出芽・苗立に麦稈施用の影響は見られなかったとしている。落水条件下で行った本実験でも被覆種子を播種した場合では麦稈施用による影響が見られず，田中ら（1999[50]）の結果と一致した。

次に麦稈を施用した土壌への石灰窒素散布が最終出芽率に与える影響について見ると（表Ⅱ－３），無被覆種子では石灰窒素無散布，麦稈無施用とした試験区では80.7％と高い最終出芽率となったが，こ

れ以外の試験区では最終出芽率が低く，特に石灰窒素の施用区では15%以下となった。これに対し被覆種子は麦稈施用および石灰窒素散布にかかわらず概ね70%以上の最終出芽率を示したが，麦稈800g/m²相当施用区で若干劣る結果となった。

同じく平均出芽日数についてみると無被覆種子では石灰窒素無散布，麦稈無施用の場合では8.3日，石灰窒素無散布，麦稈400g/m²施用区では9.1日となったが，それ以外の試験区では，石灰窒素10g/m²散布，麦稈800g/m²施用区を除き，平均出芽日数が10日を越え，出芽が遅くなった（表II－4）。なお，石灰窒素10g/m²散布，麦稈800g/m²施用区について

表II－3　石灰窒素散布と麦稈施用が水稲種子の最終出芽率に及ぼす影響

石灰窒素散布量（窒素量g/m²）	麦稈施用量（g/m²）	最終出芽率（%）	
		無被覆種子	被覆種子
0	0	80.7	79.3
	400	33.3	86.7
	800	32.0	82.7
5	0	53.3	89.3
	400	10.7	76.0
	800	14.7	68.0
10	0	15.0	94.0
	400	8.7	84.0
	800	1.3	77.3
LSD 5%	麦稈施用量	14.9	3.8
LSD 5%	石灰窒素散布量	13.6	3.8
麦稈施用量×石灰窒素散布量		n.s.	＊＊

播種14日後の調査，n.s.：有意差無し，＊＊：1%水準で有意。

表II－4　石灰窒素散布と麦稈施用が水稲種子の平均出芽日数に及ぼす影響

石灰窒素散布量（窒素量g/m²）	麦稈施用量（g/m²）	平均出芽日数（日）	
		無被覆種子	被覆種子
0	0	8.3	7.3
	400	9.1	7.4
	800	10.0	7.3
5	0	10.7	6.6
	400	10.2	7.4
	800	11.3	6.4
10	0	12.3	6.0
	400	11.3	6.7
	800	9.5	6.6
LSD 5%	麦稈施用量	n.s.	0.47
LSD 5%	石灰窒素散布量	1.18	0.47
麦稈施用量×石灰窒素散布量		＊	＊＊

播種14日間の調査，n.s.：有意差無し，＊＊：1%水準で有意，＊：5%水準で有意。

も9.5日と日数が短い結果となったが，これは，この区では最終出芽率が1.3%（出芽2個体）と著しく低いことが影響している。一方，被覆種子ではいずれも7.4日以下の平均出芽日数となっており出芽が早いことが分かった。

以上の結果により，麦稈等の有機物が土壌に鋤込まれた条件においても石灰窒素の散布による出芽障害は被覆種子を用いることにより軽減されることが明らかになった。

5．石灰窒素を散布した圃場に播種した水稲種子の出芽について

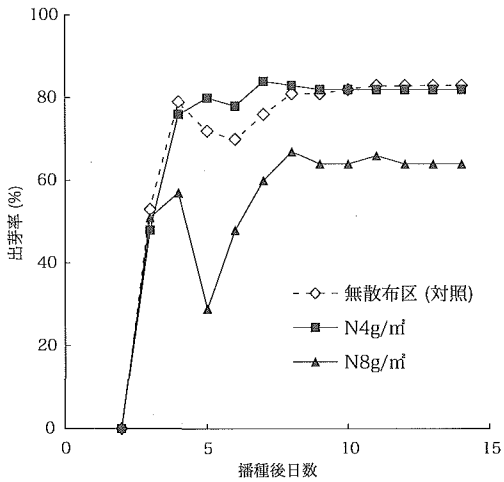
本章第2節および第3節の結果により，石灰窒素を散布した土壌であっても，播種前に代かきを行い，酸素発生剤を被覆した種子を播種することにより，カルシウムシアナミドによる出芽障害を回避できることが明らかになった。ただし，第4節の結果，石灰窒素散布土壌中に麦稈を施用した場合，出芽障害がみられることから，実際の圃場条件下でも出芽率の低下が予想された。このため，圃場条件下において出芽試験を行い，石灰窒素散布土壌での水稲の出芽状況を調べた。

1）材料と方法

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2m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㎜の深さに酸素発生剤被覆種子（品種：ヒノヒカリ）を押し込んで播種した。播種は12㎜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0g/m²，4g/m²および8g/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℃，最低気温で24.6℃，日平均気温で27.8℃であった。

2）結果と考察

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4g/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8g/m²区では60%程度の出芽率に留まる結果となった（図II－11）。第3節のポット試験では，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



図Ⅱ－11　圃場条件下における石灰窒素散布土壌での水稲の出芽

が，圃場条件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。一方，第4節により石灰窒素散布土壌へ麦稈を施用した場合，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明らかになっており，本節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出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。

Ⅲ．イミダクロプリド剤を酸素発生剤と混和被覆した水稲種子について

1．イミダクロプリド剤を酸素発生剤と混和被覆した水稲種子の発芽について

水稲直播栽培においてツマグロヨコバイ，ウンカ類の防除に向けて，イミダクロプリド剤（商品名：アドマイヤー水和剤）の本田散布の他，酸素発生剤（商品名：カルパー粉粒剤16）と同時に混和被覆した種子を使用することが有効であるとされ，省力的な混和被覆について防除効果や出芽に対する影響に関するいくつかの報告がなされている。世古らはイミダクロプリド剤の混和被覆が出芽へ及ぼす影響については，混和被覆による出芽障害はみられないと報告しており（世古ら1991[34]），福井県農試においても同様の報告がみられるが（注：平成11年北陸農業研究成果情報），その混和被覆方法や貯蔵方法などの違いによる影響の差については報告が少ない。そこで，本研究では打込み式播種機を用いた水稲湛水直播栽培における省力的なウンカ類防除手法確立に向けてイミダクロプリド剤を酸素発生剤に混和被覆した種子について，混和被覆法の違いが被覆種子の出芽に与える影響ついて検討した。

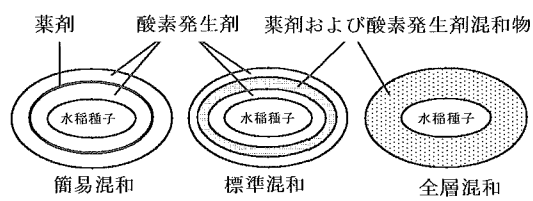
1）材料と方法

ハト胸状に催芽した水稲種子（ヒノヒカリ）に酸素発生剤を標準量（乾籾重の2倍量）被覆する際に，種子3kgあたりイミダクロプリド剤を200g（10aあたり200g散布に相当）の割合により3方法で混和し，それぞれの混和方法を「簡易混和」，「標準混和」，「全層混和」とした。「簡易混和」とは被覆する酸素発生剤を2等分し，最初に酸素発生剤のみ，次にイミダクロプリド剤のみ，最後に再度酸素発生剤のみを被覆するもので，「標準混和」とは，被覆する酸素発生剤を3等分し，最初に酸素発生剤のみ，次に酸素発生剤と薬剤を混合したもの，最後に再度酸素発生剤のみを被覆するものとし，「全層混和」とは被覆する酸素発生剤全量と薬剤を混和したものを被覆することを指す（図Ⅲ－1）。

以上の混和方法で薬剤を混和被覆した種子を，3段階の乾燥条件（無乾燥：被覆後直ちにビニール袋に密封，標準乾燥：被覆直後の重量の97%になるまで陰干し，過乾燥：被覆直後の重量の92%になるまで陰干し）および2段階の種子貯蔵期間（被覆後3日間および10日間，10°Cの冷蔵庫に貯蔵）の処理を施し，各条件下での出芽を調べた。対照として酸素発生剤のみを被覆（標準被覆）した種子を用いた。なお，被覆種子の乾燥程度については吉永らにより97%～95%の場合に最も播種後の出芽率が良いことが報告されている（吉永ら2000[51]）。

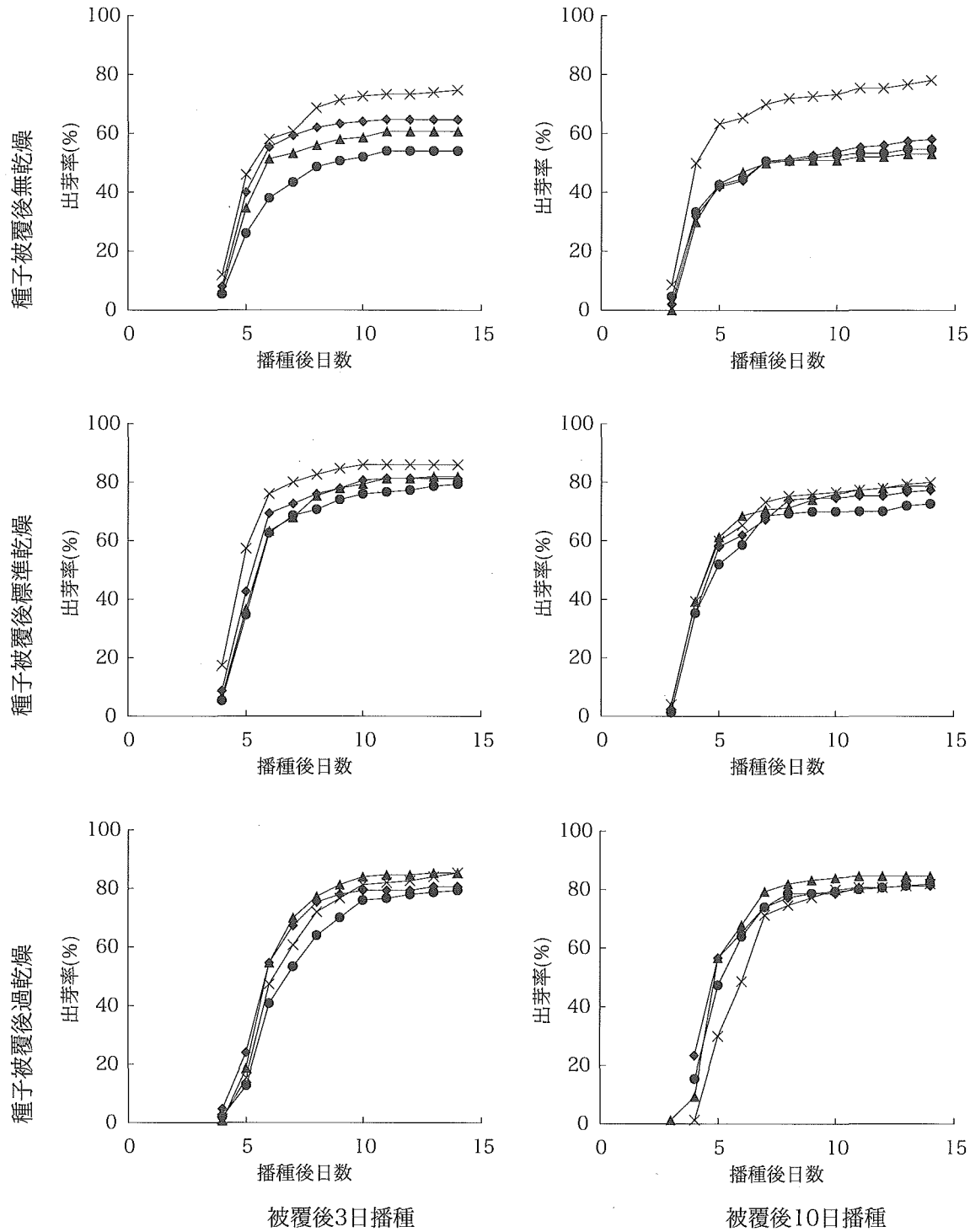
角形ポットに湿潤土（細粒灰色低地土）5kgと水道水2500mlを入れて攪拌，落水して床土とし，その上に被覆種子を50粒3反復播種した。播種深度10mmとなるように湿潤土1kgと水道水350mlを攪拌した土壌を種子上に流し込み，自然落水・20°C恒温条件下で出芽させた。播種後14日間の出芽状況を調べ，最終出芽率を算出した。

2）結果と考察



図Ⅲ－1　薬剤と酸素発生剤の混和被覆方法（模式図）

表Ⅲ－1，図Ⅲ－2に出芽試験による最終出芽率を示した。被覆3日後に播種した場合の最終出芽率をみると，過乾燥および標準乾燥条件の場合では薬剤の有無・混和方法による有意な差はみられなかったが，標準乾燥ではイミダクロプリド剤を混和被覆した種子の出芽率が82.0～79.3%であったのに対して，対照とした酸素発生剤のみ被覆の種子の出芽率は86.0%であり，有意差は無いものの，イミダクロプリド剤の混和被覆により出芽率が低下する傾向となった。無乾燥条件の場合でも薬剤無混和種子の出



図Ⅲ－2　イミダクロプリド剤混和被覆種子の出芽率（%）

×：対照区（酸素発生剤のみ被覆）
◆：全層混和被覆区
▲：標準混和被覆区
●：簡易混和被覆区

表Ⅲ－1　イミダクロプリド剤混和被覆種子の最終出芽率（%）

	被覆後3日播種			被覆後10日播種		
	無乾燥	標準乾燥	過乾燥	無乾燥	標準乾燥	過乾燥
対照区	74.7a	86.0a	85.3a	78.0a	80.0a	80.7a
全層混和被覆区	64.7ab	81.3a	80.7a	58.0b	77.3a	81.3a
標準混和被覆区	60.7ab	82.0a	85.3a	53.0b	78.7a	84.7a
簡易混和被覆区	54.0b	79.3a	79.3a	54.7b	72.7a	82.0a

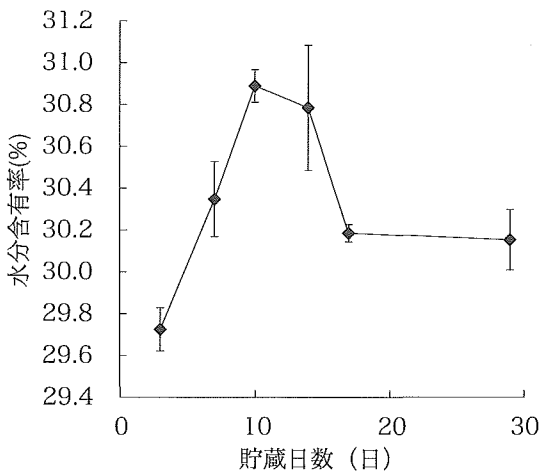
対照区：酸素発生剤のみ被覆。
各乾燥処理区内の同一文字間で5%水準で有意差無し。

芽率に比べ，イミダクロプリド剤混和被覆種子の出芽率が低い傾向にあり，そのなかでも簡易混和種子の出芽率が54.0%と低くなった。簡易混和被覆の場合，薬剤が被覆剤内に一層に集中して存在することとなる（図Ⅲ－1）。このため，局所的に存在する高濃度の薬剤に発芽後の幼芽が接触し，出芽に悪影響を及ぼしたものと推察された。なお，イミダクロプリド剤を酸素発生剤に混和被覆しても出芽に影響はないと報告した世古ら（1991[34]）の試験でも，諸条件は若干異なるも全層混和被覆条件で行っており，今回の結果と一致するものと考えられる。

被覆10日後播種の場合をみると，被覆3日後播種の場合と同様に，過乾燥および標準乾燥条件の種子では薬剤の有無，混和方法による有意な差はみられなかったが，無乾燥条件では対照区が78.0%であったのに対して薬剤混和被覆種子の出芽率は53.0～58.0%と一律に低くなった。また，薬剤混和被覆種子の場合，過乾燥条件では貯蔵による出芽への影響もみられなかったが，標準乾燥および無乾燥種子では貯蔵による出芽率の低下がみられた。

酸素発生剤中に混和された薬剤が，貯蔵中に水稲種子へ移行する可能性を明らかにするため，酸素発生剤被覆種子の貯蔵中の吸水状況を調べた。図Ⅲ－3は酸素発生剤のみを被覆した種子の玄米水分含有率の貯蔵期間による経時変化を示したグラフである。1週間10℃の条件下で浸種し，充分に吸水させた種子をハト胸催芽させ，酸素発生剤を標準量（乾籾重の2倍量）被覆し，被覆直後の重量の97%の重量になるまで陰干し（標準乾燥）を行い，10℃の冷蔵庫で貯蔵した。この貯蔵種子を40粒任意に取り出し，被覆剤および籾殻を取り除いた玄米重量（生重）と，乾燥機で80℃3日間乾燥した後の重量（乾物重）を測定し，水分含有率を算出した。

この結果，貯蔵10日間までは，約1%とわずかではあるが種子の水分含有率が増えており，10日間の貯蔵中に被覆剤に含まれている水分を水稲種子が吸収していることが明らかになった。



図Ⅲ－3　酸素発生剤被覆種子の貯蔵期間と玄米水分含有率
密封・10℃保存。
垂直線は標準誤差。

本出芽試験において，被覆後に無乾燥条件で貯蔵した種子の場合は，被覆剤中の水分量が多いため，他の乾燥条件の種子よりも被覆剤中の薬剤が動きやすい状態となっているものと推察される。このような状態の下で，前記のように貯蔵中にも種子が被覆剤から吸水していることから，出芽に影響があったものと推察された。

このため，イミダクロプリド剤の混和被覆を行う場合には，貯蔵期間を短くすることや，被覆後の乾燥程度に留意する必要がある。

2．水稲種子に混和被覆したイミダクロプリド剤および酸素発生剤の播種時の剝離について

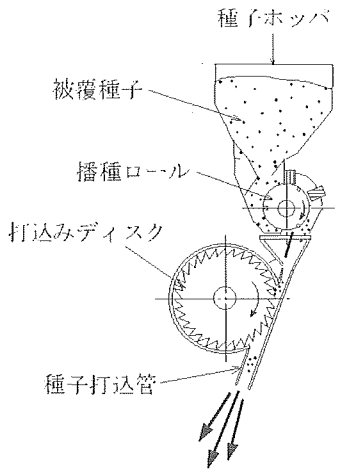
イミダクロプリド剤が混和被覆された酸素発生剤は，酸素発生剤に異物質が混和されていることとなり，酸素発生剤を単体で被覆したときに比べ被覆剤の剝離強度が低下していることも予想される。九州農業試験場（現九州沖縄農業研究センター）で開発された「打込み式代かき同時土中点播機（以下，打込み式播種機と略，図Ⅲ－4，写真4）」（下坪・富樫1996[4),5)]）を用いた直播栽培は耐倒伏性の向上に有効（下坪・富樫1996[5)]，吉永2001[7),8)]）な，安定的

湛水直播として栽培面積が増加しているが，本栽培法は代かき直後の軟らかい土壌に打込みディスクで加速された種子を打ち込む方式の播種方法をとっており，被覆剤の強度が低下していた場合に被覆剤が剝離し，播種後の生育，防除の効果に影響することが予想される。しかしながら，混和被覆した種子の播種時の被覆剤の剝離程度についての検討例は少ない。

そこで，本研究では打込み式播種期を用いた水稲湛水直播栽培における省力的なウンカ類防除手法確立に向けてイミダクロプリド剤を酸素発生剤に混和被覆した種子について，混和被覆法の違いが被覆種子の出芽や，播種時の剝離程度に及ぼす影響について検討した。

1）材料と方法

本章第1節と同じ3方法で混和被覆し，3条件で乾燥した種子を打込み式播種機（図Ⅲ－4）を用い播種を行った。このとき，打込み播種された被覆種子を柔らかい布で受け，播種後の被覆種子と播種時に剝離した被覆剤を幅2㎜の縦目篩で篩って剝離した被覆剤を分け，その質量割合を剝離率とした。なお，播種時の打込みディスクの回転数は1000rpmおよび1500rpmとした。それによる種子の播種時の初速度は10m/sおよび15m/sである。



図Ⅲ－4　打込み式播種機の概要

2）結果と考察

表Ⅲ－2にイミダクロプリド剤を混和被覆した種子の播種時の被覆剤の剝離率を示した。これによると剝離率は打込み速度，乾燥程度を問わず，全層混和で大きく，次いで標準混和，簡易混和の順で小さくなる傾向にあった。これは全層混和条件では被覆剤の全層に薬剤が混和されているために，酸素発生剤に含まれる固着成分（焼石膏）の固着力が弱まったためと思われる。一方，簡易混和，標準混和の場合は酸素発生剤のみで被覆されている部分があるために（図Ⅲ－1），全層混和種子よりも固着力が維持され，剝離率が大きくならなかったものと考えられた。

乾燥程度による被覆剤の剝離程度を比較すると，混和方法，打込み速度を問わず，過乾燥条件で剝離率が高くなり，無乾燥条件で低くなった（表Ⅲ－2）。乾燥程度を増すに従い種子の被覆剤の剝離率が高くなるのは，これまでの田坂ら（2001[52]）の報告と一致しており，乾燥するに従い被覆剤がもろくなる傾向にあることがわかった。

Ⅳ．総合考察

1．石灰窒素による薬害の回避法

本研究の結果，湛水直播栽培において，石灰窒素による出芽障害を回避しうる3つの要因が明らかになった。

第一に石灰窒素溶液中での発芽試験として実施さ

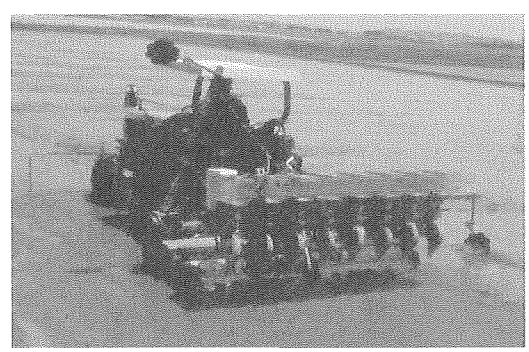


写真4　打込み式代かき同時土中点播機

表Ⅲ－2　被覆剤（酸素発生剤およびイミダクロプリド剤）の播種時の剝離率（%）

	打込み速度10m/s			打込み速度15m/s		
	無乾燥	標準乾燥	過乾燥	無乾燥	標準乾燥	過乾燥
対照区	2.2	3.7	7.5	8.3	10.9	20.6
全層混和被覆区	5.1	9.2	25.9	15.8	20.6	40.8
標準混和被覆区	3.8	8.4	20.2	13.5	20.9	28.5
簡易混和被覆区	3.4	5.0	12.7	10.8	13.9	82.0

対照区：酸素発生剤のみ被覆。
剝離率＝（剝離した被覆剤重量／被覆種子全重量）×100

れた実験II－2－2では，酸素発生剤被覆種子用いた場合と被覆相当量の酸素発生剤を種子に被覆しないで水溶液中に添加した場合では，後者の幼芽伸長に障害が見られ，酸素発生剤を添加しない石灰窒素溶液で無被覆種子を発芽させた場合と同程度の結果となった（図II－3）。このことにより，まず，酸素発生剤の被覆により直接的に石灰窒素溶液が種子に触れないという物理的な効果が被覆種子の障害回避に寄与していると推察された。

次に，今回実施したいずれの発芽試験・出芽試験においても被覆種子は石灰窒素による出芽障害がみられないか，みられても無被覆種子に比べて低減されていること，さらに実験II－2－3において大量の酸素発生剤を石灰窒素溶液と混合した場合に石灰窒素の主成分であるカルシウムシアナミドが分解したことから（図II－4），石灰窒素が種子に被覆された酸素発生剤の層を浸透していく過程でカルシウムシアナミドが分解され種子に到達する時点では無毒化されているという化学的な効果も被覆種子の障害回避に寄与していると推察された。

最後に実験II－3－3により石灰窒素散布後に代かきを行わない土壌に播種した場合に出芽障害がみられたのに対し，代かきをした土壌では良好な出芽がみられ，無散布の場合と同等であった（図II－9，表II－2）。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おり（奥田1961[42]），石灰窒素散布土壌であっても播種前に代かきを実施することにより，播種された種子の出芽障害を回避しうることが明らかになった。

以上の結果，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，酸素発生剤を被覆した種子を用い，播種前に代かきを行うことが石灰窒素の薬害回避のために必要であると考えられた。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。

2．石灰窒素の施用による酸素発生剤被覆種子の出芽性向上

石灰窒素溶液中での被覆種子の発芽試験の場合，石灰窒素濃度が0.6g/Lおよび1.2g/Lの場合に0g/Lの場合に比べて幼芽長の伸長が旺盛になる結果となった（図II－2）。さらに，土壌を用いた出芽試験の場合，散布量が増えると被覆種子では出芽率も高まり，幼芽伸長も旺盛になる結果となった（図II－6，表II－1，図II－8）。石灰窒素にはノビエ種子（井上ら1970[53]，1971[54]）等，様々な植物に対しての休眠覚醒効果があることが知られている（渡辺1998[55]）が，本試験ではハト胸状に催芽した種子を使用しており，休眠覚醒とは異なるものと思われる。実験II－2－3で得られた結果により，酸素発生剤が石灰窒素を分解することがわかっており，このことから種子に被覆された酸素発生剤層を石灰窒素が浸透する際に分解され尿素となり，この肥効により出芽率や幼芽伸長が向上したものと推察された。

3．石灰窒素の適正施用量

第1節のポットによる殺貝試験においては石灰窒素N2.5g/m²散布区であっても，N5g/m²散布区と同等程度の殺貝効果が見られたが（図II－1），これまでの報告によれば，実際の圃場条件で防除効果を得るためには概ね窒素量で4g/m²程度以上の散布量が必要とされている（宮原ら1987[12]，牧野・小澤1987[13]，矢野ら1990[18]，和田1997[23]）。一方，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[56]，西田2000[57]，脇本2000[58]，吉永2002[59]）。また，第5節においての実際の圃場での出芽試験の結果，石灰窒素を窒素量で4g/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8g/m²散布の場合では出芽に障害が見られた（図II－11）。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4g/m²程度の石灰窒素の散布が適当と結論づけられた。

ただし，第1節の殺貝試験により，確実な防除効果を得るためには48時間は必要と推察されたこと，また，石灰窒素は土壌との接触で容易に分解することから，水田表面水への石灰窒素散布後は土壌との攪拌がおこらないよう48時間程度放置することが必要と考えられた。

今後は，これら条件を検討した上での水稲の生育試験により，必要な追肥量などの施肥体系についての調査を行い，石灰窒素によるスクミリンゴガイ防除体系を取り入れた湛水直播栽培技術の確立を行う必要がある。

4．イミダクロプリド剤の酸素発生剤への被覆

混和薬剤の影響を受けず出芽の良かった全層混

和・過乾燥条件では打込み播種時の剝離が多くなり，逆に剝離が少なかった簡易混和・無乾燥条件の種子で出芽が悪くなった（表Ⅲ－1，図Ⅲ－2，表Ⅲ－2）。このことから，現時点では，標準混和被覆種子を標準乾燥条件で処理して播種することが，薬剤の混和被覆による水稲種子の出芽阻害および被覆剤の剝離という双方の悪影響が少ないことから，出芽と薬効の両方に適した条件と考えられた。今後は被覆剤の剝離が出芽に及ぼす影響や薬剤を混和した被覆剤の剝離が防除効果に及ぼす影響等について調査し，より詳細な薬剤混和被覆条件を明らかにしていく必要がある。

また，本研究の結果により，被覆後10日間貯蔵した場合，被覆後無乾燥条件としたイミダクロプリド剤混和被覆種子は出芽率の低下がみられたことから（表Ⅲ－1，図Ⅲ－2），被覆後は充分に乾燥させる必要があることも明らかになったが，実際の農家圃場において，ある程度大規模な圃場に播種するための種子に被覆作業を行う場合は被覆する種子の量も多くなり，作業時間も長くなる傾向にある。このため，作業時間短縮を理由として被覆後の乾燥時間を短くする傾向があるように見受けられる。出芽の安定化のためには，イミダクロプリド剤を混和被覆する場合，被覆後の陰干し乾燥を怠らないことが重要であることと考えられた。

5．まとめ

稲作コストの低減，省力化が求められている中で，これを解決し得る一つの方策として水稲直播栽培法の導入が考えられる。しかしながら，水稲直播栽培の導入の妨げとなっている要因として，播種後の出芽性が悪いこと，倒伏に弱いこと，またそれらにともなう収量性の低下などが挙げられてきており，実際にその導入は必ずしも多くはなっていない。この他の制限要因として，湛水直播栽培においては九州をはじめとした温暖な地域でのスクミリンゴガイによる出芽直後の幼弱な水稲苗の食害も無視できず，これの克服なしに温暖地域での湛水直播栽培の面積拡大は不可能である。本研究により石灰窒素によるスクミリンゴガイ防除を行う場合には，1．播種する種子を酸素発生剤で被覆すること。2．播種前に代かきを実施すること。3．スクミリンゴガイ防除と水稲の生育を考慮すると窒素量で4 g/m²の石灰窒素散布が適量であることが結論づけられた。これら結果により，スクミリンゴガイ防除効果はあるものの水稲への薬害のため利用されなかった石灰窒素が湛水直播栽培においては活用できることが判明した。

さらに，移植栽培において苗箱施用が一般化しつつあるイミダクロプリド剤について，直播栽培においても省力化を進めるために酸素発生剤に同時混和被覆を行うことが実用化している。この場合，出芽率の確保，播種時の被覆剤の剝離防止を考慮すると，酸素発生剤層でイミダクロプリド剤＋酸素発生剤混合層を挟んだ三層による被覆法「標準混和被覆」を施し，被覆直後の97%程度の乾燥する「標準乾燥条件」で処理した種子を使うことが望ましいことがわかった。また，被覆後の種子乾燥を怠ると種子貯蔵後の出芽率の低下の要因となることも明らかになった。これまで，イミダクロプリド剤による同時混和被覆では薬害は無いとされてきたが，条件によっては悪影響があるため適正な種子処理が必要であることが明らかになった。

今後，本研究で得られた結果である薬害回避防除法について圃場試験を行い，防除効果，水稲の栽培・生育についてのより詳細な研究を実施すると共に。営農・経営に関した研究も含めて総合的に進めていく必要がある。

謝　辞

本研究は，水稲湛水直播栽培の確立に関する一連の研究として，1999年4月より2001年9月までの間に，独立行政法人農業技術研究機構九州沖縄農業研究センター水田作研究部水田作総合研究チーム（福岡県筑後市，旧農林水産省九州農業試験場総合研究部総合研究第1チーム）で実施されたものである。

本研究の遂行および取りまとめには，多くの方々のご協力を頂いた。まず，信州大学大学院農学研究科南峰夫教授には本研究の取りまとめに対し，懇切なご指導と賜った。信州大学農学部藤田政良教授，岐阜大学農学部宮川修一教授，静岡大学農学部佐藤洋一郎助教授（現総合地球環境学研究所教授）にはご校閲の労をとって頂いた。また，本研究を実施する機会を与えて頂いた九州農業試験場水田利用部下坪訓次部長（現富山県立大学短期大学部教授）には研究の遂行ならびに取りまとめに対し，温かいご指導と激励を頂いた。九州沖縄農業研究センター水田作研究部水田作総合研究チームの脇本賢三チーム長（現水田作研究部長），主任研究官田坂幸平氏（現機械化研究室長），同吉永悟志氏（現東北農業研究センター水田利用部栽培生理研究室長）には常に多大なご指導，ご助言を頂いた。また，同業務第二課の後藤勝進氏，坂本和彦氏には研究遂行に多大なご

協力をいただくとともに，堤妙子氏，村上米子氏，中村陽子氏をはじめとする水田作総合研究チームの非常勤職員諸氏にデータ収集等の多大なご助力をいただいた。さらに，第II章の殺貝試験の実施に関しては，同水田作研究部機械化研究室（現生物系特定産業技術支援センター農業機械化研究所畜産工学研究部）の高橋仁康氏に養殖貝を譲渡いただき，石灰窒素については電気化学工業株式会社福岡支店（当時）の弓掛弘達氏にご譲渡頂いた。カルシウムシアナミドの測定に関しては電気化学工業株式会社青海工場の大森博昭氏にご協力頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

文　献

1) 太田保夫・中山正義（1970）．湛水条件における水稲種子の発芽におよぼす過酸化石灰粉衣処理の影響．日作紀 39，535-536．
2) 太田保夫・中山正義（1971）．酸素供給資材としての過酸化カルシウムの農業上の利用．農及園 46，306-310．
3) 大場茂明（1997）．落水出芽法の由来．農業技術 52，33-34．
4) 下坪訓次・富樫辰志（1996a）．水稲の代かき同時土中直播栽培に関する研究．1．点播直播について．日作紀 65（別1），12-13．
5) 下坪訓次・富樫辰志（1996b）．水稲の代かき同時土中直播栽培に関する研究．2．点播水稲と条播水稲の押倒し抵抗の比較．日作紀 65（別1），14-15．
6) 尾形武文・松江勇次（1998）．北部九州における水稲湛水直播栽培に関する研究―苗立ち密度ならびに播種密度が水稲の生育，収量および米の食味に及ぼす影響―．日作紀 67，485-491．
7) 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・冨樫辰志・下坪訓次（2001a）．打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稲の耐倒伏性向上―播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響―．日作紀 70，186-193．
8) 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・冨樫辰志・下坪訓次（2001b）．打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稲の耐倒伏性向上―耐倒伏性向上および安定化のための点播形状―．日作紀 70，541-547．
9) 松島憲一・脇本賢三・田坂幸平・吉永悟志（2000a）．湛水土中直播栽培における水稲育成系統「西海232号」の特性評価．日作九支報 66，25-27
10) 松島憲一・脇本賢三・田坂幸平・吉永悟志（2001b）．湛水土中直播栽培における水稲育成系統「西海238号」の特性評価．日作九支報 67，1-3
11) 和田　節（2000）．スクミリンゴガイ．農及園 75，215-220．
12) 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．
13) 牧野秋雄・小澤朗人（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．
14) 平井剛夫（1987）．スクミリンゴガイの生態と防除．農及園 62，42-46．
15) 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．
16) 小澤朗人・牧野秋雄（1989）．スクミリンゴガイの生態と防除．植物防疫 43，38-41．
17) 恒吉　隆（1989）．スクミリンゴガイへ石灰窒素．今日の農業4月号，102-106．
18) 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．
19) 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．
20) 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．
21) 平　博之・山口純一郎・小森辰巳・田中　靖・三原　実・田中龍臣（1997）．普通期水稲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．
22) 廣瀬敏晴・山下賢一・田中尚智・八瀬順也（1999）．スクミリンゴガイの発生と防除法．兵庫農技研報（農業）47，6-9．
23) 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．
24) 福島裕介・藤吉臨・石丸知道（1998）．水稲湛水直播栽培における初期水管理がスクミリンゴガイの被害軽減に及ぼす影響．九農研 60，13．
25) 和田　節・市瀬克也・杉浦直幸・福島裕介（1999）．湛水直播水稲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．
26) Wada, T., Ichinose, K., Higuchi, H. (1999). Effect of drainage on damage to direct-sown rice by the apple snail Pomacea canadiculata (Lamarck) (Gastropoda : Ampullariidae). Appl. Entomol. Zool. 34, 365-370.

27) 高橋仁康・西田初生・關正裕 (1999). 直播水稲栽培におけるスクミリンゴガイの機械的防除のための目標殻高設定. 九農研 61, 145.
28) 高橋仁康・西田初生・関 正裕 (2000). ロータリ耕うんによるスクミリンゴガイの圃場密度低減. 九農研 62, 156.
29) 高橋仁康・関 正裕 (2001). スクミリンゴガイ防除のためのロータリ耕うん技術の開発. 九農研 63, 140.
30) 高橋仁康・関 正裕・田坂幸平・西田初生 (2002). 耕うん・越冬・水口流入時のスクミリンゴガイ密度推移. 九農研 64, 142.
31) 高橋仁康・関 正裕・西田初生 (2002a). 市販ロータリ耕うん機によるスクミリンゴガイ被害の軽減. 農機学会誌64, 101-107.
32) 高橋仁康・関 正裕・西田初生 (2002b). ロータリ耕うんによるスクミリンゴガイ防除に関する基礎的研究. 農機学会誌 64, 76-81.
33) 鶴町昌市・ H. D. Just, Jr.・ G. F. Estoy, Jr.・ M. S. Dera Cruz (1997). 湛水直播栽培におけるスクミリンゴガイの防除時期について. 九農研 59, 77.
34) 世古晴美・須藤健一・今井國貴 (1991) 水稲湛水直播栽培における初期害虫の省力防除技術. 兵庫中央農技研報 39, 7-10.
35) 松島憲一・脇本賢三・吉永悟志・田坂幸平 (2000b). 石灰窒素の基肥施用が酸素供給剤被覆水稲種子の出芽に及ぼす影響. 日作紀 69 (別2), 162-163
36) 松島憲一・田坂幸平・吉永悟志・脇本賢三 (2001a). 酸素発生剤とイミダクロプリド剤を混和被覆した水稲種子の湛水土中出芽性日作紀 70 (別2), 181-182
37) 松島憲一・田坂幸平・吉永悟志・脇本賢三 (2002a). 酸素発生剤とイミダクロプリド剤を混和被覆した水稲種子の湛水土中出芽性. 日作紀 71, 389-393
38) 松島憲一・脇本賢三・吉永悟志・田坂幸平・大森博昭 (2002b). 石灰窒素の散布が湛水土中直播水稲の出芽に及ぼす影響. 日作紀 71, 11-16
39) 松島憲一・脇本賢三・吉永悟志・田坂幸平・大森博昭 (2003). 水稲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. 日作紀 72 (印刷中)
40) 毛利信治 (1997). 石灰窒素の秋施用によるスクミリンゴガイ防除における水温の影響. 今月の農業6月号, 61-65
41) 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. 553-573. Interscience Encyclopedia, New York.
42) 奥田 東 (1961). 第3次改著土壌肥料綜説. 養賢堂, 東京.
43) 井澤敏彦・平岡博幸・西山岩男 (1985). 湛水直播水稲の苗立に及ぼす土壌還元の影響. 第1報 小麦わらおよび炭水化物添加土壌における酸化還元電位と湛水直播水稲の苗立との関係. 日作紀 54 (別1), 24-25.
44) 井村光夫・萩原素之・三石昭三 (1985). 水稲の湛水土中直播における出芽・苗立不安定要因の解析. 第1報 土壌還元および湛水中溶存酸素量と出芽 (ポット試験). 日作紀 54 (別2), 28-29.
45) 土居健一・大隅光善・真鍋尚義 (1986). 湛水土壌中直播栽培における2, 3の問題点 第3報 土壌の還元程度と出芽率. 九農研 48, 35.
46) 大隅光善・土居健一・佐藤寿子・真鍋尚義 (1988). 重粘土水田における水稲湛水土壌中直播栽培技術. 第1報 出芽苗立の安定化. 福岡農総試験報 A-7, 19-24.
47) 鍛冶原俊夫・泉恵市・加賀山文雄・清田洋次・横山威・郡司掛則昭 (1989). 麦跡湛水直播栽培技術の確立. 熊本農試研報 15, 1-30.
48) 渡部富男・和田潔志・小川豊・西川康之・恵畑康利 (1990). 水稲の早期栽培地帯における湛水土中直播栽培法に関する研究 2. 出芽・苗立の安定化. 千葉農試特報 17, 3-19.
49) 萩原素之 (1993). 水稲の湛水土壌中直播における出芽・苗立に関する研究—種子近傍の土壌の酸化還元との関係に特に注目して—. 石川農短特研報 20, 1-103.
50) 田中浩平・神内暢明・矢野敏行・原田皓二 (1999). 水稲直播栽培における出芽・苗立ちの安定化のための初期水管理. 日作九支報 65, 13-15.
51) 吉永悟志・脇本賢三・冨樫辰志・田坂幸平 (2000). 土中出芽性向上のための酸素供給剤被覆水稲種子の乾燥および貯蔵条件. 日作紀 69, 146-152.
52) 田坂幸平・松島憲一・吉永悟志・脇本賢三 (2001). 代かき同時土中点播機の開発 (第3報) —新型打込みディスクの開発—. 農機学会講演要旨集, 21-22.
53) 井上克弘・東 俊雄・山崎欣多 (1970). 休眠覚醒利用によるノビエ防除に関する研究 (第1報) 呼吸阻害剤およ

び呼吸阻害性ガスの休眠覚醒作用．土肥誌 41，377-382．
54）井上克弘・東俊雄・山崎欣多（1971）．休眠覚醒利用によるノビエ防除に関する研究（第2報）呼吸阻害による休眠覚醒現象の誘発について．土肥誌 42，157-162．
55）渡辺　優（1998）．私の観る「石灰窒素の休眠覚醒効果」．農及園 73，45-48．
56）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．176-181．農林水産技術情報協会，東京．
57）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稲の生育・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
58）脇本賢三（2000）．水稲の打ち込み式・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．
59）吉永悟志・竹牟礼穣・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稲の生育特性―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．

Study on the method of snail and insect pest control without chemical injury in submerged direct seeding in rice cultivation

Ken-ichi MATSUSHIMA
Division of Breeding Science of Functional Food Resources,
Science of Functional Foods Integrated Department,
Graduate School of Agriculture, Shinshu University

Summary

Establishment of practical methods of submerged direct seeding of rice is desired in Japan to reduce labor and cost of cultivation. Controlling the apple snail and insect pests such as plant hopper and green leafhopper is important process. However, application of some chemicals to control these pests inhibits the seedling emergence due to chemical injury causing a reduction of yield. Therefore, to establish the practical method of snail and insect pest control without chemical injury in the submerged direct seeding of rice, we examined the emergence of seedling on various situations and consider these results.

Apple snail damages rice crops. Especially in the case of submerged direct seeding of rice cultivation, apple snail seriously damages rice by eating just emerged young and soft rice seedlings. Application of calcium nitrate is effective in the control of the apple snail that damage rice seedlings. First of all, we verified the ability of the control of the apple snail by calcium nitrate in pot. Most of apple snail died by not only applying 5g nitrogen/m^2 but applying as little as 2.5g nitrogen/m^2. The effect of seed coating with oxygen supplier (calcium peroxide) on the suppression of rice-seedling emergence by calcium nitrate was examined in Petri dishes. The seed coating with oxygen supplier tended to promote elongation of the seedling in the solution 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. An investigation of the effects of calcium nitrate application on seedling emergence in the submerged direct seeding of rice was carried out in pot experiments. In the case of seeds not coated with oxygen supplier, seedling emergence was inhibited. On the other hand, seeds coated with oxygen supplier showed normal seedling emergence, and the emergence rate increased as the quantity of calcium nitrate application increased. 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, and reduced the concentration of calcium cyanamide in the flood. In the other experiment carried out, in which soil was incorporated with wheat straw, calcium nitrate inhibited the seedling emergence of non coated seeds, but that of coated seeds was not. In the field experiment, the seedling emergence from the seeds coated with oxygen supplier was inhibited by applying

8g nitrogen/m^2 of calcium nitrate, but not by 4g nitrogen/m^2 of calcium nitrate. These result suggested that oxygen supplier can decompose the calcium cyanamide and puddling the soil can promote to decompose it. 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/m^2 as nitrogen.

On the other hand, controlling the plant hopper and green leafhopper is necessary for rice cultivation. The coating of rice seeds with Imidacloprid together with an oxygen supplier is effective in controlling the plant hopper and green leafhopper. The effect of the method of mixed coating and level of drying after coating on seedling emergence in the submerged direct seeded rice was examined in pot experiments. In the excess-dried and usual-dried seeds the rate of seedling emergence when seeded 3 days after the coating was influenced neither by the presence of chemicals nor by method of mixing. However the non-dried seeds coated with Imidacloprid together with an oxygen supplier showed a lower seedling emergence percentage than those coated with the oxygen supplier alone. The seeds coated by the "easy method" showed the lowest seedling emergence percentage. When seeded 10 days after coating, was not inhibited by coating with Imidacloprid plus oxygen supplier in the seedling emergence excess-dried seeds, but was inhibited in usual-dried and non-dried seeds. The chemicals coated on the seeds by the "whole method" fell off more easily than those coated by the "easy method" after sowing. Especially, the chemicals coated on excess-dried seeds fell off easily. Thus we recommend seeding the usual-dried seeds coated by "standard method". As for seeds which have to be stored for more than a week after coating, we recommend to dry well before storage to protect from chemical injury.

In order to better integrate these results and cultivation method of submerged direct seeding of rice study in more detail about effect of control, fertilizer application and growth of rice in field experiments is required. Economic evaluation the adoption of these methods to rice farming is also necessary.

Key word : apple snail, calcium nitrate, direct seeding of rice in submerged field, imidacloprid, oxygen supplier