

打込み式代かき同時土中点播機を用いた水稲の湛水直播栽培における生産性の向上および安定化に関する研究

吉永悟志

(2002年6月28日 受理)

要 旨

吉永悟志(2002)打込み式代かき同時土中点播機を用いた水稲の湛水直播栽培における生産性の向上および安定化に関する研究。九州沖縄農研報告 41:53-116。

本報告では、近年開発された「打込み式代かき同時土中点播機」を用いた水稲の湛水直播栽培(打込み点播栽培)における出芽・苗立ち、耐倒伏性、生育・収量に関する特性の解明を行い、生産性の向上および安定化方策について検討した。出芽・苗立ちの安定化については、播種後の落水管理や酸素発生剤被覆種子を適度な乾燥を行った後20~25℃で3日間貯蔵する短期間貯蔵処理が、播種深度のばらつきによる出芽の不斉一化や播種深度確保による出芽率の低下の回避に有効であった。次に、打込み点播栽培による点播水稲の耐倒伏性を検討した結果、散播水稲に比較して1株穂数が安定して多いために移植水稲と同等の高い耐倒伏性を示すことや、苗立ち密度、播種深度および施肥条件が変動しても安定して高い耐倒伏性を示すことが明らかとなった。さらに、点播水稲は登熟期間の光合成が旺盛なために登熟能力が高いことが示され、緩効性肥料を用いた後期重点施肥を行うことにより籾数の増加にともなう収量性の向上が達成された。以上のように、耐倒伏性や登熟能力の高い点播水稲は、出芽・苗立ちの安定化を図るとともに施肥法の改善により籾数を増加させることにより生産性の向上および安定化が達成され、湛水直播栽培の安定化に有効な栽培法となることが明らかとなった。

キーワード：出芽、水稲、生育特性、施肥、耐倒伏性、湛水直播、点播。

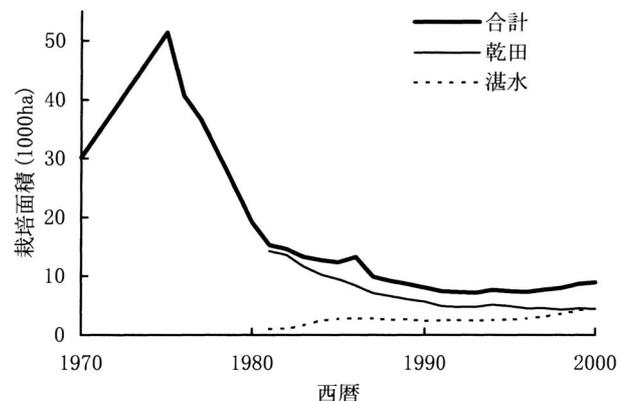
目 次		生剤被覆種子の乾燥および貯蔵条 件の解明
I. 緒 言	54	65
1. 研究の背景	54	1) 材料と方法
2. 既往の研究成果の概要および 残された課題	56	2) 結果
3. 本研究の目的と構成	58	3) 考察
4. 謝辞	59	3. 酸素発生剤被覆種子の短期間貯 蔵による出芽の斉一化および打込 み播種の影響の解明
II. 打込み点播水稲の出芽・苗立ちの 安定化	59	1) 材料と方法
1. 播種後の落水管理が出芽・苗立 ち、施肥窒素の動態および水稲の 生育・収量に及ぼす影響	59	2) 結果
1) 材料と方法		3) 考察
2) 結果		III. 打込み点播栽培による耐倒伏性の 向上
3) 考察		74
2. 土中出芽性向上のための酸素発		1. 点播水稲の耐倒伏性向上要因の 解明および苗立ち密度の影響
		1) 材料と方法
		74

2) 結果	3) 考察
3) 考察	2. 土中点播水稻の安定・多収のた めの施肥法の確立…………… 97
2. 耐倒伏性向上および安定化のた めの点播条件…………… 81	1) 材料と方法
1) 材料と方法	2) 結果
2) 結果	3) 考察
3) 考察	3. 点播栽培における播種条件が生育 ・収量に及ぼす影響……………103
3. 点播水稻の耐倒伏性の移植水稻 との比較および施肥による変動………… 89	1) 材料と方法
1) 材料と方法	2) 結果
2) 結果	3) 考察
3) 考察	V. 総合考察……………106
IV. 打込み点播水稻の生育特性の解明 と生産性の向上…………… 92	VI. 摘 要……………109
1. 散播水稻と比較した土中点播 水稻の生育特性の解明…………… 92	引用文献……………111
1) 材料と方法	Summary……………115
2) 結果	

I. 緒 言

1. 研究の背景

我が国における水稻の直播栽培について最近50年間の動向をみると、戦後の農村における労働力不足により直播栽培に対する関心が高まるとともに、その後の高度経済成長、農業基本法の制定等に伴い、行政的にも直播栽培の導入が進められ、1970年代の中頃には直播栽培面積は50,000haを越え、水稻栽培面積の約2%を占めるに至った(第1図)。しかしながら、機械移植機が1960年代後半に実用化され、1970年代に急速に普及するのに伴い直播栽培は減少の一途をたどり、1990年代はじめには約7,000haまで減少した。こうしたなかで、近年の米の輸入関税化措置や米価の低迷、あるいは農業従事者の高齢化などに対応して稲作の大規模化、低コスト化および省力化の要請が強まるとともに、その対応技術として直播栽培の確立が求められている。2001年の直播栽培面積は乾田直播4,546ha、湛水直播5,644haであり、合計10,190haと水稻作付全体の約0.6%という低い水準にとどまっている。しかし、1997～2001年の5年間の



第1図 我が国における直播栽培面積の推移

推移をみると、乾田直播面積がほぼ横ばいであるのに対し、湛水直播面積は約80%増加しており、湛水直播栽培導入・普及の機運が高まりつつあるといえる。

しかしながら、直播栽培は移植栽培と比較すると生育・収量面ともに安定性に欠け、その主要因として出芽・苗立ちの不安定性、登熟中・後期の倒伏の発生があげられる。出芽・苗立ちに関しては、湛水直播栽培では代かき後の土壤に播種するので種子周囲が還

元状態となるため、出芽率の低下を生じやすいことが問題となっている。出芽率低下の軽減策として酸素発生剤（商品名：カルパー粉粒剤16）の使用が実用化されるに至り、ハト胸状に催芽した種子を同資材で被覆して、土壌中10～20mmの深さに播種する土中播種が一般化している。しかしながら、湛水直播栽培の安定化のためには出芽・苗立ちの向上および安定化をさらに図っていく必要がある。

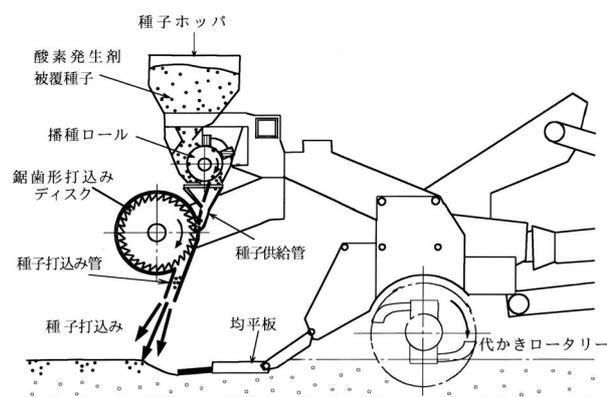
次に、直播栽培では移植栽培に比較して土壌表面からの株の基部の位置が浅くなるために登熟期の耐倒伏性が低下し、倒伏を生じやすいことが問題点としてあげられる。水稲栽培における倒伏の問題は、収量低下のみならず食味品質の低下も生じるとともに機械収穫に支障をきたすなど大きな問題となる。このため、移植栽培に比較して耐倒伏性が低いとされる湛水直播栽培では倒伏の回避のために移植栽培に比較して施肥量を減らしている事例が多く、このことが直播栽培の収量が移植栽培に比較して低い要因の一つとして考えられる。

また、直播栽培では移植栽培に比較して安定・多収化のための栽培法に関する検討が十分に行われていないため、直播水稲は移植水稲と生育特性が異なるにもかかわらず、これに対応した施肥法の検討も不十分となっている。さらに、湛水直播栽培では苗立ち密度が変動することや散播、条播および点播といった播種様式があることなどから、多様な条件に対応した栽培管理法の確立が必要となる。

こうしたなかで、九州農業試験場（現九州沖縄農業研究センター、以下同様）において、1994年から稲－麦あるいは稲－飼料作の二毛作体系における作業

競合の回避や、水稲の登熟期の台風の影響や良食味品種の作付け増加によって一層顕在化する倒伏問題への対応技術として、「代かき同時土中点播栽培技術」の開発が進められた。開発の柱として、「打込み式代かき同時土中点播機（以下、打込み点播機と略記）」と「打込み播種における出芽の安定化、土中点播栽培における耐倒伏性向上技術」を据えて、前者を先行させつつ同時並行的な取り組みを行った。先行して開発された「打込み式代かき同時土中点播機」（下坪・富樫1996a）（写真1）は、代かきロータリー後部に装着され、播種ロールから間欠的に供給される5～8粒の種子を高速回転（500～1500rpm、周速度5～15ms⁻¹）する鋸歯形ディスクの外縁部で打撃し、代かきロータリー均平板後方の代かき土面に打ち込む機構を有する（第2図）。

本機は、代かき整地作業時に同時作業として播種を行い、打込み播種により5～20mmの播種深度を確保して転び苗や浮苗の発生抑制および転び型倒伏の軽減すること（写真2）、複数種子で株を形成させる



第2図 打込み式代かき同時土中点播機の概要



写真1 打込み式代かき同時土中点播機
（代かき整地と播種を同時に行っている）



写真2 打込み点播機による播種直後の土壌表面
（クレーター状のくぼみに種子が打ち込まれている）



写真3 打込み点播水稻の苗立ち状況
(点播水稻は移植水稻に類似した草姿を示す)

点播状播種(写真3)による耐倒伏性の向上を図ることが特長となっている。このため、本栽培法による湛水直播栽培の安定化が期待されている。

本報告を構成する試験は、上記播種機を用いた「打込み播種における出芽の安定化、土中点播栽培における耐倒伏性向上技術」に関する技術開発を担って取り組まれたもので、打込み点播栽培の生産性向上および安定化を達成し、安定的湛水直播栽培の確立を行うことを目的としている。本報告は3部で構成され、打込み点播栽培における①出芽・苗立ちの安定化、②耐倒伏性の向上要因の解明と安定化、③生育および収量特性の解明による安定・多収化のための一連の試験結果を取りまとめている。

2. 既往の研究成果の概要および残された課題

1) 打込み点播栽培における出芽・苗立ちの安定化

湛水直播栽培は、播種した種子の位置により表面播種および土中播種に分類される。表面播種では土壌表面付近に播種されるため出芽率は安定して高い傾向を示すが、出芽にともなって伸長する根によって種子が押し上げられ、浮き苗や転び苗を生じるために苗立ち不良の問題を生じやすい。また、株の基部が土壌表面付近にあるために登熟期の株の支持力が小さくなることで転び型の倒伏を生じやすくなる。さらに、種子が露出している場合には鳥による食害を受けやすくなるなど多くの問題を生じる。これに対し、播種深度を確保する土中播種は、浮き苗および転び苗発生抑制、耐倒伏性の向上、鳥害の回避等に有効であるが、還元条件下での出芽となるために出芽率の低下が危惧されるとともに、苗立ち時期が遅れることが問題となる。このため土中播種における出

芽・苗立ちの安定化による湛水直播栽培の安定化が重要とされ、これまでに様々な研究が行われてきている。まず、土中での土壌の還元状態の影響を低減するために、過酸化石灰を含んだ酸素発生剤を催芽種子に被覆することで出芽・苗立ちの安定化が図られた(太田ら1970)。その後、実用化試験(中村1976、三石・中村1977)を経て酸素発生剤(商品名:カルパー粉粒剤16)が市販化されるに至ってからは、ハト胸状に催芽した種子を同資材で被覆して、土壌中10~20mmの深さに播種を行う湛水土中栽培が一般的に行われるようになってきている。

また、播種後の水管理としては、これまでは湛水土中直播栽培では播種後入水して湛水状態で出芽させる方式が一般的であった。この方式では湛水による保温効果や除草剤を早い時期に散布することで雑草防除を行いやすいという特長があったが、湛水状態では酸素発生剤の被覆を行っても出芽の不安定化が問題となっていた。これに対し、播種後の入水を行わず落水状態で出芽させる「落水出芽法」が近年、全国的に導入されつつある(大場1997)。落水状態では種子周辺の土壌が酸化的に推移する(古畑ら1998、田中2000)ために出芽率の向上や初期生育の増大効果が大きいことが明らかにされている(高橋ら1998、佐藤ら1999、佐藤・丸山2000)。また、土壌硬度が高まるため、登熟期の耐倒伏性の向上にも効果のあることが報告され(谷口ら1998、田中2000)、暖地の水稻作において近年大きな問題となっているスクミリングガイによる出芽苗の食害についても落水期間中は食害が回避できる(WADAら1999)という特長がある。

なお、打込み点播栽培では、出芽個体の出芽深度は数mm~20mmの範囲にばらつくために、播種深度の不均一性が高い条件での土中播種が特徴である。このような条件では、上述の酸素発生剤被覆種子の利用や、播種後落水管理により、播種深度の深い種子でも安定して出芽させること、また、播種深度の差による出芽時期の差を小さくして出芽期間を短くすることが重要となる。さらに、打込み点播機の播種機構である打込みディスクによる種子の打撃が出芽・苗立ちに及ぼす影響を明らかにする必要がある。

2) 打込み点播水稻の耐倒伏性

水稻栽培における倒伏は、受光態勢悪化にともなう光合成量の低下による減収(SETTERら1997)や食味品質の低下(松江ら1991)を生じるとともに、機

械収穫に支障をきたすなど大きな問題となる。湛水直播栽培では、播種深度を確保することにより転び型の倒伏は軽減できるものの、一般に移植栽培に比較すると株の基部は浅くなるために耐倒伏性は低下するため、湛水直播栽培では倒伏の軽減や回避のために施肥量を減らす事例が多く、このことが直播栽培の収量が移植栽培に比較して低い要因の一つであると考えられる。このため、耐倒伏性の向上は湛水直播水稲の安定・多収化のための重要な課題といえる。一方、湛水直播栽培は播種様式として散播、条播および点播の3種類に分類されているが、播種様式と耐倒伏性との関係については世古ら（1983）、下坪・富樫（1996b）および尾形・松江（1998b）により点播水稲の耐倒伏性が最も高く、散播水稲の耐倒伏性が低いことが示されている。近年の湛水直播における各播種様式の栽培面積は、散播の栽培面積が減少するなかで条播や点播の面積が増大している。農家の間では直播栽培においてもコシヒカリのように耐倒伏性が低くても市場性の高い良食味品種を作付けする気運が高いため、耐倒伏性を低下させる散播栽培を敬遠して、条播や点播栽培を選択していると推察される。このように湛水直播栽培では耐倒伏性が重要視されているとともに、その向上には点播栽培がもっとも適した播種様式であると考えられる。しかしながら、これまで実用的な点播用播種機がなかったために点播水稲の耐倒伏性向上要因や直播栽培で不可避である苗立ち密度や播種深度の変動が点播水稲の耐倒伏性に及ぼす影響について十分な検討がなされていない。

また、打込み点播機を利用した点播栽培は、散播栽培や条播栽培に比較して多様な播種条件の設定が可能で、播種量、株密度（株間）や播種深度の調節が容易であるとともに、播種条件にともない点播形状が変化するという特徴を有する。直播栽培の導入による省力化の効果は播種作業の高速化による作業時間の短縮により大きくなるが、作業速度と播種条件との関係については、例えば播種ロールの回転数が同じであれば作業速度を上げることで株間が広くなるとともに点播形状が大きくなる。また、株間が同一の設定であっても作業速度が速い方が点播形状は大型化することになる。さらに、代かき水が多い条件では、代かき土壌が動いている状態で種子が打ち込まれるため点播形状が大型化する。一方、播種深度につ

いては打込み点播栽培では代かき時の入水量や代かき回数の他に播種機の打込みディスクの回転数を変えることで播種深度を調節することが可能であるが、播種時の土壌硬度は不均一であるため播種深度の変動は避けられない。また、点播水稲は散播水稲に比較して播種ムラが小さいと考えられるが、苗立ち率の変動するために苗立ち密度の変動が不可避である。このため、これらの播種条件が変動しても点播栽培の特長である高い耐倒伏性が示されることが重要となる。しかしながら、これらの播種条件が耐倒伏性に及ぼす影響については検討されていない。

さらに、湛水直播栽培においては緩効性の窒素肥料の利用が、直播水稲の生育相の改善および安定・多収化に有効であることが示されている（関ら1987、中鉢ら1991、西田ら2000）。このような施肥法を行うことは増収にともなう地上部モーメントの増大や窒素吸収特性の変化にともなう稈長の伸長等により耐倒伏性が低下することが危惧される。このため、点播栽培における施肥法の改善と耐倒伏性との関係について検討を行う必要がある。

3) 暖地における打込み点播水稲の生育および収量特性

暖地水稲は生育期間の気温が高いために分げつ増加や葉面積展開速度が高くなり、その旺盛な初期生育により生育中期の窒素吸収が低下し、初数不足による減収を生じやすいことが示されている（鈴木1979、和田1980）。熱帯地域の水稲についても、分げつ増加速度が大きく最高分げつ期から幼穂分化期までの期間である栄養生長停滞期（VegetativeLag-phase：ラグ期）が長くなり、生育後期に乾物生産の低下を生じ減収することが報告されている（TANAKA1976）。湛水直播水稲は、主稈の低位節からも分げつが発生することから移植水稲に比較して初期分げつおよび初期生育が旺盛となる（世古ら1983、天野ら1989、DINGKUNら1990）。このため、直播水稲ではラグ期が長くなり、この時期の窒素吸収が低下することが示されている（吉永ら1995）。このように、暖地における湛水直播栽培では生育中～後期の窒素吸収や乾物生産の低下が助長され、これにともなう初数不足による減収が危惧される。

湛水直播水稲の播種様式と生育・収量との関係については、点播水稲は散播や条播に比較して有効茎歩合が高い（世古ら1983、WONら1996）ことや、初

期生育が抑制される(相川・森脇 1986)ことが報告されており、点播水稻は移植水稻に類似した生育特性を示すことが明らかとなっている。このため、点播栽培により上記のような暖地水稻の生育特性が改善されると考えられ、他の播種様式に比較して高い収量を示す事例(世古ら 1983, 中村ら 1986, 尾形・松江 1998b)も報告されている。しかしながら、点播水稻の生育特性を乾物生産や窒素吸収特性の面から詳細に解析した報告例は少ない。

一方、湛水直播栽培における施肥法について、姫田(1995)は、暖地の普通期栽培では後期重点施肥により初期生育を抑制して過繁茂を制御することが重要になることを文献解題において総括している。また、湛水直播水稻の施肥窒素の利用率は移植水稻に劣る(高橋ら 1991)ことなどから、生育初期の肥効の制御が可能で、利用効率も高い緩効性の被覆尿素肥料の直播栽培への利用が検討されている。関ら(1987)および西田ら(2000)は、湛水直播栽培における緩効性肥料の利用により施肥窒素利用率が向上することを示し、中鉢ら(1991)および西田ら(2000)は緩効性肥料の基肥全量施用を行った結果、速効性肥料の分施肥区に比較して増収することを示している。このため、打込み点播栽培において、上記のような施肥法の生育・収量への影響について検討する必要がある。

さらに、すでに述べたように打込み点播機を利用した点播栽培は多様な播種条件の設定が可能であるという特徴を有するが、耐倒伏性のみならず播種条件と生育・収量との関係を明らかにしたうえで、播種条件の設定を行う必要がある。

3. 本研究の目的と構成

既往の研究成果の総括から、打込み点播機を用いた湛水土中点播栽培の確立のために残された問題点を整理し、本報告を3部で構成した。各部の内容は以下の通りである。

1) 打込み点播水稻の出芽・苗立ちの安定化

打込み点播栽培では、打込み播種による播種深度の確保が特徴であるため、出芽・苗立ちの安定化が重要な課題である。そこで、Ⅱ章においてこれまでの湛水直播栽培において出芽・苗立ちの安定化のために実施あるいは検討されている技術を打込み点播栽培に適用し、その影響および有効性について明らかにする。「1. 播種後の落水管理が出芽・苗立ち、施肥窒素の動態および水稻の生育・収量に及ぼす影響」で

は、落水出芽法の有効性を検証するとともに、落水管理が水稻の生育・収量に及ぼす影響について、施肥窒素の動態を含めて明らかにする。また、「2. 土中出芽性向上のための酸素発生剤被覆種子の乾燥および貯蔵条件の解明」において出芽・苗立ち向上技術として、酸素発生剤被覆種子の短期間貯蔵の条件が土中出芽性に及ぼす影響について明らかにする。さらに、「3. 酸素発生剤被覆種子の短期間貯蔵による出芽の斉一化および打込み播種の影響の解明」では短期間貯蔵が打込み点播栽培における出芽・苗立ちの安定化および斉一化に対する効果を検証するとともに、打込み播種時の種子の打撃が出芽・苗立ちに及ぼす影響を解明する。

2) 打込み点播栽培による耐倒伏性の向上

点播水稻の大きな長所は耐倒伏性の向上である。そこで、Ⅲ章において、打込み点播水稻における耐倒伏性の向上要因を明らかにするとともに、播種条件が耐倒伏性に及ぼす影響について検討し、安定して高い耐倒伏性を得るための点播条件を解明する。「1. 点播水稻の耐倒伏性向上要因の解明および苗立ち密度の影響」においては、苗立ち密度を変化させた散播水稻の耐倒伏性の変動との比較をもとに、耐倒伏性向上要因や点播水稻の耐倒伏性に関する特性を明らかにする。「2. 耐倒伏性向上および安定化のための点播条件」においては株間、点播形状および播種深度などの点播条件が点播水稻の耐倒伏性に及ぼす影響を検討し、安定して高い耐倒伏性を得るための点播条件を解明する。さらに、「3. 点播水稻の耐倒伏性の移植水稻との比較および施肥による変動」において点播水稻と移植水稻の耐倒伏性を比較するとともに、施肥法による耐倒伏性の変動を明らかにする。

3) 打込み点播水稻の生育特性の解明と生産性の向上

点播栽培による耐倒伏性の向上は、栽培法の改変による直播栽培の安定・多収化を可能にする。そこで、Ⅳ章では打込み点播栽培による点播水稻の乾物生産および窒素吸収特性にかかわる生育特性を明らかにすることにより、点播水稻の生産性向上のための播種条件や施肥法の確立を行うことを目的とする。「1. 散播水稻と比較した土中点播水稻の生育特性の解明」においては、散播水稻との比較により乾物生産や窒素吸収の面から点播水稻の生育特性を明らかにする。また、「2. 土中点播水稻の安定・多収のための

施肥法の確立」では点播水稲における生産性向上のための施肥法を解明するために、施肥条件を変えて移植水稲と点播水稲の生育および収量特性の比較を行う。さらに、「3. 点播栽培における播種条件が生育・収量に及ぼす影響」において苗立ち密度、株間および点播形状などの点播条件の生育・収量に対する影響を検討し、安定・多収のための点播条件を解明する。

4. 謝辞

本研究は、打込み式代かき同時土中点播栽培の確立に関する一連の研究として、九州農業試験場 総合研究第1チーム（福岡県筑後市、現九州沖縄農業研究センター 水田作総合研究チーム）において1996～2000年に行ったものである。また、本研究の大半は日本作物学会に発表（吉永ら2000a, b, 2001a, b, c, 2002）しているが、本報告ではこれらの投稿論文と未発表の成績を含めて体系的にまとめている。

本研究の遂行および取りまとめには、多くの方のご協力をいただいた。まず、京都大学農学部櫻谷哲夫教授には本研究の取りまとめに対し、懇切な御指導と御校閲の労を賜った。打込み点播機の開発に携わるとともに、本研究を担当させて下さっ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）には、研究の遂行および取りまとめに対し、常に温かい御指導と激励をいただいた。九州農業試験場総合研究第1チーム脇本賢三チーム長（現九州沖縄農業研究センター水田作研究部長）には、研究の指導のみならず、研究の遂行および取りまとめに当たり恵まれた環境を与えていただいた。また、富樫辰志氏（現東北農業研究センター）、田坂幸平氏、松島憲一氏（現信州大学）および森田弘彦氏には、多大な協力や助言をいただいた。九州農業試験場水田利用部業務科の後藤勝進氏および坂本和彦氏には、労多い圃場試験の遂行にあたり多大な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総合研究第1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。ここに記して厚く感謝申し上げます。

さらに、本報告の完成には、前任地で湛水直播栽培試験の御指導をいただいた高梨純一室長（現近畿中国四国農業研究センター）をはじめとする多くの先輩や同僚、同一分野の研究者の方々、福岡県夜須町における現地実証試験の関係者をはじめとする全国各

地の打込み点播栽培試験の担当者の方々からの御意見やこれらの方々との情報交換が大きな力となった。これまでの御指導および御協力に心より感謝申し上げます。

Ⅱ. 打込み点播水稲の出芽・苗立ちの安定化

1. 播種後の落水管理が出芽・苗立ち、施肥窒素の動態および水稲の生育・収量に及ぼす影響

打込み点播栽培では、播種深度の確保による①浮苗および転び苗の発生の抑制、②耐倒伏性の向上、③鳥害の軽減による生育の安定化を目指している。このため、出芽・苗立ちの安定化が最重要課題であり、近年普及しつつある「落水出芽法」の適用が不可欠と考えられる。そこで、本試験の第一の目的として、打込み点播栽培における「落水出芽法」の有効性を確認することとする。

一方、播種後の落水管理と苗立ち後の水稲の生育との関係については、穂数増加による増収（高橋ら1998）や、幼穂分化期の窒素吸収量の低下（吉永ら1998）などが示されているが、播種後の水管理が生育・収量に及ぼす影響について検討を行っている報告例は少ない。また、落水中は基肥施肥直後に土壌が酸化状態となることから、乾田直播栽培で速効性肥料を基肥に施用した際に生じる脱窒・流亡による施肥窒素の利用率の低下（佐藤ら1993）についても検討を行う必要がある。そこで、本試験の第二の目的として、播種後の水管理条件と基肥の種類を変えて両要因が直播水稲の生育・収量に及ぼす影響について、土壌中の窒素の動態と水稲の窒素吸収との関係を中心に検討を行う。

1) 材料と方法

(1) 栽培条件

試験は1997～1999年の3か年にわたって、九州農業試験場内の細粒灰色低地土水田において行った。試験には九州地域で最も栽培面積の大きい良食味品種のヒノヒカリを供試し、比重1.13で塩水選を行った種子をハト胸状に催芽して酸素発生剤（カルパー粉粒剤16）を乾籾重の2倍量被覆した。播種は打込み点播機を用いて1997および1998年は6月18日、1999年は5月28日に行った。播種様式は条間30cm、株間20cm（16.7株 m^{-2} ）目標播種深度10mmで、播種量は乾籾相当で約3 gm^{-2} とした。播種後の水管理については湛水区および落水区を設け、湛水区では播種後

入水して田面が露出しない程度の浅水管理により出芽させ、落水区では出芽揃い期までの約10日間(1997および1998年は9日間, 1999年は10日間) 落水状態とした。ただし、落水期間中に土面の亀裂が大きくなり入水後の漏水が危惧された場合には一時的に入水を行った。また、水管理と土壌中の窒素の動態との関係を明らかにするために、基肥の種類として速効性の窒素肥料である硫酸および緩効性の肥料であるLPコート100(チッソ旭肥料(株)製, 以下LP100と略)を施用する2処理区を設けた。LP100は25℃水温下で100日間に約80%溶出する特性を有する肥効調節型の被覆尿素肥料である。窒素施用量は両施肥区とも 5gm^{-2} とし、 P_2O_5 および K_2O も基肥散布時に成分量で各 5gm^{-2} 施用した。両施肥区とも穂肥は出穂の約20日および10日前に窒素成分で3および 2gm^{-2} の硫酸をそれぞれ施用した。なお、試験は1997および1998年は2反復, 1999年は3反復で行った。

(2) 土壌中アンモニウム態窒素含有量の測定

水管理および基肥の種類が土壌中のアンモニウム態窒素含有量に及ぼす影響を明らかにするために1998および1999年に以下の方法で試験を行った。圃場と同条件の施肥量に調整した代かき土壌をポットに充填して、同一施肥区内の播種を行っていない場所にポット上部が土壌表面と一致するように1区当たり5ポット埋設した。このとき使用した土壌およびポットは5mm目で篩った試験圃場の土壌および底部に穴をあけた容積約400ml(上部半径40mm, 下部半径35mm, 高さ100mm)のポリエチレン製の円筒型ポットである。また、対照として無施肥区も設定した。各処理区の土壌は落水期間終了時に回収し、2mmの篩を通した後10%KCl溶液でアンモニウム態窒素を抽出してケルダール法による分析を行った。

(3) 出芽および生育・収量の調査方法

水管理と出芽との関係については、播種後15日目に苗立ち数、転び苗数および浮き苗数を調査し、苗立ち率および浮き苗率($100 \times (\text{転び苗数} + \text{浮き苗数}) / \text{出芽苗数}$)を算出した。また、1998年および1999年のそれぞれ播種後15日および21日目に幼苗を1区当たり30~40個体サンプリングし、葉齢、草丈、乾物重および窒素含有率の調査を行った。出芽調査後は生育および収量調査地点の出芽苗を1株当たり4~5本に密度補正を行った。生育調査は1998年および1999年に1区当たり10株の茎数調査を行うとともに、

1区当たり20株の抜き取り調査を成熟期までの生育期間中に4~5回行った。抜き取り株は80℃で3日間乾燥後、乾物重、窒素含有率を測定した。なお、窒素分析は乾式燃焼法(住友化学NC-80Autoおよびエレメンタル社rapidN)により行った。収量および収量構成要素の調査は以下の方法で行った。1区当たり50株(3.0m^2)を成熟期に刈り取り、刈り取り株の穂数を調査したあと天日乾燥を行った。乾燥後、脱穀を行う際、しいなを含めた籾を全て回収し、均分したサンプルの籾数を計測して m^2 当たり籾数を算出した。1穂籾数は m^2 当たり籾数を m^2 当たり穂数で除して算出し、収量は粒厚1.7mm以上の精玄米重で表し、登熟歩合は m^2 当たり籾数と粒厚1.7mm以上の精玄米数をもとに算出した。千粒重は約20gの精玄米の粒数を2回計測することにより算出した。なお、精玄米重と千粒重は水分含有率15%となるように値を補正した。

2) 結果

(1) 出芽・苗立ちおよび初期生育

出芽時期の気象条件および苗立ち率を第1表に示した。気象条件は年次変動が大きく、1998年は降水量が多く日照時間が少なかった。地温は湛水区に比較して落水区で低くなったが、その差は $0.2 \sim 0.8^\circ\text{C}$ と小さかった。苗立ち率は落水期間の天候が不順であった1998年は水管理による差は小さかったが、3年とも落水管理により苗立ち率が向上する傾向を示した。このとき湛水区では出芽時に生じた浮き苗や転び苗の割合が5~7%であったのに対し、落水区ではほとんど生じなかった。播種後15日(1998年)および21日目(1999年)における出芽個体の初期生育を第2表に示した。初期生育は両年とも類似の傾向が認められ、葉齢には水管理の影響は認められなかったが、硫酸施肥により出葉速度が速まった。一方、草丈および乾物重は落水区で大きい傾向を示し、播種後の落水管理により初期生育が促進された。また、基肥の種類では硫酸区の草丈および乾物重がLP100区に比較して顕著に大きく、特に落水区でその差が大きかった。窒素含有率は、水管理の影響は認められず、基肥の種類では硫酸区で高かった。窒素含有量は乾物重および窒素含有率の高かった落水の硫酸区で顕著に高く、湛水のLP100区が低かった。

(2) 土壌中アンモニウム態窒素含有量の変化

水稻による養分吸収の影響を受けない条件における代かき直後および落水期間終了時の土壌中のアン

第1表 出芽期の地温および出芽・苗立ち

年次	播種後 水管理	平均地温 (°C)	降水量 (mm)	日照時間 (時/日)	苗立ち率 (%)	浮き苗率 (%)
1997	湛水	27.0	44	6.7	67.6	7.0
	落水	26.2			83.5	0.0
1998	湛水	26.3	297	2.2	58.6	5.9
	落水	26.1			63.3	0.5
1999	湛水	24.1	87	7.5	75.2	5.1
	落水	23.3			82.9	0.0

注) 浮き苗率=100×(浮き苗数+転び苗数)/出芽苗数。平均地温は播種後10日間の地表面下10mmにおける値。降水量は落水期間中の積算値。日照時間は落水期間中の日平均値。同一年次で同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す。

第2表 出芽苗の初期生育

年次	播種後 水管理	基肥 種類	葉齡	草丈 (mm)	乾物重 (mg/plant)	窒素含有率 (%)	窒素含有量 (mg/plant)
1998	湛水	硫安	4.6	186	31.0	4.7	1.4
		LP100	4.3	181	22.8	4.0	0.9
	落水	硫安	4.7	197	39.4	4.7	1.9
		LP100	4.4	185	28.8	4.2	1.2
1999	湛水	硫安	5.6	172	55.4	3.7	1.9
		LP100	5.3	165	40.5	3.6	1.8
	落水	硫安	5.7	195	87.1	3.7	2.5
		LP100	5.3	176	44.4	3.6	2.2

注) 調査日は播種後15日目(1998)および21日目(1999)。同一年次で同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す。

第3表 土壤中アンモニウム態窒素含有量の変化
(単位: mg/100g 乾土)

年次	播種後 水管理	基肥 種類	代かき 直後(A)	落水 終了時(B)	増減 (B-A)
1998	湛水	無施肥	2.38	2.83	0.45
		硫安	7.63	7.88	0.25
		LP100	2.39	3.02	0.62
	落水	無施肥	2.38	2.56	0.18
		硫安	7.63	6.80	-0.84
		LP100	2.39	3.17	0.78
1999	湛水	無施肥	3.67	4.25	0.58
		硫安	8.19	8.74	0.54
		LP100	3.50	4.54	1.04
	落水	無施肥	3.67	3.96	0.29
		硫安	8.19	6.97	-1.22
		LP100	3.50	4.11	0.61

注) 1998および1999年の落水期間は9および10日間。同一年次で同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す。

モニウム態窒素含有量は水管理、基肥の種類による影響が認められた(第3表)。速効性肥料である硫安を基肥に施用した硫安区では代かき直後のアンモニウム態窒素が無施肥区に比較して高かった。このような高いアンモニウム態窒素含有量は代かき後湛水

状態を継続した場合にはほとんど変化しなかったが、約10日間落水状態であった落水区では落水期間中にアンモニウム態窒素含有量が減少した。また、その減少量は1998年は1999年に比較して小さかった。一方、基肥に緩効性肥料であるLP100を施用したLP100区

第4表 各生育時期における地上部乾物重

年次	播種後 水管理	基肥 種類	地上部乾物重 (g/m ²)									
			I	II	III	IV	V					
1998	湛水	硫案	293	ab	579	a	1119	a	1533	a		
		LP100	266	c	588	a	1122	a	1608	a		
	落水	硫案	312	a	566	a	1093	a	1537	a		
		LP100	281	bc	571	a	1100	a	1576	a		
1999	湛水	硫案	50	ab	206	a	399	a	897	a	1388	a
		LP100	30	b	137	b	322	a	805	a	1371	a
	落水	硫案	66	a	202	a	386	a	860	a	1331	a
		LP100	34	b	146	b	347	a	868	a	1363	a

注) I~Vはそれぞれ分けつ期, 最高分けつ期, 幼穂分化期, 穂揃い期および成熟期を示し, 全ての処理区のサンプリングは同一日に行った。同一年次で同一記号のついた値間にはLSD5%水準の有意差がないことを示す (以上, 第5表も同じ)。

第5表 各生育時期における窒素吸収量

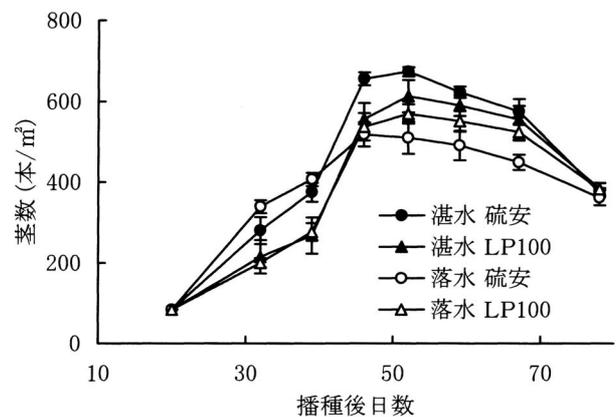
年次	播種後 水管理	基肥 種類	窒素吸収量 (g/m ²)									
			I	II	III	IV	V					
1998	湛水	硫案	7.1	a	7.7	b	12.4	a	12.9	bc		
		LP100	7.0	a	8.5	a	12.9	a	14.2	ab		
	落水	硫案	6.1	a	6.5	c	11.2	b	12.5	c		
		LP100	6.4	a	8.1	ab	12.8	a	15.1	a		
1999	湛水	硫案	1.7	ab	4.6	a	5.0	a	9.9	b	12.4	ab
		LP100	1.0	b	3.2	c	4.8	ab	10.1	b	13.4	a
	落水	硫案	2.1	a	3.8	b	4.0	b	9.5	b	11.3	b
		LP100	1.1	b	3.2	c	4.6	ab	11.2	a	13.0	a

では代かき直後のアンモニウム態窒素含有量は無施肥区との差は小さく, 落水終了時の値についても水管理による影響は認められなかった。なお, サンプリング時の土壌含水率は1998年は3%, 1999年は4%それぞれ湛水区に比較して落水区で低かった。

(3) 分けつ, 乾物重および窒素吸収量

分けつの推移は1998, 1999年とも類似した傾向であったため, 1999年の分けつの推移を第3図に示した。初期の分けつ増加は硫安区で大きく, 特に落水区の分けつ増加が顕著となるが, この区では最高分けつ期が早まった。これに対しLP100区では硫安区に比較して初期の分けつ増加が小さいとともに, 水管理による差は小さかった。

地上部乾物重は最高分けつ期までは基肥の種類による差を生じ, 硫安区がLP100区に比較して乾物重が大きかったが, 水管理による差は認められなかった(第4表)。窒素吸収量は第5表のように水管理および基肥の種類の影響を示した。分けつ期では生育初期の出芽個体の窒素吸収量と同様の傾向を示し,



第3図 分けつの推移

注) 1999年データ。垂直線は標準誤差を示す。

硫安区で窒素吸収量が大きく, 特に落水によりその傾向が顕著となった。しかしながら, 硫安区では最高分けつ期および幼穂分化期には2か年とも湛水区に比較して落水区において窒素吸収量が約1gm⁻²低下した。一方, LP100区では硫安区のような水管理による窒素吸収量の差は認められなかった。

第6表 収量および収量構成要素

年次	播種後 水管理	基肥 種類	精玄米重 (g/m ²)	同左 指数	穂和 (本/m ²)	1穂粒和 (粒)	総粒数 (×千/m ²)	同左 指数	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)					
1997	湛水	硫安	614	a (100)	442	a	69	a	30.3	a (100)	87.5	a	23.1	a	
		LP100	597	a	97	407	a	74	a	30.0	ab	99	a	23.0	a
	落水	硫安	577	b	94	441	a	64	a	28.2	b	93	a	23.1	a
		LP100	601	a	98	441	a	68	a	29.8	ab	98	a	23.1	a
1998	湛水	硫安	581	a (100)	391	a	72	a	28.2	ab (100)	90.2	b	22.8	b	
		LP100	579	a	100	404	a	74	a	30.0	a	106	c	22.5	b
	落水	硫安	572	a	98	349	b	75	a	26.3	b	93	a	23.6	a
		LP100	592	a	102	383	a	76	a	29.1	a	103	b	23.0	ab
1999	湛水	硫安	533	a (100)	374	a	72	bc	27.0	b (100)	84.8	b	23.3	ab	
		LP100	533	a	100	383	a	75	ab	28.7	a	106	c	23.1	b
	落水	硫安	519	a	97	361	a	70	c	25.3	c	94	a	23.5	a
		LP100	532	a	100	382	a	76	a	29.0	a	107	c	23.1	b
平均値	湛水	硫安	576	a (100)	402	a	71	a	28.5	a (100)	87.5	ab	23.1	a	
		LP100	570	a	99	398	a	74	a	29.6	a	104	c	22.9	a
	落水	硫安	556	b	97	384	a	70	a	26.6	b	93	a	23.4	a
		LP100	575	a	100	402	a	73	a	29.3	a	103	bc	23.1	a

注) 精玄米重は粒厚1.70mm以上, 水分15%換算。平均値では3か年の数値をあわせて統計検定を行った。同一年次または平均値において同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す。

(4) 出穂期, 収量および収量構成要素

出穂期は年次により異なったが, 水管理および基肥の種類による差は認められず, 9月3日(1997年), 9月1日(1998年)および8月25日(1999年)であった。第6表に示したように, 各年次の収量および収量構成要素の処理間差は有意差の有無に差があるものの3か年とも類似の傾向を示した。すなわち, 基肥の種類では硫安区においてLP100区に比較して総粒数の減少および登熟歩合の向上が認められたが, 同一施肥法で水管理による差を比較するとLP100区では総粒数の水管理による差は小さく, 精玄米重の差も小さかったのに対し, 硫安区では落水区の総粒数は湛水区に比較して少なく, 精玄米重の3か年平均値は有意に少なかった。特に総粒数については硫安施肥の落水区における低下程度は同湛水区に比較して3か年平均で7%, LP100区に比較すると3か年平均で約10%と顕著であった。

3) 考察

播種後落水を行う場合には, 除草剤の散布時期が遅れることや湛水による保温効果がないと出芽が遅れることが問題になると考えられてきた。しかしながら, 雑草防除については葉齢の進んだヒエを防除できる除草剤が近年普及しつつあるため, 落水によ

り除草剤の散布時期が遅れても一定の防除効果が期待できるようになっている。また, 水管理と地温の関係については田中(2000)は落水を行うと湛水に比較して最低地温は低下するが最高地温は逆に高まる傾向を示すため平均地温の低下程度は小さく, 出芽時期への影響も小さいことを示している。本試験においても落水により平均地温は若干低下したが差は小さく, 実際の出芽時期にもほとんど差が認められなかった。

次に, 水管理と出芽との関係について, 打込み点播機による湛水土中播種においても, これまでに報告されている(高橋ら1998, 佐藤ら1999, 佐藤・丸山2000)ように, 播種後落水を行うことによる出芽率の向上および浮苗や転び苗発生の抑制が認められた。このため, 打込み点播栽培においても播種後落水管理による出芽の安定が達成されることが確認された。本栽培法は打込み播種による播種深度の確保が特徴であるため, 播種後の落水管理は栽培管理上の重要な留意点になると考えられる。また, 出芽苗の初期生育についても既報(高橋ら1998, 佐藤ら1999, 佐藤・丸山2000)同様に, 播種後落水を行うことによる初期生育の促進が認められた。本試験における落水管理による初期生育の増大は基肥の硫安施肥により顕

著となり、窒素吸収量も増大した理由としては、落水により根の生育が促進され（高橋ら1998、佐藤ら1999）、根域が拡大することおよび硫安施肥により可給態窒素が土壤中に豊富に存在したことが考えられる。さらに、出芽苗の初期生育および窒素吸収量の増大により、落水管理を行った硫安施肥区における初期分けつの増大を生じたと推察される。落水管理による初期生育の増大や分けつの促進は高橋ら（1998）の結果とも一致している。以上のように、落水管理は湛水直播栽培の問題点である出芽・苗立ちの安定化に効果的であることが確認されるとともに、速効性窒素の基肥施用は落水管理による初期生育および窒素吸収量の増大をより顕著とすることが明らかとなった。

水管理と土壤中アンモニウム態窒素含有量の変化については、肥効調節型被覆尿素であるLP100を施用した区では、代かき直後のアンモニウム態窒素含有量は無施肥区と同等であったのに対し、落水管理終了時のアンモニウム態窒素含有量は無施肥区に比較して0.2~0.6mg 100g⁻¹乾土の増加を示した。LP100は25℃水温下で100日間に約80%の窒素が溶出する溶出タイプであり、この期間の推定溶出量は約0.4mgであることから実測値と推定値はほぼ一致した。これに対し、硫安施肥区では施用直後に肥料が溶解するため、代かき直後のアンモニウム態窒素含有量が無施肥区に比較して4.5~5mg 100g⁻¹乾土多くなった。硫安施肥区におけるアンモニウム態窒素含有量は湛水状態ではそのまま維持されたが、落水状態では約1mg 100g⁻¹乾土減少した。このことには、落水により酸化的な土壌状態となったことで硝酸化成により硝酸態窒素量が増加するとともに脱窒量が増大した（佐藤ら1993、山室1985）ことや土壌微生物への取り込み量に差を生じたことなどが考えられる。なお、アンモニウム態窒素含有量の減少程度に年次間差を生じた要因は1998年は落水期間中の降水量が多く、土壌の乾燥程度が小さかったためと思われる。

収量および収量構成要素における施肥および水管理の影響については、硫安施肥の落水区における総粒数の低下が顕著で精玄米重も同区で低下した。和田（1980）は暖地水稻は分けつ速度が大きいため最高分けつ期が早まり栄養生長停滞期（ラグ期）が長くなるために、この時期の窒素吸収が抑制され、粒数不足になることを報告している。また、小林・堀江

（1994）は総粒数の決定には穎花分化始期の稲体の地上部窒素吸収量の影響が最も大きいことを示している。本試験においても硫安施肥の落水区において初期の分けつが旺盛で最高分けつ期が早まるとともに、1998年および1999年の最高分けつ期から幼穂分化期の窒素吸収量も0.4および0.2gm⁻²と他の区に比較して小さくなった。また、同区の幼穂分化期の窒素吸収量も他の区に比較して顕著に小さく、これらの要因により総粒数が低下し、減収を生じたものと推察される。

以上のことから、基肥への速効性肥料施用と播種後の落水管理を組み合わせると、水稻の生育初期の窒素吸収量の増大と、播種後の落水にともなう施肥窒素の硝酸化成によると思われる土壤中アンモニウム態窒素含有量の低下を生じた。このため、最高分けつ期までに土壤中の可給態窒素量が不足した状態となり、幼穂分化期の窒素吸収量の低下による粒数不足にともなう減収を生じさせる可能性のあることが示された。これらのことから、播種後落水管理を行う場合には初期の肥効を抑制するとともに、生育中期の窒素不足を回避するような施肥法を行うことが、直播栽培における出芽・苗立ちの安定化と生育・収量の安定化の両立に重要となるであろう。具体的な方法としては、本試験で用いたLP100のように窒素肥効が緩やかで施肥窒素利用率も高い肥効調節型被覆尿素を用いることや、速効性肥料を用いる場合には基肥の施用量を減じて初期生育を抑制するとともに中間追肥等で生育に見合った窒素施用を行うこと、種子位置からある程度の距離をおいた側条に施肥を行うことにより窒素肥効発現を抑制することなどがあげられる。また、落水処理の期間や程度については、土壌や気象条件、スクミリンゴガイの生息密度等によってその対応が異なるため、上記のような施肥法は落水処理の期間や程度が水稻の生育に及ぼす影響を軽減するという点においても重要である。

以上の結果は、北部九州の麦跡における水稻の直播栽培を想定して行った試験であり、第1表に示したように播種後出芽までの期間の地温は25℃前後と高い条件であった。これに対し暖地における早期栽培や寒冷地における栽培では出芽時期の平均気温は15℃以下となる場合も多い。本試験で落水にともなう土壤中アンモニウム態窒素の減少を生じた主要因と考えられる硝酸化成は低温条件では抑制される

(BREMNER・SHAW1958) ことから、播種時期の温度の低い場合には落水期間は長くなるが落水にともなうアンモニウム態窒素含有量の低下程度は小さいと推察される。また、生育期の気温が全般に低く分けつ速度の小さい場合には初期生育や初期の分けつを促進することが重要となるため、気温の低い時期に播種を行う場合には、速効性肥料施用と落水管理を組み合わせることは直播水稲の生育の安定化に寄与することが考えられる。このため、気象条件に対応した落水管理時の施肥法についてさらに検討を重ねる必要があると考える。

2. 土中出芽性向上のための酸素発生剤被覆種子の乾燥および貯蔵条件の解明

近年、播種後落水状態で出芽させる落水出芽方式が普及しつつあり、前試験において確認されたように出芽・苗立ちの安定性が向上してきている。しかしながら、落水出芽方式においても圃場の均平程度が不均一である場合や降雨が続く場合には圃場の一部が湛水状態のまま入水期となる事例も多く、出芽の遅延により落水期間が長くなると除草剤の散布時期が遅れて除草剤の散布回数が増えるなどの問題がある。このため、直播栽培の長所である省力性や低コスト化を維持しつつ、短所である出芽・苗立ちの不安定性を改善する技術が必要となっている。特に、打込み点播栽培では打込み播種による播種深度の確保が特徴であり、出芽・苗立ちの安定化が重要な課題となる。

ところで、催芽種子への酸素発生剤の被覆作業は諸作業の競合を避けるために播種前日以前に行われることが多い。特に、直播栽培面積の多い営農組織等では、播種作業期間が長くなるため、1～2週間貯蔵した被覆種子を使用する事例が少なくない。酸素発生資材を被覆した催芽種子の貯蔵期間と出芽・苗立ちとの関係については、室温貯蔵で1週間程度(渡部ら1990)、低温貯蔵では5℃で10～20日(渡部ら1990)、10℃で20～30日(下坪ら1997)保存が可能であることが報告されており、低温貯蔵により出芽能力の低下が抑制されることが示されている。一方、貯蔵条件と出芽速度との関係について行った試験では、10℃で20日以上貯蔵を行った被覆種子は貯蔵開始直後あるいは5℃貯蔵種子と比較して出芽が早まる(下坪ら1997)こと、また、酸素発生剤被覆種子を催芽器で25～32℃で1～3日加温すると出芽が促進される(花見・手代木1998)ことが認められ、貯蔵温度が高い

条件で出芽速度が早まることも示されている。このため、湛水直播栽培で多くの場合行われる被覆種子の貯蔵について、その条件を制御することにより、出芽・苗立ちを簡易に向上させることが可能であると考えられる。さらに、被覆後の乾燥程度が出芽に影響を及ぼすことが明らかとなっているため(下坪ら1997)、乾燥程度と貯蔵性との関係の解明も必要となる。

そこで、本研究では湛水直播栽培における土中出芽性向上のための貯蔵条件を明らかにするために、酸素発生剤被覆水稲種子の乾燥程度や貯蔵温度と土中出芽性との関係について検討するとともに、土中出芽性向上効果における品種間差異および土壌条件の影響や長期間保存のための貯蔵条件についての検討を行った。

1) 材料と方法

(1) 酸素発生剤被覆種子の乾燥程度および貯蔵温度が出芽に及ぼす影響(試験1)

試験は九州農業試験場内の圃場において1996年に収穫後、10℃で貯蔵したヒノヒカリ種子を用いて、1997年に実施した(以下の試験も同様)。種子予措および被覆法はⅡ-1節に準じた。被覆種子の乾燥は新聞紙上に薄く広げて行い、乾燥程度は無乾燥(乾燥指数100)から被覆直後の重量の8%減(同92)まで7段階を設定した(第8表)。乾燥後の被覆種子は一定量ずつビニル袋に密封し、10、15、20、25および30℃の恒温器中にそれぞれ3日間貯蔵した。

3日間の貯蔵終了後、被覆資材からの幼芽あるいは幼根の抽出した種子の割合を調査し、抽出の有無にかかわらず出芽検定試験に供試した。出芽検定試験はコンテナ(内寸:長さ335mm、幅190mm、高さ155mm)を用いて以下の方法により行った。水田土壌(灰色低地土)6kgと水2Lを混合した代かき土壌を入れたコンテナを数時間静置し、その後コンテナ底部に挿入した排水管から12時間程度落水し、土壌表面に被覆種子を播種後、落水時の覆土深が10mmになるように代かき土壌を覆土した。1区当たりの播種量は50粒、3反復とし、1コンテナ当たり3区を播種した。このとき、覆土後は落水状態のまま20℃の恒温室に設置し、播種後14日目まで経時的に出芽調査を行い、最終出芽率、平均出芽日数および出芽係数(最終出芽率÷平均出芽日数)を算出した。なお、対照区として被覆直後の種子についても同様の条件で出芽試験を行った。

(2) 品種および播種後の水管理が出芽に及ぼす影響 (試験2)

短期間貯蔵が土中出芽性に及ぼす影響について、その品種間差を検討するために、キヌヒカリ、ヒノヒカリおよびユメヒカリの3品種を供試した。種子予措、被覆法、貯蔵条件および貯蔵期間は試験1と同様とし、被覆後の乾燥程度は被覆直後の重量に対し、4%の重量減(乾燥指数96)まで陰干しした。また、出芽試験および出芽調査は試験1同様の条件で行った。ただし、播種後の土壌水分状態の影響を検討するために、試験1と同様の播種後落水処理に加え、土壌表面から約10mmの水深になるように播種後灌水処理を行う区を設けた。

(3) 貯蔵温度および貯蔵期間が出芽に及ぼす影響 (試験3)

貯蔵期間が変動することを想定して、低温貯蔵を組み合わせたときの土中出芽性向上効果の検討を行った。供試品種、種子予措および被覆方法は試験1と同様とした。被覆後の乾燥程度は被覆直後の重量に対し、2、4および6%の重量減(乾燥指数98、96および94)まで陰干しを行う3段階を設定した。乾燥後の種子はビニル袋に密封し、10および25℃の恒温器中にそれぞれ以下のように合計10日間貯蔵した。すなわち、対照区(10℃):10℃で10日間貯蔵、25℃-A区:25℃で3日間貯蔵後に10℃で7日間貯蔵、25℃-B区:10℃で3日間貯蔵後に25℃で3日間貯蔵を行い再び10℃で4日間貯蔵、および25℃-C区:10℃で7日間貯蔵後に25℃で3日間貯蔵の合計4区を設定した。貯蔵終了後、試験1と同様の出芽試験を行った。

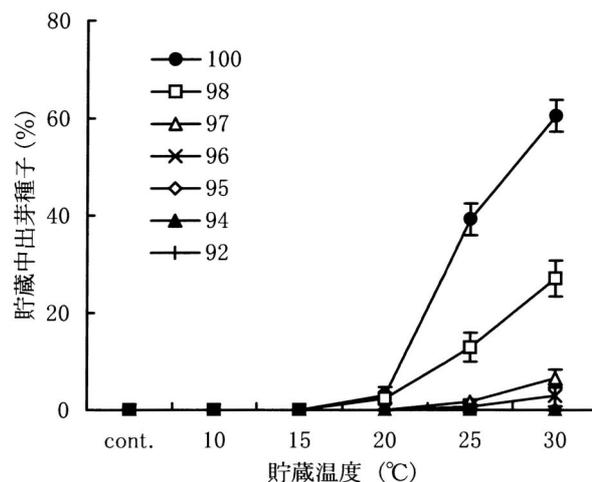
2) 結果

(1) 酸素発生剤被覆種子の乾燥程度および貯蔵温度が出芽に及ぼす影響

貯蔵期間中に、幼芽あるいは幼根が伸長して被覆資材から抽出した種子(以下貯蔵中出芽種子)が認められた。第4図に示したとおり、その割合は乾燥程度および貯蔵温度により大きく異なった。乾燥程度は小さいほど、貯蔵温度は高いほど貯蔵中出芽種子の割合が高まり、乾燥指数は98以上、貯蔵温度は25℃以上になるとその割合が顕著に増加した。また、乾燥指数が97以下では貯蔵温度が高くても貯蔵中出芽種子の割合は小さかった。なお、被覆資材に亀裂を生じたのみの種子や外観的に全く変化を生じなかった種子については被覆資材を取り除いても幼芽あるいは

幼根の伸長は確認されなかった。

乾燥程度および貯蔵温度の土中出芽性への影響の分散分析結果は第7表に示した。両処理の影響は出芽率、平均出芽日数および出芽係数それぞれにおいて認められた。このとき全ての形質で両処理の交互作用が有意となったため、乾燥程度により貯蔵温度の影響が異なる傾向となることが示された。第8表に示した出芽率への影響をみると、被覆直後に播種した種子の出芽率は81%であったのに対し、乾燥指数98~94で20~25℃の貯蔵を行うと、出芽率が90~97%に向上した。特に、乾燥指数98および97のときに10℃貯蔵区に比較して有意に出芽率が向上した。一方、第9表に示した平均出芽日数についても、貯蔵前の種子の平均出芽日数5.5日に対して、15℃以上の貯蔵温度による出芽日数の短縮効果が認められた。このときの条件は、乾燥指数が100~94で貯蔵温度が15~30℃の時に平均出芽日数が5日以下となり、



第4図 貯蔵中に生じた種子の頻度

注) cont.: 無貯蔵種子。凡例の数値は乾燥指数を示す。垂直線は標準誤差を示す。

第7表 乾燥程度および貯蔵温度の土中出芽性への影響に関する分散分析

変動因	自由度	平均平方		
		出芽率	平均出芽日数	出芽係数
貯蔵温度	5	324**	11.70**	250.1**
乾燥程度	6	2109**	2.22**	148.2**
交互作用	30	154**	0.33**	16.2**
誤差	84	53	0.12	6.1

注) **: 1%水準で有意。

第8表 乾燥程度および貯蔵温度が出芽率に及ぼす影響

貯蔵 温度℃	乾燥指数						
	100	98	97	96	95	94	92
cont.	81 a	81 ab	81 ab	81 a	81 a	81 a	81 a
10	59 b	66 b	78 b	82 a	83 a	80 a	83 a
15	59 b	91 a	85 ab	90 a	87 a	88 a	85 a
20	50 b	94 a	95 a	97 a	93 a	94 a	81 a
25	48 b	92 a	90 ab	93 a	94 a	91 a	87 a
30	50 b	85 ab	88 ab	88 a	86 a	85 a	74 a
平均値	70	86	87	89	88	87	84

注) cont.: 無貯蔵種子。乾燥指数は被覆直後の種子重量を100とした陰干し後重量の相対値。同一乾燥指数で同一英文字のついた値間にはTukeyの多重検定で5%水準の有意差がないことを示す(以上, 第9~10表も同じ)。

第9表 乾燥程度および貯蔵温度が平均出芽日数に及ぼす影響

貯蔵 温度℃	乾燥指数						
	100	98	97	96	95	94	92
cont.	5.5 a	5.5 a					
10	5.8 a	5.0 ab	5.4 ab	5.7 a	5.4 a	5.5 a	5.7 a
15	4.9 ab	4.5 b	4.9 b	4.5 b	4.8 ab	4.9 bc	5.3 a
20	4.2 bc	3.6 c	3.8 c	4.1 bc	4.2 bc	4.4 bc	5.1 a
25	3.6 c	3.5 c	3.6 c	3.7 c	3.9 c	4.3 c	5.1 a
30	3.0 c	3.3 c	3.6 c	3.9 bc	4.2 bc	4.1 bc	5.3 a
平均値	4.3	4.0	4.2	4.4	4.5	4.6	5.3

第10表 乾燥程度および貯蔵温度が出芽係数に及ぼす影響

貯蔵 温度℃	乾燥指数						
	100	98	97	96	95	94	92
cont.	14.7 ab	14.7 bc	14.7 b	14.7 b	14.7 b	14.7 b	14.7 b
10	10.1 b	13.1 c	14.5 b	14.3 b	15.2 b	14.5 b	14.5 a
15	12.0 ab	20.3 ab	17.5 b	19.9 ab	18.3 ab	17.9 ab	16.0 a
20	12.1 ab	26.1 a	24.9 a	23.3 a	22.1 a	21.4 a	16.0 a
25	13.4 ab	26.3 a	25.2 a	25.4 a	24.3 a	21.3 a	17.0 a
30	16.6 a	25.4 a	24.6 a	22.4 a	20.4 ab	20.6 a	13.8 a
平均値	12.8	22.2	21.4	21.1	20.1	19.1	15.4

注) 出芽係数 = 出芽率 / 平均出芽日数。

特に乾燥指数100~96で20~30℃貯蔵を行ったときに平均出芽日数短縮効果が顕著となった。出芽性の総合的な指標となる出芽係数は第10表に示した。出芽係数をもとにした土中出芽性向上のための貯蔵条件は、乾燥指数は94~98、貯蔵温度は20~30℃であった。

(2) 品種および播種後の水管理が出芽に及ぼす影響
乾燥指数96として、貯蔵による土中出芽性向上効果の品種間差異について検討した結果は第11表に示

した。土中出芽性の品種間差について無処理区における出芽率および平均出芽日数を比較すると、キヌヒカリおよびヒノヒカリの出芽率の差は小さかったが、ユメヒカリでは他の2品種に比較して、湛水、落水両水管理条件において出芽率が高く、平均出芽日数が短い傾向を示し、出芽係数が高かった。各品種における貯蔵温度の影響をみると、出芽率はヒノヒカリの湛水区において10℃貯蔵に対して25℃貯蔵によ

第11表 播種後水管理, 貯蔵温度および品種が出芽に及ぼす影響

水管理	貯蔵温度°C	出芽率(%)			平均出芽日数			出芽係数		
		キヌヒカリ	ヒメヒカリ	ユメヒカリ	キヌヒカリ	ヒメヒカリ	ユメヒカリ	キヌヒカリ	ヒメヒカリ	ユメヒカリ
湛水	cont.	85 a	85 a	88 a	4.8 a	5.3 a	4.6 a	17.8 c	16.1 c	19.2 d
	10	82 a	81 a	93 a	4.6 ab	4.7 a	4.4 a	17.9 c	17.2 c	21.2 c
	15	84 a	85 a	93 a	3.9 bc	3.5 b	3.4 b	21.6 b	24.5 b	27.7 b
	20	88 a	89 a	96 a	3.5 c	3.5 b	3.2 b	25.5 a	25.7 ab	30.3 a
	25	90 a	93 a	95 a	3.4 c	3.4 b	3.2 b	26.7 a	27.3 a	29.8 a
	平均値	86	88	93	4.0	4.1	3.7	21.9	22.1	25.6
落水	cont.	89 a	89 a	97 a	5.1 a	5.2 a	5.0 a	17.7 c	17.1 c	19.5 c
	10	92 a	89 a	96 a	5.2 a	4.8 b	4.5 a	17.7 c	18.3 c	21.2 c
	15	92 a	91 a	97 a	4.3 ab	3.9 c	3.6 b	21.2 b	23.2 b	27.0 b
	20	96 a	97 a	100 a	3.8 b	3.8 c	3.3 b	25.4 a	25.3 ab	30.5 a
	25	95 a	94 a	99 a	3.7 b	3.5 d	3.5 b	25.4 a	26.8 a	28.4 ab
	平均値	93	92	98	4.4	4.3	4.0	21.5	22.2	25.3
分散分析	水管理	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	貯蔵温度	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

注) cont.: 無貯蔵種子。出芽係数=出芽率/平均出芽日数。同一品種, 水管理で同一英文字のついた値間にはTukeyの多重検定で5%水準の有意差がないことを示す。**: 1%水準で有意, *: 5%水準で有意, n. s.: 有意差無し。

り有意に出芽率が向上し, 他の品種および水管理条件区においても20および25°C貯蔵区では無処理区あるいは10°C貯蔵区に比較して出芽率が高まる傾向を示した。また, 平均出芽日数は全ての品種および水管理条件において20および25°C貯蔵区では無処理区あるいは10°C貯蔵区に比較して平均出芽日数が1.5日程度短縮された。これらにより出芽係数は全ての品種および水管理条件において20および25°C貯蔵により顕著に高まった。

一方, 水管理条件の違いが短期間貯蔵による出芽率向上効果に及ぼす影響について出芽係数をもとに比較すると, 湛水, 落水両水管理区においてほぼ同様の出芽係数の増大が認められているが, 湛水区における出芽係数の増大が落水区に比較して若干大きい傾向が認められた。

(3) 貯蔵温度および貯蔵期間が出芽に及ぼす影響 (試験3)

種子の被覆作業は短期間で終了するのに対し, 播種作業は通常, 数日から1週間程度にわたり行われるため被覆種子の貯蔵期間は長期化する場合もある。そこで, 貯蔵期間を延長する場合に3日間の25°C貯蔵と低温貯蔵を組み合わせたときの土中出芽性に対する影響について検討した。第12表に示したように乾燥指数98および96の場合には25°C貯蔵を行うことにより10°Cで10日間の貯蔵を行った場合と比較して出芽率が向上するとともに, 平均出芽日数が短縮する傾向を示した。これに対し, 乾燥指数が94の場

第12表 乾燥程度および貯蔵温度条件が出芽に及ぼす影響

乾燥指数	貯蔵条件	出芽率(%)	平均出芽日数	出芽係数
98	10°C	81 b	6.2 a	13.0 c
	25°C-A	93 a	3.4 c	27.6 a
	25°C-B	87 ab	3.7 bc	23.5 b
	25°C-C	89 ab	3.8 b	23.3 b
	平均値	88	4.3	21.9
96	10°C	73 a	6.4 a	11.3 b
	25°C-A	88 a	4.1 b	22.1 a
	25°C-B	89 a	4.1 b	21.6 a
	25°C-C	87 a	4.5 b	19.4 a
	平均値	84	4.8	18.6
94	10°C	74 a	6.1 a	12.2 b
	25°C-A	82 a	4.7 b	17.7 a
	25°C-B	73 a	6.1 a	12.1 b
	25°C-C	69 a	5.4 ab	12.9 b
	平均値	75	5.6	13.7
分散分析	乾燥程度	**	**	**
	貯蔵条件	**	**	**
	交互作用	n.s.	**	**

注) 乾燥指数は被覆直後の種子重量を100とした陰干し後重量の相対値。出芽係数=出芽率/平均出芽日数。同一乾燥指数で同一英文字のついた値間にはTukeyの多重検定で5%水準の有意差がないことを示す。貯蔵条件10°C: 10°C10日間貯蔵, 25°C-A: 25°C3日間貯蔵後10°C7日間貯蔵, 25°C-B: 10°C4日間および25°C3日間貯蔵後10°C7日間貯蔵, 25°C-C: 10°C7日間貯蔵後25°C3日間貯蔵。**: 1%水準で有意, n. s.: 有意差無し。

合には96および98に比較して土中出芽性向上効果は小さく, 被覆直後に25°C貯蔵を行った25°C-A区では対照区に比較して出芽率の向上および平均出芽日

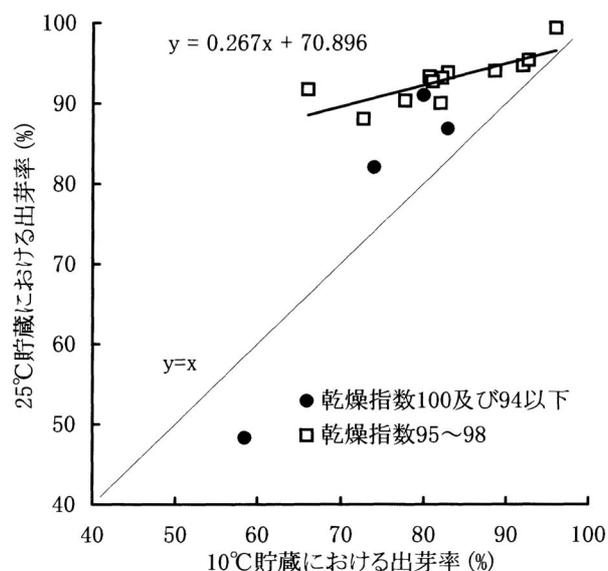
数の短縮による出芽係数の増大が認められたが、25℃ - B および C 区では効果が認められなかった。

一方、25℃貯蔵時期と土中出芽性との関係についてみると、乾燥指数にかかわらず、A区の土中出芽性向上効果が最も顕著であった。

このように、25℃貯蔵を行うことによる土中出芽性向上効果は乾燥程度によって差を生じたが、被覆直後に25℃貯蔵を行い、その後播種日まで低温貯蔵を行うことにより貯蔵期間が長い場合でも25℃貯蔵の効果が最も顕著に認められた。

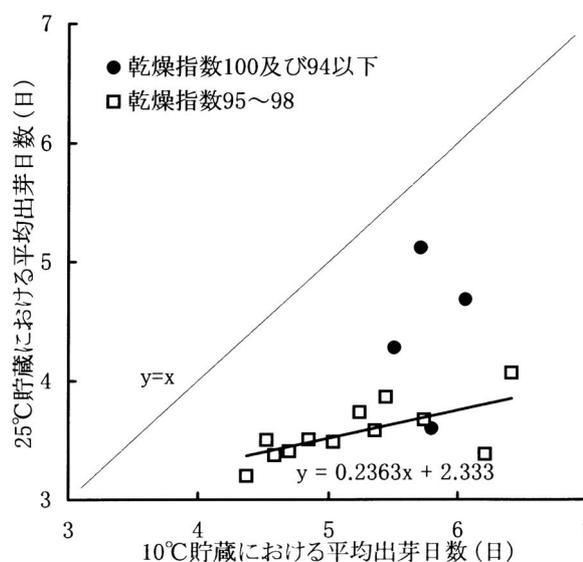
3) 考察

本試験における貯蔵温度と土中出芽性との関係については、10℃で3日間貯蔵した種子の出芽率および平均出芽日数を被覆直後の種子の値と比較すると、10℃貯蔵により平均出芽日数が短くなる場合もあったがその差は小さかった。水稻の発芽に関しては幼芽や幼根伸長の限界温度は約10℃（西山1977）とされていることから、10℃以下で短期間の貯蔵を行う場合には貯蔵開始時の種子の状態が維持されるために、貯蔵が出芽に及ぼす影響は小さいと考えられるが、10℃貯蔵は5℃貯蔵に比較して出芽が早まるという報告（下坪ら1997）もあるため、貯蔵期間が長くなると10℃貯蔵でも出芽に影響を及ぼすと考えられる。一方、15～30℃で3日間貯蔵を行うことによる出芽率の向上や平均出芽日数の短縮が示され、特に20～25℃貯蔵において安定した土中出芽性向上が認められた。本報告の試験1～3における出芽率および平均出芽日数について10℃貯蔵区および25℃貯蔵区の値の相対的な関係を示した第5および6図をみると、出芽率は一例を除く全ての区で25℃貯蔵による出芽率の向上が認められ、平均出芽日数については全ての区で25℃貯蔵による平均出芽日数の短縮が認められる。これまで、被覆種子の出芽性維持のための貯蔵条件の検討が行われ、出芽能力の低下防止には低温貯蔵が有効とされている（渡部ら1990，下坪ら1997）が、本試験の結果は、より高い温度条件で短期間貯蔵することによる出芽促進を示している。このような結果は、種子の条件等は異なるが被覆種子を25℃で1～2昼夜加温することにより出芽が促進されるという花見・手代木（1998）の報告に類似する結果であるといえる。なお、以上の結果はポット条件下で得られたものであるが、打込み点播機を用いた圃場試験については次節で検討する。



第5図 10℃および25℃貯蔵区における出芽率 (%) の関係

注) 回帰直線は乾燥指数95から98について求めた。試験3の25℃貯蔵は25℃ - A区（以上、第6図も同じ）。

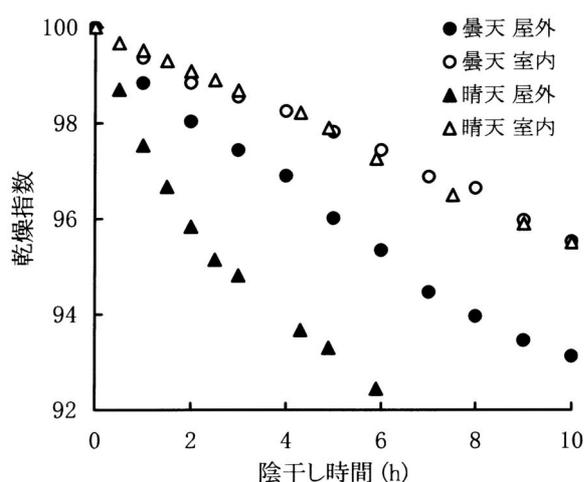


第6図 10℃および25℃貯蔵区における平均出芽日数の関係

次に、被覆種子の乾燥程度と土中出芽性との関係については、被覆後の乾燥を行わずに密封貯蔵したときには出芽率の低下を生じ、乾燥指数が94以下の過乾燥条件では平均出芽日数の短縮効果が小さくなった。第5および6図において、乾燥指数95～98の区の出芽率および平均出芽日数について10℃貯蔵区および25℃貯蔵区の値の相対的な関係をみると、10℃貯蔵区の出芽率が66～93%であったのに対し、25℃貯蔵区では88～99%、平均出芽日数は10℃貯蔵区の6.4～4.4日に対し、25℃区では3.2～4.1日とな

り、25℃貯蔵による出芽率の向上および平均出芽日数の短縮が達成されることが明確に示され、10℃貯蔵に比較して劣った例は認められなかった。このため、出芽性向上を安定的に達成するためには被覆種子の乾燥程度に留意し、被覆後の重量が2～5%減少するような乾燥条件を設定する必要がある。そこで、被覆作業終了時の水分含有率の変動および被覆後の陰干し時間と乾燥程度との関係について検討を行った。まず、被覆終了時の含水率の変動については、本試験で行った合計5回の酸素発生剤被覆作業終了時の被覆種子の含水率(80℃, 72時間乾燥)は20.2～20.9%の範囲であり、被覆直後の被覆種子の含水率の変動は比較的小さいことが推察された。一方、陰干し時間と乾燥程度との関係の事例を第7図に示した。被覆直後の種子の重量の2～5%が減じるまでに乾燥する陰干しの時間は、屋内の場合には曇天、晴天を問わず4～10時間程度、屋外の場合には晴天では1～3時間、曇天では2～6時間であった。このような条件は一般に行われている陰干しの条件にほぼ一致していることから、通常の酸素発生剤被覆および被覆後の陰干しにより本試験において土中出芽性向上効果を示した乾燥程度である被覆直後の種子重量の2～5%を減少させる種子条件が得られると考えられる。

これまで、被覆後の催芽種子の乾燥程度と出芽・苗立ちとの関係についての報告は少ないが、乾燥程度が大きいと出芽が遅延することは下坪ら(1997)も



第7図 被覆後陰干し時間と被覆種子の乾燥程度との関係

注) 乾燥指数は被覆直後の種子重量を100とした陰干し後重量の相対値。種子は新聞紙を敷いたアルミ製バットに約2cmの厚さに広げて日陰で乾燥させた。乾燥時の気温および相対湿度は曇天では21.2℃および74.7%、晴天では26.8℃および44.7%。

示している。乾燥程度が大きいときに20～25℃貯蔵による出芽性向上効果が認められない要因としては、貯蔵中に種子中の水分が被覆資材に収奪される比率が高まり、種子が播種後に吸水を開始するまでに時間を要するために出芽日数の短縮効果が相対的に小さくなることが考えられる。試験3において10℃貯蔵後に25℃貯蔵を行うと25℃貯蔵後に10℃貯蔵を行った場合に比較して土中出芽性向上効果が小さかったのは、10℃貯蔵中に種子中の水分が被覆資材に収奪されて、25℃貯蔵開始時の種子の含水率が低下したためと推察される。これに対し、被覆種子の含水率の高い状態(乾燥指数98以上)においては、25℃以上の温度で貯蔵することにより出芽率が低下した。この理由は明らかではないが、このような区では貯蔵中に幼芽や幼根の伸長した種子の割合が高かったため、幼芽や幼根の伸長が出芽率の低下と関連していることが考えられる。このことについては、出芽した種子に物理的な衝撃を与えた後に土中播種を行うと出芽率が低下する(長坂ら1999)ことが明らかとなっており、幼芽や幼根の伸長は機械播種による幼芽や幼根の損傷を生じさせると考えられる。特に打込み点播機による播種を想定した場合には播種時の打込みディスクによる打撃の影響が大きいことが考えられるため、幼芽や幼根が伸長する種子の割合が高くなる貯蔵条件は避けるべきである。

上記のような貯蔵処理の湛水直播栽培における土中出芽性向上効果の特徴としては、第一に一定温度に制御できる装置に密封した被覆種子を静置することで省力的に出芽・苗立ちを向上させることが可能であることがあげられる。すなわち、20～25℃に制御できる装置があれば標準的な乾燥を行った被覆種子を密封して3日間貯蔵することで品種を問わず簡易に土中出芽性の向上が達成され、また、貯蔵期間を延長する際には、10℃以下に設定すれば土中出芽性向上効果が維持されることが考えられる。しかしながら、設定可能な温度条件が異なる場合にはその温度に対応した貯蔵期間の検討が別途必要になるとともに、大量の種子を密封貯蔵した場合の温度ムラの程度などについても検討の余地が残されている。

また、第5および6図に帰帰直線を示したように、適切な乾燥程度では10℃貯蔵区の出芽率の低いときおよび10℃貯蔵区の出芽日数の大きいときに、出芽率の向上程度および平均出芽日数の短縮程度がそ

れぞれ大きくなった。このため、試験2において播種後落水条件の時よりも湛水条件の時の方が20～25℃貯蔵による土中出芽性向上効果が大きい傾向が示されたように、気象条件、圃場条件により播種後の落水管理が徹底できないなどといった出芽を不安定化させる条件で特に顕著な出芽性向上効果を示すことも本貯蔵処理の効果の特徴と考えられる。

最後に、本試験で認められた3日間の20～25℃貯蔵による土中出芽性向上の要因としては、貯蔵中に幼芽や幼根の伸長などの形態的な変化をともしない条件で土中出芽性の向上が認められたことから、種子中において出芽を早める何らかの変化が生じていると考えられる。出芽速度に影響を及ぼす要因としては、水稻を含む穀類において出芽速度と α -アミラーゼ活性との関連が報告されている（CHINGら1977, SASAHARAら1986, SUNGら1993）。両者の関係については、本試験で行った貯蔵処理と同様の試験条件において、出芽が早まる貯蔵条件では種子中の α -アミラーゼ活性の増大が同時に認められている（吉永ら1999b）ことから、両者の関連についても明らかにする必要があると考える。

3. 酸素発生剤被覆種子の短期間貯蔵による出芽の斉一化および打込み播種の影響の解明

前節において20～25℃の短期間貯蔵が酸素発生剤被覆水稻種子の土中出芽性向上に有効であることおよび出芽性向上のための貯蔵条件が明らかとなった。一方、打込み点播栽培では、土中播種による出芽の不安定化が危惧されるとともに、播種深度のばらつきが大きいいため、播種深度が深くなっても安定して出芽することおよび播種深度の異なる個体間の出芽時期の差を小さくする、すなわち出芽の斉一化が重要となる。また、打込み播種時の回転ディスクによる被覆種子の打撃が出芽に及ぼす影響について確認する必要がある。

そこで、本節では前節で土中出芽性の向上に有効であることが示された短期間貯蔵が、打込み点播栽培における出芽・苗立ち安定化に及ぼす影響および打込み播種が短期間貯蔵による土中出芽性向上効果に及ぼす影響について検討した。

1) 材料と方法

(1) 酸素発生剤被覆種子の短期間貯蔵による出芽の斉一化

試験は九州農業試験場内の圃場において1997年に

収穫後、10℃で貯蔵した種子を用いて、1998年に実施した。供試品種、種子予措および被覆法はII-1節に準じ、被覆種子は被覆直後の重量の3%減少するまで陰干しを行った後、一定量ずつビニル袋に密封し、10および25℃の恒温器中にそれぞれ3日間貯蔵した。貯蔵終了後、前節同様の方法によりコンテナを用いた出芽検定試験を行った。このとき、覆土深を4段階設定し、落水後の覆土深が5, 10, 15および20mmになるように代かき土壌を覆土した。1区当たりの播種量は50粒、3反復とし、1コンテナ当たり3区を播種した。覆土後は落水状態のまま20℃の恒温室に設置し、播種後14日目まで出芽調査を行い、最終出芽率、平均出芽日数および出芽係数（最終出芽率÷平均出芽日数）を算出した。なお、対照区として被覆直後の種子についても同様の条件で出芽試験を行った。

(2) 打込み点播栽培における酸素発生剤被覆種子の短期間貯蔵による出芽性の向上

打込み点播機を用いて播種を行ったときの短期間貯蔵が土中出芽性に及ぼす影響について検討した。供試品種、種子予措および被覆方法、貯蔵条件および貯蔵期間を上記と同様とし、被覆直後の重量の2, 4および6%の重量減（乾燥指数98, 96および94）まで陰干しを行った後、一定量ずつビニル袋に密封し、10および25℃の恒温器中にそれぞれ3日間貯蔵した。貯蔵終了後の種子を2分し、一方はそのまま出芽検定試験に供試し、もう一方は打込み点播機の打込みディスクにより打撃した後回収して、酸素発生剤剥離率の算出のために種子重を調査した後、出芽検定試験に供試した。なお、打込みディスクの回転数は標準的な速度である1200rpm（周速度12ms⁻¹）とした。また、3%乾燥させた被覆種子を供試して、1997年5月19日および6月18日、1998年5月15日および6月18日に目標播種深度10mmで打込み点播機による播種を行った。播種後水管理は自然落水条件とし、苗立ち後に出芽数および出芽苗の乾物重、白化茎長の調査を行った。

2) 結果

(1) 酸素発生剤被覆種子の短期間貯蔵による出芽の斉一化

貯蔵温度および播種深度が出芽に及ぼす影響は第13表に示した。貯蔵温度が出芽率に及ぼす影響について有意差は認められなかったが、10℃区、25℃区ともに播種深度が深くなるにつれて出芽率が低下す

第13表 貯蔵温度および播種深度が出芽に及ぼす影響 (ポット試験)

貯蔵温度 (°C)	播種深度 (mm)	出芽率 (%)	平均出芽日数	出芽係数
10	5	88 a	4.8 b	18.4 a
	10	79 ab	5.3 b	14.8 ab
	15	78 ab	5.8 ab	13.5 ab
	20	69 b	6.1 a	11.3 b
	平均値	78	5.5	14.5
25	5	87 a	3.4 c	25.5 a
	10	83 ab	3.9 bc	21.0 b
	15	83 ab	4.1 b	19.9 b
	20	78 b	5.1 a	15.5 c
	平均値	83	4.1	20.5
分散分析 貯蔵温度		ns	**	**
播種深度		*	**	**
交互作用		ns	ns	ns

注) 同一貯蔵温度で同一英文字のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す。**:1%水準で有意, *:5%水準で有意, ns:有意差無し。

るとともに平均出芽日数が長くなったため、出芽係数が小さくなった。また、貯蔵温度による出芽率の差は播種深度が深くなるにつれ大きくなり、出芽率の低下程度は10℃区で大きかった。

次に、播種深度が不均一な条件での出芽時期の斉一化に対する短期間貯蔵の影響について検討するために、5~20mmの各播種深度の出芽個体を積算したときの播種後日数と出芽数の割合との関係を第8図に示した。貯蔵温度25℃区では播種後2日目から出芽を開始し、3日目および4日目に全体の60%以上の個体が出芽したのに対し、10℃区では出芽個体割合の最高値を示した播種後日数が1日遅くなるとともに、最高値が低く播種時期のばらつきが大きかった。

第14表 貯蔵温度および乾燥程度の異なる条件における打込み播種が出芽に及ぼす影響

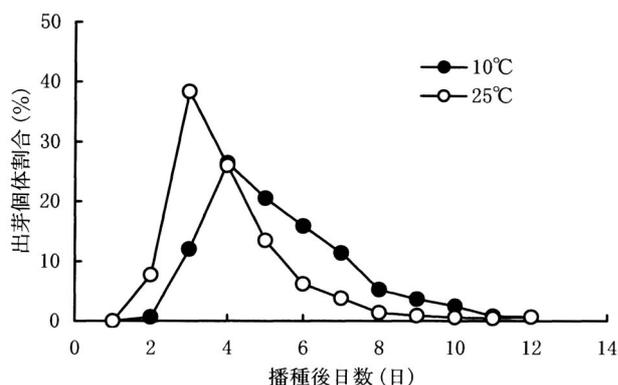
貯蔵温度 (°C)	乾燥指数	酸素発生剤剥離率 (%)	出芽率 (%)		平均出芽日数		出芽係数	
			無処理	打込み	無処理	打込み	無処理	打込み
			10	94	7.8	86.3	89.7	5.5
	96	7.0	84.0	88.0	5.2	5.0	16.2	17.8
	98	2.2	86.3	87.3	5.1	4.9	16.8	17.9
	平均値	5.7	85.6	88.3	5.3	4.8	16.3	18.2
	有意差		ns		ns		ns	
25	94	8.6	91.3	91.3	3.8	3.4	24.0	26.9
	96	6.5	96.0	88.7	3.6	3.8	26.6	23.5
	98	5.2	93.0	90.0	3.4	3.8	27.3	23.7
	平均値	6.8	93.4	90.0	3.6	3.7	26.0	24.7
	有意差		ns		ns		ns	

注) 乾燥指数は被覆直後の種子重量を100とした陰干し後重量の相対値。剥離率=100×(無処理種子重-打込み種子重)/無処理種子重。有意差は平均値のt検定による。ns:有意差無し。

第15表 圃場試験における短期間貯蔵温度が出芽に及ぼす影響

年次	播種日 (月.日)	出芽率 (%)		苗乾物重 (mg/plant)		白化茎長 (mm)		
		10℃	25℃	10℃	25℃	10℃	25℃	
		1997	5.19	62.5	68.9	19.3	21.8	-
	6.18	81.3	87.4	25.4	33.1	-	-	
1998	5.15	64.9	67.7	20.7	25.1	7.8	9.3	
	6.18	56.5	63.2	25.2	30.4	8.4	11.0	
	平均値		66.3	71.8	22.7	27.6	8.1	10.2
	有意差		**		*	ns		

注) 有意差は平均値のt検定による。**:1%水準で有意, *:5%水準で有意, ns:有意差無し。



第8図 短期間貯蔵温度が出芽揃いに及ぼす影響

(2) 打込み点播栽培における酸素発生剤被覆種子の短期間貯蔵による出芽性の向上

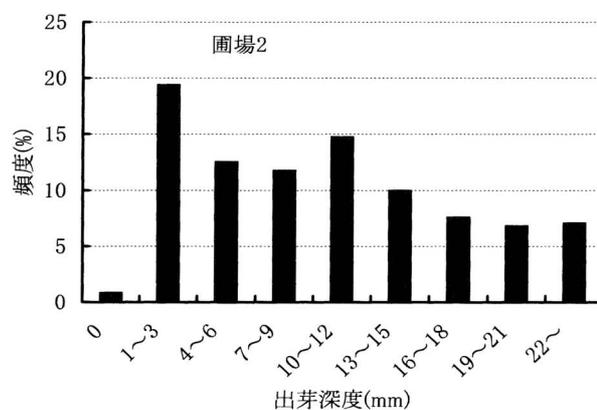
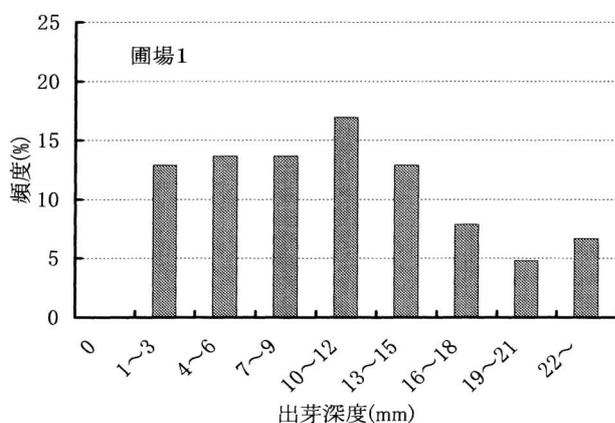
貯蔵温度および乾燥程度を変えた被覆種子の出芽に対する打込み播種の影響を第14表に示した。打込み播種時の酸素発生剤の剥離は乾燥程度の影響を示し、乾燥程度の小さい乾燥指数98区で剥離率が低かった。また、貯蔵温度は25℃区で剥離率の高い傾向を示した。一方、出芽率については乾燥程度および貯蔵温度にかかわらず打込み播種による影響は認められなかった。平均出芽日数は無処理区、打込み播種区ともに25℃貯蔵区で短くなり、25℃貯蔵による出芽促進が認められた。打込み播種区と無処理区の平均出芽日数を比較すると全体では有意差が認められなかったが、乾燥指数94区では無処理区に比較して打込み播種区の出芽が早まる傾向を示した。出芽係数は無処理区では乾燥指数94区で高くなる傾向が認められたが、打込み播種区では逆の傾向であった。また、貯蔵温度10℃区と25℃区における出芽係数の差は無処理区に比較して打込み播種区で小さい傾向が

認められた。

次に、圃場で播種を行ったときの出芽について第15表に示した。各播種日とも25℃区では10℃区に比較して出芽率が向上する傾向を示すとともに、苗の乾物重も増大し、10℃区に比較して20%以上重くなった。さらに、有意差は認められなかったものの25℃区における白化茎長は10℃区に比較して長いことから、播種深度の深い種子も出芽したことが示唆された。

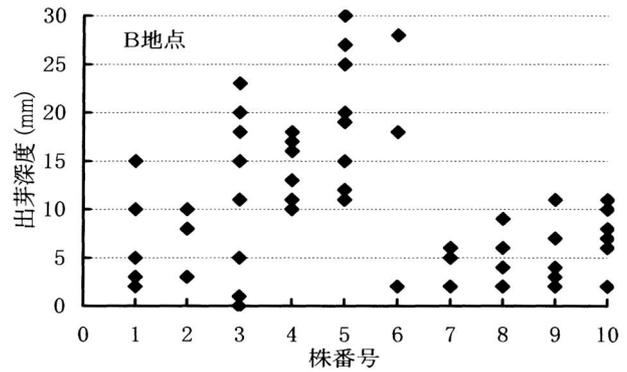
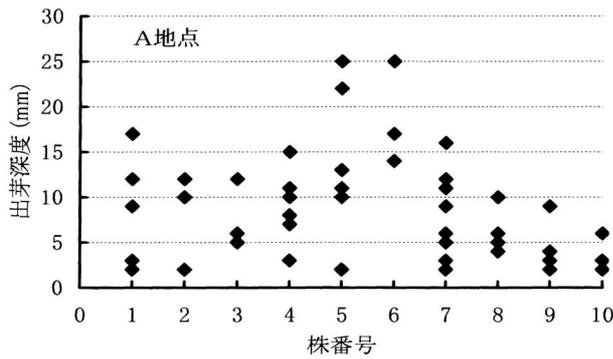
3) 考察

本試験では短期間貯蔵による土中出芽性向上の打込み点播栽培における出芽・苗立ち安定化に対する効果について検討した。第9図に示したように、打込み点播栽培では、出芽個体の出芽深度は数mm～20mmの範囲にばらつくために、播種深度の不均一性が高い条件での土中播種が特徴である。同時に播種された10株の出芽深度の分布をみても、出芽深度が10mm以下の個体で構成された株もあれば10mm以上の個体で構成された株も存在し、個体単位、株単位ともに播種深度のばらつきの大いことが示されている(第10図)。このように、打込み点播栽培では播種深度のばらつきが大きいため、播種深度が深くなっても安定して出芽することおよび播種深度の異なる個体間の出芽時期の差を小さくする、すなわち出芽の斉一化が重要となる。播種深度と出芽率との関係については、播種深度が深くなると出芽率の低下することが報告されている(坂元ら1980, 世古ら1987, 安原ら1992)。本試験においても同様の傾向が認められたが、種子の貯蔵温度による差が認められ、25℃で短期間貯蔵した種子では10℃貯蔵に比較して播種深度の



第9図 圃場試験における出芽深度の分布事例

注) 6㎡, 10箇所の調査を行った平均値。出芽深度の平均値は10.6mm(圃場1)および10.7mm(圃場2)。



第10図 同一列に機械播種した10株の出芽深度の分布事例

注) 10条用播種機, ディスク回転数1200rpmでの播種。出芽深度の平均値は9.0mm (A地点) および11.3mm (B地点)。

浅い5mm区と播種深度の深い20mm区との出芽率の差は小さく、播種深度が深くなっても安定して出芽することが示唆された。播種機で播種を行った圃場試験でも20～25℃貯蔵種子の出芽率が高まるとともに、出芽個体の白化茎長が大きいことはこのことを裏付けている。また、出芽の斉一化についても、25℃貯蔵により出芽が早まるとともに出芽最盛期の出芽割合が大きく、25℃貯蔵による出芽促進および斉一化が確認された。圃場試験における苗の乾物重が25℃貯蔵区で大きかったのは出芽促進の結果であると考えられる。

次に、打込み点播栽培における酸素発生剤被覆種子の短期間貯蔵による出芽性の向上について考察を行う。打込み点播機では高速に回転するディスクが種子を打撃することで播種深度を確保している。このディスクはスポンジゴム製で柔軟性のある素材であるが通常1200rpmという高速回転をしているため、種子の出芽能力に対し何らかの影響を及ぼすことが考えられる。本試験では打込み播種時に生じる酸素発生剤の剥離が乾燥程度に依存して変化し、乾燥程度が大きくなると剥離率も増大した。また、コンテナを用いた出芽試験での結果ではあるが、打込み播種による出芽への悪影響は認められず、被覆種子の乾燥程度が大きい場合には打込み播種により出芽率が向上した。乾燥程度と出芽との関係については、下坪ら(1997)により、乾燥程度が大きくなると出芽が遅延することが示されている。乾燥程度が大きくなると酸素発生剤の硬度が増大し幼芽や幼根の伸長を阻害していると考えられ、打込み播種では酸素発生剤が剥離したことが逆に、出芽を促進させたと推察される。しかしながら、乾燥程度が大きいときの酸素発生剤の剥離率増大は、排水不良田などの還元条件にお

ける出芽率の低下につながることを考えられるとともに、短期間貯蔵による出芽促進効果も乾燥程度が大きいと小さくなることから、打込み点播栽培においては、被覆種子の乾燥程度に留意し、被覆終了時の重量から5%以上減少させないことが重要であると考えられた。

以上の結果から、前節で明らかにされた土中出芽性向上のための被覆種子の短期間貯蔵処理を行うことにより、打込み点播栽培における出芽不安定化要因として考えられる播種深度確保による出芽率の低下や打込み播種による播種深度のばらつきによる出芽の不齐一化が改善されることがコンテナを用いた出芽試験で示された。また、圃場試験においても短期間貯蔵により出芽の安定化が図られることが実証された。さらに、被覆種子の乾燥程度については、被覆後の乾燥程度を2～5%程度とすることにより短期間貯蔵処理の効果の増大および打込み播種にともなう酸素発生剤剥離の低減が図られることが示唆された。

Ⅲ. 打込み点播栽培による耐倒伏性の向上

1. 点播水稻の耐倒伏性向上要因の解明および苗立ち密度の影響

我が国における水稻栽培の大部分は機械移植により行われているが、近年の米の輸入関税化措置などに対応して稲作の大規模化、低コスト化の要請が強まるにつれ、湛水直播栽培等の省力栽培技術の確立が求められている。しかしながら、直播栽培では苗立ち率の低下や登熟期の倒伏により移植栽培に比較して減収する事例が多く、その普及面積は徐々に増加しているが水稻作付面積全体の約0.6%と非常に低い水準にとどまっている。このため、安定的な直播栽培法の確立が望まれているところである。こうしたな

かで、近年開発された打込み式代かき同時土中点播機により、複数種子により株を形成させるための点播状播種と、5～20 mm程度の深さの土中播種が可能となっている。

湛水直播栽培は播種様式として散播、条播および点播の3種類に分類されているが、播種様式と耐倒伏性との関係については世古ら（1983）、下坪・富樫（1996b）および尾形・松江（1998b）により点播水稲の耐倒伏性が最も強く、散播水稲の耐倒伏性が弱いことが示されている。しかしながら、これまで実用的な点播用播種機がなかったために点播水稲の耐倒伏性向上要因については十分な検討がなされていない。また、湛水直播栽培で避けられない苗立ち密度の変動が耐倒伏性におよぼす影響についても点播栽培では詳細な検討が行われていない。

そこで、本研究では打込み点播機を用いた安定的湛水直播栽培法の確立のため、異なる苗立ち密度における耐倒伏性を散播水稲と比較して点播水稲の耐倒伏性に関する特性解明を行った。

1) 材料と方法

(1) 栽培条件

試験は1997～1999年の3か年にわたって、九州農業試験場内の細粒灰色低地土水田において行った。供試品種、種子予措および被覆法はII-1節に準じた。播種は3か年とも6月9日に行った。播種様式は散播および点播の2様式とし、散播区は代かき直後の土壤に手播きを行い、点播区は打込み点播機を用いて播種した。播種量は目標苗立ち密度の1.5倍量とし、苗立ち後に m^2 当たり苗立ち数がそれぞれ40（低密度区）、80（標準区）および160本 m^{-2} （高密度区）になるように間引き補正した。なお、点播区は条間30 cm、株間20 cm（16.7株 m^{-2} ）の設定で、1株播種量を変えることで苗立ち密度を変化させた。また、播種深度および土壤硬度の影響を小さくするために両播種様式の目標播種深度は10 mmに統一するとともに、中干しおよび出穂後の間断かんがいにより表面土壤硬度を $1.2 kg cm^{-2}$ 以上（寺島ら1997）に高めた。なお、散播区では播種深度を深くするために代かき水量を多めにするとともに代かき直後に播種を行ったが、播種深度の浅くなった部分も生じたためこのような地点では覆土を行った。

施肥法は、速効性窒素肥料20%と緩効性窒素肥料のLP100を80%含むLP複合D-80（クマイ化学

社製）を基肥として窒素成分量で $6 gm^{-2}$ 施用した。また、出穂の約20日および10日前に窒素成分で3および $2 gm^{-2}$ の硫安を穂肥として施用した。試験区配置は分割区法、3反復とした。

(2) 稈の形質調査

耐倒伏性に関連した稈の形質として有効茎歩合、稈長の調査を行うとともに出穂後約30日後に主稈の第IV節間の断面積および挫折重の測定を行った。挫折重の測定は瀬古（1962）の方法に従い葉鞘を1枚残した主稈の第IV節間について支点間距離50 mmで、1区当たり12本測定した。測定器はデジタルフォースゲージ（日本電産シンボ社製FGC-2）を取り付けた電動式試験スタンド（日本電産シンボ社製FGS-50V-L）を用い、 $3 mm s^{-1}$ で降下するフォースゲージの先端が節間を挫折させるときの極大値を測定した。さらに成熟期に抜き取って風乾させた主稈の節位別の節間長を調査するとともに $80^{\circ}C$ で3日間乾燥後の節間重を測定した。

(3) 押し倒し抵抗の測定

押し倒し抵抗の測定は富樫ら（1997）の方法に準じ、デジタルフォースゲージ（日本電産シンボ社製FGC-5）を取り付けた架台を回転支点が稲株の地際になるように設置し、稲株の地際15 cmの高さを 45° の角度まで押し倒す際にかかる力の極大値を測定した。測定時期は出穂15～20日後とし、点播区では1区当たり15株、散播区では20株について測定した。また、調査株の稈長および地上部重を測定し、次式より倒伏指数を算出した（瀬古1962、寺島ら1992）。倒伏指数算出式：倒伏指数＝（地上部重×稈長）/（押し倒し抵抗値×押し倒し高さ）。

(4) 倒伏程度

風圧に対する耐倒伏性を調査するため、鉄枠を土壤に打ち込んで1区当たり3カ所から掘りあげた稲株に風速 $16 ms^{-1}$ の風を5分間当てた（風圧試験）。調査時期は出穂約25日後とし、鉄枠の大きさは長さ30 cm、幅20 cm、深さ20 cmとした。倒伏程度は風を当てた後の株の傾きを0（無倒伏）～4（完全倒伏）の5段階で判定した。また、圃場における倒伏程度も同様の5段階で成熟期頃に達観調査した。

2) 結果

(1) 各年次の気象概況、作況指数および出穂期

1997年は7月2、3半旬と8月1～3半旬の寡照により籾数不足を生じ、当該地域（福岡県南筑後地区）

における作況指数（農林水産省統計情報部調査による平年値を100とした指数）は95となった。また、登熟中期の9月16日に台風が接近したが最大瞬間風速は 11ms^{-1} と弱かったため試験圃場において顕著な被害は生じなかった。1998年は全般に高温、多照で推移するとともに目立った気象災害もなく作況指数は102となった。1999年は6月6半旬以降の日照不足により穂数および籾数が減少するとともに、9月24日に接近した台風（最大瞬間風速 27ms^{-1} 、日積算雨量66mm）の影響により作況指数は86と低下した。この台風により試験圃場においても顕著な倒伏を生じた。なお、3か年の出穂期は8月26～30日の間となった。

(2) 稈の形質に及ぼす播種様式および苗立ち密度の影響

出芽深度は散播区では8.0～9.2mm、点播区では9.1～11.0mmとなり、その差は小さかった。播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に関連した稈の形質に及ぼす影響については第16表に示した。年次により有

意差の有無には差があるが各形質の処理間差は年次間で類似の傾向を示した。また、播種様式と苗立ち密度の交互作用は認められなかった。有効茎歩合は3か年とも播種様式では点播区が高く、苗立ち密度は高いと低下した。稈長は3か年とも点播区で長く、3～7cmの差を生じたが、第IV節間長の播種様式間差は小さく、1999年に差を生じたのみであった。また、第IV節間の長さ当たりの節間重は節間長に差を生じなかった1997および1998年は点播区で有意に大きくなった。最も平年に近い気象条件であった1998年の標準区で各節位の長さ当たり節間重について比較すると穂首節間である第I節間以外は点播区で大きく、下位節間ほど差が大きかった（第11図）。一方、主稈第IV節間の断面積および同挫折重は密度間差が認められ、高密度条件で稈が細くなり挫折重が小さくなった。播種様式については有意差は認められなかったが、高密度条件で点播区と散播区の差が顕著で、点播区では散播区に比較して断面積が大きく挫

第16表 播種様式および苗立ち密度が分げつおよび稈の形質に及ぼす影響

年次	苗立ち 密度 (本/㎡)	有効茎歩合 (%)		稈長 (cm)		第IV節間長 (mm)		節間重/長さ (mg/cm)		主稈断面積 (mm ²)		挫折重 (g)	
		散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播
1997	40	60.6	64.8	80.5	83.9	83	81	18.4	23.3	12.0	12.3	766	723
	80	45.6	56.7	78.5	83.6	79	77	20.5	24.1	10.3	10.5	635	633
	160	40.3	48.6	76.4	82.1	70	76	19.6	23.0	9.6	9.8	576	615
	平均値	48.8	56.7	78.4	83.2	77	78	19.5	23.5	10.6	10.9	659	657
分散分析	播種様式	*		**		ns		*		ns		ns	
	密度	*		*		*		ns		**		*	
	交互作用	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
1998	40	63.7	63.7	81.9	84.2	87	82	16.7	18.5	9.9	10.7	709	758
	80	42.5	61.8	81.4	82.9	85	83	14.6	19.4	9.5	9.9	678	712
	160	41.2	48.4	79.1	83.1	79	77	14.8	18.8	8.3	8.9	629	666
	平均値	49.1	58.0	80.8	83.4	84	81	15.4	18.9	9.2	9.8	672	712
分散分析	播種様式	*		*		ns		*		ns		ns	
	密度	*		ns		ns		*		*		*	
	交互作用	ns		ns		ns		ns		ns		ns	
1999	40	63.8	72.6	82.2	90.3	89	96	15.0	14.2	9.6	9.5	665	639
	80	53.5	57.5	82.9	90.8	80	93	13.5	14.6	8.8	9.3	538	606
	160	43.8	53.9	82.7	88.5	63	87	12.1	12.0	7.5	8.6	515	580
	平均値	53.7	61.3	82.6	89.9	77	92	13.6	13.6	8.6	9.1	573	609
分散分析	播種様式	*		*		*		ns		ns		ns	
	密度	**		ns		*		ns		**		*	
	交互作用	ns		ns		ns		ns		ns		ns	

注) 節間長、節間重/長さ、主稈断面積および挫折重は主稈第IV節間の測定値。挫折重の測定は葉鞘を1枚残した稈を支点間距離5cmで測定。有効茎歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。*:5および1%水準で有意、ns:有意差無し。

第17表 有効茎歩合と稈の形質との相関係数

稈形質	有効茎歩合		
	1997	1998	1999
稈長	0.80	0.69	0.45
第IV節間長	0.82 *	0.47	0.85 *
主稈断面積	0.92 **	0.84 *	0.88 *
節間重/長さ	0.29	0.68	0.70
挫折重	0.86 *	0.87 *	0.87 *

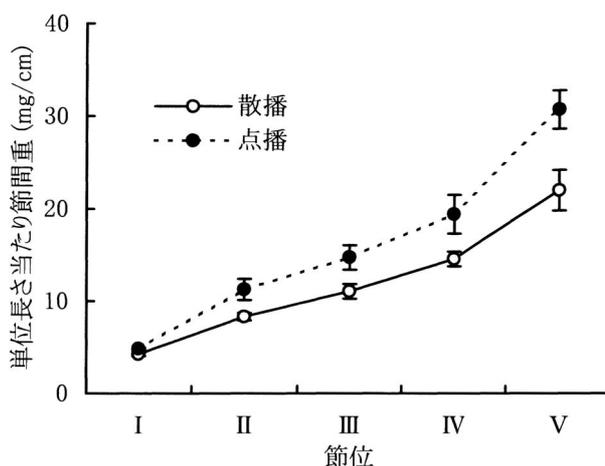
注) *,** : 5%および1%水準で有意。

折重も高かった。

分けつ特性と稈の形質との関係をみるために処理区全体の有効茎歩合と稈の形質との間の相関係数を第17表に示した。その結果、第IV節間長では2か年、主稈断面積および挫折重で3か年について有効茎歩合との有意な正の相関関係が認められた。

(3) 押し倒し抵抗値および倒伏程度に及ぼす播種様式および苗立ち密度の影響

押し倒し抵抗値および倒伏程度に関連した形質の



第11図 長さ当たり節間重の播種様式間差

注) 1998年の苗立ち密度80本/m²におけるデータ。垂直線は標準誤差を示す。

調査結果は第18表に示した。各年次ともほぼすべての形質に播種様式間差、密度間差および両処理間の交互作用が認められた。この交互作用は散播区では密度による影響が認められたが、点播区では密度に

第18表 播種様式および苗立ち密度が1株穂数および耐倒伏性に及ぼす影響

年次	苗立ち密度 (本/m ²)	1株穂数 (本/株)		押し倒し抵抗 (g/株)		押し倒し抵抗 (g/稈)		倒伏指数		風圧試験 (0-4)		倒伏程度 (0-4)	
		散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播
1997	40	8.6	20.9	581	1975	68.0	94.6	0.85	0.63	0.77	0.17	0.33	0.00
	80	4.3	21.5	246	1992	57.5	92.7	0.96	0.64	1.50	0.27	0.80	0.00
	160	2.4	23.1	95	1844	40.2	79.9	1.54	0.66	1.83	0.33	1.20	0.00
	平均值	5.1	21.8	307	1937	55.3	89.0	1.11	0.64	1.37	0.26	0.78	0.00
分散分析	播種様式	**		**		*		**		*		*	
	密度	**		*		**		**		*		*	
	交互作用	**		*		*		*		*		**	
1998	40	9.5	22.4	688	1977	71.5	88.5	0.81	0.70	1.13	0.27	0.60	0.00
	80	5.0	24.4	335	2030	66.8	82.9	0.93	0.73	1.33	0.17	1.17	0.00
	160	2.9	26.0	114	1743	39.0	67.0	1.50	0.81	1.90	0.57	1.40	0.17
	平均值	5.8	24.3	379	1917	59.1	79.5	1.08	0.74	1.46	0.33	1.06	0.06
分散分析	播種様式	**		**		*		*		*		*	
	密度	*		*		**		**		*		ns	
	交互作用	**		*		*		**		*		ns	
1999	40	8.0	21.7	591	1879	73.7	86.7	0.77	0.75	1.33	0.50	1.93	1.43
	80	4.9	23.8	263	1872	53.2	78.6	1.02	0.79	2.03	0.60	2.67	2.07
	160	2.7	25.9	106	1783	39.1	68.9	1.30	0.79	2.30	0.77	3.00	1.83
	平均值	5.2	23.8	320	1845	55.4	78.1	1.03	0.78	1.89	0.62	2.53	1.78
分散分析	播種様式	**		**		*		*		*		*	
	密度	ns		ns		**		*		*		*	
	交互作用	**		*		*		*		*		*	

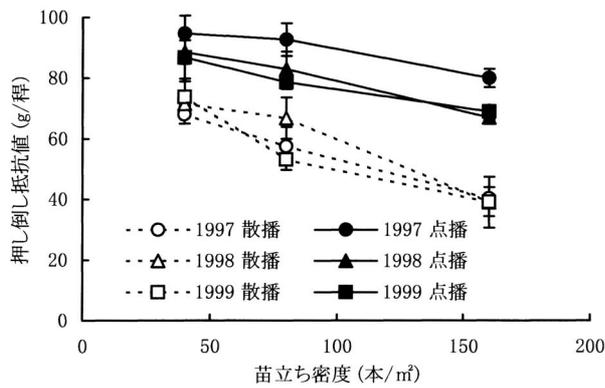
注) 押し倒し抵抗：押し倒し角度45度，押し倒し高さ15cm。倒伏指数 = (稈長 × 地上部重) / (押し倒し抵抗値 × 15)。*,** : 5%および1%水準で有意，ns : 有意差無し。

よる影響が小さいことを示している。散播区の1株穂数は苗立ち密度の変化により変動し、低密度区では平均9本程度であったが高密度区では平均2.5本と少なくなった。これに対し、点播区の1株穂数は苗立ち密度が変動しても20~26本と安定して多かった。押し倒し抵抗値は、株当たりおよび稈当たりの両値について、散播区に比較して点播区で顕著に大きかった。また、散播区では特に高密度区での押し倒し抵抗値の低下が顕著であったが、点播区では苗立ち密度が高くても抵抗値の低下程度は小さかった(第12図)。

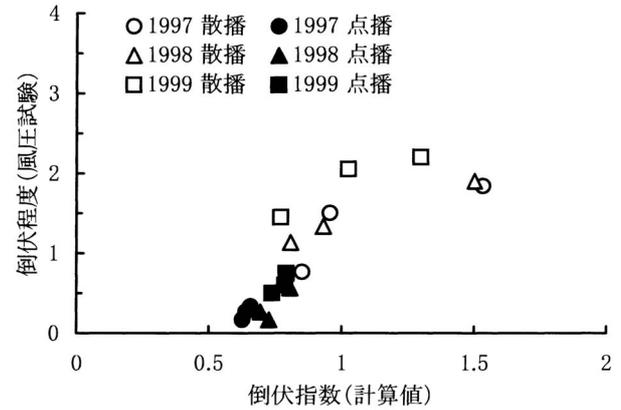
次に、点播区の倒伏指数については3か年とも散播区に比較して顕著に小さく、0.63~0.81の間の値を示した。また、第13図に示したように散播区では苗

立ち密度による影響が大きく、特に高密度区での倒伏指数の増大が大きかったのに対し、点播区では苗立ち密度が変動しても倒伏指数は安定して低い値を示した。風圧試験や圃場における倒伏程度は倒伏指数と類似の傾向を示し、点播区では散播区に比較して倒伏程度が小さく、苗立ち密度による差も小さかった。

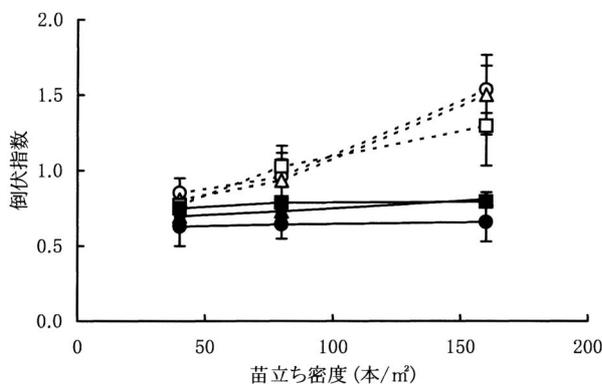
倒伏指数と実際の倒伏程度を第14図および第15図でみると、風圧試験の倒伏程度は倒伏指数が0.8程度までであれば倒伏程度は1程度でおさまっており、圃場における成熟期の倒伏程度についても登熟後期に台風の影響を受けた1999年を除くと倒伏指数が0.8以下の区ではほとんど倒伏を生じなかった。



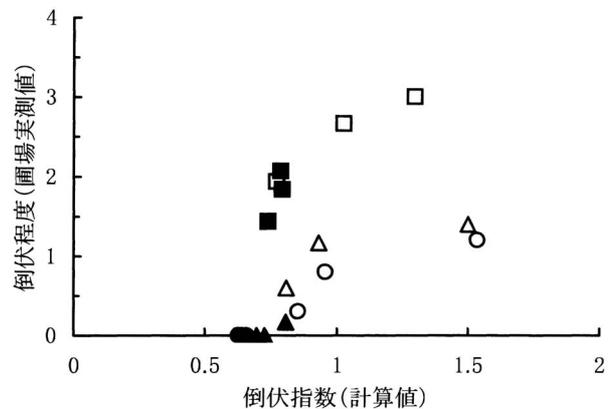
第12図 押し倒し抵抗値の苗立ち密度による変動
注) 垂直線は標準誤差を示す。



第14図 倒伏指数と風圧試験の倒伏程度との関係



第13図 倒伏指数の苗立ち密度による変動
注) 凡例は第12図参照、垂直線は標準誤差を示す。



第15図 倒伏指数と圃場における倒伏程度の関係
注) 凡例は第14図参照。

3) 考察

耐倒伏性に影響を及ぼす要因として、品種(伊藤ら1976, 寺島ら1992, 尾形・松江1998a, 吉永ら1997), 播種深度(伊藤ら1976, 上村ら1985, 寺島ら1992), 土壌硬度(上村ら1985, 寺島ら1997), 苗立ち密度(坂井・伊藤1975, 三王ら2000), 播種様式(世古ら1983, 下坪・富樫1996bおよび尾形・松江1998b)などがあげられる。本試験では品種, 播種深度および土壌硬度を可能な限り揃えた条件とすることで, 播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響について検討するとともに, 点播水稻の耐倒伏性向上要因について明らかにしようとした。

(1) 点播水稻の稈の形質および苗立ち密度による変動

稈長については密度間差は小さかったが, いずれの年次も播種様式間差が認められ散播区に比較して点播区で長くなった。稈長の増大は地上部モーメントを大きくさせるため耐倒伏性を低下させる要因となる。しかしながら倒伏と関連の強い第IV節間長の播種様式間差は天候不順で稈の伸長が顕著となった1999年に生じたのみであった。上地ら(1993)は稈基部における日射量が多い方が下位節間の伸長が抑制されることを示しているが, 点播水稻では株間と条間の確保により稈基部の入射光が強くなるために下位節間の伸長程度が小さいことが推察される。

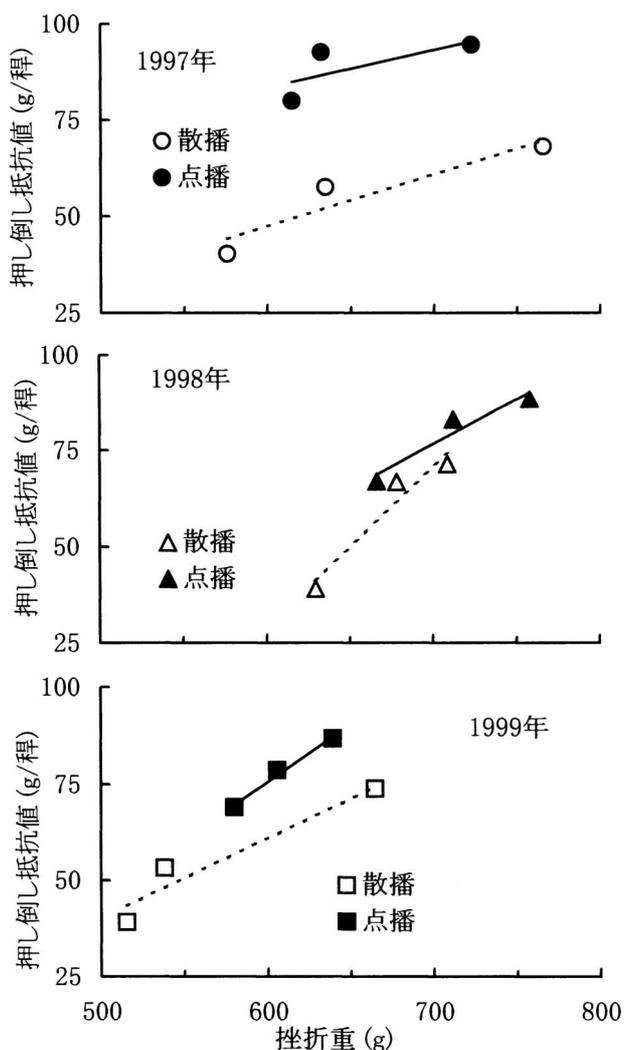
次に, 稈断面積と挫折重については, 散播水稻, 点播水稻ともに高密度条件で稈が細くなり挫折重の低下を生じたが, 点播水稻ではその程度が小さかった。稈断面積および挫折重ともに有効茎歩合との相関関係が認められたことから, 点播水稻では散播水稻に比較して有効茎歩合が高いために高密度条件でも稈の細くなる程度が小さく, 挫折重が大きい傾向を示したと推察される。さらに, 渡辺(1985)および瀬古(1962)が耐倒伏性と関連する形質としている下位節間の長さ当たりの節間重も点播水稻で高い傾向が示された。このような差を生じた要因としては, 点播水稻は登熟期間の光合成が旺盛である(吉永ら1999a)ため, 稈における炭水化物の蓄積により長さ当たりの節間重が高まった可能性が考えられる。

(2) 点播水稻の押し倒し抵抗および倒伏程度の苗立ち密度による変動

押し倒し抵抗は点播条件で顕著に高く, 既報(尾形・松江1998b)の結果と一致した。苗立ち密度との

関係では, 散播条件で密度が高くなると押し倒し抵抗値が顕著に低下したのに対し, 点播水稻は苗立ち密度の変化にともなう押し倒し抵抗値の変化は小さく, 倒伏指数も低い値で安定し, 実際の倒伏程度も小さかった。このとき, 倒伏指数と実際の倒伏程度との関係から瀬古(1962)および寺島ら(1992)が示しているように倒伏指数は実際の耐倒伏性の指標となることが確認されるとともに, 倒伏指数が0.8以上になると倒伏の危険性が顕著に高まることが示された。

点播水稻の倒伏指数が0.8以下と安定して低かった要因は, 点播水稻の稈長が散播水稻に比較して長くなったものの押し倒し抵抗値が顕著に高かったことであると考えられる。そこで, 押し倒し抵抗値と稈の形質との関係を検討するために挫折重が押し倒し抵抗値に及ぼす影響を第16図に示した。両播種様式と



第16図 挫折重と押し倒し抵抗値との関係
注) 図中の破線および実線は散播および点播区の回帰直線を示す。

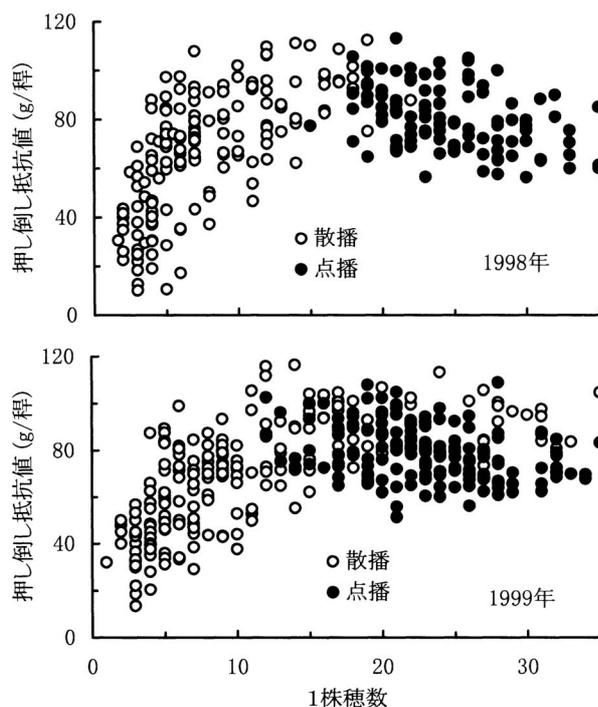
もに高密度条件で挫折重が低下した区で押し倒し抵抗値も低下したため、押し倒し抵抗値の密度間差には稈の形質が影響していることが示唆されたが、同程度の挫折重であっても点播水稲は散播水稲に比較して押し倒し抵抗値が高いために播種様式間差を生じた主要因は稈の形質以外にあると推察された。

(3) 点播水稲の押し倒し抵抗値の増大要因

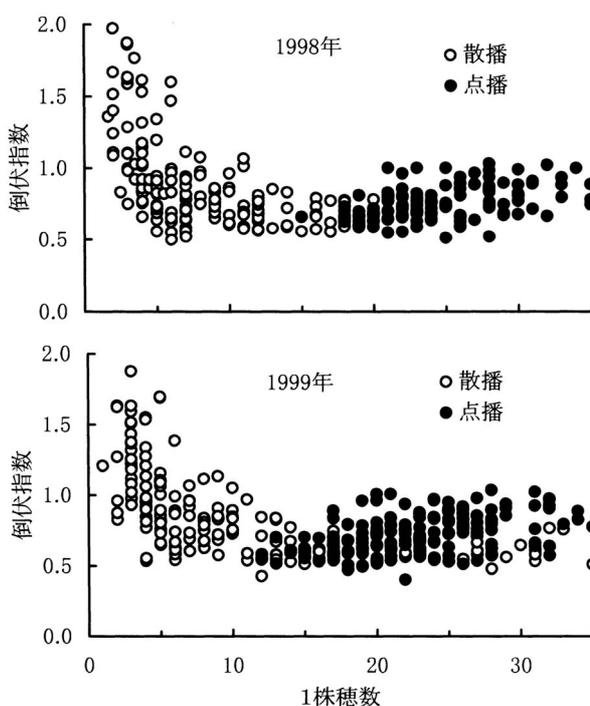
点播水稲の特徴は移植水稲のような株を形成することであるが、1株穂数が増加すると耐倒伏性が向上することを坂井・伊藤(1975)および上村ら(1985)が示している。そこで、本試験における1株穂数と押し倒し抵抗および倒伏指数との関係を第17図および第18図に示した。なお、1株穂数の変動幅を大きくするために散播水稲では苗立ち密度40, 80, 160本 m^{-2} に10および20本 m^{-2} を加え、点播水稲では苗立ち密度40, 80, 160本 m^{-2} (株間20cm, 条間30cm)に株間15cmおよび30cm(苗立ち密度80本 m^{-2})のデータをそれぞれ加えた。散播水稲では1株穂数が10本以下になると押し倒し抵抗値が著しく低下し、倒伏指数も増大したが、10本以上では押し倒し抵抗値は安定して高いため倒伏指数が低かった。一方、点播水稲では株間が15~30cm(苗立ち密度80本 m^{-2})、苗立ち密度が40~160本 m^{-2} (株間20cm)の間で変動

しても1株穂数が10本以下の株を生じず、1株穂数が10本以上の散播水稲の耐倒伏性とほぼ一致し、安定して高い押し倒し抵抗値および安定して低い倒伏指数を示した。このことから、点播水稲の耐倒伏性の向上には稈の形質以外に、1株穂数が散播水稲に比べて安定して多く確保できることが関与していると考えられる。なお、点播水稲では1株穂数の増加により押し倒し抵抗値が低下する傾向を示し、これを反映して倒伏指数もわずかながら増大する傾向を示した。これは、高密度区における1株穂数の増加に伴い稈の挫折重が低下したことによると推察される。

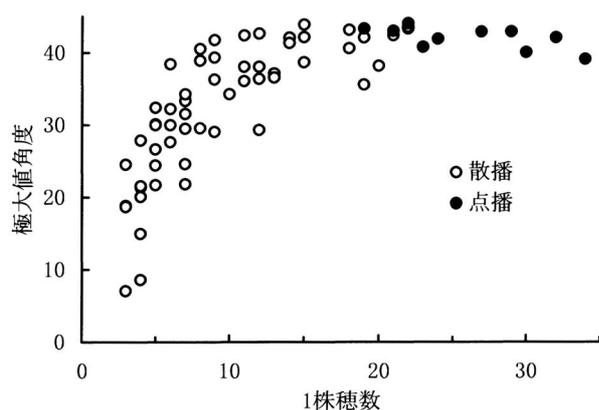
坂井・伊藤(1975)および上村ら(1985)は耐倒伏性の安定する1株穂数については言及していないが、本試験の結果から10本以上の1株穂数が散播水稲の耐倒伏性安定化のために必要になると考えられる。また、押し倒し抵抗測定用架台に傾斜計を装着し、抵抗値測定時に極大値を示す押し倒し角度(最大45度)を調査した結果を第19図に示した。この結果においても1株穂数が10本以下に減少すると極大値を示す角度が急激に低下した。極大値を示す角度は株を押し倒す力が株の支持力よりも大きくなる時の角度であるため、倒伏が始まる角度として捉えられる。このため、1株穂数の増大により倒伏を開始する株の傾斜



第17図 1株穂数と押し倒し抵抗値との関係



第18図 1株穂数と倒伏指数との関係



第19図 1株穂数が押し倒し抵抗値の極大値を示す角度に及ぼす影響

注) 極大値角度の最大値は45度。

角度が大きくなることも耐倒伏性の向上に関与していると考えられる。

(4) まとめ

以上のように、点播水稻は稈が長いために稈基部にかかる力が大きくなるが稈の形質に優れるとともに顕著に高い押し倒し抵抗を示すために総体的な稲株の耐倒伏性が強化されること、苗立ち密度が変動しても1株穂数が10本以上で安定しているために耐倒伏性の安定化が図られていることが明らかとなった。水稻栽培における倒伏の問題は、受光態勢悪化にともなう光合成量の低下による減収(SETTERら1997)や食味品質の低下(松江ら1991)を生じるとともに、機械収穫に支障をきたすなど大きな問題となる。このため、移植栽培に比較して耐倒伏性が低いとされる湛水直播栽培では倒伏の回避のために移植栽培に比較して減肥を行っている事例が多く、このことが直播栽培の収量が移植栽培に比較して低下している要因の一つとして考えられる。しかしながら、本試験では打込み点播機を用いた点播栽培による耐倒伏性の向上および安定化が示されたため、移植栽培に対する減肥の程度を小さくすることにより収量性を移植栽培に近づけることが可能であることが示唆された。また、直播栽培では播種密度や出芽率の不均一性により苗立ち密度が不均一となることは避けられないため、苗立ち密度が変動しても耐倒伏性が安定して高いことは重要な特性となる。本試験での風圧試験や圃場における成熟期の倒伏程度でも点播水稻は苗立ち密度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示した。特に、1999年のように寡照による稈の徒長を

生じたうえに登熟期後半に台風の通過による強風を受けた状態でも圃場における倒伏程度が2程度であったことは、通常の栽培法および気象条件であれば点播条件で顕著な倒伏を生じる可能性は非常に低いことを示している。

一方、散播栽培においても1株穂数が10本以上になると耐倒伏性が安定して高かった。しかしながら、穂数を400本 m^{-2} と仮定すると1株穂数を10本以上とするためには苗立ち密度を40本 m^{-2} 以下とする必要があるため、苗立ちの不均一により低密度となる部分での減収や品質低下が問題になることが予想される。なお、本試験では散播区と点播区の播種深度を約10mmに設定して播種深度を揃えて耐倒伏性を比較したが、播種深度が浅くなると倒伏しやすくなることが示されている(上村ら1985, 寺島ら1992)。打込み点播機による点播栽培では代かき直後の土壤に種子を加速して打ち込むため、代かき水量、代かき程度および播種機の打込みディスク回転数を調節することにより播種深度を深くすることは比較的容易である。これに対し、無人ヘリコプターや動力散布機を用いた散播栽培では自然落下による播種であるため本試験の条件よりも播種深度が浅くなる可能性が高く、本試験で示された散播区と点播区の耐倒伏性の差はさらに大きくなると考えられる。また、本試験では条播区の設定を行っていないが、条播水稻の耐倒伏性は散播および点播水稻の中間的な値を示すこと(尾形・松江1998b)および苗立ち密度による耐倒伏性の変動が小さいことが示されている(寺島ら1992)。

2. 耐倒伏性向上および安定化のための点播条件

これまでに、打込み点播機により播種を行った点播水稻は、散播水稻に比較して顕著に高い耐倒伏性を示すと同時に、苗立ち密度が変動しても耐倒伏性が安定していることを示した。このときの播種条件は条間および株間を一定とし、1株苗本数を変えて苗立ち密度の影響を検討するとともに、播種深度を約10mmに揃えて試験を行った。しかしながら、打込み点播機を利用した点播栽培は、散播栽培や条播栽培に比較して多様な播種条件の設定が可能で、株密度(株間)や1株播種量の調節が容易であるとともに、播種条件にともない点播形状が変化するという特徴を有する。また、播種深度についても打込み点播栽培では代かき時の入水量や代かき回数他に播種機の打込みディスクの回転数を変えることで播種深度を調

節することが可能であるが、播種時の土壌硬度は不均一であるため播種深度の変動は避けられない。このため、株間や点播形状、播種深度等の播種条件が変動しても点播栽培の特長である高い耐倒伏性が示されることが重要となるが、これらの点播条件が耐倒伏性に及ぼす影響については検討されていない。

そこで、本試験では打込み点播機を用いた安定的湛水直播栽培法の確立のための基礎的知見を得るために、耐倒伏性を高める点播条件を解明する試験を行った。

1) 材料と方法

(1) 点播水稻の株間が耐倒伏性に及ぼす影響 (試験1)

試験は1997～1999年に、九州農業試験場内の細粒灰色低地土水田において行った。供試品種、種子予措および被覆法はⅡ-1節に準じた。播種は3か年とも6月16日に、打込み点播機を用いて目標播種深度を10mmとして播種を行った。播種条件は条間を30cmとし、株間を20cm (16.7株 m^{-2}) および30cm (11.1株 m^{-2}) に設定した。このとき両株間とも、1997年は約80本 m^{-2} 、1998および1999年は約60本 m^{-2} になるように1株苗数を調整した。なお、播種作業速度は両株間とも0.5 ms^{-1} で行い、播種ロール回転速度を変えることにより株間を調整した。施肥法は前節に準じ、試験区配置は乱塊法、3反復とした。

(2) 点播水稻の点播形状が耐倒伏性に及ぼす影響 (試験2)

点播形状の試験区として通常の打込みディスク (第20図) による播種を行う標準区と点播形状を広げるために試作した打込みディスク (第21図) を用いた大型区を設けた。条間および株間は30cm (11.1株

m^{-2}) とし、その他の条件は全て試験1に準じた。

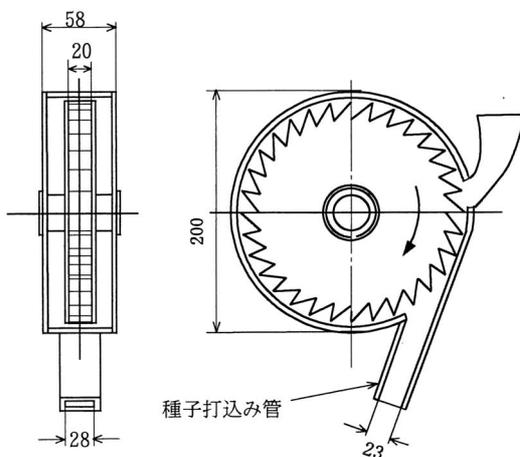
(3) 点播水稻の播種深度が耐倒伏性に及ぼす影響 (試験3)

播種深度に関する試験は1998および1999年の2か年にわたって、九州農業試験場内の細粒灰色低地土水田において行った。上記試験同様の品種を供試し、1998年6月26日および1999年6月2日に播種を行った。出芽を確保するために、幼芽を20～30mmに伸長させた種子を幼芽の先端を上に向けた状態でピンセットを用いて土壌中に埋め込んだ。このときの播種深度は1998年は2, 5, 10および15mm, 1999年はこれに20mmの区を加えた。播種様式は散播および点播の2様式とし、苗立ち密度は約80本 m^{-2} とした。点播区は条間30cm, 株間20cm (16.7株 m^{-2}) の設定で、直径6cmの円周上に5個の種子を同一深度に埋め込んで1株とした。また、株内の播種深度の変動の影響をみるために、株内の播種深度を2～15mmの範囲で変動させた区を設定した。さらに、播種様式と播種深度の関係をみるために、手播きを行った散播と打込み点播機による点播における出芽個体の出芽深度を調査した。

施肥法は前節に準じたが、1998年は播種時期の差を考慮して基肥および穂肥の量を20%減じた。試験区配置は分割区法、3反復とした。

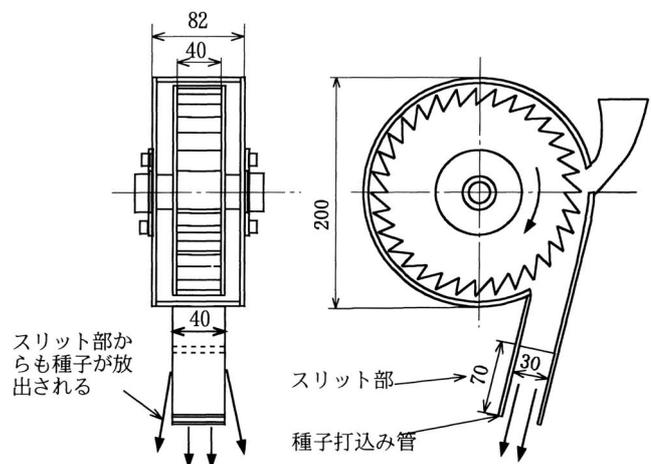
(4) 調査項目および調査法

試験1および2では分けつ、稈の形質および押し倒し抵抗に関する形質について、試験3では押し倒し抵抗に関する形質についてそれぞれ行った。各項目の調査法は前節に準じた。なお、土壌硬度の影響を小さくするため前節同様に中干しおよび出穂後の間断か



第20図 標準型打込みディスク

注) 図中の数値単位はmm (第21図も同じ)。



第21図 大型点播形状用打込みディスク

んがいにより表面土壌硬度を 1.2kg cm^{-2} 以上 (寺島ら 1997) に高めた。また、株間および点播形状についての収量調査は 3.0 m^2 について II - 1 節に準じて行った。

2) 結果

(1) 各年次の気象概況および出穂期

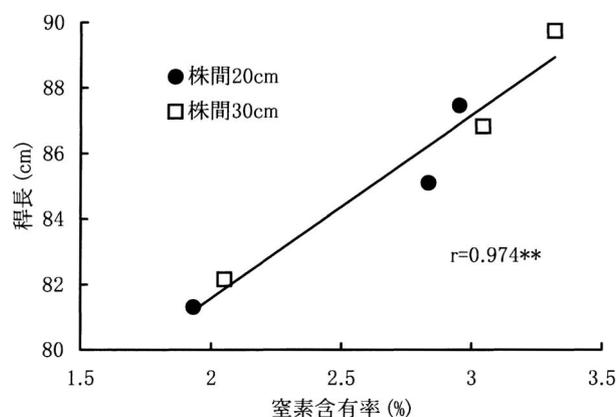
1997～1999年の気象概況は前節参照。試験1および試験2における3か年の出穂期は9月1～2日で、株間および点播形状を変えることによる出穂期の差は認められなかった。試験3における出穂期は各播種深度とも1998年は9月11日、1999年は8月25日であり、播種深度による出穂期の差は生じなかった。

(2) 点播水稻の株間が耐倒伏性に及ぼす影響

第19表に示したように各年次の両株間における播種深度の差は小さかった。また、同表において最高分けつ数や穂数に対する株間の影響は小さく、有効茎歩合の差も認められないとともに、精玄米重にも差を生じなかった。さらに、第20表に示したように稈の形質については、稈長は株間30cm区で長く、株間の影響が認められた。稈長と窒素含有率との関係を見ると最高分けつ期の地上部窒素含有率との相関がもっとも強かった ($r = 0.974^{**}$) ため、第20表に最高分けつ期の窒素含有率を記載するとともに、第22図に両形質の関係を示した。株間20cm区と30cm区の窒素含有率を比較すると、30cm区の窒素含有率が有意に高く、このために30cm区の稈長が増大したことが示唆された。

一方、第IV節間長、単位長さ当たりの節間重、主稈断面面積および稈の挫折重には株間の影響は認められなかった。

1株穂数および耐倒伏性に対する株間の影響については第21表に示した。第19表に示したように株間による穂数の差は認められないため、株密度の低い株間30cm区では株間20cm区に比較して1株穂数が多く、これにより株当たりの押し倒し抵抗値も株間30cm区で高くなった。稈当たりの押し倒し抵抗値は3か年の平均値に有意差は認められなかったものの1997年および1998年は株間20cm区の抵抗値が高かった。稈長が長く、稈当たりの押し倒し抵抗値が低下する傾向



第22図 最高分けつ期の地上部窒素含有率と稈長との関係

注) **: 1%水準で有意。

第19表 株間が出芽深度、分けつ、収量等に及ぼす影響

年次	株間 (cm)	出芽 深度 (mm)	出穂期 (月・日)	最高 分けつ数 (本/ m^2)	有効茎 歩合 (%)	穂数 (本/ m^2)	精玄米 重 (g/m^2)
1997	20	9.5	9.01	607	57.2	347	554
	30	9.1	9.01	584	61.5	359	553
1998	20	8.4	9.01	530	68.7	364	630
	30	9.0	9.01	553	66.4	367	628
1999	20	10.3	9.02	491	68.0	334	531
	30	9.6	9.02	468	71.3	334	530
平均値	20	9.4		543	64.6	348	571
	30	9.2		535	66.4	353	571
有意差		ns		ns	ns	ns	ns

注) 苗立ち密度は1997年は約 $80\text{ 本}/\text{m}^2$ 、1998および1999年は約 $60\text{ 本}/\text{m}^2$ 。有意差は平均値の t 検定による。ns: 有意差無し。*, **: 5%および1%水準で有意差有り (以上、第20～24表も同じ)。有効茎歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。精玄米重: 粒厚 1.70 mm 以上、水分 15% 換算 (以上、第22表も同じ)。

第20表 株間が地上部窒素含有率および稈の形質に及ぼす影響

年次	株間 (cm)	窒素 含有率 (%)	稈長 (cm)	第IV 節間長 (mm)	節間重 /長さ (mg/cm)	主稈 断面積 (mm ²)	挫折 重 (g)
1997	20	1.9	81.3	77	3.8	11.5	711
	30	2.1	82.2	79	3.6	11.6	736
1998	20	2.8	85.1	89	3.6	10.8	796
	30	3.0	86.8	88	3.3	11.2	790
1999	20	3.0	87.5	83	2.5	9.1	672
	30	3.3	89.7	81	2.5	9.3	732
平均値	20	2.5	84.6	83	3.3	10.5	726
	30	2.8	86.2	83	3.1	10.7	753
有意差		*	**	ns	ns	ns	ns

注) 窒素含有率は最高分けつ期の地上部の値。節間長, 節間重/長さ, 主稈断面積および挫折重は主稈第IV節間の測定値。挫折重の測定は葉鞘を1枚残した稈を支点間距離5cmで測定(以上, 第23表も同じ)。

第21表 株間が1株穂数および耐倒伏性に及ぼす影響

年次	株間 (cm)	1株穂数 (本/株)	押し倒し 抵抗 (g/株)	押し倒し 抵抗 (g/稈)	倒伏 指数	倒伏 程度 (0-4)
1997	20	20.9	2022	96.8	0.57	0.00
	30	32.1	2679	83.5	0.66	0.00
1998	20	23.5	2055	87.5	0.66	0.00
	30	35.1	2855	81.3	0.80	0.00
1999	20	19.7	1663	84.4	0.75	0.60
	30	29.1	2488	85.4	0.81	0.83
平均値	20	21.4	1914	89.5	0.66	0.20
	30	32.1	2674	83.4	0.76	0.28
有意差		*	*	ns	*	ns

注) 押し倒し抵抗: 押し倒し角度45度, 押し倒し高さ15cm。倒伏指数: 稈長×地上部重/(押し倒し抵抗値×15) (以上, 第24~25表も同じ)。

を示した株間30cm区の倒伏指数は平均で0.76となり, 株間20cm区に比較して0.1増大した。倒伏程度については1999年は出穂の約3週間後に接近した台風(最大瞬間風速27ms⁻¹, 日積算雨量66mm)により若干の倒伏を生じたが, その程度は両区とも1以下と軽微であった。

(3) 点播水稻の点播形状が耐倒伏性に及ぼす影響
第22表に示したように株形状標準型用打込みディスクで播種を行った株の点播形状は長径約9cm, 短径約5.5cmであったが, 株形状大型用打込みディスクに

よる播種では長径が約3cm, 短径が約2cmそれぞれ大きくなった。このような点播形状の違いは出芽深度, 出穂期や穂数, 精玄米重への影響は認められなかったが, 点播形状を大型化すると有効茎歩合が低下することが示された。

次に, 点播形状が稈の形質および押し倒し抵抗値等に及ぼす影響を第23表および第24表に示した。稈の形質については, 調査形質に対する点播形状の影響は認められなかった。地上部窒素含有率と稈長との相関係数は最高分けつ期の窒素含有率において最

第22表 点播形状が出芽深度、分けつ、収量等に及ぼす影響

年次	点播形状	点播株長径 (cm)	点播株短径 (cm)	出芽深度 (mm)	出穂期 (月.日)	最高分けつ数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	穂数 (本/m ²)	精玄米重 (g/m ²)
1997	標準	9.1	5.5	9.1	9.01	584	61.5	359	553
	大型	11.7	8.0	9.8	9.01	577	56.8	328	544
1998	標準	8.8	5.6	9.0	9.01	553	66.4	367	628
	大型	11.8	7.4	8.1	9.01	618	60.4	373	616
1999	標準	9.0	5.3	9.6	9.02	468	71.3	334	530
	大型	11.5	7.7	8.8	9.02	533	63.5	338	512
平均値	標準	9.0	5.5	9.2		535	66.4	353	571
	大型	11.7	7.7	8.9		576	60.2	346	557
有意差		**	**	ns		ns	*	ns	ns

注) 株間はすべて30 cm (第23～24表も同じ)。

第23表 点播形状が地上部窒素含有率および稈の形質に及ぼす影響

年次	点播形状	窒素含有率 (%)	稈長 (cm)	第IV節間長 (mm)	節間重 /長さ (mg/cm)	主稈断面積 (mm ²)	挫折重 (g)
1997	標準	2.1	82.2	79	3.6	11.6	736
	大型	2.0	82.6	79	3.9	11.4	736
1998	標準	3.0	86.8	88	3.3	11.2	790
	大型	2.6	86.1	91	3.1	10.3	740
1999	標準	3.3	89.7	81	2.5	9.3	732
	大型	3.1	87.9	92	2.1	9.4	637
平均値	標準	2.8	86.2	83	3.1	10.7	753
	大型	2.6	85.5	87	3.0	10.4	705
有意差		ns	ns	ns	ns	ns	ns

第24表 点播形状が1株穂数および耐倒伏性に及ぼす影響

年次	点播形状	1株穂数 (本/株)	押し倒し抵抗 (g/株)	押し倒し抵抗 (g/稈)	倒伏指数	倒伏程度 (0-4)
1997	標準	32.1	2679	83.5	0.66	0.00
	大型	29.1	2485	85.4	0.64	0.00
1998	標準	34.8	2831	81.3	0.80	0.00
	大型	35.1	2823	80.3	0.79	0.00
1999	標準	29.1	2488	85.4	0.81	0.83
	大型	28.8	2339	81.4	0.78	1.17
平均値	標準	32.0	2666	83.4	0.76	0.28
	大型	31.0	2549	82.4	0.73	0.39
有意差		ns	ns	ns	ns	ns

も高かった ($r=0.972^{**}$) が、点播形状による有意な差は生じなかった。また、1株穂数や株当たりの押し倒し抵抗値および稈当たりの押し倒し抵抗値に対する点播形状の影響は認められず、倒伏指数および倒伏程度の差も小さかった。

(4) 点播水稻の播種深度が耐倒伏性に及ぼす影響
播種深度が散播および点播水稻の耐倒伏性に及ぼす影響を第25表に示した。点播水稻における播種深度が耐倒伏性に及ぼす影響についてみると、播種深度が変動しても稈長や1株穂数にはほとんど差を生

じなかった。押し倒し抵抗値を稈当たりの値で比較すると両年とも播種深度による有意差が認められ、播種深度が深くなるほど押し倒し抵抗値が大きくなった。また、倒伏指数については両年とも播種深度が浅くなると増大した。前節では倒伏指数が0.8を超えると急激に倒伏し易くなることが示されたが、本試験では倒伏指数が0.8を超えた区は点播水稻では1998年の播種深度2および5mm区のみであった。

散播水稻についてみると、播種深度が深くなると稈長が短くなる傾向を示すとともに、点播区に比較すると稈長が短い傾向を示した。1株穂数は播種深度による差は認められなかったが点播区が21~28本であったのに対し、散播区では4~6本と小さい値であった。押し倒し抵抗値を稈当たりの値で比較すると両年とも播種深度による有意差が認められ、播種深度が深くなるほど押し倒し抵抗値が大きくなった。散播区の押し倒し抵抗値は、点播区の抵抗値と比較すると顕著に小さく、また、第23図で示したように播種深度が浅いときの押し倒し抵抗値の低下程度が点播区に比較して大きい傾向を示した。倒伏指数については両年とも播種深度が浅くなると増大したが、

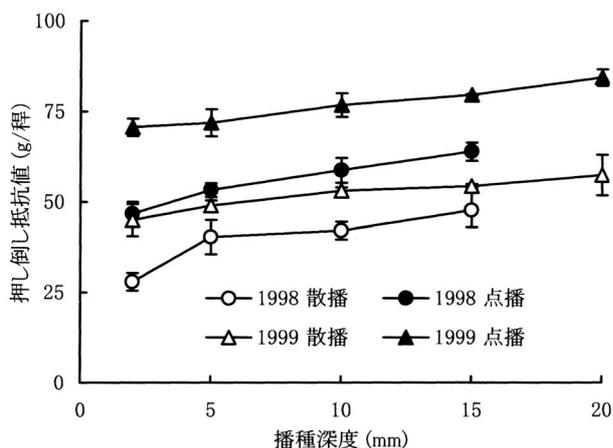
散播区の倒伏指数は点播区に比較して顕著に高く、全ての区で倒伏指数が0.8を超え、播種深度2mm区では両年とも倒伏指数が1.0を超えた。このとき、第24図で示したように播種深度が浅いときの倒伏指数の増大は点播区に比較して大きく、特にその程度の大きかった1998年は第25表で示したように播種様式と播種深度の交互作用を示した。なお、同一点播株内の播種深度を一定とした場合と不均一にした場合における播種深度と押し倒し抵抗値との関係を第25図に示した。その結果、株内の播種深度が不均一であっても押し倒し抵抗値は株内の平均播種深度に依存して播種深度が均一の場合と類似の傾向を示した。

次に、圃場における散播および点播栽培の播種深度の分布を第26図に示した。散播区の平均出芽深度が8.4mm、点播区は8.9mmという条件で両播種様式における出芽深度の分布を個体単位で比較すると、両区とも出芽深度が3mm以下と浅くなった個体が15~20%程度生じた。しかしながら、点播区を株単位の平均値として出芽深度の分布をみると3mm以下の株の割合は5%程度に減少し、4~15mmの株が全体の約80%となった。

第25表 播種深度が倒伏関連形質に及ぼす影響

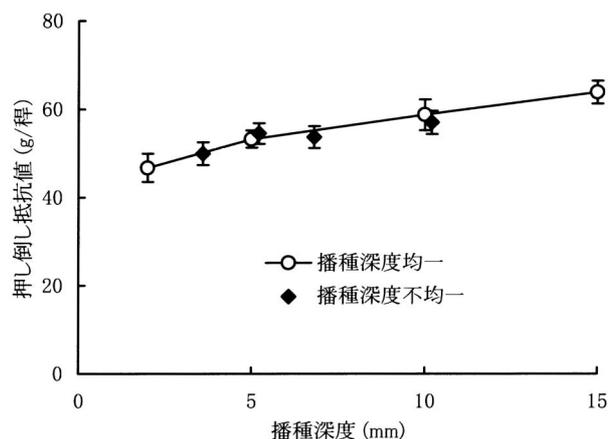
年次	播種深度 (mm)	稈長 (cm)		1株穂数 (本/株)		押し倒し抵抗 (g/株)		押し倒し抵抗 (g/稈)		倒伏指数	
		散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播	散播	点播
1998	2	76.5	80.2	5.6	27.7	156	1290	27.9	46.7	1.80	0.90
	5	75.3	80.6	5.9	26.9	234	1434	40.3	53.3	1.12	0.82
	10	75.1	80.3	5.5	26.6	230	1558	42.0	58.7	1.08	0.72
	15	74.5	79.9	5.6	26.0	264	1656	47.7	63.8	1.02	0.67
	平均値	75.4	80.2	5.6	26.8	221	1485	39.5	55.6	1.25	0.78
分散分析	播種様式	**		**		**		**		**	
	播種深度	**		ns		**		**		**	
	交互作用	ns		ns		**		ns		**	
1999	2	78.2	79.7	5.2	23.6	234	1670	45.0	70.7	1.15	0.70
	5	78.4	80.7	5.0	24.4	244	1753	48.9	71.9	0.99	0.68
	10	78.3	78.6	5.1	24.0	272	1837	53.0	76.7	0.98	0.65
	15	77.3	81.0	4.9	22.2	267	1765	54.4	79.5	0.96	0.65
	20	77.8	79.5	4.7	21.3	271	1800	57.3	84.3	0.95	0.61
	平均値	77.9	79.9	4.9	23.0	263	1789	53.4	78.1	0.97	0.65
分散分析	播種様式	ns		**		**		**		**	
	播種深度	ns		ns		ns		**		*	
	交互作用	ns		ns		ns		ns		ns	

注) ns: 有意差無し。*, **: 5%および1%水準で有意差有り。



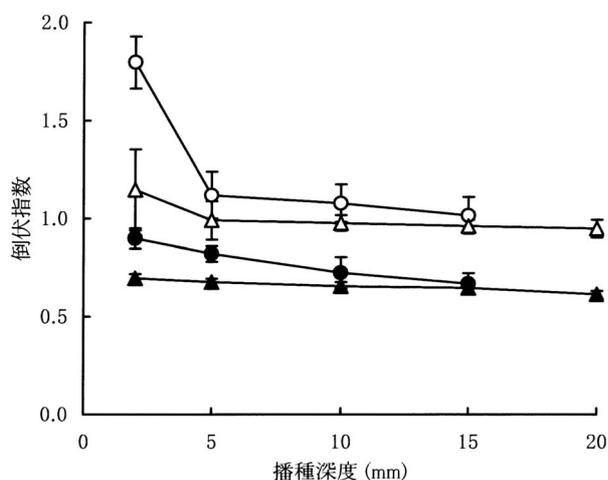
第23図 播種深度と押し倒し抵抗値との関係

注) 散播の苗立ち密度は80本/m²、点播は20×30cmの1株5本で83本/m²。垂直線は標準誤差を示す(以上、第24～25図も同じ)。



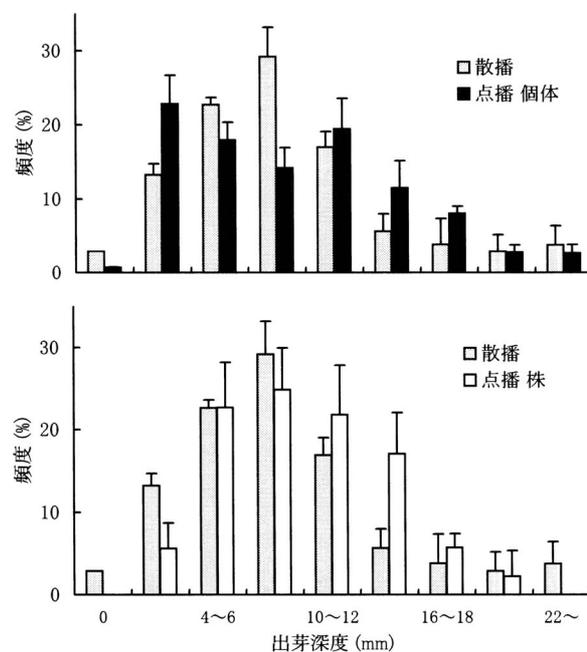
第25図 点播株内の播種深度の均一性と押し倒し抵抗値との関係

注) 1998年データ。



第24図 播種深度と倒伏指数との関係

注) 凡例は第23図参照。



第26図 散播および点播栽培における出芽深度の分布

注) 散播は手播き、点播は打込み点播機による播種。点播は個体単位(上図)および株単位(下図)の平均値の頻度で図示した。平均出芽深度は散播: 8.4 mm, 点播: 8.9 mm。

3) 考察

(1) 点播水稻の株間が耐倒伏性に及ぼす影響

株間と耐倒伏性との関係については、移植水稻では株間を広げて疎植にすると耐倒伏性が向上することが示されている(藤田1994, 山本ら1989)が、藤田(1994)の試験において面積当たり苗本数が同じで株間が異なる区を比較した場合には耐倒伏性への影響は認められないため、これらの試験における耐倒伏性向上要因は面積当たり苗本数の減少によると考えられる。本試験では苗立ち密度を揃えて株間を変えた試験条件であったが、株間を20cmから30cmに広げることにより、収量には差を生じなかったが倒伏指数が増大し、株間の拡大が耐倒伏性を低下させることが示唆された。倒伏指数に差を生じた要因の

一つは、株間を広げることにより最高分げつ期の地上部窒素含有率が高まったために稈長が長くなったことであった。点播水稻の稈長については、前節において散播水稻に比較して稈長が長くなること示されており、点播水稻では稈長の制御が重要となるため、株間を広げることは避けるべきであろう。また、株間30cm区では1株苗本数が多いため1株穂数が顕著に増大し、稈当たりの押し倒し抵抗値が低下した

ことも倒伏指数の低下に影響したと考えられる。尾形・松江(1998b)も、散播水稻の低密度条件での耐倒伏性の低下要因として1株穂数の顕著な増大による程当たりの押し倒し抵抗値の低下を示唆している。

以上のような要因により株間を広げると倒伏指数が増大したと考えられたが、株間30cm区の倒伏指数の平均値は0.76で、前節で示されたように倒伏が顕著となる倒伏指数0.8を超えなかったため、実際の倒伏程度には差を生じなかったと考えられる。しかしながら、播種深度が浅くなったり耐倒伏性の弱い品種を用いた場合など、耐倒伏性を低下させる要因が重なるような場合には株間を広げることが実際の倒伏を助長することになると推察される。なお、1株苗本数が同じ条件で株間を広げる場合には、苗立ち密度の低下と株間の拡大の両要因により最高分げつ期の窒素含有率が高まることが推測されるため、稈長の差は本試験よりも大きくなり、耐倒伏性の低下が顕著となると考えられる。

(2) 点播水稻の点播形状が耐倒伏性に及ぼす影響

点播形状については収量のみならず稈質や押し倒し抵抗等の倒伏関連形質に対する影響は認められなかった。稈質については有効茎歩合の点播形状による差が認められたもののその差は小さかったため、主稈断面積や挫折重に差を生じなかったものと考えられる。また、最高分げつ期の地上部窒素含有率の差が小さく、稈長にも差を生じなかった。このように稈質に差がなく1株穂数も同等であったため押し倒し抵抗や倒伏指数の差も生じなかったと推察される。本試験では株間30cm、1株苗数約5本の条件での結果であるが、株間や苗立ち密度が変動した場合について考えると、株間を狭くして1株苗数を少なくする条件や、苗立ち密度が低下した条件では本試験よりも個体間の距離が大きくなる。このような条件で点播形状が大型化する場合には、点播に比較して耐倒伏性の低い条播(下坪・富樫1996b, 尾形・松江1998)に近い条件になるため、耐倒伏性が低下すると考えられる。

(3) 点播水稻の播種深度が耐倒伏性に及ぼす影響

次に播種深度と耐倒伏性との関係について検討する。両者の関係についてはこれまでに伊藤ら(1976)、上村ら(1985)および寺島ら(1992)により、播種深度が深い方が耐倒伏性の向上することが示されている。本試験では散播および点播水稻の播種深度と耐倒伏性との関係を比較したところ播種様式を問わず

播種深度が深いほど耐倒伏性が向上し、既報の結果と一致した。しかしながら、同一播種深度では散播水稻に比較して点播水稻の耐倒伏性が高く、また、特に播種深度が浅い場合に播種様式間差が顕著となり、点播水稻は播種深度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示した。前節において散播水稻は1株穂数が10本以下になるために耐倒伏性が大きく変動し、低下することが示されている。本試験では1株穂数が5本程度と少ない条件の散播区で播種深度の影響が大きかったため、1株穂数が少ない場合に播種深度の影響が大きくなり、耐倒伏性の変動や低下を生じさせると考えられる。なお、株内の播種深度が不均一であっても押し倒し抵抗値は株内の平均播種深度に依存して播種深度が均一の場合と類似の変化を示したため、同一点播株内の播種深度を一定としたときの試験結果は、打込み点播機による播種を行ったときの播種深度の異なる個体が形成する株における平均播種深度と耐倒伏性との関係に適用できると考えられる。

次に、圃場条件における播種様式と播種深度との関係について考察する。本試験で行った調査結果において、点播水稻では播種深度の浅い(3mm以下)個体の頻度は20%程度であったが、各個体の播種深度の平均値が浅い株の頻度は5%程度と低くなった。点播水稻では播種深度の浅い個体を生じても同一株内に播種深度の深い個体も存在するために、株単位では播種深度の浅くなる頻度が低下するとともに、播種深度の変動が小さくなっていると考えられる。湛水直播栽培では土壌の不均一性により播種深度の厳密な制御は難しいため、播種深度の変動が小さいことや播種深度が変動しても耐倒伏性が安定して高いことは直播栽培の安定化にとって重要な特徴である。また、播種深度は出芽・苗立ちの安定化と関連している(坂元ら1980, 世古ら1987, 安原ら1992)ため、耐倒伏性および出芽の安定化を考慮したときの適正播種深度は寒冷地で5~10mm, 温暖地では10~15mm(姫田1995)とされている。播種様式に応じた適正播種深度については検討されていないが、点播栽培はこれまで述べたような特性により播種深度を浅くして出芽の安定化を優先させることも可能であると考えられる。

(4) まとめ

以上のように、耐倒伏性向上および安定化のための点播条件について検討した結果、株間については、

その拡大により稈長の増大や稈当たりの押し倒し抵抗値の低下による耐倒伏性の低下が示唆された。このため、株間を広げずに播種量や播種作業速度を調整することが望ましいと考えられた。播種作業の高速化等にもない株間を広げる必要がある場合には施肥法や水管理により窒素吸収を制御して稈の伸長を抑制することや、耐倒伏性の高い品種を用いることが耐倒伏性安定化のために重要となるであろう。一方、点播形状については本試験における処理条件では耐倒伏性に対する影響の小さいことが示されたため、極端に点播形状が大きくならなければ問題は生じないと考えられた。また、点播水稲では播種深度が浅くなる株を生じにくいとともに、浅くなくても耐倒伏性の低下程度は散播水稲に比較して非常に小さいことが示された。このような特性は前節で示された苗立ち密度と耐倒伏性との関係同様に点播栽培の安定性を示す重要な特性であると考えられる。

3. 点播水稲の耐倒伏性の移植水稲との比較および施肥による変動

湛水直播栽培は播種様式として散播、条播および点播の3種類に分類されているが、播種様式と耐倒伏性との関係については世古ら（1983）、下坪・富樫（1996b）および尾形・松江（1998b）により点播水稲の耐倒伏性が最も高く、散播水稲の耐倒伏性が低いことが示されている。前節においても点播水稲は散播水稲に比較して耐倒伏性が高いこと、苗立ち密度や播種深度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示すことが明らかとなった。点播水稲の耐倒伏性向上要因としては株が大きい（1株穂数が多い）ことが関与していることが前節において示されたが、点播水稲同様に複数個体で株を形成する移植水稲の耐倒伏性を点播水稲と詳細に比較した事例は少ない。そこで、点播水稲の耐倒伏性の向上および安定化のための基礎的知見を得ることを本項の第一の目的として、点播水稲の耐倒伏性に関する特性を移植水稲と比較する試験を行った。

一方、耐倒伏性の変動要因として前節において株間や点播形状等の点播条件が耐倒伏性に及ぼす影響について検討を行ったが、同様に耐倒伏性に影響を及ぼすと考えられる施肥法についての検討は行っていない。点播水稲における施肥法と生育・収量との関係については本報告中で後ほど詳細に検討を行うが、湛水直播栽培においては緩効性窒素肥料の利用が、

直播水稲の生育相の改善および安定・多収化に有効であることが示されている（関ら1987、中鉢ら1991、西田ら2000）。また、本報告において、緩効性窒素肥料の基肥施用により播種後の落水管理にともなう窒素吸収量の低下を軽減できることが明らかとなっている。しかしながら、点播水稲の耐倒伏性低下要因として稈長の増大が示されていることから、緩効性窒素肥料の施用により、稈の伸長等による耐倒伏性の低下を生じることが危惧される。そこで、前節では点播水稲における施肥法が耐倒伏性に及ぼす影響を明らかにすることを第二の目的とする。

1) 材料と方法

(1) 栽培条件

試験は1998～2000年の3か年にわたって、九州農業試験場内の細粒灰色低地土水田において、ヒノヒカリを用いて行った。栽培法として移植区と点播区を設定した。移植区では苗箱当たり乾籾相当120gの催芽籾を播種して約25日間育苗を行い、葉齢約4.5齢の中苗を育成した。移植苗は1998年および1999年は6月25日に、2000年は6月23日に、条間30cm、株間20cm、1株5本（16.7株 m^{-2} 、83本 m^{-2} ）の条件で手植えを行った。一方、点播区では、II-1節同様の種子予措および被覆を行った種子を用い、条間30cm、株間20cm（16.7株 m^{-2} ）、目標播種深度10mmとして打込み式代かき同時土中点播機による播種を行った。本田播種時期は出穂期を移植区と揃えるために移植日の約10日前とし、1998年および1999年は6月16日、2000年は6月13日とした。播種量は乾籾相当で約4 gm^{-2} と多めに設定したが、出芽後に1株苗数を5本程度に補正し、補正後の苗立ち密度を移植区と同条件にした。播種後の水管理については出芽揃い期までの約7日間は落水状態とした。ただし、落水期間中に土面の亀裂が大きくなり入水後の漏水が危惧された場合には一時的に入水を行った。

(2) 施肥法

移植区および点播区に施肥法を2水準設けた。本報告において、基肥に速効性肥料を施用したときの肥効は初期の水管理の影響を受けることが示されていることから、基肥は緩効性肥料を主体とした。標準区では速効性窒素肥料20%と緩効性窒素肥料のLP100を80%含むLP複合D-80を窒素成分量で6 gm^{-2} 基肥として施用した。また、出穂の約20日および10日前に窒素成分で3および2 gm^{-2} の硫酸を穂肥として施

第26表 栽培法および施肥法が耐倒伏性関連形質に及ぼす影響 (その1)

年次	栽培法	施肥法	有効茎歩合 (%)	稈長 (cm)	第IV節間長 (cm)	主稈断面積 (mm ²)	挫折重 (g)
1998	移植	標準	78.9 ab	86.5 a	-	-	-
		緩効	87.4 a	85.4 a	-	-	-
	点播	標準	65.0 c	85.8 a	-	-	-
		緩効	68.9 bc	85.4 a	-	-	-
1999	移植	標準	87.8 a	84.5 ab	7.4 a	12.1 a	785 ab
		緩効	88.1 a	82.1 b	6.9 a	11.4 a	803 a
	点播	標準	59.9 b	87.4 a	8.0 a	8.8 b	673 bc
		緩効	64.0 b	85.2 ab	7.8 a	9.4 b	650 c
2000	移植	標準	66.2 a	77.2 b	6.5 a	10.2 b	714 a
		緩効	77.4 a	78.5 b	7.0 a	11.0 a	698 a
	点播	標準	66.1 a	80.8 ab	7.0 a	8.8 c	653 a
		緩効	72.4 a	84.2 a	7.7 a	9.2 c	589 a
平均値	移植	標準	77.6 ab	82.7 b	7.0 a	11.1 a	749 a
		緩効	84.3 a	82.0 b	6.9 a	11.2 a	751 a
	点播	標準	63.7 c	84.7 a	7.5 a	8.8 b	663 b
		緩効	68.4 bc	84.9 a	7.7 a	9.3 b	619 b

注) 1998年の一部データは未調査。同一年次または平均値において同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す(第27表も同じ)。有効茎歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。調査法は第16表の脚注参照。

用した。緩効区は全量基肥施用とし、LPコート50およびLPSSコート100(チッソ旭肥料(株)製、以下LP50およびLPSS100と略)を窒素成分で2および7g^m⁻²施用した。なお、LP50は25℃水温下で50日間に窒素成分を約80%徐々に溶出し、LPSS100は25℃水温下で約45日後から溶出を開始し、施用後100日後までに窒素成分を約80%溶出する特性を有する被覆尿素肥料である。このため、LP50は基肥、LPSS100は穂肥としての肥効を有するとされている。なお、標準区の基肥におけるP₂O₅およびK₂O含有量にあわせて緩効区では両成分を基肥散布時に成分量で6g^m⁻²施用した。

(3) 耐倒伏性調査

耐倒伏性に関連した稈の形質として、出穂後約30日目に主稈の第IV節間の挫折重、節間長および断面積の測定を行った。また、出穂15～20日後に稈長および押し倒し抵抗値の測定を行い、倒伏指数を算出するとともに成熟期の倒伏程度を達観調査した。なお、挫折重および押し倒し抵抗値の測定法および倒伏指数の算出はⅢ-1節に準じた。

2) 結果

(1) 各年次の気象概況、作況指数および出穂期

1998および1999年の気象条件は前節の結果において記述した。2000年の気象条件1998年同様におおむね良好で、目立った気象災害もなかったため当該地域の作況指数は103であった。出穂期は、移植区では8月29～30日、点播区では8月31～9月2日となり、処理区間差は小さかった。

(2) 耐倒伏性

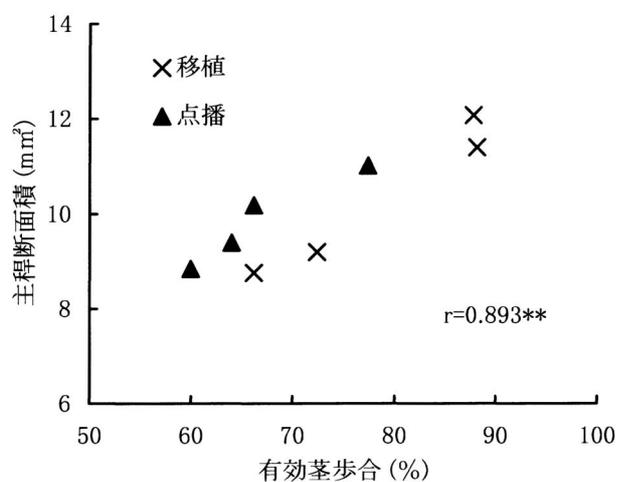
栽培法および施肥法が耐倒伏性に及ぼす影響を第26表および第27表に示した。移植区と点播区の間には、稈質に関する形質について有意差が認められたが、施肥法による差は認められなかった。すなわち、点播水稻は移植水稻に比較して、稈が長くなり、第IV節間長も増大する傾向を示した。また、点播水稻は有効茎歩合が低く、主稈断面積が小さいとともに稈の挫折重も小さかった。

次に、点播水稻の押し倒し抵抗値は特に標準区で高く、移植水稻の標準区との間に有意差が認められた。また、緩効区においても点播水稻の押し倒し抵抗値が高い傾向を示した。一方、1株穂数および倒伏指数には栽培法および施肥法間差が認められず、圃場における倒伏程度にも差を生じなかった。

第27表 栽培法および施肥法が耐倒伏性に及ぼす影響（その2）

年次	栽培法	施肥法	1株 穂数 (本/株)	押し倒し 抵抗 (g/稈)	倒伏 指数	倒伏 程度 (0-4)
1998	移植	標準	23.7 a	76.9 ab	0.80 ab	0.00 a
		緩効	22.5 a	70.4 b	0.90 a	0.00 a
	点播	標準	22.0 a	86.1 a	0.67 b	0.00 a
		緩効	23.7 a	87.6 a	0.69 b	0.00 a
1999	移植	標準	22.1 a	65.2 b	0.87 a	1.37 a
		緩効	19.2 a	78.2 a	0.67 c	0.93 a
	点播	標準	21.0 a	79.0 a	0.79 ab	0.77 a
		緩効	21.1 a	75.2 a	0.75 b	0.83 a
2000	移植	標準	22.3 b	83.7 a	0.57 a	0.00 a
		緩効	25.3 a	79.7 a	0.55 a	0.00 a
	点播	標準	22.8 b	92.2 a	0.55 a	0.00 a
		緩効	24.7 a	81.0 a	0.59 a	0.00 a
平均値	移植	標準	22.7 a	75.3 b	0.75 a	0.46 a
		緩効	22.3 a	76.1 ab	0.70 a	0.31 a
	点播	標準	22.0 a	85.8 a	0.67 a	0.26 a
		緩効	23.2 a	81.3 ab	0.68 a	0.28 a

注) 調査法は第18表の脚注参照。



第27図 有効茎歩合と主稈断面積との関係

注) 1999年および2000年データ。**:1%水準で有意。

3) 考察

本試験における移植区との比較では点播区の稈長が増大したが耐倒伏性に対する影響の大きい下位節間長には差を生じなかった。また、点播区は下位節間の断面積が小さく、挫折重も低下した。第27図に示したように、有効茎歩合と主稈断面積は強い正の相関関係を示したため、点播水稻は移植水稻に比較し

て有効茎歩合が低いために稈が細くなり、挫折重も低下したと考えられる。一方、点播区では移植区に比較して挫折重が小さかったにもかかわらず押し倒し抵抗値が高い傾向を示した。押し倒し抵抗値が高まった要因としては、点播水稻は移植水稻に比較して株の基部の土中での位置が浅いために、株を支持する節間は挫折重の大きい低位の節間になったことが考えられる。このため、点播水稻は稈が長くなるとともに下位節間の断面積が小さくなるものの、押し倒し抵抗値が高いために移植水稻と同等の耐倒伏性を示すことが明らかとなった。点播水稻は散播水稻に比較しても稈長が増大することが前節で示されているため、点播水稻では稈長の増大に留意した栽培管理法や品種の選定が重要になると考えられる。

このような栽培法間差に対し、耐倒伏性に関する施肥法間差は移植、点播区ともに認められなかった。上記のように点播栽培では稈の伸長が危惧されるが、本試験のような緩効性肥料の使用や後期重点施肥による稈の伸長やこれにともなう耐倒伏性の低下が認められなかったことから、点播水稻は施肥法を変えても安定して高い耐倒伏性を示すことが示唆された。

Ⅳ. 打込み点播水稻の生育特性の解明と 生産性の向上

1. 散播水稻と比較した土中点播水稻の生育特性の 解明

湛水直播栽培では、一般に耐倒伏性の低下が問題となるが、打込み点播機を用いた点播栽培では播種条件や生育条件が変動しても安定して高い耐倒伏性を示すことを本報告中で明らかにした。

一般的に、点播水稻の生育特性に関しては、散播や条播と比較して有効茎歩合の高いこと(世古ら1983, WONら1996)や、初期生育が小さい(相川・森脇1986)ことが報告されており、直播水稻の中では移植水稻に近い生育特性を示すことが明らかになっている。また、他の播種様式と比較して高い収量を示した事例(世古ら1983, 中村ら1986, 尾形・松江1998b)が報告されている。しかしながら、これまで実用的な点播用播種機が普及していなかったために、点播水稻の生育特性を乾物生産や窒素吸収特性の面から詳細に解析した報告例は少ない。

そこで、打込み点播機を用いた安定的湛水直播栽培技術の確立のための基礎的知見を得ることを目的に、点播水稻の乾物生産や窒素吸収特性を散播と比較し、生育および収量性との関連について検討を行った。

1) 材料と方法

(1) 栽培条件

試験は1996～2000年の5か年にわたって、九州農業試験場内の細粒灰色低地土水田において行った。供試品種、種子予措および被覆法はⅡ-1節に準じた。播種は1996年6月19日、1997～1999年6月9日、2000年6月13日に行った。播種様式は、代かき直後の土壤に手播きを行った散播区、打込み点播機を用いて播種した点播区の2処理とした。苗立ち密度は1996年は100本 m^{-2} 、1997～2000年は80本 m^{-2} とし、点播区では条間30cm、株間20cm(16.7株 m^{-2})の設定で播種を行った。播種量は目標苗立ち密度の1.5倍量として、苗立ち後に m^2 当たり苗立ち数が設定条件になるように間引いて補正した。また、播種深度の生育への

影響を小さくするために両播種様式の目標播種深度を10mmとした。散播区では播種深度を深くするために代かき水量を多めにして代かき直後に播種を行うとともに、播種深度の浅くなった地点では覆土を行った。

基肥は、LP複合D-80(速効性窒素肥料20%、緩効性肥料80%含有、Ⅲ-1節参照)を基肥として窒素成分量で $6gm^{-2}$ 施用した。また、出穂の約20日および10日前に窒素成分で3および $2gm^{-2}$ の硫安を穂肥として施用した。試験区配置は分割区法、3反復とした。

(2) 生育・収量の調査方法

生育調査として、点播区は1区当たり10株(0.6 m^2)、散播区は1区当たり0.3 m^2 の茎数調査を行った。また、点播区では1区当たり20株(1.2 m^2)、散播区では1区当たり1.2 m^2 について分けつ期から成熟期まで5回の抜き取り調査を行った。抜き取り株の調査および窒素分析はⅡ-1節に準じた。また、1997～2000年は穂揃い期に主稈の上位3葉の光合成速度をLI-6200(Li-cor社製)を用いて測定した。

収量および収量構成要素の調査は、点播区では1区当たり50株(3.0 m^2)、散播区では1区当たり1.2 m^2 、2か所(合計2.4 m^2)を成熟期に刈り取り、Ⅱ-1節に準じて行った。

2) 結果

(1) 各年次の気象概況、作況指数および出穂期

試験を実施した5か年の気象概況を第28表に示した。1997年および1999年は7～9月の日射量が明らかに少なく、当該地域(福岡県南筑後地区)における作況指数はそれぞれ95および86に低下した。特に1999年は登熟期に当たる9月の日射量の平均値が

第28表 5か年の月別気象概況

	年次	6月	7月	8月	9月	10月
平均気温 ($^{\circ}C$)	1996	23.6	26.5	27.8	23.7	18.2
	1997	23.6	26.1	27.5	23.0	17.9
	1998	23.0	27.4	28.4	25.5	20.3
	1999	23.4	25.6	27.5	25.7	19.3
	2000	23.0	27.5	27.8	23.8	19.4
日射量 ($MJ/m^2/日$)	1996	11.8	16.5	15.8	14.0	11.0
	1997	14.9	14.5	16.1	12.2	12.2
	1998	14.4	20.4	20.4	16.0	11.4
	1999	14.9	16.2	16.1	11.2	12.6
	2000	14.7	19.9	18.5	14.7	10.9

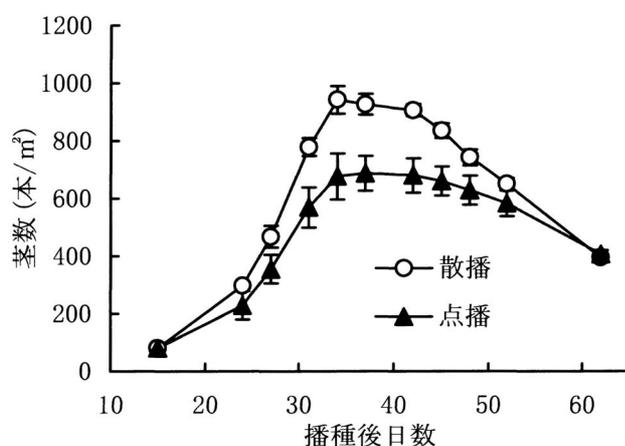
第29表 播種様式が分けつおよび葉身形質に及ぼす影響

年次	播種様式	分けつ速度 (本/m ² /日)	最高分けつ数 (本/m ²)	穂数 (本/m ²)	有効茎歩合 (%)	最高分けつ期		
						LAI (m ² /m ²)	SLA (cm ² /g)	LWR (g/g)
1996	散播	21.1	1079	474	43.9	3.3	301	0.49
	点播	14.9	803	471	58.6	3.1	334	0.52
1997	散播	16.8	751	343	45.6	2.1	269	0.41
	点播	15.1	632	358	56.7	2.0	267	0.44
1998	散播	22.5	928	395	42.5	3.0	271	0.44
	点播	15.8	659	407	61.8	3.2	276	0.47
1999	散播	19.0	738	395	53.5	2.4	294	0.45
	点播	16.1	704	405	57.5	2.1	297	0.50
2000	散播	16.6	603	411	68.1	2.8	254	0.44
	点播	13.8	577	381	65.9	2.5	265	0.46
平均値	散播	19.2	820	403	50.7	2.7	278	0.45
	点播	15.1	675	404	60.1	2.6	288	0.48
	有意差	*	*	ns	*	ns	*	**

注) 有意差は平均値のt検定による。*,**：5および1%水準で有意，ns：有意差無し（以上，第30～33表も同じ）。分けつ速度は播種後30日間の値。有効茎歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。LAI：葉面積指数。SLA：比葉面積。LWR：葉重比。

11.2MJm⁻²day⁻¹と少なく，さらに登熟後期の9月24日に接近した台風（最大瞬間風速27ms⁻¹，日積算雨量66mm）の影響により作況指数の低下が顕著であった。1996，1998および2000年の気象条件はおおむね良好で，目立った気象災害もなかったため作況指数は104，102および103であった。出穂期は年次によって8月26日から9月3日の間で変動したが播種様式間の差は認められなかった（第33表）。

(2) 播種様式が分けつおよび葉身形質に及ぼす影響



第28図 播種様式が茎数に及ぼす影響

注) 1998年データ。垂直線は標準誤差を示す。

播種様式が分けつおよび葉身形質に及ぼす影響については第29表および第28図に示した。点播区は散播区に比較して分けつ速度が小さく，最高分けつ数も少なかったものの，有効茎歩合が高かったために穂数には差が認められなかった。このように，分けつ数は点播区で少なかったが，最高分けつ期の比葉面積（SLA）および葉重比（LWR）は点播区で高く，葉面積指数（LAI）に播種様式間差は生じなかった。

(3) 播種様式が乾物重，窒素含有率および窒素吸収量に及ぼす影響

播種様式が乾物生産および窒素吸収に及ぼす影響については，点播区における地上部乾物重および個体群成長速度（CGR）は最高分けつ期まで散播区に比較して低かったが，有効茎のほぼ確定した幼穂分化期以降では播種様式による差は認められなくなった。また，成熟期の地上部乾物重には播種様式による差はなかったが，穂揃い期から成熟期にかけて登熟期間中の乾物増加量は点播区で大きかった。

播種様式と窒素吸収との関係についてみると，点播区の地上部窒素吸収量は分けつ期には散播区に比較して小さかったが，最高分けつ期にはその差が認められなくなり，幼穂分化期では逆に点播区で大きくなった。地上部窒素含有率は分けつ期には差が認

第30表 播種様式が乾物生産に及ぼす影響

年次	播種様式	地上部乾物重 (g/m ²)					CGR (g/m ² /日)			△W (g/m ²)
		I	II	III	IV	V	I-II	II-III	III-IV	
1996	散播	55.7	192	470	1054	1591	15.1	23.2	21.7	536
	点播	52.1	179	441	1072	1673	14.1	21.9	23.4	601
1997	散播	41.8	195	407	1055	1536	10.9	15.1	24.0	481
	点播	33.4	174	378	1041	1582	10.0	14.6	24.5	541
1998	散播	38.4	249	505	1137	1582	15.0	18.3	23.4	445
	点播	32.8	241	474	1104	1635	14.9	16.6	23.3	531
1999	散播	29.5	186	386	902	1356	11.2	14.3	18.4	454
	点播	17.6	144	374	954	1407	9.0	16.5	20.7	454
2000	散播	42.4	243	428	1000	1549	14.3	15.5	20.4	549
	点播	25.1	206	421	965	1529	12.9	17.9	19.5	564
平均値	散播	41.6	213	439	1030	1523	13.3	17.3	21.6	493
	点播	32.2	189	418	1027	1565	12.2	17.5	22.3	538
	有意差	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	*

注) CGR: 個体群成長速度. △W: 登熟期間の地上部乾物重増加量. I~Vはそれぞれ分けつ期, 最高分けつ期, 幼穂分化期, 穂揃い期および成熟期を示す(第31表も同じ)。

第31表 播種様式および苗立ち密度が窒素吸収様式に及ぼす影響

年次	播種様式	地上部窒素含有率 (%)					窒素吸収量 (g/m ²)				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1996	散播	3.90	2.50	1.53	1.25	0.92	2.2	4.8	7.2	13.1	14.7
	点播	3.85	3.07	1.75	1.16	0.93	2.0	5.5	7.7	12.5	15.5
1997	散播	3.79	1.84	1.37	1.03	0.84	1.6	3.6	5.6	10.9	12.9
	点播	3.86	2.08	1.52	1.08	0.85	1.3	3.6	5.7	11.2	13.4
1998	散播	3.92	2.00	1.44	1.16	0.89	1.5	5.0	7.2	13.1	14.1
	点播	3.77	2.34	1.57	1.24	0.93	1.2	5.7	7.4	13.7	15.3
1999	散播	3.87	2.55	1.46	1.22	0.94	1.1	4.8	5.7	11.0	12.7
	点播	3.79	3.49	1.90	1.39	0.98	0.7	5.0	7.1	13.3	13.8
2000	散播	3.86	2.13	1.33	1.17	0.86	1.6	5.2	5.7	11.7	13.3
	点播	3.88	2.38	1.52	1.19	0.85	1.0	4.9	6.4	11.5	13.1
平均値	散播	3.87	2.21	1.42	1.17	0.89	1.6	4.7	6.2	12.0	13.5
	点播	3.83	2.67	1.65	1.21	0.91	1.2	4.9	6.9	12.4	14.2
	有意差	ns	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	ns

められなかったが, 最高分けつ期から穂揃い期までは点播区で高く推移した。

(4) 播種様式が穂揃い期の個葉の光合成速度に及ぼす影響

登熟期間の乾物生産との関連が強いと考えられる穂揃い期および成熟期のLAI, 穂揃い期の上位3葉の葉面積当たり窒素含有量および光合成速度を第32表に示した。穂揃い期におけるLAIの平均値は散播区

で5.6, 点播区では5.7と播種様式間差は小さかったが, 成熟期におけるLAIの平均値は散播区の2.6に対し, 点播区では2.9と有意に高かった。点播区では散播区に比較して上位葉の葉面積当たり窒素含有量が高く, 上位葉の光合成速度も高かった。また, 第29図に示したように穂揃い期の上位葉の葉面積当たり窒素含有量と光合成速度との間に強い正の相関関係($r = 0.952^{**}$)が認められた。

第 32 表 播種様式が登熟期の葉面積指数、穂揃い期の葉身窒素含有量および光合成速度に及ぼす影響

年次	播種様式	葉面積指数 (m ² /m ²)		葉身窒素含有量 (mg/cm ²)	光合成速度 (μmol/m ² /s)
		穂揃い期	成熟期		
1997	散播	5.5	2.4	2.39	14.0
	点播	5.3	2.6	2.46	15.1
1998	散播	6.3	2.5	2.51	14.4
	点播	6.0	2.8	2.67	15.7
1999	散播	5.5	2.5	2.75	18.3
	点播	6.3	3.1	2.86	18.7
2000	散播	5.0	2.9	2.54	15.6
	点播	5.3	3.1	2.64	17.1
平均値	散播	5.6	2.6	2.55	15.6
	点播	5.7	2.9	2.66	16.7
有意差		ns	*	*	**

注) 光合成速度、葉身窒素含有量ともに主程上位3葉の平均値。

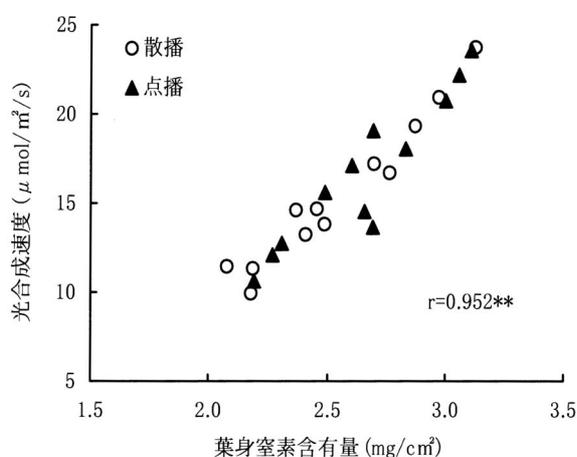
(5) 播種様式が収量および収量構成要素に及ぼす影響

両播種様式における収量および収量構成要素を第33表に示した。穂数および1穂粒数は、年次間差が大きかったものの播種様式間差は認められず、両形質の積である総粒数についても同様であった。登熟歩合にも有意な播種様式間差は認められなかったが、台風の影響により顕著な倒伏を生じた1999年以外の年次における点播区の登熟歩合は、散播区と同程度もしくは2～3%程度高まる傾向を示した。また、千粒重は年次間および播種様式間差ともに小さかった。このように、収量構成要素の播種様式間差は認められなかったため、精玄米重についても

第 33 表 播種様式が収量および収量構成要素に及ぼす影響

年次	播種様式	出穂期 (月・日)	稈長 (cm)	精玄米重 (g/m ²)	同左指数	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (粒)	総粒数 (×千/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米窒素 (%)	倒伏程度 (0-4)
1996	散播	9.03	79.8	660	(100)	474	67.4	32.0	89.3	23.1	1.27	0.70
	点播	9.03	85.1	686	104	471	68.5	32.2	92.1	23.1	1.30	0.00
1997	散播	8.29	78.5	540	(100)	343	81.5	27.9	86.8	22.3	1.27	0.80
	点播	8.29	83.6	551	102	358	77.1	27.6	89.1	22.4	1.30	0.00
1998	散播	8.26	81.4	634	(100)	395	78.6	31.0	89.1	22.9	1.30	1.17
	点播	8.26	82.9	631	100	407	77.0	31.3	88.8	22.7	1.32	0.00
1999	散播	8.30	82.9	521	(100)	395	72.0	28.4	77.2	23.8	1.49	2.67
	点播	8.30	90.8	518	99	405	73.8	29.9	75.3	23.1	1.50	2.07
2000	散播	8.31	78.9	574	(100)	411	71.7	29.5	84.5	23.1	1.30	0.50
	点播	8.31	80.8	566	99	381	74.0	28.2	87.2	23.0	1.32	0.00
平均値	散播	—	80.3	586	(100)	403	74.2	29.8	85.3	23.1	1.33	1.17
	点播	—	84.6	590	101	404	74.1	29.8	86.5	22.9	1.35	0.41
有意差			*	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	**

注) 精玄米重は粒厚 1.70 mm 以上、水分 15% 換算。玄米窒素% は乾物換算。登熟歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。



第 29 図 葉身窒素含有量と光合成速度との関係

注) 1997～2000年の穂揃い期における主程上位3葉の値。**: 1%水準で有意。

散播区と点播区の差を生じなかった。さらに、玄米窒素含有率についても播種様式間差が認められなかった。

3) 考察

本試験では、打込み点播機を用いた安定的な湛水直播栽培技術の確立のため、点播水稲の生育を散播水稲と比較して、これまで検討が不十分であった生育および収量性に関する諸特性について解析した。

(1) 播種様式が分げつおよび葉身形質に及ぼす影響
点播水稲の分げつ特性に関しては、散播や条播と比較して有効茎歩合の高いことが報告されている(世古ら1983, WOnら1996)。本試験においても点播水稲は分げつが少なく推移するために最高分げつ数

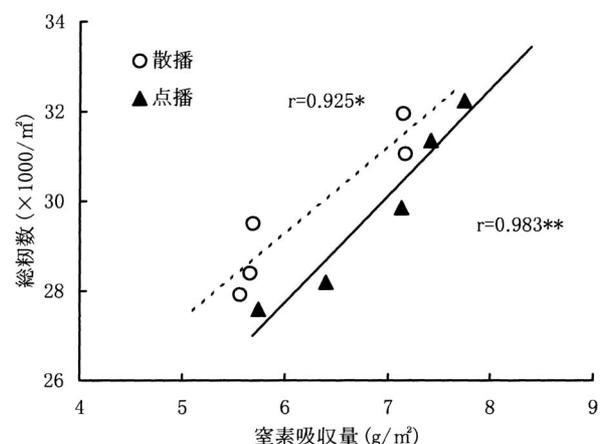
が少なかったが、既報と同様に有効茎歩合が高く、穂数は減少しなかった。このような分けつ時の播種様式間差は、散播水稲と点播水稲の群落構造の差に起因すると考えられる。すなわち、散播水稲では個体間の距離が大きいため、生育初期の個体間競争の影響が小さいのに対し、点播水稲は複数個体で株を形成するために、株内の個体間の距離が小さくなり、生育初期から個体間の競争を生じると推察される（石井ら1972、佐々木ら1999）。本試験において、分けつ時に散播水稲の株間および点播水稲の株内の群落最下部における光合成有効放射（PAR）を測定したところ、散播区および点播区における群落最下部のPARは直達光のそれぞれ80%および64%であった。このため、生育初期の点播水稲における株内の個体間競争は、散播水稲の個体間競争に比較して大きいことが示された。なお、本試験では散播区と点播区の播種深度を約10mmに設定して出芽深度の差が小さい条件で生育および収量を比較したが、播種深度が浅くなると分けつが旺盛になることが示されている（藤井・及川1987）。打込み点播機による点播栽培では、代かき水量や播種機の打込みディスク回転数を調節することにより播種深度を深くすることは比較的容易であるのに対し、散播栽培は自然落下による播種であるため播種深度が10mm以上に深くなること希であり、本試験の条件よりも播種深度が浅くなる可能性が高い。このため、実際の散播栽培では本試験の条件よりも播種深度が浅くなり、分けつ速度の増大による有効茎歩合の低下がさらに顕著になることが推察される。

点播水稲の最高分けつ期における茎数は散播水稲に比較して20%程度少なかったが、SLAおよびLWRが大きかったためにLAIには差を生じなかった。散播栽培では高密度条件による茎数の増加にともないLAI、SLAおよびLWRが増大することが示されている（江原ら1998）。本試験では同一密度条件で播種様式間差を比較したが、上記のように散播水稲の個体間競争よりも点播水稲の株内の個体間競争が大きいことにより、点播水稲にSLAおよびLWRの増大が生じたものと考えられる。

(2) 乾物生産および窒素吸収特性と収量性との関係

点播水稲における初期生育の抑制は相川・森脇(1986)が報告しているが、本試験においても点播水稲は最高分けつ期までの乾物増加が散播水稲に比較

して低かった。これは、点播水稲の初期分けつが少なく推移したためと考えられる。点播水稲ではこのように生育初期の乾物増加が小さいために最高分けつ期から穂揃い期における窒素含有率が高く推移し、最高分けつ数が減少しても有効茎歩合が高まったために穂数が減少しなかったと考えられる。また、幼穂分化期に乾物重の播種様式間差は認められなくなったが、点播区では窒素含有率が高く維持されたために幼穂分化期の窒素吸収量が增大したものと推察される。暖地水稲は旺盛な初期生育により生育中期の窒素吸収が低下し、籾数不足による減収を生じやすい（和田1980）ことから、窒素含有率が高く維持され、幼穂分化期の窒素吸収量が大きいことは暖地水稲における籾数確保に有効な特性の一つであると考えられる。しかし、本試験では幼穂分化期の窒素吸収量は点播水稲において増大したものの総籾数に差を生じなかった。そこで、両形質の関係を第30図でみると、幼穂分化期の窒素吸収量と総籾数の間には、高い正の相関（ $r=0.881^{**}$ ）が認められたが、播種様式による差が認められ、点播水稲は散播水稲と同等の窒素吸収量であっても、総籾数が相対的に少ないことが示された。小林・堀江（1994）は穎花分化始期の稲体の地上部窒素吸収量以外に、穂首分化期から穎花分化始期までの地上部窒素含有率の低下程度も総籾数の決定に関与し、この期間の窒素含有率の低下程度が大きいほど2次枝梗数が減少して分化穎花数が減少することを示している。本試験の最高分けつ期の調査時期および幼穂分化期の調査時期はそれぞれ出穂の約38日および24日前であるため、小林・堀



第30図 幼穂分化期窒素吸収量と総籾数との関係
注) *, **: 5および1%水準で有意。図中の破線は散播区、実線は点播区の回帰直線を示す。

江（1994）の報告における穂首分化期および穎花分化始期の調査時期とほぼ一致している。そこで、本試験における最高分けつ期から幼穂分化期までの地上部窒素含有率の変化を比較すると、5か年とも点播水稻の窒素含有率の低下程度が大きく、散播水稻では平均0.8%低下したのに対し、点播水稻は平均1.0%低下した。このことから、点播水稻では幼穂分化期の窒素吸収量が散播水稻に比較して増大したが、最高分けつ期と幼穂分化期間の窒素含有率の低下程度が大きかったために、総粒数に播種様式間差を生じなかったものと推察される。なお、本試験では緩効性肥料を主体とした肥料を基肥に施用した。基肥の種類と直播水稻の生育との関係については、本報告において速効性肥料を基肥に施用して播種後落水管理を行うと土壤中のアンモニウム態窒素含有量が低下し、生育中期の窒素吸収量が低下することが明らかとなるとともに、速効性肥料の基肥施用により有効茎歩合の低下と総粒数の低下による減収を生じること（中鉢ら1991）が示されている。このため、速効性肥料を基肥に施用した場合には、初期分けつの旺盛な散播水稻における有効茎歩合の低下や窒素吸収量の低下により総粒数の低下が顕著になり、散播水稻における減収の可能性が高まると考えられる。

次に、登熟期間の乾物生産に関して検討した結果、穂揃い期における点播水稻のLAIは散播水稻と同等であったが成熟期のLAIは高かった。すなわち、点播水稻は登熟期間中の下位葉の枯死程度が小さく、LAIが高く維持されることが示された。また、点播水稻は、登熟期間の光合成量の約80%を占める上位3葉（北川ら1992）の面積当たり窒素含有量が高く、個葉の光合成速度が増大した。したがって、点播水稻ではこのような成熟期のLAIの低下程度が小さいことや上位葉の光合成が旺盛なこと等により登熟期間の乾物生産量が增大したと考えられる。さらに、散播水稻では登熟期間の倒伏程度が点播水稻に比較して大きかったため、倒伏による受光態勢の悪化も、乾物増加量に播種様式間差を生じた要因としてあげられる。点播水稻が他の播種様式に比較して高い収量を示した事例（世古ら1983、中村ら1986、尾形・松江1998b）では、これらの要因が関与したと推察される。本試験では精玄米重に播種様式間差を生じなかったが、点播水稻は高い登熟性を有することから、総粒数を増加させることによる増収が可能であると考えられる。

なお、食味品質と播種様式の関係については、尾形・松江（1998）の報告において食味に対する播種様式の影響が認められていないが、本試験においても玄米窒素含有率に播種様式間差は生じなかった。このため、点播水稻は穂揃い期までの地上部の窒素含有率が高く推移するものの、玄米窒素含有率は増加せず、食味の低下を生じないことが示された。

（3）まとめ

暖地における湛水直播栽培では旺盛な初期分けつによる初期生育の増大と、これにともなう窒素吸収の低下による粒数不足が懸念される。本試験において散播水稻と点播水稻の生育特性を比較した結果、点播水稻は株内の個体間競合の影響により分けつが少なく、初期生育が小さくなるとともに、幼穂分化期の窒素吸収量が大きくなることが明らかとなった。しかしながら、点播水稻における窒素吸収量の増大にともなう総粒数の増加は認められず、このことには最高分けつ期から幼穂分化期の窒素含有率の低下が強く関与したと推察された。このため、点播栽培では、緩効性窒素肥料の利用や追肥による施肥法の改善により最高分けつ期から幼穂分化期の窒素含有率の低下を抑制するとともに、幼穂分化期の窒素吸収量を増大させることにより総粒数が増加すると考えられる。また、点播水稻は登熟性に優れることから、総粒数の増加にともなう増収が可能であることが明らかとなった。さらに、点播水稻は耐倒伏性が高いため多収条件でも倒伏を生じにくく、安定生産が可能となる。本試験では苗立ち密度を1水準として散播水稻と点播水稻を比較したが、角田ら（1980）が指摘しているように散播栽培では極端な高密度や低密度条件による減収を生じやすいが、点播栽培では播種ムラを生じにくいと苗立ち密度の変動が小さいこと、本報告で明らかとなったように点播水稻は苗立ち密度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示すことなどから、点播栽培は苗立ち密度の変動に対する収量の安定性も高いことが示唆された。

2. 土中点播水稻の安定・多収のための施肥法の確立

前節において、点播水稻の生育特性を散播水稻と比較した結果、点播水稻は初期生育が小さく幼穂分化期の窒素吸収量が散播水稻に比較して増大したが、最高分けつ期から幼穂分化期の窒素含有率の低下が大きいために、窒素吸収量の増大にともなう総粒数

の増加を生じず、収量性の向上が認められなかった。また、点播水稻は登熟期間の乾物増加量が大きく、登熟性に優れることが示唆された。さらに、点播水稻は他の播種様式に比較して耐倒伏性が高い(世古ら1983, 下坪・富樫1996b, 尾形・松江1998b)ことから、点播栽培では総籾数の増加にともなう収量性の向上が可能であると推察され、総籾数増加のための窒素施肥法の検討が必要であると考えられた。

直播水稻の収量性の向上のためには、緩効性肥料の利用や後期重点施肥法が有効である(関ら1987, 中鉢ら1991, 高橋ら1991, 姫田1995, 西田ら2000)と考えられるが、これまでに点播水稻における施肥法の影響を乾物生産や窒素吸収の面から詳細に検討した事例は少ない。また、点播栽培における安定・多収のための施肥法の確立には、現在確立されている移植栽培における慣行施肥法との比較や、移植水稻との生育特性の比較が必要となる。

そこで、本試験では暖地における打込み点播栽培の施肥法の改善による安定・多収栽培の確立のために、施肥法が点播水稻の生育および収量に及ぼす影響を明らかにする試験を行った。

1) 材料と方法

(1) 栽培条件

Ⅲ-3節の栽培条件を参照。

(2) 施肥法

Ⅲ-3節の施肥法を参照。

(3) 生育・収量の調査方法

生育調査として、1区当たり10株(0.6m²)の茎数調査を行うとともに、1区当たり16株(0.96m²)の抜き取り調査を成熟期までに5回行った。抜き取り株の調査法、収量調査および窒素分析法はⅡ-1節に準じた。

2) 結果

(1) 各年次の気象概況、作況指数および出穂期

試験年次の気象条件は前節の第28表および結果の項に示したとおり、1998年および2000年は平年に近い気象条件であったが、1999年は登熟期の日射量が少なく、台風の影響も重なったために当該地域の作況指数の低下が顕著であった。出穂期は、点播区では8月31~9月2日であったのに対し、移植区の出穂期は点播区に比較して2~3日早かった(第37表)。また、両栽培法とも施肥法による出穂期の差は小さかった。

第34表 栽培法および施肥法が分けつおよび葉面積指数に及ぼす影響

年次	栽培法	施肥法	分けつ		穂数 (本/m ²)	有効茎 歩合 (%)	葉面積指数											
			速度 (本/m ² /日)	最高 分けつ数 (本/m ²)			I	II	III	IV								
1998	移植	標準	7.6	c	495	b	395	a	79.8	ab	0.34	ab	2.8	ab	5.1	a	6.3	a
		緩効	6.4	c	434	b	375	a	86.2	a	0.29	b	2.3	b	4.8	a	6.3	a
	点播	標準	14.1	a	568	a	367	a	64.6	b	0.46	a	3.0	a	4.8	a	5.8	a
		緩効	10.0	b	576	a	396	a	68.8	b	0.34	ab	2.5	ab	5.0	a	6.0	a
1999	移植	標準	4.1	c	399	b	368	a	92.3	a	0.21	ab	1.5	b	3.5	a	4.8	a
		緩効	3.0	d	358	c	320	b	89.5	a	0.17	b	1.1	c	2.9	b	4.1	a
	点播	標準	7.0	a	535	a	351	a	65.6	b	0.26	a	1.8	a	3.6	a	4.6	a
		緩効	5.9	b	505	a	352	a	69.7	b	0.20	b	1.5	b	3.3	a	4.7	a
2000	移植	標準	6.2	bc	560	a	372	b	66.3	b	0.31	a	2.0	b	3.8	ab	4.8	a
		緩効	5.7	c	546	a	422	a	77.4	a	0.32	a	1.4	c	3.3	b	5.0	a
	点播	標準	13.8	a	577	a	381	b	65.9	b	0.41	a	2.5	a	4.1	a	5.3	a
		緩効	10.2	ab	566	a	411	a	72.7	a	0.34	a	2.4	ab	3.7	ab	5.0	a
平均値	移植	標準	6.0	c	485	ab	378	a	79.5	ab	0.28	b	2.1	b	4.1	a	5.3	a
		緩効	5.1	c	446	b	372	a	84.4	a	0.26	b	1.6	c	3.7	b	5.1	a
	点播	標準	11.6	a	560	a	366	a	65.4	b	0.38	a	2.5	a	4.2	a	5.2	a
		緩効	8.7	b	549	a	386	a	70.4	b	0.29	b	2.1	b	4.0	ab	5.2	a

注) 平均値では3か年の数値をあわせて統計検定を行った。同一年次または平均値において同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す(以上、第35~37表も同じ)。分けつ速度は移植後20日および点播後30日の値。有効茎歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。I~IVはそれぞれ分けつ期、最高分けつ期、幼穂分化期および穂揃い期を示す(第35~36表も同じ)。

(2) 分けつおよび葉面積指数

栽培法および施肥法が分けつに及ぼす影響は第31図および第34表に示した。点播区は移植区に比較して初期分けつが旺盛で最高分けつ数が多くなるとともに、有効茎歩合が低下した。施肥法では、緩効区に比較して標準区の分けつ速度が大きく、最高分けつ数が増加するとともに有効茎歩合が低下する傾向を示した。この場合、施肥法による分けつ速度の差は特に点播区で大きかった。

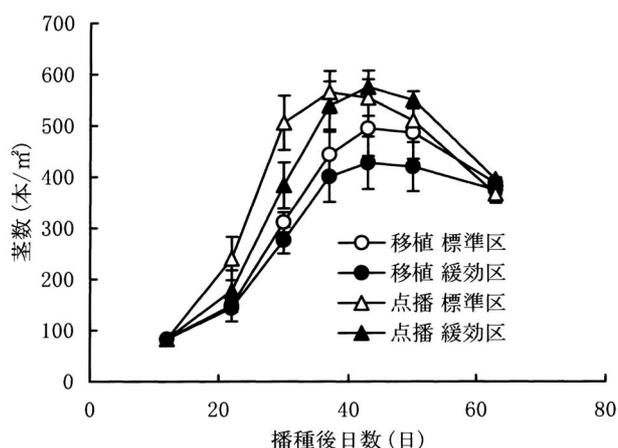
葉面積指数(LAI)に対する栽培法および施肥法の影響は、幼穂分化期まで認められ、点播の標準区のLAIが最も大きかった(第34表)。また、点播の緩効区は移植の標準区とほぼ同等の値を示し、移植の緩効区のLAIが最も低く推移した。

(3) 乾物生産および窒素吸収

最高分けつ期までの地上部乾物重は、点播の標準区で大きく、点播の緩効区と移植の標準区の値がほぼ同等で、移植の緩効区の地上部乾物重が小さかった(第35表)。また、幼穂分化期以降の処理間の有意差は認められなくなった。分けつ期から最高分けつ期の個体群成長速度(CGR)は、点播の標準区で最も高く、移植の緩効区で最も低かった。これに対し、

最高分けつ期以降は傾向が異なり、穂揃い期までは移植区のCGRが点播区に比較して高く、施肥の影響が小さくなった。登熟期間の乾物増加量は年次により傾向が異なったが、3か年の平均値では栽培法間差、施肥法間差ともに認められなかった。

窒素含有率については点播の標準区の最高分けつ期および幼穂分化期における含有率が最も低く、移



第31図 栽培法および施肥法が分けつの推移に及ぼす影響(1998年)

注) 垂直線は標準誤差を示す。横軸の播種後日数は点播区に対応し、移植区は点播区の播種後9日目に移植した。

第35表 栽培法および施肥法が乾物生産に及ぼす影響

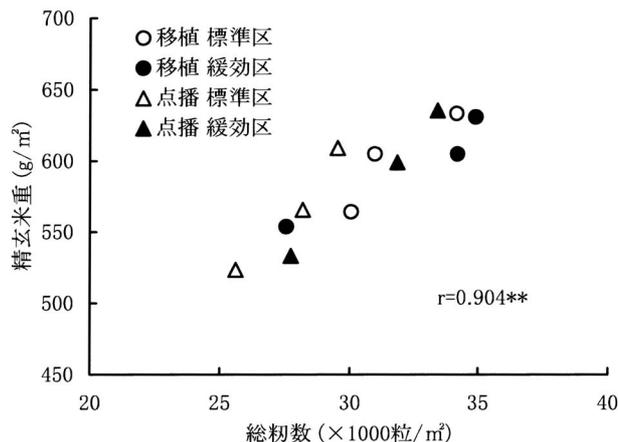
年次	栽培法	施肥法	地上部乾物重 (g/m ²)					CGR (g/m ² /日)			△W (g/m ²)
			I	II	III	IV	V	I-II	II-III	III-IV	
1998	移植	標準	24 b	221 a	548 a	1045 a	1552 b	14.0 a	25.2 a	24.9 a	507 b
		緩効	21 b	176 b	513 a	1045 a	1591 b	11.1 b	25.9 a	26.6 a	546 ab
	点播	標準	34 a	220 a	505 a	1058 a	1627 a	13.3 ab	21.9 b	24.0 a	569 a
		緩効	25 b	180 b	477 a	1023 a	1580 a	11.1 b	22.9 b	23.7 a	557 a
1999	移植	標準	13 ab	113 b	359 a	813 ab	1358 a	7.6 a	17.6 a	21.6 a	545 a
		緩効	11 b	73 d	296 b	730 b	1301 a	4.7 c	16.0 a	20.7 ab	571 a
	点播	標準	18 a	120 a	355 a	842 a	1279 a	7.9 a	16.8 a	18.0 b	437 b
		緩効	13 b	98 c	342 a	838 a	1270 a	6.6 b	17.4 a	18.4 b	433 b
2000	移植	標準	17 bc	168 b	387 a	950 ab	1507 a	10.8 b	18.3 a	22.5 a	557 a
		緩効	13 c	115 c	329 b	868 b	1482 a	7.2 c	17.9 a	21.6 a	614 a
	点播	標準	25 a	206 a	421 a	965 a	1529 a	12.9 a	17.9 a	19.5 a	564 a
		緩効	20 ab	187 ab	370 ab	938 ab	1540 a	11.9 b	15.3 a	20.3 a	602 a
平均値	移植	標準	18 bc	167 ab	431 a	936 a	1472 a	10.8 a	20.4 a	23.0 a	536 a
		緩効	15 c	121 b	380 a	881 a	1458 a	7.7 b	19.9 a	22.9 a	577 a
	点播	標準	26 a	182 a	427 a	955 a	1478 a	11.4 a	18.9 b	20.5 a	523 a
		緩効	19 b	155 ab	397 a	933 a	1463 a	9.8 ab	18.5 b	20.8 a	531 a

注) I~IVは第34表脚注参照。Vは成熟期(第36表も同じ)。CGR: 個体群成長速度。△Wは登熟期間の地上部乾物重増加量。

植の緩効区の含有率が高い傾向を示した(第36表)。また、施肥による窒素含有率の差は穂揃い期および成熟期には認められなかった。窒素吸収量は、点播の標準区では分けつ期の窒素吸収量が高かったものの幼穂分化期には窒素吸収量の低下が顕著となり、同じ点播でも緩効区の幼穂分化期の窒素吸収量は移植区との差を生じなかった。これに対し、移植の標準区は幼穂分化期の窒素吸収量に緩効区との差を生じなかった。

(4) 収量および収量構成要素

第37表に示したように、各年次の収量および収量構成要素の処理間差は、収量水準の低下が顕著であった1999年を含めた3か年も類似の傾向を示した。すなわち、点播の標準区では1穂粒数が減少し、他の処理区に比較して総粒数が顕著に低下した。また、同区では総粒数の低下にともない登熟歩合や千粒重が増大したものの、移植の標準区に比較して精玄米重が低下した。一方、点播の緩効区では総粒数、登熟歩合および千粒重に移植区との差は認められず、精玄米重も移植区と同等であった。これに対し、移植区では施肥法の差による収量差を生じなかった。精玄米重と収量構成要素との関係は第32図に示したように総粒数と精玄米重との相関が高かった ($r = 0.904^{**}$)。なお、点播の緩効区における玄米窒素含有率は移植および点播の標準区との差は認められなかった。



第32図 総粒数と精玄米重との関係

注) **:1%水準で有意。

3) 考察

本試験では登熟能力が高く、耐倒伏性にも優れる点播水稻の総粒数の増加による収量性向上のための施肥法を確立するために、緩効性肥料を用いた後期重点施肥が点播水稻の生育および収量に及ぼす影響について、移植水稻との比較により解析を行った。

(1) 分けつおよび葉面積指数への影響

栽培法と分けつとの関係については、直播水稻は主稈の低位節からも分けつが発生するために移植水稻に比較して分けつが旺盛となり、生育中期の過繁茂を助長することが報告されている(世古ら1983, 天野ら1989, DINGKUHNら1990)。本試験の標準区にお

第36表 栽培法および施肥法が窒素吸収に及ぼす影響

年次	栽培法	施肥法	地上部窒素含有率 (%)					窒素吸収量 (g/㎡)				
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
1998	移植	標準	3.43 a	2.68 a	1.59 ab	1.19 ab	0.89 b	0.8 ab	5.9 a	8.7 a	12.4 ab	13.8 a
		緩効	3.23 a	2.61 a	1.77 a	1.24 a	0.93 a	0.7 b	4.6 a	9.1 a	13.0 a	14.8 a
	点播	標準	3.31 a	2.20 a	1.37 b	1.06 b	0.87 b	1.1 a	4.8 a	6.9 b	11.3 b	14.1 a
		緩効	3.15 a	2.63 a	1.76 a	1.14 ab	0.88 c	0.8 b	4.7 a	8.4 ab	11.7 ab	14.0 a
1999	移植	標準	3.58 c	3.26 a	1.82 a	1.27 ab	1.06 a	0.5 b	3.7 a	6.5 a	10.2 a	14.3 a
		緩効	3.37 d	3.19 a	1.91 a	1.42 a	1.01 ab	0.4 b	2.3 c	5.7 b	10.4 a	13.1 ab
	点播	標準	4.13 a	2.86 b	1.42 c	1.22 b	0.92 b	0.7 a	3.4 a	5.1 b	10.3 a	11.8 b
		緩効	3.83 b	2.92 b	1.61 b	1.22 b	0.89 b	0.5 b	2.9 b	5.5 b	10.2 a	11.3 b
2000	移植	標準	3.81 a	2.79 a	1.78 c	1.29 a	0.94 a	0.7 ab	4.7 a	6.9 b	12.2 a	14.1 a
		緩効	4.04 a	2.82 a	2.33 a	1.33 a	0.96 a	0.5 b	3.2 b	7.7 a	11.5 a	14.2 a
	点播	標準	3.88 a	2.38 b	1.52 c	1.19 a	0.85 a	1.0 a	4.9 a	6.4 b	11.5 a	13.1 a
		緩効	3.94 a	2.61 ab	1.91 b	1.10 a	0.91 a	0.8 ab	4.9 a	7.1 ab	10.3 a	14.0 a
平均値	移植	標準	3.61 a	2.91 a	1.73 b	1.25 a	0.96 a	0.6 b	4.8 a	7.4 a	11.6 a	14.1 a
		緩効	3.55 a	2.87 ab	2.01 a	1.33 a	0.97 a	0.5 c	3.4 c	7.5 a	11.7 a	14.1 a
	点播	標準	3.77 a	2.48 c	1.44 c	1.16 b	0.88 b	0.9 a	4.4 ab	6.1 b	11.0 a	13.0 a
		緩効	3.64 a	2.72 b	1.76 b	1.15 b	0.89 b	0.7 b	4.2 b	7.0 ab	10.7 a	13.1 a

いても、点播水稲は移植水稲に比較して分けつが旺盛で最高分けつ期のLAIが高まり、過繁茂になったと考えられる。しかしながら、点播の緩効区では標準区に比較して分けつ速度が小さく、最高分けつ期のLAIは移植の標準区と同程度であった。このことから、本試験の緩効区のように初期の肥効を小さくすることにより直播水稲の分けつ速度が小さくなり、最高分けつ期の過繁茂が回避されることが示された。

(2) 乾物生産および窒素吸収への影響

栽培法と乾物生産に関してDINGKUNHら(1990)は、直播水稲は移植水稲に比較して栄養生長期前半のCGRが高まることを示している。本試験の点播の標準区においても分けつ期と最高分けつ期における乾物重およびこの期間のCGRが移植の両施肥区に比較して増大した。これは、点播の標準区において初期分けつやLAIの増加が旺盛であったためと考えられ、初期分けつやLAI増加が標準区に比較して低かった点播の緩効区では最高分けつ期までの乾物重およびCGRが標準区に比較して低く、移植の標準区と同等の値を示した。

窒素吸収については、点播の標準区は初期分けつが旺盛で有効茎歩合の低下程度が大きかったために、最高分けつ期から穂揃い期において窒素含有率の低下が顕著となり、乾物重の栽培法間差が認められなくなった幼穂分化期の窒素吸収量の減少を生じたも

のと考えられる。直播水稲は移植水稲に比較して最高分けつ期から幼穂分化期の栄養生長停滞期(ラグ期)が長くなるとともに、この期間の窒素吸収が低下する(吉永ら1995)ことが示されている。本試験において点播の標準区は初期分けつが旺盛であるため最高分けつ期が早まり、ラグ期が長くなったと考えられるが、この区におけるラグ期間中の窒素吸収量は 1.7gm^{-2} となり、移植の標準区に比較して約 1gm^{-2} 少なかった。同じ点播でも緩効区ではラグ期間中の窒素吸収量は 2.9gm^{-2} で、移植の標準区とほぼ同等であり、幼穂分化期の窒素吸収量も移植区と差を生じなかった。このことから、移植水稲に比較して初期分けつが旺盛となる点播水稲では緩効区のように生育初期の肥効を抑制し、ラグ期の窒素吸収量の低下を回避することにより幼穂分化期の窒素吸収量が増大することが示唆された。

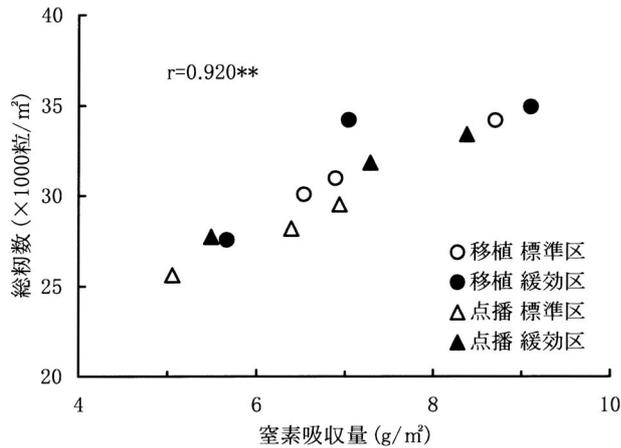
(3) 総粒数の決定要因および収量との関係

本試験では、精玄米重と総粒数との相関が高く、総粒数が収量の制限要因であることが示唆された。総粒数は幼穂分化期の窒素吸収量との相関が強いことが報告されている(和田1980, 小林・堀江1994)が、本試験においても幼穂分化期の窒素吸収量と総粒数の間には、高い正の相関($r=0.920^{**}$)が認められた(第33図)。このため、点播の標準区では幼穂分化期までの窒素吸収量が低下したために総粒数の減少に

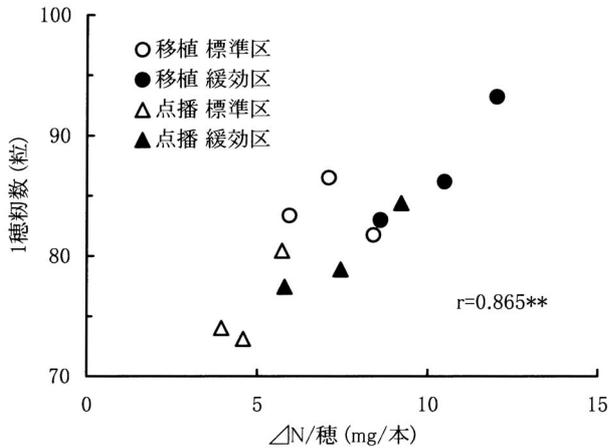
第37表 栽培法および施肥法が収量および収量構成要素に及ぼす影響

年次	栽培法	施肥法	出穂期 (月・日)	稈長 (cm)	精 玄米重 (g/m ²)	同左 指数	穂数 (本/m ²)	1穂 初数	総 粒数 (×千/m ²)	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米 窒素 (%)	倒伏 程度 (0-4)
1998	移植	標準	8.30	86.5 a	633 a	(100)	395 a	86.5 b	34.2 a	85.0 ab	21.8 b	1.33 a	0.00 a
		緩効	8.30	85.4 a	631 a	100	375 a	93.2 a	34.9 a	82.4 b	21.9 b	1.36 a	0.00 a
	点播	標準	9.01	85.8 a	609 a	96	367 a	80.4 c	29.5 b	90.1 a	22.9 a	1.34 a	0.00 a
		緩効	9.01	85.4 a	635 a	100	396 a	84.4 b	33.4 a	87.1 a	21.8 b	1.35 a	0.00 a
1999	移植	標準	8.29	84.5 ab	564 a	(100)	368 a	81.8 b	30.1 a	81.3 b	23.1 a	1.52 a	1.37 a
		緩効	8.30	82.1 b	554 ab	98	320 b	86.2 a	27.6 bc	87.2 a	23.1 a	1.55 a	0.93 a
	点播	標準	9.01	87.4 a	524 c	93	351 a	73.1 c	25.6 c	88.4 a	23.1 a	1.45 b	0.77 a
		緩効	9.02	85.2 ab	533 bc	95	352 a	78.9 b	27.7 b	86.0 a	22.4 a	1.44 b	0.83 a
2000	移植	標準	8.29	77.2 b	605 a	(100)	372 b	83.4 a	31.0 b	85.9 a	22.7 a	1.31 ab	0.00 a
		緩効	8.29	78.5 b	605 a	100	412 a	83.0 a	34.2 a	82.0 b	21.6 b	1.30 ab	0.00 a
	点播	標準	8.31	80.8 ab	566 a	94	381 b	74.0 b	28.2 c	87.2 a	23.0 a	1.32 a	0.00 a
		緩効	8.31	84.2 a	599 a	99	411 a	77.4 b	31.8 b	86.7 a	21.7 b	1.25 b	0.00 a
平均値	移植	標準		82.7 b	601 a	(100)	378 a	83.9 b	31.7 a	84.1 ab	22.5 ab	1.38 a	0.46 a
		緩効		82.0 b	596 a	99	369 a	87.4 a	32.2 a	83.9 b	22.2 b	1.40 a	0.31 a
	点播	標準		84.7 a	566 b	94	366 a	75.9 d	27.8 b	88.6 a	23.0 a	1.37 ab	0.26 a
		緩効		84.9 a	589 a	98	386 a	80.2 c	31.0 a	86.6 ab	22.0 b	1.35 b	0.28 a

注) 精玄米重は粒厚1.70mm以上、水分15%換算。玄米窒素%は乾物換算。登熟歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。



第33図 幼穂分化期の窒素吸収量と総粒数との関係
注) **: 1%水準で有意。



第34図 最高分げつ期から幼穂分化期の1穂当たり窒素吸収量と1穂粒数との関係
注) **: 1%水準で有意。

による減収を生じたのに対し、点播の緩効区では幼穂分化期までの窒素吸収量が標準区に比較して増大したため、総粒数の増加にともない、移植水稻と同等の収量性を示したものと推察される。

なお、前節において、点播水稻では散播水稻に比較して幼穂分化期の窒素吸収量が増大したにもかかわらず総粒数の増加を生じなかったのは、最高分げつ期から幼穂分化期にかけての窒素含有率の低下程度が大きくなったため(小林・堀江1994)であると考察した。本試験においては、点播栽培で後期重点型の緩効性窒素施肥を行うことにより幼穂分化期の窒素吸収量が増大したが、最高分げつ期から幼穂分化期にかけての窒素含有率低下の平均値は標準区とほぼ同等であった。このため、点播の標準区では幼穂分化期までの窒素吸収量が低下したために総粒数の減少

による減収を生じたのに対し、点播の緩効区では幼穂分化期までの窒素吸収量が標準区に比較して増大したため、総粒数の増加にともない、移植水稻と同等の収量性を示したものと考えられる。

次に、総粒数に上記のような差を生じた要因は、点播の標準区で1穂粒数の低下が顕著であったことが考えられるため、1穂粒数の低下要因について考察を行う。和田(1980)は、最高分げつ期から幼穂分化期にかけてのラグ期の1穂当たり窒素吸収量が、1穂粒数と高い正の相関を示すことを報告している。本試験においても両形質の間には高い正の相関が認められた(第34図)。このため、点播水稻では、緩効性肥料の後期重点施肥によりラグ期の窒素吸収の低下が軽減されたために、1穂粒数の増加にともなう総粒数の増加を生じたと判断された。

なお、速効性肥料を基肥に施用すると播種後の落水管理による幼穂分化期の窒素吸収量の低下が顕著になることが明らかとなっているため、本試験では両施肥区とも基肥は緩効性肥料を主体とした肥料を使用した。基肥に速効性肥料を用いた楠田ら(1998)による試験結果では、移植水稻と比較した点播水稻の慣行施肥法による粒数の減少程度は本報告の結果よりも顕著であり、速効性肥料を用いる場合には点播水稻の生育および収量の施肥法間差がさらに拡大すると推察される。また、緩効性肥料の窒素の溶出は水温に依存するため気象条件の変動にともない窒素成分の溶出時期が変動するが、本試験の1999年の7~8月は、他の年度に比較して低温、寡照となったため、窒素成分の溶出時期が遅延したと考えられる。このときの水稻の生育については点播の緩効区では最高分げつ数や穂数への影響は小さかったのに対し、移植の緩効区では分げつ速度や最高分げつ数が低下し、穂数の減少にともなう総粒数の減少が認められた。このため、気象条件の変動にともなう後期重点型の緩効性肥料の窒素成分溶出時期の遅延の影響は、移植水稻に比較して点播水稻で小さいものと推察される。さらに、点播水稻は移植水稻に比較して施肥法による生育および収量差が大きいため、直播水稻における収量の安定化や多収化のためには施肥による生育制御が重要になることが明らかとなった。

(4) 食味品質および耐倒伏性

収量と同様に重要な形質である食味品質については、点播の緩効区では総粒数の増加にともなう玄米

窒素含有率の増加は認められず、食味品質の低下をともなわずに増収が図られるものと推察された。また、収量や品質の安定化のために重要な特性である耐倒伏性については、本報告において点播水稲は苗立ち密度や播種深度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示すことや本試験の緩効区における後期重点施肥による耐倒伏性の低下を生じないことが示されている。

(5) まとめ

以上のように、生育前半の肥効が高く、移植水稲に対して適合性の高い施肥条件では、点播水稲は移植水稲に比較して分げつが旺盛となり、最高分げつ期のLAIや乾物重が大きくなった。このために、点播水稲はラグ期の窒素吸収量の低下にともなう幼穂分化期の窒素吸収量の低下を生じ、総粒数の減少にともない収量が低下した。暖地水稲は旺盛な初期生育により過繁茂を生じ、生育中期の窒素吸収の低下にともない粒数不足による減収を生じやすい（鈴木1979, 和田1980）ことから、直播栽培はこのような生育特性を助長し、減収を生じる可能性が高まるということが明らかとなった。一方、後期重点型の緩効性窒素施肥を行った場合には標準施肥に比較して分げつ速度が小さくなり、移植水稲に類似した生育特性や窒素吸収様式を示し、ラグ期の窒素吸収量の増大により幼穂分化期の窒素吸収量が增大するために総粒数が増加し、移植水稲と同等の収量性を示した。このような結果は、直播栽培における施肥法の改善による増収の可能性を示唆するものであるが、点播水稲に比較して耐倒伏性が劣る散播や条播水稲への適用については別途検討する必要がある。また、前節で明らかとなったように点播水稲は散播水稲に比較して登熟能力が高いことから、総粒数の増加に対する収量性の向上の余地が大きいことが考えられる。さらに、点播水稲は施肥法を変化させても移植水稲と同等の安定した耐倒伏性を示すとともに、総粒数の増加にともなう玄米窒素含有率の増加も生じなかったことから、点播栽培は施肥法の改善により移植栽培同等の安定的な良質・多収生産が可能になると推察される。

3. 点播栽培における播種条件が生育・収量に及ぼす影響

前節までに、打込み点播機により播種を行った点播水稲の生育特性を散播水稲や移植水稲と比較するとともに、安定・多収のための施肥条件についての検

討を行った。このときの播種条件は条間および株間を一定とし、1株苗本数を5本とした一定の播種条件での解析結果である。しかしながら、打込み点播機を利用した点播栽培は、散播栽培や条播栽培に比較して多様な播種条件の設定が可能で、1株苗数（播種量）、株密度（株間）を簡易に変えることができるとともに、播種条件にともない点播形状が変化するという特徴を有する。本報告において播種条件と耐倒伏性との関係についての検討を行ったが、耐倒伏性のみならず生育・収量との関係を明らかにしたうえで、播種条件の設定を行う必要がある。

そこで、打込み点播機を用いた湛水直播栽培の安定・多収化のための播種条件を解明する試験を行った。

1) 材料と方法

(1) 栽培条件

試験は1997～1999年に、九州農業試験場内の細粒灰色低地土水田において行った。供試品種、種子予措および被覆法はⅡ-1節に準じた。播種は3か年とも6月16日に、打込み点播機を用いて目標播種深度を10mmとして播種を行った。播種条件の処理として、播種量、株間および点播形状を各2水準設定した。播種後の水管理については出芽揃い期までの約7日間は落水状態とした。ただし、落水期間中に土面の亀裂が大きくなり入水後の漏水が危惧された場合には一時的に入水を行った。播種作業速度は全ての処理区で 0.5ms^{-1} とし、播種ロールの回転速度を変えることにより株間を調整した。また、以下のi)～iii)の播種条件における施肥法は前節の標準区に準じた。試験区配置は乱塊法、3反復とした。

(2) 播種条件

i) 苗立ち密度

10a当たりの播種量が3および2kgである場合を想定して、苗立ち後に1株苗数を調整し、苗立ち密度を約 80本m^{-2} および約 50本m^{-2} とした。なお、条間は30cm一定とし、株間は1997年は30cm (11.1株m^{-2})、1998および1999年は20cm (16.7株m^{-2})で試験を行った。

ii) 株間

株間の処理区は、条間を30cmと一定にした条件で、株間を20cm (16.7株m^{-2}) および30cm (11.1株m^{-2}) に設定した。このとき両株間とも、1997年は約 80本m^{-2} 、1998および1999年は約 60本m^{-2} になるように、

苗立ち後に1株苗数を間引いて調整した。

iii) 点播形状

点播形状の試験区は第20および21図に示した2種類の打込みディスクを用いて播種を行った。条間および株間は30 cm (11.1株m⁻²)とし、1997年は約80本m⁻²、1998および1999年は約60本m⁻²になるように、苗立ち後に1株苗数を間引いて調整した。

iv) 施肥法

以上の播種条件が生育・収量に及ぼす影響を施肥による影響と比較するために、前節の施肥法試験同様の栽培条件で標準区と緩効区の施肥を行った区のデータを比較した。

(3) 調査項目および調査法

生育調査として、株間20cm区では1区当たり10株(0.6m²)の茎数調査と1区当たり16株(0.96m²)の抜き取り調査、株間30cm区では1区当たり8株(0.72m²)の茎数調査と1区当たり12株(1.08m²)の抜き取り調査を行った。抜き取り株の調査法、収量調査および窒素分析法はII-1節に準じた。なお、収量および収量構成要素の調査は、株間20cm区では1区当たり50株(3.0m²)、株間30cm区では1区当たり36株(3.2m²)を成熟期に刈り取り、II-1節に準じて行った。

2) 結果

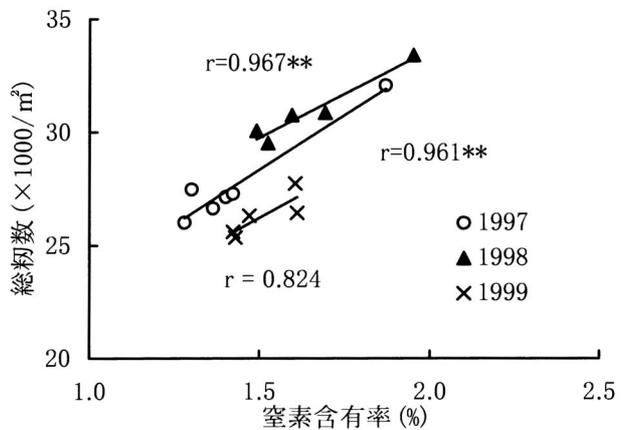
(1) 各年次の気象概況および出穂期

試験年次の気象条件は第28表および播種様式を比

較した試験における結果の項に示した。各試験における3か年の出穂期は9月1~2日で、苗立ち密度、株間等の処理による出穂期の差は認められなかった。

(2) 播種条件が生育特性に及ぼす影響

播種条件および施肥法と分けつ特性、個体群成長速度(CGR)および窒素含有率との関係を第38表に示した。分けつ速度は、苗立ち密度が低いと低下し、点播形状が大きくなると増大したが、株間の影響は小さかった。また、施肥法については標準区に比較して緩効区における分けつ速度が顕著に低下した。分けつ期から最高分けつ期におけるCGRは、分けつ速度の小さい処理区で低い傾向を示し、施肥法による有意差が認められた。播種条件については最高分け



第35図 幼穂分化期の地上部窒素含有率と総乾数との関係

注) **:1%水準で有意(第36図も同じ)。

第38表 点播水稻の播種条件および施肥法が生育に及ぼす影響

処理	最高分けつ数 (本/m ²)	分けつ速度 (本/m ² /日)	CGR (g/m ² /日)			窒素含有率 (%)				
			I-II	II-III	III-IV	I	II	III	IV	
苗立ち密度 (本/m ²)	80	573 a	9.6 a	13.1 a	15.4 a	22.8 a	3.82 a	2.41 b	1.42 b	1.12 a
	50	555 a	7.3 b	12.5 b	15.1 a	22.2 a	3.78 a	2.56 a	1.47 a	1.12 a
株間 (cm)	20	543 a	7.8 a	12.4 a	15.6 a	22.5 a	3.78 a	2.54 b	1.42 b	1.11 a
	30	535 a	6.9 a	12.6 a	15.4 a	22.0 a	3.75 a	2.80 a	1.54 a	1.16 a
形状	標準	535 b	6.9 b	12.6 a	15.4 a	22.0 a	3.75 a	2.80 a	1.54 a	1.16 a
	大	576 a	8.8 a	13.4 a	14.4 a	22.8 a	3.70 a	2.58 b	1.41 b	1.13 a
施肥	標準	573 a	9.6 a	13.1 a	15.4 b	22.8 a	3.82 a	2.41 b	1.42 b	1.12 b
	緩効	583 a	7.3 b	9.8 b	18.8 a	24.5 a	3.76 a	2.79 a	1.81 a	1.19 a
相関係数 (対乾数)	1997	0.87	-0.42	-0.89	0.90	0.97	0.90	0.85	0.97	0.32
	1998	-0.09	-0.75	-0.67	0.45	-0.08	-0.09	0.66	0.96	0.90
	1999	-0.46	-0.40	-0.89	0.70	-0.21	-0.91	-0.13	0.82	0.06

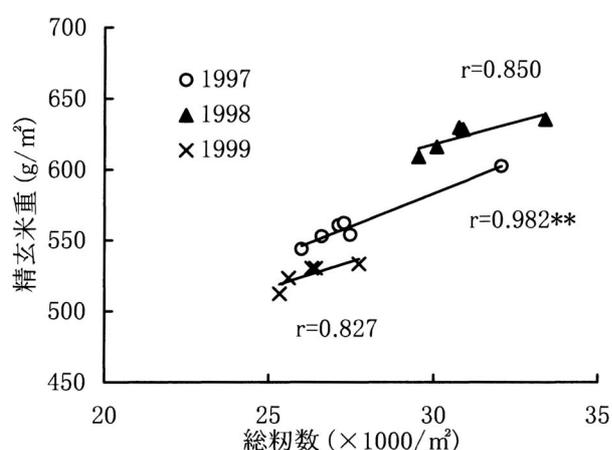
注) 各処理区における3カ年の平均値。同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す(以上、第39表も同じ)。分けつ速度は播種後30日間の値。CGR:個体群成長速度。I~IVはそれぞれ分けつ期、最高分けつ期、幼穂分化期および穂揃い期を示す。

つ期から幼穂分化期のCGRの差は小さくなったが、施肥法については緩効区におけるCGRが高くなった。

次に、地上部窒素含有率は分けつ期には処理間差は認められなかったが、最高分けつ期および幼穂分化期には全ての処理による有意差が認められ、苗立ち密度の低下や株間の拡大により含有率が高まり、点播形状の大型化により含有率が低下した。また、施肥法による窒素含有率の差は、他の処理に比較して顕著で、緩効区の窒素含有率が高かった。さらに、幼穂分化期の窒素含有率は総粒数との相関が高かった(第35図)。

(3) 播種条件が収量特性に及ぼす影響

播種条件および施肥法と収量および収量構成要素



第36図 総粒数と精玄米重との関係

との関係を第39表に示した。苗立ち密度、株間および点播形状ともに、総粒数、登熟歩合および千粒重への影響は小さく、これらの播種条件による精玄米重の差は認められなかった。これに対し、施肥による収量および収量構成要素への影響が顕著で、緩効区では千粒重が低下したものの、総粒数が顕著に増大し、精玄米重が平均で5%増加した。精玄米重と収量構成要素との関係をみると、第36図に示したように総粒数と精玄米重との相関が高かった。なお、玄米窒素含有率には有意差は認められなかった。

3) 考察

本試験の結果から、点播水稻の初期生育は苗立ち密度の増大や点播形状の大型化により増大する傾向を示し、株間の拡大により初期生育は抑制された。苗立ち密度については、生育初期には個体間の密度効果が小さいために苗立ち密度は高いほど面積当たりの分けつや乾物重の増加程度が大きくなると推察される。株間や点播形状の処理では苗立ち密度を同条件で比較しているため初期生育への影響については、本報告の播種様式と生育との関係において明らかになった点播水稻における株内の個体間競合が関与していると考えられる。すなわち、株間を広げると1株苗数が多くなり株内の競合が増大するために、個体間競合の増大により初期生育が抑制されるのに対し、点播形状が大型化すると個体間の距離が大きくなることから、競合は小さくなり、初期生育が増大すると

第39表 点播水稻の播種条件および施肥法が収量に及ぼす影響

処理	稈長 (cm)	精 玄米重 (g/㎡)	同左 指数	穂数 (本/㎡)	1穂 粒数 (粒)	総 粒数 (×千/㎡)	登熟 歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米 窒素 (%)	
苗立ち密度 (本/㎡)	80	84.8 a	562 a	100	368 a	74.8 a	27.5 a	88.9 a	23.0 a	1.35 a
	50	84.2 a	571 a	102	385 a	72.3 a	27.9 a	89.6 a	22.9 a	1.33 a
株間 (cm)	20	84.6 b	571 a	100	348 a	81.0 a	28.2 a	88.8 a	22.8 a	1.36 a
	30	86.2 a	571 a	100	353 a	78.6 b	27.8 a	89.7 a	22.8 a	1.35 a
形状	標準	86.2 a	571 a	100	353 a	78.6 a	27.8 a	89.7 a	22.8 a	1.35 a
	大	85.5 a	557 a	98	346 a	78.5 a	27.2 a	89.5 a	23.0 a	1.32 a
施肥	標準	84.8 a	562 b	100	368 a	74.8 b	27.5 b	88.9 a	23.0 a	1.35 a
	緩効	86.1 a	590 a	105	380 a	81.7 a	31.1 a	86.4 a	22.0 b	1.34 a
相関係数 (対収量)	1997	0.89	-	0.20	0.69	0.98	-0.83	-0.97	-0.69	
	1998	-0.50	-	0.48	0.95	0.85	-0.57	-0.78	0.59	
	1999	-0.37	-	0.09	0.74	0.83	-0.58	-0.54	0.37	

注) 精玄米重は粒厚 1.70 mm 以上、水分 15% 換算。玄米窒素% は乾物換算。登熟歩合は逆正弦変換した値を有意差検定。

考えられる。施肥法を変えた試験区では、緩効区における初期の肥効が標準区に比較して小さいために、初期生育が小さくなったと考えられる。

次に、最高分けつ期および幼穂分化期の窒素含有率の低下は、いずれの処理においても初期生育の大きかった処理区において認められた。暖地水稲は、その旺盛な初期生育により生育中期の窒素吸収が低下し、籾数不足による減収を生じやすい(鈴木1979, 和田1980)ため、初期生育を小さくするような播種条件や施肥法により生育中期の窒素含有率が高まったと考えられる。幼穂分化期の窒素吸収量は穎花の分化や退化に影響するため、総籾数との相関が強いことが報告されている(和田1980, 小林・堀江1994)。本試験において、幼穂分化期の窒素含有率は総籾数との相関が高いことおよび総籾数は精玄米重との相関が高いことが示されていることから、この時期の窒素含有率を高めることが点播栽培の安定・多収化のために重要であると考えられる。

以上のように、生育・収量に対する播種条件の影響は、苗立ち密度>点播形状>株間の順に大きく、分けつ速度および生育初期の乾物生産を抑制すると幼穂分化期の窒素含有率が高まることが明らかとなった。このことは、本報告における散播水稲と移植水稲との比較において示された結果と一致した。このため、暖地における点播栽培では初期生育を小さくする播種条件により総籾数の確保による収量の安定化が図られると考えられたが、施肥法の改善による増収効果に比較するとその効果は相対的に小さいものであった。

次に、本報告における播種条件と耐倒伏性との関係および本項の結果をもとに、点播栽培における安定・多収化のための播種条件について検討する。苗立ち密度を低くすることは、暖地水稲の生育相の改善に有効であった。点播水稲の耐倒伏性については、苗立ち密度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示すことが明らかになっているが、低密度条件により稈質の向上にともない耐倒伏性が向上する傾向を示すことが明らかとなっている。このため、欠株率の増大の危険性が小さい条件で苗立ち密度を低く設定することが望ましい。これまで、我が国の温暖地および暖地における湛水直播栽培では乾籾換算で $3\text{kg}10\text{a}^{-1}$ が標準的な播種量となっている。条間 30cm 、株間 20cm の条件で点播栽培を行うと1株播種量は約7~8粒と

なり、苗立ち率を70%と仮定すると、1株苗立ち数が5本程度(苗立ち密度約 80本m^{-2})となる。本試験の低密度条件は播種量が $2\text{kg}10\text{a}^{-1}$ の場合(苗立ち密度約 50本m^{-2})を想定して標準区との比較を行った。圃場の条件や適用品種により播種量は変える必要があるものの、本試験の低密度条件まで播種量を減らしても、欠株の少ない条件で安定栽培が可能と考える。株間については、これまで標準としている 20cm と作業速度の向上を前提とした 30cm の比較により、苗立ち密度を同条件として株間を広げた場合には幼穂分化期の窒素含有率は高まるものの、稈が長くなるために耐倒伏性の低下を生じた。このことから、耐倒伏性の高い点播栽培を行う場合であっても、倒伏が危惧されるような品種や圃場の条件である場合には、株間は 20cm とすることが適当と考えられる。次に、点播形状については、耐倒伏性への影響が小さいことが明らかになっているが、点播形状が大型化すると幼穂分化期の窒素含有率が低下することから、総籾数の確保のためには点播形状を長径 9cm 、短径 5cm 以下とするような播種条件を設定することが重要となると判断された。

V. 総合考察

近年、稲作の大規模化、低コスト化および省力化の要請が強まるとともに、直播栽培等による省力・低コスト化栽培技術の確立が求められている。2001年の湛水直播面積は $5,644\text{ha}$ であり、乾田直播と合わせても $10,190\text{ha}$ と水稲作付面積全体の約0.6%という低い水準にとどまっているが、最近5年間で湛水直播面積は約80%増加しており、直播栽培導入の気運が高まっている。このような状況において、我が国の水稲直播栽培の普及のためには、湛水直播栽培の問題点である出芽・苗立ち、耐倒伏性の安定化を図るとともに栽培管理法の改善により収量性の向上および安定化を達成する必要がある。

こうしたなかで、近年九州農業試験場(現九州沖縄農業研究センター)において開発された「打込み式代かき同時土中点播機」(下坪・富樫1996a)(以下、打込み点播機と略記)は、 $5\sim 20\text{mm}$ 程度の深さの土中播種が可能で、転び苗や浮苗の発生抑制および転び型倒伏の軽減が達成されるとともに、複数種子で株を形成させる点播状播種による耐倒伏性の向上を達成している。

本報告は、打込み点播栽培による湛水直播栽培の生産性向上および安定化を達成することを目的として、打込み点播栽培における①出芽・苗立ちの安定化、②耐倒伏性の向上要因の解明と安定化、③生育および収量特性の解明による安定・多収化について総合的に検討を行ったものである。

出芽・苗立ちの安定化は直播栽培の安定化のために最も重要な課題となっているが、近年、水稲の湛水土中直播栽培において出芽安定化のために播種後の落水管理が有効であることが示されている。そこで、落水管理の有効性を本栽培法において検証した結果、打込み点播栽培においても播種後落水を行うことによる出芽率の向上および初期生育の促進が確認された。本栽培法では土中播種による浮き苗や転び苗の発生抑制、土中播種による耐倒伏性の向上、鳥害回避が大きな特長であることから、落水管理による出芽・苗立ちの安定化は重要な要因と考えられる。また、出芽・苗立ちの安定化技術の確立を目的として、酸素発生剤を被覆した水稲種子の乾燥および貯蔵条件が土中出芽性に及ぼす影響について検討した結果、被覆直後の重量から2～5%の重量が減少する程度の陰干しを行った後に密封して20～25℃で3日間貯蔵することにより、土中出芽性が向上することが確認された。播種後の落水管理では入水時に除草剤を散布するため、出芽が遅延すると除草剤散布時期の遅れによる除草効果が低下し、雑草発生が問題となる。このため、上記のような出芽促進効果は、出芽の安定化のみならず落水期間の短縮にともなう雑草防除効果の向上にも寄与すると考えられる。また、上記の条件では品種や播種後の水管理条件が異なっても土中出芽性向上効果が認められ、貯蔵期間が長くなる場合でも低温貯蔵を組み合わせることにより出芽性の向上が達成されるため、実用的な技術として適用可能であると考えられる。さらに、打込み点播栽培では播種深度のばらつきによる出芽の不斉一化や播種条件により播種深度が深くなった場合の出芽率の低下が危惧される。これに対し、上記のような被覆種子の短期貯蔵を行うことにより出芽の斉一化が達成されることが示されるとともに、圃場試験においても出芽・苗立ちの安定化が実証された。

以上のことから、酸素発生剤被覆種子の乾燥程度を被覆直後の重量から2～5%の重量が減少する条件とし、20～25℃で3日間貯蔵した種子を打込み点播

機による土中播種を行い、播種後は落水管理を行うことにより、出芽速度の増大、苗立ち率の向上、雑草防除効果の向上等が図られることが明らかとなった。

次に、点播水稲の生育特性や耐倒伏性について散播および移植水稲との比較により考察する。暖地の普通期水稲作では生育期間の気温が高いために分けつ増加や葉面積展開速度が高くなり旺盛な初期生育を示すため、生育中期の窒素吸収の低下にともない籾数不足による減収を生じやすいことが示されている（鈴木1979, 和田1980）。特に湛水直播水稲は、主稈の低位節からも分けつが発生することから移植水稲に比較して初期分けつおよび初期生育が旺盛となり（世古ら1983, 天野ら1989, DINGKUHNら1990）、ラゲ期の窒素吸収の低下が顕著になる（吉永ら1995）。本試験において、点播水稲は移植水稲に比較すると初期生育は旺盛となるが、複数個体で株を形成するため株内の個体間競争を生育初期から生じ、散播水稲と比較すると初期分けつが少なく、最高分けつ期までの乾物増加量の低下を生じた。このような乾物重の低下により、点播水稲は生育中期の窒素含有率が高まり、穎花の分化や退化と関連の強い幼穂分化期の窒素吸収量が增大した。しかしながら、点播水稲はこのような幼穂分化期の窒素吸収量の増大にとまなう総籾数の増加を生じなかった。小林・堀江（1994）は最高分けつ期から幼穂分化期の窒素含有率の低下程度が総籾数に影響することを報告している。本試験における点播水稲は散播水稲に比較して最高分けつ期から幼穂分化期の窒素含有率の低下が大きかったため、幼穂分化期の窒素吸収量の増大にとまなう総籾数の増加を生じなかったものと考えられた。また、点播水稲は成熟期の葉面積指数が大きいこと、上位葉の面積当たり窒素含有量が高く、穂揃い期の個葉の光合成速度が高いこと等により登熟期間の乾物増加量が大きいことが明らかになった。さらに、点播水稲の耐倒伏性については散播水稲に比較して稈が長くなったものの有効茎歩合が高いために稈が太く、押し倒し抵抗値も顕著に高いことから耐倒伏性が向上した。このように、登熟性や耐倒伏性に優れる点播水稲は、窒素施肥法の改善による総籾数の増加にとまなう、収量性の向上が可能となることが示唆された。

湛水直播栽培における施肥法について、姫田（1995）は、暖地の普通期栽培では後期重点施肥によ

り初期生育を抑制して過繁茂を制御することが重要になることを文献解題において総括している。また、生育初期の肥効の制御が可能で、利用効率も高い緩効性の被覆尿素肥料の直播栽培への利用により、速効性肥料の分施肥区に比較して増収することが示されている(中鉢ら1991, 西田ら2000)。本報告において、落水管理にともなう施肥窒素の動態や水稻の窒素吸収の変化について検討した結果、基肥に速効性肥料を施用して播種後落水管理を行った場合には、初期生育の増大および土壤中アンモニウム態窒素含有量の低下を生じ、総粒数の減少による収量の低下が認められたのに対し、緩効性肥料を基肥に施用した場合には播種後の水管理による生育・収量の差は小さかった。乾田直播栽培では速効性肥料を基肥に施用した際に生じる脱窒・流亡による施肥窒素の利用率の低下(佐藤ら1993)が報告されているが、本報告において湛水直播栽培においても播種後の落水管理が施肥窒素の利用率を低下させることが示された。次に、このような落水管理による施肥効率の低下や直播栽培による過繁茂の助長といった問題点の改善を目的として、緩効性肥料を利用した後期重点施肥による打込み点播栽培の安定・多収化のための施肥法について検討を行った。その結果、点播水稻における後期重点施肥により、初期分けつ期の抑制により最高分けつ期の葉面積指数が低下し、過繁茂が軽減されることが明らかとなった。また、このような初期生育の抑制によりラグ期の窒素吸収が低下せず、幼穂分化期の窒素吸収量が増大するために総粒数が増加し、移植水稻同等の収量性を示した。さらに、点播水稻は上記のような施肥を行っても移植水稻と同等の安定した耐倒伏性を示すとともに、後期重点施肥による玄米窒素含有率の増大を生じないため、緩効性肥料を用いた後期重点施肥を行うことにより安定的な良質・多収生産が可能となると推察された。

このように、点播水稻の生育や耐倒伏性に関する特性、さらに安定・多収のための施肥法が明らかとなったが、点播水稻では散播や条播水稻と比較して多様な播種条件の設定が可能となる。これまでの播種条件は株間20 cm, 条間30 cm, 1株苗本数5本を目標として苗立ち密度約80本 m^{-2} , 播種深度の目標を10 mmとし、点播形状をできるだけ小さくするための播種機の改良を行ってきているが、播種条件が生育や耐倒伏性に及ぼす影響を明らかにして播種条件を

設定する必要がある。本試験において播種条件と生育との関係について検討した結果、苗立ち密度の増大、点播形状の大型化により点播水稻の初期生育が旺盛になり、最高分けつ期および幼穂分化期の窒素含有率が低下した。耐倒伏性については点播形状の影響は認められなかったが、苗立ち密度に関しては、点播水稻は苗立ち密度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示すことが散播水稻との比較により明らかとなった。また、散播水稻は苗立ち密度の変動にともない1株穂数が変動し、1株穂数が10本以下になると耐倒伏性の低下が顕著になることから、点播水稻の耐倒伏性向上要因として苗立ち密度が変動しても1株穂数が安定して多いことが関連していると考えられた。直播栽培では播種ムラや出芽率の変動による苗立ち密度の変動が不可避であることから、上記のような特性は直播栽培の安定化のために重要な特性となる。

苗立ち密度や点播形状の収量への影響は小さかったが、上記のように低密度条件および点播形状の小さい条件で総粒数との相関の高い幼穂分化期の窒素含有率が高かったことや、点播水稻においても高密度条件では耐倒伏性が低下する傾向を示すことなどを考慮すると、苗立ち密度の低下および点播形状の小型化が点播水稻の収量安定化に有効であると考えられた。具体的な苗立ち密度としては、これまで $3gm^{-1}$ が標準的な播種量とされているが、本試験で得られた結果や点播条件では播種ムラを生じにくいことなどを考慮すると、 $2\sim 2.5gm^{-1}$ 程度に播種量を減らすことが適当と考えられる。

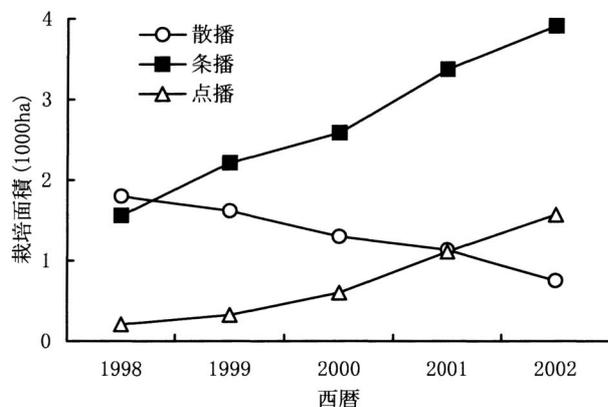
次に、播種作業の高速化に有効となる株間の拡大については、株間を広げると生育中期の窒素含有率は高まるが、稈の伸長にともなう耐倒伏性の低下を生じることから、株間は現行の標準条件である20 cm程度とすることが望ましいと推察される。以上のことから、播種条件としては苗立ち密度を低く、点播形状を小さくするとともに、株間を広げないことが点播栽培の安定多収化に有効となることが明らかとなった。また、このような播種条件が点播水稻の生育・収量に及ぼす影響は、施肥法による影響に比較して小さいこと、点播水稻は苗立ち密度や播種深度が変動しても安定して高い耐倒伏性を示すことが明らかとなった。

さらに、播種深度と耐倒伏性については、点播水稻

は播種深度が浅くなっても耐倒伏性の低下程度が散播水稲に比較して小さいことが明らかとなったが、播種深度が5mm以下となると耐倒伏性が低下する傾向を示すことや、播種後落水時の鳥害防止や浮苗・転び苗の発生抑制の観点から、平均播種深度は5mm以上とすることが適当と考える。播種深度は播種時の土壌条件により変動するとともに出芽・苗立ちの安定化とも関連するため、播種深度が浅くなっても耐倒伏性が安定して高いという点播水稲の特長は湛水直播栽培の安定化のために重要な形質であると考えられる。

以上のように、本報告における検討により、打込み点播栽培は湛水直播栽培の安定化のために有効となる多くの特長を有することが示された。また、本栽培の有する特長を生かすとともに、短所を改善して湛水直播栽培の生産性の向上および安定化を達成するための栽培管理法が明らかとなった。

本報告は「代かき同時土中点播栽培技術」の開発を進めるにあたり、播種機の開発および改良と並行して取り組んだものであるが、本機の販売が開始された1998年以降、点播栽培面積は、1999年332ha、2000年615ha、2001年1,109haと急増し、湛水直播栽培面積全体の8%、14%、20%を占めるに至っている（第37図）。2002年は約1,500haに増加し、今後さらに普及していくものと予想される。このような播種機の普及と、これにともなう栽培面積の増加には、全国各地で本機を用いた実証試験が精力的に行われたことや播種機の改良が進んだことが重要な役割を果たすとともに、本報告を含む研究成果が公表されたことも寄与していると考えられる。



第37図 近年の播種様式別栽培面積の推移(湛水直播)

なお、本報告では、北部九州の麦跡普通期作における水稲の湛水直播栽培を前提に、作期および品種を限定した条件で打込み点播栽培の生産性向上および安定化のための検討を行った試験結果を取りまとめている。ここで得られた知見の多くは、打込み点播機の利用の有無にかかわらず湛水直播栽培において普遍的に利用できるものと考えられる。しかしながら、寒冷地における直播栽培の収量不安定化の要因の一つは移植水稲に比較して生育が遅延することである。このため、直播栽培に適する生育特性としては、初期生育を促進して生育遅延を最小限にすることが重要となると考えられる。このような場合の播種条件や施肥法については別途検討が必要になるが、初期の肥効を重視した施肥法、苗立ち密度を高めること、点播形状を大きくすることなど、本報告において初期生育が旺盛であった条件を適用することが収量の安定化に有効であると推察される。

今後は、打込み点播栽培の安定生産技術の普遍化をさらに図るために多様な条件下における生産性向上および安定化のための研究をさらに行う必要があると考える。また、このような研究の進展にとともに湛水直播栽培の安定化が達成され、直播栽培面積が拡大していくことを期待したい。

VI. 摘要

近年、稲作の大規模化、低コスト化および省力化の要請が強まるとともに、直播栽培等による省力・低コスト化栽培技術の確立が求められている。こうしたなかで、近年九州農業試験場(現九州沖縄農業研究センター)において、稲-麦あるいは稲-飼料作の二毛作体系における作業競合の回避や、水稲の登熟期の台風の影響や良食味品種の作付け増加によって一層顕在化する倒伏問題への対応技術として、「代かき同時土中点播栽培技術」の開発が進められた。開発の柱として、「打込み式代かき同時土中点播機(以下、打込み点播機と略記)」と「打込み播種における出芽の安定化、土中点播栽培における耐倒伏性向上技術」を据えて、前者を先行させつつ同時並行的な取り組みを行った。本報告では打込み点播機を用いた直播栽培の生産性向上および安定化を達成し、安定的な湛水直播栽培の確立を行うことを目的として、打込み点播栽培における①出芽・苗立ちの安定化、②耐倒伏性の向上要因の解明と安定化、③生育および収量特

性の解明による安定・多収化について検討した。以下に、その成果の概要を述べる。

1. 近年、水稻の湛水土中直播栽培において出芽安定化のために播種後の落水管理が一般に行われている。打込み点播栽培において落水管理が水稻の生育・収量へ及ぼす影響を明らかにするための試験を行った結果、播種後落水を行うことによる出芽率の向上および初期生育の促進が確認された。このとき、水管理と基肥窒素肥料の種類との関係については、基肥に速効性肥料を施用し播種後落水管理を行った場合には、初期生育の増大および土壌中アンモニウム態窒素含有量の低下を生じ、総収量の減少による収量の低下が認められたことから、播種後落水管理を行う場合には初期の肥効を抑制するとともに、生育中期の窒素不足を回避するような施肥法を行うことが重要となることが明らかとなった。

2. 播種深度の確保にともなう出芽・苗立ちの不安定化が危惧される水稻の湛水土中直播栽培における出芽安定化技術の確立のために、酸素発生剤を被覆した水稻種子の乾燥および貯蔵条件が土中出芽性に及ぼす影響について検討した結果、被覆直後の重量から2~5%の重量が減少する程度の陰干しを行った後に密封して10~30℃の温度で3日間貯蔵すると、15~30℃では貯蔵後の出芽率の向上や平均出芽日数の短縮を生じ、特に20~25℃貯蔵において安定して土中出芽性が向上した。また、このような条件では品種や播種後の水管理条件が異なっても土中出芽性向上効果が認められた。さらに、25℃3日間貯蔵による土中出芽性向上効果は、その後の低温貯蔵により維持されることから、播種期間が長くなる大規模な直播栽培に適応した出芽安定化技術となると考えられた。

3. 上記で明らかとなった酸素発生剤被覆種子の出芽・苗立ち向上のための乾燥および貯蔵を行った種子を打込み点播栽培で用いた場合の有効性について検討した結果、土中出芽性向上のための被覆種子の短期貯蔵を行うことによりこれらの要因が改善されることが示された。また、圃場試験においてもその効果が実証された。さらに、被覆種子の乾燥程度を被覆直後の重量から2~5%の重量が減少する条件により、短期貯蔵処理の効果の増大および打込み播種にともなう酸素発生剤剥離の低減がられることが示唆された。

4. 点播水稻の耐倒伏性向上要因や倒伏に関わる生育特性を明らかにするため、異なる苗立ち密度(40, 80および160本 m^{-2})を設定し、散播水稻との比較により検討を行った結果、点播水稻は散播水稻に比較して、稈が長くなるために稈基部にかかる力が大きくなるが、有効茎歩合が高いために耐倒伏性に関連した稈の形質が優れること、押し倒し抵抗値が顕著に大きいことにより稲株の耐倒伏性が強化され、倒伏を生じにくいことが明らかとなった。また、散播水稻では苗立ち密度の変動により、1株穂数および耐倒伏性が変動し、1株穂数が10本以上の株は押し倒し抵抗が安定して高かったことから、点播水稻は1株穂数が安定して多いために耐倒伏性が安定して高いことが示唆された。

5. 打込み点播機の播種条件として、株間、点播形状および播種深度の変動が点播水稻の耐倒伏性に及ぼす影響について検討を行った結果、点播栽培において株間を広げると稈の伸長や稈当たりの押し倒し抵抗値の低下による耐倒伏性の低下が示唆された。また、点播形状の耐倒伏性に対する影響は小さかったため、極端に点播形状が大きくならなければ問題は生じないものと推察された。さらに、打込み点播を行った点播水稻は、散播水稻に比較して播種深度の浅い株を生じにくく、播種深度が浅い場合でも散播水稻と比較して、安定して高い耐倒伏性を示すことが明らかとなった。

6. 耐倒伏性が高い移植水稻の耐倒伏性に関する特性を点播水稻と比較するとともに、点播水稻の耐倒伏性に対する施肥の影響を明らかにする試験を行った結果、点播水稻は移植水稻と比較して稈長が増大し、稈も細くなるものの、押し倒し抵抗値が高いために移植水稻と同等の耐倒伏性を示すことが明らかとなった。また、点播水稻では、緩効性肥料を用いた後期重点施肥を行っても、稈の伸長やこれにともなう耐倒伏性の低下が認められないため、点播水稻は多収条件においても倒伏を生じる可能性が低く、多収を目指した栽培法を行うことが可能であると考えられた。

7. 打込み点播水稻の生育特性を散播水稻と比較し、生育と収量性との関連について検討を行った結果、複数個体で株を形成する点播水稻は株内の個体間競合を生育初期から生じるために、散播水稻に比較して初期生育が抑制され、幼穂分化期の窒素吸収

量が増大した。しかしながら、窒素含有率は最高分けつ期から幼穂分化期にかけて大きく低下し、窒素吸収量の増大にともなう総粒数の増加は認められなかった。また、点播水稲は成熟期のLAIが大きいこと、上位葉の面積当たり窒素含有量が高く、穂揃い期の個葉の光合成速度が高いこと等により登熟期間の乾物増加量が大きいことが明らかになった。このため、登熟性に優れる点播水稲は、窒素施肥法の改善による総粒数の増加にともない、収量性の向上が可能となることが示唆された。

8. 暖地の湛水直播栽培における打込み点播機による点播水稲の安定・多収化のための施肥法について検討を行った結果、生育前半の肥効が高く、移植水稲に対して適合性の高い施肥条件では、点播水稲は移植水稲に比較して初期生育が旺盛となり、ラグ期の窒素吸収の低下にともなう幼穂分化期の窒素吸収量の低下を生じ、同様の施肥を行った移植水稲に比較して総粒数が減少し、収量も低下した。一方、点播水稲に後期重点型の緩効性窒素施肥を行った場合には、分けつ速度が小さくなり、移植水稲に類似した生育特性を示すとともに幼穂分化期の窒素吸収量の増大により総粒数が増加し、移植水稲と同等の収量性を示した。このことから、耐倒伏性や登熟性に優れる点播栽培では、施肥法の改善により移植栽培同等の安定的な良質・多収生産が可能になると推察された。

9. 打込み点播機の播種条件と点播水稲の生育との関係を検討を行った結果、苗立ち密度の増大、点播形状の大型化により点播水稲の初期生育が旺盛になり、最高分けつ期および幼穂分化期の窒素含有率が低下した。これらの処理による収量差は小さかったが、苗立ち密度の低下および点播形状の小型化が点播水稲の収量安定化に有効であることが示唆された。また、株間の拡大により生育中期の窒素含有率は高まったが、稈の伸長や玄米窒素含有率の増大を生じた。以上のような播種条件が生育および収量に及ぼす影響は、施肥法による差に比較して小さいことから、施肥法の改善の重要性が示された。

乾物増加量が大きいことが明らかになった。このため、登熟性に優れる点播水稲は、窒素施肥法の改善による総粒数の増加にともない、収量性の向上が可能となることが示唆された。

引用文献

- 1) 相川宗厳・森脇良三郎 (1986) 水稲湛水直播栽培における播種様式が生育相と収量に及ぼす影響. 日育・日作北海道談話会報 26:19.
- 2) 天野久・松尾嘉重・甲谷潤 (1989) 湛水土壌中直播栽培に関する研究. 京都農研研報 14:15-26.
- 3) BREMNER, J. M. and SHAW, K. (1958) Denitrification on soil. II. Factors affecting denitrification. *J. Agr. Sci.* 51:40 - 51.
- 4) CHING, T. M., HEDTKE, S., BOULGER, M. C. and KRONSTAD, W. E. (1977) Correlation of field emergence rate and seed vigor criteria in barley cultivars. *Crop Sci.* 17:312 - 314.
- 5) 中鉢富夫・山家いずみ・武田良和・佐藤健司 (1991) 被覆尿素を用いた湛水土中直播栽培の省力施肥法. 東北農業研究 44:93 - 94.
- 6) DINGKUHN, M., SCHNIER, H. F., DE DATTA, S. K., WIJANGCO, E. and DORFFLING, K. (1990) Diurnal and developmental changes in canopy gas exchange in relation to growth in transplanted and direct-seeded flooded rice. *Aust. J. Plant Physiol.* 17:119 - 134.
- 7) 江原宏・森田脩・金子忠相・藤山堯然 (1998) 異なる苗立ち密度条件下における散播水稲個体の生育と収量の補償作用. 日作紀 67:11 - 19.
- 8) 藤井薫・及川俊昭 (1987) 水稲湛水直播における播種深度と分けつ. 東北農研 40:39 - 40.
- 9) 藤田究 (1994) 異なる1株植付本数および栽植密度におけるコシヒカリの生育特性 第2報 出葉・分けつの特徴および倒伏関連形質. 日作四支報 31:9 - 16.
- 10) 古畑昌巳・楠田宰・三原実 (1998) 湛水直播における播種後の落水が出芽、苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 67 (別1):256 - 257.
- 11) 花見厚・手代木昌宏 (1998) 水稲湛水直播栽培における酸素供給剤被覆種子の加温による出芽促進. 東北農業研究 51:69 - 70.
- 12) 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. p176-181, 194-197. 農林水産技術情報協会, 東京.
- 13) 石井龍一・角田公正・町田寛康 (1972) 水稲個体群中の個体の生長に及ぼす株内競争と株間競争の影響について. 日作紀 41 (別1):3 - 4.

- 14) 伊藤延久・坂井定義・岡村康博 (1976) 水稲湛水散播栽培の規模拡大に関する研究. 熊本農試研報 **6**:35 - 48.
- 15) 北川寿・下坪訓次・松村修・安庭誠 (1992) 水稲個体群条件下における葉位別光合成量割合の生育に伴う変化. 日作紀 **61** (別1):114 - 115.
- 16) 小林和広・堀江武 (1994) 水稲の穎花ならびに枝梗分化に及ぼす生殖生長期の体内窒素の影響. 日作紀 **63**:193 - 199.
- 17) 楠田幸・古畑昌巳・三原実 (1998) 点播水稲における稲体窒素含有率が籾生産と収量性に及ぼす影響. 日作紀 **67** (別2):72 - 73.
- 18) 松江勇次・水田一枝・古野久美・吉田智彦 (1991) 北部九州産米の食味に関する研究 第1報 移植時期, 倒伏の時期が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響. 日作紀 **60**:490 - 496.
- 19) 三石昭三・中村喜彰 (1977) 水稲の湛水土壤中直播栽培に関する研究 第1報 過酸化石灰の粉衣方法と粉衣量. 日作紀 **46** (別1):35 - 36.
- 20) 長坂克彦・鳥山和伸・佐々木良治 (1999) 水稲催芽種子の芽(鞘葉)切除が苗立ちに及ぼす影響. 北陸作物学会報 **34**:49 - 50.
- 21) 中村喜彰 (1976) 湛水直播用コーティング種子の基礎的研究. 農機誌 **38**:75 - 78.
- 22) 中村喜彰・村瀬治比古・渋谷栄・井の山悟 (1986) 水稲の湛水土壤中直播栽培の研究 - 播種密度と生育特性 -. 農機学会関西支報 **56**:8 - 9.
- 23) 西田瑞彦・土屋一成・田中福代・脇本賢三 (2000) 打込み式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.
- 24) 西山岩男 (1977) 稲の直播栽培における冷温障害とその生理 (1). 農及園 **52**:1353 - 1357.
- 25) 尾形武文・松江勇次 (1998a) 水稲湛水直播栽培における耐倒伏性検定のための熟期群別指標品種の選定. 日作紀 **67** (別1):258 - 259.
- 26) 尾形武文・松江勇次 (1998b) 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様式が水稲の生育, 収量および米の食味特性に及ぼす影響 -. 日作紀 **67**:485 - 491.
- 27) 大場茂明 (1997) 落水出芽法の由来. 農業技術 **52**:33 - 34.
- 28) 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及ぼす過酸化石灰粉衣処理の影響. 日作紀 **39**:535 - 536.
- 29) 坂井定義・伊藤延久 (1975) 水稲湛水散播栽培に関する研究 第1報 倒伏要因と栽培法について. 日作九支報 **42**:89 - 91.
- 30) 坂元政寛・梅木佳良・長浜勇・中村哲也・江藤博六 (1980) 暖地早期水稲湛水直播栽培に関する研究 第4報 過酸化石灰種子による湛水直播栽培. 九農研 **42**:24.
- 31) 三王裕見子・大川泰一郎・相沢奈美江・平沢正 (2000) 湛水直播栽培した水稲の倒伏程度と倒伏に関係する性質の品種間差 - 苗立ち密度に着目して -. 日作紀 **69** (別1):360 - 368.
- 32) SASAHARA, T., IKARASHI, H. and KAMBAYASHI, M. (1986) Genetic variations in embryo and endosperm weights, seedling growth parameters and alpha-amylase activity of the germinated grains in rice. *Japan. J. Breed.*, **36**:248 - 261.
- 33) 佐々木良治・山口弘道・松葉捷也 (1999) イネの最大分げつ力からみた散播直播水稲の限界苗立ち密度. 日作紀 **68**:10 - 15.
- 34) 佐藤徳雄・渋谷暁一・三枝正彦・阿部篤郎 (1993) 肥効調節型被覆尿素を用いた水稲の全量基肥不耕起直播栽培. 日作紀 **62**:408 - 413.
- 35) 佐藤徹・藤本寛・丸山幸夫 (1999) 湛水直播水稲の生育に及ぼす出芽苗立期の水管理の影響. 日作紀 **68** (別2):228 - 229.
- 36) 佐藤徹・丸山幸夫 (2000) 出芽苗立期の落水管理による湛水直播水稲の生長促進機構. 日作紀 **69** (別1):108 - 109.
- 37) 関稔・岩田久史・加藤裕司・加藤保・塩田悠賀里・長谷川徹 (1987) 水稲の湛水土壤中直播栽培における生育前期の施肥法. 愛知農総試研報 **19**:77 - 85.
- 38) 世古晴美・佐村薫・越生博次 (1983) 水稲湛水土壤中直播栽培の播種様式と生育収量. 近畿中国農研 **66**:9 - 12.
- 39) 世古晴美・佐村薫・越生博次 (1987) 水稲湛水土壤中直播栽培における播種様式と出芽・苗立ちの安定化. 近畿作育研究 **32**:17 - 19.
- 40) 瀬古秀生 (1962) 水稲の倒伏に関する研究. 九州農業試集報 **7**:419 - 499.

- 41) SETTER, T.L., LAURELES, E.V. and MARAZEDO, A.M. (1997) Lodging reduces yield of rice by self-shading and reductions in canopy photosynthesis. *Field Crops Research*. 49:95 - 106.
- 42) 下坪訓次・吉永悟志・富樫辰志 (1997) 過酸化石灰被覆水稲種子の貯蔵条件と土中出芽性. 日作紀 **66** (別1):16 - 17.
- 43) 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.
- 44) 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.
- 45) SUNG, F. J. M. and CHANG, Y. H. (1993) Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Sci. and Technol.* **21**:97 - 105.
- 46) 鈴木守 (1979) 暖地水稲の収量成立過程の物質生産の特徴に関する研究. 九州農試報 **20**:429 - 494.
- 47) 高橋久光・増岡彩子・太田保夫 (1998) 湛水土壌中直播栽培における落水処理が稲の初期生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 **67** (別1):252 - 253.
- 48) 高橋政夫・小野剛志・佐藤健 (1991) 寒冷地における水稲移植および湛水直播栽培の窒素吸収特性. 日作東北支報 **34**:89 - 90.
- 49) TANAKA, A. (1976) Comparison of rice growth in different climatic regions of Japan. In: *Climate and Rice*. IRRI, Manila. 429 - 448.
- 50) 田中英彦 (2000) 寒冷地における直播栽培技術の現状と展望 4. (1) 出芽・苗立ち安定化技術. 北農 **67**:132 - 134.
- 51) 谷口岳志・中邑光太郎・荻原均・寺島一男 (1998) 水稲湛水直播栽培における水管理条件が耐倒伏性と生育に及ぼす影響. 日作紀 **67** (別1):254 - 255.
- 52) 寺島一男・秋田重誠・酒井長雄 (1992) 直播水稲の耐倒伏性に関する生理生態的形質 第1報 押し倒し抵抗測定による耐ころび型倒伏性の品種間比較. 日作紀 **61**:380 - 387.
- 53) 寺島一男・荻原均・梅本貴之・亀川健一 (1997) 直播水稲の耐ころび型倒伏性に対する栽培条件の影響の定量的解析. 日作紀 **66** (別1):42 - 43.
- 54) 富樫辰志・吉永悟志・下坪訓次 (1997) 土中点播水稲の押倒し抵抗簡易測定法. 日作九支報 **63**:7 - 9.
- 55) 角田公正・刈屋国男・町田寛康 (1980) ばら播き条件下における小面積内の栽植のかたよりが水稲の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 **49**:276 - 280.
- 56) 上村幸正・松尾喜義・小松良行 (1985) 湛水直播水稲の耐倒伏性について. 日作四支紀 **22**:25 - 31.
- 57) 上地由朗・林茂一・堀江武 (1993) 水稲の下位節間長に及ぼす窒素と稈基部光環境の影響. 日作紀 **62**:164 - 171.
- 58) 和田学 (1980) 暖地水稲の Vegetative Lag Phase に関する作物学的研究 - 特に窒素吸収パターンとの関連 -. 九州農試報 **21**:113 - 250.
- 59) WADA, T., ICHINOSE, K. and HIGUCHI, H. (1999) Effect of drainage to direct-sown rice by the apple snail *Pomacea canaliculata*. *Appl. Entomol. Zool.* **34**:365 - 370.
- 60) WON, J., LEE, W., CHOI, C., KIM, C. and CHOI, B. (1996) Growth characteristics and yield of hill-seeded rice in direct seeding. *RDA. J. Agric. Sci.* **38**:49 - 55.
- 61) 渡部富男・和田潔志・小山豊・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・苗立ちの安定化. 千葉農試特報 **17**:3 - 21.
- 62) 渡辺利通 (1985) イネの倒伏抵抗性に関する育種学的研究 第1報 倒伏抵抗性関連形質による品種の群別. 農技研報 **D36**:147 - 196.
- 63) 山本良孝・渡辺徹・川口祐男・高橋渉 (1989) 水稲の分けつ発生と発育に関する研究 第4報 1株の植付本数と挫折重との関係. 日作紀 **58** (別2):17 - 18.
- 64) 山室成一 (1985) 強粘質半湿田と乾田化水田における施肥および土壌無機化窒素の有機化, 脱窒および水稲による吸収. 土肥誌 **56**:10 - 14.
- 65) 安原宏宣・神田正治・角治夫・伊藤淳次・山根忠昭・中島幸次・永瀬勝正・藤原健比古・出川正幸 (1992) 山陰地方における水稲湛水土壌中直播

- 栽培適用条件の解明. 島根農試研報 26:1 - 24.
- 66) 吉永悟志・長田健二・高梨純一(1995) ラグ期における水稻の移植・直播栽培の生育特性の差異 1. 窒素吸収と乾物生産特性. 日作紀 64 (別2):177 - 178.
- 67) 吉永悟志・長田健二・村上優浩・高梨純一(1997) 直播水稻の生育特性及びその品種間差異. 四国農試報 61:83 - 89.
- 68) 吉永悟志・富樫辰志・下坪訓次・脇本賢三(1998) 水稻の代かき同時土中点播栽培における播種後の水管理が生育・収量に及ぼす影響. 日作九支報 64:27 - 30.
- 69) 吉永悟志・富樫辰志・田坂幸平・脇本賢三・下坪訓次(1999a) 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究 7. 点播直播の窒素吸収及び乾物生産特性. 日作紀 68 (別2):230 - 231.
- 70) 吉永悟志・田坂幸平・脇本賢三・高畑康浩(1999b) 過酸化石灰被覆水稻種子の短期間貯蔵条件が土中出芽性に及ぼす影響. 2. 貯蔵温度が種子の生理活性に及ぼす影響. 日作紀 68(別1):230-231.
- 71) 吉永悟志・脇本賢三・富樫辰志・田坂幸平(2000a) 土中出芽性向上のための酸素供給剤被覆水稻種子の乾燥および貯蔵条件. 日作紀 69:146 - 152.
- 72) 吉永悟志・西田瑞彦・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次(2000b) 湛水直播栽培における播種後の落水管理が施肥窒素の動態および水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 69:481 - 486.
- 73) 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・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稻の耐倒伏性向上 - 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.
- 74) 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・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稻の耐倒伏性向上 - 耐倒伏性向上および安定化のための点播条件 -. 日作紀 70:194 - 201.
- 75) 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次(2001c) 暖地の湛水直播栽培における土中点播水稻の生育特性 - 散播水稻との生育特性の差異 -. 日作紀 70:541 - 547.
- 76) 吉永悟志・竹牟礼穰・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.

Study on Improving and Stabilizing Productivity in Submerged Direct-Seeding Rice Cultivation Using Newly Developed "Shooting Hill-Seeder"

Satoshi YOSHINAGA

Summary

Practical methods for stabilizing the direct-seeding cultivation of rice (*Oryza sativa* L.) have been desired in Japan because of their lower labor-intensiveness compared to mechanical transplanting cultivation. However, the yield of direct-seeded rice is frequently reduced by the fluctuation of seedling emergence, lower lodging resistance, and luxuriant growth. In recent years, a hill-seeding system using a "Shooting hill-seeder" has been developed to improve the productivity of direct-seeding rice cultivation. Therefore, we examined the emergence and establishment of seedlings, lodging resistance and growth-yield performance in hill-seeded rice cultivation using the newly developed hill-seeder in this study as the most important factors to promote use of this system in southern Japan.

1. The shooting hill-seeder can shoot seeds coated with an oxygen supplier 1 to 2cm into the puddling soil. Under this seeding condition, it is important to obtain a uniform emergence and a higher emergence rate in order to stabilize and to improve productivity in submerged direct-seeding cultivation. This report demonstrates that drainage after seeding, and using seeds stored at 20 to 25°C for three days after being coated with an oxygen supplier and proper desiccation were effective for achieving a uniform emergence and higher emergence rate in this hill-seeded rice cultivation.

2. Improvement of the lodging resistance in direct-seeded rice is important to stabilize the direct-seeding rice cultivation. The hill-seeded rice as well as the transplanted rice exhibited higher lodging resistance than that of the broadcast-seeded rice. This was because the number of panicles per hill was greater and relatively stable, even though the seedling density fluctuated as compared with the broadcast-seeded rice. Furthermore, this higher lodging resistance of the hill-seeded rice was apparent in different seedling densities, seeding depths, and types of fertilization.

3. Luxuriant growth may reduce yield through a deficiency of nitrogen uptake at the intermediate growth stage of rice in the southern part of Japan. For direct-seeded rice with a higher tillering rate, luxuriant growth is an especially significant factor in decreased yield. The hill-seeded rice could avoid this luxuriant growth through proper growth competition among individuals in each hill in the early growth stage. Increased nitrogen uptake at the panicle-initiation stage was also recognized as due to suppression of tillering, as compared with that of the broadcast-seeded rice. Furthermore, application of a release-controlled fertilizer, especially effective at the later growth stages, was effective in increasing the number of spikelets in the hill-seeded rice, due to higher nitrogen uptake at panicle-initiation stage compared to conventional fertilizer application. The

increase in number of spikelets of the hill-seeded rice resulted in an increase in the yield because the hill-seeded rice exhibited a higher ripening ability due to a higher photosynthetic rate as compared to broadcast-seeded rice.

4. In conclusion, hill-seeded rice cultivation using the shooting hill-seeder enabled us to improve and to stabilize the productivity of the submerged direct-seeded rice, through the higher lodging resistance and higher ripening ability, based on the stabilized seedling emergence, and the increase in the number of spikelets by the improved fertilizer application.

Keywords : Fertilizer application, Growth characteristics, Hill-seeding, Lodging resistance, Rice, Seedling emergence, Submerged direct seeding.