

氏名(本籍) 田代卓たしろ たかし

学位の種類 博士 (農学)

学位記番号 農博第 553 号

学位授与年月日 平成 10 年 3 月 25 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当

研究科専攻 東北大学大学院農学研究科農学専攻  
(博士課程)

学位論文題目 水稻の不耕起無覆土直播栽培に関する研究

論文審査委員 (主査) 教授 三枝正彦  
教授 西山岩男  
教授 山崎慎一

# 論文内容要旨

## 第I章 緒論

今日、日本の稲作は、ガット・ウルグアイラウンド農業合意による米のミニマムアクセスの受け入れ、新食料法の制定に伴う市場原理の導入、農家の高齢化と後継者不足、環境汚染の加速、等のため大きな変革が求められている。しかしながら、日本の稲作における労働生産性はアメリカやオーストラリアに比較して著しく低く、これに対して米生産費は高くなっている。さらに、環境保全の観点から化石エネルギーや資材多投の見直しが求められていることから、省力、低コストで環境負荷の少ない水稻栽培技術の開発が急務とされている。ところで近年、省力、低コストに加えて環境保全型農業の観点から、肥効調節型肥料を用いた水稻の不耕起乾田直播栽培が注目されている。水稻の不耕起乾田直播栽培においては移植栽培に比較して生産費は3割余り、労働時間は9割近くも削減されるといわれる。しかしながら、東北地方は気候条件が厳しいことに加えて湿田が多く分布しており、出芽、苗立ちの不安定性、覆土の困難さ、基肥の利用率の低さなど、多くの問題があり、未だ普及していない。本研究では、東北地方の主体を占める湿田における不耕起直播栽培を目的に、まず第1に、覆土を必要としないY字型播種溝の開発について検討した。第2に、Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における多日照を利用した湛水保温効果、硝酸を利用した苗立ち率の向上および肥効調節型肥料による施肥法について検討した。第3に、Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における水稻の生育パターンと不耕起水田土壌の特徴について検討した。第4に、早春播種による作業分散、作期の拡大を検討した。第5に、秋田県八郎潟において、Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培の実証試験を行った。

## 第II章 Y字型播種溝の開発

## 第1節 Y字型播種溝

東北地方の水田は湿田が半数以上を占め、従来の不耕起乾田直播栽培で行われてきた覆土は困難である。そこで、覆土の無い状態でも幼苗の定着が可能となるY字型播種溝を開発した。Y字型播種溝は不耕起状態の水田土壌表面に幅1cm、深さ1cmで、断面がV字型の溝を切った後、底に垂直の切り込みを3cmの深さまで入れた、断面がY字型の播種溝である(図1)。切り込みの役割は、種子根の土壌中への伸長と定着を容易にすることである。播種作業は機械で溝切り、播種、施肥が同時作業であることから、慣行移植栽培に伴う育苗、耕起、代かき、田植えといった作業を省略できるため、極めて省力、低コストな栽培法である(図2)。Y字型播種溝を用いた出芽試験における苗立ち率はV字型播種溝区を上回ったが、その効果は温度が高い程顕著であった(図3)。幼苗の生育では、Y字型播種溝区では本葉の抽出が早まり、幼根長、第一葉、第二葉伸長がV字型播種溝区を大きく上回った。これより、Y字型播種溝は幼苗の定着と苗立ち率の向上が顕著で、初期生育を促進させることが明らかとなった。

## 第三章 Y字型播種溝による不耕起無覆土直播栽培

### 第1節 多日照を利用する湛水保温効果

東北地方の春先は日照が多く、水田の湛水温は気温を約4℃も上回ることから、これを気候資源として利用する湛水栽培が有効となる。試験は乾田状態の水田に播種直後に入水する湛水田区と播種後乾田状態を保ち、4~5葉期に入水する乾田区で行った。播種後の温度環境は、湛水田区の地温が乾田区を終始上回った。乾田入水までの両区における地温の積算値は湛水田区が52℃高く(図4)、有効積算温度も湛水田が多かった。湛水田区における生育は、生育初期において苗立ち率、乾物重とも乾田区に劣るものの、中期、収穫期の乾物重は乾田区を上回った。その結果、収量は、乾田区の410 g/m<sup>2</sup>に対して湛水田区は458 g/m<sup>2</sup>と上回った。以上の結果から、東北地方の直播栽培においては、多日照を利用する湛水栽培により播種後の温度確保が可能となった。

### 第2節 硝酸肥料を利用する苗立ち率の向上

土壌還元が促進すると出芽、苗立ちが低下する。土壌酸化剤としての硝酸カリウムの施用が出芽、苗立ち率の向上に有効であるとされている。本試験では、肥効調節型肥料である被覆燐硝安カリを用いて、Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における出芽、苗立ち率の向上を検討した。1995年の被覆燐硝安カリ施用区における苗立ち率は被覆尿素施用区を11%上回った。また、低温年の1996年は苗立ち率が低かったものの、被覆燐硝安カリ施用区は被覆尿素施用区を2.5%、また、被覆燐硝安カリ40日型と被覆尿素時限式100日型の組み合わせ区は被覆尿素施用区を12.5%上回った(図5)。これにより、肥効調節型の硝酸入り肥料は苗立ち率を高める効果が明らかであるが、硝酸態窒素は脱窒しやすく、施肥効率が低いことから、中、後期の生育を確保するにはアンモニアや尿素を被覆した肥効調節型肥料を組み合わせることが必要である。

### 第3節 Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における施肥法

従来、直播栽培に用いられてきた速効性肥料は流亡、脱窒が多く基肥として利用した場合の利用率が低いという欠点があった。近年開発された肥効調節型肥料は肥料成分の溶出が地温に比例して緩やかに持続することと、濃度障害が出にくいので種籾との接触施肥が可能であることから、Y字型播種溝を用いた不耕起直播栽培において有効な肥料であると考えられる。1995年における重窒素トレーサー法による被覆尿素的施肥窒素利用率は58.3%であった。これに対して、速効性の硫安は26.7%であった。1996年における被覆尿素的施肥窒素利用率は48.6%であった。これに対して硫安は基肥、追肥それぞれ20.5%、42.6%となり、両年とも基肥窒素の利用率は被覆尿素が著しく高かった(図6)。以上のことから、肥効調節型肥料による全量基肥接触施肥によりY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培が可能となり、かつ、この施肥法は環境への負荷を軽減することが明らかとなった。

## 第IV章 Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培水稻における生育パターンと不耕起水田土壌の特徴

Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播水稻の生育パターンと不耕起水田土壌の特徴について検討した。形態的特徴については草丈、乾物重、出葉数、溢泌液、倒伏抵抗性を、土壌構造については、三相分布、貫入抵抗、透水性、酸化還元電位、土壌窒素を、また米の品質については、玄米窒素濃度と出葉数、土壌型、葉身窒素濃度、播種日、1穂粒数について検討した。

### 第1節 Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播水稻の生育パターン

Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培水稻は移植栽培水稻に比較して、草丈、乾物重、出葉数は生育初期において劣るものの、収穫期においては優劣が無かった。また、溢泌液量、対倒伏性において優れた。

### 第2節 不耕起水田の土壌構造

不耕起水田の三相分布、貫入抵抗、透水性、酸化還元電位、土壌窒素を検討した結果、耕起代かき水田に比較して土壌を酸化的に保つことが明らかとなった。

### 第3節 Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培米の品質

Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培水稻の玄米窒素濃度は出葉数、土壌型、葉身窒素濃度の影響をうけることが明らかとなった。また、食味と密接な関係があるとされる玄米窒素濃度において問題は無かった。

## 第V章 早春播種による栽培体系の確立

### 第1節 Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における苗立ち数の確保

Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培において、苗立ち数を確保する方法として播種量と条播間隔を変えて播種密度を高める栽培法について検討した。各処理区の播種量を慣行の1.5倍から2.25倍に増加し、条播間隔を慣行の30cmから20cmに狭めた結果、播種密度は慣行の167個/m<sup>2</sup>から251~375個/m<sup>2</sup>に高まった。試験における苗立ち率は29%から35%と著しく低い値であったが、苗立ち

数は慣行の48本/m<sup>2</sup>に対して88~128本/m<sup>2</sup>と高まり、好適苗立ち数とされる50~150本/m<sup>2</sup>を確保した(図7)。穂数は慣行の310本/m<sup>2</sup>に対して369~443本/m<sup>2</sup>と苗立ち数の多い順となった。収量は慣行の459gに対して503g~553g/m<sup>2</sup>と播種密度の高い順に多くなった(図8)。これより、条播間隔を狭め、播種量を増加して播種密度を高める栽培法は苗立ち数の確保を可能とし、収量の向上に有効であることが明らかとなった。

## 第2節 早春播種による作業分散と作期の拡大

気候の寒冷な東北地方は春先の低温に加えて秋冷が早いことから、作期を拡大し、安全出穂を確保することが重要である。また、稲作の大規模経営においては、播種作業の分散を図ることは重要である。本研究では、播種作業の分散および作期の拡大を目的として、3月下旬から4月下旬にかけて播種する早春播種を検討した。試験は1995、1996年の2年間おこなった。1996年の播種密度は、播種条間を20cmに狭め、播種量は10.0g/m<sup>2</sup>とし、播種は3月29日から4月29日まで10日間隔で行った。3月下旬から4月の中旬にかけては、平均気温が10℃を下回る日が多いことから直播栽培の播種は不適とされてきたが、多日照を利用する湛水栽培により湛水地温は気温に比較して約3.7℃高く推移した(図9)。また幼芽が伸長開始する有効温度の出現日は3月29日であった(図10)。苗立ち率は播種日が遅くなるにつれて高まったにもかかわらず、3月29日播種の22.8%から4月29日播種の38.6%と低い水準であった。しかしながら播種量と条播間隔を狭めて播種密度を高める栽培法により苗立ち数は87~147本/m<sup>2</sup>となった。(図11)。出穂期は8月14日~15日と安全出穂期間内で、出葉数は播種日の早い程多くなった。収量は、3月29日播種においても630g/m<sup>2</sup>が得られた(図12)。以上のことから、Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培において、早春播種により播種作業の分散、作期の拡大をはかることから、安全出穂、安定収量への可能性が得られた。

## 第VI章 八郎潟湿田におけるY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培

重粘質土壌で知られる秋田県八郎潟干拓地において、過酸化カル

シウム被覆の催芽粉を用い、肥効調節型の硝酸入り肥料である被覆  
燐硝安カリ40日型を共通とし、これに被覆尿素100日型(LP区)また  
は被覆尿素時限式100日型(LPS区)を組み合わせ、Y字型播種溝によ  
る不耕起無覆土直播栽培の湿田における有効性を検討した。

### 第1節 八郎瀉湿田におけるY字型播種溝を用いた不耕起 無覆土直播栽培

1997年の播種後10日間の平均湛水地温は17.9℃で、平均気温を  
3.9℃上回った。苗立ち率は、無施肥区が31.3%であるのに対し  
て、LP区、LPS区がそれぞれ50.3%、44.7%と無施肥区に対して  
13.4~19.0%上回り、硝酸施用の効果が認められた。苗立ち数は、  
播種量を慣行の2倍にしたところ、好適苗立ち数を確保した(図  
13)。最高分げつ期は肥料の溶出が早いLP区が早く、時限式肥料で  
あるLPS区と無施肥区はLP区より13日遅れた。穂数は、LP区、  
LPS区、無施肥区がそれぞれ529本、494本、398本で施肥区におい  
ては目標を確保した(図14)。収量は、LP区が646 g/m<sup>2</sup>であったの  
に対して、LPS区は622 g/m<sup>2</sup>とその差は24 gであったが統計的有  
意差は認められなかった。無施肥区は525 g/m<sup>2</sup>で、施肥区との差引  
による施肥効果は97~121 g/m<sup>2</sup>であった(図15)。収量構成要素と収  
量の相関をみると、高い順に総粒数( $r=0.951$ )、穂数( $r=0.927$ )、千  
粒重( $r=0.720$ )、登熟歩合( $r=0.355$ )となり、一穂粒数については逆  
の相関となった。以上の諸考察から、Y字型播種溝を用いた不耕起  
無覆土直播栽培は八郎瀉の湿田においても移植栽培(593kg)に遜色  
ない収量を確保することが明らかとなった。

## 第七章 総括

Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培が寒冷な気象条件や  
排水不良な土壌条件における適応性について、さらに、省力、低コ  
ストに加えて環境保全に対する有効性について検討した結果、以下  
のことが明らかとなった。

1. Y字型播種溝は幼苗の定着が顕著で苗立ち率の向上と初期生育  
を促進させることが明らかとなった。
2. 多日照を利用する湛水栽培により播種後の温度確保が可能とな

った。

3. 肥効調節型の硝酸入り肥料は苗立ち率を高める効果が明らかとなった。
4. Y字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培において、被覆尿素は速効性の硫安に比較して、著しく施肥窒素利用率を向上させることが明らかとなった。
5. 条播間隔を狭め、播種量を増加して播種密度を高める栽培法は苗立ち数の確保に有効であることが明らかとなった。
6. 早春播種により播種作業の分散、作期の拡大が可能となり、安全出穂し、移植並みの収量が可能となった。
7. 過酸化カルシウム被覆の催芽粉と硝酸入り肥効調節型肥料の被覆燐硝安カリを用いたY字型播種溝による不耕起無覆土直播栽培は、湿田において移植栽培に遜色ないことを明らかにした。

以上のことから、この栽培法は寒冷な気象条件や排水不良な土壌条件においても適応性が高いことを確認し、収量および品質においても移植栽培と遜色無く、さらに、省力、低コストに加えて環境保全に対しても有効であることを明らかにした。



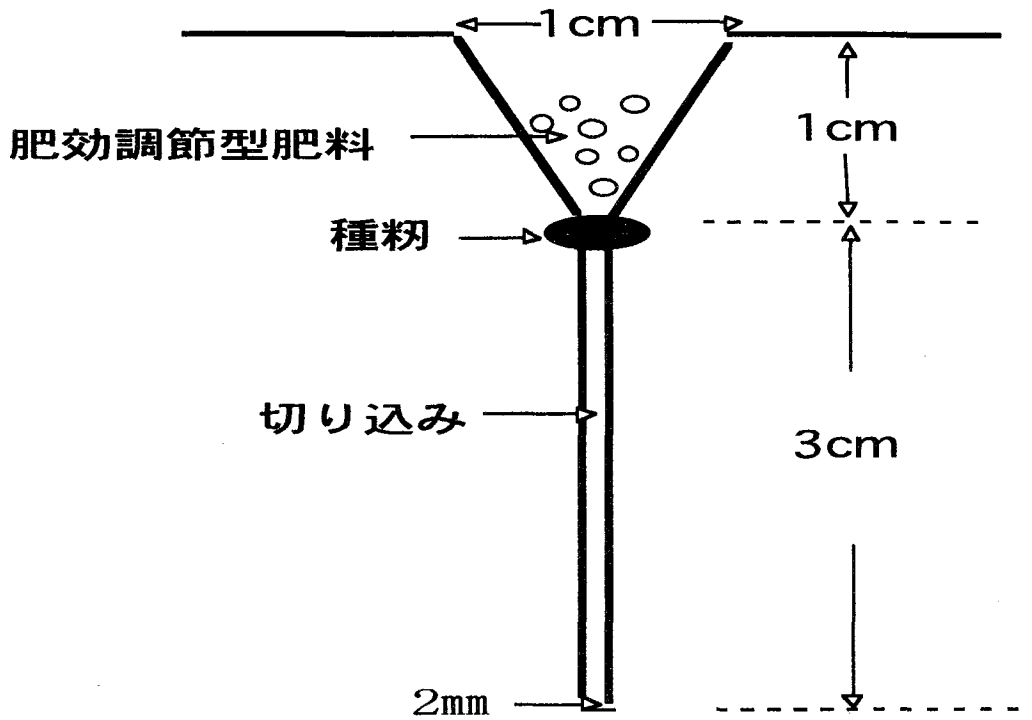


図1 Y字型播種溝断面図

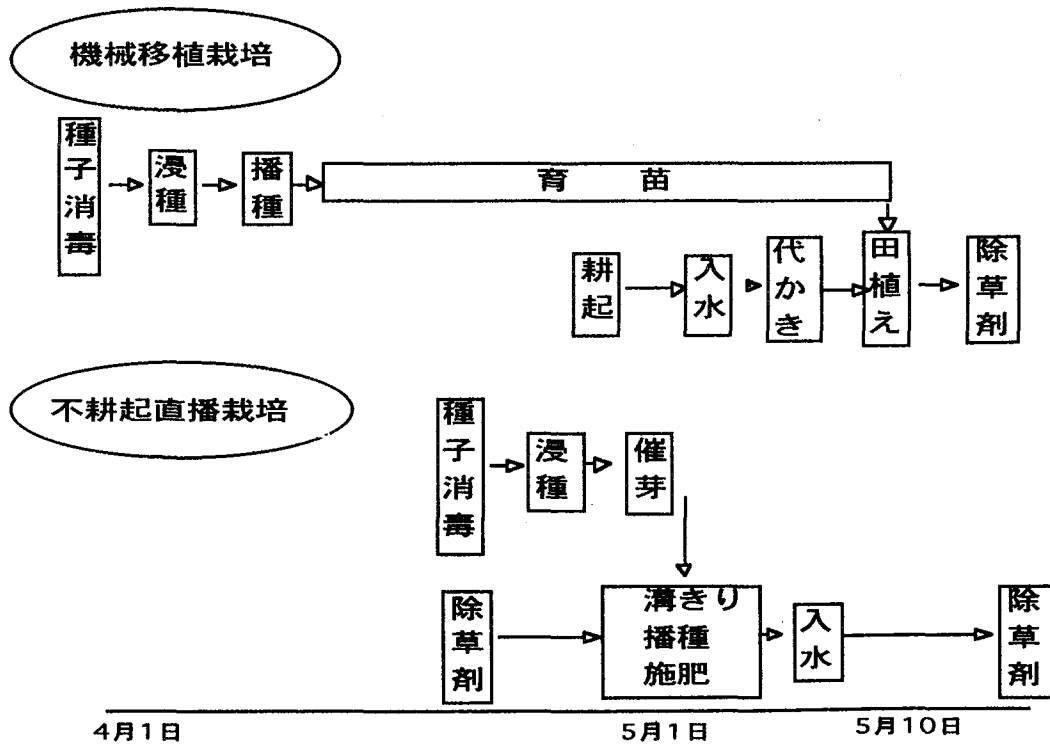


図2 不耕起直播栽培と移植栽培における播種前後の作業の違い（東北地方北部）

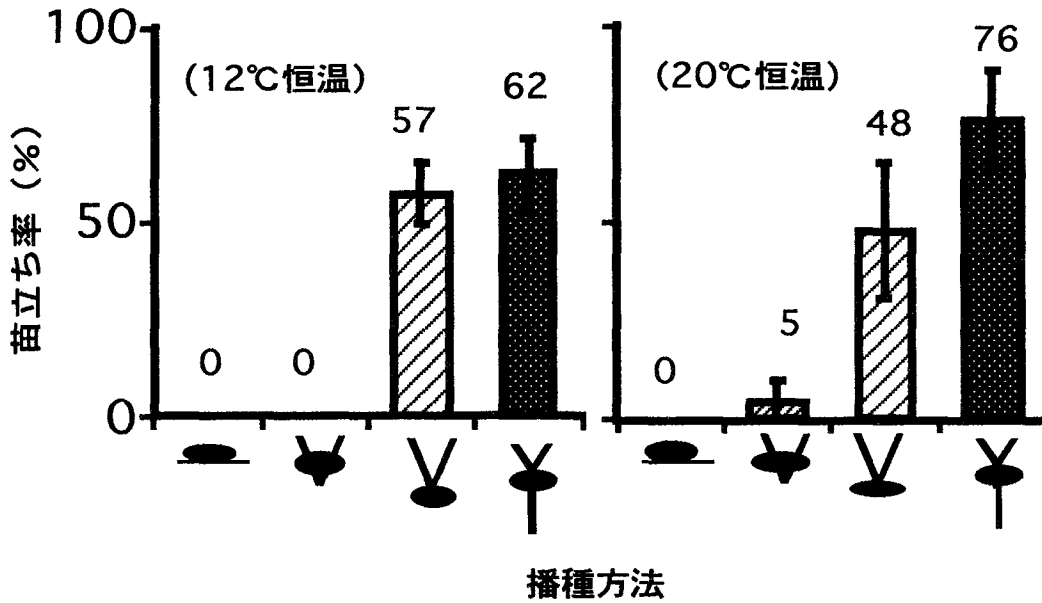


図3 異なる温度条件における土壌表面播種、V字型播種溝、V字型播種溝埋設、Y字型播種溝埋設の苗立ち率 (有効積算温度60°C)

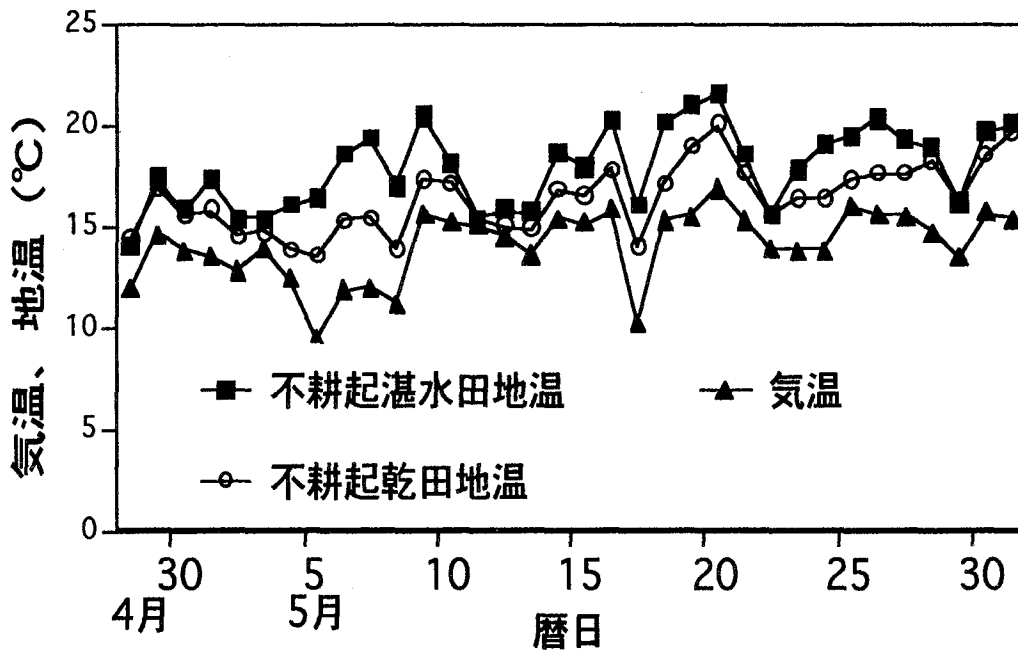


図4 水稻の不耕起乾田および不耕起湛水田における出芽、苗立ち期間の気温および地温の推移

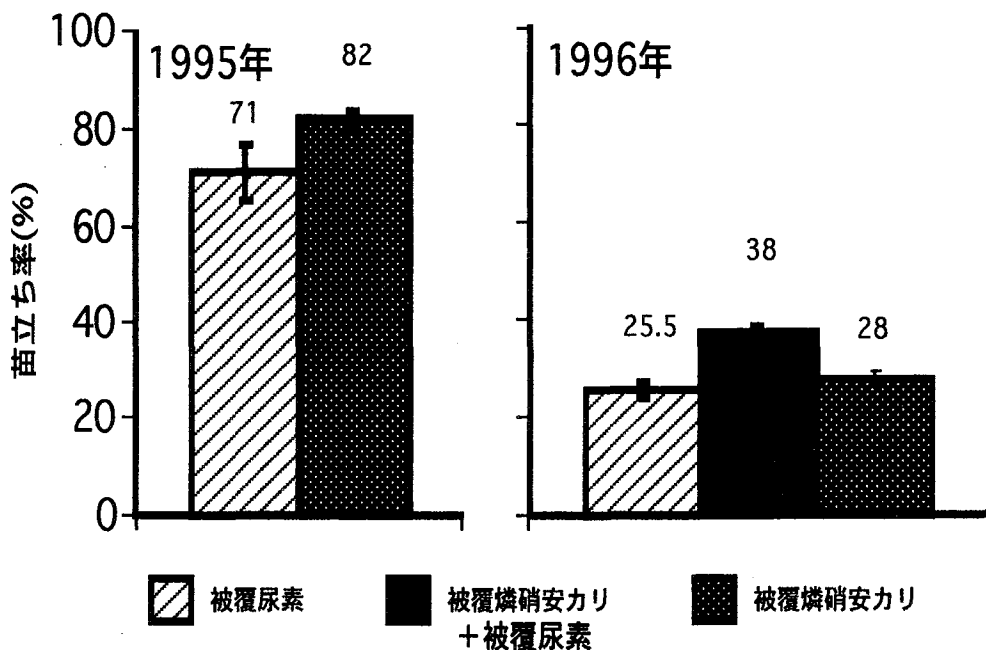


図5 水稲のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における施肥窒素形態と苗立ち率

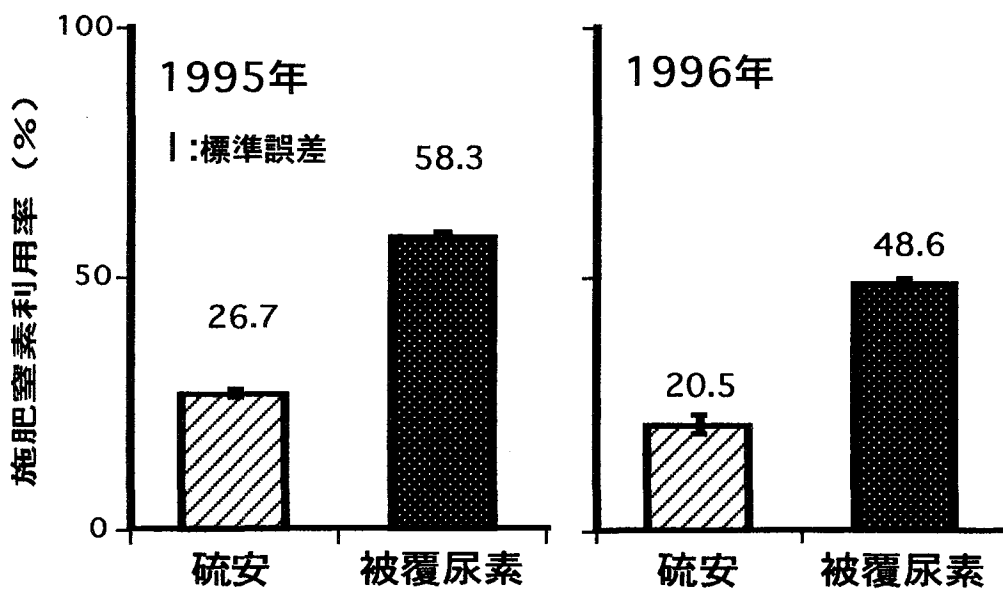


図6 水稲のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における硫安および被覆尿素的施肥窒素利用率

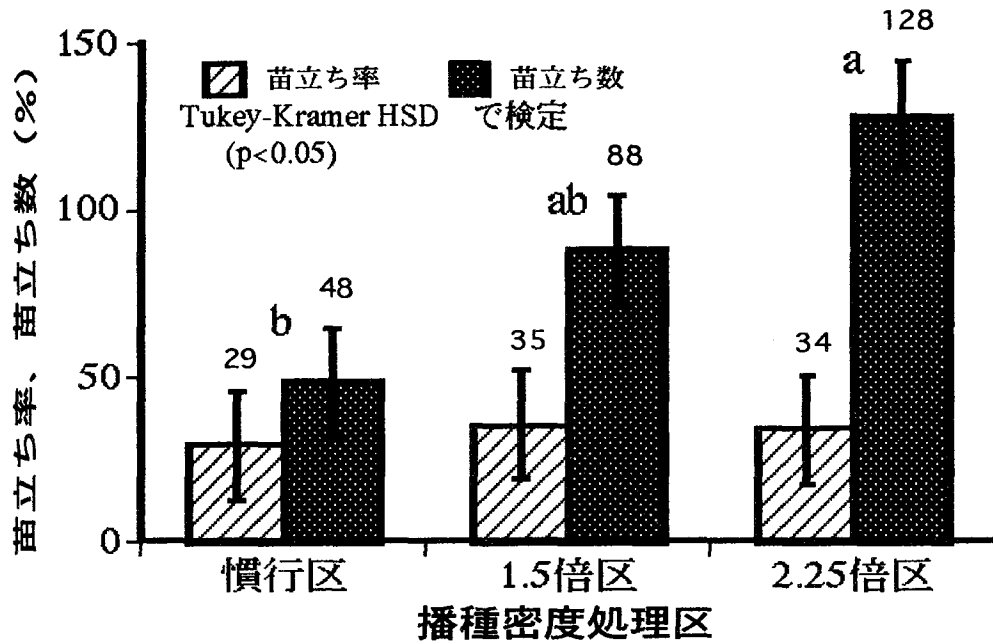


図7 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における播種密度と苗立ち率および苗立ち数

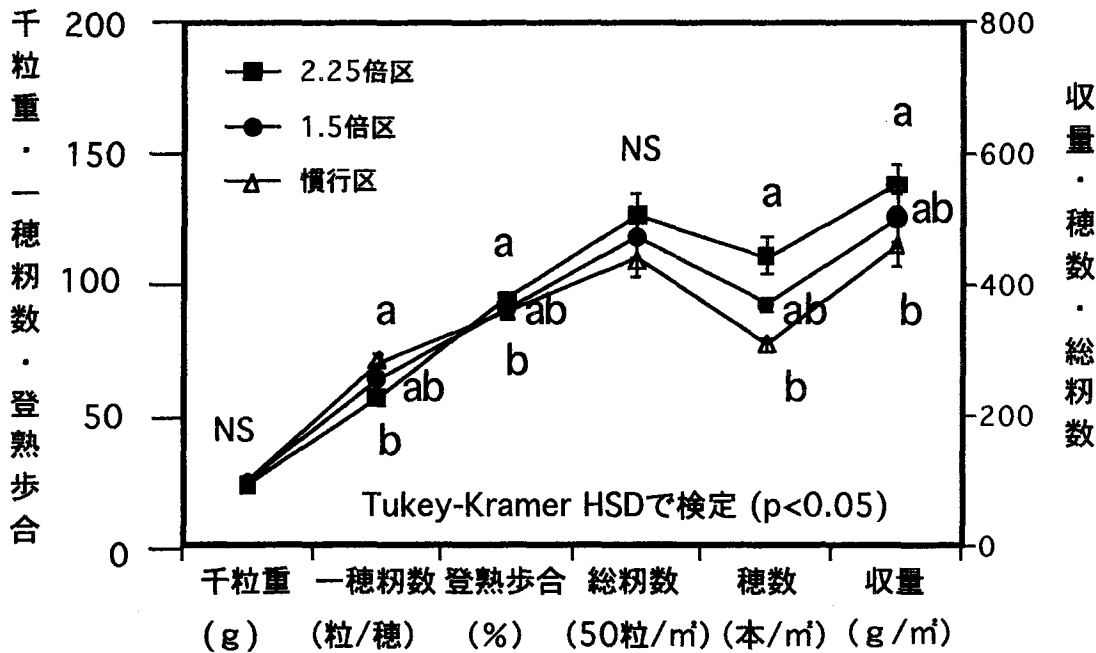


図8 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培における播種密度と収量および収量構成要素(1996)

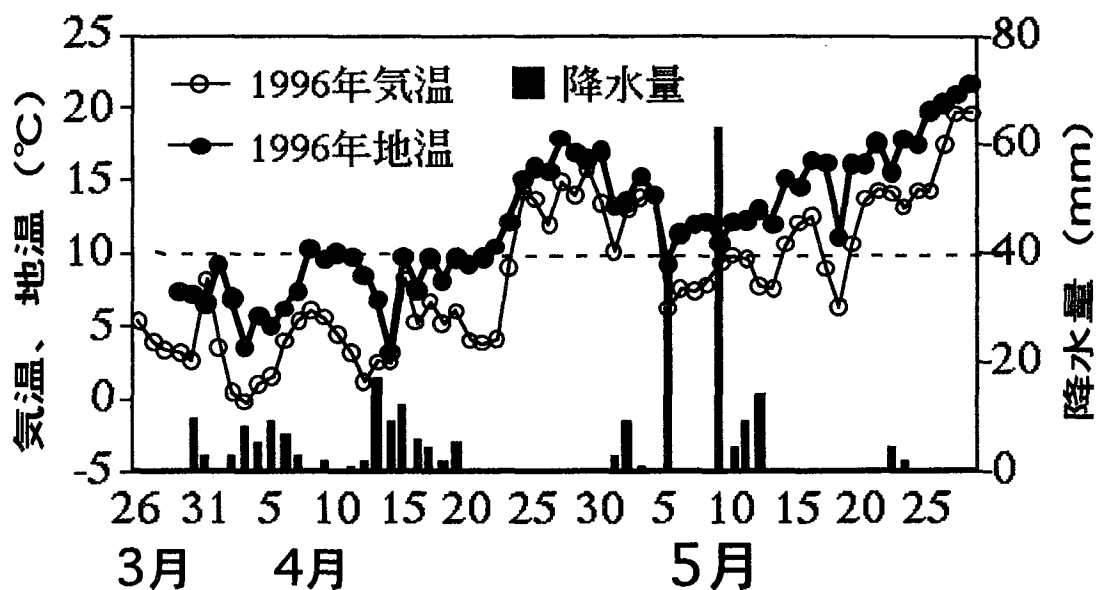


図9 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培の早春播種における播種～出芽、苗立ち期間の日平均気温と湛水地温および降水量の推移（1996）

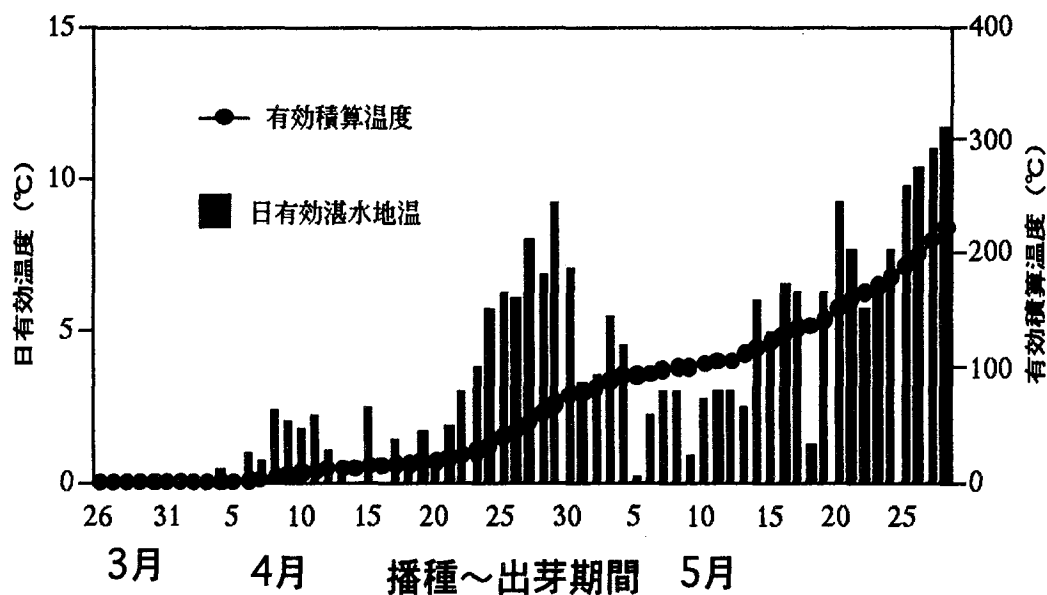


図10 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培の早春播種における播種～出芽、苗立ち期間の日有効湛水地温と有効積算温度（1996）

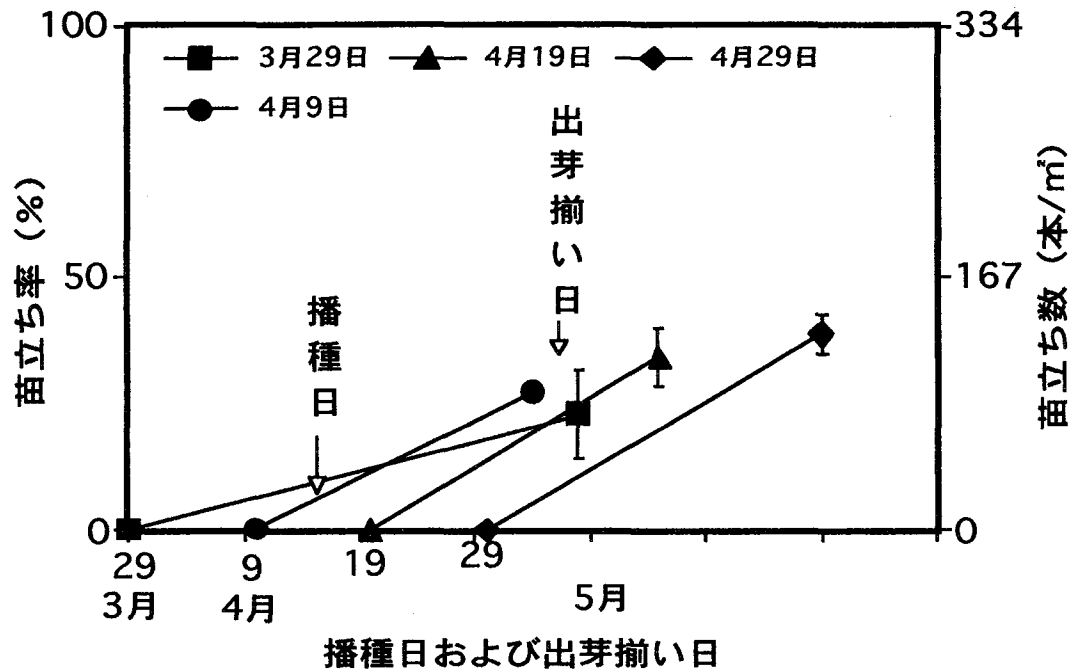


図11 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培の早春播種における播種日と出芽揃い日および苗立ち率 (1996)

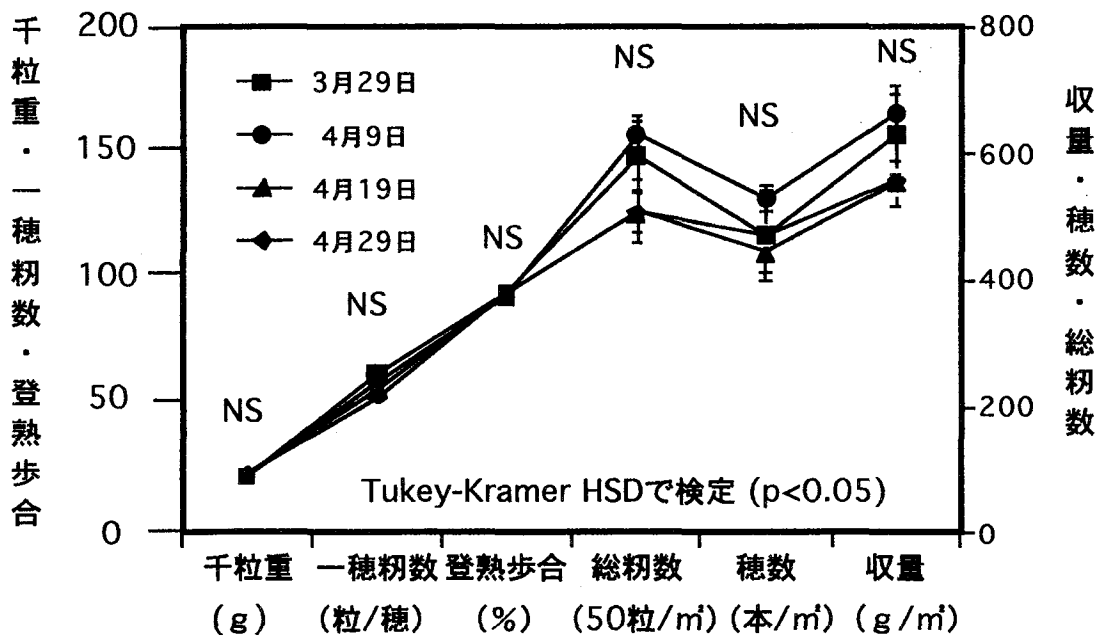


図12 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培の早春播種における収量および収量構成要素 (1996)

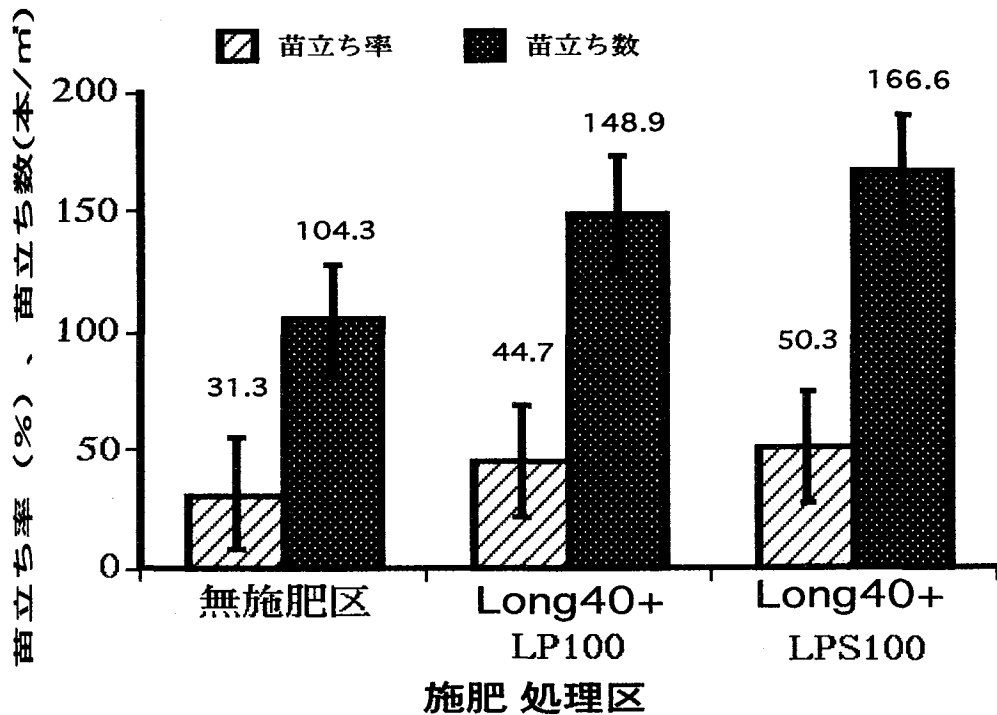


図13 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培の八郎潟実証試験における苗立ち率および苗立ち数 (1997)

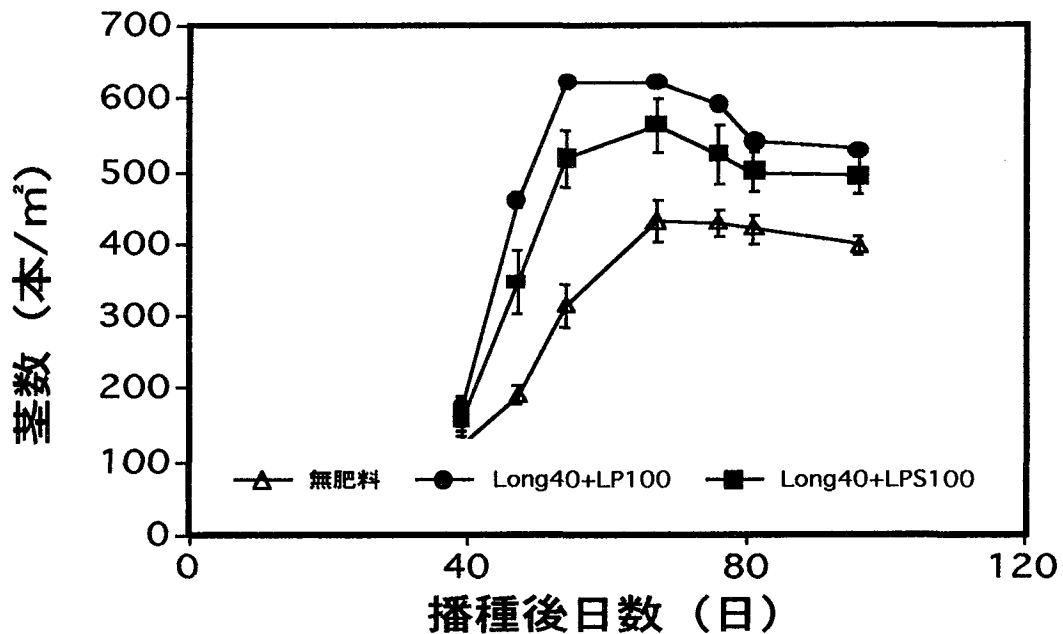


図14 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培の八郎潟実証試験における茎数の推移 (1997)

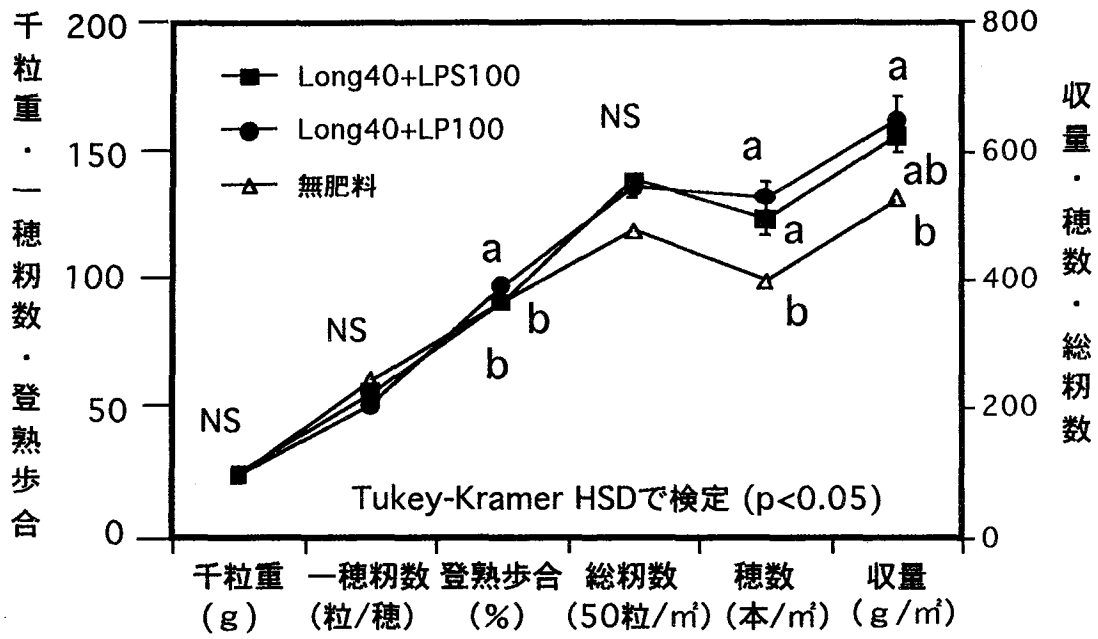


図15 水稻のY字型播種溝を用いた不耕起無覆土直播栽培の八郎潟実証試験における収量および収量構成要素 (1997)



## 論文審査結果要旨

現在、日本の稲作農業は大きな変革期にあり、環境負荷が少なくかつ省力・低コストの栽培技術の開発が強く望まれている。稲作において最も省力的な栽培法は不耕起乾田直播栽培であるが寒冷で、湿田の多い北日本に導入するには土壌的にも気象的にも大きな問題が存在する。本研究はこのような北日本の土壌的、気象的問題点を考慮し、環境に優しくかつ省力・低コストな水稻栽培法として不耕起無覆土直播栽培法を開発したものである。

不耕起乾田直播栽培で行われてきた覆土は北日本の湿田では、大きな困難さを伴い、また覆土をしないと幼苗の定着が不十分となる。本研究では水稻根を誘導する切り込みを有するY字型播種溝を考案すると共に、肥効調節型被覆肥料を覆土代わりに用いることによって、覆土なしで苗立ち率の向上と初期生育を促進する方法を開発した。また寒冷な北日本では播種時の気温が低く、直播水稻の初期生育が不安定であるが、春先の多日照を利用した湛水栽培で種子近傍の温度を気温より約4℃上昇させることによって、安定な苗立ちと初期生育の改善が図られた。さらに湿田での土壌還元を硝酸入り肥料と過酸化カルシウムの種子被覆で軽減することが可能となった。

不耕起無覆土栽培の施肥法としては硝酸を含む肥効調節型被覆磷硝安カリと被覆尿素を組合わせた全量基肥施用栽培が、従来の速効性化成肥料の基肥および追肥栽培に比べて苗立ち率と施肥利用効率の改善を通じて収量増に結びつくことを明らかにした。また、肥効調節型被覆肥料の全量基肥栽培は速効性の硫酸を用いた慣行栽培より肥料の利用効率が高く、肥料による環境負荷を軽減すると共に、追肥の省略による省力・低コスト化が可能となった。

Y字型播種溝と肥効調節型被覆肥料による不耕起無覆土直播栽培の水稻は、秋優り型の生育を示し、高収量で良品質な米の生産を可能にした。また、不耕起水田は土壌構造を維持し、土壌の貫入抵抗性も高いことより慣行の耕起水田より良好な生育環境と機械作業性を有することを明らかにした。

播種量と条播間隔を変えた播種密度の高い不耕起無覆土栽培と播種直後の湛水処理で、中山間地でも3月末からの水稻早春播種栽培が可能となり、農作業の分散と水稻作期の拡大が可能となった。

これらの技術を総合し典型的な重粘質湿田である秋田県大瀧村でY字型播種溝を用いた水稻の不耕起無覆土直播栽培の現地実証試験を行い、移植栽培水稻に匹敵する収量と品質を得ることが明らかとなった。

以上より本研究は我が国農業の発展に大きく貢献するものであり、審査員一同は博士（農学）の学位に値するものと判断した。