

岐阜県における不耕起乾田直播栽培技術体系の確立に関する研究 (第1報) 導入条件の解明と栽培技術体系の確立

山本好文・橋詰芳範*・吉田一昭・山田隆史**・日比野哲美***・渡辺京子****・鈴木俊郎・川瀬康夫*****

Study on the establishment of non-tillage direct seeding culture of paddy rice

1. Elucidation of introduction condition and establishment of cultivation technology system

Yoshihumi YAMAMOTO, Yoshinori HASIZUME, Kazuaki YOSHIDA, Takashi YAMADA
Tetumi HIBINO, Kyouko WATANABE, Toshiro SUZUKI, Yasuo KAWASE

要約：大規模経営体の現状分析から、岐阜県平坦地の番水地帯における飛躍的な規模拡大を図る方策として、不耕起乾田直播栽培の導入が有効であることを明らかにしたうえで、栽培技術体系のプロトタイプを確立した。

栽培体系の概要は次のとおりとした。播種適期は4月上旬から5月中旬までである。品種は慣行移植栽培で倒伏しやすい「ハツシモ」「コシヒカリ」でも適用可能である。施肥法は、溶出タイプの異なる被覆尿素を用いた播種溝内播種同時一発施肥とする。除草は、水稻の出芽直前の非選択性茎葉処理剤及び土壌処理剤散布、入水前のシハロホップブチル茎葉処理剤散布、入水後の一発処理剤散布とする。

組み立てた栽培技術体系は、現地試験により栽培体系として移植栽培並に安定した省力・低コスト栽培であることを実証した。

キーワード：水稻、不耕起乾田直播栽培、栽培体系、直播適応品種、耐倒伏性、苗立ち安定、雑草防除、生育予測、生育診断、施肥法、縞葉枯病防除、現地実証

緒言

岐阜県における総農家数は976千戸、専業農家率は6.5%で、第二種兼業農家率は88%と高く、一戸当たりの経営面積も68aと経営基盤は脆弱である。しかも、農業労働力は高齢化し、後継者不足が深刻化している。一方では、農業所得1,000万円、年間労働時間2,000時間を目標とする中核農家・稲作経営体の育成が望まれており、既に大規模経営体も出来つつある。

さて、岐阜県平坦地の約10千haは用排水が未分離で、水利慣行として決められた時期にならなければ配水されない番水地帯である。そのため、代掻き、田植えを配水後の短期間にこなさなければならず、この時期の作業集中は極めて著しいものがある。このため、規模拡大を望む大規模経営体においては、現行の移植体系での規模拡大が限界に達しており、新たな省力栽培法の確立が強く望まれている。このような状況の中で、播種を乾田状態で行う不耕起乾田直播栽培は、配水時には播種作業を終

えることができ、これまでは時期にならなければできなかった代掻き・田植え作業を不要とすることから、番水地帯の飛躍的な規模拡大を可能にする新しい栽培法として期待が大きい。

このような背景のもと、不耕起乾田直播栽培の導入が見込まれる経営体の現状分析と不耕起乾田直播栽培の導入条件と将来予測を行い、不耕起乾田直播栽培導入の有利性と規模拡大の可能性が示されたこと、及び、農業研究センターが開発したディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いて、適応品種、播種期、施肥法、除草体系を検討し、栽培技術体系を組み立てるとともに、現地試験により組み立てた技術体系が移植栽培なみに安定しており、省力・低コスト栽培を可能にすることを実証したのでここに報告する。

1. 対象経営体の現状分析と不耕起乾田直播栽培の導入条件の解明

[目的]

不耕起乾田直播栽培の導入が見込まれる経営体の一例としてOM営農組合を選定し、経営の現状分析等を行った。このOM営農組合は、昭和38年に発足して以来、新技術を取り入れながら規模拡大をはかり、現在に至っ

* 現 岐阜県科学技術振興センター

** 現 恵那地域農業改良普及センター

*** 現 揖斐地域農業改良普及センター

**** 現 岐阜地域農業改良普及センター

***** 現 岐阜県農業指導課

ている。しかし、最近、委託希望農家が増加傾向にあり、さらなる規模拡大を迫られていることから、省力的な栽培技術の導入が緊急の課題となっている。

そこで、営農組合の資本装備、土地利用、労働力利用等の状況を調査し、経営発展に有効な新技術導入のあり方について分析検討するとともに、不耕起乾田直播技術を経営体に取り入れる場合の技術的条件、規模等を解析し将来展望を検討する。

〔材料及び方法〕

対象経営体は岐阜県大垣市にあるOM営農組合とした。

調査項目は経営規模、労働力、機械施設装備、作付面積、作付体系、作業内容、作業時間とし、営農組合による記帳及び聞き取りにより調査した。

〔結果及び考察〕

OM営農組合は、昭和38年に乾田直播17haと移植34

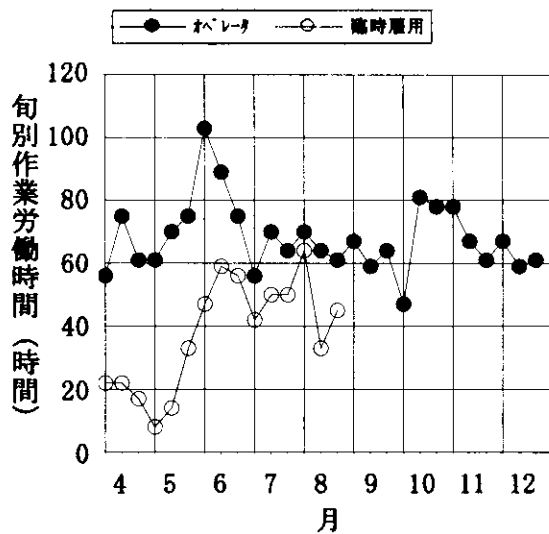


図1 1人当たり作業労働時間の推移

haで出発した。乾田直播は、除草に多大な労力を要することから、昭和48年に田植機(4条)を導入したことを契機に中止した。以来、施設の充実を図るとともに、大型機械・新技術を導入し、省力・低コスト化に努めてきた。農閑期には薬草・野菜苗生産、耕起受託、圃場整備など、余剰労力を有効に活用していた。

経営耕地面積は、昭和38年に51haで出発し、昭和41年に38haにまで減少したが、平成6年には110haまで増加した。しかし、受託水田は、営農組合所在地を中心として半径4kmに分散して広がっている典型的な分散錯圃の状況であった。

オペレータは9名で、平常時の作業は経営耕地を4地区に分け、各地区2~3名の組作業で行っていた。繁忙期には臨時雇用を利用した。

作付け品種は「ハツシモ」、「日本晴」、「白雪姫」の3品種で、「ハツシモ」は普通栽培と種子生産、「日本晴」

は普通栽培、「白雪姫」はアイガモ栽培としていた。

オペレータ1人当たりの作業労働時間は図1に示し、オペレータ1人・1日当たりの作業労働時間内訳は表1に示した。作業労働時間は5月から6月にかけて高い値で推移しており、特に5月第3週、第5週、6月の第1週は10時間を越えるピークを示していた。

5~6月の作業労働時間の内訳をみると、5月第1週~5月第4週は耕起・育苗・施肥・除草、5月第5週~6月第2週は代掻き・田植え・苗運搬、6月第3週以降は除草剤散布・転作圃場の耕起が主なものであった。このことから、著しい労働時間のピークは主として代掻き・田植え作業の集中によるものであると結論された。

この著しいピークの軽減対策としては、①早期栽培、早植え栽培を導入して田植え期間の延長、②湛水直播栽培の導入、③乾田直播栽培の導入、などが考えられる。番水制となっているこの地域では、①は時期にならなければ水が来ないことから実現が困難で、②は代掻きを必要とし、時期にならなければ配水されない当地域では導入のメリットが少なく、③の方策が最も効果的であると考えられた。

なお、最近の問題として、特に代掻き時期のトラクタが道路を泥土で汚すことへのクレームが多い。乾田直播栽培は、市街地の分散錯圃の水田では特に大きな問題となるこの点についての対応策としての期待も大きい。

当地域では、用水が番水制のため代掻き・田植え作業の時期が限られている。そのため、この時期の作業労働時間が著しく多く、経営耕地規模が限界に達しており、更なる受託面積拡大の隘路となっている。そこで、播種機の導入など追加投資が必要になるものの、配水時期に関係なく作業が可能となる不耕起乾田直播栽培を導入し、播種作業期間を拡大することで作業労働時間を平準化することができ、余剰となる労働力を利用して経営耕地面積の拡大を図ることが可能となる。

そこで、不耕起乾田直播を経営に導入した場合の作業労働時間のピークとなる5月第1週から7月第1週までの70日間の労働時間の試算結果を表2に示した。

不耕起乾田直播栽培を導入することで削減できる労働時間は、経営面積の10%導入時で4%、同じく20%導入時で8%、50%導入時で30%、100%導入時で41%と試算された。

ただし、営農組合は、乾田直播栽培を導入する条件として、移植栽培に匹敵する安定的な栽培技術の確立を期待しており、早急な技術確立が望まれた。

〔要約〕

不耕起乾田直播栽培を全経営面積に導入した場合、作業労働が集中する5月上旬から7月上旬の平均労働時間

表1 オペレータ1人・1日当たりの作業労働時間の内訳 (1994)

(単位：時間)

作業	5月第1週	5.2	5.3	5.4	5.5	6.1	6.2	6.3	6.4	7.1
育苗	1.9	3.4	1.7	0.2						
苗運搬				0.4	1.3	3.0	2.9			
耕起	1.5	2.0	4.3	3.7	1.1	0.5				
施肥			0.1	0.6	0.7					
代掻き				0.3	2.5	3.9	1.8			
田植え			0.1	0.6	1.5	2.9	3.6			
栽培管理			0.1	0.8	1.8		0.2	4.3	0.3	4.3
機械管理	0.1	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1		0.1	
除草						0.2	0.1	1.9	3.5	
畦畔管理	4.0	2.3	1.0	0.4	0.7		0.1	0.1		2.5
作業受託		0.1	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2			
転作管理			1.5	1.0	0.1		0.1	1.2	2.3	
その他	0.6	0.3	0.6	0.9	0.6	0.2	0.5	0.7	2.1	0.9
合計	8.1	8.5	0.5	9.4	0.6	11.0	9.6	8.2	8.3	7.7

表2 不耕起乾田直播栽培を導入した場合のオペレータ1人・1日当たりの作業労働時間の試算結果

(5月第1週～7月第1週の70日間)

(単位：時間)

作業	現状	10%導入時			20%導入時	50%導入時	100%導入時
		減少時	増加時	合計			
耕起	1.31	0.13		1.18	1.05	0.66	0
代掻き	0.85	0.09		0.77	0.68	0.43	0
田植え	0.87	0.09		0.78	0.70	0.44	0
除草	0.57	0.06	0.06	0.57	0.57	0.58	0.58
施肥	0.14	0.01	0.09	0.21	0.29	0.51	0.87
栽培管	1.18			1.18	1.18	1.18	1.18
機械管	0.16			0.16	0.16	0.16	0.16
畦畔管	1.11			1.11	1.11	1.11	1.11
育苗	0.72	0.07		0.65	0.58	0.36	0
苗運搬	0.76	0.08		0.68	0.61	0.38	0
作業受	0.16			0.16	0.16	0.16	0.16
転作管	0.62			0.62	0.62	0.62	0.62
その他	0.74			0.74	0.74	0.74	0.74
合計	9.19	0.53	0.15	8.81	8.44	7.31	5.43

を40%削減することができ、さらに作業期間の拡大及び作業労働時間の平準化、機械稼働率の改善等とともに経営面積を180haまで拡大が可能と推計された。対象としたOM営農組合の現状と目標は表3に要約した。ただし、不耕起乾田直播栽培を導入するに当たっては、移植栽培に匹敵する安定的な栽培技術の確立が必要である。

5月～6月の著しい作業労働時間のピークは、主として耕起・代掻き及び田植え作業によるものである。番水

地帯でこのピークを平準化するには、乾田直播栽培が最も適していると考えられた。

表3 OM営農組合の現状と目標

項目	現状	目標
組合職員数	11人	現状維持
(内オペレータ数)	9人	現状維持
機械設備投資		播種機の導入
経営耕地面積	110ha	180ha

不耕起乾田直播栽培を100%導入した場合

2. 直播適応性品種の選定

[目的]

大規模経営を実現するため直播体系を組み入れるに当たり、移植栽培において良食味で地域適応性のある多収系統の中から不耕起乾田直播栽培に適する品種の選定を試みた。

表4 試験品種の収量、玄米品質及び生育状況等(1996、1997の平均)

栽培法	品種名	収量 (kg/a)	品質 ^{注1}	整粒率 (%)	千粒重 (g)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	押倒抵抗値 ^{注2} (kg)	倒伏 ^{注3}
不耕起 直播	コシヒカリ	50.1 (104)	2.8	76.8 (101)	21.9 (97)	88 (95)	289 (93)	0.99 (152)	1.5
	ハツシモ	51.5 (98)	2.3	80.7 (115)	25.4 (97)	93 (103)	330 (114)	1.54 (143)	0
	岐108号	56.5 (92)	2.3	84.3 (105)	24.1 (99)	86 (100)	292 (96)	1.72 (122)	0
移植	コシヒカリ	48.1	2.8	76.1	22.5	93	311	0.65	2.0
	ハツシモ	52.3	2.8	70.4	26.2	90	289	1.08	0
	岐108号	61.6	2.5	80.5	24.4	86	303	1.41	0

注1：上々1～下々9

注2：穂数15本当りに換算

注3：無0～完全倒伏5

()：対移植の比率

不耕起播種は5月上旬。施肥は1996年の全品種と1997年の「コシヒカリ」がLP50(N7kg/10a)+LPSS100(4)、1997年の「ハツシモ」と「岐108号」がLPS60(5)+LPSS100(4)。

移植栽培の移植は6月上旬、施肥は当所の慣行とした(基肥N4kg/10a、穂肥N2kg/10a)

不耕起乾田直播栽培の収量は、移植栽培での収量水準が低い「コシヒカリ」で4%増加し、逆に移植栽培での収量水準の高い「岐108号」は8%減少し、「ハツシモ」では大差無かった。

玄米品質は、「コシヒカリ」が移植栽培と同じであったが、「ハツシモ」、「岐108号」が移植栽培より良好であった。

また、供試した3品種とも移植栽培に比べ押倒抵抗値が明らかに大きくなっていった。実際に「コシヒカリ」では移植栽培はかなり倒伏したが、不耕起乾田直播栽培の倒伏は軽微で、耐倒伏性が向上していることが観察された。

そこで、「コシヒカリ」において、不耕起乾田直播栽培

[材料及び方法]

試験は場内試験水田で実施した。土壌統群は細粒灰色低地土・灰色系に分類されている。

供試品種は「ハツシモ」「コシヒカリ」「岐108号」とした。

播種及び施肥は、農業研究センター開発のディスク駆動式汎用不耕起播種機によった。

播種期及び施肥法は試験年次により異なるので、試験成績の中に記述した。

[結果及び考察]

不耕起乾田直播栽培とした場合の生育状況、収量、玄米品質は、移植栽培での成績を含めて表4に示した。

と慣行の移植栽培での倒伏関連形質を測定した結果、不耕起乾田直播栽培では、下位節間長は同じか徒長するが、稈基部外径は太く、挫折荷重が大きくなり、挫折型倒伏に強くなることが推定された(表5)。

また、不耕起乾田直播栽培とすると根量が増加すること(図2)及び土壌硬度が増すこと(図3)から株支持力が増し、転び型倒伏にも強くなることが類推された。

[要約]

直播栽培においても、現場では銘柄米を作りたいとの要望が強いが、岐阜県の銘柄米「ハツシモ」、「コシヒカリ」は何れも倒伏しやすく、直播栽培への導入が懸念された。しかし、ディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いた乾田不耕起直播栽培では、むしろ倒伏に強くなり、倒

表5 不耕起乾田直播栽培における各種施肥法と倒伏関連形質 (1998)

区No.	収量 (kg/a)	稈長 (cm)	下位節間長 ^{注1} (cm)	稈基部外径 ^{注2} (mm)	挫折荷重 ^{注3} (kg/茎)	c L r 値	押倒抵抗(kg/16cm間)	
							条方向	条鉛直方向
1	54.5	86	5.8	5.5	1.24	0.081	1.87	1.51
2	53.4	83	4.9	5.5	1.25	0.070	1.59	1.32
3	56.7	88	6.2	5.5	1.16	0.083	2.59	1.86
4	54.5	89	7.4	5.9	1.33	0.066	2.20	1.69
5	51.8	82	2.7	5.6	1.29	0.079	1.49	1.28
6	29.8	74	2.1	5.9	1.42	0.112	1.13	0.93
移植	54.0	87	2.5	4.1	0.83	0.050	1.51	0.53

注1：穂首を第1節として数えた第4節以下の長さ

注2：地際から3cm上の長基部を計測

注3：地際部を計測

cLr値の測定法は渡辺¹⁰⁾によった

施肥法 1：LPS40(5)+LPSS100(4)

2：LPS40(3)+LPSS100(4)

3：LP50(8)+LPSS100(4)

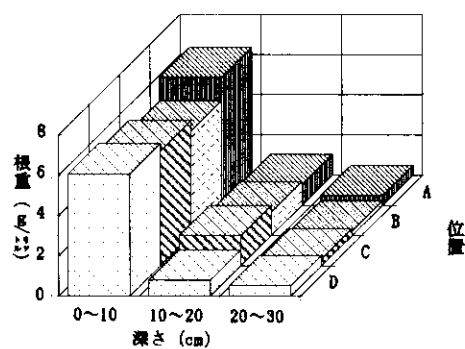
4：LP50(6)+LPSS100(4)

5：LPSS100(7)

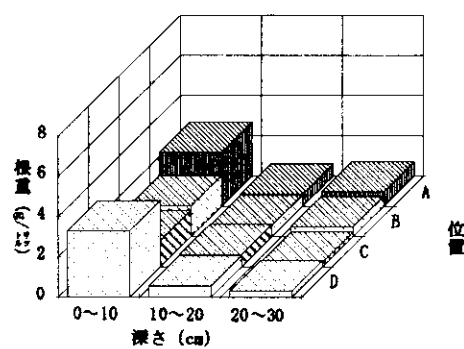
6：窒素無施用

移植：基肥 IB050(4) 穂肥 IB4号(2)

()；窒素施肥量 kg/10a



不耕起乾田直播栽培の根重分布



稚苗移植栽培の根重分布

図2 根重分布

注 深さは地表面からの深さ、位置は株元から条間方向へ10cm間隔に区切った位置

伏しやすい銘柄米も導入できることが明らかとなった。

ディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いた乾田不耕起直播栽培での耐倒伏性の向上は、稈基部が太く挫折荷重が大きくなり挫折型倒伏に強くなること、及び田面が固く根量も多いことから転び型倒伏に強くなることによるものと考えられた。

3. 不耕起乾田直播における適正苗立ち数

[目的]

不耕起乾田直播栽培における収量の安定と向上には、適正な苗立ち数を確保することが重要である。そこで、不耕起乾田直播栽培における適正苗立ち数を明らかにする。

[材料及び方法]

苗立ち数と収量の関係の検討は、ディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いた播種による圃場試験で行った。

試験した苗立ち数は25本/m²から200本/m²に渡り、それぞれ施肥水準及び播種期を変え検討した。苗立ち数の調整は入水期頃の抜き取りで対応した。

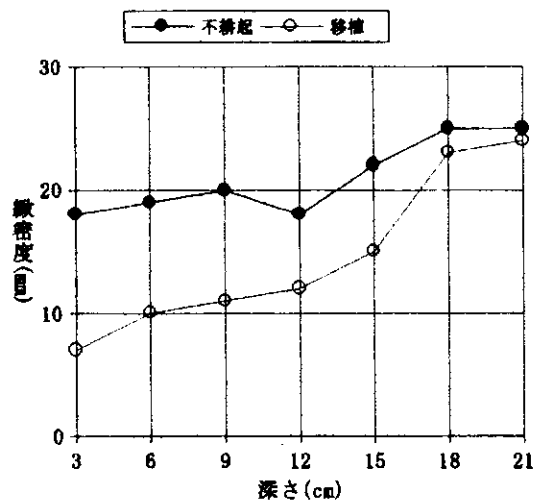


図3 土壌硬度 (山中式硬度計指示値)

[結果及び考察]

苗立ち数を検討した結果、窒素施肥量が0.6kg/aと少肥では苗立ち数が25本/m²あるいは50本/m²と少ないと減収することが窺われたが、100本/m²では問題が無く、適正施肥量下では25本/m²から100本/m²の範囲内で苗立ち数の多少が収量に影響することはなく、また、200本/m²の苗立ち数であっても収量への影響が認められないなど、不耕起乾田直播栽培は適正苗立ち数の範囲が極めて広いことが明らかとなった(表6)。収量に対する播種期と苗立ち数の交互作用も認められなかった(表7)。なお、本試験は株間をほぼ等間隔とした条件下で実施されたものであり、実際の栽培条件下での出芽ムラ及び播

表6 苗立ち数、窒素施肥量と収量 (1996)

施肥量 (kg/a)	苗立ち数(本/m ²)			平均
	70	100	200	
1.1	58.3	60.2	60.1	59.9
1.3	61.5	59.4	61.1	61.0
平均	60.4	59.8	60.6	60.4

(1998)

施肥量 (kg/a)	苗立ち数(本/m ²)			平均
	25	50	100	
0.6	50.8	50.0	59.4	56.8
1.3	66.1	66.1	56.2	66.1
平均	57.6	57.1	57.7	57.5

播種期：1996 5月11日及び6月1日
1998 4月22日及び5月6日

表7 播種期、苗立ち数と収量(1996)

施肥量 (kg/a)	苗立ち数(本/m ²)			平均
	70	100	200	
5.11	62.9	62.5	64.2	63.2
6.1	55.6	57.8	56.0	56.5
平均	59.3	60.2	60.1	59.9

種量を過大にしないためには、目標苗立ち数は100本/m²程度、播種量は概ね7kg/10a程度とするのが適当と考えられた。

[要約]

不耕起乾田直播栽培の適正苗立ち数の範囲は、苗立ちが等間隔であれば25本/m²でも問題なく、200本/m²であっても悪影響は無いなど極めて幅広いが、出芽ムラや過量な播種を避けるため、目標苗立ち数は100本/m²程度が適当であると考えられた。

4. 不耕起乾田直播栽培における出芽、苗立ち安定化技術

[目的]

安定した苗立ちをが得られる播種深度、播種前催芽の有無と種子消毒、あるいは成長調節剤の出芽促進効果を検討する。

[材料及び方法]

試験1 地下水位

試験はガラス室内でのポット試験とし、土壌は、水田での土壌構造を壊さないようホールカッターで深さ30cmまで採取したものをを用いた。

供試品種は「岐108号」とした。

試験2 播種深度

試験1と同様に土壌を採取し、ポット試験を行った。供試品種は「岐108号」とした。

試験3 成長調節剤の効果

苗立ち促進効果を検討した成長調節剤はABA (0.05、0.1PPM)、GA (10、20PPM)、キトサン (100、200PPM) で、処理は浸種の積算温度100℃を目途とした浸種期間中最後の24時間を各溶液に浸漬することによった。試験は圃場で行い、播種深を2cmとした手播きによった。

試験に用いた品種は「岐108号」である。

試験4 播種前催芽処理及び種子消毒の効果

種子消毒にはチウラムを用い、播種当日に乾粒重の0.5%を粉衣した。

試験は圃場で行い、播種機はディスク駆動式汎用不耕起播種機を用い、播種期は4月13日、5月2日、5月

17日とした。

催芽は鳩胸状態までとした。

試験には「ハツシモ」及び「コシヒカリ」を用いた。

[結果及び考察]

試験1 地下水水位

地下水水位と出芽の関係を表8に示した。地下水水位が0 cm即ち湛水状態では出芽率は著しく低下しており、出芽率50%以上を確保するには、地下水水位を-5 cm以下に、つまり、種子が水に浸からない状態にしておくことが必要であると考えられた。

表8 地下水水位と出芽率(1995)

地下水水位(cm)	0	-5	-10	-20
出芽率 (%)	7.5	50.6	62.5	77.5

播種深度は3 cmとした

試験2 播種深度

播種深度と出芽の関係を表9に示した。

播種深度と出芽の関係は常松⁸⁾、上山⁹⁾によって検討されており、過湿条件でなければ6~7 cmの播種深度でも出芽は良好であるとしている。

しかし、土壤水分29%の過湿とは言えない条件下で行った本試験の結果では、出芽は播種深度4 cmまでは覆土の有無に係わらず良好であったが、7 cmとなると急激に低下し、これに覆土が加わった場合には殆ど苗立ちが得られなくなっていた。

このことから、播種深度は5 cm程度を最深とするのが安全であると考えられた。

表9 播種深度と出芽率 (1997) (単位: %)

覆土	播種深度 (cm)		
	1	4	7
有	62.5	67.5	2.5
無	80.0	70.0	22.5

土壤水分量29%で試験した

試験3 成長調節剤の効果

成長調節剤と苗立ちの関係を表10に示した。

GA、ABA処理は出芽促進に有効であるとされている⁹⁾が、圃場レベルで試験した結果では苗立ち率の変動が大きく、成長調節剤の効果は判然としなかった。また、際だって苗立ちを良好にする成長調節剤も無かった。

表10 播種深度と出芽率 (1997) (単位: %)

処理	苗立ち率 (%)		
	4/8播種	4/23播種	6/1播種
A 0.05ppm	23.0	33.5	52.5
A 0.1ppm	22.0	29.5	67.5
G 10ppm	26.0	33.5	73.0
G 20ppm	22.5	20.0	64.0
C 100ppm	61.5	38.5	62.0
C 200ppm	34.5	35.5	67.0
対象	28.5	36.0	57.5

A:ABA、G:GA、C:キトサン

対象:成長調節剤無処理

試験4 播種前催芽処理及び種子消毒の効果

早い播種期(4月13日播種)では、催芽粉を播種することで、「コシヒカリ」の出芽始めが4日程度早まるものの、出芽始めから全出芽数の80%出芽までに要する日数は、催芽粉で12日程度、乾粉で9日程度となり、乾粉播種の方が出芽の揃いは良好であった。一方、「ハツシモ」では催芽粉を播種しても出芽始めまで日数、出芽始めから全出芽数の80%出芽までに要する日数は変わらなかった。

遅い播種期(5月17日播種)では、「コシヒカリ」「ハツシモ」とも出芽始め及び全出芽数の80%出芽まで日数に殆ど差は無かった(図4、5)。

「コシヒカリ」において、4月13日播種ではチウラム粉衣により出芽率は向上したが、5月2日播き及び5月17日播きではチウラム粉衣の効果は一定していなかった。また、催芽の有無とチウラム粉衣組合せで出芽率が大きく向上することも無かった(図6)。

「ハツシモ」においても「コシヒカリ」の場合と同様に、4月13日播種ではチウラム粉衣により出芽率は向上した。また、5月2日播き及び5月17日播きにおいてもチウラム粉衣の出芽率向上効果が認められた。催芽の有無とチウラム粉衣組合せで出芽率が大きく向上することが無いことは「コシヒカリ」の場合と同様であった(図7)。

以上の結果から、出芽に万全を期すなら4月中旬以降の適期播種においてもチウラム粉衣を実施し、適期播種では催芽を実施することが望ましいが、催芽については、要する手間とその効果及び発芽相の進行した種子が低温に遭遇すると死滅しやすい¹¹⁾ことからからみて、浸種を取って実施する必要性はないと考えられた。

[要約]

苗立ちを安定化させるには、播種深度は深くても5 cm

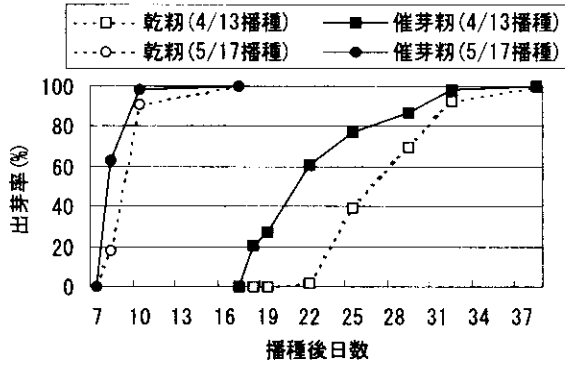


図4 出芽の進展 (コシヒカリ)
出芽率の分母は全出芽数とした

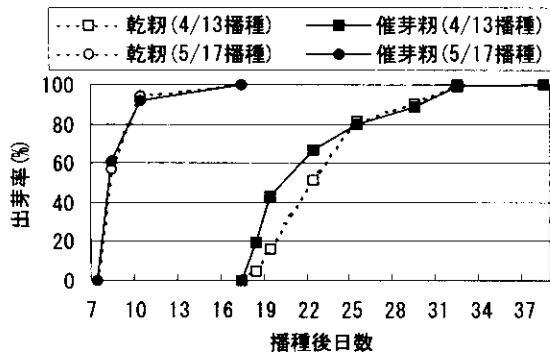


図5 出芽の進展 (ハツシモ)
出芽率の分母は全出芽数とした

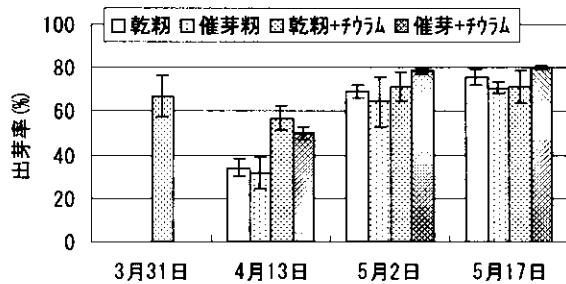


図6 催芽とチウラム粉衣が出芽に及ぼす影響 (コシヒカリ)

までとし、地下水位は低い方が良いと考えられた。

種子予措では、チウラムの種子粉衣は出芽率の向上に有効であった。しかし、催芽は出芽まで日数を短縮する効果や出芽率向上効果が必ずしも明確でなく、必要性は無いと考えられた。

5. 不耕起乾田直播における雑草防除体系

[目的]

不耕起乾田直播栽培では、耕起、代掻き作業が省略でき、省力的ではあるが、反面、除草剤使用回数が多く、コストを押し上げ、低農薬指向の時流にも逆行していることが問題点として指摘されている。

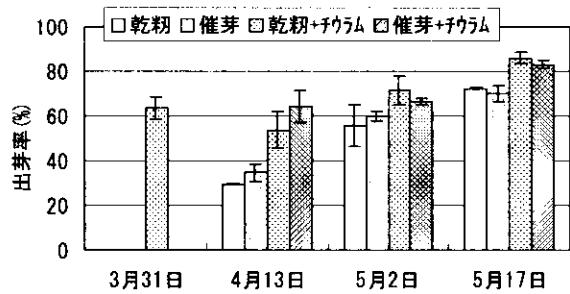


図7 催芽とチウラム粉衣が出芽に及ぼす影響 (ハツシモ)

本研究で使用している「ディスク駆動式汎用不耕起播種機」は、播種時に雑草が繁茂していても支障無く播種が可能、という利点を持っている。そこで、除草剤散布を播種後出芽前、乾田期入水前、入水後の3回とし、安定した効果が得られる除草体系を確立する。

[材料及び方法]

試験は主に所内試験水田で行った。

除草効果に影響する減水深は不耕起直播初年度であったが5 cm/日と大きい条件であった。

播種は、実際にディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いて行い、播種量は乾粉換算で7 kg/10aとした。

栽培に供した品種は「岐108号」とした。

耕種概要及び除草剤散布日は次表に示した。

耕種概要・除草剤散布日

年次	播種期 (月日)	入水期 (月日)	除草剤散布期 (月日)		
			播種後	乾田期	入水後
1997	4.23	5.31	4.25	5.28	-
1998	5.6	6.5	5.14	5.26	6.24

[結果及び考察]

土壌処理剤の苗立ちに及ぼす影響は年次によって異なり、1997年はプロメトリン・SAP乳剤が著しく苗立ちが悪く、ベンチオカーブ乳剤がやや不良となったが、イマゾスルフロン・ダイムロン・ペントキサゾン水和剤、イマゾスルフロン・ダイムロン・ピリブチカルブ水和剤は影響を受けなかった。一方1998年は、前年には土壌処理剤の影響を受けなかったイマゾスルフロン・ダイムロン・ペントキサゾン水和剤、イマゾスルフロン・ダイムロン・ピリブチカルブ水和剤を含め、いずれの処理区においても土壌処理剤の影響が認められた(表11)。これは、播種に用いたディスク駆動式汎用不耕起播種機では、完全不耕起とすると播種時の覆土が難しく、1998年は、露出した種籾が多く生じ、土壌処理剤の葉害による苗立ち不

表11 播種後出芽前に散布した土壌処理剤が苗立ちに及ぼす影響 (苗立ち数 本/m²)

処 理 区	1997	1998
無処理		143 (100)
GI	160 (100)	
GI+PS	111 (69)	
GI+B	147 (92)	130 (91)
GI+IDPe	191 (119)	137 (96)
GI+IDPi	170 (106)	129 (90)
GI+PB		110 (77)
GI+PBB		109 (76)

+は同時施用の意

GI ;グリホサートイソプロピルアミン

PS ;プロメトリン・SAP乳剤

B ;ベンチオカーブ乳剤

IDPe;イマゾスルフロン・ダイムロン・ペントキサゾン水和剤

IDPi;イマゾスルフロン・ダイムロン・ピリブチカルブ水和剤

PB ;プレチラクロール・ベンゾフェナップ水和剤

PBB ;ピリブチカルブ・プロモブチド・ベンゾフェナップ水和剤

良が発生したものと解された。

グリホサートイソプロピルアミンと同時施用した土壌処理剤各処理区の残草量は表12に示した。

試験に供した5種類の中では、ベンチオカーブが最も除草効果が大きく、イマゾスルフロン・ダイムロン・ペントキサゾン水和剤及びプレチラクロール・ベンゾフェナップ水和剤がこれに次ぎ、イマゾスルフロン・ダイムロン・ピリブチカルブ水和剤及びピリブチカルブ・プロモブチド・ベンゾフェナップ水和剤はやや効果が劣った。

乾田期茎葉処理剤に用いたシハロホップブチル・ベンタゾンの処理効果は著しく、検討したヒエの3L期から5L期の処理時期の範囲内で何れも有効であった(表13)。

播種後出芽前除草剤散布とシハロホップブチル・ベンタゾンによる乾田期人水前茎葉処理を組み合わせた場合の除草効果は表14に示した。

シハロホップブチル・ベンタゾン処理により、イマゾスルフロン・ダイムロン・ペントキサゾン水和剤及びイマゾスルフロン・ダイムロン・ピリブチカルブ水和剤処理のみでは取りこぼされたヒエも大幅に減らすことができ、また、残草したヒエも出穂までには至らなかった。

以上の結果から、ディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いた乾田直播栽培での除草体系を組み立て、図8に示した。

表12 播種後出芽前に散布した土壌処理剤が苗立ちに及ぼす影響 (苗立ち数 本/m²)

処 理 区	ヒ エ	残草合計
無処理	72 (100)	125 (100)
GI+B	0 (0)	1 (1)
GI+IDPe	6 (8)	6 (5)
GI+IDPi	15 (21)	18 (14)
GI+PB	5 (7)	5 (4)
GI+PBB	12 (16)	13 (11)

処理区の略号は表12と同じ

ヒエ以外の主な草種は、アゼナ、タカサブロー、ヤナギタデ、イヌタデ、スズメノテッポウ、スズメノカタビラ、カズノコグサであった

調査は入水後ピリミノバックメチル・ベンスルフロンメチル・メフェナセット粒剤を散布した後8月3日に実施

表13 乾田期茎葉処理剤の効果

(残草量 g/m²)

処 理 区 (播種後日数)	ヒ エ	残草合計
無 処 理	1.9	2.4 (100)
ヒ エ 3L 期 (+24)	0.3	0.4 (17)
ヒ エ 4L 期 (+35)	0.4	0.5 (21)
ヒ エ 5L 期 (+43)	0.4	0.6 (25)

残草調査はヒエ4L期処理3週間後に実施

ヒエ以外の主な草種は、アゼナ、タカサブローであった播種後グリホサートイソプロピルアミン散布した条件下で調査

表14 播種後出芽前除草剤散布と乾田期入

水前茎葉処理を組合せた場合の除草効果

(残草量 g/m²)

播 種 後	乾 田 期	ヒ エ	残草合計
無処理	無処理	72 (100)	125 (100)
GI+B	-	0 (0)	1 (1)
GI+B	SP	0 (0)	1 (0)
GI+IDPe	-	6 (8)	6 (5)
GI+IDPe	SP	6 (8)	7 (6)
GI+IDPi	-	15 (21)	18 (14)
GI+IDPi	SP	1 (1)	2 (1)

SP;シハロホップブチル・ヘベンタゾン、その他の略号は表12と同じ

ヒエ以外の主な草種は、アゼナ、タカサブロー、ヤナギタデ、イヌタデ、スズメノテッポウ、スズメノカタビラ、カズノコグサであった

調査は入水後ピリミノバックメチル・ベンスルフロンメチル・メフェナセット粒剤を散布した後8月3日に実施

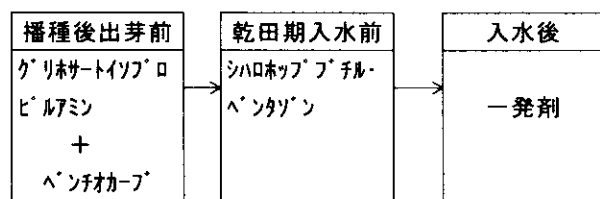


図8 除草体系

ただし、播種後出芽前の除草剤散布に当たり、種籾の露出が多い場合には、土壌処理剤の薬害回避のため、出芽前はグリホサートイソプロピルアミンのみ散布し、出芽揃い後にベンチオカーブを散布する。また、入水後の除草剤散布は、減水深が安定してからとするが、散布時の減水深が5 cm/日もあると効果が不安定となる。更に、乾田期入水前処理から10日以上間隔があった場合は、乾田期除草剤散布後に発生したヒエの葉令が2.5を越え、通常の一発剤では対応できず、別途除草剤を散布する必要があることがあることに留意する。

[要約]

不耕起乾田直播栽培における除草体系は、播種後出芽前がグリホサートイソプロピルアミンとベンチオカーブ、乾田期入水前はシハロホップブチル・ペンタゾン、入水後は一発剤とするのが適当であると考えられた。

6. グリホサート散布適期推定のための水稻出芽始期の予測

[目的]

除草効果をより安定化させるには、除草剤散布間隔を狭め、雑草の生育段階を過大に進めないことが重要となる。そのため、播種後出芽前除草剤グリホサートイソプロピルアミンの散布適期は水稻出芽直前が望ましく、出芽期が予測できれば適期に散布できることから、簡易に入手できる気温をパラメータとした水稻出芽始期予測モデルの作成を試みた。

[材料及び方法]

試験は圃場で行い、播種機にはディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いた。

モデル作成に用いた品種は「ハツシモ」の実際の圃場

試験で得られた播種期及び出芽始期のデータで、鳩胸状態までの催芽の有無は無視した。データ組数は10であった。

気温はアメダス岐阜の平均気温を用いた。

予測モデルは次によった

$DVI = \sum DVR$: DVIは播種日を0とし、日々のDVRを積算し1を越えた日を出芽始期とした

$$DVR = a(T-b) \quad \dots\dots\dots \text{①式}$$

$$DVR = [1-\exp\{-a(T-b)\}]/c \quad \dots\dots\dots \text{②式}$$

$$DVR = a/[1+\exp\{b(T-c)\}] \quad \dots\dots\dots \text{③式}$$

T:平均気温(°C)

a,b,c:パラメータ

[結果及び考察]

予測モデルを表15に、予測精度を図9に示した。出芽始期の当てはまり精度は、いずれのモデルを用いても僅差であることから、最も単純な①式が適当と考えられた。なお、作成したモデルの当てはまり精度があまり良くない主要因は、実際の圃場では雑草の繁茂や前年の糞の残渣の多少等により播種位置の地温が大きく異なるにもかかわらず、予測モデルの作成は地温ではなく気温を用いたことによるものと考えられた。

なお、①式は有効積算温度そのもので、 $\sum(T-10.2) = 90.9$ で出芽と表現できる。しかし、作成した予測モデルより数日早く出芽する場合も多く、これをそのまま出芽前茎葉処理除草剤の散布目安とはできない。そこで、有効積算温度を50°Cまで下げること、安全に出芽前茎葉処理除草剤の散布の目安とできるものと思われた(図10)。

「ハツシモ」で作成したモデルの「コシヒカリ」での適合性を検討したところ、乾籾播種とすると催芽籾播種により早い播種期で出芽始期が若干遅れることがあるが、実用上問題とならない差であり(表16)、いずれの場合にも有効積算温度を50°Cまで下げた安全限界を適用して差し支えないものと思われた。

[要約]

出芽期の早限は有効積算温度 $50 = \sum(T-10.2)$ により推定することで、安全に水稻出芽前茎葉処理除草剤が

表15 出芽始期予測モデルと当てはまり精度

予 測 モ デ ル	平均推定誤差 (日)	最大誤差 (日)
$DVR = 0.0110(T-10.2)$	2.2	6
$DVR = [1-\exp\{-0.745(T-13.5)\}]/9.4$	2.1	7
$DVR = 0.195/[1+\exp\{-0.309/(T-18.6)\}]$	2.4	6

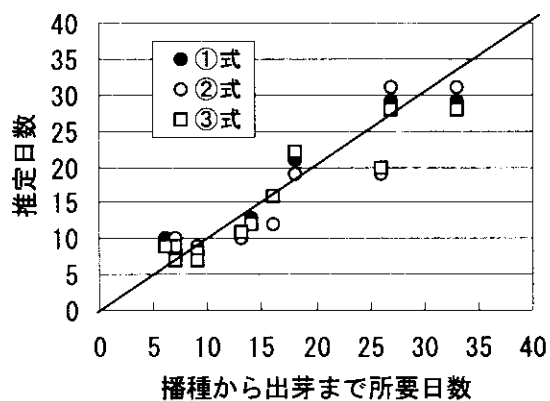


図9 出芽まで日数までの当てはまり精度

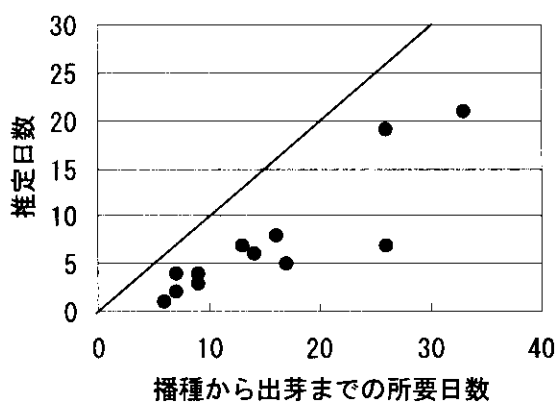


図10 出芽までの有効積算気温50°Cの推定日数と実日数

散布でき、これは催芽の有無にかかわらず、また「コシヒカリ」にも適用できるものと思われた。

7. 不耕起乾田直播における省力施肥体系

[目的]

ディスク駆動式汎用不耕起播種機は、作溝した播種溝へ肥料も同時に施用する方式としている。また、乾田不耕起直播では、播種・施肥後入水まで相当期間を乾田状態で経過することから、乾田期間に生成した硝酸態窒素は降雨や入水により容易に系外へ流亡する。そこで、肥料分による水稻の発芽障害の防止と施肥窒素利用率の向上を図り、慣行の移植栽培程度の生育・収量及び品質が確保できる、シグモイドタイプの被覆尿素の異なる溶出パターンを組合せた全量基肥施肥技術を検討する。

なお、不耕起乾田直播栽培において、リニアタイプの被覆尿素を用いた試験はあるが¹¹⁾、シグモイドタイプの被覆尿素のみを用いた試験例は少ない。

表16 出芽始期

播種日	ハツシモ		コシヒカリ	
	乾籾	催芽籾	乾籾	催芽籾
4.13	5.1	5.1	5.5	5.1
5.2	5.9	5.8	5.10	5.9
5.17	5.24	5.24	5.25	5.24
5.25	6.3	6.3	6.3	6.3

[材料及び方法]

試験1 不耕起乾田直播田の窒素無機化特性

不耕起乾田直播田の窒素無機化特性は、農研センター方式の未攪乱条件下での土壌の培養実験により求めた。

培養温度は20、25、30℃とした。

無機化特性値は杉原ら⁹⁾によった。

試験2 施肥法

耕種概要、出穂・成熟期

項目	1996	1997
不耕起		
播種期	5月13日	5月6日
播種量	7kg/10a	7kg/10a
苗立数	120本/m ²	100本/m ²
入水期	6月12日	6月11日
出穂期	8月31日	8月27日
成熟期	10月15日	10月13日
移植		
出穂期	9月1日	9月4日
成熟期	10月18日	10月23日

試験は所内試験圃場で行った。

供試品種は「岐108号」とした。

耕種概要及び出穂・成熟期等は前表のとおりであった。

施肥法に係る試験区の設定は次表によった。なお、参考区として移植栽培区(基肥IB050(5)、穂肥IB4号(4)、()内は10a当たりの窒素施肥量kg)を設置した。

試験に使用した被覆尿素の溶出パターンは、圃場埋設により、適宜取り出した被覆尿素の被覆膜内に残存した窒素量を求めることによった。

施肥法に係る試験区の設定

試験年	区	施肥窒素量(kg/10a)			使用肥料名と施用量
		基肥	追肥	合計	
1996	I	9	0	9	LP70(5)+LPSS100(4)
"	II	11	0	11	LP70(7)+LPSS100(4)
1996, 1997	III	9	0	9	LPS60(5)+LPSS100(4)
1997	IV	9	0	9	LPS60(4)+LPSS100(5)

各区ともP₂O₅及びK₂Oは各8 kg/10aをPK化成で表層施用

【結果及び考察】

試験1 地力窒素の発現

乾田直播とすると、地力窒素発現量は移植田より著しく低下することが知られている³⁾。当所の不耕起乾田直播水田においても、未攪乱土壌の窒素無機化特性値からは無機化窒素量が33%まで減少していることが認められた(表17)。

表17 未攪乱土壌の窒素無機化特性

土壌	No (mg/100g)	k (day ⁻¹)	C (mg/100g)	Ea (cal/mol)
未攪乱	1.14	0.015	0.08	25000
代播き	3.46	0.026	0.13	23000

No: 易分解性窒素
k: 速度定数(25℃)
C: 無機態窒素量
Ea: 活性化エネルギー

また、窒素無施用区の窒素吸収量をみると、不耕起栽培とすることで窒素吸収量が69%まで減少していることが認められ、時期別の窒素吸収量をみると、最高分げつ期までが著しく少ないことが特徴的であった(図11)。

試験2 施肥法

試験に用いた被覆尿素の溶出パターンは、図12に示した。

LP70号は施肥直後から溶出し始め、入水期(6月12日)頃迄に24%、出穂期までに88%溶出したのに対して、初期の溶出を抑制したシグモイドタイプのLPS60及びLPSS100は、入水期頃迄の溶出が抑えられ、出穂期迄にLPS60は90%、LPSS100は80%が溶出した。

施肥試験における窒素吸収量及び施肥窒素利用率は表18に示した。

被覆肥料の組合せとした施肥区での施肥窒素利用率は58~82%の値を示し、慣行の移植栽培が33~39%の値を示したのに対して良好な値を示した。

被覆肥料を組み合わせた処理区の中では、I区が基肥相当分にリニアタイプのLP70を用いているうえに、施肥窒素量が移植栽培の分施肥系と同じ9 kg/10aであったため、乾田期間中に溶出した窒素の流亡等により、最終的な窒素吸収量は9.9kg/10aとなり、施肥窒素の利用効率も58.2%と低かった。

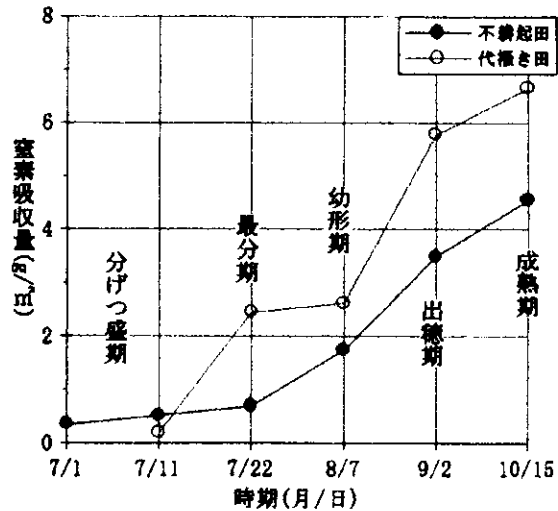


図11 無窒素区窒素吸収量の推移

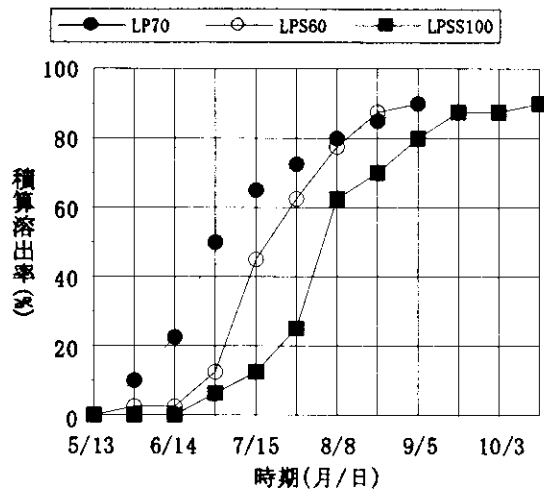


図12 被覆尿素の溶出パターン (1996)
注: 入水日は6月12日

表18 窒素吸収量及び施肥窒素利用率

(単位 %)

項 目	1996				1997		
	I 区	II 区	III 区	移植	III 区	IV 区	移植
窒素吸収量 (kg/10a)	9.9	12.6	12.0	10.3	11.3	13.1	9.3
施肥窒素利用率* (%)	58	72	81	39	62	82	33

* : (窒素吸収量 - 窒素無施用栽培区窒素吸収量) / 施肥窒素量 × 100

他方、II、III、IV区は、年次等による変動が大きいものの、窒素吸収量は11~13kg/10a程度あり、施肥窒素の利用率も61~82%と高かった。

成熟期の生育、収量は表19に示した。

表19 成熟期の生育・収量

年度	区	稈長 (cm)	穂数 (本/mi)	藁重 (kg/a)	精玄米重 (kg/a)	屑米重 (kg/a)
1996	I	84	277	92.5	49.3	2.0
	II	88	303	98.3	57.6	1.8
	III	87	383	97.5	59.7	3.8
	移植	84	290	107.8	54.4	
1997	III	80	288	91.0	57.5	0.8
	IV	85	290	96.3	58.9	0.9
	移植	81	302	83.8	60.2	0.7

1996年の収量は、I区が慣行の移植栽培に及ばなかったものの、II、III区は同等以上の結果を得ることができた。1997年の収量は、III、IV区とも十分な収量を得ることができたが、慣行の移植栽培に僅かに及ばなかった。

[要 約]

播種溝への播種同時施肥とするディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いる直播栽培では、シグモイドタイプのLPS60とLPSS100を用いる一発施肥とすることで、窒素の初期溶出を抑制し、水稻種子の発芽に悪影響を与えることなく、また入水等による窒素の流亡が防げ、施肥窒素の利用率が高まることから、不耕起乾田直播栽培での地力窒素発現量の不足分を増肥することなく移植栽培と同等の収量が得られるなど、省力的でかつ環境に優しい施肥法を組み立てることができた。

8. 「ハツシモ」、「コシヒカリ」の施肥法

[目 的]

米価が低迷する昨今の情勢下にあつて、営農現場においては、有利販売ができる岐阜県の銘柄米「ハツシモ」、「コシヒカリ」を導入したいという意向が強い。また、早生の「コシヒカリ」と晩生の「ハツシモ」を導入する

ことで、収穫時期の分散も可能になる。そこで、不耕起乾田直播栽培にこれら品種がスムーズに導入されるよう、一発施肥を前提とし、これら品種に適合した被覆尿素の種類と混合比率、施肥量を明らかにしようとした。

[材料及び方法]

試験1 「ハツシモ」の施肥法

試験は1999、2000年の2カ年に渡って実施したもので、1999年は基肥相当として、被覆尿素LPS40とLPS60を、穂肥相当としてLPSS100とLPSS120を供試、それぞれ基肥相当窒素量4kg/10a、穂肥窒素相当量4kg/10a、合計施肥窒素量は8kg/10a一定とした組合せを検討した。2000年は1999年の試験で好適であった組合せで窒素の施用量を検討した。

播種機はディスク駆動式汎用不耕起播種機を用い、播種溝内播種同時施肥とした。播種量は乾籾で7kg/10aとした。

窒素以外のリン酸、加里及び土壌改良材は施用しなかった。

試験2 「コシヒカリ」の施肥法

試験は「ハツシモ」の場合と同様に2カ年に渡って実施したもので、1999年は基肥相当として、被覆尿素LPS40とLPS60を、穂肥相当としてLPSS100とLPSS120を供試、合計施肥窒素量は7kg/10a一定とした組合せを検討した。2000年は1999年の試験で好適であった組合せで窒素の施用量を検討した。

播種機はディスク駆動式汎用不耕起播種機を用い、播種溝内播種同時施肥とした。播種量は乾籾で7kg/10aとした。

窒素以外のリン酸、加里及び土壌改良材は施用しなかった。

[結果及び考察]

試験1 「ハツシモ」の施肥法

「ハツシモ」では、播種期による収量差はあるものの、肥料の組合せによる収量差は無かった。この中で、基肥相当分としてLPS40を用いると、LPS60の場合に比べ両播種期に共通して下位節間が短くなったが、倒伏指標値からは耐倒伏性が強まるとは認められなかった(表20)。

一方、玄米品質をみると、穂肥相当分としてLPSS120を用いた場合、LPSS100を用いた場合と比較して、食味に関連する蛋白含量が両播種期に共通して高まることが認められたが、その他外観品質には大差無かった(表21)。

以上の結果、「ハツシモ」の場合、基肥相当分としてはLPS40とLPS60のどちらでも良く、穂肥相当分としてはLPSS120を用いると玄米中蛋白含量が増すことからLPSS100が適当であると考え、この組合せで窒素施用量を検討した。

施肥量が生育・収量・品質に及ぼす結果は表22に、食味に及ぼす影響は表23に示した。

LPSS60とLPSS100を等量混合した肥料を用いた「ハツシモ」では、窒素施用量0.7kg/aと0.8kg/aの間に生育の差は殆ど無く、収量・品質にも差は無かった。窒素施用量を1.0kg/aとすると、生育量は多く、mi粗数も増加したことから登熟歩合は低下したものの、収量増となった。しかし、窒素施用量1.0kg/a区は、やや草姿が乱れ、玄米外観品質と食味値の低下が見られたことから、「ハツシモ」において窒素施用量を1.0kg/aまで増肥しても倒伏は無いものの、安定した食味・品質を確保するには、窒素施用量は0.7~0.8kg/a程度に抑えることが必要と考えられた。

表20 「ハツシモ」における被覆尿素の組合せと生育及び収量

播種期	施肥法() ; N量kg/10a	穂数 (本/m ²)	mi粗数 (100粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (kg/a)	稈長 (cm)	倒伏	下位節長 (cm)	c L r	押倒抵抗 (kg)	挫折荷重 (kg)
4月15日	LPS40(4)+LPSS100(4)	231	242	85.5	24.8	51.5	87	0.5	11.5	0.15	1.02	0.93
	LPS60(4)+LPSS120(4)	237	230	86.9	25.8	51.4	88	0.5	17.1	0.16	0.86	0.86
	LPS60(4)+LPSS100(4)	237	248	88.0	24.7	52.5	92	0.5	18.2	0.13	1.20	0.70
5月10日	LPS40(4)+LPSS100(4)	323	223	85.2	24.9	47.3	92	0.5	12.6	0.12	1.36	0.60
	LPS60(4)+LPSS120(4)	266	213	88.7	25.0	47.3	88	0.5	15.0	0.13	1.11	0.77
	LPS60(4)+LPSS100(4)	325	241	79.6	24.5	47.0	96	0.5	15.3	0.11	1.30	0.73

下位節間長；穂首を第1節とした第4節以下の長さ
倒伏；無0~完全倒伏5

表20 「ハツシモ」における被覆尿素の組合せと品質・蛋白含量等

播種期	施肥法() ; N量kg/10a	品質	粒重 (g)	整粒歩合 (%)	蛋白含量 (%)
4月15日	LPS40(4)+LPSS100(4)	4.7	800	84.7	7.28
	LPS60(4)+LPSS120(4)	4.0	808	85.1	7.78
	LPS60(4)+LPSS100(4)	5.0	807	81.0	7.21
5月10日	LPS40(4)+LPSS100(4)	4.7	814	82.9	6.61
	LPS60(4)+LPSS120(4)	4.0	811	83.8	6.86
	LPS60(4)+LPSS100(4)	4.0	809	83.3	6.63

品質；上々1~下々9

整粒歩合；品質判定機(RN500)によった

蛋白含量；玄米の近赤外分析によった

表22 「ハツシモ」における窒素施肥量と生育・収量・品質

被覆尿素の組合せ：LPS60:LPSS100=1:1

窒素施肥量 (kg/a)	全重 (kg/m ²)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 ^{注1}	収量 (kg/a)	mi粗数 (×100粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	品質 ^{注2}
0.7	1.46	88	326	0.5	54.5	276	79.6	24.8	3.5
0.8	1.43	89	317	0.5	55.3	277	80.2	24.9	3.5
1.0	1.58	92	361	1	57.9	327	76.8	24.8	4

倒伏 無し：0~完全倒伏：5

品質 上々：1~下々：9

表23 「ハツシモ」における窒素施肥量と食味値

窒素施肥量 (kg/a)	Visco	T-N (%)	Protein (%)	HON
0.7	11.4	1.10	6.58	91.1
0.8	14.5	1.13	6.71	87.8
1.0	10.6	1.31	7.82	73.7

表24 「コシヒカリ」における被覆尿素の組合せと生育及び収量

施肥法(): N量kg/10a	穂数 (本/m)	m ² 穂数 (100粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	収量 (kg/a)	稈長 (cm)	倒伏	下位節長 (cm)	c L r	押倒抵抗 (kg)	性折荷重 (kg)
LPS40(3)+LPSS100(4)	314	257	86.7	22.4	49.9	87	0.5	19.1	0.11	0.85	0.60
LPS40(4)+LPSS100(3)	305	235	86.9	22.4	45.9	82	0.5	17.8	0.12	0.72	0.61
LPS40(3.5)+LPSS100(3.5)	307	242	85.3	22.0	49.4	79	0.5	18.0	0.11	0.82	0.61
LPS60(3)+LPSS100(4)	295	246	86.3	22.6	47.9	84	0.5				
LPS60(4)+LPSS100(3)	311	236	86.2	22.9	46.6	86	0.5				
LPS60(3.5)+LPSS120(3.5)	300	240	86.7	22.9	47.6	80	0.5				

下位節間長；穂首を第1節とした第4節以下の長さ
倒伏；無0～完全倒伏5

表25 「コシヒカリ」における被覆尿素の組合せと生育及び収量

施肥法(): N量kg/10a	品質	粒重 (g)	整粒歩合 (%)	蛋白含量 (%)
LPS40(3)+LPSS100(4)	3.5	845	77.2	6.57
LPS40(4)+LPSS100(3)	3.5	844	80.4	6.60
LPS40(3.5)+LPSS100(3.5)	3.5	839	77.9	6.30
LPS60(3)+LPSS100(4)	3.0	840	80.9	6.49
LPS60(4)+LPSS100(3)	3.5	842	82.4	6.55
LPS60(3.5)+LPSS120(3.5)	4.0	846	79.5	6.73

品質；上々1～下々9

整粒歩合；品質判定機（RN500）によった

蛋白含量；玄米の近赤外分析によった

試験2 「コシヒカリ」の施肥法

「コシヒカリ」では、基肥相当分として用いたLPS40及びLPS60に共通して4-3（基肥相当窒素4kg/10a-穂肥相当LPSS100窒素3kg/10a）とした場合に、3-4あるいは3.5-3.5に比べm²穂数が少なく減収した。LPS40とLPS60の比較では、3-4あるいは3.5-3.5とした場合にLPS40が僅かに多収を示していた。倒伏抵抗性は、被覆尿素の混合比率を変えても殆ど変化が見られなかった（表24）。また、外観品質及び蛋白質含量は被覆尿素の組合せによって大きな違いを生じることは無かった（表25）。

以上のことから、基肥相当分としてはLPS40が良く、穂肥相当のLPSS100との組合せは、窒素成分で3-4あるいは3.5-3.5が適当であると考えられた。そこで、この組合せで窒素施肥量を試験した。また、合わせて基肥相

当のLPS40とLPS60の適合性についても再度試験を行った。

LPS40とLPSS100を等量混合した肥料を用いた「コシヒカリ」では、「ハツシモ」と同様に窒素施用量0.7kg/aと0.8kg/aの間に生育の差は殆ど無く、収量・品質にも差は無かった。窒素施用量を1.0kg/aとすると、生育量は多く穂数増となり、倒伏もやや草姿が乱れる程度であったが、収量増は認められず（表26）、玄米中蛋白含量が増加し食味値が低下がした（表27）。なお、本年度は夏期の高温により、「コシヒカリ」では基白米、乳白米等の不完全粒が多く発生し、品質の低下が著しかったが、施肥量の多少による品質差は観察されなかった（表26）。

また、この試験の中で基肥に相当するLPS40とLPS

表26 「コシヒカリ」における窒素施肥量と生育・収量・品質

窒素施肥量 (kg/a)	全重 (kg/m ²)	稈長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 ^{注1}	収量 (kg/a)	m ² 穂数 (×100粒)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	品質 ^{注2}
[LPS40:LPSS100 1:1]									
0.7	1.17	83	315	0.5	58.0	293	91.3	21.7	5
0.8	1.29	84	342	0.5	58.0	301	89.3	21.6	5
1.0	1.32	86	343	1	59.5	344	80.1	21.5	5
[LPS60:LPSS100 1:1]									
0.7	1.19	83	310	0.5	56.2	301	87.4	21.4	5

倒伏 無し：0～完全倒伏：5

品質 上々：1～下々：9

表27 「コシヒカリ」における窒素施肥量と生育・収量・品質

窒素施肥量 (kg/a)	Visco	T-N (%)	Protein (%)	HON
[コシヒカリ LPS40:LPSS100 1:1]				
0.7	17.9	1.16	6.89	92.5
0.8	20.5	1.20	7.13	90.8
1.0	20.4	1.26	7.53	86.8
[コシヒカリ LPS60:LPSS100 1:1]				
0.7	20.6	1.20	7.16	92.8

60を再度比較した結果、僅かにLPS40の方が収量増となることから、溶出期間の短い肥料としてLPS40を採用することに問題はないと考えられた(表27)。

以上の結果、不耕起栽培とすると「コシヒカリ」では不耕起栽培とすると窒素施肥量を1.0kg/aとしても倒伏はないものの、安定した品質を確保するには、窒素施肥量は0.7～0.8kg/a程度に抑えることが必要と考えられた。

[要約]

「ハツシモ」での被覆尿素の組合せはLPS40あるいはLPS60とLPSS100の組合せが適当で、「コシヒカリ」の場合はLPS40とLPSS100の組合せが適当であった。

合計の窒素施肥量は両品種とも窒素施用合計量を1.0kg/aとしても倒伏はなかったものの、安定した品質を確保するには、窒素施肥量は0.7～0.8kg/a程度に抑えることが必要と考えられた。

7. 種子塗沫処理による縞葉枯病防除効果

[目的]

育苗箱施薬による病害虫防除ができない不耕起乾田直播栽培においては、「ハツシモ」「コシヒカリ」など縞葉枯病の防除が困難となる。そこで、移植栽培での箱施薬に代替える方法として種子の薬剤処理による防除効果を検討する。

[材料及び方法]

供試した薬剤はイミダクロプリド50%顆粒水和剤で、10a当たり播種量である乾籾7kgに薬剤30gあるいは40gを水200mlに希釈して塗沫処理した。

供試品種は縞葉枯病に罹病性の「ハツシモ」で、5月11日播種の不耕起乾田直播栽培で実施した。

[結果及び考察]

試験を実施した水田でのヒメトビウンカは少発生条件下であったが、イミダクロプリドのヒメトビウンカに

表28 イミダクロプリド種子塗沫処理おヒメトビウンカと縞葉枯病の発生抑制効果

使用量		38日後		46日後		53日後		61日後		67日後		75日後		82日後		縞葉枯病 発病基率 (%)	薬害
		A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L	A	L		
30g/10a	虫数	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	1.5	0.5	2.0	2.5	1.5	0.0	0.5	無
	密度指数	29		20		0		15		22		36		13			
40g/10a	虫数	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	2.5	0.0	0.5	1.0	1.5	0.5	0.0	0.5	無
	密度指数	14		0		6		15		6		36		4			
無処理	虫数	3.5	0.0	2.5	0.0	1.5	6.5	0.5	16.5	1.5	7.5	3.5	3.5	1.5	10.0	9.5	
	密度指数	29		20		0		15		22		36		13			

虫数は25株相当の払い落とし2ヶ所の平均

A：成虫 L：幼虫

表29 イミダクロプリドの種子塗沫処理と苗立ち及び生育収量との関係

使用量 (g/10a)	苗立ち数 (本/m ²)	収量 (kg/a)	穂数 (本/m ²)	全重 (kg/a)
30	200	52.7	337	1654
40	190			
無処理	190	38.5	293	1436

対する防除効果は30g処理及び40g処理とも高く、無処理区を100とした密度指数は低く推移し、縞葉枯病の発病茎率も無処理区の5%程度の発生に止まった(表28)。

また、イミダクロプリドの苗立ちへの悪影響は認められず、縞葉枯病の発生を大きく軽減したことから、収量増の結果を得ることができた(表29)。

なお、イミダクロプリドの種子への塗沫処理は未登録の方法であり、現在登録へ向けての試験を実施中であり、実際圃場でこの方法は使用できないので、縞葉枯病については当面本田処理で対応する必要がある。

[要約]

縞葉枯病に対するイミダクロプリドの種子への塗沫処理は防除効果が高く、薬害も無いことから実用性が高い。早期の農業登録拡大が望まれる。

10. 不耕起乾田直播の生育診断技術

[目的]

不耕起乾田直播栽培において、生育ステージを予測することは、防除計画、収穫計画の的確かつ効率的な立案に必要である。また、生育の過不足等を把握することは、的確な栽培管理を行い、安定した収量等の獲得に不可欠である。

そこで、不耕起乾田直播栽培における出穂期、成熟期といった生育ステージを予測するモデルを作成するとともに、生育の過不足の診断法と対応技術について検討する。

[材料及び方法]

試験は所内試験水田で行い、供試品種は「岐108号」とした。

播種及び施肥は、ディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いた。肥料はシグモイドタイプの被覆尿素を用いた。

生育ステージの予測は、発育指数の概念によった²⁾。

生育ステージ予測のための生育データは次によった。

- ・ 出穂期：1995～1998年の圃場試験データを用いた。
出穂期は、出穂可能な全茎の内、出穂茎が40%を越えた日とした。
- ・ 成熟期：1995～1998年の圃場試験データを用いた。
成熟期は帯緑割合が10%を下回った日

とした。

生育量の把握は武田⁷⁾に倣い、草丈×莖数×葉色(以下計量診断値という)を用いた。但し、葉色は葉色板読み値ではなくグリーンメータ値とした。

[結果及び考察]

出穂期の予測モデルは④式に、成熟期の予測モデルは⑤式に示した。ただし、出芽期は、播種期のDVIを0とし、日々のDVRを積上げたDVIが1を越えた日とした。同様に、出穂期は播種期のDVIを0とし、成熟期は出穂期のDVIを0としたものである。

$$DVI = \sum DVR$$

DVI；発育指数

DVR；発育速度(day⁻¹)

出穂期

$$DVR = \frac{1 - \exp\{0.12(L-17.1)\}}{1 + \exp\{-0.41(ta-22.6)\}} \dots\dots④式$$

L；日照時間

ta；気温

成熟期

$$DVR = \frac{0.023}{1 + \exp\{-0.40(ta-15.6)\}} \dots\dots⑤式$$

ta；気温

予測精度は、図13に示したとおりで、特に成熟期の当てはまり精度が悪かった。これは、不耕起乾田直播栽培とすると、出穂が移植に比べ斉一性に欠けることから成熟の揃いが不良となり、成熟期の判定に大きな誤差を生じたことによるものと考えた。

穂肥の追加施用による生育制御のための生育診断指標として、出穂20日前の計量診断値に着目した。この時期の計量診断値と収量の関係は、目標収量を54kg/aにおくと、計量診断値が100万を下回ると目標収量が得られない場合が出てくることが認められた(図14)。

生育制御のための穂肥施用に当たっては、精米中の蛋白質含量と生育制御の食味評価の間に負の相関があることから⁴⁾、不用意な施肥により蛋白質含量を増加させない配慮が必要となる。そこで、「岐108号」の乾田不耕起直播栽培において、窒素施肥量を敢えて減らし生育不足とした条件下での穂肥施用が玄米中蛋白質含量に及ぼす影響を調査した。その結果、穂肥窒素量を5kg/10aとすると、玄米中蛋白質含量の増加が目立つが、3kg/10aなら標準区の蛋白質含量と変わらなかった(表30)。このことから、生育制御のための穂肥窒素量は3kg/10a程度に止めておいた方が良いと考えられた。

そこで、計量診断値が100万に満たない場合に窒素量0.3kg/aを穂肥時に施用し増収効果を検討した結果、平均9kg/aの収量増を得ることができた(表31)。

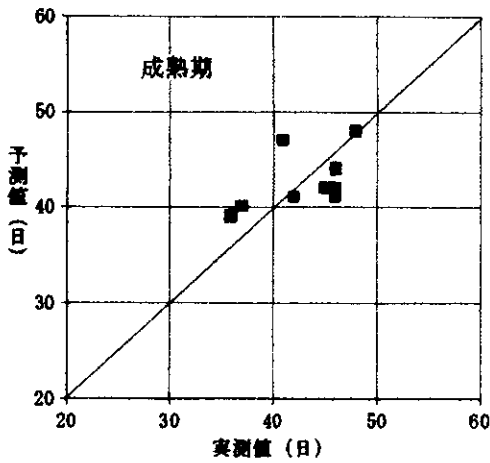
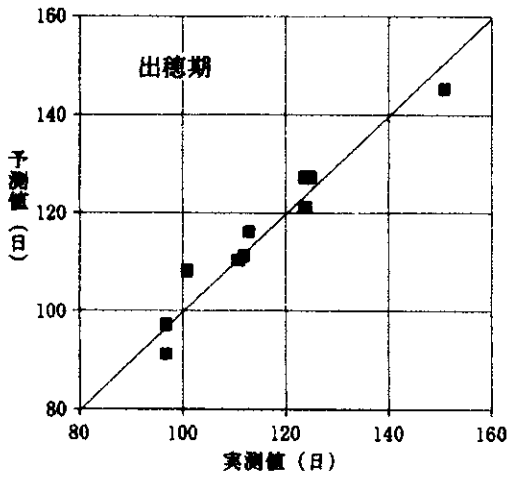


図13 出穂期、成熟期予測モデルの予測精度

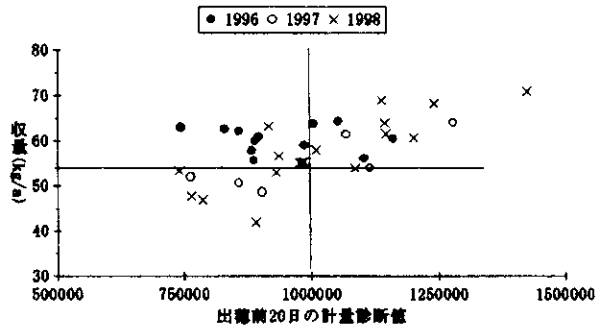


図14 出穂20日前の計量診断値と収量の関係
注；計量診断値 草丈(cm)×莖数(本/m²)×葉色(展開第2葉グリーンメータ読み値)

表30 穂肥窒素量と収量、品質

基肥+穂肥 (kg/a)	収量 (kg/a)	外観品質 (上々1~下々9)	蛋白含量 (%)
0.6	50.2	2.7	7.17
0.6+0.3	56.4	2.8	7.68
0.6+0.5	57.4	2.9	8.08
0.9(標準)	55.9	2.8	7.62

表31 計量診断値が1,000,000に満たない場合の穂肥施用の効果

計量診断値	穂肥無施用			穂肥(窒素0.3kg/a)施用		
	収量(kg/a)	整粒率(%)	外観品質	収量(kg/a)	整粒率(%)	外観品質
739000	53.3	82	3	64.4	85	4
764000	47.7	87	3	56.2	91	3
786000	46.9	90	3	55.3	91	3
890000	41.9	86	3	52.7	88	3
930000	53.0	81	4	61.0	87	3
935000	56.6	82	3	72.1	79	3
976000	55.0	88	3	60.0	86	3
980000	55.1	86	3	58.3	89	4
984000	55.4	80	4	66.5	85	4
平均	51.7	85	3.2	60.7	87	3.3

整粒率 米粒判別機(K社RN500)による 外観品質 上々1~下々9の達観調査

[要 約]

不耕起乾田直播栽培における出芽期、出穂期、成熟期の予測モデルを作成したが、移植栽培の場合に比べ特に成熟期の精度が劣った。また、穂肥施用による生育制御のための診断手法として、出穂20日前の計量診断値に着目し、目標収量を54kg/aとすると、この値は100万あればよいと考えられた。計量診断値100万以下での穂肥施用（窒素0.3kg/a）の増収効果は、平均9.0kg/aと大きく、玄米品質の低下も無かった。

11. 不耕起乾田直播栽培の現地実証

[目 的]

農林水産省農業研究センターが開発した、ディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いた直播栽培は、省力的な技術として、従来の移植栽培の限界を越える大面積での取り組みが可能となる。

そこで、これまでに得られた研究成果等を組み合わせ技術体系を作り、現地実証を行い、直播技術を導入した場合の作業体系の評価及び現地適応性の評価を行う。

[材料及び方法]

現地実証試験は、大垣市のOM営農組合管理の水田で行った。当営農組合は組合員11人（組合長、オペレータ9人、事務員1人）で110haの受託経営を行っている。当該地域は海拔0mの輪中地帯にあり、水利は番水制で、6月にならなければ用水が配水されず、また、用・排水未分離となっている。土壌は細粒グライ土に分類されている。

播種機は、農研センターが開発したディスク駆動式汎用不耕起播種機を用いた。

試験に用いた品種、耕種概要等は次表のとおりであった。

現地実証試験の供試品種、耕種概要等

年次 (年次)	品 種	播種期 (月日)	施 肥 法	除 草 体 系
1995	岐108号	5.19	LP70(7)+LPSS100(4)	播種前 (5. 9) グリホサートイソプロピルアミン 播種日 (5.19) グリホサートイソプロピルアミン・プロメトリン・SAP 試験中止により以降散布なし
1996	岐108号	5.13	LP70(7)+LPSS100(4)	播種前 (4. 2) グリホサートイソプロピルアミン 播種後 (5.16) プロメトリン・ベンチオカーブ 入水後 (6.11) シハロホップブチル・ベンタゾン
1997	岐108号 ハツシモ	5. 6	LPS60(5)+LPSS100(4)	播種前 (4. 8) グリホサートイソプロピルアミン 播種後 (5.12) プロメトリン・ベンチオカーブ 乾田期 (6. 3) シハロホップブチル・ベンタゾン 入水後 (6.25) ビリミノバックメチル・ベンスル・フロンメチル・メフェナセット
1998	ハツシモ	4.30	LPS60(5)+LPSS100(4)	播種前 省略 播種後 (5. 6) グリホサートイソプロピルアミン・プロメトリン・ベンチオカーブ 乾田期 (5.31) シハロホップブチル・ベンタゾン 入水後 (6.18) ビリミノバックメチル・ベンスル・フロンメチル・メフェナセット

[結果及び考察]

1996年から1998年にかけての収量、作業時間、生産費の変遷は表32に示した。

1995年は、播種深度が一定せず、播種後の覆土もうまくできないなど播種機の不具合があり、実用機とするには播種機の完成度を高める必要があった。また、土壌処理剤として用いた除草剤の薬害により苗立ちが著しく不良となったことから、試験継続を断念した。

1996年から1998年にかけての収量、作業時間、生産費の変遷は表33に示した。

1996年は、改良型の播種機を用いたことから、出芽・苗立ちが安定し、慣行移植栽培と同等の収量・品質を得ることができた。作業時間及び生産費は慣行移植栽培より減少したが、除草効果が十分でなく、手取り除草が必要であった。

1997年の播種は降雨後間が無い不良条件下での作業となり、播種後も滞水するなど不良条件下での出芽・苗立ちであったが、苗立ち数はどうにか確保され、移植栽培に遜色のない収量・品質が得られた。また、作業時間、生産費は移植栽培より少なく、省力・低コスト生産技術

表32 現地実証試験における収量、作業時間、生産費

項 目	1996		1997		1998	
	直播	移植	直播	移植	直播	移植
収 量 (kg/10a)	514	519	407	429	498	294
作業時間 (時間/10a)	10.3	12.6	5.6	11.9	6.9	8.1
生産費 (千円/10a)	92.6	99.0	81.1	90.0	83.1	77.1
(千円/10a)	10.8	11.4	12.0	12.9	10.0	15.7

1996 : 品種「岐108号」、収量は面積刈り

1996、1997: 品種「ハツシモ」、収量は実収

表33 延作業時間 (1998 時間/10a)

作 業 名	不耕起 乾田直播	移 植 (普通期)
弾丸暗渠	0.30	-
作溝	0.46	-
基肥散布	-	0.08
種子余措	0.30	0.14
施肥・播種	2.10	-
育苗	-	2.80
耕起	-	0.58
代かき	-	0.42
移植	-	0.67
除草	1.37	1.19
病虫害防除	0.09	0.25
収穫・運搬	1.06	1.06
水管理	1.10	1.10
畦畔管理	0.13	0.13
乾燥・調整		委託
合 計	6.91	8.09

表34 生産費 (1998年 円/10a)

費 目	不耕起 乾田直播	移 植 (普通期)
物財費	69328	60882
種苗費	3693	4102
肥料費	4371	5600
農業薬剤費	13950	7840
光熱動力費	1800	2656
土地改良及び水利費	3065	3065
賃借料及び料金	14620	6860
物件税及び公課諸負担	2643	2643
建物費	4433	4433
農機具費(30ha規模)	20437	23367
生産管理費	316	316
労働費	13820	16180
費用合計	83148	77062
副産物価格	0	0
生産費	83148	77062
60kg当たり生産費	10018	15727

土地改良及び水利費、物件税及び公課諸負担、建物費、生産管理費は平成9年度米生産費(岐阜県)によった。

であることが実証できた。残された課題として、除草の効率化と省力化が指摘された。

1998年は、慣行の移植栽培では、「ハツシモ」が、登熟期に2回の台風の襲来を受け倒伏し、また台風後も降雨が続き穂発芽の被害を受けるなど、生産が極めて不安定であった。このような状況の中で、不耕起乾田直播栽培ではなびき程度の倒伏で済み、倒伏に強く安定した栽培法であることが実証できた。また10a当たり労働時間は6.91時間、10a当たり生産費は83,148円、60kg当たり生産費は10,018円と省力・低コスト栽培となることが実証できた(表33、34)。

[要 約]

不耕起乾田直播栽培とすることで、10a当たり労働時

間は6.91時間、10a当たり生産費は83,148円、60kg当たり生産費は10,018円と、省力・低コスト栽培となることが実証できた。

また、不耕起乾田直播栽培は倒伏に強く、安定した栽培法であることも実証することが出来た。

不耕起乾田直播栽培でさらに省力・低コスト化を進めるには、播種機の完成度を高めること、及び除草剤使用回数を削減する技術開発が必要であると考えられた。

総合考察

これまでに得られた知見をもとに、ディスク駆動式汎用不耕起播種機による不耕起乾田直播栽培の栽培体系のプロトタイプを組み立て図15に示した。

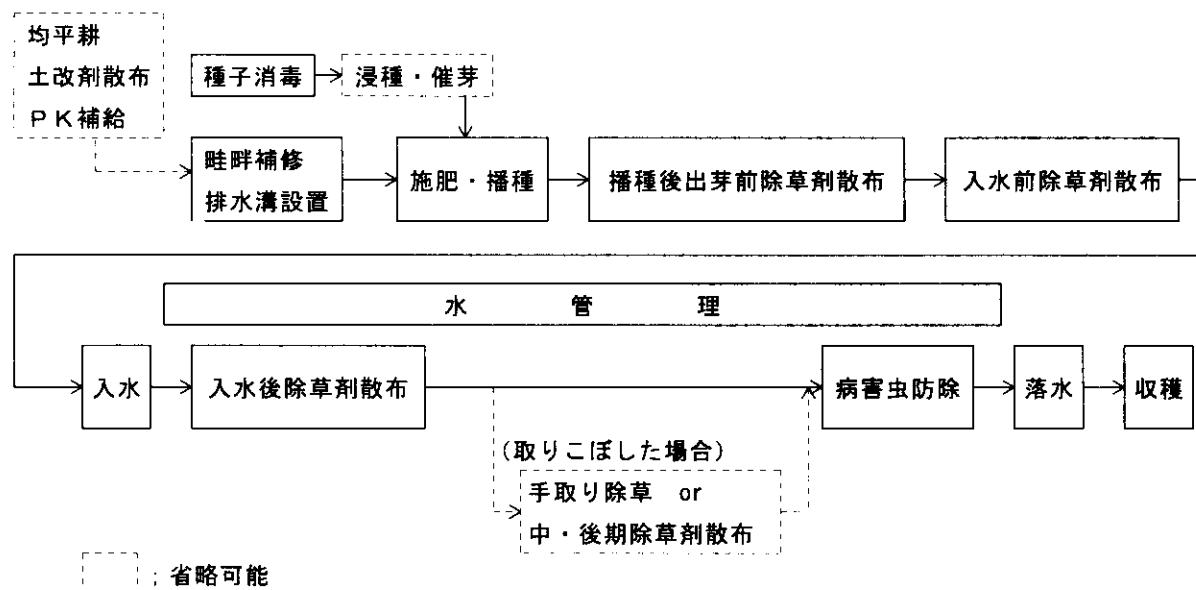


図15 不耕起乾田直播栽培体系

ディスク駆動式汎用不耕起播種機による不耕起乾田直播栽培は、前年の収穫跡を耕起しないまま、翌春に種籾を本田に播種する栽培法である。播種は乾田状態で実施されるため、代掻き水等が不要で、6月にならなければ用水がこない番水地帯では配水前が播種適期となるなど、代掻き・田植えを中心とした春期作業のピークの緩和に極めて有効な栽培法である。

不耕起栽培では、稈基の位置が浅く倒伏し易い⁶⁾と言われており、不耕起栽培とすることで倒伏が助長される懸念があった。しかしながら本研究の中で、不耕起乾田直播栽培とすると耐倒伏性が向上し、倒伏し易い本県の銘柄米である「ハツシモ」、「コシヒカリ」では移植栽培よりむしろ安定した栽培が可能になることが明らかとなった。

播種量は、目標とする苗立ち数及び苗立ち率から算定されるものである。しかしながら、苗立ち率は明渠等による排水や播種深度の調節、更にはチウラムの種子粉衣により向上することが認められたが、まだまだ不安定である。しかし、不耕起乾田直播栽培での必要苗立ち数の範囲は広く、試験的には25本/m²から200本/m²の範囲で収量等には影響しないことが認められた。実際の栽培での苗立ちのムラを考慮しても70本/m²も苗立ちすれば十分であることが想定される。これを確保するには、苗立ち率がおよそ30%から80%の範囲で変動するとしても、7kg/10aの播種量があれば可能で、苗立ちの過不足は生じないと考えられる。

播種適期を明らかにする試験はここでは実施しなかったが、種々の試験を実施した4月中旬以降5月中旬までの範囲で、播種量を7kg/10a程度としているので、苗

立ち不足となることは無かった。しかしながら、やはり早い播種期では一般的に苗立ち率が低下していることから、4月中旬以前の播種は危険性が高いとみるべきであろう。また、雑草対策の見地からみても、早い播種はそれだけ出芽から入水までの乾田期間が長くなり、除草が不安定となる恐れがあることから、早播きは勧められないと考えられる。

さて、本研究の結果等から、岐阜県の平坦地を対象とした不耕起乾田直播栽培について一応の体系を組み、普及技術とすることができたが、除草剤の散布回数が少なくとも3回を必要とするなど、生産コストを押し上げ、農業の投入量を極力減らすことを求めている時代の流れにも逆行している面があり、今後、この使用回数をいかに減らしていくかが研究に求められる最重点課題である。また、本研究で用いたディスク駆動式汎用不耕起播種機は麦・大豆の播種にも使用できるとされており、本播種機の麦・大豆の不耕起播種への利用拡大も今後の課題である。

引用文献

- 1) 姫田正美：水稻の冬播栽培法に関する研究—とくに土壤中における種子の生存について、農事試験報18、1～70、1973
- 2) 堀江武・中川博視：イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究 第1報 モデルの基本構造とパラメータの推定法および出穂予測への適用、日作紀59、687～695、1990
- 3) 井出一浩・徳安雅行・下村忠夫・井出勉：暖地水田の地力増強解明に関する研究 第1報 乾田直播水田の

無機態窒素生成量について、日土肥講要集20,75、1974

4) 石間紀男・平宏和・平春枝・御子柴穆・吉川誠次：
米の食味に及ぼす窒素肥料および精米中のタンパク質含有率の影響、食総研報No29、9～15、1974

5) 杉原進・金野隆光：土壤中における有機態窒素の無機化の反応速度論的解析法、農環技研報1、127～152、1986

6) 櫛節欽也監修：直播稲作への挑戦第1巻直播稲作研究四半世紀のあゆみ、農林水産技術情報協会、1995

7) 武田敏昭：土壤肥料分野から見た水稻の生育診断・予測技術の開発、近畿作育会報32、91～100、1987

8) 常松定信・鷺尾 養：水稻直播栽培における播種深度、土壤の乾湿、土性と発芽苗立ちについて、日作紀42(別2)、7～8、1973

9) 上山 泰：温度が乾田直播水稻の出芽及び種籾のジベレリン処理の出芽促進効果におよぼす影響、神戸大農研報11(2)、205～213、1975

10) 渡辺利通：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、1985

11) 吉川重彦・三宅佐知夫・児玉幸弘・石川裕一：乾田直播水稻栽培における全量基肥施肥法 日土肥講要集37,160、1991