

山陰地方における水稻湛水土壌中直播栽培適用条件の解明

安原 宏宣*・神田 正治*¹⁾・角 治夫*¹⁾・伊藤 淳次**
 山根 忠昭*²⁾・中島 幸次***・永瀬 勝正***
 藤原建比古*³⁾・出川 正幸*⁴⁾

Application of Direct Underground Sowing of
 Rice to Submerged Paddy Field in Sanin Region.

Hironobu YASUHARA, Masaharu KANDA, Haruo SUMI, Junji ITO
 Tadaaki YAMANE, Kouji NAKASHIMA, Katsumasa NAGASE
 Takehiko FUJIHARA and Masayuki DEGAWA

目 次

I 緒 言	1	VII 雑草の要防除水準と効率的除草法	16
II 適応性品種の選定	2	VIII 生産費低減効果	18
III 苗立ち安定のための栽培要因	5	IX 総合考察	20
IV 収量安定のための品種別の栽培要因	6	X 摘 要	21
V 土壌別の施肥法	10	引用文献	21
VI 倒伏防止のための栽培要因	13	Summary	24

I 緒 言

今日、水稻栽培においては生産費の低減を図ることが強く求められている。栽培技術面から生産費低減に寄与する方向としては、直播栽培の導入が有力である^{30,39,40)}。直播栽培は水管理法や作付け方式の違いによって乾田直播、湛水直播などに分類され、それぞれの栽培法について安定多収の方策が検討されてきた^{7,47)}。山陰地方においても直播栽培の導入は過去幾度も試みられ、乾田直播、麦間直播、湛水直播の栽培法がいずれも成立しうることが報告されている^{1,25,27,28,29,41,45,51)}。しかしながら、実用上は多くの問題点が残されていた。

まず、乾田直播栽培においては、山陰地方の秋、冬季に降水量が多く、湿田、半湿田が多い¹³⁾という地域特性から、整地作業が困難であり、苗立ちが不良になりやすかった。また、雑草防除が容易でなく、地力が低下しやすく、その結果収量が低下しやすいという問題があった。麦間直播ではさらに、麦収穫と水稻播種の労働が短期間に集中し、機械化も困難であるという問題点が増加した。一方、湛水直播栽培においても苗立ちが安定せず、除草が困難で、株際倒伏しやすく、またこれらの影響もあって収量が低下しやすいという問題点があった^{17,18,19,23,24,47)}。

ところが、近年、種籾に酸素発生剤を粉衣し土壌中に播種する方法（湛水土壌中直播栽培）が開発され

*水田作科 **土壌肥料科 ***経営機械科

1) 現島根県農業指導課 2) 元土壌肥料科 3) 現島根県川本農業改良普及所 4) 元経営機械科

た^{14,15,16,17,18,19,20,22,23,24,32,34}。これによって、湛水直播栽培における苗立ちの安定と、株際倒伏の防止が可能と考えられるに至った。しかし、新しい技術の適用に当たって解明すべき課題は多く、特に、山陰地方の気象、土壌条件と近年の品種、作期の適応性まで考慮して検討された例がなかった。このような背景から、山陰地方において適用可能な水稲湛水土壤中直播栽培の技術を組み立てる目的で研究を行った。

本研究の推進に当たり当元元次長新田英雄氏、同野菜花き科長常松定信氏にご指導をいただいた。同元場長北山茂氏、同元場長北井三喜男氏、同場長山根国男博士、同水田作科長重栖陸弘氏にはご助言を賜った。同元農業機械科長服部昭三氏、島根県中海干拓営農センター所長多久田達雄氏、蚕糸昆虫農業技術研究所共生機構研究室長野田博明博士にはご協力をいただいた。現地試験に当たっては、斐川町池田耕一氏、同池田茂氏にご協力をいただいた。これらの方々には厚くお礼を申し上げる。

本研究は農林水産省の地域水田農業確立試験研究事業の助成を受けて行った。記して感謝の意を表する。

II 適応性品種の選定

従来、湛水直播栽培の適応品種は、低温発芽性と耐倒伏性を兼ね備えることが必要とされた^{17,44,47}。そこで、湛水土壤中直播栽培における適応品種として必要な条件を解明する目的で、まず、低温条件が発芽に及ぼす影響を調査し、次に、当地方における主要栽培品種につい

て、湛水土壤中直播栽培への適応性の検討を行った⁴⁹。

1. 試験方法

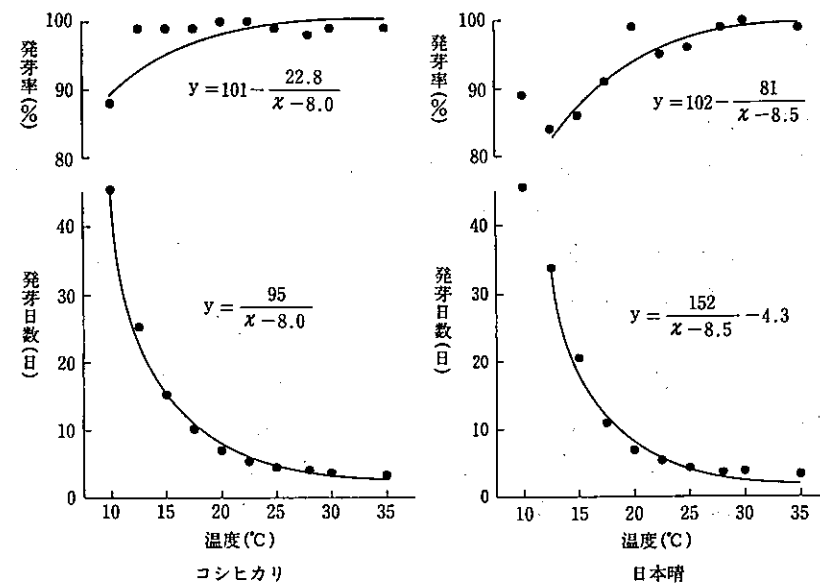
1984~'86年に、各年16品種、延べ22品種を発芽試験及び圃場試験に供試した。

発芽試験では、9cmシャーレろ紙床に乾籾1区100粒を播種し、数種の温度水準に設定した定温器内に静置して、発芽日数と発芽率を測定した。発芽日数は発芽した全個体についての平均値とした。

圃場試験では生育、収量及び品質の各形質を測定した。酸素発生剤処理として、播種前日、種子に過酸化カルシウム粉剤を乾籾1kg当り成分量0.35kg粉衣した(この処理は、特に断らない限り、以下の試験でも共通に行った)。播種期は極早生種が5月1~2日、早中生種が5月14~17日(ただし1984年は極早生種と同日)、播種量は1㎡当たり3.0~3.5g、播種深は1cmとして、条間30cmで条播した。1984、'85年の供試圃場は細粒強グライ土(埴埴土、東浦統)で、1㎡当たり窒素施肥量は極早生種2.0~2.8g(葉色がさめなかったため穂肥を省いた)、早中生種5.2~6.0g、1986年の圃場は造成低地土細粒黄色土グライ相(砂質埴埴土)で、地力が低いいため窒素施肥量は全品種13.4gとした。試験区はいずれも1区13㎡、2区制とした。なお、玄米品質は1(上上)から9(下下)の9段階で達観評価した。

2. 試験結果

島根県における代表的な2品種、「コシヒカリ」と「日本晴」について、温度と発芽日数及び発芽率との関係をみた結果を第1図に示した。



第1図 温度と発芽率及び発芽日数 (1984)

発芽日数は温度が高いほど短縮し、発芽日数と温度の関係は簡単な反比例式

$$y = a / (t - b) + c \quad (1)$$

に良く適合した。ここで、yは発芽日数、tは温度、a、b、cは品種によって決まる定数である。また、発芽率は発芽日数の長さに比例して低下する傾向にあり、両者の関係は比例式

$$z = d \times y + e \quad (2)$$

で近似できた。ここでzは発芽率、d、eは品種によって決まる定数である。つまり、発芽率は温度が低いほど低下する傾向にあり、第1式及び第2式から、両者の関係を表す式

$$z = f / (t - b) + g \quad (3)$$

が導かれた。ここでf、gは品種によって決まる定数

である。

低温発芽性の劣る品種は圃場においても苗立ちが劣る傾向がみられた。また、転び型の倒伏は発生しなかったが、稈長の長い品種では湾曲型倒伏が発生した。

試験結果から得られた各品種の特性を第1表に示した。極早生種ではもち種及び醸造用玄米品種を含む10品種を供試した。「チドリ」、「トドロキワセ」はともに低温発芽性は悪くなかったが、倒伏によって穂発芽し、品質が低下することがあった。「アキヒカリ」は低温発芽性に優れ、短稈で耐倒伏性も良く、収量性も高かった。「トヨニシキ」は低温発芽性は良好であったが、他に長所がなかった。もち種の「ヒメノモチ」は低温発芽性に優れ、かつ収量性が高く、品質も良好であった。

醸造用玄米品種の「五百万石」は多収ではあったが、

第1表 湛水土壤中直播栽培に対する品種の適応性 (1984~'86)

品 種	低温発芽性		耐倒伏性		収 量 性		品 質		適 応 性
	15℃発芽 日数(日)		稈 長 (cm)		玄 米 重 (kg/a)		玄米品質		
チ ド リ	△	12.2	△	88.6	△	54.0	×	6.0	△
ト ド ロ キ ワ セ	△	12.7	△	88.0	△	53.5	×	6.4	△
ア キ ヒ カ リ	○	10.7	○	76.7	○	56.3	△	4.7	○
ト ヨ ニ シ キ	○	10.9	△	85.7	△	53.3	△	4.9	△
ヒ メ ノ モ チ	○	11.0	△	84.9	○	58.6	○	3.8	○
五 百 万 石	×	16.2	△	92.6	○	59.5	△	4.3	△
幸 玉	△	12.6	△	83.5	△	53.4	×	5.8	△
コ シ ヒ カ リ	×	14.8	×	98.2	×	48.9	△	5.0	×
大 空	△	11.6	△	84.2	△	52.0	△	4.9	△
ホ ウ レ イ	△	13.7	△	85.5	△	52.8	△	4.0	△
ニ ホ ン マ サ リ	△	14.4	○	79.3	△	55.5	△	4.0	△
ア キ ニ シ キ	△	11.7	△	90.1	△	53.9	○	3.6	△
日 本 晴	×	16.5	△	84.3	△	53.1	○	3.5	△
黄 金 晴	△	14.4	○	80.7	△	52.9	○	3.5	○
近 畿 33 号	○	11.5	△	91.3	△	53.3	△	4.7	△
ヤ マ ビ コ	△	14.6	×	95.0	△	51.6	△	5.2	△
農 林 44 号	○	8.7	×	107.3	×	48.8	△	4.9	×
ヤ マ ヒ カ リ	△	12.2	△	85.6	×	49.7	△	4.6	△
ヤ マ ホ ウ シ	△	13.4	△	91.3	×	50.2	△	4.3	△
み ほ ひ か り	△	13.6	△	89.0	○	56.7	△	5.1	○
ア ケ ノ ホ シ	×	15.7	○	79.7	○	56.2	×	5.9	×
ヤ シ ロ モ チ	△	12.1	×	101.5	△	51.0	△	5.4	△

低温発芽性が著しく劣った。同じく「幸玉」は低温発芽性は悪くなかったが、外観品質にやや難点があった。

「コシヒカリ」は低温発芽性に劣るのみならず、耐倒伏性が弱く、早く倒伏した場合には登熟不良により収量が低下した。「大空」、「ホウレイ」は低温発芽性、その他特性も平均的で、特に長所がなかった。

早生種では5品種を供試した。「ニホンマサリ」は低温発芽性はやや劣ったが、極短稈で耐倒伏性に勝った。「アキニシキ」は低温発芽性、耐倒伏性、収量性のいずれも平均的であり、玄米品質は良好であった。「日本晴」は品質は良く、耐倒伏性、収量性ともに悪くなかったが、低温発芽性で劣った。「黄金晴」は低温発芽性がやや不十分であったものの、耐倒伏性に優れ、また品質も良好であった。「近畿33号」は低温発芽性良好であったが、耐倒伏性にやや難点があり、他に長所がなかった。

中生種ではもち種を含む7品種を供試した。「ヤマビコ」は低温発芽性がやや劣り、耐倒伏性にも難点があった。「農林44号」は低温下での発芽能力が高かったが、耐倒伏性が著しく劣り、かつ低収であった。「ヤマヒカリ」、「ヤマホウシ」はともに低温発芽性、耐倒伏性、品質のいずれも特に欠点はなかったが、収量性が低かった。「みほひかり」は低温発芽性、耐倒伏性、品質のいずれにおいても目立った欠点がなく、かつ収量性に優れていた。「アケノホシ」は短稈、多収であったが低温発芽性、品質に劣った。もち種の「ヤシロモチ」は耐倒伏性に難点があり、収量性、品質ともにやや劣った。

3. 考察

低温条件が水稻の発芽率を低下させることはよく知られている。ここでは、温度と発芽日数及び発芽率の関係が単純な比例関係を用いて表現できることを示した。これらが単純な比例関係で近似できるということは、発芽の主要な過程が温度の単純な積算によって決定されることを意味する。

温度と発芽日数の関係を表す式は、ARRHENIUSの法則(1889)に基づいて、いくつか導かれている^{3,4,5,22}。しかし、ここで導いた式は、これらより取り扱いが容易である。第1式における定数aは発芽に必要な積算温度、bは積算の有効限界温度、cは補正項と考えることができる。そこで、この式を用いて品種別の発芽能力の特性を捉えることができる。この式から、適温で発芽しやすい品種が低温で発芽しやすいとは限らないことがわかる。つまり、発芽能力を品種特性として見る場合には、数段階の温度水準で調査する必要がある。

り、適温条件での発芽能力からの類推で低温発芽性を論じることはできないのである。

西山²⁵は多くの文献を引用し、発芽活性に品種間差があり、その差が低温下で顕著になることを述べている。つまり、低温条件では品種間差を検出しやすいということである。これは、第1式からも容易に推察できることである。

以上から、低温発芽性の品種特性を評価する目的では、低温条件下での発芽日数あるいは発芽率を調査する必要があるといえる。それも、できる限り低温が望ましい。発芽有効限界温度は、第1図の結果や西山²⁵の報告から、多くの品種において8℃前後と考えられるが、限界付近での発芽の不安定性や試験に要する日数を考慮すると、実用的には15℃程度が適切な条件であろう。

試験栽培によって得られる品種の特性値は土壤条件、気象条件、あるいは作期、播種量などの栽培条件に応じて変化する。見方を変えると、これらの特性は栽培条件を調整することで、ある程度改善が可能である。しかし、特性相互に関連があって、個々に改善しにくい場合がある。まず、発芽活性を高めるために気温の高い季節まで播種期を遅らせると、登熟不良によって収量が低下することがある。次に、収量を向上させる目的で窒素施肥量を増やすと、倒伏を引き起こすことがある。こうした点の解決は適切な品種を選ぶことによってしか図れない。つまり、湛水土壤中直播栽培法に適應する品種は、低温発芽性、耐倒伏性が良好であり、また、収量性も高いという性質をもつ必要がある。

供試した品種の中で、これらを満たすものとして、まず、極早生の「アキヒカリ」があげられる。この品種は全ての条件を満たしている。次に、もち種の「ヒメノモチ」は耐倒伏性が強いとは言えないものの、他の条件を満たしており、なおかつ品質も良好である。早生、中生では条件の揃った品種が見当たらない。しかし、この熟期群では、播種をやや遅くすることが可能である点を考慮に入れると、「黄金晴」は耐倒伏性が強く、また、「みほひかり」は収量性が高く、ともに適應性が高いと評価できる。この2品種は品質の良い点も評価できる。

逆に、適應性の劣る品種としては「コシヒカリ」、「農林44号」、「アケノホシ」があげられる。「コシヒカリ」は品質を除くといずれの条件にも欠ける。「農林44号」は耐倒伏性と収量性の欠点が多い。「アケノホシ」は低温発芽性に劣る上に品質の欠点が多い。他の品

種については積極的に評価できないが、といて、不適とするほどでもない。適用可能という区分に含まれるであろう。

湛水土壤中直播栽培に対する品種適應性をこのように分類すると、従来の湛水直播栽培に比較して適用可能品種の幅が広がったとの印象を受ける。特に、極早生種への適用は従来、非常に困難であったので、この点に栽培法改善の効果を見ることが出来る。反面、なおかつ、全ての品種に対して適用可能でないという点についても留意する必要がある。

III 苗立ち安定のための栽培要因

湛水直播栽培における苗立ち不良の主な原因の一つは種子の土壤中への埋没による酸素不足である^{14,17,18,19,23,24,34,36,40}。酸素発生剤の種子粉衣によって、この酸素不足の問題がどの程度克服できるかを解明するために、実用的な湛水直播栽培で想定される様々な条件下において、苗立ちに影響を及ぼすと考えられる諸要因について検討した^{48,50}。

1. 試験方法

1984~'87年に、ロータリーによる代掻き回数2回と4回で苗立ちの差異が生じるかどうかの比較を行った。また、1984~'87年に、生稲わら又は稲わら堆肥施肥量が苗立ちに及ぼす影響を20℃定温室内におけるポット試験によって検討した。1984~'86年には、播種深が苗立ちに及ぼす影響について、15℃及び20℃の定温室内におけるポット試験によって検討した。1986年には、また、播種直後から出芽期までの落水処理(いわゆる芽干し)の苗立ち安定への効果を検討した。更に、1987年には種子の催芽程度が苗立ちに及ぼす影響を調査した。

品種は1984年のみ「黄金晴」を、他は主要作付け品種である「日本晴」を用いた。試験圃場は細粒強グライ土(埴壤土、東浦統)、ただし1987年のみ造成低地土細粒黄色土グライ相(砂質埴壤土)であった。播種期は5月13~21日、播種量は1㎡当たり3.5g、播種深は1cmとして、条間30cmで条播した。また、施肥量は1㎡当たり窒素成分で7.6~9.2gであった。試験区は各要因を組み合わせ、1区11~26㎡、2区制として実施した。

ポット試験はコンテナ(面積0.20㎡)又はポット(面積0.05㎡)に細粒強グライ土圃場の作土を15cm以上つめて行った。播種密度は1㎡当たり500粒程度であっ

た。試験区は1区25粒、2反復とした。

2. 試験結果

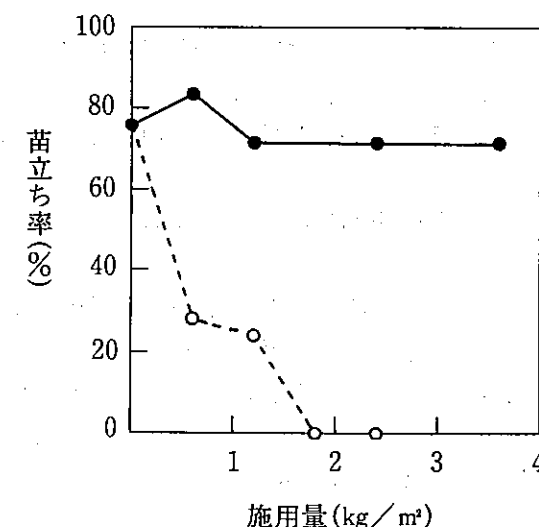
代掻き回数の差異が苗立ちに及ぼす影響を第2表に示した。代掻き回数が多いほど播種時の土壤硬度が軟

第2表 苗立ちに及ぼす代かき回数の影響(1984~'87)

代かき回数	さげ振り貫入深(cm)	出芽深度(cm)	苗立ち率(%)
2回	10.9	1.0	59.8
4回	8.3	0.9	65.3

らかく、代掻き4回は2回より下げ振り貫入深が約2cm深く、苗立ち率が約8%低下した。ただし、発芽個体については出芽深度に顕著な差異は認められなかった。

生稲わら及び稲わら堆肥が苗立ちに及ぼす影響を第2図に示した。稲わら堆肥では1a当たり300kgの施用でも苗立ちへの影響は認められなかったが、生稲わら



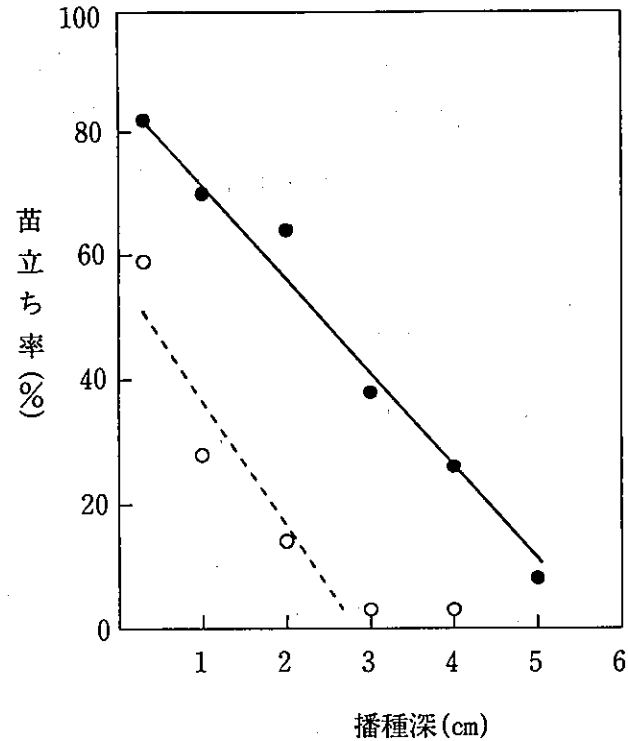
第2図 苗立ちに及ぼす有機物施用の影響(1986)

○---○生わら ●—●稲わら堆肥

の施用では施用量の増加に伴い急激な苗立ち率の低下が見られた。苗立ちが低下した場合、土壤表面に鉄酸化物による褐変が見られ、播種後7日以内に種子付近の土壤Ehが-200mV程度まで低下していた。このことから、土壤還元による酸素不足が苗立ち低下の原因であると推定された。

播種深度が苗立ちに及ぼす影響を第3図に示した。

播種深度は深いほど苗立ちが劣る傾向がみられた。ま



第3図 播種深と苗立ちとの関係 (1985~'86)

○---○ 15°C ●—● 20°C

た、15°Cでは深度が浅くても十分な苗立ち率は得られなかった。中茎の伸長は温度に関係なく1cmが限度であったが、15°Cでは20°Cに比べ鞘葉の伸長が少なかった。

なお、芽干しが苗立ちに与える影響は認められなかった。

催芽時間に関しては、16時間催芽で初穀の裂開が見られたが、苗立ち率では無催芽と差がなかった。しかし、24時間催芽では、苗立ち率が10%程度低下した。この場合、幼芽が1cm程度抽出しており、粉衣作業中に生長点が損傷を受けたものと推定された。

3. 考 察

水稻種子の発芽に係わる要因は、大きく種子固有のもの外部条件によるものとの2つに分けて考えられる。ここでは、主に外部条件について検討した。

発芽に係わる外部条件として主要なものは水、温度、酸素の3つである³⁵⁾。このうち、水に関しては、湛水直播ではまず不足する問題はおきない。

次に、温度については栽培技術上は作期の問題としてとらえることができる。湛水直播における播種期の早限は平均気温10°Cとなった時期とされる³⁵⁾。ただし、実用的には、危険性を考慮して、平均気温15°C程度を

目安にすると良いであろう。ところで、酸素発生剤の粉衣は直接には温度の昇降にほとんど関与しない。温度に関する問題は、根本的には、酸素発生剤の粉衣に係わらず、従来通り残されている。

次に、酸素に関しては、酸素発生剤の粉衣によって不足を補えることは改めて述べるまでもない。この効果は特に播種深が深い場合や種子が埋没する場合などでは歴然としている。しかし、耕起前に未熟有機物を多投した場合に還元障害が発生したことから、酸素発生剤の効果は、強還元状態を克服するほど高くはないことがわかる。

発芽後、苗立ちに至る過程には、これ以外に土壌の機械的圧迫、光などの影響が加わる^{36,40)}。出芽後、正常に生育を続けるためには養分の余裕を残した状態で地表面に到達する必要がある。播種深の深い場合には、発芽に問題がなくても、これらの機械的圧迫や光の影響で苗立ち率が低下する。また、代播き回数の多い場合の苗立ち率低下は、播種深にあまり差がないことから、土壌の機械的圧迫が主な原因と推定される。

このように、要因別に検討してみると、酸素発生剤粉衣は部分的な効果しかもたないことがわかる。程度の差はあるにせよ、播種時の温度条件や土壌の還元状態、播種深など、栽培面での注意は依然として必要である。

IV 収量安定のための品種別の栽培要因

湛水直播栽培における水稻の形態は移植栽培によるものに比べ、分けつ数が多く、草丈が短く、1穂粒数が少ない傾向があり^{38,42)}、また、出穂が遅くなることから登熟が悪くなる点も指摘されている。こうしたことから、地域に応じた品種と適切な作期の選定が重要視されている³⁹⁾。そこで、当地方における主要栽培品種について、作期別の生育形態と収量を調査した。

1. 試験方法

1984~'87年に、場内細粒強グライ土(埴壤土、東浦統)圃場において、品種別、作期別に湛水土壤中直播栽培を行った。

1984年は「コシヒカリ」及び「日本晴」の2品種を用い、4月25日から約20日間隔の3播種期について、各々播種量を1㎡当たり2.5~7.5gの5水準設定して直播栽培を行った。1985年は前年と同一の試験区に加え、両品種について直播栽培の播種期と同日を移植期とする3作期の稚苗移植栽培の区を設けた。1986年は

同じ2品種を用い、4月25日から約10日間隔の6作期(直播栽培の場合は播種期、移植栽培の場合は移植期)について直播栽培と移植栽培の比較を行った。1987年は「チドリ」及び「みほひかり」を加えた4品種を用い、4月25日から約15日間隔の3播種期について直播栽培を行った。

全ての試験を通じて、直播栽培は、条間30cm、播種深1cmで条播した。試験要因となっていない場合の播種量は1㎡当たり3.5gとした。移植栽培は播種量1箱当たり180g、育苗期間20日、1㎡当たり22株の3本植とした。窒素施肥量は1㎡当たり「チドリ」、「コシヒカリ」では5.0~8.0g、「日本晴」、「みほひかり」では8.0~11.0gであった。試験区は1区13.2㎡、2区制とした。

2. 試験結果

播種量と水稻の生育及び収量との関係を第3表に示した。

「コシヒカリ」、「日本晴」の2品種とも、播種量が多いほど穂数も多くなった。しかし、1穂粒数が減少し、1㎡当たり粒数においては明らかな差異が認められなかった。この結果、収量は播種量の多少によらずほぼ同程度となった。

栽培法別、作期別の生育及び収量の調査結果を第4表及び第4図に示した。

「コシヒカリ」、「日本晴」の2品種とも、移植栽培

においては作期が遅いほど穂数が減少する傾向があったが、直播栽培においては作期が遅いほど、高次分けつの多発によって穂数が増加する傾向があった。1穂粒数は両栽培法ともに作期が遅いほど減少したが、その程度は直播栽培において著しかった。登熟歩合は、移植栽培においては作期にかかわらず同程度であったが、直播栽培においては作期が遅いほど低下する傾向があった。

このように、栽培法の違いによって作期別の形態が著しく相違したにもかかわらず、収量は栽培法とは無関係に、出穂期の早晚のみで決定される関係が認められた。つまり、2品種とも栽培法が異なっても出穂が同じであれば収量は同等であった。そして、出穂が遅いほど収量が低下し、出穂期と収量の関係は比例式

$$y = ax + b \quad (4)$$

に良く適合した。ここでYは収量、xは出穂期、a、bは品種によって定まる定数である。

また、4品種についての直播栽培における作期別の生育及び収量を第5表に示した。

いずれの品種も、直播栽培においては作期が遅いほど収量が低下する傾向が認められた。収量構成要素から見ると、穂数はむしろ増加する傾向にあり、1㎡当たり粒数は必ずしも減少していなかった。収量減少の主要要因は登熟歩合の低下であった。

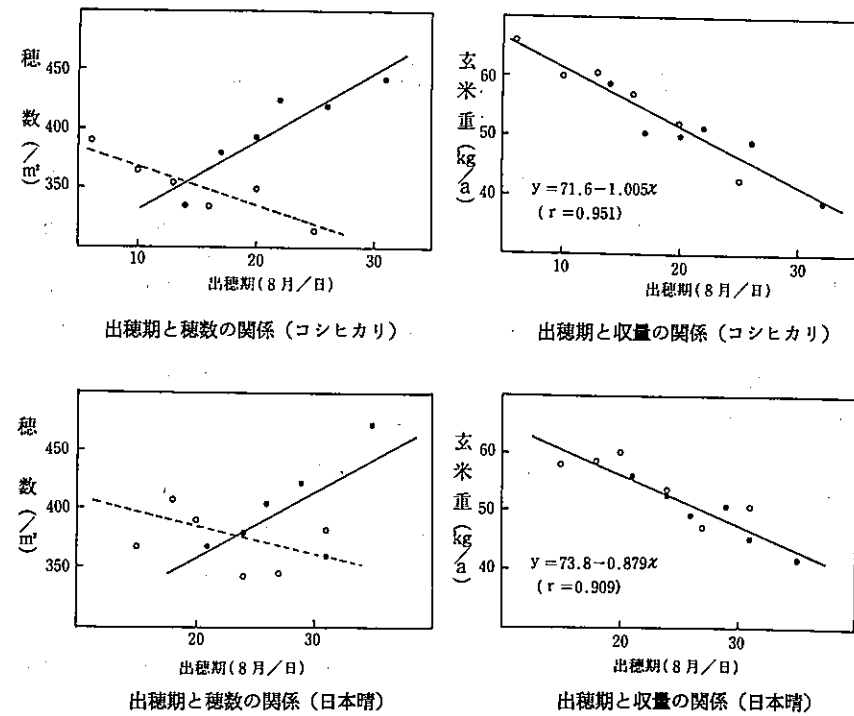
3. 考 察

第3表 品種、播種量と水稻の生育、収量 (1984~'85)

品 種	播種量 (g/㎡)	苗立ち数 (/㎡)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (/㎡)	1穂粒数 (/㎡)	1穂粒数 (/㎡)	登熟歩合 (%)	玄米千粒重 (g)	玄米重 (g/㎡)
コシヒカリ	2.4	85	106.3	20.3	381	77.4	29500	70.4	20.9	415
	3.2	108	105.3	20.2	393	86.5	34000	63.0	21.3	455
	4.2	128	103.6	19.7	380	78.2	29700	67.3	20.7	414
	5.6	193	103.4	18.9	439	72.2	31700	69.7	21.5	476
	7.3	270	102.0	19.4	503	59.6	30000	70.1	20.8	436
日本晴	2.4	84	88.3	19.8	419	79.5	33300	82.1	22.1	603
	3.2	110	88.3	19.4	407	76.2	31000	83.1	21.9	564
	4.2	134	90.5	19.5	420	79.5	33400	77.6	21.6	560
	5.6	213	87.0	19.5	442	73.5	32500	81.3	21.9	579
	7.3	233	86.3	19.4	469	75.9	35600	73.8	21.8	574

第4表 品種、栽培様式、及び作期と水稻の生育、収量 (1986)

品 種	栽 培 様 式	播種又は 移植期 (月.日)	苗立ち 率 (%)	出穂期 (月.日)	穂 数 (/㎡)	1 穂 粉 数	粉 数 (/㎡)	登 熟 歩 合 (%)	玄 米 千 粒 重 (g)	玄米重 (g/㎡)
コシヒカリ	直 播	4.25播	27	8.14	334	86.2	28800	90.6	22.4	584
		5. 5	40	8.17	379	62.0	23500	93.2	23.1	503
		5.15	53	8.20	393	67.2	26400	86.1	22.2	502
		5.25	48	8.22	426	58.5	24900	92.3	22.5	515
		6. 5	56	8.26	420	62.4	26200	82.8	22.8	492
		6.15	61	9. 1	443	61.2	27100	64.5	22.5	392
コシヒカリ	移 植	4.25植	—	8. 6	390	85.9	33500	88.7	22.3	661
		5. 5	—	8.10	364	79.7	29000	93.0	22.3	600
		5.15	—	8.13	355	86.8	30800	88.0	22.3	604
		5.25	—	8.16	336	75.3	25300	95.1	23.6	569
		6. 5	—	8.20	351	70.9	24900	93.6	22.4	521
		6.15	—	8.25	317	77.0	24400	77.6	22.6	425
日 本 晴	直 播	4.25播	30	8.21	368	75.3	27700	88.9	22.8	560
		5. 5	41	8.24	379	67.0	25400	89.6	23.3	525
		5.15	56	8.26	406	56.7	23000	94.7	22.6	491
		5.25	44	8.29	422	55.7	23500	92.8	23.2	505
		6. 5	64	8.31	361	58.4	21100	91.4	23.3	448
		6.15	47	9. 4	473	48.4	22900	80.7	22.6	415
日 本 晴	移 植	4.25植	—	8.15	368	73.1	26900	93.1	23.2	579
		5. 5	—	8.18	408	63.0	25700	96.8	23.5	585
		5.15	—	8.20	390	71.3	27800	93.7	23.1	599
		5.25	—	8.24	343	73.8	25300	93.9	22.5	535
		6. 5	—	8.27	346	61.0	21100	95.5	23.3	468
		6.15	—	8.31	383	66.3	25400	86.5	23.0	505



第4図 出穂期が生育、収量に及ぼす影響 (1986)

第5表 品種、作期と水稻の生育および収量 (1987)

品 種	播種期 (月.日)	苗立ち率 (%)	出穂期 (月.日)	穂 数 (/㎡)	粉 数 (/㎡)	登熟歩合 (%)	玄 米 千 粒 重 (g)	玄米重 (g/㎡)
チドリ	4.25	55.8	7.28	342	26100	80.8	21.7	458
	5. 7	64.8	8. 5	377	25700	95.7	22.0	540
	5.23	49.5	8. 8	353	24100	97.9	21.9	517
	4.25	53.5	8. 8	384	28400	77.8	22.0	487
コシヒカリ	5. 7	47.1	8.12	376	27800	73.7	22.5	461
	5.23	67.1	8.16	355	25400	74.0	22.3	420
日 本 晴	4.25	51.1	8.18	347	28200	79.4	23.5	526
	5. 7	49.1	8.25	336	29000	71.0	23.1	476
みほひかり	4.25	92.8	8.19	427	28400	77.5	23.5	516
	5. 7	92.1	8.26	411	28600	76.2	23.4	511
	5.23	81.8	8.30	431	32700	75.2	23.4	575

水稻の収量は、その成立過程から穂数、一穂粉数、登熟歩合及び玄米千粒重の4つの形態的な収量構成要素に分解できる¹¹⁾。しかし、これらの要素は個々独立に決定されるわけではなく、相互に影響を及ぼし合っている。このため、ある要素がプラス方向に変化しても、収量ではプラスとならないことも起こりうる。

本報告の試験においても、播種量の差異及び栽培法の差異が、いずれも形態に著しい相違をもたらしたにもかかわらず、この相違は収量に反映されなかった。このことは、個別の収量構成要素をとらえて栽培的な制御を行うことが、収量向上にとって必ずしも有効ではないということを意味している。

PEARSON³⁵⁾は、作物の生産力に関して恒常性に重点を置く見方を示した。これは、収量決定要因を今少し直接的にとらえようとする観点である。

この観点に立ち、まず、特定の品種と作期の組み合わせによる条件に対して、特有の種子生産力を仮定する。この前提のもとでは、播種量や栽培法を変えることで穂数が生産力の要求以上に確保された場合に、水稻は他の収量構成要素を減少させることで種子生産の恒常性を維持する。このように考えると、穂数の増加が収量の向上に結び付かないことが、無理なく理解できる。

また、品種固有の種子生産力は作期の変化にともなって特有の変動をすると仮定する。そうすると、作期を限定した場合に収量を決定する要因は品種固有の種子生産力であることになる。つまり、この観点では、収量性の問題は基本的に品種選抜の問題に帰着する。

「コシヒカリ」は移植栽培の早期栽培において、また、「日本晴」は移植栽培の早植え栽培において選抜されている。どちらの品種についても直播栽培を行った場合の出穂期は、移植栽培を行った場合の出穂期より遅れる。このため、直播栽培においては、品種の持つ最高の種子生産力を現実のものにできない。特に、早期栽培用の品種である「コシヒカリ」については、そのことがいえる。

したがって、直播栽培において安定多収を確保するためには、出穂期を移植栽培並みに早くすることができないのであれば、直播栽培の作期で高い種子生産力を持つ品種を選抜することが基本的な条件となる。

「コシヒカリ」、「日本晴」などの品種を直播栽培において用いるとすれば、できる限り早く播種することが望まれるが、その場合には、苗立ち安定についても考慮する必要がある。

具体的には、「チドリ」、「コシヒカリ」では、平均気温15℃程度になった段階で直ちに播種を行う必要があ

る。「日本晴」、「みほひかり」では、地域の気象条件にもよるが、播種期に若干の幅を持たせることが可能である。

V 土壌別の施肥法

湛水直播栽培における施肥法に関しては、移植栽培に比べて倒伏しやすくなる点を考慮して施肥量を減らすとするものから、本田期間が長くなるから増施すべきだとするものまで異なる意見が述べられており、統一的手法が定まっていない¹⁷⁾。そこで、当地方において適用可能な湛水土壌中直播栽培の施肥法を解明するために、代表的な2, 3の土壌条件について、窒素施肥法の検討を行った。

1. 試験方法

1984年に場内細粒強グライ土(埴壤土, 東浦統)圃場において基肥窒素施肥量7水準, 生育初期窒素分施肥法7水準, 及び被覆肥料施肥法4水準の比較を行った。

また, 1985年に場内細粒強グライ土と造成低地土細粒黄色土グライ相(砂質埴壤土)圃場において, 各々窒素施肥量8水準及び被覆肥料施肥法4水準, また現地の中粗粒強グライ土(砂壤土, 芝井統)及び中粗粒グライ土(砂壤土, 新山統)圃場において, 各々窒素施肥量5水準の比較を行った。

また, 1986年は場内2圃場において各々中間期追肥6水準, 現地2圃場において各々中間期追肥と被覆肥

料施肥の5水準の比較を行った。

また, 1987年は場内細粒強グライ土圃場において, 穂肥施肥量を中心に30水準の検討を行った。

いずれも品種は「日本晴」を用いた。播種期は5月8~22日, 播種量は1㎡当たり2.4~3.5g, 条間は30cm, 播種深は1cmとして条播した。窒素肥料としては, 被覆肥料の場合を除き25%塩安を用いた(施肥成分量を制御するために単肥を用いた)。なお, 磷酸, 加里肥料を同じ土壌条件において共通に適宜施用した。

供試圃場の全窒素含量は細粒強グライ土で0.19%, 造成低地土, 中粗粒強グライ土とともに0.09%, 中粗粒グライ土では0.10%であり, 陽イオン交換容量は乾土100g当たり細粒強グライ土で16.8me, 造成低地土で19.6me, 中粗粒強グライ土で9.8me, 中粗粒グライ土では7.2meであった。

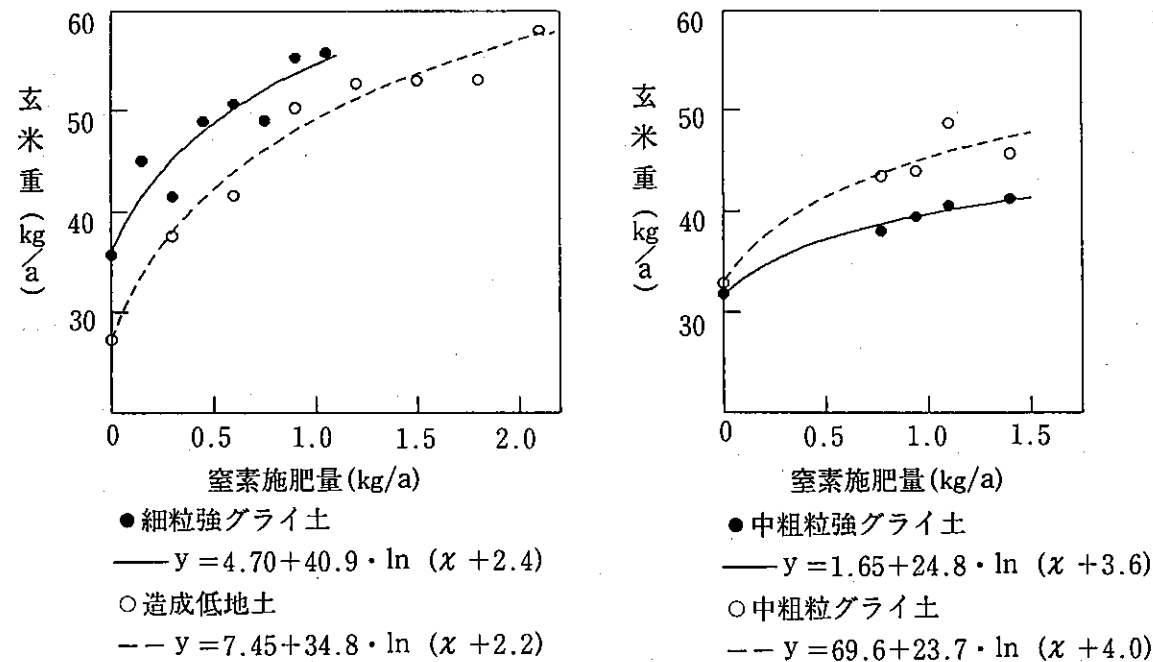
試験区は1区を場内圃場で16㎡, 現地圃場で80~98㎡とし, 1985年度場内試験の1部を除き2区制とした。

2. 試験結果

土壌別施肥量と収量との関係を第5図に示した。基肥, 穂肥同量の施肥法では, いずれの土壌においても窒素施肥量の多いほど籾数, 玄米重が増加した。しかし増収程度には漸減が認められ, 施肥量と収量との関係は対数曲線式,

$$y = a \cdot \ln(x + b) + c \quad (5)$$

によく適合した。ここで, yは1a当たり玄米重(kg), xは1a当たり窒素施肥総量(kg), a, b, cは土



第5図 窒素施肥量と収量との関係 (1985)

壤によって定まる定数である。

中間期追肥の収量への影響を第6表に示した。播種後50又は60日後, 全施肥量の約2割の中間期追肥を増肥することによって, いずれの土壌においても追肥窒素吸収量が増加し, 籾数, 玄米重が増加する傾向があった。また, 中粗粒グライ土を除き, 基肥を減量して, それと等量を追肥とした場合でもその効果はあまり変わらなかった。

穂肥量が生育収量に及ぼす影響を第6図に示した。細粒強グライ土においては, 穂肥施用量の多いほど窒素吸収量が増加し, 全重が増加した。しかし, 籾数, 玄米重については増加限界が認められ, 全施肥量の約半分に相当する1㎡当たり4.0~6.0gの施用が最多収であった。

被覆肥料施肥法が生育収量に及ぼす影響を第7表に示した。細粒強グライ土又は造成低地土においては, 被覆肥料の全量基肥施用で慣行の化成肥料の穂肥施用

と同水準の収量が得られた。また, 中粗粒強グライ土及び中粗粒グライ土では, 被覆肥料基肥施用に穂肥を組み合わせた施肥法で, それ以上の増収が得られる傾向があった。

なお, 生育初期の分施又は表層施用による生育, 収量への影響は認められなかった。

3. 考察

施肥養分量の収量への応答は漸減的であり, 増肥効果は収量水準が高いほど低下するという仮定から次のモデル式

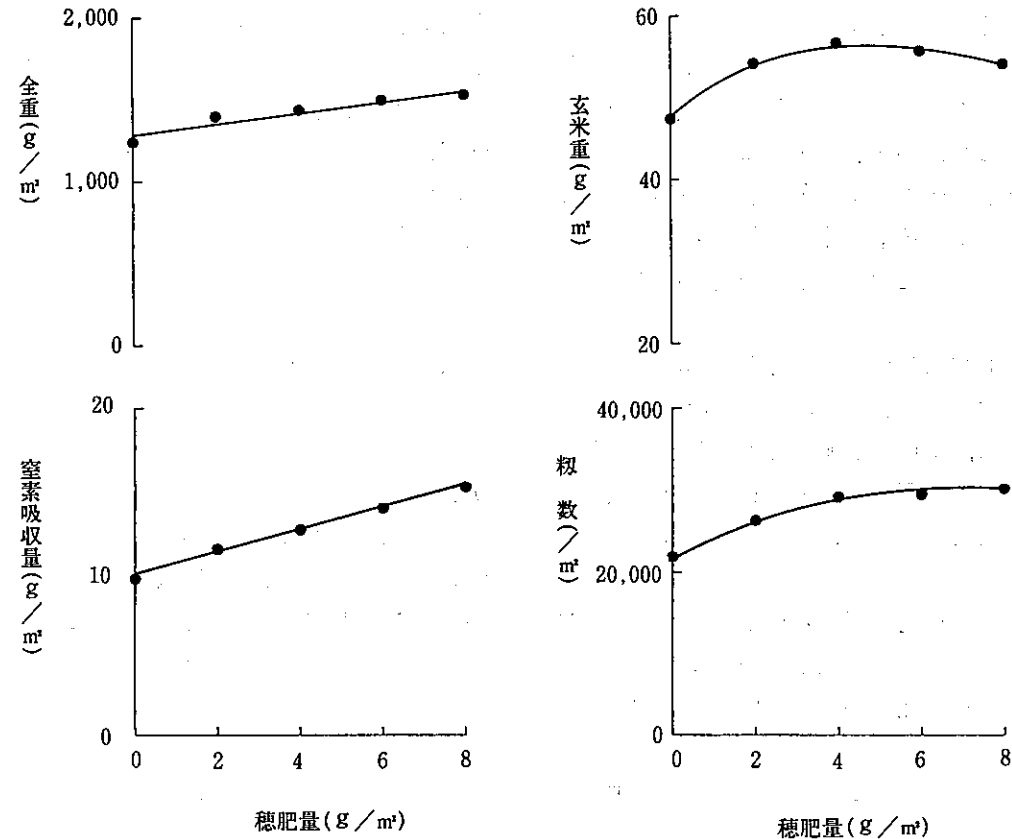
$$y = A(1 - e^{-kx}) \quad (6)$$

が導かれている²⁰⁾。ここで, y収量, xは養分量であり, Aは最高収量, kは効果率を表す定数である。しかし, このモデルでは最高収量が固定されてしまうため, ここでは, 類似の仮定であるが, 増肥効果が施肥量に反比例して低下するという仮定のもとに, 第5式の対数曲線式を導いた。いずれにしても, 現実の事象

第6表 水稻の生育、収量に及ぼす中間期追肥の影響 (1986)

土 壌 統 群	処 理	窒素吸収量(g/㎡)		穂 数 (/㎡)	1 穂 籾 数	登 熟 歩 合 (%)	玄 米 千 粒 重 (g)	全 重 (g/㎡)	玄米重 (g/㎡)
		出穂20日前	成熟期						
細 粒 強 グ ラ イ 土	慣行	0.49	1.42	368	71.0	88.6	23.6	1408	545
	50日後追肥	92	93	105	108	94	98	104	105
	60日後追肥	104	104	111	108	91	97	109	106
	50日後追肥増肥	94	99	93	118	96	98	104	102
	60日後追肥増肥	109	117	110	101	92	98	104	101
造 成 低 地 土	慣行	0.53	1.46	401	63.5	82.1	23.6	1333	492
	50日後追肥	84	84	95	110	100	99	102	104
	60日後追肥	87	111	106	113	91	100	108	110
	50日後追肥増肥	101	111	101	113	94	99	108	107
	60日後追肥増肥	109	141	119	103	94	97	112	111
中 粗 粒 強 グ ラ イ 土	慣行	0.22	1.16	339	-	-	23.0	1207	513
	60日後追肥	95	101	108	-	-	99	103	108
	60日後追肥増肥	117	106	109	-	-	99	98	107
中 粗 粒 グ ラ イ 土	慣行	0.15	1.15	345	-	-	23.6	1137	509
	60日後追肥	97	104	119	-	-	100	99	97
	60日後追肥増肥	110	117	114	-	-	100	108	105

注) 慣行区のみ実数、他は慣行区との対比 (%)



第6図 水稻の生育、収量に及ぼす穂肥量の影響 (1987)

第7表 水稻の生育、収量に及ぼす施肥法の影響

年 度	土 壤 統 群	処 理	窒素吸収量 (g/m²)		穂 数 (/m²)	1 穂 粒 数	登 熟 歩 合 (%)	玄 米 千 粒 重 (g)	全 重 (g/m²)	玄米重 (g/m²)
			出穂20日前	成熟期						
1985	細粒強グライ土	慣行	0.41	1.03	402	64.9	86.6	22.6	1361	506
		塩安全量基肥	106	70	102	86	91	96	85	77
		被覆肥料全層	165	98	91	116	102	94	103	100
		被覆肥料表層	138	101	99	108	91	94	103	92
	造成低地土	慣行	0.25	1.14	404	63.5	86.9	22.7	1324	526
		塩安全量基肥	154	56	90	84	93	98	83	67
		被覆肥料全層	208	103	106	107	92	93	103	93
		被覆肥料表層	215	94	112	104	98	95	111	103
1986	中粗粒強グライ土	慣行	0.22	1.16	339	-	-	23.0	1207	513
		被覆肥料全層	96	103	111	-	-	95	104	112
	中粗粒グライ土	慣行	0.15	1.15	345	-	-	23.6	1137	509
		被覆肥料全層	113	111	118	-	-	100	108	109

注) 慣行区のみ実数. 他は慣行区との対比 (%)

をモデル式で十分に説明できるわけではないが、事象の概略をとらえる目的では利用できると思われる。

ところで、第5式における係数aは、第6式のkに相当するもので、窒素施肥への感受性の指標と考えられる。また、第5図におけるY切片、つまり窒素無施用時の収量は地力窒素発現量の指標と考えられる。化学性の面からは、施肥感受性の指標は陽イオン交換容量と、地力窒素発現量の指標は全窒素含量と類似の指標であるといえる。

これらの指標を用いると次のように言うことができる。細粒強グライ土は施肥感受性、地力窒素発現量ともに高い。造成低地土は地力窒素発現量は低い、施肥感受性はかなり高い。中粗粒強グライ土と中粗粒グライ土は、地力窒素発現量は中間的であるが、施肥感受性が低い。第5式のモデルからも明らかであるが、このように、施肥の感受性は地力窒素発現量とは必ずしも関連がない。

第5式からは、収量上は施肥量が多いほど有利であり、施肥労力や肥料代などの投資効果という観点からのみ施肥量の限界が生じるように思われる。しかし、現実には倒伏、病害虫などの障害の発生による収量及び品質への影響を考慮する必要がある、モデル通りにならないことは言うまでもない。ただ、施肥感受性の低い土壌では増肥効果がそれほど期待できないということは言える。このような土壌においては基本的に土質の改良が重要課題になるが、現状に対応する技術としては施肥回数を増やし、こまめに分施する施肥法や、被覆肥料の利用が有効となる可能性が高い。

また、施肥配分については、「日本晴」の場合、中間期追肥施用量を慣行の稚苗移植栽培より多くすることが効果的である。特に、施肥感受性の低い中粗粒グライ土及び中粗粒強グライ土圃場においては、このことを強調する必要があると考える。

以上の観点から考えられる、土壌別の「日本晴」の施肥法は以下の通りである。細粒強グライ土では10a当たり窒素施肥量は10.0kg、中粗粒強グライ土及び中粗粒グライ土では14.0kg、地力の低い造成低地土では21.0kg程度が必要で、細粒強グライ土及び造成低地土ではその内の2割程度を中間期追肥に、半量程度を2回に分けて穂肥に施用する。中粗粒強グライ土及び中粗粒グライ土においては、更に細かい分施肥又は被覆肥料の利用などで肥料の利用効率を高める必要がある。

VI 倒伏防止のための栽培要因

表面播種の湛水直播栽培では、根上がりによる転び型倒伏が大きな問題の一つであった^{14,17,18,19,24,25,27,47}。土壌中に播種する主な理由は、この転び型倒伏を防止することにある。土壌中播種の倒伏防止効果を確認し、あわせて倒伏に係わる栽培上の諸要因を明らかにする目的で2, 3の栽培要因について検討した。

1. 試験方法

1984~'86年に、水管理法について、播種後深水管理(出芽期までの約5cmの湛水処理)、芽干し(出芽前後約1週間の落水処理)、早期中干し(6月下旬約1週間の落水処理)、普通中干し(7月上旬約1週間の落水処理)、及び強度中干し(早期中干しと普通中干しの組み合わせ処理)が倒伏に及ぼす影響を検討した。

また、1985~'87年に、播種深度0, 1, 2cmの3水準について倒伏の差異を調査した。播種深が異なると苗立率あるいは個体密度が異なり、この影響が試験結果に混乱を及ぼすと思われたので、1986年以降は播種量との組み合わせで検討を行った。

また、1987年には、倒伏軽減剤処理(イナベンフィド粒剤1㎡当たり成分量0.18g処理)の処理時期について検討を行った。

いずれの試験においても、品種は「コシヒカリ」を用い、播種は5月1~11日に行った。試験要因以外の播種深度は1cm、播種量は1㎡当たり3.0~3.5gとした。また、窒素施肥量は1㎡当たり7.2~9.0g、試験区は1区13~26㎡、2区制とした。

稈径はN2節間葉鞘付き中央部の長径を測定した。稈強度はEO-2型試験器を使用し、支点間6cmで測定したN2節間葉鞘付き下部10cmの挫折時最大曲げモーメントを用いた。倒伏程度は成熟期に0(無)から5(甚)の6段階で遠観評価した。

2. 試験結果

水管理法が倒伏に及ぼす影響を第8表に示した。播種後の深水管理あるいは芽干しが生育、倒伏程度及び収量に及ぼす影響は小さかった。中干しはいずれも穂数を増加させる傾向があり、稈径がやや細くなったが稈強度はむしろ強まった。そして倒伏程度が軽減される傾向が見られた。しかし、中干しによる倒伏軽減の程度は小さく、また、玄米収量への影響も小さかった。

播種深が倒伏に及ぼす影響を第9表に示した。播種深の深いほど苗立ち率が低下し、同一の播種量では、

第8表 水管理法と水稻の生育、収量、及び倒伏

年度	処理	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (/㎡)	稈径 (cm)	稈強度 (g・cm)	全重 (g/㎡)	玄米重 (g/㎡)	倒伏程度
1984	播種後深水	102	99	98	-	101	98	97	+0.2
	芽干し	98	98	103	-	108	100	99	-0.2
	早期中干し	98	99	107	-	98	97	97	-0.8
	普通中干し	98	99	103	-	105	100	100	-0.2
	強度中干し	97	98	110	-	103	96	98	-0.1
1985	無処理	80.5	18.4	339	4.4	302	1229	430	3.8
	早期中干し	102	99	107	98	98	103	110	-0.4
	普通中干し	105	106	100	95	101	99	104	-0.3
	強度中干し	104	101	111	92	95	102	109	0.0
1986	無処理	92.0	19.3	366	4.7	735	1310	518	0.8
	普通中干し	95	98	101	94	107	93	92	-0.2

注) *倒伏程度は0(無)から5(甚)の6段階。
無処理区のみ実数。他は無処理との対比(%)。ただし、倒伏程度のみは対差。
1984年の無処理区は比較ごとに異なるため省略した。

苗立ち密度が低下した。しかし、穂数はほぼ同程度となった。播種深0cmでは転び型倒伏が起りやすく、倒伏程度は増大する傾向にあった。播種深2cmは1cmに比べ、稈径が大きくなり、稈強度が強まって、倒伏程度は軽減された。この結果には苗立ち密度の差異が影響していたため、同程度の苗立ち数が得られた区について比較を行った。この場合でも播種深2cmは最高茎数が少なかった。しかし有効茎歩合が高く、穂数は結

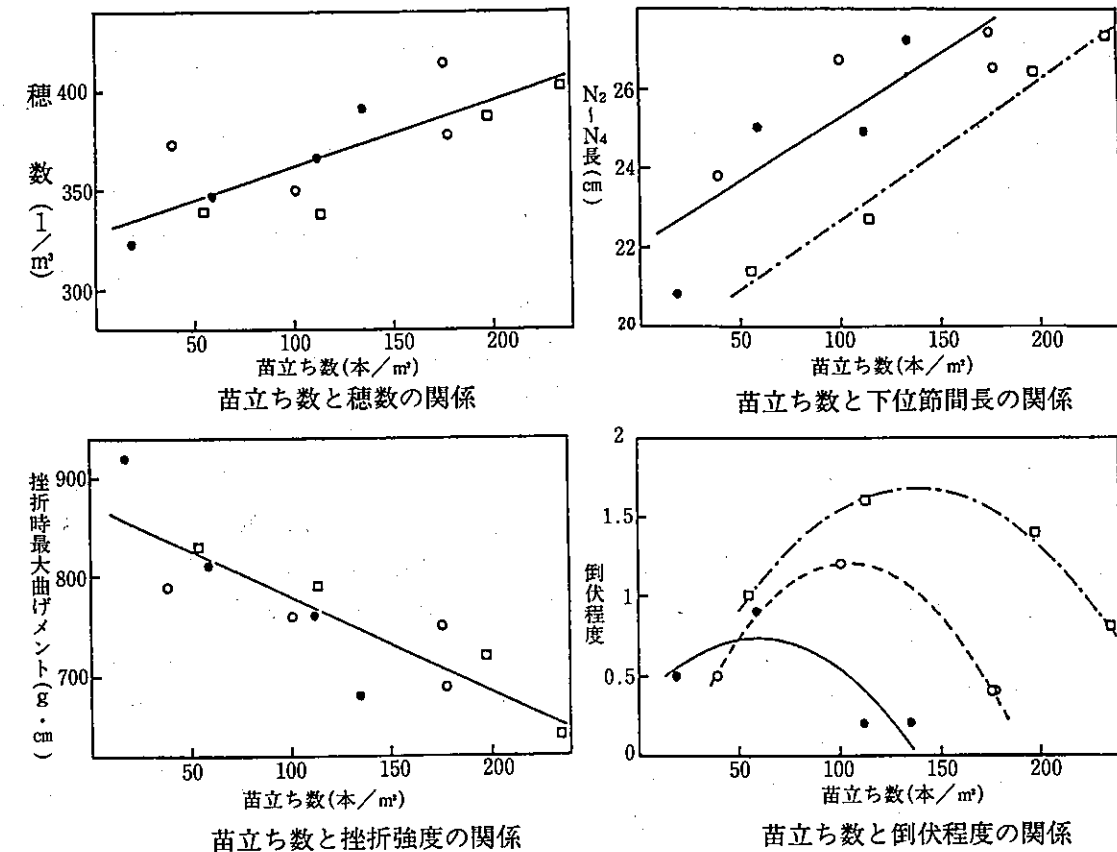
局同程度となった。稈径も同程度であったが、稈強度が増加し、倒伏程度がやや軽減された。

播種深度及び苗立ち数が倒伏に及ぼす影響を第7図に示した。播種量が多いほど、穂数は増加し、穂長が短縮した。稈径は細くなり、稈強度は低下した。しかし、倒伏程度への影響は単調ではなく、1㎡当たり苗立ち数が100本前後のところで倒伏程度が最も大きく、苗立ち数がそれ以下でも以上でも、倒伏はやや少なく

第9表 播種深と水稻の生育、収量、及び倒伏 (1985~'87)

播種深度	苗立ち数 (/㎡)	最高茎数 (/㎡)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (/㎡)	稈径 (cm)	稈強度 (g・cm)	玄米重 (g/㎡)	倒伏程度
播種量一定									
0 cm	111	-	82.8	18.3	353	4.3	550	482	2.2
1 cm	93	-	82.4	18.1	374	4.2	530	488	1.9
2 cm	56	-	83.6	18.6	368	4.5	560	485	1.5
苗立ち数一定									
0 cm	57	522	79.7	17.6	358	3.9	607	521	1.8
1 cm	65	535	77.1	17.7	373	3.9	524	519	1.8
2 cm	59	410	78.6	18.1	363	3.8	711	487	1.1

注) *倒伏程度は0(無)から5(甚)の6段階。



第7図 播種深度及び苗立ち数が倒伏に及ぼす影響 (1986)

播種深度 □ 0 cm ○ 1 cm ● 2 cm

なった。なお、倒伏は全て湾曲型であった。また、玄米収量は1㎡当たり苗立ち数50本以下で低下したが、それ以上では差異は少なかった。

倒伏軽減剤処理が倒伏に及ぼす影響を第10表に示した。倒伏軽減剤の処理により穂数が増加し、稈長は短縮した。稈径はやや細くなったが、稈強度は強まる傾向にあった。ただし、倒伏程度及び収量は無処理とほとんど差がなかった。

3. 考察

水稻の倒伏には転び型、湾曲型、挫折型の3種類がある³⁾。力学的には、倒伏に係わる要素を回転抵抗力とそれに対する抵抗力の2つの要素に分解できる。

転び型の抵抗力は根による株支持力である。これには発根位置と根の張り具合、及び土壌硬度が関与する。挫折型の抵抗力は節又は節間の挫折抵抗力であり、湾曲型の抵抗力は曲げ剛性である。この2つの抵抗力に

第10表 イナベンフィド粒剤の施用時期と倒伏防止効果 (1987)

処理時期	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (/㎡)	稈径 (cm)	稈強度 (g・cm)	全重 (g/㎡)	玄米重 (g/㎡)	倒伏程度
無処理	78.8	17.4	358	3.9	384	1200	499	1.0
出穂60日前	92	98	122	95	98	96	98	+0.1
出穂40日前	89	94	108	92	111	98	102	-0.2
出穂20日前	94	100	103	97	108	96	100	-0.1

注) *倒伏程度は0(無)から5(甚)の6段階。
無処理区のみ実数。他は無処理との対比(%)。ただし、倒伏程度のみは対差。

は、稈の太さと質が関与する。

回転週力はいずれの型の倒伏にも共通する要素である。これは、風、雨などの外力と稲体固有の週力とに分けられ、稲体固有の週力はさらに、重心の高さと地上部の重さの積として表現できる²⁰⁾。

以下、湛水土壤中直播栽培における栽培要因別にこれらの倒伏に係わる要素との関連を述べる。

表面播種の湛水直播栽培では根上がりによって株元が地上に浮き、転び型抵抗力が低下する。これは栽培法特有の問題点といえる。しかし、土壤中1cmに播種することでこの問題はほぼ克服できるといってよいであろう。

また、播種深を深くすることは転び型倒伏だけでなく、湾曲型の抵抗性も強化しているようである。ただし、播種深が深いと苗立ち率が悪化し、苗立ち密度の低下によって、倒伏関連要素に別な面での影響を及ぼす。したがって、播種深そのものの直接的な影響を論じるためには苗立ち密度の影響を取り除く必要がある。こうした検討から、播種深が深い場合の耐倒伏性強化の要因は、地際の支持力が強化されること以外に、分けつが発生が減少し、有効茎の歩留まりが向上して、稈質が強化されることにあると推定した。

次に、播種量も直播栽培に特有な栽培要因である。播種量の増加が生育に及ぼす影響は比較的単調である。つまり、播種量が多いほど、穂数が増え、1穂籾数が減り、稈が細くなり、稈の挫折強度が低下する。ところが、倒伏程度に及ぼす影響はそれほど単調ではないようである。これは、播種量の少ない範囲では1穂籾数の変動より挫折強度の変動が大きいものに対して、播種量の多い範囲では1穂籾数あるいは穂重の変動に比べて、挫折強度の変動は小さいということに原因があると思われる。言い換えると、播種量の増加には倒伏を助長する要因と倒伏を防止する要因が含まれており、播種量の程度によってこの両者の影響力が変わるため、表面上に現れる倒伏への影響は単調ではなくなるのである。

ところで、播種深あるいは播種量の調節によって倒伏を防止することには、実用面で疑問がある。まず、播種深を深くすることは、苗立ちを不安定にすることにつながる。また、播種量を少なくすると、苗立ち数確保の点で不安であるし、逆に播種量を多くすると、種子の無駄が多くなる。これらの栽培要因については、倒伏防止よりも、苗立ち安定や経済性といった観点からの検討がなされるべきである。

次に、直播栽培に特有の栽培要因ではないが、倒伏に大きい影響を及ぼす他の要因として、施肥と水管理が挙げられる。施肥法については、松島²¹⁾が、移植栽培において、収量へ悪影響を及ぼさず稈長を短縮し、倒伏抵抗性を高める方法について研究しており、直播栽培においても同様の理論を適用できるであろう。

水管理については、中干しによって稈質が強化され挫折強度を向上できるが、これの倒伏防止への寄与はわずかである。むしろ、実用上は土壌表面を固めることでの株支持力向上が意味を持つ。

なお、倒伏軽減剤も移植栽培同様に使用可能で、主に稈長短縮による回転週力低下を期待できる。

これらのことから得られる、実用的な倒伏防止のための栽培要因は、中干しを励行し、穂肥重点型の施肥法を行うことである。また、状況に応じて倒伏軽減剤を使用することも有効であるといえる。

VII 雑草の要防除水準と効率的除草法

湛水直播栽培においては、水稻の発芽と雑草の発生がほとんど同時であるため、雑草防除は極めて大きな問題の一つとなる。今日では除草剤の利用が一般化しているが、雑草の発生生態や被害程度の解析も含めて解明すべき点が多く残されている²²⁾。これらの問題のうち、雑草の要防除水準と効率的除草法について検討した。

1. 試験方法

1984~'86年に、除草剤処理を試験要因として湛水土壤中直播栽培を行い、雑草発生状況、雑草害程度、及び除草効果を調査した。1984年は初期剤を中心に10薬剤、16処理の検討を行った。1985年は4薬剤、8処理区を設け、主に雑草害について調査を行った。1986年は体系処理中期剤を中心に5薬剤、8処理の検討を行った。

試験圃場の土性は造成低地土細粒黄色土グライ相で、代掻きは播種4日前に行った。処理時減水深は1日当たり11mmであった。品種は「日本晴」を用い、5月11~21日に1㎡当たり3.0~3.5g、深度1cmに条播した。なお、1984年の雑草発生が少なかったことから、1985年以降は耕起前に雑草種子を混和して発生量を増大させた。

2. 試験結果

無除草区における雑草草種別生育量を第11表に示した。

第11表 無除草水田における草種とその生育量 (1984~'85)

草 種	播 種 1 か 月 後		水 稻 成 熟 期	
	個 体 数 (/㎡)	乾 物 重 (g/㎡)	個 体 数 (/㎡)	乾 物 重 (g/㎡)
水 稲	61	14.9	61	721.8
ノ ビ エ	15	0.7	14	361.3
ホ タ ル イ	160	10.0	79	278.3
マ ツ バ イ	—	8.8	—	50.6
コ ナ ギ	121	4.5	42	50.5
チ ョ ウ ジ タ デ	26	0.1	3	18.1
ア ゼ ナ	410	1.7	30	2.9
カ ヤ ツ リ グ サ	3	0.0	3	2.6
キ カ シ グ サ	584	3.0	32	1.7
ア ブ ノ メ	68	0.3	0	0.0
ク ロ グ ワ イ	3	0.5	0	0.0

雑草の発生は播種後10日頃から始まり、播種後15日頃が最盛期であった。播種1か月後の発生個体数はキカシグサ、アゼナ、ホタルイ、コナギが多かった。しかし、個体当たりの生育量は草種によって差があり、水稻成熟期の乾物重ではノビエが最も多く、次いでホタルイ、コナギの順であった。

雑草発生量の水稲収量への影響は水稻成熟期の雑草乾物重に強く関連した。1985年の各処理区の調査データを用いて、雑草の発生が水稻収量に与える影響を重回帰モデルによって推定した。1㎡当たり水稻の玄米重をY (g)、ノビエ、ホタルイ、コナギの水稻成熟期1㎡当たり残存個体数をそれぞれX₁、X₂、X₃として、

$$Y = 490 - 26.6x_1 - 0.64x_2 - 1.63x_3 \quad (7)$$

が得られた。残差の自由度は4で、寄与率は0.979であった。

除草剤処理による除草効果について、最も効果の高かったピラゾレート剤の成績を第12表に示した。

ピラゾレート10%剤の播種1日後、1㎡当たり製品量3.0~4.0g処理の実用性が高く、水稻への被害もなく、ノビエをはじめほとんどの草種の発生を抑えた。ただし、処理量2.0g又は播種17日後の処理ではホタルイなどの残草がやや多かった。また、局部的に発生したクログワイに対しては効果が劣った。

その他、播種前後の土壌混和剤としてオキサジアゾ

第12表 ピラゾレート剤の除草効果 (1984~'85)

処理製品量 (g/㎡)	処 理 時 期 (播種後日数)	播 種 1 か 月 後 乾 物 量 (g/㎡)				水 稻 玄 米 収 量 (g/㎡)
		ノ ビ エ	ホ タ ル イ	コ ナ ギ	雑 草 計	
0.0	—	11.9	11.1	6.9	48.3	182
2.0	1	0.0	1.3	0.0	6.3	493
3.0	1	0.0	1.1	0.0	4.1	528
4.0	1	0.0	0.0	0.0	0.2	573
3.0	17	0.0	6.2	0.0	14.6	459

ン乳剤を、同じく土壌処理剤としてナプロアニリド粒剤とモリネート粒剤を、播種17~19日後の茎葉兼土壌処理剤としてCNP粒剤、ベンチオカーブ粒剤、ブタクロール粒剤、クロメトキシニール粒剤、及びベンチオカーブ・ピラゾレート粒剤を、同じく茎葉処理剤としてDCPA乳剤を供試したが、いずれも除草効果が劣るなどの問題が見られた。

また、体系処理剤ではモリネート8%・シメトリン1.5%・MCPB0.8%粒剤の播種20日後、1㎡当たり製品量3.0g処理が薬害もなく、除草効果も高かった。ただし、播種28日後処理では効果が劣った。他では、ベンチオカーブ・ナプロアニリド粒剤、ベンチオカーブ・シメトリン粒剤、ピラゾレート・ブタクロール粒剤の播種20~28日後処理を検討したが、概して除草効果が劣った。

3. 考察

雑草の発生が水稻収量に及ぼす影響は、雑草の発生時期、水稻の苗立数、施肥法で、更には土壌、気象条件などで異なる⁴⁰⁾。しかし、一つの基準を示しておくことは無意味でないと思われる。

まず、水稻と雑草を含めた植物群落としての物質生産を取り扱うこととし、光エネルギー利用効率は草種が異なってもあまり違わないと仮定する。ここで対象としている雑草の生育期間は水稻と概ね同じであるので、群落全体の物質生産量は雑草の発生程度にかかわらずほぼ一定となる。個体間の競合が草種別の個体密度に比例し、玄米収量が水稻物質生産量に比例するものとする、水稻の優占する群落においては第7式のような重回帰モデルを導くことができる。このモデルで現実の状況を十分に説明できないことは言うまでもないが、一つの目安としての利用価値はある。

例えば、第7式は草種別要防除水準の策定に使用できる。仮に、除草に要するコストを10a当り3000円とし、玄米10kgの販売価格がこれに相当するものとする、除草の必要な水稻減収量は1㎡当たり10gとなる。そうすると、この式から各草種の要防除水準を、他雑草の発生がない状態で1㎡当たりノビエ約0.4本、ホタルイ約16本、コナギ約6本と計算できる。

具体的な、湛水土壤中直播栽培における雑草防除法は、以下の通りである。播種後、ピラゾレート粒剤を処理し、播種25日後頃に雑草の残存量を調べ、要防除水準以上であればモリネート・シメトリン・MCPB粒剤などの中期剤の使用を検討する。このような方法で実用的な除草が可能である。

Ⅷ 生産費低減効果

直播栽培が省力、省資材技術であることは論を待たない。湛水土壤中直播栽培の導入効果として期待される点もここにある。しかし、地域特性などの条件を取り入れての検討例がないため、実用場面での生産費低減効果は十分に解明されていない。そこで、当地方の平坦地域における水稻作付規模7haの経営を想定し、これまでの研究成果を取り入れて湛水土壤中直播栽培技術体系を組み立て、慣行稚苗移植栽培との比較において生産費低減効果の検討を行った。

1. 試験方法

1987年には「コシヒカリ」及び「日本晴」の2品種、1988年には「コシヒカリ」及び「みほひかり」の2品種を用い、各々について湛水土壤中直播栽培と稚苗移植栽培を行い、収量、生産費などを比較した。

直播栽培では、播種前日、コーティングマシンを使用し、種子に過酸化カルシウム粉剤を乾粉1kg当たり成分量0.35kg粉衣した。播種期は1987年が2品種とも5月7日、1988年は「コシヒカリ」が4月25日、「みほひかり」が5月16日であった。歩行型4条動力播種機を使用し、播種量10a当たり3.5~5.2kg、条間30cm、深度1cmに播種した。

移植栽培では、播種量1箱当たり180gとし、育苗器で出芽させ、ビニールハウス内で育苗し、育苗期間20日とした。移植期は1987年が2品種とも5月7日、1988年は「コシヒカリ」が5月2日、「みほひかり」が5月25日であった。歩行型4条動力田植機を使用し、栽植密度は1㎡当たり22株の3~5本植えとした。

試験圃場の土壌は細粒グライ土(埴壤土、千年統)であった。窒素施肥量は両栽培法の間で共通とし、10a当たり「コシヒカリ」が6.8kg、「日本晴」と「みほひかり」は9.8kgとした。除草は、両栽培法とも播種又は移植1~3日後にピラゾレートを10a当たり成分量0.3kg、土壌処理した。病虫害防除、水管理などの肥培管理も両栽培法共通して行った。

試験区は1区13aとした。

2. 試験結果

収量及び生産費の調査結果を第13表に示した。1987年においては、播種後の気温が低下したことから、両品種とも直播栽培の苗立ち率が50%前後でやや低かった。直播栽培では移植栽培に比較し、両品種とも出穂期が10日程度遅れた。また、両品種とも穂数が少なく、

第13表 湛水土壤中直播栽培の生産費(対慣行稚苗移植栽培)

項目	1987年				1988年			
	コシヒカリ		日本晴		コシヒカリ		みほひかり	
	実数	対慣行	実数	対慣行*	実数	対慣行	実数	対慣行*
収量構成要素								
穂数(／㎡)	443	88.4	433	94.7	398	76.2	512	112.3
1穂粉数	80.4	117.0	88.0	121.5	69.0	88.1	58.8	90.7
登熟歩合(%)	65.9	86.8	64.9	74.6	85.9	145.3	83.4	95.9
玄米千粒重(g)	22.4	100.9	23.7	103.0	23.2	108.4	25.5	104.9
10a当たり収量								
玄米重(kg)	52.6	90.7	58.6	88.5	54.3	105.2	63.8	102.2
10a当たり労働時間(時間)								
苗代一切	0.0	-6.8	0.0	-6.8	0.0	-5.8	0.0	-5.3
直まき	2.1	+2.1	2.1	+2.1	2.7	+2.7	2.7	+2.7
田植え	0.0	-3.8	0.0	-3.8	0.0	-2.8	0.0	-2.8
その他	21.7	+0.2	21.8	0.0	19.8	-3.0	22.0	+0.1
合計	23.8	-8.5	23.9	-8.7	22.5	-8.9	26.2	-5.3
10a当たり生産費(円)								
労働費	17,850	73.2	17,925	73.3	19,148	81.3	19,613	83.0
農機具費	31,565	100.2	31,565	100.2	29,111	92.6	29,111	92.6
その他費用	32,710	93.5	34,196	94.1	30,036	95.4	32,224	96.8
費用合計	82,125	90.4	83,686	90.7	78,295	90.6	80,948	91.6
第1次生産費	79,185	90.2	82,426	90.7	76,265	93.1	80,318	92.6
第2次生産費	122,062	93.1	125,335	93.4	118,834	95.0	122,940	94.6
玄米60kg当たり生産費(円)								
第1次生産費	9,033	99.4	8,440	102.4	8,427	88.5	7,553	90.6
第2次生産費	13,923	102.6	12,833	105.5	13,131	90.3	11,562	92.5

注) *対慣行の欄は労働時間については増減(時間)、他は比較比率(%)。

1穂粉数は多かったが、登熟歩合が低く、玄米収量は1割前後低下した。玄米品質は同等であった。苗代一切の労働時間が軽減され、労働費は27%近く低減した。労働費、農機具費を除くその他費用も低減し、単位面積当たりの第1次生産費では1割近い低減が認められたが、収量の低下により、両品種とも単位収量当たり生産費は低減されなかった。

1988年においては、生育様相が品種によって異なった。「コシヒカリ」は直播栽培の苗立ち率がやや低く、このため穂数がやや少なく、1穂粉数もやや少ない生育であった。これに対して移植栽培は肥効の中断が不十分で稈が徒長し、早くから倒伏したために登熟不良となって収量が低下し、相対的に直播栽培がやや多収

となった。一方、「みほひかり」では直播栽培の苗立ち率は81%と安定していた。出穂期が3日遅れ、本田期間は12日長くなった。穂数はやや増加したが、1穂粉数、登熟歩合はやや劣り、玄米収量は同等となった。玄米品質も同等であった。労働時間及び投下費用については両品種とも前年に類似した結果が得られた。その結果、両品種とも単位収量当たり第2次生産費で1割近い低減となった。

3. 考察

生産費は収量と投下費用との兼ね合いで定まる⁴¹⁾。収量に関しては、湛水土壤中直播栽培では、形態的には播種の遅い場合において穂数が増加しており、仮に他の収量構成要素を同一水準に保てるとすれば、収量

は増加するはずである。しかし、穂数の増加は必ずしも収量向上を伴わない。むしろ、移植栽培用に選抜された品種を用いる場合には、出穂の遅れから収量低下を招く可能性がある。移植栽培に比較して収量面でのメリットは乏しい。

関連して、品質については、湛水土壤中直播栽培では熟期が多少遅れる点から登熟期間の温度条件が良く、品質が向上することも考えられなくはない。しかし、収量低下を伴わずに品質のみが向上するという状況はまれであると思われる。

次に、投下費用に関しては、労働費、農機具費、その他費用に分けて考察できる³⁹⁾。

労働費については、湛水土壤中直播栽培では酸素発生剤粉衣や直まき作業などが新たに必要となるが、育苗作業の一切と田植え作業を省略できるため、差し引きすると、5時間以上の労働時間節減となる。この節減は全て春季労働におけるものである。

農機具費については、育苗器、田植機が不要となり、コーティングマシンと直播機が必要になる。実用化された機械での比較においても、湛水土壤中直播栽培の方が農機具費が低下する傾向にあった。更に、一般論として直播作業は移植作業に比べて単純であり、機械的にも構造を簡易化しやすいことから、機械の改良による一層のコスト低減の可能性があることも見逃せない。より大規模な経営においては農機具費を相対的に更に低減できるであろう。

その他費用については、酸素発生剤が必要であるが、育苗用の資材が全て不要になり、この比較でも直播栽培に有利性がある。

総合的に投下費用の面では、湛水土壤中直播栽培に著しい優位性を見いだせる。

したがって、収量が低下しなければ、湛水土壤中直播栽培は生産費低減に極めて有効な栽培法となりうる。そのような条件においては、湛水土壤中直播栽培の適用によって米生産費を1割程度低減することが可能である。

IX 総合考察

従来の湛水直播栽培における問題点は、苗立ちが安定しない、除草が困難である、株際倒伏しやすい、収量が安定しない、の4点であった。

このうち、酸素不足による苗立ち率低下の問題は種籾に酸素発生剤を粉衣することで防止ができる。ただ

し、播種時の低温、強還元土壌、播種深の深い条件では、酸素発生剤を粉衣しても実用的な苗立ち率を得られない場合もある。また、苗立ち安定には、品種特性が重要な要因としてかかわっている。

また、除草の難易という点に限れば、直播栽培が移植栽培に劣ることは否めない事実である。しかし、新規除草剤の利用によって、湛水直播栽培においても実用的な雑草防除が可能である。

次に、湛水直播栽培特有の転び型倒伏は土壌中播種によって基本的に防止できる。しかし、湾曲型及び挫折型の倒伏については、移植栽培の場合と同様に問題点として残る。また、倒伏抵抗性も品種特性に大きく左右される。

最後に、収量が安定しにくい問題は、移植栽培の作期に適した品種を用いる点に主な原因がある。しかし、現在の栽培品種の中にも、湛水土壤中直播栽培への適応性の高い品種がいくつかある。

総合すると、湛水土壤中直播栽培は、従来の湛水直播栽培の問題点をほとんど克服していると見ることができ。ただし、それには、適切な品種が選定できると、地域的な気象条件下で高い収量性を得るための作期を設定できることが条件となる。

例えば、当地方の平坦部において、「みほひかり」を用い、5月中旬播種の湛水土壤中直播を行うと、慣行の移植栽培に匹敵する収量を得ることができる。この場合には、慣行栽培に比較し、1割程度の生産費低減が図れる。従って、品種および地域の条件が適切であれば、湛水土壤中直播栽培は極めて有利な栽培技術となりうる。

品種については、労力配分や危険分散の目的での複数品種の栽培や、需要を考慮した特定品種の栽培が不可欠である。このために湛水直播と移植の2種栽培法を組み合わせるという考え方もある³⁾。しかし、複数の栽培法を並行して行うためには農機具などを、部分的にせよ、2重に装備しなければならない。生産費低減が主目的であるなら、湛水土壤中直播栽培だけで複数品種への対応を図ることが望ましい。

その場合、品種適応性の評価が問題となる。適応性の低い品種の代表に「コシヒカリ」が挙げられるが、「コシヒカリ」を用いた生産費の比較では、慣行移植栽培に比べて、収量が低下した場合でも生産費は増加しておらず、同等であった。つまり、「コシヒカリ」を用いることも、経営的には必ずしもマイナス要因とはならない。複数品種の栽培体系において総合的な生産費

低減を目標とするなら、かなり広い範囲の品種を取り扱うことが可能である。

地域条件を含めた場合にも、この生産費低減の観点から適応品種の選定ができる。標高が高いほど気温が低くなるため、適用できる品種が限定されるが、収量ではなく、生産費で得失を考えるなら、山陰地方中山間地域においては現在の栽培品種のほとんどが適用可能であろう。ただし、中山間地域では「コシヒカリ」、「農林44号」などの品種への適用は不利となる可能性が高い。また、山間地域については、「アキヒカリ」、「ヒメノモチ」など限られた品種を除くと、技術導入は利益をもたらさないであろう。

技術開発面で残されている課題もある。一つは品種改良である。様々な需要に対応できる栽培適応品種がいくつか開発されるなら、技術導入可能地域が広がり、生産費も一層低減されるであろう。もう一つは直播機の改良あるいは直播方式の改良である。現状は田植機を改良した直播機が主流であるが、直播作業と移植作業の難易を考えると、もっと簡易な方式が開発される可能性がある。そうなれば、生産費低減に一層有利性が増す。

山陰地方の現状では経営規模が小さく、農機具、施設の利用効率が悪く³⁹⁾⁴⁰⁾。このため、生産費低減効果としては規模拡大によるものが大きく、技術改良によるものは相対的に小さい。しかし、それは技術改良による生産費低減の価値を損なうものではない。加えて、湛水土壤中直播栽培導入のメリットは直接的な生産費低減のみではない。春季の労働時間を削減できることから、この時間を他作目あるいは他部門への経営に投入できる。つまり、複合経営における融通性が増す。また、規模拡大への融通性も増す。

検討の余地がまだ残されているが、適用条件さえ満たされるなら、開発された技術を導入するメリットは十分にあると言える。

X 摘要

水稲生産費の低減を目的として、山陰地方における湛水土壤中直播栽培の適用条件を検討し、地域適応技術としての体系化を図った。

1. 湛水土壤中直播栽培に対する適応性が最も高い品種は「アキヒカリ」、「ヒメノモチ」、「黄金晴」及び「みほひかり」であり、他にも多くの適用可能品種があった。ただし、「コシヒカリ」など数品種は適応性が低かつ

た。

2. 苗立ち安定のために酸素発生剤粉衣が有効であった。ただし、その効果は不完全であり、播種時の温度条件、土壌の還元状態、播種の深さなど、栽培面での注意が必要であった。

3. 「コシヒカリ」などの早期栽培用品種を用いる場合には、平均気温15℃になった段階で直ちに播種する必要があった。「みほひかり」などの早植栽培用品種の播種適期はこれより広がった。

4. 窒素施肥量は地力窒素発現量に応じて、「日本晴」では10a当たり10.0~15.0kg施用する必要があった。また、保肥力の低い土壌では細かい分施肥又は被覆肥料の利用が有効であった。

5. 転び型倒伏の防止に土壌中播種が有効で、播種深は1cmが適切であった。その他、倒伏防止のためには、中干しを励行し、穂肥重点型の施肥法を行い、場合により倒伏軽減剤を使用することが有効であった。

6. 雑草発生量が水稲収量に及ぼす影響を表す重回帰モデル式を導いた。これから得られた雑草の要防除水準は、他雑草がない状態で1㎡当たりノビエ約0.4本、ホタルイ約16本、コナギ約6本であった。また、播種後、ピラゾレート粒剤を処理し、播種25日後頃の雑草残存量が要防除水準以上であれば中期剤を使用する方法で、効率的に除草できた。

7. 湛水土壤中直播栽培によって慣行の稚苗移植栽培より労働時間、農機具費、その他費用の節減が図れ、収量が低下しない条件においては、生産費の約1割の低減が可能であった。

引用文献

- 1) 藤井正治(1963): イネの直播法に関する栽培学的研究。新科学文献刊行会, 400pp.
- 2) 北条良夫(1974): 作物の倒伏と強稈性。農業技術 29:157-162.
- 3) 池橋 宏・石坂昇助(1968): 稲育種における発芽性の問題点(第1報), 稲穂発芽性の簡易検定法。農及園43:1153-1154.
- 4) 池橋 宏(1968): 稲育種における発芽性の問題点(第2報), 稲の発芽諸特性間の相関。農及園43:1295-1296.
- 5) 池橋 宏(1968): 稲育種における発芽性の問題点(第3報), 適温下発芽性と低温発芽性の関連。農及園44: 693-694.

- 6) 泉 清一・姫田正美(1964): 稲の直播栽培. 農業図書, 226pp.
- 7) 片岡孝義(1973): 農林水産研究文献解題, 水稻直播編. 農林水産技術会議事務局編. 農林統計協会, p.33-34.
- 8) 小林 一(1988): 移植栽培と湛水直播栽培組み合わせ技術の経営的評価. 農業経営通信156;25-27.
- 9) 小林広美・川崎 勇・鷺尾 養(1971): 生育相から見た湛水直播水稻の安定多収の条件. 中国農試報A19;1-19.
- 10) 橋淵欽也(1973): 農林水産研究文献解題, 水稻直播編. 農林水産技術会議事務局編. 農林統計協会, p.22-23.
- 11) 松島省三(1957): 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報A5;1-271.
- 12) MATSUSHIMA, S. (1976): High-Yielding Rice Cultivation. Univ.Tokyo Press, p.1-367.
- 13) 三島勝郎(1956): 山陰の稲作. 稲作講座(1). 朝倉書店, p.290-301.
- 14) 三石昭三(1975): 水稻の湛水直播における土壌中埋没播種に関する作物学的研究. 石川農短特報4;1-59.
- 15) 三石昭三・井村光夫(1981): 水稻の湛水土壤中散播栽培におけるベレット状種籾の利用について. 石川農短研報11;5-10.
- 16) 三石昭三・井村光夫(1981): 水稻の湛水土中直播栽培に関する研究(第5報). 石川農短研報11;17-21.
- 17) 三石昭三・井村光夫(1982): 水稻の湛水直播における諸問題[1], 湛水土壤中直播法を中心にして. 農及園57:1265-1268.
- 18) 三石昭三・井村光夫(1982): 水稻の湛水直播における諸問題[2], 湛水土壤中直播法を中心にして. 農及園57:1383-1388.
- 19) 三石昭三・井村光夫(1982): 水稻の湛水直播における諸問題[3], 湛水土壤中直播法を中心にして. 農及園57:1493-1498.
- 20) 三石昭三・中村喜彰(1977): 水稻の湛水土壤中直播栽培に関する研究(第1報). 日作紀46(別1); 35-36.
- 21) 村山 登(1976): 施肥法と収量法則. 植物栄養土壌肥料大事典. 養賢堂, p.527-529.
- 22) 中村喜彰(1978): 湛水土壤中直播機に関する研究. 石川農短特報7;1-137.
- 23) 中村喜彰(1983): 低コスト増収の米作り, 湛水土
- 壌中直播栽培. 家の光協会, 194pp.
- 24) 中村喜彰(1984): 湛水土壤中直播栽培. 農業技術体系作物編2 イネ基本技術. 農文協, p.技402の2-24.
- 25) 西尾隆雄・石脇 勇・柳沢健彦(1966): 水稻湛水直播の倒伏防止に関する二, 三の考察. 鳥取農試研報7:1-8.
- 26) 西山岩男(1985): イネの冷害生理学. 北大図書, 313pp.
- 27) 新田英雄(1966): 水稻の散播栽培における倒伏の要因に関する一考察. 中国農研34:11-12.
- 28) 新田英雄(1967): 水稻湛水直播栽培における窒素質肥料の施肥法, とくに生育後期の施肥時期の相違が生育, 収量に及ぼす影響. 中国農研36:13-14.
- 29) 新田英雄・北山 茂・小村康治(1962): 水稻乾田直播栽培における窒素分施について. 中国農研24:70-72.
- 30) 農林水産省農蚕園芸局農産課監修(1984): 日本の稲作. 地球社, 464pp.
- 31) 小田桂三郎・鈴木 守・宇田川武俊(1966): 麦類品種の倒伏に関与する形質ならびに倒伏指数に関する研究. 農技研報D15;55-91.
- 32) 小川正己・太田保夫(1973): 水稻の直播栽培におけるカルパーとタチガレンの混用処理効果. 農及園48:1297-1300.
- 33) 岡 彦一(1954): 稲種子の発芽最低温度と温度恒数の品種間変異. 育学雑4:140-144.
- 34) 太田保夫・中山正義(1970): 湛水条件における水稻種子の発芽におよぼす過酸化石灰粉衣処理の影響. 日作紀39:535-536.
- 35) PEARSON, C. J. (1984): Control of Crop Productivity. Academic press, p.1-9.
- 36) 佐藤 庚(1984): 作物の生態生理. 文永堂, p.1-45.
- 37) 瀬古秀生(1962): 水稻の倒伏に関する研究. 九州農試彙報7;419-499.
- 38) 清水 強・関口貞介・盛田英夫・須崎睦夫(1963): 主要作物の収量予測に関する研究, IX. 水稻の直播栽培と移植栽培における生育相, 収量成立過程の比較. 日作紀32:128-131.
- 39) 塩谷哲夫・増淵隆一他(1984): 中国地域稲作のコストダウンを考える<座談会>(1). 農業技術39:129-138.
- 40) 塩谷哲夫・増淵隆一他(1984): 中国地域稲作のコストダウンを考える<座談会>(2). 農業技術39:179-187.

- 41) 高海幸夫・常松定信(1979): 水稻の麦間ばらまき栽培. 農及園54:1236-1240.
- 42) 寺田 優(1984): 湛水土壤中直播栽培水稻の特徴. 農及園59:535-539.
- 43) 千坂英雄(1966): 水稻と雑草の競合. 雑草研究5:16-22.
- 44) 鳥山国士(1962): 湛水直播用水稲品種の改良と問題点. 農業技術17:305-309.
- 45) 常松定信・高海幸夫(1978): 水稻の麦間ばらまき栽培について. 日作中支研集20;10-11.
- 46) 常松定信・鷺尾 養(1973): 水稻直播栽培における播種深度, 土壌の乾湿, 土性と発芽苗立ちについて. 日作紀42(別2);7-8.
- 47) 鷺尾 養(1962): 直播栽培, 農業技術体系作物編2 イネ基本技術. 農文協, p.技335-402.
- 48) 安原宏宣(1988): 水稻湛水土壤中直播法の出芽苗立に関わる2, 3の要因. 日作中支研集29:1-2.
- 49) 安原宏宣・神田正治(1988): 水稻湛水土中直播栽培における高位安定生産(第1報), 湛水直播適応性, 良質多収品種の選定. 島根県作物研究会報14:16-18.
- 50) 安原宏宣・神田正治(1988): 水稻湛水土中直播栽培における高位安定生産(第2報), 湛水土中直播栽培における出芽苗立ちの安定化. 島根県作物研究会報14:19-20.
- 51) 吉岡金市(1947): 水稻の直播栽培に関する研究. 伊藤書店, 324pp.
- 52) 吉野新六(1980): 農産物の生産費はどう計算するか. 博友社, 232pp.

Summary

For decreasing the cost of rice production, the direct underground sowing method in submerged paddy field has been studied and practiced in Sanin region.

1. Cultivars, "Akihikari", "Himenomochi", "Koganebare", and "Mihohikari" were suited to the method, and many others were stood to use, "Koshihikari" or a few, however, were not applied without sufficient consideration.
2. Coating seed with oxygen supplier CaO_2 was effective to keep percentage of seedling establishment high. For further stable establishment, the high temperature in sowing time, the low reduction level of soil, and the proper sowing depth were required.
3. Cultivars for the early season culture, like "Koshihikari", should be sowed as soon as the temperature rises to 15°C . The sowing time of cultivars for the early planting culture, like "Mihohikari", could be delayed.
4. The application amount of nitrogen for cultivar "Nipponbare" should be from 100 to 150 kilograms per hectare corresponding to the nitrogen supplying potentiality of soil. And, in low cation exchange capacity soil, split application and the use of coating fertilizer were useful.
5. The underground sowing method was effective to turning down lodging, and the best sowing depth was one centimeter. Also, the midseason drainage, the topdressing at earformation stage, and the occasional use of anti-lodging agent were useful to reduce lodging.
6. The relation between weed amount of emergence and rice yield was expressed by multiple-regression. It implied that the densities of *Echinochloa crus-galli*, *Scirpus juncoides* var. *hotarui*, and *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea* should be controlled less than 0.4, 16, and 6 per square-meters, respectively. Treatment with pyrazolate granule after sowing was effective to control weed, and it was efficient to observe the weed density in 25 days after sowing to decide to treat further herbicide.
7. The application of direct underground sowing method in submerged paddy field decreased the labor time or expense, the machines and implements expense, and the other expense. The rice production cost of this method were 10% less than that of the common transplanting cultivation, when the yields were equivalent.