

## 研究論文

### 栽培

# 水稻の再生紙マルチ直播における苗立ちと収量

山内稔\*

(農業技術研究機構)

**要旨:** 再生紙マルチ直播栽培は開発途上の技術であるが、除草剤を必要とせず、また育苗と移植作業がなく省力的である可能性を持つ。1997 年および 1998 年に品種‘コシヒカリ’と‘どんとこい’を用いて再生紙マルチ点播、再生紙マルチ条播、再生紙マルチ移植、粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播により栽培試験を行い、苗立ちと収量を測定するとともに併せて倒伏と雑草の発生を観察した。その結果、防鳥網を張った条件下では苗立ち率に関して、再生紙マルチ点播 $\geq$ 粉衣湛水土中散播 $\geq$ 無粉衣湛水散播、また再生紙マルチ条播 $\equiv$ 無粉衣湛水散播の関係が成り立った。倒伏の発生した面積は再生紙マルチ条播 $\geq$ 再生紙マルチ点播 $\equiv$ 移植であった。雑草の乾物重については栽培方法の間に統計的に有意な差は認められなかった。再生紙マルチ点播と条播における収量に差はなく、移植に比べて同等か若干低い傾向があった。以上の結果は、再生紙マルチを用いて無除草で直播栽培が可能であることを示している。

**キーワード:** 再生紙、雑草、水稻、直播、倒伏、苗立ち、マルチ。

近年、食品の安全性に対する消費者の関心が高まり、農薬の使用を抑制し、生態系における物質の循環を重視した環境保全型農業技術体系が唱えられている。そのような中、除草剤に替わる雑草防除法として再生紙のマルチングが考案され、それを利用した水稻の再生紙マルチ移植栽培法が確立され(津野ら 1993, 小林ら 1995)、実用化されている。

一方、米の生産や輸入の自由化に伴い、我が国の稲作においては生産費の削減が主要な課題になっており、育苗や移植を伴わない直播栽培の導入は、その切り札となる可能性がある。直播栽培における主要な問題は苗立ちの不安定さ、雑草害および倒伏である。再生紙マルチ移植栽培法を発展させ、再生紙マルチ直播栽培法を確立することは、低コストの環境保全型農業技術確立の可能性を持つが、そのためにはこれらの問題を解決する必要がある(山内 1997)。

再生紙マルチ直播は湛水直播栽培法の一形態である。現在中国農業試験場で試験されている方法では、農業用再生紙に種子(乾籾)を固定して直播シートを作成し、それを代かきをした水田に敷設している。種子の再生紙への固定様式に基づき、点播式と条播式の直播シートがある(山内 1998 a, b)。点播式の場合、種子は再生紙にあげられた植え穴に不織布で挟んで固定される。一方、条播式の場合、種子はシートテープに封入され、出芽のための切れ目を入れた再生紙の裏側(土壤に密着する側)に位置する。これらは開発途上の技術であり、採算性は不明である。

本研究の目的は、再生紙マルチ点播および条播における苗立ちと収量を把握し、併せて栽培試験中の倒伏と雑草の発生を観察し、今後の技術開発の参考にすることである。そこで、除草剤を用いた移植、酸素供給剤で催芽種子

を被覆し土中に播種する粉衣湛水土中散播、酸素供給剤を用いない無粉衣湛水散播、また除草剤を用いない再生紙マルチ移植、再生紙マルチ点播および再生紙マルチ条播直播栽培を行った。

## 材料と方法

再生紙マルチ直播シートは佐藤産業(株)が試作した。再生紙はカミマルチ(三洋製紙(株)製、幅 1.6 m、重さ 120 g m<sup>-1</sup>)を使用した。点播式直播シートは再生紙に栽植間隔(条間 30 cm、株間 15 cm)に合わせて植え穴をあけ、そこに種子(乾籾 5 粒)を不織布で挟んで作成した。条播式直播シートは再生紙に条間隔(30 cm)で出芽のための切れ目を入れ、その下に種子(2.8 cm に 1 粒)を封入した不織布製のシートテープを接着剤で固定して作成した(山内 1998 a, b)。

試験は中国農業試験場の試験圃場(広島県福山市)で行った。海成堆積を母材とする灰色低地土であり、日減水深 20 mm の乾田である。全試験において播種から苗立ち期に防鳥網を張った。再生紙マルチを栽培に使用した場合、その区画の除草は行わなかった。

## 試験 1

乱塊法 4 反復で 8 種の栽培方法(品種‘コシヒカリ’と‘どんとこい’の移植、酸素供給剤粉衣湛水土中散播、無粉衣湛水散播および再生紙マルチ点播)における生育を解析した。1 区画の大きさは 4.0 × 5.8 m で、区画間は 0.5 m であった。施肥は被覆窒素肥料 LP 140 (25°C 水中において 80% の窒素が 140 日で溶出する特性を持つ)と PK 化成の全量基肥とし、N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O を各々 8 g m<sup>-2</sup> 施用した。ケイカルを SiO<sub>2</sub> 成分で 8 g m<sup>-2</sup> 投入した。1997

年6月2日に代かきを行い、落水し、手蒔きで粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播を行った。6月3日に人力で再生紙マルチ点播直播シートを敷設した。6月5日に27日苗を1株3本で移植(条間30 cm, 株間15 cm)した。6月6日に全試験区を湛水し、除草剤ピラゾレート(10%)粒剤(商品名:サンバード粒剤)を移植区と粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播区に散布した。このとき畦畔板で再生紙マルチ点播区を囲み、除草剤の混入を避けた。6月12日から6月19日まで落水し、6月20日に除草剤シハロホップブチル(1.8%)粒剤(商品名:クリンチャー1キロ粒剤)を、7月22日に除草剤ベンタゾン(11.0%)粒剤(商品名:バサグラン粒剤)を移植区と粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播区に散布した。再生紙マルチ点播区には除草剤を散布しなかった。

使用した種子は1996年に中国農業試験場の試験水田で生産されたものであった。比重1.12で塩水選後種子を50°Cの通風乾燥器中に5日間保ち休眠を打破した。その後、種子を再生紙に固定し、直播シートを製造した。

粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播には30°Cで2日間催芽した種子を用いた。粉衣直播においては催芽種子に乾重の2倍量の過酸化カルシウム(16%)粉粒剤(商品名:カルパー16粉粒剤)をコーティングした。播種量は1 m<sup>2</sup>当たり300粒であった。手で散播した種子のほとんどが土壤中に埋没した。無粉衣湛水散播においては埋没しない種子の割合がコーティング種子よりも多い傾向があったが、目視では1区画あたり数粒にすぎなかった。播種2~3週間後において土壌が固まったときの観察では、種子は1~2 mmの土層下に播種されており、粉衣種子と無粉衣種子の間に顕著な差はなかった。

苗立ち調査は6月25日に行った。粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播区において各区画中2カ所で0.2 × 3.5 mの中に生育しているイネ個体数を数えた。再生紙マルチ点播区では54株において、生育しているイネ個体数を数えた。収穫は9月26日から10月6日の間に実施した。

## 試験2

敷設した直播シートは湛水すると浮遊し、稲株の基部が地表面に位置する傾向がこれまでに実施した試験の一部で認められていた(山内1997)ので、敷設後に湛水管理と落水管理を行い、苗立ちと収量に及ぼす影響を解析した。品種‘コシヒカリ’と‘どんとこい’の再生紙マルチ点播直播シートを用いた。一筆の水田の中央を畦畔板により区切り湛水および落水条件を設置した。それぞれの水管理条件下で2品種の再生紙マルチ点播を3反復、1区画の大きさ3.0 × 4.0 mで実施した。施肥量、直播シートおよび種子源は試験1と同じであった。1997年7月1日に代かきを行った後直ちに落水し、直播シートを人力で敷設した。敷設後、湛水区には入水し、落水区には田面に亀裂が

入り始めたときに入水し、直ちに落水した。湛水および落水条件は、敷設後17日間継続し、その後畦畔板を撤去し、同一の水管理を行った。苗立ち調査は7月18日に実施した。1株に生育しているイネ個体数を36株において数えた。収穫は10月23日に行った。

## 試験3

再生紙マルチ点播および条播と再生紙マルチ移植栽培の比較を行った。品種‘コシヒカリ’と‘どんとこい’を用いて、1区画の大きさ4.0 × 5.8 mの乱塊法4反復で行った。使用した圃場と施肥量は試験1と同じであった。1998年5月29日に代かきを行い、6月1日に落水し、再生紙マルチ移植を手植えて行った。再生紙に予め条間30 cm, 株間15 cmで直径2 cmの穴をあけておき、マルチを敷設しながら21日苗を1株当たり3本移植した。6月2日に、少量の水を入れ、再生紙マルチ点播および再生紙マルチ条播区の代かきを行い、落水後直播シートを手作業で敷設した。再生紙マルチ点播に使用した直播シートは1996年に製作し、前年の試験1と2に使用したものであった。再生紙マルチ条播に使用した直播シートは1997年産の種子を用いて製作された。5日間落水状態を保った後、湛水した。全区において除草は行わなかった。

収穫は9月30日から10月6日の間に行った。

## 試験4

品種‘コシヒカリ’の再生紙マルチ条播と点播および‘どんとこい’の再生紙マルチ条播における生育を無粉衣湛水散播と比較した。栽培試験は1区画の大きさ4.0 × 4.5 mとし乱塊法4反復で実施した。使用した直播シートおよび種子源は試験3と、また施肥量は試験1と同じであった。1998年5月19日に代かきを行い、5月20日に再生紙マルチ条播および点播直播シートを敷設した。

無粉衣湛水散播区については、浅水状態で5月20日に再び代かきし、散播した。種子は1997年に採種したもので、試験1と同じ手順で塩水選後休眠を打破し、催芽して散播した。同日中に、散播区を畦畔板で囲み、除草剤ピラゾレート粒剤を散布した。6月3日に無粉衣湛水散播区に除草剤シハロホップブチル粒剤を散布した。

苗立ちの調査は6月19日に行った。無粉衣湛水散播区では各区に0.2 × 3.5 m枠を2つ設置し、その中のイネ個体数を数えた。再生紙マルチ条播区では各区4カ所で条の中1 mに生育しているイネ個体を数えた。再生紙マルチ点播区では各区4カ所で1.05 mの条の中にある株を数えた。

収穫は9月9日から11日の間に行った。

## 試験5

品種‘コシヒカリ’と‘どんとこい’を用いて再生紙マルチ条播および点播における苗立ちと収量の比較を行った。

使用した圃場は試験2に用いたものであり、使用した直播シートおよび種子源は試験3と、また施肥量は試験1と同じであった。試験は1区画の大きさ3.0 × 4.0 mの乱塊法3反復で行った。1998年4月27日に代かきを行い、4月29日に直播シートを敷設した。

苗立ちの調査は5月15日に行った。条播および点播とも各2条（合計8 m）において苗立ちしたイネ個体と雑草の数を数えた。収穫は9月3日から7日の間に行った。

### 生育および収量の調査

苗立ち率は播種した催芽種子のうち、または直播シートに含まれる種子のうち、出葉・発根したものの割合である。再生紙マルチ点播区では各株に生育しているイネ個体数を、再生紙マルチ条播区では、一定の長さの条区間に生育しているイネ個体数を数えた。粉衣湛水土中散播区および無粉衣湛水土中散播区では一定の面積の枠の中に生育しているイネ個体数を数えた。苗立ち期の雑草の発生数は、苗立ちの調査時に雑草の数を数えた。苗立ち時の土壤温度を深さ5 cmで1時間おきに温度計（タバイエスベック製、サーモレコーダーRT-10、ステンレス保護管付温度センサ）で計測した。

再生紙マルチ点播で、苗立ちのなかった株数を数え、欠株数とした。再生紙マルチ点播と条播では、条間は30 cmで共通しており、両者の違いは再生紙マルチ点播で株間は15 cmであるのに対し、再生紙マルチ条播においては種子は2.8 cmに1粒おかれている。そのため再生紙マルチ条播における株間は苗立ち率によって影響された。そこで、再生紙マルチ条播において30 cm以上連続して苗立ちがなかった場合、1欠株相当数とした。

出穂期に各区画20株（試験1と4）または10株（試験3）の止葉の葉色を葉緑素計（ミノルタ製、SPAD-502）で測定した。

倒伏の程度は各区画における倒伏面積の目視に基づいた。なびいている状態の部分は倒伏していると思わず、45°以上に傾いている面積の区画に占める割合を推定した。試験1, 2ではスコア（0=0~9%; 1=10~19; ...; 9=90~100%）で、試験3, 4, 5は10%単位で記録し、反復間の平均値を計算した。

成熟期に、各区画において外縁の2条または0.5 mを除いて5 m<sup>2</sup>に生育しているイネおよび雑草の地上部を刈り取り、それぞれの風乾重を測定した。倒伏したイネについても調査を行った。イネは脱穀し、籾の重さと水分含量を測定し、水分含量14%に相当する籾収量を計算した。また各区画の外縁を除いた部分より0.45 m<sup>2</sup>に生育しているイネ地上部を刈り取り、80°Cで乾燥後、収量構成要素を解析した。穂数を数えた後脱穀し、水に浮く籾（未登熟籾）と沈む籾（登熟籾）に分け、それぞれの粒数を記録した。収穫指数は80°C乾燥重（試験1, 2）または風乾重（試験3, 4, 5）に基づいて計算した。

### 統計処理

統計用コンピュータソフトウェアSTATISTIX（Analytical Software, 1998）を用いて、処理区間差の有意さの検定および平均値の比較を行った。苗立ち率、登熟歩合、倒伏スコアおよび倒伏面積の分散分析においては、アークサイン変換を行った（Gomez and Gomez 1984）。

### 結 果

苗立ち時の土壤温度は試験1, 3, 4, 5において平均22~23°Cであった（第1, 3, 4, 5表）。試験2においては土壤温度を測定しなかったが、播種時期が他の試験より遅かったので、22~23°C以上であったと考えられる。

再生紙のマルチングにより試験1においては雑草の発生はほとんどなかったが、試験2, 3, 4, 5においてはタイヌビエ（*Echinochloa crus-galli*）が主として認められ、その他にミズカヤツリ（*Cyperus serotinus*）、アゼナ（*Lindernia pyxidaria*）、ヒデリコ（*Fimbristylis miliacea*）等が認められた。再生紙マルチ点播直播においては植え穴から、再生紙マルチ条播直播においては出芽のための切れ目から主として発生しており、再生紙で覆われた部分（株間）からの発生は認められなかった。

### 試験1

直播栽培法の間で、また品種間で苗立ちに差があった。‘コシヒカリ’においては、再生紙マルチ点播における苗立ち率は粉衣湛水土中散播より高い傾向があり、無粉衣湛水土中散播より有意に高かった（第1表）。一方、‘どんとこい’においては、再生紙マルチ点播における苗立ち率は粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水土中散播より高かったが、有意な差ではなかった。散播において種子の粉衣により苗立ち率は高くなる傾向があったが、統計的に有意ではなかった。苗立ち数は粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水土中散播において、再生紙マルチ点播より大きかった。これは散播における播種量が300粒m<sup>-2</sup>であったのに対し、再生紙マルチ点播では111粒m<sup>-2</sup>（22.2株m<sup>-2</sup>、1株当たり5種子）と少なかったためである。再生紙マルチ点播における欠株数は‘コシヒカリ’で0.2、‘どんとこい’で1.1株m<sup>-2</sup>であった。

出穂は移植区で早く（‘コシヒカリ’で8月9日、‘どんとこい’では8月10~11日）、次いで粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水土中散播であり、再生紙マルチ点播直播で最も遅かった。出穂期における葉色値は移植栽培で最も高く、粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水土中散播で低かった。再生紙マルチ点播における葉色値は移植と散播の間であった。葉色値が高いときイネ体内の窒素濃度は高いので、本結果は栽培方法が体内窒素濃度に影響を与えることを示している。

8月下旬の登熟期から収穫期の間で倒伏が発生した（第

第1表 水稻の再生紙マルチ点播、湛水散播および移植栽培における生育の比較（試験1, 1997年）。

栽培法	品種	苗立ち率 (%)	苗立ち数 (m <sup>-2</sup> )	葉色	草丈 (収穫時, cm)	イネ 乾物重 (g m <sup>-2</sup> )	収穫指数	籾収量 (g m <sup>-2</sup> )	穂数 (m <sup>-2</sup> )	穎花数 (m <sup>-2</sup> )	籾 1000 粒重 (g)	登熟歩合 (%)
移植	コシヒカリ			32.6a	112a	1270ab	0.443a	661abc	321c	27900ab	23.1a	86.8a
粉衣湛水 土中散播	コシヒカリ	57.9ab	174a	28.1cd	99b	1040c	0.311d	545de	522a	25400b	22.0c	59.0d
無粉衣 湛水散播	コシヒカリ	46.1bc	139ab	28.6bcd	102b	1180b	0.343cd	492e	531a	26000b	22.4bc	69.8c
再生紙 マルチ点播	コシヒカリ	64.3a	71c	29.6bc	107a	1210ab	0.387bc	602cd	444b	29200ab	21.9c	73.4bc
移植	どんとこい			32.7a	93c	1300ab	0.430ab	730a	377c	31100a	22.8ab	79.4ab
粉衣湛水 土中散播	どんとこい	42.5c	130b	28.6bcd	88d	1330a	0.412ab	605cd	530a	31100a	22.9ab	77.4bc
無粉衣 湛水散播	どんとこい	42.1c	127b	27.0d	83e	1300ab	0.414ab	691ab	556a	30200a	23.0a	79.3ab
再生紙 マルチ点播	どんとこい	48.9bc	54c	30.4b	87de	1300ab	0.387bc	633bc	447b	31300a	22.1c	72.9bc

各列において同一のアルファベットのついた平均値はLSD法により5%水準で有意な差がないことを示す。

苗立ちは散播後23日、直播シート敷設後22日に測定した。葉色は移植栽培におけるコシヒカリの出穂時に測定した。

苗立ち期（6月7日～6月20日）の温度は平均22.9℃、最高32.3℃、最低16.5℃であった。

第2表 直播シート敷設後の水管理が再生紙マルチ点播栽培における苗立ちと収量に及ぼす影響（試験2, 1997年）。

水管理	品種	苗立ち 率 (%)	欠株 割合 (%)	倒伏ス コア	雑草重 (g m <sup>-2</sup> )	イネ 乾物重 (g m <sup>-2</sup> )	雑草重 比	籾収量 (g m <sup>-2</sup> )	収穫 指数	穂数 (m <sup>-2</sup> )	穎花数 (m <sup>-2</sup> )	籾 1000 粒重 (g)	登熟 歩合 (%)
湛水	コシヒカリ	62.6a	0.0a	8.7a	8.8a	1070a	0.009a	529b	0.332a	422a	24600a	23.8a	60.4a
湛水	どんとこい	44.3b	3.6a	0.0b	15.4a	1170a	0.013a	651a	0.449a	438a	27600a	24.9a	77.2a
落水	コシヒカリ	70.8a	0.9a	9.0a	13.2a	1090a	0.011a	553a	0.366a	416a	27000a	23.3a	64.0a
落水	どんとこい	46.1b	2.8a	0.0b	44.2a	1070a	0.040a	602a	0.429a	399a	25200a	24.7a	74.0a

それぞれの水管理下で、各列において同一のアルファベットのついた平均値はLSD法により5%水準で有意な差がないことを示す。雑草重比は雑草重の群落（雑草+イネ）重に占める割合を示す。

1図)。倒伏は降水量や風速が大きかった後に発生した。‘どんとこい’は‘コシヒカリ’に比べて倒伏が少なかった。‘コシヒカリ’では粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播において9月初旬より倒伏が認められた。移植および再生紙マルチ点播においては倒伏の程度は小さかったが、台風（19号、9月16日）の来襲によりそれらにおいても著しい倒伏が発生した。‘どんとこい’では9月12日までほとんど倒伏は認められなかったが、台風により粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播で著しく倒伏した。‘どんとこい’の移植および再生紙マルチ点播においては倒伏は軽微であった。両品種において移植と再生紙マルチ点播では倒伏の程度に有意な差はなかった。

成熟時の草丈は‘コシヒカリ’が‘どんとこい’より高かった（第1表）。‘コシヒカリ’では移植と再生紙マルチ点播の草丈は粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播より高かった。‘どんとこい’では移植で高く、粉衣湛水土中散播と再生紙マルチ点播が同程度であり、無粉衣湛水散播で低かった。

籾収量は‘どんとこい’が‘コシヒカリ’より多かった。‘コシヒカリ’では移植と再生紙マルチ点播の収量が粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播より大きかった。この原

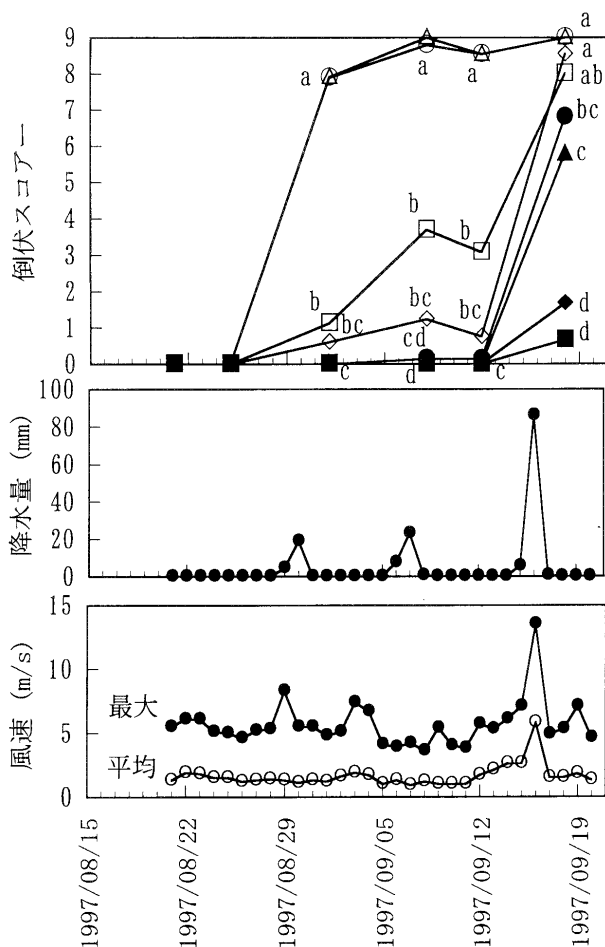
因は湛水散播では乾物重と収穫指数が小さく、また穎花数と登熟歩合も小さかったためであった。‘どんとこい’では‘コシヒカリ’のような栽培方法による大きな籾収量の差は認められなかったが、移植と無粉衣湛水散播で大きい傾向があった。

## 試験2

‘コシヒカリ’と‘どんとこい’を用いて再生紙マルチ点播を湛水および落水管下で行った。‘コシヒカリ’の苗立ち率は‘どんとこい’よりも高かった（第2表）。苗立ち時に落水することにより、苗立ち率は高くなる傾向があった。品種や水条件の違いにより欠株割合に有意な差はなかった。

成熟時において、‘コシヒカリ’は倒伏したが、‘どんとこい’は倒伏しなかった。苗立ち時の水管理は、成熟時の倒伏の程度に影響を与えなかった。成熟時の雑草重およびその群落（イネ+雑草）乾物重に占める割合は、‘どんとこい’でより大きく、また落水条件下で湛水条件下より大きい傾向があったが、統計的に有意な差ではなかった。

籾収量は苗立ち時の水条件によって影響を受けず、‘どんとこい’で‘コシヒカリ’より大きかった。‘どんとこい’



第1図 水稻の再生紙マルチ点播，粉衣湛水土中散播，無粉衣湛水散播および移植における倒伏（上図），降水量（中図）および風速（下図）。倒伏の程度は各区画において45°以上に倒伏している面積をスコア（0 = 0～9%；1 = 10～19；…；9 = 90～100%）で表した。栽培方法と品種の記号は以下の通り：□，移植，コシヒカリ；○，粉衣湛水土中散播，コシヒカリ；△，無粉衣湛水散播，コシヒカリ；◇，再生紙マルチ点播，コシヒカリ；■，移植，どんとこい；●，粉衣湛水土中散播，どんとこい；▲，無粉衣湛水散播，どんとこい；◆，再生紙マルチ点播，どんとこい。同一日において同一のアルファベットのついた平均値はLSD法により5%水準で有意な差がないことを示す。

は‘コシヒカリ’に比べて収穫指数が高く，登熟歩合と籾の1000粒重も大きい傾向があり，これが籾収量の大きい原因であった。

### 試験3

再生紙マルチ点播および条播栽培における‘コシヒカリ’と‘どんとこい’の生育を再生紙マルチ移植栽培と比較した。敷設後防鳥網を張ったが，スズメが数羽中に入り合計8区画の再生紙マルチ点播のうち2区画に著しい被害を与えた。また圃場の均平度が低く，試験水田の一部が深水・排水不良になり，2区画の再生紙マルチ点播区の苗立ちが不良であった。登熟期において，品種‘どんとこい’の1区画（再生紙マルチ移植）においてウンカの被害による坪

枯れが発生した。統計解析においては，ウンカの被害の発生区を除外し，また再生紙マルチ点播において，苗立ち不良のため所定のサンプルが採れなかった場合を欠測値とした。

欠株（相当）数は再生紙マルチ点播で再生紙マルチ条播より多かった（第3表）。敷設・移植後34～35日における草丈は，再生紙マルチ移植で大きく，再生紙マルチ点播および条播で小さかった。登熟期の草丈は‘コシヒカリ’では再生紙マルチ点播で再生紙マルチ移植や再生紙マルチ条播より小さかった。‘どんとこい’では再生紙マルチ条播と点播で草丈が高かった。‘コシヒカリ’は‘どんとこい’より草丈が高かった。

出穂期における葉色値は，‘コシヒカリ’では栽培方法によって影響を受けなかったが，‘どんとこい’では再生紙マルチ条播区で小さかった。倒伏は‘どんとこい’ではほとんどなかったが，‘コシヒカリ’では著しく発生した。‘コシヒカリ’では9月7日から14日にかけて再生紙マルチ条播で移植および点播より著しい倒伏が発生した。雑草重とその群落（イネ＋雑草）に占める割合は再生紙マルチ移植で小さかったが，統計的に有意な差ではなかった。

籾収量は‘コシヒカリ’において再生紙マルチ条播で再生紙マルチ移植より有意に小さかった。‘コシヒカリ’の再生紙マルチ条播では収穫指数が有意に小さかったためであろう。‘どんとこい’の籾収量は再生紙マルチ条播において高い傾向があったが，統計的に有意ではなかった。

### 試験4

再生紙マルチ条播における苗立ち率は無粉衣湛水散播と同等であった（第4表）。また品種間に苗立ち率の有意な差はなかった。無粉衣湛水散播における播種量は再生紙マルチ条播より大きいため，苗立ち数は前者で多かった。苗立ち時における雑草の発生数は再生紙マルチ直播において無粉衣湛水散播より少なかった。

出穂期の葉色値や草丈は無粉衣湛水散播において再生紙マルチ点播および条播より小さい傾向があった。倒伏は‘コシヒカリ’において認められ，再生紙マルチ条播および点播においては無粉衣湛水散播より小さかった。‘どんとこい’の3区画の無粉衣湛水散播において登熟期にウンカによる坪枯れが発生した。また‘コシヒカリ’の無粉衣湛水散播区のうち3区画において甚大な倒伏の発生のため，収穫期に所定のサンプルを採れなかった。このため欠測値が多く，イネ地上部乾物重，収穫指数，雑草重およびその群落に占める割合には栽培法間に統計的に有意な差はなかった。籾収量は‘コシヒカリ’において再生紙マルチ点播で大きい傾向があった。

### 試験5

再生紙マルチ点播と再生紙マルチ条播を比較したとき，‘コシヒカリ’の苗立ち率は点播で条播より高かった（第5

第3表 再生紙マルチを利用した移植と直播栽培の比較 (試験3, 1998年)。

栽培法	品種	欠株 (相当) 数 (m <sup>2</sup> )	草丈 (植え付 後34 ~35日, cm)	草丈 (登熟 期, cm)	葉色 (出穂期)	倒伏面積割合 (%)			イネ 乾物重 (g m <sup>-2</sup> )	収穫 指数	籾収量 (g m <sup>-2</sup> )	雑草重 (g m <sup>-2</sup> )	雑草重 比
						9/7	9/14	9/22					
再生紙 マルチ移植	コシヒカリ	0.0b	62.2a	112ab	34.9ab	62b	85b	98a	1330a	0.497ab	662a	25a	0.019a
再生紙 マルチ条播	コシヒカリ	1.3b	40.4c	116a	34.4ab	98a	100a	100a	1040a	0.445c	467b	23a	0.021a
再生紙 マルチ点播	コシヒカリ	8.9a	39.4c	111b	34.0ab	43b	69b	100a	1110a	0.486ab	521ab	106a	0.031a
再生紙 マルチ移植	どんとこい	0.0b	53.9b	91d	37.2a	0c	0c	0b	1220a	0.430c	529ab	60a	0.043a
再生紙 マルチ条播	どんとこい	0.2b	36.9d	96c	31.5b	0c	0c	4b	1240a	0.478bc	599ab	132a	0.097a
再生紙 マルチ点播	どんとこい	10.6a	35.0e	96cd	35.7a	0c	0c	3b	1000a	0.522a	513ab	114a	0.066a

各列において同一のアルファベットのついた平均値はLSD法により5%水準で有意な差がないことを示す。

雑草重比は雑草重の群落(雑草+イネ)重に占める割合を示す。

苗立ち期(6月2日~6月22日)の温度は平均22.8℃, 最高35.1℃, 最低16.4℃であった。

第4表 無粉衣湛水散播と再生紙マルチ直播栽培の比較 (試験4, 1998年)。

栽培法	品種	苗立ち 率 (%)	イネ個 体数 (m <sup>2</sup> )	欠株 (相当) 数 (m <sup>2</sup> )	苗立ち 時の雑 草数 (m <sup>2</sup> )	葉色 (出穂 期)	倒伏面積割合 (%)		草丈 (登熟 期, cm)	イネ 乾物重 (g m <sup>-2</sup> )	収穫指 数	籾収量 (g m <sup>-2</sup> )	雑草重 (g m <sup>-2</sup> )	雑草重 比
							8/27	9/7						
無粉衣 湛水散播	コシヒカリ	50.1a	150a		5.2ab	27.7b	14a	71a	98b	1180a	0.447b	527a	1a	0.001a
再生紙 マルチ条播	コシヒカリ	53.2a	63b	0.0a	0.6ab	31.3a	0a	26bc	107a	1260a	0.438b	552a	51a	0.039a
再生紙 マルチ点播	コシヒカリ			0.2a	0.0b	31.4a	1a	29ab	107a	1380a	0.446b	616a	34a	0.025a
無粉衣 湛水散播	どんとこい	48.2a	145a		6.3a	28.6b	0a	1cd	77d	1190a	0.462a	544a	30a	0.023a
再生紙 マルチ条播	どんとこい	41.8a	50b	0.2a	0.2b	31.8a	0a	0d	86c	1190a	0.447b	530a	65a	0.052a

各列において同一のアルファベットのついた平均値はLSD法により5%水準で有意な差がないことを示す。

雑草重比は雑草重の群落(雑草+イネ)重に占める割合を示す。

苗立ち期(5月20日~6月2日)の温度は平均22.6℃, 最高31.4℃, 最低15.2℃であった。

表)。「どんとこい」でも同様の傾向が認められたが、有意な差ではなかった。苗立ち数は、点播と条播において種子量がほぼ同じ(111~118種子m<sup>-2</sup>)であったため、苗立ち率と同様に変動した。欠株(相当)数は0.5カ所m<sup>-2</sup>以下で品種と栽培方法による差は認められなかった。

倒伏は「コシヒカリ」で認められ、再生紙マルチ点播で再生紙マルチ条播より有意に小さかった。「どんとこい」で倒伏は発生しなかった。草丈は「コシヒカリ」の再生紙マルチ条播で再生紙マルチ点播より高く、「どんとこい」では条播、点播とも低かった。

収穫時のイネ乾物重は「コシヒカリ」で「どんとこい」より大きかったが、収穫指数は「コシヒカリ」で小さかった。籾収量には品種および栽培方法による有意な差は認められなかった。

再生紙マルチ点播では苗立ち時に雑草の発生は認められなかったが、再生紙マルチ条播では1~3個体m<sup>-2</sup>認められ、苗立ち時の雑草発生の抑制効果については点播式直播

シートが条播式に勝った。収穫時において雑草重およびその群落に占める割合に品種間で差はなかったが、条播は点播より統計的に有意ではないが大きい傾向があり、点播式直播シートが条播式直播シートに比べて雑草発生の抑制効果が大きいことが示唆されている。

## 考 察

本研究において再生紙マルチ直播栽培との比較のために使用された各種の栽培法のうち、移植は一般に広く普及しており、再生紙マルチ移植および粉衣湛水土中散播は普及面積は限られているものの、すでに一部生産に利用されている。一方、酸素供給剤を使わない無粉衣湛水散播は日本では一般的ではないが、その栽培法については検討されてきており(柊木・金1991, 齋藤ら1998a, b, 注:平成8年度近畿中国農業研究成果情報), 省力・省資材性を考えると将来の直播栽培技術として重要になる可能性を持つ。海外では一般に酸素供給剤は使われず、表面直播が主な栽培法

第5表 再生紙マルチ条播と点播栽培の比較 (試験5, 1998年)。

栽培法	品種	苗立ち率 (%)	イネ個体 数 (m <sup>-2</sup> )	欠株 (相 当) 数 (m <sup>-2</sup> )	苗立ち時 の雑草数 (m <sup>-2</sup> )	倒伏面積 割合 (8/27) (%)	草丈 (登熟期) (cm)	イネ 乾物重 (g m <sup>-2</sup> )	収穫指数	籾収量 (g m <sup>-2</sup> )	雑草重 (g m <sup>-2</sup> )	雑草重比
再生紙マルチ 条播	コシヒカリ	60.7b	72.3b	0.1a	2.5a	51a	112a	1170a	0.439b	512a	255a	0.177a
再生紙マルチ 点播	コシヒカリ	76.4a	84.8a	0.4a	0.0b	11b	107b	1190a	0.434b	516a	111a	0.084a
再生紙マルチ 条播	どんとこい	55.6b	66.1b	0.3a	0.8ab	0b	89c	910b	0.470a	429a	178a	0.163a
再生紙マルチ 点播	どんとこい	62.5b	69.3b	0.3a	0.0b	0b	89c	1100ab	0.465a	510a	103a	0.084a

各列において同一のアルファベットのついた平均値はLSD法により5%水準で有意な差がないことを示す。

雑草重比は雑草重の群落(雑草+イネ)重に占める割合を示す。

苗立ち期(4月28日~5月15日)の温度は平均21.6°C, 最高30.7°C, 最低15.1°Cであった。

である。熱帯では無粉衣湛水土中直播が可能であると最近報告されている(Yamauchiら2000)。本研究は確立された再生紙マルチ直播技術を用いた栽培試験ではなく、開発途上の技術を用いた試験であり、それを普及技術や開発されつつある直播栽培法と比較し、再生紙マルチ直播栽培法の特徴を把握して、今後の技術開発の参考にしようとするものである。

本研究に用いた直播栽培法のうち、最も苗立ち率の高かったのは‘コシヒカリ’の再生紙マルチ点播であった(第1表)。同一の直播法で比較した場合、‘コシヒカリ’の苗立ち率は‘どんとこい’の苗立ち率より明らかに高く(第1, 2, 4, 5表)、品種間に差があることを示している。再生紙マルチ点播では粉衣湛水土中散播と同等かまたは高い苗立ち率を示した(第1表)。一方、再生紙マルチ条播の苗立ち率は再生紙マルチ点播より約10%劣ることが種子源をそろえた試験において報告されている(山内1998a)。本研究のうち1998年に実施された試験3, 4, 5においては再生紙マルチ点播と条播に用いた種子の生産年が異なっているため(点播に用いた種子は1996年, 条播は1997年に生産)、点播と条播の苗立ち率の比較は厳密には行えないが、点播で高い苗立ち率が得られた(試験5)。試験4においては同一の種子源で再生紙マルチ条播と無粉衣湛水土中散播が行われており、これらは同等の苗立ち率を示した。以上から防鳥網を張った条件下では苗立ち率に関して、再生紙マルチ点播 $\geq$ 粉衣湛水土中散播 $\geq$ 無粉衣湛水土中散播, また再生紙マルチ点播 $>$ 再生紙マルチ条播 $\approx$ 無粉衣湛水土中散播の関係が成り立つといえる。

再生紙マルチ点播は表面播種であり種子には大気より酸素が供給されるが、再生紙マルチ条播では種子はマルチの下にあり、酸素の供給は限られている。また粉衣湛水土中散播では酸素供給剤を使用し種子に酸素を供給しているが、無粉衣湛水土中散播では多くの種子は土壌表面下にあり、種子への酸素供給が限られている。播種法による種子への酸素供給の違いは苗立ち率が違う一因であると思われる。

本研究は防鳥網を設置した条件下での試験結果である。鳥害の程度は試験地によって異なるが、本研究に使用した

中国農業試験場の水田においては、再生紙マルチ点播は再生紙マルチ条播や粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水土中散播に比べて鳥害を被りやすく、防鳥網を使用していてもスズメが偶発的に数羽中にはいっただけで苗立ちは著しく低下した。再生紙マルチ条播, 粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水土中散播においては種子がマルチの下や地表面下にあるのに対し、再生紙マルチ点播では種子が不織布で覆われているものの地上から見え、スズメの食害を被りやすいのであろう。

倒伏の程度は品種と栽培方法によって影響された。‘どんとこい’は耐倒伏性品種であると報告されており(上原ら1995)、本研究においても同一の栽培方法のもとでは‘コシヒカリ’より明らかに倒伏の程度が小さかった(第1図, 第2, 3, 4, 5表)。

再生紙マルチ点播における倒伏の程度は移植と同程度であり(第1図, 第3表)、再生紙マルチ条播と比べて同程度(第4表)または小さかった(第3, 5表)。本研究に用いられた条件下では、耐倒伏性の程度は移植 $\geq$ 再生紙マルチ点播 $\geq$ 再生紙マルチ条播であることが示唆されている。

粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水土中散播における倒伏の程度は再生紙マルチ点播(第1図)や条播(第4表)に比べて大きかったが、これは播種量の大きい条件下の結果であることに留意する必要がある。本研究で用いた粉衣湛水土中散播における播種量(300粒m<sup>-2</sup>)や苗立ち数(130~174個体m<sup>-2</sup>)は生産者に奨励されている目標苗立ち数(60~150個体m<sup>-2</sup>)(農業研究センター1997)に比べて多い。適正な播種量や目標苗立ち数は用いる品種の耐倒伏性によっても異なり、本研究で用いられた‘コシヒカリ’のように低い品種については‘どんとこい’のように高い品種に比べて播種量や目標苗立ち数はさらに小さくなると考えられる。

試験1と同じ年に、同じ播種・水管理で実施した中山間地での試験において‘コシヒカリ’を用いた再生紙マルチ点播において出穂期に甚大な倒伏が発生し(注:平成9年度近畿中国農業試験研究成績・計画概要集一土壌肥料・農業気象一)、この原因として直播シートの田面水中での浮



遊が考えられた。試験1における‘コシヒカリ’の再生紙マルチ点播での倒伏の程度は中山間地での試験に比べて小さく、試験2において再生紙マルチ敷設後に湛水管理をしても対照（落水管理）に比較して著しい倒伏は起こらなかった。中山間地では苗立ち期の温度が低く生育速度が遅くなり、その結果浮き苗になり、倒伏が発生したとも考えられる。

イネの耐倒伏性はイネ体基部の地中における深さ、肥培管理や水条件によって変動し、また転び型、なびき型および挫折型の様式があるといわれている（Nishiyama 1985）。本研究においては、耐倒伏性を倒伏した面積に基づいて推定しているにすぎず、倒伏角度についての分析が欠けている。このように、各種の栽培法間での耐倒伏性の比較については、散播における播種量の違いのみでなく、気象条件をも加味して、さらに詳細な解析が必要であろう。

普及技術である再生紙マルチ移植栽培において、再生紙マルチの雑草防除効果について詳細に検討され、除草剤のようにシャープな防除効果ではないが概ね雑草が発生しない程度であると報告されている（小林ら 1995）。本研究においては統計的に有意な差はなかったが、除草剤を利用した無粉衣湛水散播におけるイネ成熟期の雑草重およびその群落重に対する比は、再生紙マルチ条播における雑草重および比より小さい傾向があり（第4表）、再生紙マルチの雑草防除効果は直播栽培においても除草剤より劣ることを示唆している。

同様に統計的に有意な差は認められなかったが、再生紙マルチ移植における雑草重および比は再生紙マルチ直播における雑草重および比より小さい傾向があった（第3表）。一般に直播栽培イネの雑草競合性は移植栽培イネより小さいといわれており（Moody 1993）、これが再生紙を利用した栽培条件下でも成り立つことを示唆している。

試験1～5間で雑草重や群落に占める雑草重の比に大きな差があり、圃場の雑草管理の履歴は再生紙マルチ直播栽培における雑草発生に大きな影響を与えていると推定される。本研究においては、イネ成熟期の雑草重が測定されたにすぎず、また種別の解析も行われていない。今後、再生紙マルチ直播シートの開発にあたっては圃場の履歴をも考慮した、より詳細な雑草研究が必要であろう。

収穫期に倒伏の発生した‘コシヒカリ’の籾収量について再生紙マルチ直播は、除草剤を使用した移植（第1表）および再生紙マルチ移植（第3表）に劣るが粉衣湛水土中散播および無粉衣湛水散播に優った（第1、4表）。一方倒伏が軽微であった‘どんとこい’において再生紙マルチ直播の籾収量は移植に劣るか同等であり、粉衣湛水土中散播

および無粉衣湛水散播と同等であった。本研究は各種栽培を同一の肥培・水管理下で実施しており、再生紙マルチ直播が除草剤を使用せずに移植栽培と同等の収量をもたらしている可能性を示しているにすぎない。今後、それぞれの栽培法に最も適した肥培・水管理下で栽培試験を行い、それぞれの栽培法の収量性を解明する必要がある。

謝辞：圃場試験の実施にあたり、中国農業試験場藤村一人氏にお世話になった。ここに感謝の意を表します。

## 引用文献

- Analytical Software 1998. Statistics for Windows. User's Manual. Analytical Software, Tallahassee, FL, U.S.A. 1—333.
- Gomez, K.A. and A.A. Gomez 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. Second edition. John Wiley & Sons, New York. 1—680.
- 梶木信幸・金忠男 1991. 水稻の高密度散播直播栽培における生育制御. 北陸農試報 33 : 55—81.
- 小林勝志・湯谷一也・伊藤邦夫 1995. 農用再生紙の水田マルチングによる雑草抑制と水稻栽培. 農業技術 50 : 168—173.
- Moody, K. 1993. Weed control in wet-seeded rice. Expl. Agric. 29 : 393—403.
- Nishiyama, I. 1985. Lodging of rice plants and countermeasures. International seminar on plant growth regulator in agriculture, Tokyo. FFTC for the Asia and Pacific Region, Taiwan. 150—163.
- 農業研究センター 1997. 日本型直播稲作導入指針. 1—217.
- 齋藤祐幸・有坂通展・市川岳史・佐藤徹・水沢誠一 1998a. 無代かき作溝無コーティング湛水散播直播栽培技術の開発 第1報 播種期と播種量について. 北陸作物学会報 33 : 66—68.
- 齋藤祐幸・有坂通展・佐藤徹・水沢誠一 1998b. 無代かき作溝無コーティング湛水散播直播栽培技術の開発 第2報 苗立ち本数に応じた3.5葉期の肥培管理技術. 北陸作物学会報 33 : 69—71.
- 津野幸人・山口武視・中野淳一・河上英俊 1993. 水稻の再生紙マルチ栽培の理論的根拠ならびにその応用試験. 日作紀 62 (別1) : 28—29.
- 上原泰樹・小林陽・古賀義昭・内山田博士・三浦清之・福井清美・清水博之・太田久稔・藤田米一・奥野員敏・石坂昇助・堀内久満・中川原捷洋 1995. 水稻新品種「どんとこい」の育成. 北陸農試報 37 : 107—131.
- 山内稔 1997. 水稻の再生紙マルチ直播技術開発の現状と発展方向. 日作紀 66 : 710—713.
- 山内稔 1998a. シードテープを利用した水稻の再生紙マルチ直播における苗立ち. 日作紀 67 : 457—461.
- 山内稔 1998b. 水稻の再生紙マルチ直播. 農業技術 53 : 555—559.
- Yamauchi, M., D.V. Aragon, P.R. Casayuran, P.C. Sta. Cruz, C. A. Asis and R.T. Cruz 2000. Seedling establishment and grain yield of tropical rice sown in puddled soil. Agron. J. 92 : 275—282.

**Crop Establishment and Grain Yield of Direct Sowing Culture of Rice with Recycled-Paper Mulch:** Minoru YAMAUCHI\* (*Natl. Agr. Res. Cent. for Western Region, Fukuyama 721-8514, Japan*)

**Abstract:** The direct sowing culture of rice with recycled-paper mulch is practiced by spreading recycled paper (to which rice



seeds are attached) on the surface of puddled soil. This cultural practice would eliminate the application of herbicides. Furthermore, it is labor saving in comparison with transplanting. This study objects to characterizing the crop establishment, lodging occurrence, and weed infestation in direct sowing with recycled-paper mulch (hill and drill sowing) in comparison with broadcast direct sowing and transplanting. Broadcast direct sowing was practiced with or without seed-coating with oxygen release chemical (major ingredient calcium peroxide). Transplanting was done with and without use of recycled-paper mulch. Cultivars Koshihikari, a popular high-grain quality rice susceptible to lodging, and Dontokoi, a high-grain quality with resistance to lodging, were used. Herbicides were applied for broadcast sowing and transplanting where no recycled-paper mulch was used. Five experiments were conducted during 1997 and 1998, and we used netting to protect the seeds and seedlings from bird attack. The crop establishment was better in the following order: direct sowing with recycled-paper mulch (hill), broadcast sowing with coated seeds, and broadcast sowing with noncoated seeds. The crop establishment in direct sowing with recycled-paper mulch (drill) was similar to that in broadcast sowing with noncoated seeds. The lodging occurred less in the following order: transplanting, direct sowing with recycled-paper mulch (hill), and direct sowing with recycled-paper mulch (drill). We detected no significant difference in weed infestation between the cultural methods employed in the present study. No herbicide application and hand weeding would be required in direct sowing with recycled-paper mulch (hill and drill). The grain yield of direct sowing with recycled-paper mulch was as much as, or a little less than, that of transplanting.

**Key words:** Crop establishment, Direct sowing, Lodging, Mulch, Recycled paper, Rice, Weeds.

---