

# 高密度播種苗栽培における 水稲除草剤の薬害要因と 安全使用のための注意点

(公財) 日本植物調節剤研究協会  
研究所

古山 千恵  
金久保秀輝  
濱村謙史朗

## はじめに

水稲高密度播種苗栽培は、育苗箱1枚あたりの播種量を増量した苗を本田に移植するため、従来苗（慣行苗）に比べ育苗数を減らすことができ、低コストで省力的な技術として期待されている。一方で、慣行苗に比べ徒長しやすい、苗が老化しやすい、欠株となりやすい、浮き苗が発生しやすいなどいくつかの栽培上の欠点も指摘され（澤本ら 2016）、除草剤による薬害事例も報告されている（三浦ら 2020）。そこで（公財）日本植物調節剤研究協会（以下植調または植調協会と略す）では、高密度播種苗移植栽培技術の現場への導入実態を把握するとともに、除草剤を活用した雑草防除に関連する課題を見つけ出し、農薬メーカー、研究機関、指導機関との情報共有と、問題や課題に対する改善策の検討に役立てることを目的に、2020年度に全国47都道府県の水稲栽培技術担当部署を対象にアンケート調査を実施した。本アンケート結果には、31県（地域別県数内訳：北海道・東北6県、関東・東海・北陸12県、近畿・中国・四国8県、九州・沖縄5県）における37件の高密度播種苗移植栽培実施者の個別事例回答が含まれている。「高密度播種苗移植栽培における慣行栽培と比較した除草剤の薬害の発生について」という設問に対する回答結果は、「①多い」：6件16%、「②変わらない」：23件62%、「③不明」：8件22%で

あった。「①多い」の回答における薬害の発生要因としては、「苗が短く浅植え傾向となるため根が露出し薬害を受けやすい、また、圃場の均平が不十分で苗が冠水する。」「老化苗の移植」「転び苗」など、移植時の苗質やそれに伴う移植後の活着状況を要因と推測している（4件）ほか、「初・中期一発剤の影響」など除草剤の使用時期、種類（2件）が挙げられた。また、「①多い」の回答では、上記の推測要因のほかに、「初期剤＋中・後期剤の体系処理で対応している。」「圃場の土質により薬害の多少は圃場ごとで異なる傾向がある。」「県として除草剤の田植同時処理を避け、活着後の散布を勧めている。」「高密度播種苗栽培では、薬害防止のため初期剤を田植え同時処理している。」等の薬害に対する対応についてのコメントも挙げられた。また、「②変わらない」に関して、「老化苗を移植した際に薬害が生じることがある。」のコメントが挙げられたほか、「③不明」に関しても、「老化苗を移植したため活着が劣り、薬害が発生しやすい状況となっている場合がある。」「苗質や活着条件不良と除草剤の特定種類との組み合わせで、薬害の発生が多いと推察される。」「浮き苗防止で田植え前の落水を徹底するため、田面が固く植え穴の戻りが悪い個所では根部吸収により生育停滞がみられる。」など、検証が不十分としながらも、苗質と関連した薬害を懸念するコメントが挙げられた。

本研究では、アンケート結果で示さ

れた中から、高密度播種苗栽培において除草剤の影響が懸念される「老化」「移植精度」「活着不良」のキーワードに着目し、苗質等の慣行苗との差異や除草剤による影響程度についていくつかの試験を行い、高密度播種苗栽培で安全に除草剤を使用するための注意点について検討した。なお、本研究は植調協会の研究開発事業の一環として、2020～2021年度の2ヶ年で実施した。2年間の試験で苗質等の差異や除草剤が及ぼす影響に関してはほぼ同じ結果が得られたことから、ここでは2021年度の試験結果を中心にその概要を報告する。

## 1. 高密度播種苗と慣行苗の苗質の差異

2021年に、茨城県牛久市の植調研究所にて、4月中旬移植、5月中旬移植、6月中旬移植の苗を育苗し、高密度播種苗と慣行苗で苗質を比較した。水稲品種はコシヒカリ、播種量は乾籾150g/箱（慣行苗）と300g/箱（高密度播種苗）の2段階とした。これらは茨城県農業総合センター農業研究所(2018)を参考にした。育苗期間は、4月中旬移植は14日、21日、28日、5月中旬移植は14日、21日、28日、35日、6月中旬移植は7日、14日、21日の3～4段階とした。いずれも播種日をずらして移植日を合わせるように育苗した。培土は“苗みどり(N-P-K:1.6g-4.0g-2.0g/箱)”を使用し、床土には約2kg/箱を充填した。



図-1 播種後覆土前  
(左：高密度播種苗，右：慣行苗)

事前に浸種し催芽した種子を均一に手播き播種し、播種後は1L/箱を灌水し(図-1)、培土約1.1kg/箱を播種機にて均一に覆土した。播種直後から育苗器(約28°C)で管理し、播種3日後に苗出し後、育苗ハウスに平置きし育苗シートをかけた。緑化後にシートをはずした後は、4月中旬移植および5月中旬移植の苗は育苗ハウスで、6月中旬移植の苗は屋外にて育苗した。苗質は、移植時の草丈、葉齢、地上部乾物重、老化程度、マット強度等により評価した。老化程度は1葉目の壊死部分の割合を測定し、0.5%以上で老化開始、20%以上で老化苗と判断した。マット強度は、5cm幅×30cmに切り取ったマットが切れる最大強度をデジタルフォースゲージ(FGJN-5;日本電産シンボ製)を用いて測定し、7.5N以上を田植機で移植可能なマット強度として評価した(高橋ら2017)。老化程度およびマット強度の測定方法は茨城県農業総合センター農業研究所(2018)を参考にした。なお、苗はそれぞれ2反復で育苗し、移植時の草丈、葉齢、地上部乾物重、老化程度は反復ごとに苗箱の中心部の30個体について調査した。マット強度は反復ごとに苗箱の中心部から5本切り取り測定した。

表-1に2021年4月中旬移植苗の苗質、表-2に2021年5月中旬移植

表-1 4月中旬移植苗の苗質

育苗日数	播種量 (乾粒g/箱)	草丈		葉齢		地上部乾重g/30本		老化程度	マット強度
		cm	%**	L	%**	g	%**	%***	N
14日	150g	9.9	80.9	1.6	84.4	0.23	79.3	0.0	2.7
	300g	10.0	81.3	1.6	87.7	0.21	70.7	0.0	4.2
21日	<u>150g*</u>	<u>12.2</u>	<u>100.0</u>	<u>1.9</u>	<u>100.0</u>	<u>0.29</u>	<u>100.0</u>	<u>0.0</u>	<u>18.1</u>
	300g*	12.3	100.4	1.9	100.3	0.27	91.4	0.0	15.8
28日	150g*	12.7	104.1	2.0	110.4	0.37	125.9	0.0	19.7
	300g	13.1	106.6	2.0	107.9	0.33	113.8	5.8	12.9

\*: 老化が始まっておらず、十分機械移植可能な引っ張り強度(7.5N以上)を有する移植適期の苗

\*\* : 下線の移植適期の慣行苗比

\*\*\* : 老化程度は1葉目の壊死部分の割合

表-2 5月中旬移植苗の苗質

育苗日数	播種量 (乾粒g/箱)	草丈		葉齢		地上部乾重g/30本		老化程度	マット強度
		cm	%**	L	%**	g	%**	%***	N
14日	150g	11.7	101.1	2.0	90.6	0.25	87.1	0.0	4.3
	300g*	10.7	92.5	2.0	91.6	0.21	75.3	0.0	7.7
21日	<u>150g*</u>	<u>11.6</u>	<u>100.0</u>	<u>2.2</u>	<u>100.0</u>	<u>0.28</u>	<u>100.0</u>	<u>0.1</u>	<u>19.0</u>
	300g	12.1	104.0	2.1	97.5	0.28	98.8	0.7	17.6
28日	150g	11.9	102.4	2.6	119.6	0.49	172.9	4.0	24.7
	300g	11.2	96.6	2.3	104.3	0.37	130.6	6.7	20.3
35日	150g	11.0	95.0	2.6	119.8	0.39	137.6	27.0	23.9
	300g	11.7	100.6	2.4	107.8	0.32	112.9	38.7	18.9

\*: 老化が始まっておらず、十分機械移植可能な引っ張り強度(7.5N以上)を有する移植適期の苗

\*\* : 下線の移植適期の慣行苗比

\*\*\* : 老化程度は1葉目の壊死部分の割合

表-3 6月中旬移植苗の苗質

育苗日数	播種量 (乾粒g/箱)	草丈		葉齢		地上部乾重g/30本		老化程度	マット強度
		cm	%**	L	%**	g	%**	%***	N
7日	150g	7.6	72.3	1.3	60.3	0.21	72.4	0.0	4.3
	300g	7.4	70.1	1.2	57.6	0.18	60.3	0.0	5.8
14日	<u>150g*</u>	<u>10.5</u>	<u>100.0</u>	<u>2.1</u>	<u>100.0</u>	<u>0.29</u>	<u>100.0</u>	<u>0.0</u>	<u>14.7</u>
	300g	10.7	101.8	2.0	97.3	0.24	82.8	2.0	10.4
21日	150g	17.1	162.5	2.2	107.3	0.39	132.8	22.8	23.0
	300g	15.6	148.0	2.0	98.2	0.32	110.3	27.0	24.3

\*: 老化が始まっておらず、十分機械移植可能な引っ張り強度(7.5N以上)を有する移植適期の苗

\*\* : 下線の移植適期の慣行苗比

\*\*\* : 老化程度は1葉目の壊死部分の割合

苗の苗質、表-3に2021年6月中旬移植苗の苗質を示した。表-1の4月中旬移植苗は、高密度播種苗では育苗期間が28日の苗で1葉目に壊死部分が5.8%程度認められたのに対し、慣行苗では認められなかった。また、どちらの苗についても育苗期間が21日を超えない場合は、マット強度の面から機械移植に適していないと判断した。従って、慣行苗は育苗期間が21

～28日の苗、高密度播種苗は育苗期間が21日の苗が移植適期と考えられた。表-2の5月中旬移植苗は、葉齢と地上部乾物重は育苗期間21日までは慣行苗と高密度播種苗で差はなかったが、育苗期間28日以降では慣行苗のほうが高密度播種苗よりも両値が大きくなり生育に差が認められた。慣行苗では育苗期間28日以降、高密度播種苗では育苗期間21日以降に1葉目

表-4 5月中旬移植苗の移植深度の変動係数

育苗日数	播種量 (乾糶g/箱)	移植深度の	
		変動係数	移植深度の 平均値 (cm)
14日	150g	0.045	4.0
	300g*	0.117	4.6
21日	150g*	0.055	4.0
	300g	0.100	4.3
28日	150g	0.069	3.7
	300g	0.062	4.7
35日	150g	0.044	3.7
	300g	0.059	4.6

\*：老化が始まっておらず，十分機械移植可能な引っ張り強度を有する移植適期の苗

に0.5%以上の壊死部分がみられ，老化開始が確認された。また，慣行苗は育苗期間が21日を超えない場合はマット強度の面から機械移植に適していないと判断した。一方，育苗期間14日の高密度播種苗は苗取り板を用いれば機械移植可能な程度のマット強度だった。従って，慣行苗は育苗期間が21日の苗，高密度播種苗は育苗期間が14日の苗が移植適期と考えられた。なお，移植適期の慣行苗と高密度播種苗を比較すると，高密度播種苗のほうが草丈と葉齢が小さい傾向がみられた。これは，既報の高密度播種苗の性質（澤本ら2019）と合致していた。表-3の6月中旬移植苗は，慣行苗は育苗期間が14日では1葉目の壊死部分は認められず，育苗期間が21日で壊死部分が22.8%認められたのに対し，高密度播種苗は育苗期間が14日で1葉目に2%の壊死部分が認められ，育苗期間が21日では壊死部分が27%に達した。また，どちらの苗についても育苗期間が14日を超えない場合はマット強度の面から機械移植に適していないと判断した。従って，慣行苗は育苗期間が14日の苗が移植適期で，高密度播種苗は移植適期の苗はなかった。

以上の結果より，高密度播種苗は慣行苗と比較して老化開始が早く，苗の移植適期が短いことが明らかになっ

表-5 4月中旬移植苗の水耕11日後の新根の根長

育苗日数	播種量 (乾糶g/箱)	根長
		cm
14日	150g	6.4
	300g	4.8
21日	150g*	6.7
	300g*	5.8
28日	150g*	6.1
	300g	4.8

\*：老化が始まっておらず，十分機械移植可能な引っ張り強度を有する移植適期の苗

た。また，高密度播種苗では移植時期が遅くなるほど，すなわち育苗中の気温が高くなるほど苗の移植適期が短くなる傾向がみられ，機械移植可能なマット強度が得られる頃には苗の老化開始も起こり得ることが問題点として挙げられた。

## 2. 高密度播種苗と慣行苗の移植精度の差異

表-2の5月中旬移植の苗を，2021年5月10日に，高密度播種苗はヤンマー社YR8D.XVTSD（高密度播種苗専用田植機），慣行苗はクボタ社WP60D-F-JP-SP（植調研究所慣行田植機）を用いて茨城県牛久市の圃場に機械移植した。いずれの田植機についても，苗掻き取り量：標準，移植深度：標準，株数：60株/坪に設定した。圃場の代掻きは5月7日に実施しており，田面の状況等に特筆する点はなかった。苗移植直後に，地際部を抑えながら苗を株ごとと抜き，1株内のバラツキを調べるため個体ごとに地際部から基部までの長さ（移植深度）を測定した。株ごとに移植深度の標準偏差を求め，移植深度の平均で割ったものを移植深度の変動係数とした。サンプリングは育苗条件ごとに20株ずつ実施した。

表-4に移植深度の変動係数および

表-6 6月中旬移植苗の水耕8日後の新根の根長

育苗日数	播種量 (乾糶g/箱)	根長
		cm
7日	150g	5.6
	300g	4.2
14日	150g*	5.1
	300g	3.8
21日	150g	3.6
	300g	3.6

\*：老化が始まっておらず，十分機械移植可能な引っ張り強度を有する移植適期の苗

平均値を示した。移植深度の変動係数は，慣行苗では育苗期間にかかわらずほぼ一定だったのに対し，高密度播種苗では慣行苗と比較して大きく，さらに育苗期間が短いほど大きい傾向が認められた。今回の試験結果では移植深度の平均値は慣行苗と比較して高密度播種苗で深くなる結果となったが，高密度播種苗では専用の田植機を用いた条件でも1株内で移植深度にバラツキを生じやすいことから，土壤条件等によっては浅植えとなる個体が生じる可能性もあると推察された。

## 3. 高密度播種苗と慣行苗の活着程度の差異

表-1の4月中旬移植の苗を1cmに剪根し培養試験管4本に10個体ずつ入れ，水耕11日後の新根の長さを測定した。また，表-3の6月中旬移植の苗を1cmに剪根し培養試験管4本に10個体ずつ入れ，水耕8日後の新根の長さを測定した。

表-5に4月中旬移植苗の水耕11日後の新根の根長を，表-6に6月中旬移植苗の水耕8日後の新根の根長を示した。育苗期間にかかわらず，新根の長さは慣行苗と比較して高密度播種苗のほうが短い傾向だった。また，6月中旬移植苗は移植適期が過ぎて老化している苗の新根がより短い傾向



図-2 ヤンマー社 YR8D.XVTSD  
(高密度播種苗専用田植機)

だった。新根の伸長が速いほうが活着が早いと推察されるため、慣行苗と比較して高密度播種苗は活着が遅いことが推察された。

以上1～3をまとめると、高密度

播種苗は慣行苗と比較して、①短い育苗日数で老化が開始し老化苗になりやすい傾向、②株の中で移植深度のバラツキが大きい傾向、③移植後の活着が遅くなる傾向がみられ、これらが原因

表-7 5月中旬移植苗の水耕15日後の水稲への除草剤の影響

育苗日数	播種量 (乾粒g/箱)	老化程度 %**	除草剤	草丈		葉齢		根数		根長		地上部乾重/5本		地下部乾重/5本		
				cm	%***	L	%***	本	%***	cm	%***	g	%***	g	%***	
14日	150g	0.0	無処理	13.3	100.0	2.9	100.0	7.6	100.0	10.0	100.0	0.11	100.0	0.049	100.0	
			PP	13.4	101.0	3.1	108.4	7.9	103.5	3.2	31.6	0.11	100.6	0.040	80.6	
			PT	12.9	97.0	2.5	89.1	7.4	96.5	6.7	66.6	0.11	101.0	0.044	88.2	
	300g*	0.0	無処理	13.2	100.0	2.9	100.0	7.0	100.0	10.0	100.0	0.11	100.0	0.047	100.0	
			PP	13.3	100.7	3.1	106.3	7.9	112.7	3.2	31.8	0.11	106.3	0.041	87.7	
			PT	12.9	97.6	2.8	97.7	7.0	99.8	6.5	64.9	0.11	99.4	0.041	87.1	
	21日	150g*	0.1	無処理	13.7	100.0	3.1	100.0	7.8	100.0	9.8	100.0	0.11	100.0	0.060	100.0
				PP	13.5	98.8	3.4	108.5	8.1	103.0	3.1	32.0	0.12	104.6	0.052	86.1
				PT	12.7	93.1	2.9	91.6	7.9	101.5	6.0	60.8	0.11	97.8	0.056	93.7
300g		0.7	無処理	12.7	100.0	2.8	100.0	6.7	100.0	9.4	100.0	0.10	100.0	0.041	100.0	
			PP	12.5	98.2	2.9	104.7	6.4	95.5	2.0	21.5	0.10	96.8	0.028	68.4	
			PT	12.4	97.2	2.6	92.8	6.6	98.5	3.9	41.2	0.10	99.4	0.032	78.2	
28日		150g	4.0	無処理	13.7	100.0	3.2	100.0	7.3	100.0	9.8	100.0	0.13	100.0	0.048	100.0
				PP	13.7	100.4	3.7	114.6	7.2	97.9	2.6	26.1	0.14	102.5	0.038	78.9
				PT	13.4	98.1	3.2	97.9	7.4	101.4	5.9	60.1	0.14	104.1	0.038	79.3
	300g	6.7	無処理	12.8	100.0	3.2	100.0	6.4	100.0	8.4	100.0	0.10	100.0	0.038	100.0	
			PP	13.0	101.4	3.3	103.7	6.3	99.2	1.8	20.8	0.11	106.4	0.024	63.6	
			PT	12.0	94.0	3.0	94.2	6.5	102.9	3.6	43.2	0.10	101.7	0.024	63.8	
	35日	150g	27.0	無処理	12.4	100.0	3.4	100.0	6.9	100.0	9.5	100.0	0.12	100.0	0.067	100.0
				PP	13.1	105.3	3.8	112.7	6.7	97.1	2.4	24.9	0.13	104.1	0.037	55.7
				PT	12.4	99.5	3.2	95.3	6.9	100.7	5.3	55.8	0.12	101.3	0.038	57.6
300g		38.7	無処理	12.6	100.0	3.2	100.0	6.7	100.0	8.0	100.0	0.11	100.0	0.044	100.0	
			PP	12.1	96.0	3.4	105.9	6.2	93.3	1.7	21.1	0.10	92.3	0.024	54.2	
			PT	12.2	96.9	3.1	96.6	5.6	83.7	3.1	39.2	0.10	85.2	0.027	62.0	

\*：老化が始まっておらず、十分機械移植可能な引っ張り強度を有する移植適期の苗

\*\*：表-2より引用

\*\*\*：各苗の除草剤無処理比

PP：プロピリスルフロンフロアブル、PT：プレチラクロール乳剤

で現場における除草剤の薬害が引き起こされている可能性が示唆された。

#### 4. 高密度播種苗と慣行苗の除草剤による薬害程度の差異（水耕試験）

表-2の5月中旬移植の苗を、高密度播種苗はヤンマー社 YR8D.XVTSD（高密度播種苗専用田植機）、慣行苗はクボタ社 WP60D-F-JP-SP（植調研究所慣行田植機）を用いて、田植機を停止させて苗を掻き取った（図-2）。掻き取った苗の地下部の培土を洗い流し、剪根せずに培養試験管4本に5個体ずつ入れ、除草剤溶液中での水耕試験を実施した。除草剤はプロピリスルフロロン1.7%フロアブル、プレチラクロール12%乳剤を供試し、これに除草剤無処理区を加えて3条件とした。水耕溶液の除草剤濃度は、水深5cmの水田に両除草剤の農薬登録ラベルに記載された使用量（プロピリスルフロロン1.7%フロアブルは500mL/10a、プレチラクロール12%乳剤は300mL/10a）を処理した場合の濃度とした。培養試験管の水深は4cmで管理した。除草剤の影響として、水耕15日後の草丈、葉齢、根数、根長、地上部乾物重、地下部乾物重を測定した。

表-7に水耕15日後の水稲への除草剤による影響を示した。地上部は、育苗日数35日の高密度播種苗で、プロピリスルフロロンフロアブルおよびプレチラクロール乳剤の影響により地上部乾物重が小さかった。その他、地上部

には慣行苗と高密度播種苗の差は認められなかった。地下部は、全ての苗でプロピリスルフロロンフロアブルおよびプレチラクロール乳剤の影響により根長が短かった。また、育苗日数35日の高密度播種苗で、プレチラクロール乳剤の影響により根数が少なかった。

それぞれ移植適期にあたる慣行苗の育苗期間21日苗と高密度播種苗の育苗期間14日苗を比較すると各除草剤の薬害程度に差は認められなかった。一方、苗の老化が進むほど、除草剤の影響をより強く受ける傾向が認められた。

#### 5. 高密度播種苗と慣行苗の除草剤による薬害程度の差異（圃場試験）

表-2の5月中旬移植の苗を、前述2. 高密度播種苗と慣行苗の移植精度の差異に記載のとおり機械移植した。1.5m×2mの試験区を2反復で設置し、ピラゾレート10%粒剤(3kg/10a)、プロピリスルフロロン0.9%粒剤(1kg/10a)、プレチラクロール4%粒剤(1kg/10a)、ピラクロニル1.8%粒剤(1kg/10a)、ペントキサゾン2.5%粒剤(1kg/10a)を移植直後に湛水土壤処理した。処理後の経時的な観察により薬害症状、程度、回復状況等を調査し、6月8日(移植後29日)および6月25日(移植後46日)に草丈および茎数を測定した。草丈および茎数は区ごとに中心部の4個体について測定した。なお、ピラゾレート粒区を完全除草区とした。

表-8に移植後29日、46日の水稲へ

の除草剤による影響を示した。移植後29日の調査では、プロピリスルフロロン粒、プレチラクロール粒で分げつ抑制がみられた。それぞれ移植適期にあたる慣行苗の育苗期間21日苗と高密度播種苗の育苗期間14日苗を比較すると薬害程度に大きな差は認められなかった。移植後46日(最高分げつ期)の調査についても、それぞれ移植適期にあたる慣行苗の育苗期間21日苗と高密度播種苗の育苗期間14日苗を比較すると薬害程度に差は認められなかった。また、移植後15日頃にピラクロニル粒およびペントキサゾン粒で葉鞘褐変が認められたが、褐変程度や回復状況は全ての苗でほぼ同等だった。

今回の圃場試験では、高密度播種苗は慣行苗と比較して株の中で移植深度のバラツキが大きい傾向が認められたものの、極端な浅植え個体はみられず、慣行苗と比較して高密度播種苗で比較的深植えとなった個体が多かったことが、除草剤による極端な薬害を回避できた要因であると考えられた。

#### 6. 高密度播種苗と慣行苗の除草剤による薬害程度の差異（浅植え条件ポット試験）

表-1の4月中旬移植の苗を2021年4月15日に、表-3の6月中旬移植の苗を6月14日に、水田土壌を充填した50cm×50cmのコンクリートポットに移植した。植代は両時期とも移植日の2～3日前に行った。移植苗は各育苗条件において平均的な生育個体を選苗し、根を1cmに剪根

表-8 5月中旬移植苗の移植後29日, 46日の水稲への除草剤の影響(圃場試験)

育苗日数	播種量 (乾籾g/箱)	薬剤名	移植後29日調査				移植後46日調査			
			草丈		茎数		草丈		茎数	
			cm	%**	本	%**	cm	%**	本	%**
14日	150g	PI(完全除草)	36.0	100.0	20.9	100.0	64.6	100.0	39.8	100.0
		PP	32.8	91.0	18.4	88.3	65.3	101.2	38.6	96.8
		PT	32.3	89.7	18.6	89.1	64.8	100.4	40.7	102.2
		PR	34.6	96.1	21.1	101.3	64.3	99.5	39.6	99.5
		PX	35.4	98.1	20.7	99.0	65.2	100.9	39.4	98.8
	300g*	PI(完全除草)	31.9	100.0	21.0	100.0	63.1	100.0	41.7	100.0
		PP	29.7	93.1	17.7	84.4	60.9	96.6	41.3	99.2
		PT	33.9	106.3	19.9	94.6	64.4	102.1	40.2	96.4
		PR	32.1	100.5	21.4	102.0	62.4	98.9	40.8	97.9
		PX	32.7	102.4	20.1	95.8	63.5	100.7	42.0	100.8
21日	150g*	PI(完全除草)	34.3	100.0	16.0	100.0	68.7	100.0	40.8	100.0
		PP	31.0	90.3	13.8	85.9	65.1	94.7	36.8	90.1
		PT	34.2	99.6	14.0	87.5	69.7	101.5	40.3	98.8
		PR	35.2	102.8	16.9	105.5	66.9	97.4	40.3	98.8
		PX	35.1	102.4	15.0	93.8	65.9	96.0	39.0	95.5
	300g	PI(完全除草)	32.5	100.0	16.5	100.0	63.1	100.0	40.0	100.0
		PP	31.0	95.4	14.0	84.8	62.6	99.2	36.6	91.4
		PT	32.5	99.9	16.1	97.8	63.0	100.0	38.4	95.9
		PR	32.1	98.8	17.0	103.0	62.5	99.0	40.6	101.6
		PX	33.5	103.1	17.0	103.0	63.9	101.3	41.7	104.2
28日	150g	PI(完全除草)	34.5	100.0	16.2	100.0	69.8	100.0	40.5	100.0
		PP	34.2	99.1	15.8	97.7	69.3	99.3	40.3	99.6
		PT	34.8	100.9	16.8	103.6	66.9	95.9	40.6	100.2
		PR	34.5	100.1	15.6	96.3	67.2	96.3	39.5	97.5
		PX	36.0	104.4	16.6	102.8	66.9	95.9	40.0	98.8
	300g	PI(完全除草)	34.7	100.0	15.1	100.0	65.6	100.0	40.1	100.0
		PP	35.1	101.1	14.9	98.2	66.5	101.4	40.8	101.7
		PT	34.1	98.3	16.0	105.8	65.0	99.1	40.1	100.0
		PR	35.8	103.0	15.7	103.9	65.9	100.4	40.0	99.6
		PX	33.5	96.4	15.6	103.0	65.3	99.5	41.3	102.8
35日	150g	PI(完全除草)	32.8	100.0	15.4	100.0	68.0	100.0	40.6	100.0
		PP	32.2	98.3	13.9	90.1	65.7	96.7	38.4	94.6
		PT	32.4	98.8	15.8	103.0	67.6	99.4	39.9	98.2
		PR	33.4	101.8	15.6	101.3	69.6	102.4	41.0	101.1
		PX	33.9	103.2	16.6	107.8	67.6	99.4	40.0	98.6
	300g	PI(完全除草)	33.2	100.0	15.3	100.0	67.8	100.0	41.4	100.0
		PP	34.1	102.6	14.7	96.0	67.1	98.9	40.6	98.0
		PT	33.6	101.3	15.9	103.5	66.5	98.0	41.6	100.5
		PR	33.7	101.4	16.0	104.3	68.5	101.0	41.2	99.4
		PX	32.7	98.5	16.3	106.2	67.0	98.7	41.3	99.7

\*：老化が始まっておらず，十分機械移植可能な引っ張り強度を有する移植適期の苗

\*\*：各苗の完全除草区比

PI：ピラゾレート粒，PP：プロピリスルフロロン粒，PT：プレチラクロール粒，PR：ピラクロニル粒，PX：ペントキサゾン粒

表-9 浅植え条件における4月中旬移植苗水稲への除草剤の影響（ポット試験）

育苗 日数	播種量 (乾籾g/ 箱)	薬剤名	移植深度3cm						移植深度1cm									
			薬害**		草丈		茎数		薬害**		草丈		茎数					
			+20	+30	+45	症状	cm	%	本	%	+20	+30	+45	症状	cm	%	本	%
14日	150g	完全除草					41.9	100	19.9	100					41.9	100	23.0	100
		PI	-	-	-		42.3	101	20.0	101	-	-	-		42.4	101	24.1	105
		PP	-	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	41.7	100	19.7	99	+	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	41.9	100	22.4	97
		PT	-	-	-		43.8	105	20.6	104	-	-	-		43.6	104	22.8	99
		PR	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	42.5	102	19.7	99	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	44.1	105	24.0	104
	PX	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	40.9	98	20.3	102	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	43.0	103	22.9	99	
	300g	完全除草					40.1	100	19.9	100					40.6	100	23.8	100
		PI	-	-	-		39.9	99	19.3	97	-	-	-		41.1	101	24.0	101
		PP	+	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	40.8	102	19.7	99	+	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	41.4	102	25.4	107
		PT	-	-	-		41.1	102	19.3	97	-	-	-		41.3	102	23.8	100
PR		+	-	-	葉鞘・葉身褐変	41.0	102	19.4	98	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	40.9	101	22.9	96	
21日	150g*	完全除草					42.3	100	19.0	100					42.6	100	21.4	100
		PI	-	-	-		44.1	104	19.3	102	-	-	-		43.5	102	22.0	103
		PP	-	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	43.9	104	19.9	105	+	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	42.4	100	21.3	100
		PT	-	-	-		43.7	103	20.3	107	+	-	-	草丈抑制	41.9	99	22.3	104
		PR	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	41.5	98	18.5	97	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	42.3	99	22.4	105
	PX	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	41.0	97	19.2	101	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	41.3	97	21.6	101	
	300g*	完全除草					40.2	100	18.4	100					41.4	100	21.4	100
		PI	-	-	-		40.4	101	19.1	104	-	-	-		40.8	99	22.1	104
		PP	+	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	40.0	99	18.1	99	+	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	39.9	97	21.6	101
		PT	-	-	-		40.6	101	19.1	104	+	-	-	草丈抑制	40.6	98	20.6	96
PR		+	-	-	葉鞘・葉身褐変	41.7	104	18.3	99	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	42.3	102	21.1	99	
PX	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	40.9	102	18.1	99	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	41.9	101	21.6	101		
28日	150g*	完全除草					41.6	100	19.4	100					42.8	100	22.1	100
		PI	-	-	-		44.0	106	20.0	103	-	-	-		44.1	103	22.8	103
		PP	+	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	42.7	103	19.9	103	-	-	-		43.9	103	20.9	94
		PT	-	+	+	分げつ抑制	41.4	99	17.5	90	-	+	+	草丈抑制, 分げつ抑制	40.4	95	20.4	92
		PR	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	43.8	105	19.0	98	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	44.3	104	23.1	105
	PX	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	44.3	106	20.1	104	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	44.3	103	21.9	99	
	300g	完全除草					41.3	100	19.3	100					42.2	100	21.0	100
		PI	-	-	-		42.6	103	19.5	101	-	-	-		43.1	102	21.9	104
		PP	+	+	+	草丈抑制, 分げつ抑制	42.5	103	17.7	92	+	+	+	草丈抑制, 分げつ抑制	41.7	99	18.6	89
		PT	-	+	-	草丈抑制, 分げつ抑制	41.3	100	18.6	96	+	+	+	草丈抑制, 分げつ抑制	40.7	96	18.7	89
PR		+	-	-	葉鞘・葉身褐変	43.4	105	20.8	107	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	43.6	103	21.9	104	
PX	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	43.8	106	19.6	101	+	-	-	葉鞘・葉身褐変	42.6	101	20.6	98		

\*：老化が始まっておらず、十分機械移植可能な引っ張り強度を有する移植適期の苗

\*\*：- 薬害なし，+薬害症状は現れるが問題はない，++：薬害症状が明らかで問題視される

PI：ピラゾレート粒，PP：プロピリスルフロロン粒，PT：プレチラクロール粒，PR：ピラクロニル粒，PX：ペントキサゾン粒

表-10 浅植え条件における6月中旬移植苗水稻への除草剤の影響（ポット試験）

育苗 日数	播種量 (乾粃g/ 箱)	薬剤名	移植深度3cm							移植深度1cm									
			薬害**			症状	草丈		茎数		薬害**			症状	草丈		茎数		
			+20	+30	+45		cm	%	本	%	+20	+30	+45		cm	%	本	%	
7日	150g	完全除草					72.0	100	21.5	100					72.5	100	22.5	100	
		PI	-	-	-		71.7	100	21.3	99	-	-	-		72.5	100	23.0	102	
		PP	++	+	-	草丈抑制, 分けつ抑制	70.7	98	21.0	98	++	+	-	草丈抑制, 分けつ抑制	71.9	99	21.9	97	
		PT	-	-	-		72.9	101	21.5	100	+	+	+	欠株	62.7	87	20.3	90	
		PR	+	-	-	葉鞘褐変	72.5	101	21.4	99	+	-	-	葉鞘褐変	72.3	100	22.9	102	
		PX	+	-	-	葉鞘褐変	70.6	98	21.1	98	+	-	-	葉鞘褐変	70.0	97	22.5	100	
	300g	完全除草					71.2	100	20.6	100					69.3	100	22.1	100	
		PI	-	-	-		71.9	101	20.5	99	-	-	-		68.5	99	22.0	99	
		PP	++	+	-	草丈抑制, 分けつ抑制	69.5	98	20.3	98	++	+	+	草丈抑制・ 分けつ抑制	68.0	98	19.6	89	
		PT	-	-	-		71.9	101	20.6	100	+	+	+	草丈抑制・ 分けつ抑制 (株間差)	68.4	99	20.0	90	
		PR	+	-	-	葉鞘褐変	72.1	101	21.1	102	+	-	-	葉鞘褐変	69.1	100	22.5	102	
		PX	+	-	-	葉鞘褐変	71.6	101	20.8	101	+	-	-	葉鞘褐変	68.8	99	22.1	100	
	14日	150g*	完全除草					74.9	100	19.6	100					72.6	100	20.9	100
			PI	-	-	-		76.1	102	19.4	99	-	-	-		73.5	101	21.3	102
PP			+	+	-	草丈抑制, 分けつ抑制	75.3	101	19.5	99	+	+	-	草丈抑制, 分けつ抑制	72.3	100	20.9	100	
PT			-	-	-		76.8	102	19.9	101	-	-	-		73.3	101	20.6	99	
PR			+	-	-	葉鞘褐変	75.6	101	20.4	104	+	-	-	葉鞘褐変	73.7	102	20.9	100	
PX			+	-	-	葉鞘褐変	73.9	99	19.1	97	+	-	-	葉鞘褐変	72.4	100	20.4	98	
300g		完全除草					70.8	100	20.0	100					70.3	100	20.4	100	
		PI	-	-	-		72.5	102	20.1	101	-	-	-		70.5	100	20.4	100	
		PP	+	+	-	草丈抑制, 分けつ抑制	70.3	99	20.0	100	+	+	-	草丈抑制, 分けつ抑制	70.1	100	20.4	100	
		PT	-	-	-		72.9	103	19.9	99	-	-	-		70.6	100	21.0	103	
		PR	+	-	-	葉鞘褐変	71.9	102	20.5	103	+	-	-	葉鞘褐変	71.8	102	20.8	102	
		PX	+	-	-	葉鞘褐変	71.2	101	19.9	99	+	-	-	葉鞘褐変	70.7	101	20.1	99	
21日		150g	完全除草					76.8	100	17.9	100					74.6	100	20.3	100
			PI	-	-	-		78.8	103	17.6	99	-	-	-		73.9	99	19.9	98
	PP		+	+	+	草丈抑制, 分けつ抑制	78.7	102	16.6	93	+	+	+	草丈抑制, 分けつ抑制	69.8	94	17.4	86	
	PT		-	-	-		75.8	99	18.5	103	-	-	-		73.3	98	20.4	101	
	PR		+	-	-	葉鞘褐変	77.2	100	18.3	102	+	-	-	葉鞘褐変	74.0	99	19.9	98	
	PX	+	-	-	葉鞘褐変	76.2	99	17.1	96	+	-	-	葉鞘褐変	72.2	97	20.0	99		
	300g	完全除草					73.5	100	17.4	100					70.5	100	19.5	100	
		PI	-	-	-		73.6	100	17.4	100	-	-	-		70.6	100	19.8	101	
		PP	+	+	-	草丈抑制, 分けつ抑制	73.2	100	17.0	98	+	+	+	草丈抑制, 分けつ抑制	69.3	98	18.8	96	
		PT	-	-	-		74.1	101	17.8	102	-	-	-		71.6	102	19.5	100	
PR		+	-	-	葉鞘褐変	74.4	101	18.3	105	+	-	-	葉鞘褐変	71.2	101	20.1	103		
PX	+	-	-	葉鞘褐変	71.3	97	17.4	100	+	-	-	葉鞘褐変	69.2	98	20.1	103			

\*：老化が始まっておらず、十分機械移植可能な引っ張り強度を有する移植適期の苗

\*\*：-薬害なし、+薬害症状は現れるが問題はない、++：薬害症状が明らかで問題視される

PI：ピラゾレート粒、PP：プロピリスルフロロン粒、PT：プレチラクロール粒、PR：ピラクロニル粒、PX：ペントキサゾン粒

した。移植深度は3cmおよび1cmとし、1ポット8株(2本/株)を移植した。ピラゾレート10%粒剤(3kg/10a)、プロピリスルフロン0.9%粒剤(1kg/10a)、プレチラクロール4%粒剤(1kg/10a)、ピラクロニル1.8%粒剤(1kg/10a)、ペントキサゾン2.5%粒剤(1kg/10a)を2反復で供試し、移植直後に湛水処理した。処理時は3cm湛水とし、処理翌日より2日間2cm/日の漏水操作を行った。その後は水深3~4cmで管理した。完全除草区は手取り除草とした。処理後経時的に観察により薬害症状、程度、回復状況等を調査し、6月2日(移植後48日)および8月2日(移植後45日)に草丈および茎数を測定した。

表-9に4月中旬移植苗の水稲への除草剤による影響を、表-10に6月中旬移植苗の水稲への除草剤による影響を示した。表-9の4月中旬移植苗において、移植深度3cm条件では、育苗期間28日の苗は慣行苗と比較して高密度播種苗のほうがプレチラクロール粒で薬害が軽く、逆にプロピリスルフロン粒では薬害が強かった。それぞれ移植適期にあたる慣行苗の育苗期間21日苗と高密度播種苗の育苗期間21日苗を比較すると、各除草剤による薬害程度に差は認められなかった。移植深度1cm条件では、育苗期間28日の苗は慣行苗と比較して高密度播種苗のほうがプロピリスルフロン粒で薬害が強かった。それぞれ移植適期にあたる慣行苗の育苗期間21日苗

と高密度播種苗の育苗期間21日苗を比較すると、各除草剤による薬害程度に差は認められなかった。

表-10の6月中旬移植苗において、移植深度3cm条件では、育苗期間21日の苗は慣行苗と比較して高密度播種苗のほうがプロピリスルフロン粒で薬害が軽く、回復が早かった。移植深度1cm条件では、育苗期間7日の苗はプレチラクロール粒で欠株や局所的な強い生育抑制が認められた。慣行苗と高密度播種苗では同様の傾向だった。また、移植深度3cmと比較して欠株や局所的な強い生育抑制がみられる頻度が高かった。

本試験の結果より、播種密度にかかわらず、移植深度3cm条件と比較して移植深度1cmの浅植え条件で除草剤による薬害が強い傾向が認められたものの、移植適期の慣行苗と高密度播種苗の間には、除草剤による薬害程度に差は認められなかった。

以上4~6の除草剤による影響に関する試験結果をまとめると、①健全な苗と比較して老化苗では除草剤の薬害が強まる傾向、②播種密度にかかわらず、移植深度3cm条件と比較して移植深度1cmの浅植え条件で除草剤の薬害が強い傾向が認められた。

## まとめ

慣行苗と比較して高密度播種苗の特徴として、①短い育苗日数で老化が始まるため老化苗になりやすい、②植付

した株の中で移植深度のバラツキが大きくなりやすい、③移植後の活着が遅くなりやすい、の主に3点が挙げられた。また、これに関連する除草剤による薬害の特徴としては、①移植深度1cm程度の浅植え条件では移植深度3cm程度と比較して除草剤の薬害が強い、②老化苗では健全な苗と比較して除草剤の薬害が強まる、の主に2点が挙げられた。

以上のように苗の特徴と除草剤による薬害の特徴を考え合わせると、慣行苗と比較して高密度播種苗では除草剤の薬害を生じやすいことが十分に予測された。しかし一方で、移植深度を最低2cm程度確保し実施した圃場試験では、移植適期にあたる慣行苗と高密度播種苗において除草剤の薬害程度に差が認められないことも確認された。

従って高密度播種苗栽培で安全に除草剤を使用するためには、①老化苗を使用しない、②移植深度を確保し、浅植えにならないように留意する、③活着が遅れる可能性があるため、活着遅延に伴う薬害が懸念される場合は活着後に除草剤を散布する、の一般的な水稲用除草剤の使用上の注意事項の3点を遵守することが重要で、それにより薬害のリスクが低減できることが明らかとなった。しかし、6月移植栽培では苗の老化程度とマット強度の両面から適切な育苗期間を設定することができなかったように、高密度播種苗栽培では上記の遵守が困難な場面もあり得ることが併せて本研究により明らかとなった。さらに生産現場では、天候

の急変や圃場条件等によっても注意事項の遵守が困難となる状況もあると考えられる。前述したアンケート調査結果や本研究の成果から、普及現場に高密度播種苗栽培における除草剤の安全使用に関して何らかの情報を提供することは重要と考え、現在、植調協会では高密度播種苗栽培での適用性試験など、圃場レベルでの実証が可能か鋭意議論を進めている。今後、除草剤開発メーカー、公設の農業試験場、普及関係機関などと連携し適切な情報を現場に提供したいと考える。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、茨城県農業総合センター農業研究所水田利用研究室室長（現 茨城県農業総合センター専門技術指導員）森拓也氏にご指導を賜りました。ヤンマーアグリジャパン株式会社 関東甲信越系統推進部（茨城県担当）松山慶治郎氏には、高密度播種苗専用田植機のYR8D.XVTSDをお貸しいただきました。また、アンケートの実施および結果のとりまとめについては、植調協会事務局中谷敬子技術顧問、村岡哲郎企画課長および植調研究所試験研究部第1研究室福田和明研究員（現植調北海道研究センター）にご尽力いただきました。ここに記して深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- 茨城県農業総合センター農業研究所 2018. 主要成果；5月上旬移植「コシヒカリ」における高密度播種育苗栽培技術。
- 澤本和徳・宇野史生 2016. 「高密度播種した稚苗による水稲移植栽培技術」の現地栽培における生育、収量、玄米品質および経営者評価. 北陸作物学会報 (The Hokuriku Crop Science) 51, 44-49.
- 澤本和徳ら 2019. 石川県における育苗箱に高密度に播種した水稲稚苗の形質および本田での生育・収量・玄米品質. 日作紀 (Jpn. J. Crop Sci.) 88(1), 27-40.
- 高橋行継ら 2017. プール育苗条件での水稲育苗箱全量基肥栽培における育苗箱内施肥量の検討. 日作紀 (Jpn. J. Crop Sci.) 86(3), 258-266.
- 三浦恒子ら 2020. 水稲高密度播種苗栽培における移植直後除草剤散布が移植後の生育および収量に及ぼす影響. 雑草学会第60回講演要旨集 p.75.