

第1章 水稻直播栽培における省力栽培および良食味米生産技術の開発

1. 乾田および湛水直播栽培における省力栽培技術の開発

(1) 資材節減と高能率化による乾田直播の省力栽培技術の開発

1) ドリルシーダの改良と水管理技術の開発

ア 研究目的

2010年の北海道の直播栽培面積は2007年の約3倍に増え、乾田直播の栽培面積は直播栽培面積の約4割を占めるにいたっている。これまでの乾田直播は、碎土性の向上と播種精度の確保のため、ロータリシーダなど乾田直播専用の播種機を使用することを前提としていた。しかし、機械コストの低減と生産者の取り組みを容易にするために、ドリルシーダなどすでに普及している既存の作業機を乾田直播に利用することが望まれている。また、すでに東北地域では麦用ドリルシーダを利用した乾田直播法の要点がまとめられ（大谷ら 2008）、生産者が導入する例も見られている（盛川・大谷 2009）。

そこで、寒地においてドリルシーダを用いた水稻乾田直播の播種作業を行う時に、ロータリシーダ播種と同等の苗立ちおよび収量を得るために必要な条件を、播種深度と播種前後に行う鎮圧の必要性を中心に検討・整理し、ドリルシーダの有効利用を可能とする条件を示した。

イ 研究方法

①試験の概要

試験は、2008年から2010年に、北農研札幌、北農研美唄、当麻町農家圃場および深川市農家圃場において行った。供試品種は「ほしまる」とし、10℃前後で4日間浸漬し、水切りを行った無粉衣の浸種粉を種子に用いた。

播種は4月第6半旬から5月第4半旬（表1-1-1）に行い、基肥は全層施肥を中心とし、2010年の札幌、深川、美唄では一部を側条施肥とした。播種量の設定は400粒/m²としたが、実際は表1-1-1に示したとおりにばらついた。

②処理および調査の概要

表1-1-2に調査の概要を示した。北農研札幌における試験は、2008年、2009年に播種後にローラ鎮圧処理（ケンブリッジ型ローラによる鎮圧の有

無）を設けて、ドリルシーダを用いて条間20cmで播種し（2008年4月30日播種、2009年4月29日播種）、鎮圧後に播種深度を、6月中旬に苗立ち率を調査した。また、この両年は播種位置を調整できるように改造したドリルシーダを用い、播種深度を浅くして播種後無鎮圧の場合の苗立ちへの影響を調査した（図1-1-1）。2010年は播種前にローラ鎮圧処理を設けて5月4日に播種し、鎮圧前に種子の露出率を調査し、その後全面鎮圧した後播種深度を調査し、6月12日に苗立ち率を調査した。この他、播種前の土壌の硬さ（矩形板沈下量：土壌抵抗測定器SR-2で、50mm×100mm矩形板に50kgfで10秒荷重をかけた時の沈下量）、生育期の草丈および葉色の調査（2010年のみ）を行い、成熟後に収量調査を行った。また、以上の試験では対照として直播用ロータリシーダ播種区を設けて、苗立ち、生育および収量を比較した。さらに、2010年は播種時の作業速度を5.1km/h、7.1km/h、10.4km/hに変えてドリルシーダで播種し、鎮圧後の播種深度を調査した。

また、当麻、深川、美唄において2010年にドリルシーダ（条間12.5cmまたは20cm）とロータリシーダ（条間20cm）で播種を行い、苗立ち率、生育および収量を調査・比較した。深川、美唄のドリルシーダ播種は鎮圧を播種前に行い、播種後に再度鎮圧した。当麻では碎土後の土壌がある程度締まっていたことから、播種前の鎮圧を省略し播種後のみの鎮圧とした。鎮圧に用いたローラは当麻ではケンブリッジ型ローラ、深川では平型鎮圧ローラ、美唄ではケンブリッジ型ローラとした。

表 1-1-1 試験の耕種概要（上）と使用したドリルシーダの主要諸元（下）

試験年	試験地	播種機		播種 月・日	播種量 粒数/m ²		施肥量		播種後 土壌体積 含水率	湛水開始 月・日
		ドリル シーダ GD	対照機RS		GD	RS	基肥 N, P2O5, K2O	追肥 N		
2008年	札幌	A社	ロータリシーダ	4月30日	412	379	10.0-12.1-8.6	0	27.8	5月15日
2009年	札幌	A社	ロータリシーダ	4月29日	470	605	6.0-7.3-5.1	0	29.8	5月15日
2010年	札幌	B社	ロータリシーダ	5月4日	336	410	9.0-10.9-7.7*	0	39.9	5月24日
2010年	札幌	B社	***	5月4日	336	—	—	0	42.3	5月27日
2010年	当麻	B社	ロータリシーダ	5月11日	361	439	6.0-7.3-5.1	2	36.2	5月29日
2010年	深川	C社	ロータリシーダ	5月11日	357	439	9.0-9.0-7.2*	0	32.8	5月29日
2010年	美唄	A社	ロータリシーダ	5月17日	397	486	6.0-7.3-5.1**	0	42.7	6月3日

*は基肥の33%を側条で施用。**は基肥の50%を側条で施用した。
***は機械の走行速度および土壌硬度と播種深度調査のみ。

	A	B	C
	Fiona	Combimatic	Simulta
	2.5	N25	2500NL
作業幅 (mm)	2500	2500	2500
播種条数	13	20	20
条間(播種) (mm)	200	125	125
条間(施肥) (mm)	—	250	250

表 1-1-2 調査の概要

試験年	試験地	播種 月・日	処理	処理の 反復	主な調査の内容
2008年	札幌	4月30日	播種法の比較・播種後の鎮圧の有無	3	苗立率, 精玄米収量, 播種深度
2009年	札幌	4月29日	播種法の比較・播種後の鎮圧の有無	2	苗立率, 精玄米収量, 播種深度
2010年	札幌	5月4日	播種法の比較・播種前の鎮圧の有無 (播種後全て鎮圧)	3	苗立率, 生育・収量 矩形板沈下量, 播種深度
2010年	札幌	5月4日	播種前の鎮圧の有無と播種作業速度(3段階)	3	矩形板沈下量, 播種深度
2010年	当麻	5月11日	播種法の比較	1*	苗立率, 生育・収量 矩形板沈下量, 出芽深度
2010年	深川	5月11日	播種法の比較	1*	苗立率, 生育・収量 矩形板沈下量, 出芽深度
2010年	美唄	5月17日	播種法の比較・播種前の鎮圧の有無 (播種後は全て鎮圧)		苗立率, 生育・収量 矩形板沈下量, 出芽深度

*収量調査の調査地点は各処理3カ所

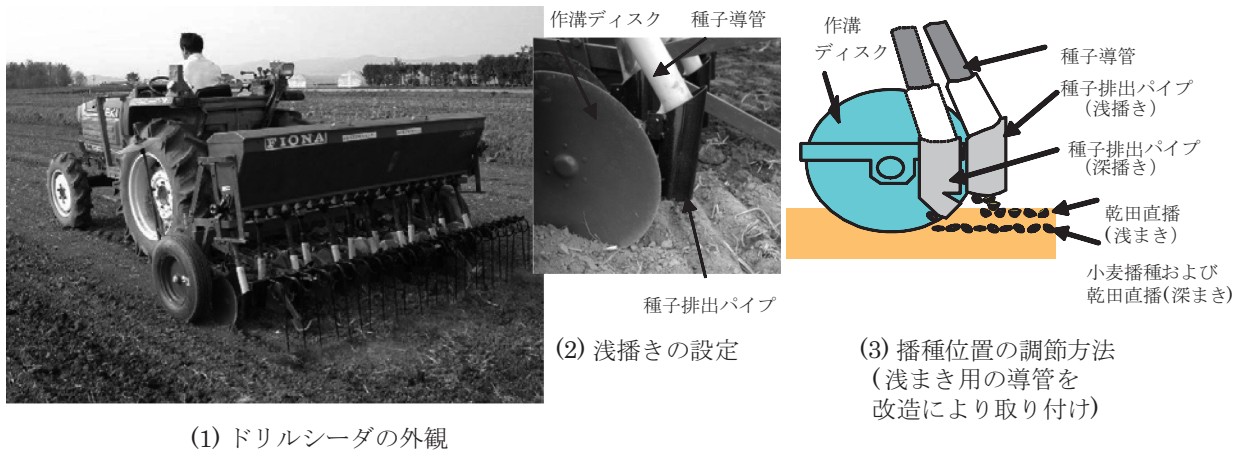


図 1-1-1 2008年と2009年に用いたドリルシーダAの播種位置の調節方法

ウ 結果及び考察

①播種深度及び鎮圧が苗立ちに及ぼす影響

ここでは播種深度と播種後の鎮圧が苗立ちに及ぼす影響を検討し、ドリルシーダで播種した時に目標とする播種深度を、ロータリシーダ播種との比較から明らかにし、播種作業と組み合わせる鎮圧の必要性を検証する。さらに、現場において適正な播種深度が得られているかを判断するうえで必要な指標を示す。

表1-1-3にドリルシーダの改造と鎮圧が播種深度と苗立ち率に及ぼす影響を示した。

表 1-1-3 ドリルシーダの改造と鎮圧が播種深度と苗立ち率に及ぼす影響 (2008年)

播種機	鎮圧 (播種後)	播種深度 mm	苗立ち率 %
ドリルシーダ改造	鎮圧	2	51.5
ドリルシーダ無改造	鎮圧	18	46.3
ロータリシーダ	鎮圧	5	51.2
ドリルシーダ改造	無鎮圧	2	26.8
ドリルシーダ無改造	無鎮圧	23	32.0
ロータリシーダ	無鎮圧	6	33.6

ドリルシーダの改造により播種深度は2mmとなり、ロータリシーダよりも浅播きとなった。一方、播種後の鎮圧も播種深度を浅くする効果が認められた。苗立ち率には播種後の鎮圧処理の効果が大きかった。なお、播種深度2mmでは種子の大部分が地表面に露出し出芽の浮き苗が発生した。特に、播種後の鎮圧を行わなかった場合には種子の流亡が認められた。ドリルシーダとロータリシーダで乾田に直播した水稻の播種深度と苗立ち率との関係を図1-1-2に示した。播種後に鎮圧を行うと、播種機の種類によらず、播種深度が10mm以下の時に苗立ち率はおおむね40%（播種量400粒/m²の時に160本/m²程度の苗立ち）を超えた。これに対して播種後に鎮圧を行わない場合は、播種深度に関わらず苗立ち率は一定であり、浅播きによる苗立ち率の向上は認められなかった。

表1-1-4には平均播種深度と種子の露出率の調査結果を示した。

播種深度が10mmを超えると種子の露出はほとんど認められなかった。播種深度5mmから10mmの目安は播種後に種子の15%から40%が覆土されずに露出している状態で、それ以上種子が露出している

場合はさらに播種深度が浅く浮き苗などが生じやすいと考えられる。

以上から、ドリルシーダを用いた播種作業による苗立ち安定化には、播種深度を5mmから10mmとし、その上で播種後に鎮圧を行うことが重要であった。また、図1-1-3に示すように播種深度5mmから10mmの目安は播種後に種子の15%から40%が覆土されずに露出している状態であった。以下では主に鎮圧の効果を中心に論議する。

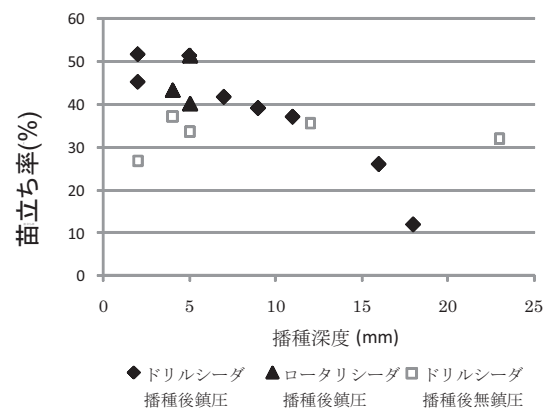


図 1-1-2 播種後の鎮圧の有無及び播種深度と苗立ち率との関係

北農研札幌（淡色黒ぼく土）、北農研美唄（泥炭土）、当麻町農家圃場（グライ低地土）、深川市農家圃場（灰色低地土）で2008年から2010年に調査。品種は「ほしまる」で酸素発生剤無粉衣。

表 1-1-4 平均播種深度と種子の露出率（覆土されなかった割合）

播種機	試験年	播種深度 (mm)	種子の露出率
ドリルシーダ	2009年	5	38%
		15	0%
		20	0%
ドリルシーダ	2010年	7	22%
		7	20%
		9	15%
		16	5%
ロータリシーダ	2010年	5	31%



図 1-1-3 適正な播種深度で播種が行われた後の
土壌表面の写真
(矢印の先に種子が見える)

②事前の鎮圧が播種深度および作業後の轍に及ぼす影響

ここでは、ドリルシーダを用いた播種作業で、適正な播種深度約10mmを得るのに必要な条件について論議し、さらに適正な播種作業速度についても議論する。

2010年は播種前の鎮圧と播種深度および発芽深度との関係を調査した。事前に鎮圧を行うと1cm²あたり1kgfの荷重をかけた際の矩形板沈下量は10mmを下回った(図1-1-4)。作業速度が5km/hから7km/hの範囲では、播種深度は10mm以下となった。一方、10km/hの作業速度では、播種深度がやや深くなる傾向が認められ10mmを超える例が認められた。ドリルシーダの播種前(鎮圧後)と播種後の圃場表面の様子は播種前に鎮圧を行った圃場を歩いた場合、ほとんど足は沈み込まず、明瞭な足跡は残らなかった。また、播種前に鎮圧を行ってきた轍はドリルシーダによる播種作業によりほとんど見られなくなった。播種後の鎮圧後に轍の深さを測定したところ(土壌は火山灰土・体積含水率39.9%で湿潤な条件)、事前の鎮圧をおこなわない圃場では轍と周辺の高差は最大66mm、平均44mmだったが、事前の鎮圧を行うことで高差は最大45mm、平均25mmとなり、事前の鎮圧を行うことで作業により生じる圃場の凹凸を小さくすることが可能であった。

以上より、ドリルシーダで直播を行う場合は事前に鎮圧を行い、矩形板沈下量を10mm以内にするこ
とで、ドリルシーダによる通常の播種作業速度である時速5kmから7kmの作業で播種深度を10mm以

下に調節することが可能であった。また、鎮圧の簡易な目安は、鎮圧後に圃場を歩いても明瞭な足跡が残らない状態であった。

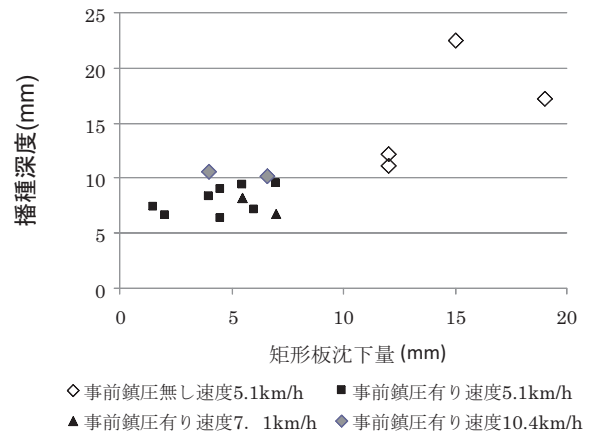


図 1-1-4 播種前の矩形板沈下量と播種深度との関係(北農研2010年)

北農研札幌(淡色黒ぼく土)で2010年に調査。
ドリルシーダ(B社)で播種。
作業時の体積含水率は40%から42%。
播種後はケンブリッジ型ローラで全面鎮圧。

表 1-1-5 作業体系別の作業時間

作業名	作業機	慣行	
		ドリルシーダ	ロータリシーダ
耕起	チゼルプラウ	0.12	0.12
均平	レーザーレベラ	0.50	0.50
施肥	ブロードキャスタ	0.21 (2名)	0.21 (2名)
肥料混和	ロータリハロー	0.38 (1回)	0.38 (1回)
事前鎮圧	ケンブリッジローラ	0.10	
播種		0.24 (2名)	0.51 (2名)
鎮圧	ケンブリッジローラ	0.10	0.10
合計		1.65	1.82

以上のドリルシーダを用いた作業体系では、鎮圧の回数が慣行の1回から2回に増える。しかし、ドリルシーダの作業速度(5km/hから7km/h)はロータリシーダ(1.8km/hから2.9km/h)の作業速度より早く、ドリルシーダを用いた作業体系の単位面積あたり作業時間は、ロータリシーダを用いる慣行作業体系に比べて短縮できると考えられる(表1-1-5)。

以上より、ドリルシーダを水稻の乾田直播に用い、播種前と播種後に鎮圧を行う作業体系は、慣行の播種法より作業効率が向上し、上記の目安を参考として播種することで慣行栽培と同等の苗立ちと収量が得られることから、本播種法により水稻移植前の圃場準備や、育苗等で多忙な時期の作業負担を軽減できるものと考えられる。

エ 今後の課題

寒地の乾田直播は肥料の側条施用が有効とされているが、ドリルシーダを用いた播種では適正な深さに施用することが難しいため、側条施肥の是非を含めた施肥法については、さらに検討を行う必要がある。

オ 要約

①播種後の鎮圧を行うと、播種機の種類によらず、播種深度が10mm以内の時に苗立ち率はおおむね40%（播種量乾粕相当11kg、400粒/m²の時に160本/m²程度の苗立ち）を超えるが、播種後に鎮圧を行わないと浅播きにしても苗立ち率は向上しなかった。また、播種深度2mmでは浮き苗の発生が見られた。播種深度5mmから10mmの目安は播種後に種子の15%から40%が覆土されずに露出した状態であった。

②ドリルシーダで直播を行う場合は事前に鎮圧を行い、矩形板沈下量（土壤抵抗測定器SR-2で、50mm×100mm矩形板に50kgfで10秒荷重をかけた時）を10mm以内とすることで播種深度が10mm以下になった。また、播種前に鎮圧を行うことで播種とその後の鎮圧作業による走行跡の轍の沈下は小さくなった。

③上記の条件で、作業速度が播種深度に及ぼす影響は5km/hから7km/hの範囲では小さいが、10km/hでは播種深度がやや深くなる傾向が認められた。

④ドリルシーダを用いる体系の耕起から鎮圧までの作業体系は鎮圧の回数が増えるが、作業時間はロータリシーダを用いる作業体系に比べて短縮された。

以上より、寒地において、ドリルシーダを用いる播種で、乾田直播の慣行体系とおおむね同等の苗立ちと収量を得るには、必要に応じて、事前に鎮圧し、矩形板沈下量を10mm以内、播種深度を5mmから10mmとし、さらに播種後も鎮圧を行う必要があった。上記の条件では播種速度5km/hから7km/hの範囲で播種が可能であり、慣行の作業体系に比べて若干の作業時間短縮が期待できる

カ 参考文献

盛川周祐，大谷隆二（2009）：ドリルシーダを用いた乾田直播栽培，日作紀東北支部報52，67-70.

大谷隆二，天羽弘一，中山壮一，関矢博幸，迫田登稔（2010）：プラウ耕・鎮圧体系の乾田直播，農作業研究 45（別1），25-26.

大谷隆二，天羽弘一，澁谷幸憲，西脇健太郎，中山壮一，迫田登稔，関矢博幸（2008）：ドリルシーダを汎用利用した水稲乾田直播の寒冷地向け播種体系，平成19年度東北農業研究成果情報.

湯川智行，平岡博幸，大下泰生，栗崎弘利，渡辺治郎（1999）：北海道における乾田直播水稲の播種条件と播種量増減の目安，農作業研究 34，185-190.

（大下泰生）

2) 施肥播種量制御装置の開発

ア 研究目的

ロータリシーダなどの播種機の種子および肥料の繰出装置は、電動モータにより駆動されるものと、接地輪の回転により駆動されるものがある。電動モータ駆動方式では、接地輪駆動方式と比べて、動力伝達機構が簡単である。接地輪駆動方式では春先の雪解け後や降雨後など圃場の土壌水分が高い条件では、接地輪の滑りや土の付着により、作業速度に応じた繰出量制御の精度が低下することがあるが、電動モータ駆動方式では、圃場の土壌条件によらず繰出量を一定に保って作業することができる。しかし、電動モータ方式の播種機では、繰出量は作業速度に比例せず常に一定となるため、設定した播種量や施肥量通りに作業を行うためには、トラクタの走行速度を一定に保って作業を行う必要があり、ユーザから「作業速度に応じて繰出量を調節する機能」を望む声が強い。そこで作業速度に応じて繰出量を制御する施肥播種量制御装置を開発し、制御性能や繰出精度を調査する。

イ 研究方法

施肥播種量制御装置の主要諸元を表1-1-6に、概略を図1-1-5に、システムブロックを図1-1-6に示す。

施肥播種量制御装置は、GPSレシーバ（H社、CrescentA100）、シーケンサ（K社、KV24-DT）、サーボモータドライバ（O社、AID150A）、サーボモータ（O社、AIM5-150AA）から構成される。

施肥播種量制御装置は、作業速度を検出し、検出した作業速度に応じて、播種機の繰出しロールを駆動する電動モータの回転数を調節し、繰出量を増減

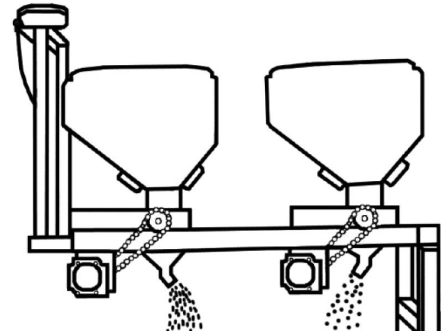


図 1-1-5 施肥播種量制御装置の概略

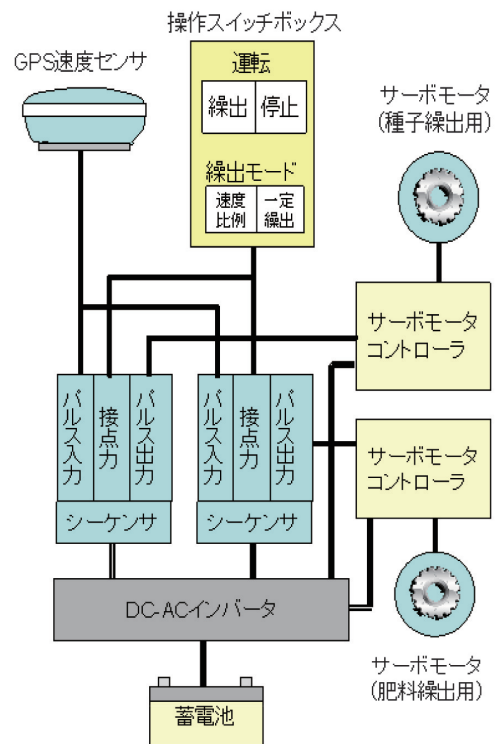


図 1-1-6 施肥播種量制御装置の構成

表 1-1-6 施肥播種量制御装置の主要諸元

GPS レシーバ	H 社 CrescentA100 対地速度出力信号 (speed 出力) 94Hz (1m/s)
シーケンサ	K 社 KV24-DT 入力 16 点 (内パルス入力 2 点) 出力 8 点 (内パルス出力 2 点) 制御プログラム：ラダー式
サーボモータドライバ	O 社 AID150A モータ容量 150 W 最大制御パルス入力 50kHz
サーボモータ	O 社 AIM5-150AA 出力 150W エンコーダパルス 1000P/R

させて調節する機能を有する。作業速度の検出には、GPSレシーバからの対地速度出力を使用した。GPSレシーバからの対地速度出力信号は、シーケンサに入力される。シーケンサは、入力された信号の周波数に定数を乗じたものを、サーボモータドライバに制御パルス信号として出力する。サーボモータドライバは、入力された制御パルス信号の周波数に応じて、サーボモータを回転させる。

①10m走行時の繰出量制御

乗用トラクタ（K社、XB-1）の3点リンクに装着した施肥播種ユニット（N社、Uシーダー）に、施肥播種量制御装置を取り付け、サーボモータは、チェーンを介して施肥播種ユニットの繰出しロールに接続した。

乗用トラクタの走行速度を変え10m走行し、10m走行間に繰出された種子および肥料の重量を測定した。供試した種子は、水稻粳「ほしのゆめ」で、肥料は水稻用472化成である。

②チゼルプラウシーダに、GPSレシーバと施肥播種量制御装置を取り付け、春播き小麦の初冬播き播種作業を行い、播種量を調査するとともに、装置の耐久性について調べた。対照機として、接地輪駆動方式のチゼルプラウシーダで播種作業を行った。供試した小麦種子は「春よ恋」である。

ウ 結果

①設定播種量を12kg/10a、設定施肥量を54kg/10aとし、乗用トラクタの走行速度をロータリシーダで播種作業する場合での一般的な作業速度として1.3km/hから5km/hに変化させた時の、10m走行間に繰り出された水稻粳の量を図1-1-8、肥料の重量を図1-1-9に示す。10a当たり播種量と施肥量を図1-1-10に示す。

図1-1-8と図1-1-10から、作業速度が低速から高速まで変化しても10mの測定区間で繰り出される種子量はほぼ一定で、10a当たりの播種量は、ほぼ設定どおりの12kg/10aとなった。

また、種子の繰出し量にはばらつきがあるものの、10a当たり平均繰り出し量では±5%の誤差内に収まっており、制御性能は良好であった（図1-1-8）。

肥料の繰出し量は、低速から高速に速度が速まるにつれて、10mの測定区間で排出される量が減少し（図1-1-9）、10a当たりの施肥量は速度が速

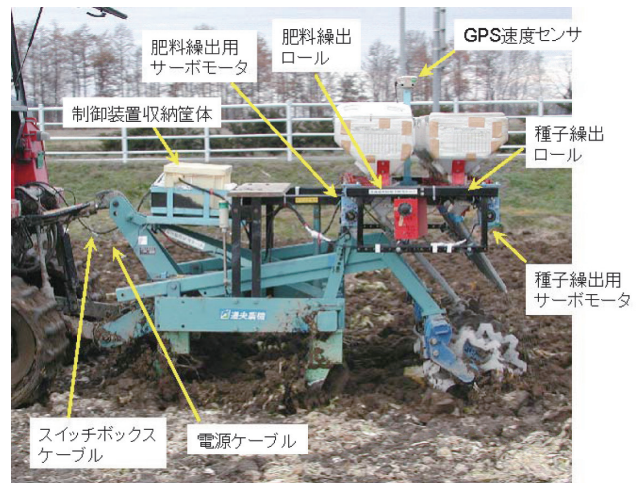


図1-1-7 チゼルプラウシーダに搭載した施肥播種量制御装置

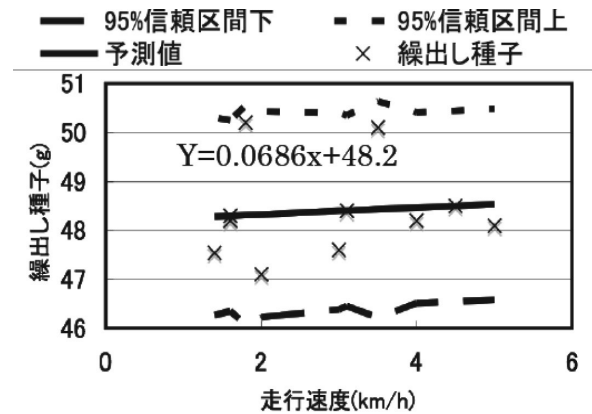


図1-1-8 10m走行時の繰出し種子量

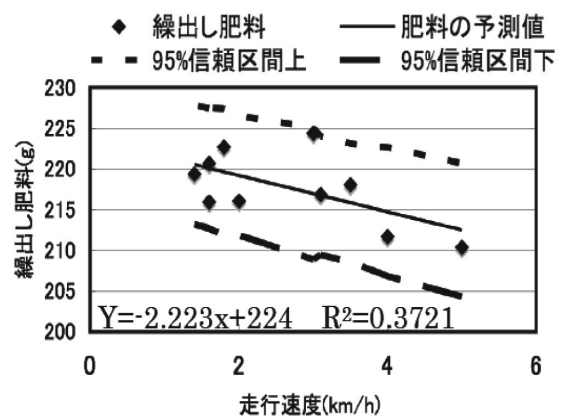


図1-1-9 10m走行時の施肥量

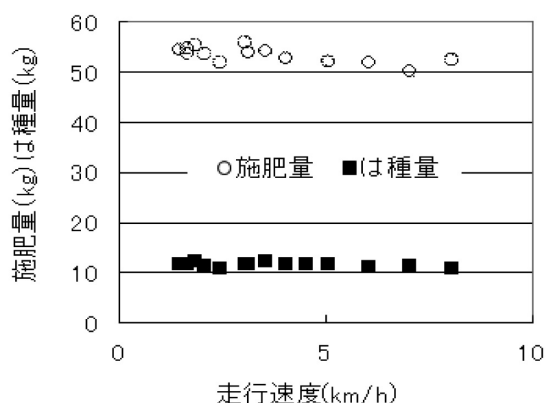


図1-1-10 10aあたりの施肥・播種量

まるにつれて若干減少した (図1-1-10)。これは、サーボモータの制御により、速度に応じて繰出しロールの回転数が増加するものの、繰出しロールの溝で肥料を十分に受けきれず、溝に入る肥料が少ない状態で高速で回転するために、高速で回転するほど少なくなるためと考えられる。

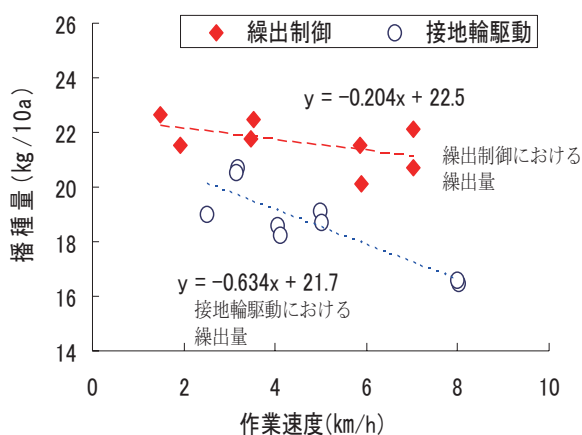


図1-1-11 チゼルプラウの走行速度と播種量

②春播き小麦の初冬播き播種作業を、施肥播種量制御装置とGPSレシーバを取り付けたチゼルプラウシダで、設定播種量を22kg/10aとして行ったときの、作業速度と播種量の関係を図1-1-11に示す。対照機の設定播種量は、20kg/10aである。

走行速度を1.5km/hから8 km/hに変化させた時、繰出し制御では作業速度が高くなるにつれて、若干播種量が減少する傾向が見られたが、対照機では、多湿な圃場条件で、高速になるほど接地輪が滑りを生じて繰出量が減少したことに比べると、播種量の変化は小さく、平均繰出量に対する最大誤差は

5.7%であった。

施肥播種量制御装置を装着したチゼルプラウシダで、小麦の播種作業を約6時間(圃場面積2.7ha)連続して行った結果、振動による装置の不具合は無かった。また、外気温10℃で約4時間連続作業を行った時の、施肥播種量制御装置を収めた筐体内の最高温度は19.2℃、サーボモータドライバの最高温度は22.9℃と実用上問題になるような温度上昇は起こらなかった。

オ 要約

電動方式で繰出し装置を駆動する播種機において、走行速度に応じて繰出量を制御することを目的として、GPSレシーバ、シーケンサ、サーボモータ等で構成される施肥播種量制御装置を開発した。走行速度の検出には、GPSレシーバの対地速度出力を用い、シーケンサで対地速度信号に定数を乗じてサーボモータのドライバへ出力し、サーボモータの回転数を制御した。

この施肥播種量制御装置を施肥播種機に取り付け、トラクタで走行速度を変えて10m走行したときの種子および肥料の繰出量を調べた。10a当たりの種子の繰出し量は、走行速度が変化してもほぼ一定で、繰出量のばらつきも平均繰出量の±5%内に収まり、制御性能も良好であった。肥料の繰出し量については、走行速度が速まるにつれて面積当たりの繰出量は若干減少した。

チゼルプラウシダに、施肥播種量制御装置を取り付け、春播き小麦の初冬播き作業を行った。小麦の播種作業では、速度が速くなるにしたがって繰出量が若干低下する傾向があったが、設定播種量との差は最大で5.7%であった。また連続作業においても、振動による装置の不具合はなく、装置を収めた筐体内温度、サーボモータドライバともに著しい温度上昇は起こらず、実用上は問題がないと考えられる。

カ 参考文献

なし。

(宮浦寿美、大下泰生)

(2) 無代かき作溝湛水散播法を用いた湛水直播の省力化栽培技術の開発

ア 研究目的

水稻湛水直播の生産コストを低減し、播種作業の高能率化のために、過酸化石灰剤粉衣が不要で、代かきを省略して、ケンブリッジローラによる作溝を伴う鎮圧で播種床を作成し、乗用型粒状物散布装置で播種を行う、「無代かき作溝湛水散播法」が期待される。しかし、鞘葉期から1葉期ごろまでは順調に発芽するものの、枯死や浮き苗が発生し、苗立ち本数が極めて少なくなる場合がある。そこで、苗立ちを安定化させるための播種後の水管理法を明らかにする。

イ 研究方法

①圃場試験1 試験年次：2006-2008年、試験圃場：道立中央農試岩見沢試験地、供試品種：「ほしまる」、使用種籾：浸漬籾、播種量：400粒/m²、無代かき作溝湛水散播作業体系：耕転→均平→施肥→碎土（アップカットロータリ、約13cm深）→鎮圧・作溝（ケンブリッジローラ）→湛水→表面散播播種（図1-1-12、図1-1-13、図1-1-14参照）

②室内試験（鞘葉期落水試験）試験年次：2008年、供試品種：「大地の星」、「ほしまる」、試験容器：底面に穴を穿ったプラスチック製コップ（約200ml）、供試土：水稻育苗用培土、土壌条件：無代かき、播種：表面播種、発芽温度：播種後3日間30℃、以降10℃（12時間）+20℃（12時間）、処理：常時湛水、鞘葉期落水（播種後3日、落水後は1ml/1day



図1-1-13 ケンブリッジローラによる鎮圧作業



図1-1-14 鎮圧直後の圃場（背景のメッシュは2cm）

灌水）、調査：播種後25日後、1区約20粒、3反復
③圃場試験2（水管理法試験）試験年次：2009年、試験圃場：道立中央農試岩見沢試験地グライ土、土壌条件：無代かき、処理：常時湛水、落水開始時期2水準（不完全葉期、一葉期）、落水期間2水準（3、7日）

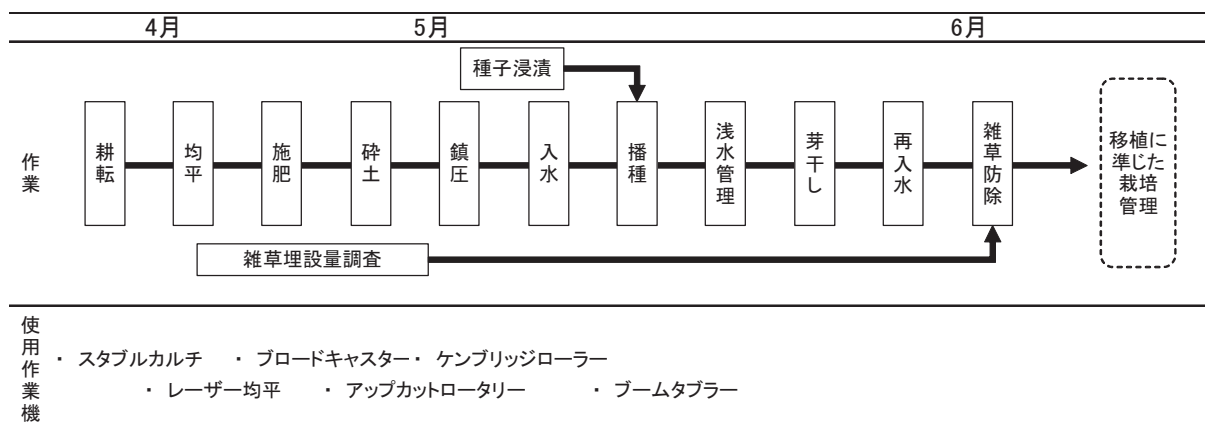


図1-1-12 無代かき作溝直播の作業体系

④圃場試験3（水管理改善後栽培試験）

試験年次：2009年、試験圃場：道立中央農試岩見沢試験地、播種後の水管理：播種後浅水→不完全葉期芽干し開始→3日間落水→浅水管理、その他1）と同じ

ウ 結果及び考察

2006年～2008年に、無粉衣浸漬種子を用いて、ケンブリッジローラで鎮圧した播種床に、乗用型粒状物散布装置で表面散播播種を行う「無代かき作溝湛水散播法」の栽培試験を行った。その結果、何れの年次においても出芽は順調であったにもかかわらず、出芽後枯死する個体や浮き苗として流亡する個体などが観察され、苗立ち本数は大きく変動した（表1-1-7）。苗立ち低下の要因は、気温の影響ではなく、落水処理（芽干し）開始時期や日数、および湛水時の水深が要因と考えられた。

このため、無代かき作溝湛水散播法における苗立ちを安定化させるための播種後の水管理法に着目した。

まず、播種後水深を5～10cmにすると浮き苗が多発し苗立ち本数が少なくなった（表1-1-7）。反面3～5cmの極浅水にして湛水条件を保つと、浮き苗は散見される程度に減少した。このため、浮き苗を抑制し、安定的な苗立ちをえるためには、播種後の水深を極浅い3～5cm程度にすることが有効と考えられた。しかしこの時、倒伏が懸念される水稻基部の持ち上がりが多く観察できた。そのため、この極浅水管理だけでは不十分であるとも考えられた。

そこで、播種後に落水する芽干しの影響を検討した。室内試験の結果、鞘葉期からの落水は、落水後に枯死する個体が多く、苗立ち率は常時湛水区よりも低下した（図1-1-15）。

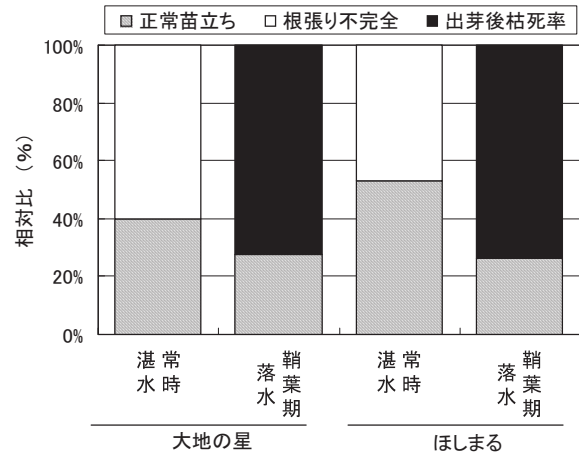


図1-1-15 無代かき表面播種における水管理が苗立ちに及ぼす影響（室内試験）
（値は30℃3日目での出芽個体数を100とし、各処理後15℃25日間生育させたときの割合を示す）
試験年次：2009年
試験圃場：道立中央農試岩見沢

次に、より遅い芽干し開始時期について検討した。芽干し開始時期が不完全葉期から1葉期、落水期間3～7日間の範囲では、前述した鞘葉期落水のような枯死の甚発は認められず、一定の苗立ちが得られた（図1-1-16）。

観察の結果、芽干し時に、それまで水中を伸長していた種子根が土中に貫入した。しかしこの時、種子根が4cm以上水中を伸長していた個体は、芽干し中に土中に貫入しない事例が認められた。従って、落水の開始は最も生育が早い個体の根長が4cmに達する前に行う必要があると考えられた。葉令と種子根長の関係から、最も生育が早い個体の根長が4cmに達する時の葉令は、不完全葉期～1葉期であった（図1-1-17）。

このため、表面播種した種子の根を貫入させるた

表1-1-7 年次ごとの水管理と苗立ち本数（ほしまる、無粉衣浸漬粉、圃場試験1）

年次	播種後の水深 (cm)	落水開始時期	播種後落水までの日数	落水処理	落水日数 (日)	平均気温 (°C)			苗立ち本数 (本/m ²)	備考
						播種～15日後	16日～30日後	落水期間中		
2006	5～10	1.4葉期	19	自然落水	3	14.1	12.8	14.5	56 ± 41	浮き苗発生後芽干し
2007	5	1葉期	13	自然落水	14	13.0	14.7	16.8	76 ± 33	落水中に枯死
2008	5	0.5葉期	16	強制落水	15	12.5	17.5	15.3	51 ± 37	落水中に枯死
2009	3～5	不完全葉期	12	強制落水	7	13.6	15.2	13.4	216 ± 67	改善水管理法による
2009	3～5	1葉期	20	強制落水	7	13.6	15.2	15.9	209 ± 76	改善水管理法による

注1) 水深は溝底で測定した。

注2) 苗立ち本数の右欄は標準偏差を示す

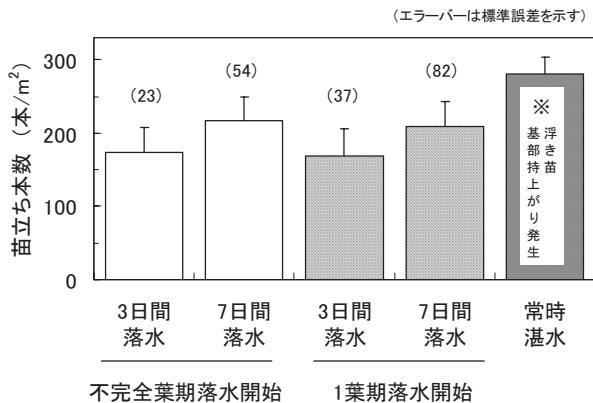


図 1-1-16 芽干し開始時期や期間ごとの苗立ち本数
 ※) 図中の数値は落水期間中の簡易有効温度積算を示す (2009年、ほしまる、浸漬粉、400粒/m²播種、圃場試験 2)

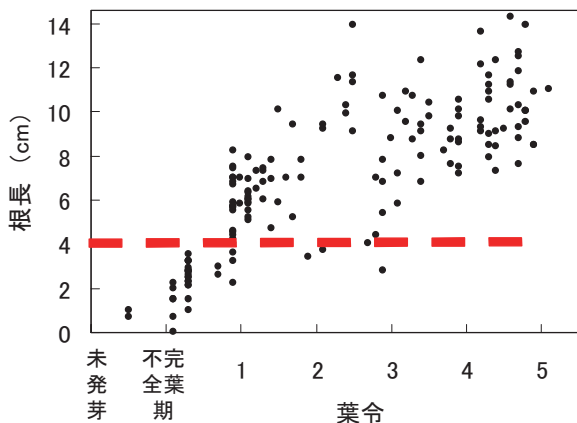


図 1-1-17 生育初期の葉令と根長の関係
 (2009年、ほしまる、浸漬粉、常時湛水区)

めの落水開始時期は、不完全葉期～1葉期であった。

落水する期間の影響をみると、苗立ち本数は3日間落水区に比べ7日間落水区が多い傾向であった (図 1-1-16)。また、浮き苗や基部持ち上りを抑制するためには、根が十分に貫入するまで落水する必要がある。無代かき水田は代かき水田に比べ土壌表面が明らかに粗く硬いため、本栽培法における落水処理は、代かき水田における芽干しに比べ長い期間が必要で、グライ土では7日間程度が目安と考えられた。

以上の結果より、播種後の水管理は「播種後極浅水管理→不完全葉期～1葉期落水芽干し開始→冠根貫入後再入水 (7日間程度) →浅水管理」が最適であると判断できた。

表 1-1-8 無代かき作溝散播法と慣行湛水直播の苗立ち本数と収量

栽培法	圃場	種子	播種量 (粒/m ²)	苗立ち本数 (本/m ²)	苗立ち率 (%)	収量 (kg/10a)
無代かき作溝散播	グライ土A	浸漬粉	400	277	78	479
	グライ土B	浸漬粉	400	207	52	481
慣行	泥炭土	浸漬粉	400	284	70	467
	泥炭土	浸漬粉	400	181	48	421
湛水直播	泥炭土	過酸化石灰	375	196	52	477
	全平均	浸漬粉	400	265	64	475
慣行	泥炭土	浸漬粉	400	181	48	421
	泥炭土	過酸化石灰	375	196	52	477

(2009年、ほしまる、施肥窒素量 8 kgN/10a、ただし無代かき散播の落水期間は3日間 圃場試験 3)

北海道内で多くの地域に普及している既往の直播として、過酸化石灰剤粉衣種子を用いた落水出芽法を利用した湛水直播と比較した結果、無代かき作溝散播は苗立ち本数が同等かやや優れた (表 1-1-8)。また、収量は同等程度が確保できた。

以上から、播種後の水管理を改善した無代かき作溝湛水散播法は、過酸化石灰粉衣なしで十分な苗立ち確保が可能で、収量性も既往の直播栽培と同等であった。

エ 今後の課題

本栽培法は、表面播種であり倒伏の発生が懸念されるため、倒伏させない適正な苗立ち本数および生育指標などの解明が必要である。また、既往の直播栽培と播種後の水管理が異なることから、落水出芽に伴う脱窒が抑制されることが推測され、窒素施肥量や緩効性肥料の利用法などの施肥技術開発も必要である。

オ 要約

作業能率が高い直播栽培法である無代かき作溝湛水散播法において、播種後の水管理は苗立ち確保や浮き苗抑制に重要であり、「播種後極浅水管理→不完全葉期～1葉期落水芽干し開始→冠根貫入後再入水 (グライ土で7日間程度) →浅水管理」とした改善水管理法は、過酸化石灰剤の無粉衣種子でも十分な苗立ち本数を得ることが出来た。

カ 参考文献

なし。

(佐々木 亮)

2. 新品種に対応した低タンパク良食味米生産のための栽培管理技術の開発

(1) 生育診断に基づく追肥制御による低タンパク米生産のための施肥管理技術の開発

ア 研究目的

早生・良食味の直播用水稲品種として「ほしまる」が育成され、2006年に北海道の奨励品種となった。高収益水田営農システムにおいて、「ほしまる」の直播栽培を導入する場合、良食味・安定収量を確保するための窒素施肥法を明らかにする必要がある。

湛水直播栽培は、苗立ちの向上をねらい播種後に落水を行う（落水出芽法）が、生育途中に植物の窒素不足を生じる。その対策として、緩効性肥料の利用や落水期間の短縮などが検討されている（上川農業試験場、2012）。しかし緩効性肥料を用いても、気象や土壌条件により、窒素不足を生じる場合がある。そこで、生産現場に対応し、診断に基づき窒素追肥の有無を判断する窒素の追肥技術は重要である。しかし過剰な窒素の追肥は、倒伏や粗数過剰による整粒歩合の低下・玄米タンパクの増加を引き起こす危険性がある。

本試験では新品種に対応して、玄米収量を北海道水稲直播栽培目標値500kg/10aに設定し良食味米（整粒歩合70%以上、玄米タンパク7.2%以下）を生産するための葉色と茎数による窒素栄養診断の導入を検討する。

イ 研究方法

2008年から2011年の4年間、深川近辺の異なる5ヶ所の現地水田と拓大水田において試験を行った。現地水田の土壌は褐色低地土、灰色低地土である。

土壌中無機態窒素量は直径5.5cmの塩ビ管を使用して深さ0-10cmにおいて1圃場当たり4ヶ所から土壌を採取し、1N KCl処理後にアンモニアおよび硝酸態窒素量を定量した。葉色・茎数の測定は、出芽時に苗立ち本数を170本/m²にそろえた0.6×0.6 m²において、一圃場当たり4ヶ所から、岡田ら（2012）の方法に従いサンプルを抽出し測定した。葉色はSPAD-502（ミノルタ産業）を使用して、最上位完全展開葉の中肋を除く2箇所を測定し平均を求めた。植物体窒素吸収量は乾燥した植物を、セミマイクロケルダール蒸留法で定量した。

ウ 結果及び考察

① 現地圃場における窒素の肥切れと原因

現地水田4圃場において土壌診断に基づき移植水稲に準じた基肥窒素量を施用し、直播「ほしまる」の生育を調べた（表1-2-1）。調査場所の苗立ち本数はすべて出芽時に170本/m²にそろえた。MEMや拓大の水稲は、一己と比較して幼穂形成期の葉色が薄く、すべての生育時期において植物窒素吸収量は少なく、穂数は600本/m²以下となった。これらことから、MEMや拓大の稲は幼穂形成期以降、窒素不足を生じていると判断された。

表1-2-1 水稲湛水直播「ほしまる」における供試土壌ごとの生育（2010年）

場所	土壌の種類	基肥窒素 施肥量 (kg/10a)	植物体窒素吸収量 (g/m ²)			葉色*	穂数 (本/m ²)
			幼穂形成期	出穂期	成熟期		
拓大	褐色低地土	8.0	3.3	5.1	7.9	33.7	595
MEM	褐色低地土	12.0	3.7	4.9	6.1	32.0	571
一己	灰色低地土	9.0	6.1	9.2	10.7	36.7	759
納内	灰色低地土	8.4	3.3	7.2	9.9	36.4	663

*幼穂形成期

窒素不足の原因を明らかにするため、拓大水田において播種後から出芽まで落水を行う落水区と、落水を行わない湛水区を設け、土壌中のアンモニア態窒素量を調べた。2008年の土壌中の窒素量は、播種後の5月12日から再入水日の6月3日にかけて土壌水分処理に関係なく落水・湛水両区で減少した（図1-2-1）。落水区は5月15日の降雨に伴い土壌水分値はpF2.1からほぼpF0.0となり、これに伴い窒素量は減少した。しかし、その後落水区の窒素量は増加し、見かけ上は湛水区とほぼ同量となった。植物体窒素吸収量は両処理区において成熟期に8 g/m²以下となり、ほしまるの目標値10 g/m²（上川農試、2012）と比べ低く、窒素不足となった。処理区による影響を比較した場合、全生育期間を通して両者に有意差は認められなかった。植物による根からの窒素の吸収は、移植栽培は活着後から始まるが、直播栽培は胚乳消尽期後の3葉期以降から始まる。本試験の場合、基肥施肥日（5月9日）から3葉期（6月14日）まで約一ヶ月あり、この間に施肥した土壌中の無機態窒素量は減少し直播栽培の肥切れの原因になると考えられる。すなわち水稲湛水直播栽培は施肥から植物による吸収までにラグが生じるため、生育途中の窒素の肥切れが生じる。

2010年の土壌中アンモニア態窒素量は落水区において再入水に伴い減少し、その後さらに3葉期（6

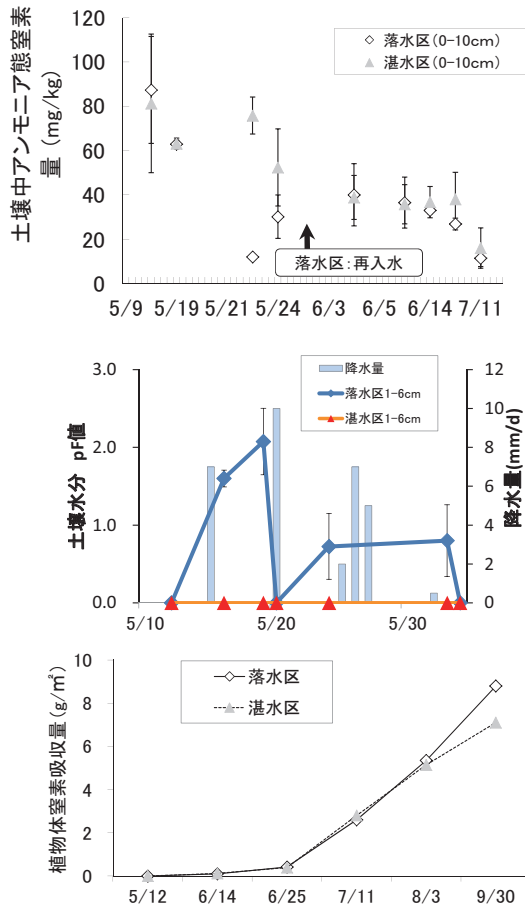


図 1-2-1 2008年水稲湛水直播栽培における土壤中アンモニア態窒素量（上）、落水期間中の土壌水分・降水量（中）、植物体窒素吸収量（下）

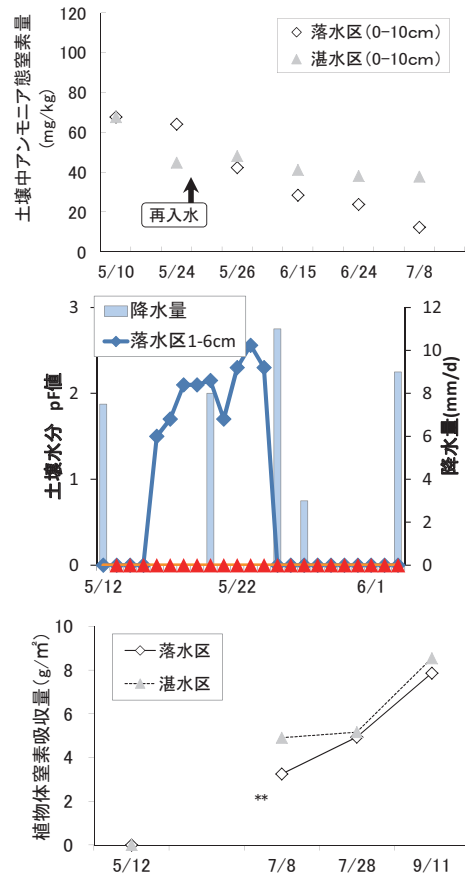


図 1-2-2 2010年水稲湛水直播栽培における土壤中アンモニア態窒素量（上）、落水期間中の土壌水分・降水量（中）、植物体窒素吸収量（下）
** 1%水準で有意差があることを示す。

月15日) にかけて緩やかに減少した(図 1-2-2)。再入水直前に落水区のみ土壤中の硝酸態窒素の発生が認められた(データ省略)。このことから再入水に伴う土壤中アンモニア態窒素の減少は硝酸化成によるものと考えられる。これに対応して、幼穂形成期における植物体窒素吸収量は湛水区と比べ落水区で低い。出穂期以降は両区に差は認められなかった。湛水区は落水区と比べ根系が浅く、幼穂形成期以降の窒素の吸収を制限された可能性がある。植物体窒素吸収量は両処理区ともに成熟期に 8 g/m²以下となり、窒素不足となった。

2008年と2010年の土壤中アンモニア態窒素量と植物体窒素吸収量に違いが見られた理由として土壌水分が関係していると考えられる。2008年は最大 p F 2.1まで乾燥したのに対して、2010年は p F 2.6まで乾燥し乾燥期間が長い。土壌の乾燥程度・乾湿の繰り返し・地温など播種後の土壤中無機態窒素に与え

る影響を明らかにし、さらに窒素の有機化量・脱窒量を調べ、播種後の落水の影響を評価する必要がある。

②葉色による窒素栄養診断

窒素の追肥は肥切れ状態の稲を補う上で有効である。窒素の追肥は3葉期から幼穂形成期の間に行くと、籾数が増加し増収する(データ省略)。北海道水稲直播栽培における目標収量500kg/10aをえるために必要な籾数は、25000粒/m²以上(データ省略)となり、さらに出穂後の登熟温度から求めた整粒歩合70%以上となる籾数は28000粒/m²以下となる(上川農業試験場、2012)。そこで25000~28000粒/m²を深川市の最適籾数として、5葉期と幼穂形成期の窒素の追肥方法を検討した。

籾数は5葉期の葉色と有意な正の相関が認められる(5葉期 r=0.659、データ省略)。そこで籾数25000粒/m²における5葉期の葉色をもとめると、35

となりこの値を要肥の基準値とする（図1-2-3）。5葉期の窒素2g/m²追肥による玄米タンパク含有率への影響をみると、葉色30以上でタンパク含有率は増加する傾向にあるが、低タンパク米の基準値である玄米タンパク含有率7.2%（精米タンパク換算6.5%）以下にあることから影響は小さい。このことから、5葉期は葉色35以下で窒素2g/m²を追肥する。

幼穂形成期の葉色は収量・籾数と有意な正の相関が認められ（収量 $r=0.712$ 、籾数 $r=0.581$ データ省略）、幼穂形成期葉色36以上で収量500kg/10a以上となる。そこで葉色・茎数と籾数の関係をみたところ、葉色36以下でも、茎数800本/m²以上のとき籾数は25000粒/m²以上となる。また、窒素追肥2g/m²以内であれば追肥による玄米タンパク含有率への影響は小さい。このことから幼穂形成期の窒素追肥診断基準値として、茎数800本/m²以下、葉色36以下のとき（図1-2-4）、窒素2g/m²を追肥する。

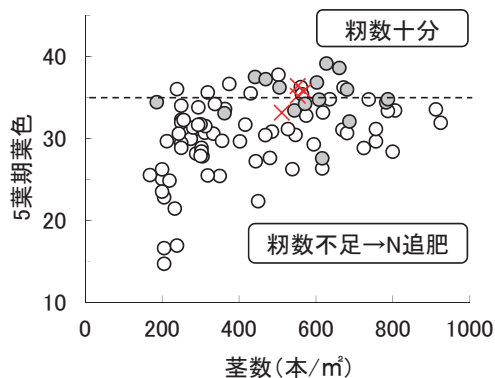


図1-2-3 5葉期葉色による窒素追肥診断
○25千粒/m²未満 ○25千粒/m²以上 ×倒伏

エ 要約

- ① 深川市内の水稲湛水直播栽培において、幼穂形成期以降の窒素の肥切れが認められた。
- ② 水稲湛水直播栽培における窒素不足の原因は、基肥施肥から植物吸収までの遅れにより生じる。落水中の土壤水分状態などは幼穂形成期植物窒素吸収量の低下に関わる。
- ③ 深川市の水稲湛水直播栽培において、一圃場内から苗立ちのそろう0.6×0.6m²4ヶ所を選び葉色・茎数を測定し、5葉期は葉色35以下、幼穂形成期は茎数800本/m²以下・葉色36以下で窒素2g/m²を追肥することにより窒素不足を補う。

オ 参考文献

岡田佳菜子、精進順介：水稲湛水直播栽培における圃場調査法の検討 北海道談話会報p.57、2012
上川農業試験場：「ほしまる」の水稲湛水直播栽培指針 北海道農業試験会議、2012

（岡田佳菜子）

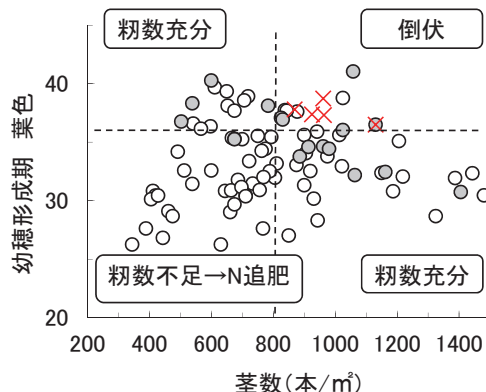


図1-2-5 幼穂形成期葉色による窒素追肥診断
○25千粒/m²未満 ○25千粒/m²以上 ×倒伏

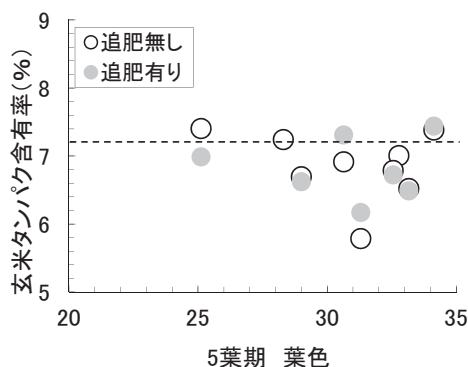


図1-2-4 5葉期窒素追肥（N 2g/m²）による玄米タンパク含有率への影響（2008-2011年）

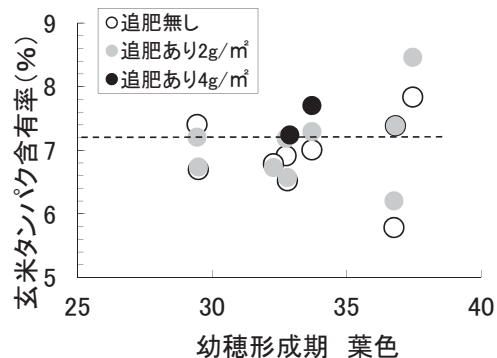


図1-2-6 幼穂形成期窒素追肥による玄米タンパク含有率への影響（2008-2011年）

(2) 新品種に対応した直播栽培指針の確立

1) 乾田直播における「ほしまる」の生育指標と播種量

ア 研究目的

直播用新品種「ほしまる」の収量の確保と高品質生産のために、乾田直播における適正な播種量や苗立ち数を示すとともに、気象による変動性も考慮して収量目標を得るための生育指標を取りまとめる。

イ 研究方法

- ①品種比較：品種「ほしまる」と「ゆきまる」を供試し、札幌（北農研、淡色黒ボク土）、美唄（北農研、泥炭土）（以上2008年から2010年）、および比布（上川農試、褐色低地土、2008年のみ）圃場において乾田直播栽培を行い、苗立ち収量を比較した。
- ②不稔および登熟性調査：2009年に札幌、美唄、深川、当麻、比布、剣淵の現地圃場において直播および移植栽培水稻の不稔および登熟性について調査した。直播栽培では「ほしまる」を調査し、移植栽培では「ななつほし」、「ほしのゆめ」、「大地の星」を調査した。
- ③現地試験による生育指標の設定：以下の現地における「ほしまる」を用いた栽培試験の結果を基に、「ほしまる」の目標収量を500kg/10aとした場合の

目標となる生育指標を求めた。

2007年（深川、当麻：施肥試験、カルパ粉衣試験、播種機比較、10例）

2008年（深川、当麻、剣淵、西神楽：カルパ粉衣試験、播種機比較、11例）

2009年（深川、当麻、剣淵：施肥試験、カルパ粉衣試験、播種機比較、14例）

2011年（深川、当麻：播種機比較、5例）

また、一部に上川農試で実施した乾田直播栽培試験のデータも用いた。

④生育と収量性の解析：2010年に札幌（基肥0Nkg～12Nkg/10a、追肥0Nまたは3Nkg/10a）、美唄（基肥3Nkg～6Nkg/10a）、深川現地（基肥9Nkg～12Nkg/10a）、当麻現地（基肥6Nkgから9Nkg、追肥2Nkg）で栽培し、幼穂形成期過ぎの7月10日から7月13日に生育調査を行い、茎数、地上部乾物重を調査し、精玄米収量との関係を解析した。

ウ 結果と考察

①「ほしまる」の品種特性

「ゆきまる」に比べて「ほしまる」の成熟期は1日遅く、苗立密度と有効穂数はほぼ同等であったが、「ゆきまる」に比べて「ほしまる」の千粒重が大きく、精玄米収量は「ほしまる」のほうがやや多収となった（表1-2-2）。

表1-2-2 乾田直播栽培した「ほしまる」と「ゆきまる」の生育と収量の比較

試験年次	試験地		出穂期	成熟期	苗立本数 本/m ²	穂数 本/m ²	精玄米収量 g/m ²	千粒重 g	タンパク %
			月・日	月・日					
2008年	札幌 (北農研)	ゆきまる	8月3日	9月25日	234	686	603	21.7	6.8
		ほしまる	8月3日	9月26日	283	760	662	21.7	6.1
	美唄 (北農研)	ゆきまる	8月6日	9月25日	93	648	448	22.9	7.7
		ほしまる	8月6日	9月26日	83	645	502	25.7	7.2
2009年	札幌	ゆきまる	8月7日	9月26日	143	472	357	20.9	7.9
		ほしまる	8月7日	9月26日	153	431	375	24.1	7.5
	美唄	ゆきまる	8月5日	10月6日	155	688	508	21.1	9.8
		ほしまる	8月5日	10月6日	146	549	585	25.1	9.0
2010年	札幌	ゆきまる	7月27日	9月13日	201	454	411	23.1	6.8
		ほしまる	7月27日	9月14日	182	496	420	25.7	6.1
	美唄	ゆきまる	7月26日	9月12日	168	431	545	24.3	8.7
		ほしまる	7月26日	9月12日	157	515	516	26.8	8.3
6試験の平均		ゆきまる	8月2日	9月22日	166	563	479	22.3	8.0
		ほしまる	8月2日	9月23日	167	566	510	24.9	7.4
		対ゆきまる t検定	±0	+1	101%	101%	107%	111% **	93% **

②低温の影響

2009年に出穂前の冷害危険期に低温の影響を受けた移植栽培水稻については、冷害危険期平均気温が18℃以下で不稔割合が高くなった(図1-2-7)。また、出穂後40日間の平均気温と登熟割合の関係を見ると、気温の低下にともない登熟割合が低下した。上川地域の直播水稻は生育が遅延したためこの間の平均気温が19℃以下になり、登熟割合が低かった(図1-2-8)。

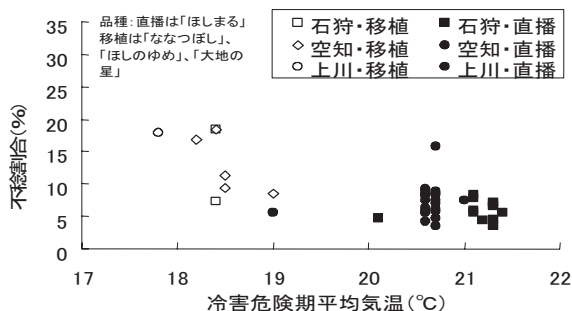


図1-2-7 冷害危険期温度と不稔割合

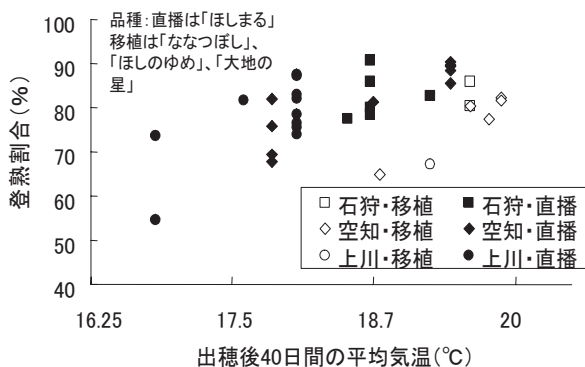


図1-2-8 出穂後の温度条件と登熟歩合との関係

③乾田直播の収量構成要素の設定

乾田直播はこれまで道央以南の初期生育の良い稲作安定地域において、600kg/10a以上の安定多収を実現するための好適生育相と時期別生育指標が示されてきた(平成11年度)。しかし、現在、乾田直播が行われている地域は初期生育に好適な条件の地域に限られず、それらの地域で600kg/10a以上の安定多収を実現することは不可能である。現地試験の結果から「ほしまる」の目標収量を500kg/10aとした場合に必要とされる構成要素を収量との関係から推定した。その結果、必要な総粒数は23千粒/m²(図1-2-9)であり、それだけの粒数を得るのに必要な穂数は730本/m²であった(図1-2-10)。

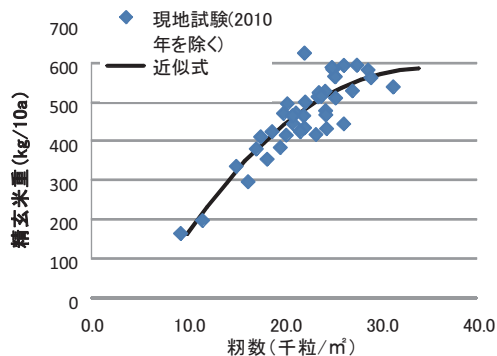


図1-2-9 総粒数と精玄米重の関係
(現地試験 2010年を除く)

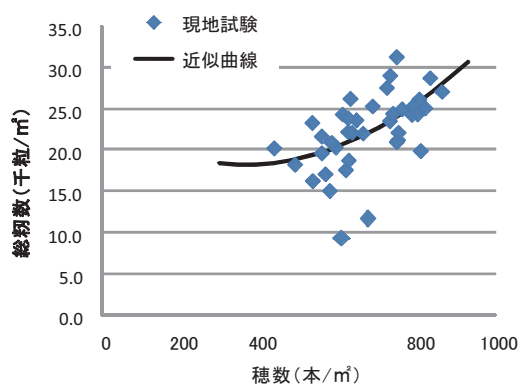


図1-2-10 穂数と総粒数との関係
(現地試験)

しかし、本試験の登熟歩合は全般に高く(図1-2-11)80%程度の登熟歩合となる条件で導かれた結果である。図1-2-8に示したように登熟期の平均気温が低い場合には登熟歩合が70%以下に低下する危険がある。これらを勘案すると、目標収量を達成するには総粒数23千粒では不足する事態も予測されるため、目標とする総粒数を27千とすると、穂数は750本/m²程度必要と考えられた。

また、目標収量を得るために必要な成熟期の窒素吸収量を推定した。その結果、精玄米重500kg/10aを目標収量とした窒素吸収量の目安は、成熟期に約9kgから10kg/10aだった(図1-2-12)。2010年の倒伏程度と窒素吸収量の関係を見ると、成熟期の窒素吸収量10kg/10aを超えた場合に程度1以上の倒伏が認められた(図1-2-13)。

以上から窒素吸収量の目安を、幼穂形成期に成熟期に約9kg/10aのとした場合、倒伏のリスクは小さいと考えられる。

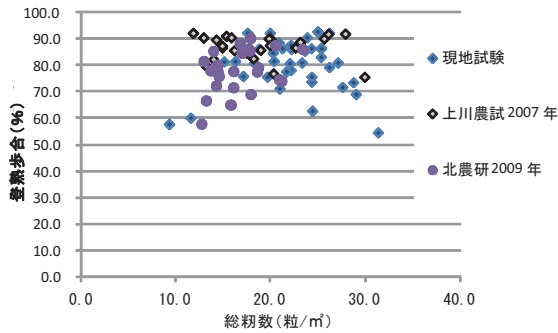


図 1-2-11 総粒数と登熟歩合の関係

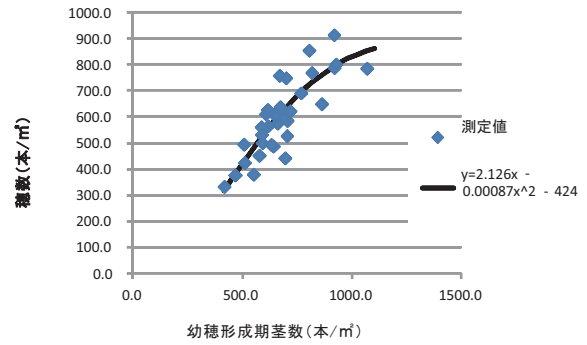


図 1-2-14 幼穂形成期の茎数と穂数との関係 (2010年、2011年 現地試験および北農研の結果より)

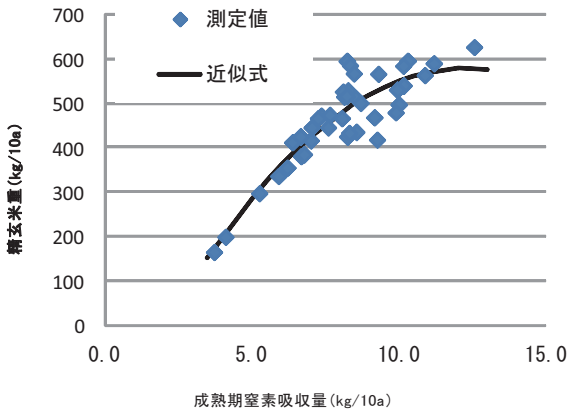


図 1-2-12 成熟期の窒素吸収量と精玄米収量との関係 (乾田直播現地試験)

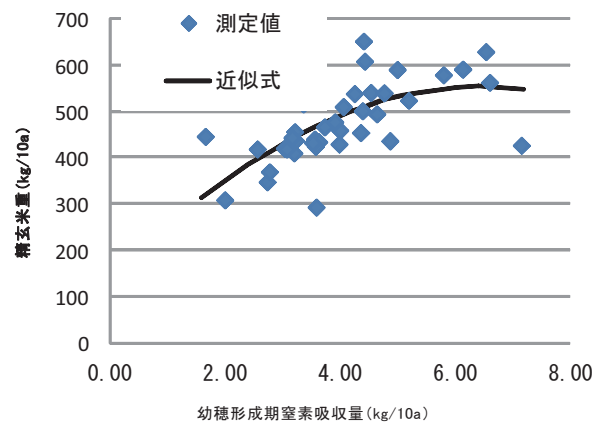


図 1-2-15 幼穂形成期の窒素吸収量と精玄米収量との関係 (2010年、2011年 現地試験および2010年札幌場内試験)

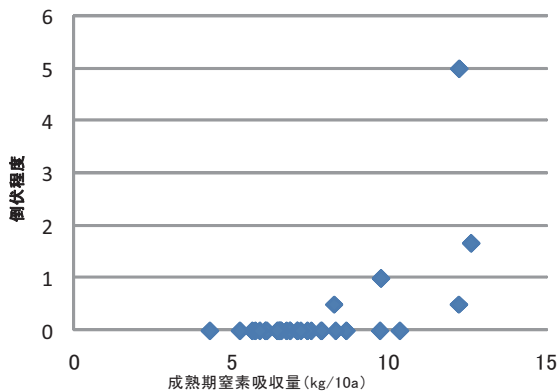


図 1-2-13 成熟期の窒素吸収量と倒伏の関係

④幼穂形成期までに必要な生育と苗立ち本数

750本/m²の穂数を確保するには2010年の現地試験および北農研札幌における試験と2011年の現地試験の結果から、幼穂形成期の茎数が850本/m²程度が必要であった(図1-2-14)。また、精玄米重500kg/10aを目標収量とした窒素吸収量の目安は、幼穂形成期に4から5kg/10aであった(図1-2-15)。

一方、苗立ち本数と収量との関係は明瞭でなかつ

たが、苗立ち本数が150本/m²を超えると比較的安定した収量が得られており、約150本/m²の苗立ち本数の時に、1個体あたり約5本の穂数が得られたことから、必要な苗立ち本数は150本/m²と考えられる。

以上の結果から乾田直播における目標収量を500kg/10aとし、それに向けた生育指標を示すと、総粒数で27千粒/m²、穂数750本/m²、苗立ち本数150本/m²以上、成熟期窒素吸収量9~10kgN/10a程度、幼穂形成期窒素吸収量として4から5kgN/10aが必要であった。乾田直播で播種深度を1cm以下とし、5月下旬に湛水(それまでは圃場が乾燥したら適宜灌水する)と、おおむね40%の苗立ち率が得られることから、播種量は400粒/m²、乾粒で12kg~13kg/10aが必要である。

エ 今後の課題

乾田直播の施肥法の検討。

オ 要約

「ほしまる」の千粒重は「ゆきまる」に比べて大きく、精玄米収量は「ほしまる」のほうがやや多収となる。目標収量を500kg/10aとしたときの目安となる生育指標は穂数750本/m²、籾数27千粒/m²であり、それには、苗立ち本数150本/m²以上、幼穂形成期の窒素吸収量4～5kg/10a、茎数で850本/m²程度の生育を確保する必要がある。

(辻博之)

2) 湛水直播における「ほしまる」の直播栽培指針の確立

ア 研究目的

「ほしまる」は直播栽培の安定化を図る早生・良食味の移植兼用直播品種として育成された。「ほしまる」は「ゆきまる」に比べて、苗立ち性はやや劣るものの千粒重が大きいいため、少ない苗立ち本数と総粒数でも「ゆきまる」と同等以上の収量性が期待される。そこで、「ほしまる」の栽培特性を明らかにし、安定多収で高品質な直播栽培を行うための栽培指針を確立する。

イ 研究方法

①「ほしまる」の栽培特性の解明と栽培指針の確立：

「ほしまる」の品種特性を明らかにするため、2007年～2010年の4年間に上川農試において「ゆきまる」との品種比較試験を行った。

栽培方法は湛水条播機による機械播種を行い落水出芽法で出芽させた。種子予措と播種量は「ほしまる」は購入種子を、「ゆきまる」は上川農試産を使用し、それぞれ催芽粉で375粒/m²播種した。窒素施肥量は各0、6、9、12kg/10a施肥した区と幼穂形成期追肥区（9+2kg区）を設置した。施肥肥料はBB472LP（2007年～2008年）BB552LP（2009年～2010年）を使用した。調査項目は苗立ち調査、生育調査、収量調査、玄米品質等、各生育期節の窒素吸収量および土壌アンモニア態窒素含量を測定した。

②落水期間が苗立ち率および施肥窒素の損失に及ぼす影響：

播種後も落水管理する落水出芽法は苗立ち率の向上に有効である。しかし、落水期間の土壌は酸化的条件であることから、硝酸化成作用による施肥窒素の脱窒や流亡が懸念される。そこで、2010年に上川農試において、落水期間における発芽率および土壌中のアンモニア態窒素濃度の推移について調査した。

処理区として落水期間を積算温度(注1)を65℃、92℃、109℃とした3処理区を設置し、経時的に発芽率と土壌中のアンモニア態窒素濃度を調査した。なお、供試肥料および窒素施肥量は、各々側条用化成肥料444、9.5kg/10aである。

③被覆尿素肥料による施肥窒素の損失抑制：

落水出芽法における被覆尿素肥料による施肥窒素の損失抑制効果を検討した。試験は2010年上川農試において行った。供試肥料は、短期溶出型被覆尿素肥料LP20を含む、試作肥料BB552LPH（窒素成分比でLP20を40%、LP40を30%、速効性窒素を30%で構成）を供試した。供試肥料のリン酸およびカリ成分は比較肥料であるBB552LP（窒素成分比でLP40を30%と速効性窒素70%で構成）と同じである。各肥料の施肥量および施肥方法は、窒素成分で9.5kg/10a相当を全層施肥した。落水期間は積算温度で108℃とした。

ウ 結果及び考察

①「ほしまる」の栽培特性の解明と栽培指針の確立：

「ゆきまる」と比較して、2009年を除くと「ほしまる」の苗成ちはやや劣った（表1-2-3）。

表1-2-3 苗成ちの品種間差（上川農試）

品種	2007年	2008年	2009年	2010年	4年間平均
ゆきまる	253 ± 48	198 ± 61	173 ± 41	216 ± 53	210 ± 29
ほしまる	147 ± 36	189 ± 28	209 ± 41	155 ± 51	175 ± 34
t検定(P<0.05)	*	n.s.	*	*	*

注) 播種量:375粒/m² 催芽粉のみ (n=12~40) 平均値(本/m²)±標準偏差

分けつ性や窒素吸収量に差は認められなかった。稈長は長く倒伏しやすかった。千粒重は明らかに重かった（表1-2-4）。このため、同一収量を得るための総粒数に品種間差が認められ、「ほしまる」は少ない粒数で同等の収量を得ることが可能であった（図1-2-16）。

上川農試圃場において目標収量500kg/10aを得るための収量構成要素は、総粒数25千粒/m²、穂数750本/m²であり、現行栽培基準の生育指針（品種：「ゆきまる」）よりも少ない値であった（図1-2-16、1-2-17）。養分吸収の目標を成熟期の窒素吸収量で9kg/10aとした（図1-2-18）。

また、苗成ち本数は150本/m²以上で目標収量を得ることが可能であった（図1-2-19）。

窒素施肥用量試験の結果、「ほしまる」の施肥反応は「ゆきまる」と同等であった（図1-2-20）。また、目標収量を得るために必要な成熟期窒素吸収量も少ないことから（図1-2-19）、「ほしまる」の窒素施肥量は「ゆきまる」と同じと考えられた。

以上のことから、上川農試において目標収量を

500kg/10a得るための「ほしまる」の栽培指針を表1-2-5に示した。

②落水期間が苗立ち率および施肥窒素の損失に及ぼす影響：

現行の栽培基準では、催芽粉播種の落水終日の目安を積算温度(注1)で105℃としている。入水後の

出芽率の推移を調査した結果、65℃に入水した区の出芽率が一番早く上昇し、次に92℃区であった(図1-2-21)。しかし、65℃区では入水後に出芽したイネの枯死が確認されたことから、入水時期の目安として積算温度で80~90℃程度が適当と考えられた。

表1-2-4 品種比較試験(上川農試)

年次	品種	苗立ち				幼形期		出穂期		一穂	不稔	登熟	総籾	精玄	千粒	整粒	玄米	白米	アミロース	窒素吸収量	
		本数	茎数	茎数	茎数	穂数	稈長	穂長	籾数											歩合	歩合
		(本/㎡)	(本/㎡)	(本/株)	(本/㎡)	(本/㎡)	(cm)	(cm)	(粒)	(%)	(%)	(千粒/㎡)	(kg/10a)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kg/10a)	(kg/10a)
2007	ゆきまる	314	1321	4.2	972	890	58.9	13.7	36.7	8.3	74.9	33.0	484	21.0	94.1	17.6	6.3	22.0	4.2	10.0	
	ほしまる	170*	818*	5.0	964	901	67.0*	15.0*	33.8	7.7	76.1	30.4	562	23.5***	90.6*	18.0	6.0*	22.6	3.9	10.6	
2008	ゆきまる	184	620	3.7	605	616	49.5	14.4	28.0	3.8	90.9	17.3	357	22.4	90.3	19.3	6.3	21.4	1.3	5.1	
	ほしまる	227	910*	4.0	716	682	55.3	14.5	29.8	3.9	84.5*	20.7	421	24.3***	88.8	19.7	6.0	21.5	1.7	6.0	
2010	ゆきまる	244	1209	5.1	963	875	62.3	14.8	35.5	6.5	74.0	31.3	492	21.6	92.9	18.2	6.6	—	3.5	8.9	
	ほしまる	230	1072	4.8	863	768	67.2	15.5	35.0	7.4	73.5	27.1	499	23.6***	94.1	18.6	6.3	—	4.5	9.0	
3ヶ年	ゆきまる	247	1050	4.3	847	794	56.9	14.3	33.4	6.2	79.9	27.2	476	21.7	92.4	18.4	6.4	21.7	3.0	8.0	
平均	ほしまる	209	933	4.5	848	783	63.2	15.0	32.9	6.3	78.0	26.1	523	23.8*	91.2	18.7	6.1	22.1	3.3	8.5	

注) 値は施肥量9.0kgN/10区(過酸化石灰粉衣有無を含む)をまとめた(2009年は冷害年のため除外)。*、***はt検定の結果5%、0.1%水準で有意差あり。

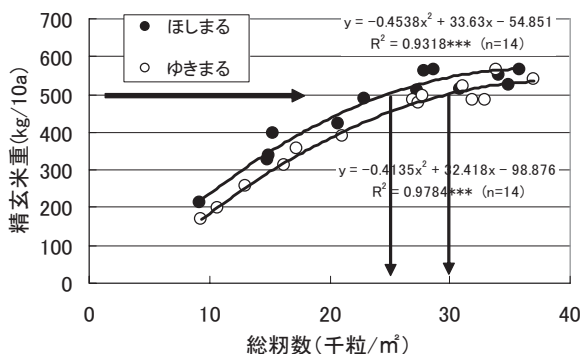


図1-2-16 総籾数と収量の関係(2007年、2009年、2010年：上川農試 品種比較試験)
注) 全ての施肥量区を含む

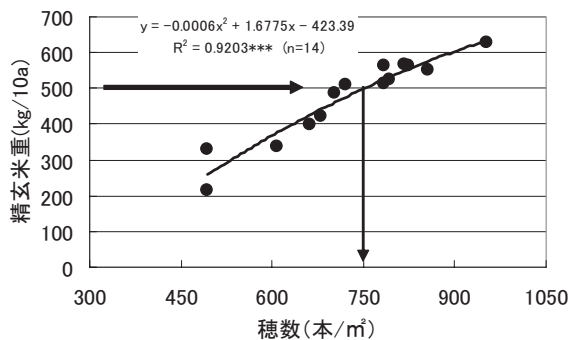


図1-2-17 穂数と収量の関係(2007年、2009年、2010年：上川農試 品種比較試験)
注) 全ての施肥量区を含む

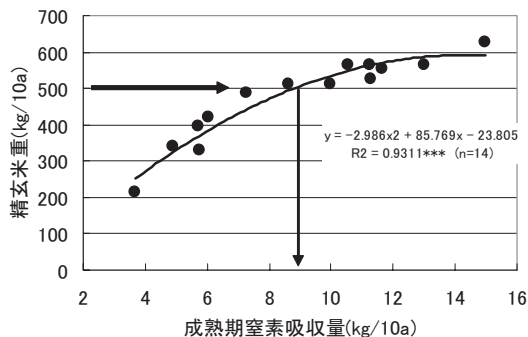


図1-2-18 成熟期窒素吸収量と収量の関係(2007年、2009年、2010年：上川農試品種比較試験)
注) 全ての施肥量区を含む

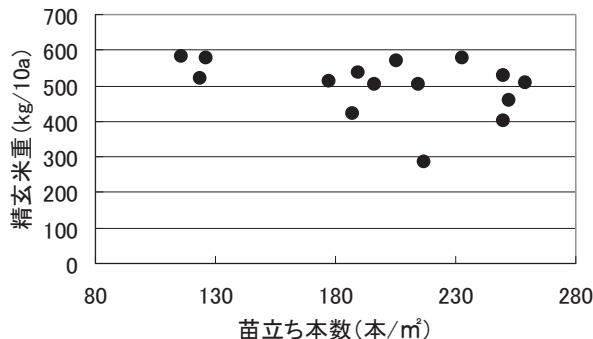


図1-2-19 苗立ち本数と収量の関係(2007年、2009年、2010年：上川農試品種比較試験)
注) 窒素施肥量9kg、種子粉衣種子と催芽粉を含む

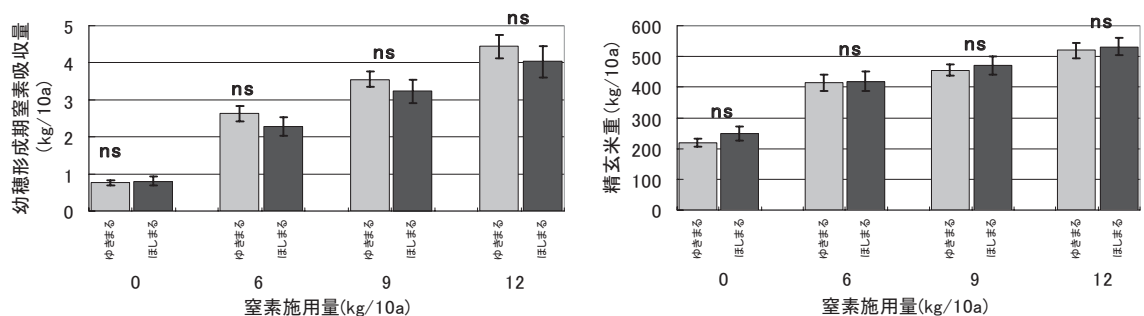


図 1-2-20 窒素用量試験の結果（2007年、2009年、2010年：上川農試 品種比較試験）

表 1-2-5 上川農試における「ほしまる」の栽培指針

栽培指標	水稲湛水直播栽培基準(H16.1) (ゆしまる)	「ほしまる」の栽培指針
目標収量	500kg/10a	500kg/10a
籾数	30千粒/m ²	25千粒/m ²
穂数		750本/m ²
苗立ち本数	200~300本/m ²	150本/m ² 以上
成熟期窒素吸収量	11.0kg/10a	9.0kg/10a

落水期間の違いにより土壌アンモニア態窒素濃度の推移を調査した結果、92℃区は109℃区よりも土壌中のアンモニア態窒素濃度が高く推移していた（図 1-2-22）。この違いはイネの生育に現れ、92℃区における分けつ期（6月25日）の窒素吸収量が多い傾向にあった（図 1-2-23）。

以上のことから、落水期間を現行基準より短縮しても苗立ち性に影響はなく、施肥窒素の損失を抑制することが可能であった。

③被覆尿素肥料を利用した施肥窒素の損失抑制：

被覆尿素肥料を利用した施肥窒素の損失抑制について検討した結果、落水期間中の土壌中のアンモニア態窒素濃度はBB552LPH区が比較肥料よりも低く推移した。さらに入水後の5月31日以降は、BB552LPH区のアンモニア態窒素濃度が高くなった（図 1-2-24）。

しかし、イネの生育調査の結果、BB552LPH区の幼穂形成期窒素吸収量は比較肥料よりも少なく、幼穂形成期後に生育が旺盛となる「後効き」的な生育相をとった。その結果、収量は高かったが、白米タンパク質含有率も高くなった（表 1-2-6）。

以上のことから、緩効性窒素肥料は施肥窒素の損失を抑制するために有効であると考えられたが、供試したBB552LPHは養分供給と作物吸収のバランス

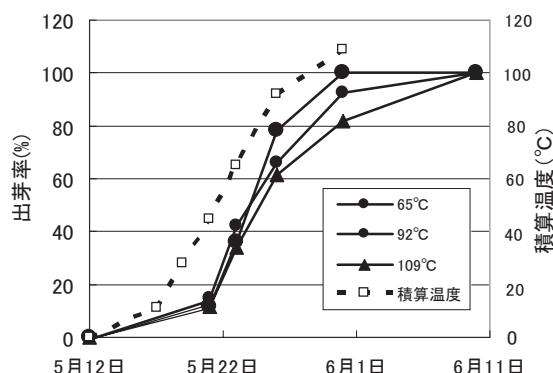


図 1-2-21 落水期間の違いによる出芽率の推移（2010年：上川農試）

注）播種日：2010.5.11、入水日：65℃（5/23）、92℃（5/26）、109℃（5/31）、落水期間中はpF2以上で走水を行う

注1) 積算温度

湛水直播栽培基準における落水期間の終日の目安とされる温度：日最高最低平均気温から6℃を減じた気温を播種翌日から算出した値。過酸化石灰粉衣種子で80℃、催芽籾で105℃程度とされている。

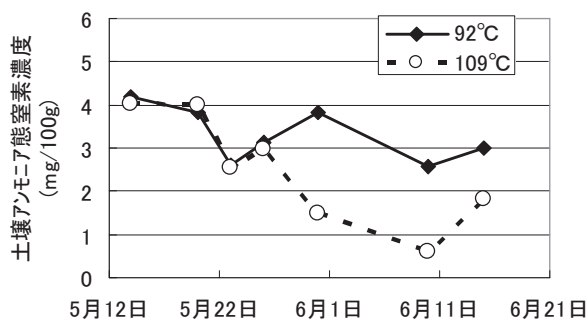


図 1-2-22 落水期間の違いによる土壌アンモニア態窒素濃度の変化（2010年：上川農試）
注）肥料・施肥量：側条444、9.5kg/10a

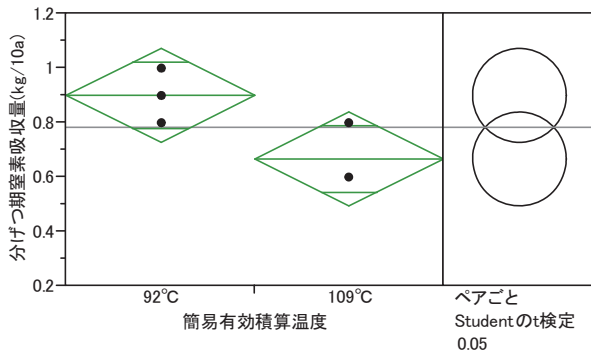


図 1-2-23 落水期間の違いによるイネへの影響
(2010：上川農試)
注) 肥料・施肥量：側条444、9.5kg/10a
調査時期：分けつ期 (2010.6.25)

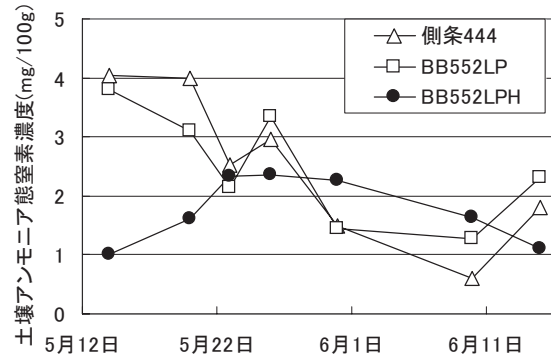


図 1-2-24 緩効性窒素肥料を施肥した場合の土壌アンモニア態窒素の変化
(2010年：上川農試)
注) 落水期間109°C、窒素施肥量9.5kg/10a

表 1-2-6 被覆尿素肥料を利用した湛水直播栽培 (2010年：上川農試)

供試肥料	精玄米重 (kg/10a)	総粒数 (千粒/m ²)	登熟歩合 (%)	白米タン パク(%)	窒素吸収量 (kg/10a)			施肥窒素 利用率(%)	
					分けつ期	幼穂形成期	出穂期		
側条444	487	28.4	75.4	6.1	0.7	3.9	7.7	8.0	26
BB552LP	472	24.8	73.3	6.2	0.7	3.5	6.1	8.2	29
BB552LPH	554	31.2	72.7	6.6	0.7	3.1	8.0	10.6	54

注) 落水期間109°C、窒素施肥量9.5kg/10a、催芽初375粒播種

が適正化されていない可能性があった。特に直播水稲では「後効き」の様な生育相は出穂が遅れ登熟不良の原因となりやすいことから、緩効性肥料の利用には十分な検討が必要である。

以上、上川農試における「ほしまる」の目標収量を500kg/10aとした場合の栽培指針は、総粒数25千粒/m²、穂数750本/m²、成熟期窒素吸収量は9kg/10aであった。また、苗立ち本数は150本/m²程度で目標収量を確保することが可能である。

落水期間終日の目安を80~90°Cまで短縮しても苗立ちに影響はなく、施肥窒素の損失が抑制される傾向にあった。また、緩効性窒素肥料は施肥窒素の損失を抑制するために有効であると考えられたが、その利用には十分な検討が必要である。

エ 今後の課題

この本研究で示した「ほしまる」の栽培指針は、上川農試における湛水直播栽培の結果から策定したものである。そのため、気象や土壌条件が異なる一般圃場での実態と比較を行い、その整合性を確認する必要がある。

湛水直播栽培で問題とされる苗立ちの向上や施肥

管理と雑草対策は、落水期間の水管理と関連する課題であることから、水管理について再検討する必要がある。

オ 要約

上川農試における「ほしまる」の目標収量を500kg/10aとした場合の栽培指針は、総粒数25千粒/m²、穂数750本/m²、成熟期窒素吸収量は9kg/10aであった。また、苗立ち本数は150本/m²程度で目標収量を確保することが可能である。

落水期間終日の目安を80~90°Cまで短縮しても苗立ちに影響はなく、施肥窒素の損失が抑制される傾向にあった。また、緩効性窒素肥料は施肥窒素の損失を抑制するために有効であると考えられたが、その利用には十分な検討が必要である。

カ 参考文献

落水出芽法を用いた水稲直播栽培の安定多収技術、北海道普及推進事項、2004

(楠目俊三)

3. 米品質に及ぼす要因の解析と用途適性の評価

(1) 良食味直播米の食味評価及び老化性評価

ア 研究目的

本研究では、北海道における良食味直播米の選定のため、米の品質特性の解明および品質に及ぼす要因の解析を目的としている。道産の直播向け品種「ほしまる」を主として、米の成分（タンパク質、アミロース）、米飯外観の評価、米飯の物理特性や炊飯後の老化性評価、精米粉による糊化粘度特性等の物理化学測定に基づき食味を主とする品質特性と品質に及ぼす要因を解明する。また、米飯利用を主とした加工適性を明らかにし、新たな用途を検討する。

研究期間を通して、乾田直播法および湛水直播法による栽培方式が異なる試験圃場および実証圃場の各種試験米に関する品質特性を検証し、複数年間の品質の評価結果としてデータベースを構築する。

イ 研究方法

試験圃場（北農研、上川農試、中央農試、拓大）および実証農場（深川、当麻、岩見沢、旭川）で栽培された試験米の品質特性について、以下の評価を実施した¹⁾（図1-3-1）。

- ①タンパク質含量：窒素分析装置（LECO社、FP-528）を用いた燃焼法での窒素含量の測定から、窒素-タンパク質換算係数5.95を乗じて算出した。
- ②アミロース含量：改良Juliano法による比色法により求めた。
- ③米飯物性測定値：テンシプレッサー（タケトモ電機、Myboy system）により、米飯粒30粒の表層および全体の物性を測定した。
- ④炊飯食味値：炊飯食味計（サタケ、STA-1A）により、炊飯食味値、外観、硬さ、粘り等の推定値を測定した。
- ⑤糊化粘度特性：ラピッド・ビスコ・アナライザー（NewportScientific社、RVA-3D）により、精米粉を用いて測定した。
- ⑥米飯の老化性推定値：ライスマスター（NewportScientific社、RiceMaster）により精米粉の測定から求めた²⁾。
- ⑦炊飯特性試験：炊飯容積、膨張率、炊飯米水分溶出固形物量等の測定を行った。

試験米の品質評価値は、試験期間の複数年間における結果を栽培方法ごとにデータベース化した。



図1-3-1 炊飯米に関する品質評価技術

ウ 結果及び考察

①栽培方式と精米のタンパク質含量

湛水直播法の栽培による「ほしまる」の精米タンパク質含量は、深川、中富良野および岩見沢地区の実証栽培において、移植法栽培における含量に対して有意に低かった。他方、乾田直播法の栽培による「ほしまる」の精米タンパク質含量は、追肥を実施した一部の栽培区で含量が上昇したが、概して移植法栽培に比べて低かった。移植法に対し、湛水直播法および乾田直播法において、およそ1%の低減がみられた。精米タンパク質の高含量は、炊飯米品質が低下する要因であると考えられており、低タンパク質米の生産の可能性が示された。タンパク質含量増加の要因となる栽培時の追肥必要性の可否は、直播栽培の複数年目の圃場において多く見られたことから、土壌の施肥管理法のさらなる検討が必要であると考えられた。（表1-3-1）

②「ほしまる」の品質特性

乾田直播法、湛水直播法および移植法の栽培方式ごとに複数年間の品質に関する測定平均値を求め、タンパク質含量、アミロース含量、米飯外観の評価値（炊飯食味値）、米飯の物理特性値である硬さ、粘り、米飯の表層老化度について、国内一般粳米の物理化学特性データベースと比較・検証した。その結果、「ほしまる」の米飯の良質性が確認された（図1-3-2）。各品質項目の評価結果は、以下に示す通りである。

- i) タンパク質含量は、国内平均値に対して移植法が有意に高く、次いで、乾田直播法、湛水直播法の順で、湛水直播法は国内平均値よりやや高い水準で

表 1-3-1 「ほしまる」の精米タンパク室含量

栽培法	栽培地	平均値	最高値	最低値	N	
移植		7.7	9.0	6.4	計 22	
	上川農試・比布圃場	7.7	8.8	6.5	2	
	北農研・札幌圃場	7.8	9.0	6.4	4	
	拓大・圃場	7.4	7.5	7.3	4	
	岩見沢現地	7.7	8.0	7.3	12	
乾田直播		6.9	9.2	5.3	計 28	
	上川農試・比布圃場	7.2	7.4	6.2	5	
	北農研・札幌圃場	6.8	7.9	5.3	3	
	北農研・美唄圃場	追肥	8.6	9.2	7.8	3
	当麻現地		7.2	8.0	6.1	6
	深川現地		6.6	7.3	5.9	8
	剣淵現地		6.7	7.3	6.0	3
	西神楽現地		6.7	-	-	1
湛水直播		6.7	8.0	5.3	計 95	
	上川農試・比布圃場	6.6	7.5	5.3	41	
	拓大・圃場	6.0	6.0	5.9	4	
	深川現地	7.1	7.7	5.8	26	
	中富良野現地	6.6	7.9	5.7	6	
	西神楽現地	7.5	8.0	6.9	2	
	岩見沢現地	落水出芽	7.1	7.9	6.5	8
	岩見沢現地	作溝湛水散播	7.3	8.0	6.7	8

※ タンパク質含量は、燃焼法による窒素含量の測定 (Leco, FP-528を使用) から、窒素-タンパク質換算係数5.95を乗じて求めた。

試験区ごとに3回測定した平均値を使用した。

※ 2007年、2008年、2009年および2010年産の試験米についての測定値を栽培地ごとに集計した。Nは試験区の数を示す。

あった。

ii) アミロース含量は、国内の一般粳米平均値よりも総じてやや高い (19%から21%) が、栽培法による有意な含量の違いは見られなかった。

iii) 米飯の物性は、全国の平均値に対して、移植法では、米飯が硬く、粘りが弱くなり、品質に影響が見られた。他方、湛水直播法では、米飯の硬さと粘りが全国の平均値と同等であり、乾田直播法では、硬さが同等で粘りが同等もしくはやや弱かった。

iv) 米飯外観の評価値である炊飯食味推定値は、湛水直播法、次いで乾田直播法において高かった。移植法の一般道内産品種よりも高く、米飯の外観品質が良質に類すると考えられた。

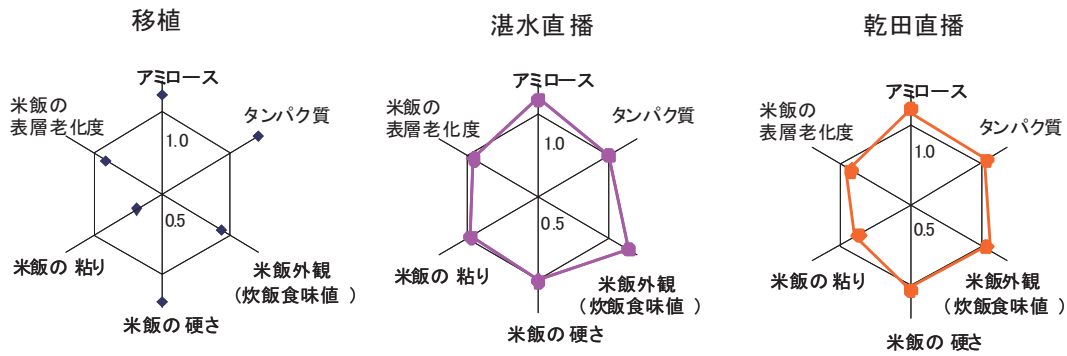
v) 糊化粘度特性は、食味と正の相関があるとされるブレイクダウンが道内産品種の比較では、やや低アミロース米である「おほろづき」で高く、次いで、普通米の中では「ほしまる」が高かった。一方、負の相関があるとされるコンシステンシーが「おほろづき」は低く、普通米の中では「ほしまる」が低

く、両品種の特性が優れていた。

vi) 米飯保蔵時の表層の硬くなりやすさ (冷ご飯へのなりやすさ) を推定する米飯表層老化度は、道内産品種の比較では、やや低アミロース米である「おほろづき」が低く、耐老化性が高いといえるが、「ほしまる」は「おほろづき」に次いで低かった。

米飯の老化性の高低は、お弁当やおにぎりなどでの品温が常温において利用する際に、硬くなりにくい、すなわち耐老化性を有することが、品質面で重要な特性となる。米飯の表層老化度の指標は、精米粉の糊化粘度特性の測定から値を推定することが可能であり、時間を要する炊飯米の保蔵試験での物理特性試験の結果とも有意な相関が見られることから、耐老化性推定の評価技術として有望であると考えられた (図 1-3-3)。

vii) 炊飯特性試験の結果、業務用途などで重要となる“釜増え”や“炊き増え”などで評価される米飯の膨張容積は、「ほしまる」において、栽培地や産年の違いにより変動が見られるものの、平均して標



- ・アミロース:内側ほど含量が低いことを示す。物性および食味に影響する。
 - ・タンパク質:内側ほど含量が低いことを示す。物性および食味に影響する。
 - ・米飯外観(炊飯食味値):外側ほど米飯の外観評価が良い。
 - ・米飯の硬さ:外側ほど硬いことを示す。
 - ・米飯の粘り:外側ほど粘りが強いことを示す。
 - ・米飯の表層老化度:内側ほど米飯保蔵時に硬くなりにくい特性を有する。
 - ・黒線は国内の良質一般粳米の平均値を示す。
- (農林水産省委託プロ「加工業務プロ」一般粳米の物理化学特性データベースに基づく)

図 1-3-2 「ほしまる」の品質特性

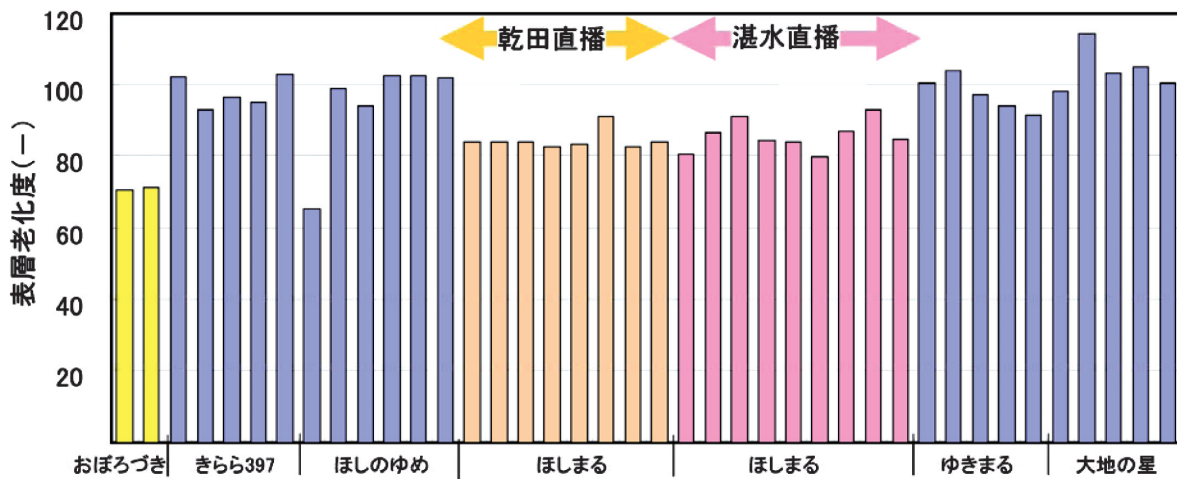


図 1-3-3 米飯の老化性推定値 (表層老化度)

準的な数値が得られた (図1-3-4)。

エ 今後の課題

水稻の品質に関しては、気象条件、土壌等の影響で変動するため、今後も品質データの蓄積が必要である。

直播栽培の導入にあたっては、乾田直播法および湛水直播法栽培時の施肥管理は、精米タンパク質含量の変動要因となるため、良質な水稻を安定して生産するため、策定される乾田直播法および湛水直播法の栽培指針に従うものとする。

オ 要約

北海道における水稻品種「ほしまる」の直播栽培時の品質特性を主に主食利用を想定して評価し、以下に示す結果が得られた。

乾田直播法および湛水直播法により生産した「ほしまる」は、移植栽培法と比較して精米のタンパク質含量が低減できる。

「ほしまる」は、米飯の外観品質および米飯の物理特性等において良質と判断でき、さらに道内産一般粳米の中でも耐老化性が優れる品種の一つである。用途は家庭用および業務用飯米が考えられる。

* 国内一般粳米の物理化学特性データベース
(農林水産省委託プロ 加工業務プロ)

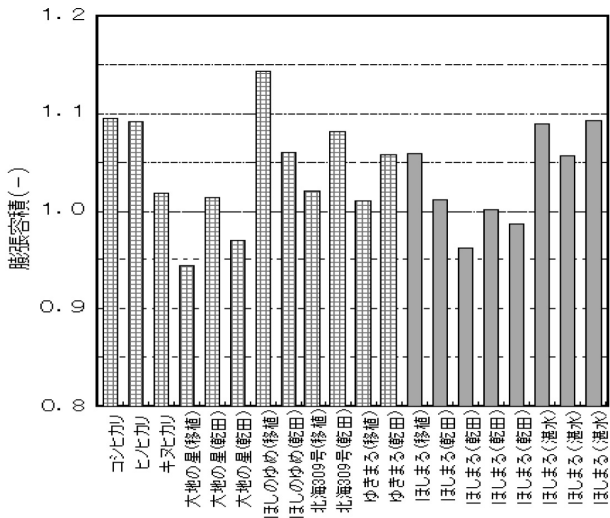


図 1-3-4 米飯の膨張容積

カ 参考文献

- 1) 鈴木啓太郎、大坪研一、岡留博司、中村澄子：
理化学測定による各種新形質米の品質評価、日本食品科学工学会誌、53 (5) , 287-295, 2006
- 2) 大坪研一、岡留博司、鈴木啓太郎：糊化特性に基づく米の物性・老化性評価装置の開発、平成17年度食品総合研究所研究成果情報、普及、2006

(鈴木啓太郎)