

寒地水稲の湛水土中直播栽培における簡易有効積算気温による品種選定

丹野久¹⁾・田中英彦¹⁾・古原洋¹⁾・佐々木亮²⁾・三浦周²⁾

¹⁾ 北海道立中央農業試験場岩見沢試験地, ²⁾ 北海道立上川農業試験場

要旨：寒地の北海道での落水出芽法による水稲の湛水土中直播（以下、直播と記す）栽培において、1999～2003年に、早生品種の「ゆきまる」および中生品種の「ほしのゆめ」と「きらら397」の3品種を供試して、播種期と出穂期を、19の市町村別に各品種、延べ27～40ヵ所で調査した。それらをもとに、北海道の移植作付け基準策定の方法により風速、日照時間および水温の影響を加えた日最高気温と日最低気温から算出した日平均気温を用いて、播種翌日から出穂期までの簡易有効積算気温を明らかにした。その簡易有効積算気温を用いて同5ヵ年の気象での出穂日を推定したところ、実測値とほぼ一致した。一方、直播栽培の登熟日数については、1997～2002年の4地域におけるほぼ同一の窒素施肥量での試験から、移植栽培に比べて3.2～6.7日短かった。また、直播栽培は一穂初数が移植栽培の70%と少なく、13～23%低収となった。出穂後35日間の日平均積算気温と登熟日数には両栽培法とも直線関係があったが、直播栽培の登熟日数は、移植栽培よりも約6日短かった。両栽培法間の登熟日数の差異が最小の品種で3日であったことから、直播栽培の出穂晩限を、移植栽培の栽培基準の出穂晩限の3日後とし、各市町村において、平年の気象から簡易有効積算気温を用いて推定した出穂期をもとに直播栽培の適否を判定した。その結果、直播栽培の適地は中生品種では南部を中心とする一部にすぎなかったが、早生品種では北部など気象条件の厳しい地帯を除いた主要な稲作地域が含まれた。

キーワード：簡易有効気温、水稲、積算気温、湛水土中直播、登熟日数、晩限出穂期、品種選定。

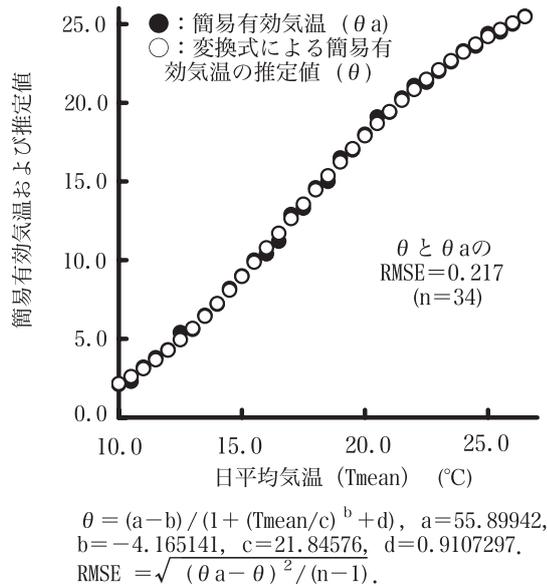
寒地の北海道における水稲は、気象条件が冷涼なため生育期間が短く、十分な登熟温度を確保できないことがある。そのため、安定生産を図るには、各稲作地域において登熟可能な熟期の品種の選定が重要である。とくに、湛水土中直播（以下、直播と記す）栽培は同一品種の移植栽培に比べ出穂期が7～10日遅れることが認められており〔注：平成9～14年度水稲育成系統の配布先における成績書 北海道立上川・中央・道南農業試験場・農林水産省北海道農業試験場（北海道農業研究センター）1998～2003〕、安定生産のためには、移植栽培の基幹品種である中生品種よりも出穂期がかなり早い極早生品種を育成する必要がある。しかし、中生品種と同等な収量や品質、食味を有する極早生品種の育成は難しい現状にある（相川2002）。そのため、現在の直播栽培は、本来早生品種を用いるべきと考えられる北海道中央部の市町村においても中生品種を用いて行っている例があり、移植栽培に比べ遅延型の冷温障害を受けやすい状況にある。

一方、北海道の移植栽培においては安定生産を図るために、1989年から以下の方法で各市町村での作付け品種の基準を策定している（北海道・北海道米麦改良協会1989、竹川1991）。冷温による障害不稔の発生を避けるため、平年の気象条件における出穂前24日以降30日間の平均気温から早限出穂期を求め、また出穂期以降40日間の日平均積算気温が750℃となる日を、晩限出穂期として算出した（村上・小田1988）。さらに、品種および成苗や中苗など苗の種類ごとに、移植翌日から出穂期までに要する簡易有効積

算気温を求め、それを用いて平年の気象での出穂期を予測し（森田・村上1981、村上ら1982、森田ら1984）、予測した出穂期が早限出穂期と晩限出穂期の間になるように品種や栽培法を定めた。

同様に、東北地域の移植栽培においても、地帯別の作付け基準あるいは作期拡大の栽培基準を設定している（宮城県農業普及協会1982、内島1983、鎌田・福田1983、梅津ら1993、福島県農林水産部編1996、岩手県農政部編1999、宮城県産業経済部編2005）。すなわち、各県で方法は必ずしも同一ではないが、概して平均気温から苗別の移植可能日を、最低気温17℃の出現頻度から早限出穂期を、登熟が停止する平均気温が15℃（または最低気温が10℃）となる日から40日間さかのぼる日、あるいは出穂期以降40日間の日平均積算気温760℃から晩限出穂期を求めている。さらに、移植期から出穂期までの日平均積算気温あるいは生育モデルから、苗や熟期の異なる品種別の出穂期を推定している。

これまで北海道の湛水直播栽培の品種選定については、湛水状態で出芽、苗立ちさせる方法で北海道中央部の稲作地帯の一部を検討した例があるのみにすぎない〔注：平成4年度北海道農業試験会議（成績会議）資料「水稲湛水直播・大規模散播法に関する試験」北海道立中央農業試験場・北海道立上川農業試験場1993〕。そこで本試験では、北海道の移植栽培の地帯別栽培基準の設定方法を用いて、現在、湛水直播で一般的な落水出芽法について、播種翌日から出穂期までの簡易有効積算気温を求め、市町村別の品



第1図 日平均気温と、簡易有効気温および変換式による簡易有効気温推定値との間の関係。
日平均気温は日最高気温と日最低気温の平均。簡易有効気温は、村上ら(1982)による。

種選定の基準を設定した。

材料と方法

1. 播種翌日から出穂期までの品種別の簡易有効積算気温の算出

(1) 圃場試験

1999~2003年に、北海道内の市町村において、落水出芽法による直播栽培の播種日と出穂期を調査した。供試品種は、北海道中央部で直播栽培に供試されている早生品種の「ゆきまる」(佐々木ら1994)、および北海道でも主に稲作期間が最も長い南部で供試されている中生品種の「ほしのゆめ」(新橋ら2003)と「きらら397」(佐々木ら1990)の3品種である。

調査を行った市町村は5ヵ年合計で19市町村である。その位置と数は支庁別に、北海道中央部にある2大主産地で水稲作付け面積のそれぞれ26%と46%を占める上川支庁(支庁は第6図を参照、以下、支庁は略す):市町村数3、および空知:6、さらに空知の西に位置する後志:1、北海道南部の檜山:3および渡島:6で、合計5支庁となる。これらは北海道の中央部から南部に広く位置する。ただし、これらの市町村数は、品種と年次によりやや異なり、1年当たり「ゆきまる」:4~10(平均8.0、以下同じ)、「ほしのゆめ」:5~11(7.4)および「きらら397」:4~7(5.4)である(第2表)。播種期と出穂期は、各年次毎に市町村別にとりまとめた。気象データは、調査圃場に最も近いアメダスの観測値を使用した。

種子は、慣行法により消毒後鳩胸状に催芽した。播種は、過酸化石灰粉粒剤(カルパー粉粒剤16)の被覆剤または

被覆せずに催芽粉で行った。過酸化石灰粉粒剤は、催芽直後に乾物重量比30~100%に、ヒドロキシソキサゾール4%・メトラキシル0.5%剤を同比3%混和して被覆した。播種量は乾物換算で10kg/10aである。直播栽培の施肥は、全量を全層基肥あるいは全層基肥50%と側条施肥50%の組み合わせで行った。施肥量は、各市町村の移植栽培の慣行と同量である。

播種日は5月7~24日(平均、15.5日、n=104)である。播種法は散播あるいは条播で、条播の条間は、極一部の試験での30cmを除いて、20cmである。解析は播種法を分けずに行った。播種深度は0.5~1cmとして、播種後、落水出芽法により落水した状態に保ち、出芽始めと発根を確認してから入水し、以後湛水とした。

(2) 簡易有効積算気温の算出

北海道での移植栽培の地帯別栽培基準の設定方法(北海道・北海道米麦改良協会1989、竹川1991)を参考に、以下の方法で、供試した3品種での直播栽培の播種翌日から出穂期までの簡易有効積算気温を求めた。風速と日照の影響を加えた日最高水温 T_{wh} を、日最高気温(T_{h})、日照時間(S)および日平均風速(W)を用いて、次の(1)式より求めた。

$$T_{\text{wh}} = 10.3 + 0.86 T_{\text{h}} + 0.55 S - 1.49 W \quad (1)$$

簡易有効気温は、人工気象室で日最高気温と日最低気温による平均気温を用いて得た値であり、本来、気温を使って求める。実測値から、最高水温は最高気温よりも平均値でほぼ8℃高かった。そこで、簡易有効積算気温の算出に用いる日平均気温(T_{mean})を(1)式の T_{wh} から8℃差し引いた値と日最低気温(T_{min})との平均値とし、次の(2)式から算出した。

$$T_{\text{mean}} = ((T_{\text{wh}} - 8) + T_{\text{min}}) / 2 \quad (2)$$

簡易有効気温は、村上ら(1982)の読み替え表により T_{mean} を変換して得る。しかし、読み替えにも大きな労力を要する。平均気温をX軸、簡易有効気温をY軸とすると、それらの関係は第1図からシグモイド曲線の関係と考えられたので、次の変換式を算出した。

$$\theta = (a-b) / (1 + (T_{\text{mean}}/c)^b + d) \quad (3)$$

$a=55.89942$, $b=-4.165141$, $c=21.84576$, $d=0.9107297$ とする。10.0~26.5℃における0.5℃刻みの34個の気温について、(3)式による推定値(θ)と読み替え表による簡易有効気温とは第1図のように極めて近似し、平均二乗誤差(RMSE)は0.217と極めて小さかった。推定した簡易有効気温(θ)の積算値を簡易有効積算気温とした。なお、湛水と落水条件で苗立ちさせた圃場の間で、出穂期はほぼ変わらないことが認められている(注:平成9年度北海道農業試験会議資料「水稲湛水直播栽培における落水出芽法」北海道立中央農業試験場・北海道立上川農業試験場1998)。そこで、落水期間中も同様な算出法をとった。

(3) 平年の播種日

第1表 試験年次における北海道での栽培期間の日平均積算気温(°C)および作況指数, 平均収量(kg/10 a).

年次	日平均積算気温			作況 指数	平均 収量
	5~7月	8~9月	5~9月		
1999	1521	1293	2814	103	534
2000	1461	1251	2712	103	540
2001	1504	1096	2600	100	526
2002	1465	1091	2556	91	482
2003	1415	1117	2532	73	385
平年	1445	1153	2598	—	—

作況指数と平均収量は、農林水産省大臣官房統計部編(2004)による。日平均積算気温は日最高最低平均気温により算出し、上川郡比布町、岩見沢市および亀日郡大野町の平均。

北海道における落水出芽法による直播栽培の播種期の早限は、まだ十分検討されていない。しかし、直播栽培を行う場合には、移植栽培の作業の前に播種できれば労働分散の上で望ましい。また、移植作業が全面積の5%まで進んだ時期は、1998~2004年での各地域の平均収量が中庸な5カ年の平均で、5月16~23日、平均18日(n=32, 注:北海道農政部調査による)である。そこで、平年の出穂日の推定では、播種日を5月10日とした。

2. 湛水土中直播と移植栽培の登熟日数の比較に関する試験

北海道立の上川農業試験場(上川支庁の上川郡比布町, 以下、北海道立は略し、農業試験場は農試と記す)、中央農試岩見沢試験地(空知支庁の岩見沢市)、道南農試(渡島支庁の亀田郡大野町)、および農業・食品産業技術総合研究機構、北海道農業研究センター(石狩支庁の札幌市、旧農林水産省北海道農試, 以下、北海道農研と記す)の農試の4場における、奨励品種決定基本調査あるいはそれに準じる栽培試験での、落水出芽法による直播と移植栽培の試験成績[注:平成9~14年度水稻育成系統の配布先における成績書 北海道立上川・中央・道南農業試験場・農林水産省北海道農業試験場(北海道農業研究センター)1998~2003]により、両栽培法での登熟日数の差異を検討した。供試年次は、上川農試と北海道農研が1997~2002年、中央農試が1997~2001年、道南農試は1999~2002年である。供試品種は直播栽培では「ゆきまる」、移植栽培ではそれに加え「ほしのゆめ」と「きらら397」の3品種で、道南農試のみ両栽培法とも3品種とした。

直播栽培は、北海道農研が条間30cm, 他の農試が20cmの条播である。播種量は、北海道農研がm²当たり400粒, 他の3場は375粒で、ほぼ乾籾10kg/10aに相当する。播種はシーダーテープに封入した催芽籾で行った。播種日は5月13~19日, 平均で14.9日(n=21)である。

移植栽培について、播種日は4月14~24日(平均17.6日, n=21, 以下、同じ)、移植日は5月17~24(20.2)日である。育苗日数が30~37(32.7)日のいずれも中苗で、栽植密度は中央農試が30.0×13.3cm, 他場が33.0~

33.3×12.0~12.5cm, m²当たり株数が20.0~25.5(24.3)で、植え付け本数は2, 3, 4本のいずれか、あるいは一部では2~4本か3~5本である。

施肥は、両栽培法とも全層基肥で行った。施肥量は、窒素-リン酸-カリの10a当たり成分量(kg)で、上川農試では直播栽培が8-9.7-6.9と、移植栽培の8.7-10.6-7.6よりやや少ない。しかし、他の3場では両栽培法とも、北海道農研で10-12.1-8.6~8.9, 中央農試と道南農試で8-9.7-6.9と同じ肥料水準である。

試験区は、1区の面積が、直播栽培で4.8~7.2m², 移植栽培で3.0~6.7m²であり、いずれも2反復である。調査は、出穂期、成熟期、収量および収量構成要素について行った。出穂期は遅発分げつを除いた茎の40~50%が出穂した日で、成熟期は遅発分げつを除いた穂の黄化初率が90%以上となった日である。収穫時の1区当たり刈り取り面積は、北海道農研では直播栽培が1.6m², 移植栽培が2.0m², 他場では、両栽培法とも2.5~3.6m²である。穂数の調査は、1区当たり直播栽培が条長1m(0.2~0.3m²), 移植栽培が10株(0.41m²)について、一穂籾数と稔実歩合は、それぞれ同様に、条長30cm×2カ所(0.12~0.18m²)と平均的な2株(0.08m²)について行った。

なお、統計計算はMicrosoft Excel 2003を使用した。

結 果

1. 試験年次における栽培期間の日平均積算気温と作況指数

播種翌日から出穂までの簡易有効積算気温を算出するために試験を行った年次における気象と北海道での水稻の作況を、第1表に示した。1999年と2000年では5~9月の日平均積算気温(日最高気温と日最低気温による日平均気温を積算した値, 比布町, 岩見沢市および大野町の平均)が平年の2598°Cよりも114~216°C高く、北海道の作況指数は103であった。それに対して、2002年と2003年では同積算気温がそれぞれ42, 66°C低く、作況指数が91, 73であった。以上のように、同積算気温が高い年次ほど作況指数が高く(r=0.879*, n=5)、また同積算気温と作況の変動幅は極めて大きかった。

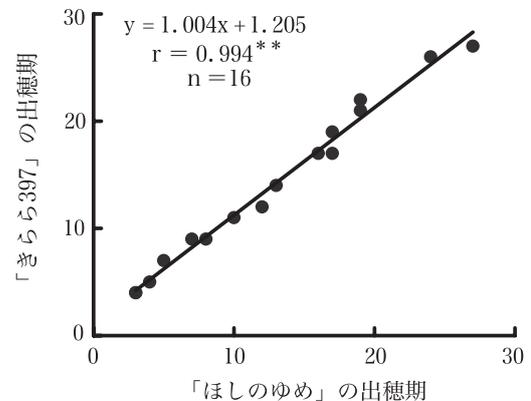
第2表 湛水土中直播栽培試験を行った市町村数, 各市町村の平均供試箇所数, 各市町村における播種翌日から出穂期までの簡易有効積算気温の最小, 最大, 平均値および標準偏差.

品種名	年次	供試市町村数	各市町村の 平均供試箇所数	簡易有効積算気温			
				最小値	最大値	平均値	標準偏差
ゆきまる	1999	9	5.6	968	1154	1012	58.2
	2000	10	4.0	919	1166	1062	77.9
	2001	8	4.5	966	1137	1048	66.1
	2002	9	3.3	939	1097	1010	51.5
	2003	4	2.8	964	1084	1045	55.8
	平均	8.0	4.2	919	1166	1035	64.5
ほしのゆめ	1999	5	2.4	1082	1143	1117	23.7
	2000	11	3.1	1034	1169	1099	44.6
	2001	7	2.9	1015	1181	1092	62.3
	2002	8	1.9	995	1128	1045	45.8
	2003	6	1.8	912	1278	1087	133.8
	平均	7.4	2.5	912	1278	1087	68.7
きらら397	1999	4	2.3	1107	1159	1135	21.4
	2000	6	3.8	1034	1228	1113	66.8
	2001	4	3.3	1063	1184	1115	60.5
	2002	6	2.5	986	1146	1032	61.4
	2003	7	2.9	973	1338	1113	145.9
	平均	5.4	3.0	973	1338	1099	91.3

2. 播種翌日から出穂期までの簡易有効積算気温の設定

「ゆきまる」, 「ほしのゆめ」および「きらら397」について, 第2表に示すように, 直播栽培における播種翌日から出穂期までの簡易有効積算気温の年次別と年次込みの平均値を求めた. その結果, 「ほしのゆめ」と「きらら397」において, 2002年の値が他の年次に比べとくに小さかった. また, 1999~2001と2003年では「きらら397」が「ほしのゆめ」よりも大きいのに対し, 2002年では逆に小さかった. しかし, 実際に同じ圃場と栽培法で両品種を比較した場合には, 「きらら397」は「ほしのゆめ」に比べ出穂がほぼ1日遅いため(第2図), 同積算気温も大きかった. すなわち, この2002年の結果は, 供試した市町村が異なる場合も含めて, 試験圃場が品種で異なることにより生じた誤差と考えられる. また, 「ほしのゆめ」と「きらら397」では, 1999年で最大値を2002年で最小値を示し, その差異が大きかった. そこで, これら品種では両年を除いた3カ年を平均して, 播種翌日から出穂日までの同積算気温を, 第3表のように, 「ゆきまる」:1031, 「ほしのゆめ」:1091, および「きらら397」:1111と設定した.

これらの値を基に, 本試験に用いた市町村, 年次および品種別のデータから出穂期を推定して, 実際の出穂日と一致するかを検討した. その推定の出穂日と実際の出穂日との関係には, 第3図に示したように, 5~9月の積算気温が低く作況指数が91であった2002年と, とくに, 作況指



第2図 湛水土中直播栽培における同一圃場での「ほしのゆめ」と「きらら397」の出穂期(8月)の比較.

** : 1%水準で有意.

第3表 本試験で設定した湛水土中直播栽培における播種翌日から出穂期までの品種別の簡易有効積算気温.

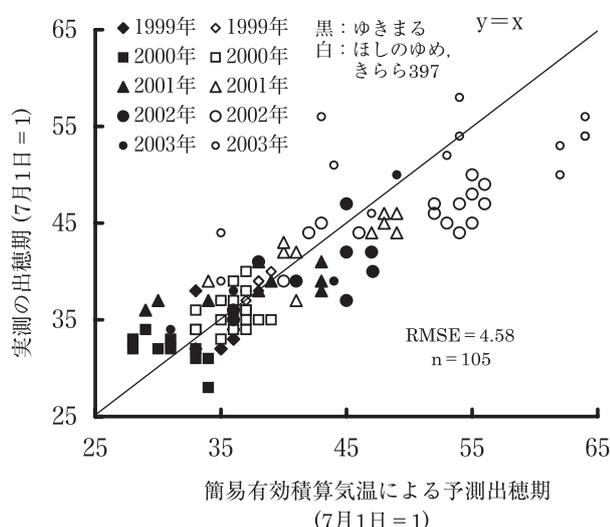
品種名	簡易有効積算気温
ゆきまる	1031
ほしのゆめ	1091
きらら397	1111

数が73とさらに低く, 「ほしのゆめ」と「きらら397」における簡易有効積算気温の標準偏差が大きかった2003年(第2表)において, やや差異がみられた. そのため, 平

均二乗誤差 (RMSE) は 4.58 日 (n = 105) とやや大きい、全体では直線関係があり、本法での推定精度には概ね問題ないと思われた。

3. 直播と移植栽培における登熟日数の比較

1997~2002 年の農試の 4 場における直播栽培の「ゆきまる」と、移植栽培の「ゆきまる」、「ほしのゆめ」および「きらら 397」について、また道南農試の「ほしのゆめ」と「きらら 397」での直播栽培と移植栽培について、第 4 表に生育期、収量および収量構成要素の平均値を示した。なお、 m^2 当たり苗立ち本数は「ゆきまる」: 252 ± 65.5 (平均値 \pm 標準偏差, 以下同じ), 「ほしのゆめ」: 306 ± 32.5 , 「きらら 397」: 322 ± 24.1 (それぞれ n = 21, 4, 4) であった。



第 3 図 湛水水中直播栽培における簡易有効積算気温による予測および実測の出穂期との関係。

各年次のデータ数、予測に用いた簡易有効積算気温および RMSE は、それぞれ第 2 表、第 3 表、第 1 図を参照。*:1% 水準で有意。

第 4 表 湛水水中直播と移植栽培における生育期、玄米収量および収量構成要素。

栽培法	品種名	出穂期 (7月1日 = 1)	成熟期 (9月1日 = 1)	登熟 日数	m^2 当たり 穂数	一穂 初数	稔実 歩合 (%)	m^2 当たり 稔実初数 ($\times 10^3$)	玄米収量 (kg/10 a)	千粒重 (g)
直播	ゆきまる	36.7 \pm 3.9	19.9 \pm 9.2	45.2 \pm 6.4	863 \pm 144	38.0 \pm 4.5	90.1 \pm 5.7	33.3 \pm 6.5	472 \pm 75	21.1 \pm 0.6
移植	ゆきまる	28.0 \pm 2.5	14.3 \pm 8.6	48.4 \pm 6.9	647 \pm 76	49.5 \pm 6.0	91.2 \pm 3.4	32.6 \pm 4.2	544 \pm 55	21.3 \pm 0.8
移植	ほしのゆめ	30.5 \pm 3.7	18.1 \pm 8.9	49.7 \pm 6.7	685 \pm 100	47.6 \pm 6.1	89.7 \pm 5.4	32.9 \pm 4.7	542 \pm 53	21.8 \pm 0.7
移植	きらら 397	31.5 \pm 3.6	21.4 \pm 9.0	51.9 \pm 6.8	655 \pm 89	52.8 \pm 6.6	87.7 \pm 6.4	34.5 \pm 4.2	575 \pm 46	22.4 \pm 0.8
直播	ほしのゆめ	39.3 \pm 5.0	23.3 \pm 11.1	46.0 \pm 6.4	723 \pm 113	33.4 \pm 1.6	91.1 \pm 4.0	22.0 \pm 3.9	416 \pm 93	21.9 \pm 1.0
直播	きらら 397	40.3 \pm 4.6	27.0 \pm 12.4	48.8 \pm 8.3	702 \pm 56	37.3 \pm 5.2	89.8 \pm 8.1	23.4 \pm 3.5	428 \pm 41	22.5 \pm 0.8
移植	ほしのゆめ	29.0 \pm 2.6	18.0 \pm 11.6	51.0 \pm 9.4	655 \pm 39	50.3 \pm 6.8	89.8 \pm 3.1	29.6 \pm 4.7	518 \pm 25	21.3 \pm 0.3
移植	きらら 397	30.8 \pm 3.4	22.0 \pm 12.4	53.3 \pm 9.1	606 \pm 26	51.8 \pm 3.0	88.2 \pm 8.5	27.6 \pm 2.5	557 \pm 21	22.1 \pm 0.4

表の上段は北海道立の上川農業試験場(以下、農業試験場は農試と記す)、中央農試岩見沢試験地、道南農試および農林水産省北海道農試(現、農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター)における、1997~2002年の試験で、直播と移植栽培での施肥量が同じ主に標肥区。ただし、中央農試2002年と道南農試1997~1998年を除く。また、表の下段は、道南農試のみ。データ数は、表の上段:17~21、下段:4。

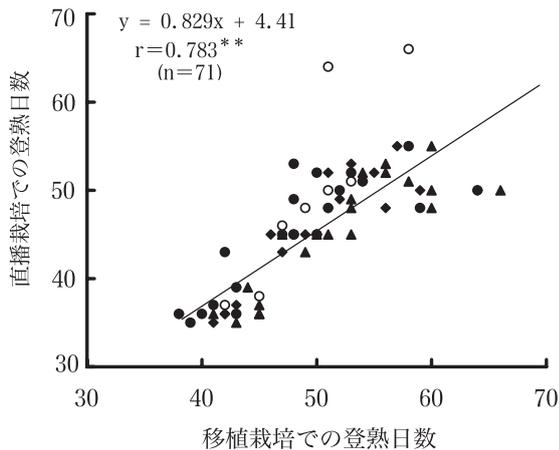
これらの値は、「ゆきまる」で変動がやや大きい、ほぼ適正苗立ち数とされる m^2 当たり 200~300 本(山崎ら 1991, 注:平成 5 年普及奨励ならびに指導参考事項 北海道農政部 1993)の範囲にあった。

直播栽培は移植栽培に比べ、 m^2 当たり穂数が多いが一穂初数が少ないため、 m^2 当たり稔実初数はそれぞれ類似するか少なく、千粒重に一定の傾向が見られなかった。玄米収量は、直播栽培の「ゆきまる」が移植栽培の 3 品種に比べ 13~18%, 道南農試での「ほしのゆめ」と「きらら 397」の直播栽培は移植栽培に比べ 20~23%それぞれ低下し、平均で 16.5%低かった。さらに、登熟日数は、直播栽培の「ゆきまる」が移植栽培の「ゆきまる」、「ほしのゆめ」および「きらら 397」に比べそれぞれ 3.2, 4.5 および 6.7 日短く、また道南農試での「ほしのゆめ」と「きらら 397」の直播栽培は移植栽培に比べ、5.0, 4.5 日短く、これら平均で 4.8 日短かった。また、第 4 図に示した両栽培法の登熟日数から算出した一回帰式から、登熟日数の差異は 40 日で 2.4 日、60 日で 5.8 日と、登熟日数が長くなるほど差が大きくなる傾向があるが、平均で 4.2 日であった。

さらに、出穂後 35 日間の日平均積算気温と登熟日数との関係を検討したところ、第 5 図のように直播と移植栽培のいずれにおいても直線関係があった。しかし、この関係には両栽培法で差異があり、算出された一回帰式から、同積算気温 650~850℃では登熟日数が直播栽培で 51.1~34.7 日、移植栽培で 56.0~41.6 日と、直播栽培が移植栽培よりも約 6 日短かった。

4. 平年の気象での推定出穂期と晩限出穂期による栽培の適否の判定

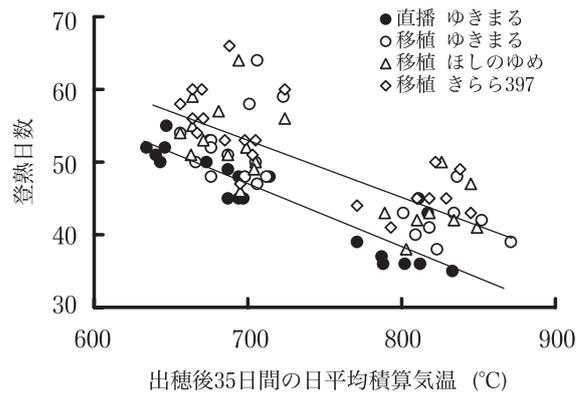
各市町村において、播種翌日の 5 月 11 日からの簡易有効積算気温をアメダスデータの平年値を用いて算出し、各



●, ▲, ◆:それぞれ,「ゆきまる」,「ほしのゆめ」,「きらら397」の移植と「ゆきまる」の直播栽培
○:「ほしのゆめ」と「きらら397」での移植と直播栽培

第4図 湛水中直播と移植栽培での登熟日数の関係。

** : 1%水準で有意。



第5図 湛水中直播と移植栽培における出穂後35日間の日平均積算気温と登熟日数との関係。

直播栽培 (●) : $y = -0.082x + 104.4$, $r = -0.884^{**}$ (n = 21), 移植栽培 (○, △, ◇) : $y = -0.072x + 102.8$, $r = -0.731^{**}$ (n = 63). 日平均気温は第1図の脚注を参照。

** : 1%水準で有意。

第5表 各市町村の湛水中直播栽培における品種別の栽培適否の例。

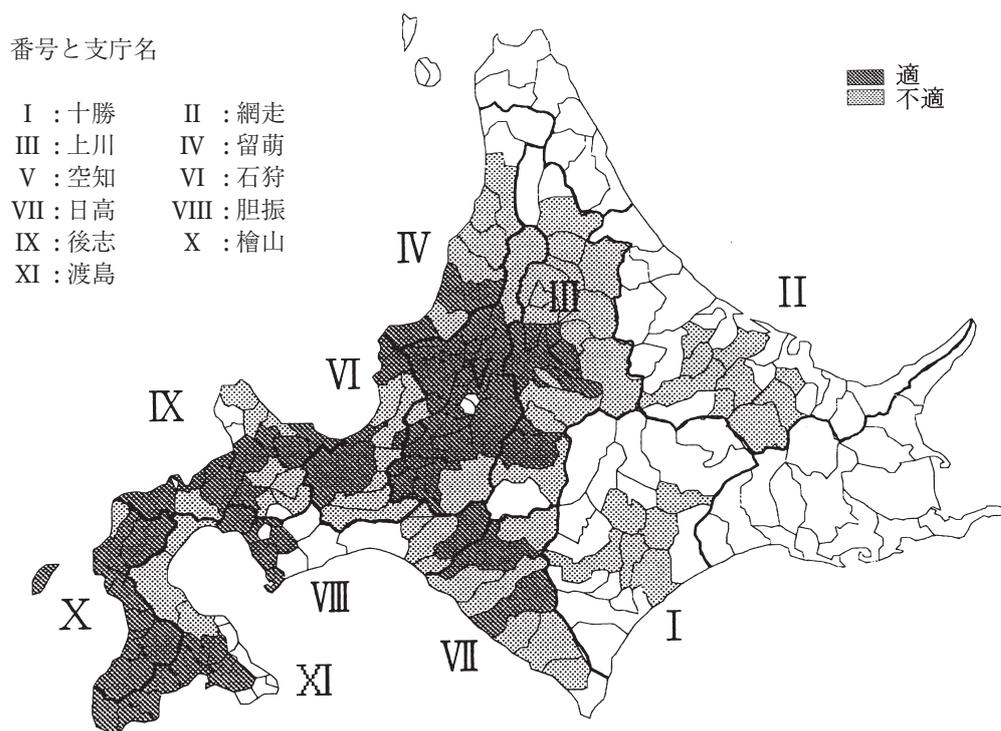
市町村名	支庁名	推定出穂期			晩限出穂期	推定出穂期から晩限出穂期を減じた日数と栽培適否					
		ゆきまる	ほしのゆめ	きらら397		ゆきまる	同左栽培適否	ほしのゆめ	同左栽培適否	きらら397	同左栽培適否
音更町	十勝	50	54	55	34	16	不適	20	不適	21	不適
北見市	網走	44	47	48	35	9	不適	12	不適	13	不適
和寒町	上川	39~43	42~47	43~48	35	4~8	不適	7~12	不適	8~13	不適
東川町	上川	40	43	44	37	3	適	6	不適	7	不適
苫前町	留萌	45	48	50	41	4	不適	7	不適	9	不適
深川市	空知	40	43	45	40	0	適	3	適	5	不適
滝川市	空知	41	44	45	40	1	適	4	不適	5	不適
長沼町	空知	45	48	49	43	2	適	5	不適	6	不適
当別町	石狩	49	52	53	44	5	不適	8	不適	9	不適
静内町	日高	46	50	51	43	3	適	7	不適	8	不適
伊達市	胆振	43	47	48	44	-1	適	3	適	4	不適
蘭越町	後志	38	41	42	39	-1	適	2	適	3	適
大野町	渡島	44	48	49	46	-2	適	2	適	3	適
江差町	檜山	39	42	43	48	-9	適	-6	適	-5	適

推定出穂期と晩限出穂期は、7月1日 = 1とした日数。晩限出穂期は、移植栽培での「水稻地帯別栽培指標」(北海道・北海道米麦改良協会 1989)による。和寒町では2地点のアメダスデータを使用。推定出穂期が移植栽培での晩限出穂期の3日後までの品種を、栽培に適するとした。

品種が第3表の値に達する日を推定出穂日として求め、第5表にその一部を示した。北海道の直播栽培においては、移植栽培に比べ出穂が遅いことが大きな問題であり(丹野ら 2007, 第4表), 出穂が早すぎて冷温による障害不稔を生じる危険性はかなり低いと考えられる。また、本試験で両栽培法での登熟日数の差異が最も小さい「ゆきまる」で、直播栽培が移植栽培よりも3.2日短かったことから、直播栽培の晩限出穂期を移植栽培の基準で示されている晩限出穂期の3日後として、栽培の適否を判定した。

以上の結果、第6図に示すように、早生品種「ゆきまる」

は、水稻作付け市町村のうち北海道中央部にあり主要な稲作地帯である上川中央部と空知、および南部にある檜山では、ほぼ全ての地帯で、直播栽培が可能と判断された。しかし、北海道の稲作限界地帯にある東部の十勝、網走および北部にある上川北部の全部と、その他の支庁管内の市町村の一部では、栽培が難しいとされた。さらに、中生品種の「ほしのゆめ」と「きらら397」では、直播栽培に適するとされた市町村は、渡島と檜山の過半と後志、胆振および空知の一部にほぼ限定された。



第6図 湛水土中直播栽培における早生品種「ゆきまる」での市町村別の栽培適否。
水稲作付けは、11支庁、136市町村。

考 察

1. 直播と移植栽培における一穂粒数と登熟日数との関係

本試験では、直播栽培では移植栽培よりも登熟日数が短いことから、出穂期の晩限を移植栽培の基準よりも3日間遅くした。一方、本試験での直播栽培の m^2 当たり苗本数は、「ゆきまる」の平均値である m^2 当たり252本として、移植栽培の m^2 当たり73本(24.3株, 3本植)と比較すると、3.5倍であった。 m^2 当たり苗本数が多いと m^2 当たり穂数が多くなるが、一般に m^2 当たり穂数と一穂粒数とは負の相関関係が認められるので(鷲尾1990)、 m^2 当たり穂数が多くなると一穂粒数は少なくなると考えられる。

また、直播栽培は移植栽培に比べ、播種期が27日遅く出穂期が8日遅い(第4表)ことから、播種期から出穂期までは19日短い。幼穂形成期から出穂期までの日数は栽培法により大きく変わらないと考えられるので、移植期から活着期(移植時から葉数が0.5枚増加した日)までの生育の停滞期間の北海道での平年値である5日($n=32$, 注: 北海道農政部調査による)を差し引いても、播種期から幼穂形成期までの実際の生育期間は14日短い。たとえば、北海道での直播の播種期試験(森脇・山崎1968)では、14日間の遅播きにより播種から出穂期まで、すなわち播種から幼穂形成期までの期間が11~14日短くなり、一穂粒数も明らかに少なくなっている。これらのことから、直播栽培は移植栽培に比べ前述したように m^2 当たり苗本数が多いことに加え、播種から出穂期までの生育期間が短いこと

も影響して一穂粒数が少なくなると考えられた。

以上のことから、本試験では m^2 当たり穂数が直播栽培の3品種平均で 763 ± 88 と、移植栽培の $123.5 \pm 10.0\%$ (第4表において、移植栽培の5区に対しそれぞれ対応する直播区の比の平均で $n=5$, 以下, 同じ)と多く、直播栽培の一穂粒数は逆に 36.2 ± 2.5 で、移植栽培の $73.4 \pm 5.1\%$ と少なかった。その結果、穂内の登熟が斉一なため、登熟日数が短くなると推察される。

2. 東北以南における直播と移植栽培での登熟日数の比較

東北以南での直播栽培と移植栽培での登熟日数を比べると、東北地域から九州地域のほぼ全域にわたり、ほぼ同じか直播栽培が長い(東北地域: 北村1988, 獄石・福田1990, 高橋ら1991, 北陸: 中谷1981, 寺田1985, 中村1990, 椋木・金1991, 関東: 駒塚ら1990, 長島ら1990, 近畿: 天野ら1989, 西垣ら1991, 中国: 佐々木ら1962, 小林ら1971, 鳥山ら1972, 四国: 吉永ら1997, 九州: 工藤ら1974, 柴田ら1988)。このように登熟日数が北海道と異なる理由としては以下が考えられる。まず東北以南では東北北部を除き、直播栽培の播種量が乾粒換算 $2.5 \sim 4 \text{ kg}/10 \text{ a}$ と、北海道の $10 \text{ kg}/10 \text{ a}$ に比べ少ない(姫田1995)のに対し、移植栽培の m^2 当たり栽植株数は、東北以南の18~26株に比べ北海道が22~25株が25株以上と大きな差異はなく、1株の植え付け本数も3~5本とほぼ同じである(農文協編1990)。そのため、東北以南では北海道に比べ直播栽培と移植栽培での m^2 当たり苗本数の差

異が小さい。さらに、東北以南では北海道よりも生育期間が長いことから、播種から出穂期までの生育期間の差異が一穂粒数に与える影響も、北海道よりは小さいと推察される。これらのことから、東北以南では北海道に比べ、両栽培法における一穂粒数の差異が小さく m^2 当たり粒数の差異も小さいため、登熟に必要な積算気温も移植栽培と同程度になると考えられる。また、直播栽培は移植栽培に比べ出穂が遅く登熟期間の気温が低くなることで、登熟日数が長くなる場合も生じると思われる。

3. 施肥条件による登熟日数の変動

ところで、第4表と同一の試験地、年次、3品種の移植栽培試験において、倒伏や不稔の発生程度が大きい場合を除いて、多肥栽培(10a当たり窒素分量で10~12kg)は標肥栽培(同7~9kg)に比べ、 m^2 当たり稔実粒数が 3950 ± 3000 ($14.4 \pm 11.7\%$, $n = 45$, 以下、同じ)、収量が 40 ± 29 kg/10a ($7.7 \pm 6.1\%$) 多く、登熟日数も 2.0 ± 2.4 日長かった。本試験では、直播栽培は移植栽培に比べ、ほぼ同一の施肥条件で収量が平均で16.5%低く、登熟日数が4.8日短かった。そのため、今後、直播栽培の収量性を改善するために増肥する場合、登熟日数も長くなることが考えられる。これらのことから、さらに直播栽培の施肥量を変えて、両栽培法の登熟日数を比較する必要がある。

4. 品種の早生化による適地の拡大

本試験の結果では、現在の北海道の奨励品種の中で出穂が最も早い「ゆきまる」でも、留萌、胆振、日高、石狩支庁の一部や上川北部、網走、十勝支庁などでは、出穂期が晩限出穂期より4日以上遅くなるため、直播栽培は難しいと判断された(第5表、第6図)。しかし、これらの地域でも、網走、十勝などのような極一部の地域を除けば、「ゆきまる」の出穂は移植の栽培基準での晩限出穂期後の7日以内であった。以上のことから、直播栽培の可能地域を北海道のほぼ全域に拡大するには、出穂期が「ゆきまる」よりも4日以上早い品種の育成が必要と考えられる。

このような品種の早生化に関しては、過去に北海道において出穂早晚が「ゆきまる」の「早生の中」より早い「極早生」の「はやまさり」(沼尾ら1990)と「きたいぶき」(前田ら1996)が育成されている。しかし、上川農試での1997~2002年の6カ年の直播栽培の平均から、出穂期は、7月1日=1として、「ゆきまる」の 34.0 ± 2.4 日に対し、それぞれ 32.5 ± 2.1 日、 33.8 ± 2.4 日であり、「きたいぶき」は平均で0.2日早い程度で差が小さく「はやまさり」も1.5日早い程度であった[平成9~14年度 水稲育成系統の配布先における成績書 北海道立上川・中央・道南農業試験場・農林水産省北海道農業試験場(北海道農業研究センター)1998~2003]。以上のことから、北海道の稲作地域のほぼ全域で安定して直播栽培を行うためには、従来

の極早生品種よりもさらに早生化した品種を育成する必要があると推察される。

謝辞: 本試験を行うに当たり、北海道農業研究センター、妹背牛町役場、北海道の各農業改良普及センターおよび道南農試から栽培試験のデータを提供していただいた。ここに記して深謝する。

引用文献

- 相川宗嚴 2002. 直播用品種. 北海道農業試験研究機関創立100周年記念行事記念誌出版委員会編, 北海道農業技術研究史 1981~2000. 北海道農業研究センター・北海道立中央農業試験場, 札幌・長沼. 26-27.
- 天野久・松尾嘉重・甲谷潤 1989. 湛水土壤中直播栽培に関する研究. 京都農研報 14: 15-26.
- 嶽石進・福田謙四郎 1990. 湛水土壤中直播栽培の安定化. 秋田農試研報 30: 1-16.
- 福島県農林水産部編 1996. 地域特性と栽培基準. 福島県稲作指導指針(総合版). 福島県農林水産部, 福島. 27-46.
- 姫田正美 1995. 直播稲作研究四半世紀の歩み—文献解題— 1971年~1994年. 榊淵欽也監修, 直播稲作への挑戦. 農林水産技術情報協会, 東京. 1-292.
- 北海道・北海道米麦改良協会 1989. 水稲地帯別栽培指標の手引. 北海道の米づくり「水稲地帯別栽培指標の手引」, 「良質米安定生産技術」. 1-91.
- 岩手県農政部編 1999. 水稲作期策定支援. リアルタイムメッシュ気象情報システム《概要編》, 岩手県農政部, 盛岡. 72-84.
- 椛木信幸・金忠男 1991. 水稲の稚苗・乳苗・直播栽培における生育収量特性について. 北陸作物学会報 26: 22-24.
- 鎌田金英治・福田謙四郎 1983. 農業気象的に見た秋田県における水稲の地帯区分と冷害危険度・安全作期. 秋田県農試研報 25: 33-57.
- 北村新一 1988. 湛水土壤中直播栽培技術. 東北農業研究 別号 1: 55-71.
- 小林広美・川崎勇・鷺尾養 1971. 生育相から見た湛水直播水稲の安定多収の条件. 中国農試報 A19: 1-19.
- 駒塚富男・齊藤研二・長島正・勝木田博人・太田恒男 1990. 水稲の早期栽培地帯における湛水土中直播栽培法に関する研究 5. 品種別の窒素施肥法. 千葉県農試特報 17: 51-65.
- 工藤洋男・伊藤延久・紺野博・坂井定義・小林研三・嶋田一明・宮内紀一・村上義勝・南部美記雄・永松哲也 1974. 暖地における水稲湛水散播栽培. 農林水産技術会議事務局編, 実用化技術レポート No. 2. 農林統計協会, 東京. 1-40.
- 前田博・相川宗嚴・柳川忠男・佐々木一男・田縁勝洋・丹野久・菅原圭一・吉田昌幸・菊地治己 1996. 水稲新品種「きたいぶき」の育成について. 北海道立農試集報 71: 49-63.
- 宮城県産業経済部編 2005. 晩期栽培. 宮城の稲作指導指針(基本編). 宮城県産業経済部, 仙台. 84-89.
- 宮城県農業普及協会 1982. 宮城の稲作読本—良質米づくりのために— 宮城県普及協会, 仙台. 1-342.
- 森田弘彦・村上利男 1981. 寒地水稲の作期の計画化について 第1報 有効積算気温と出穂期の関係. 日作紀 50: 338-343.
- 森田弘彦・村上利男・竹川昌和・小川勉・山崎一彦・楠谷彰人・森本重也 1984. 簡易有効積算気温による水稲栽培指標の設定. 北農 51: 1-11.

- 森脇良三郎・山崎一彦 1968. 水稲直播栽培の播種時期に関する試験. 北農 35(4): 15-21.
- 村上利男・森田弘彦・土井康生・今野一男 1982. 寒地水稲の計画栽培に関する解析的研究. 北海道農試研報 133: 61-100.
- 村上利男・小田正人 1988. 寒冷地水稲の計画作期および出穂予測に関する情報システムの開発. 日作紀 57(別2): 21-22.
- 長島正・渡辺富男・長野淳子・深山政治 1990. 水稲の早期栽培地帯における湛水土中直播栽培法に関する研究 4. 品種別の多収生育相の解明. 千葉県農試特報 17: 33-49.
- 中村喜彰 1990. 湛水土中直播栽培. 農文協編, 稲作大百科 IV 栽培様式/管理の実際. 農山漁村文化協会, 東京. 477-499.
- 中谷治夫 1981. 田植機利用による水稲の湛水土中直播栽培に関する研究. 石川農試研報 11: 1-28.
- 西垣誠二・浦田敏業・松下美郎・山田倫章・潘耀平 1991. 水稲湛水土中直播の作期と生育収量についての研究. 大阪農試研報 27: 31-37.
- 農文協編 1990. 栽培様式/管理の実際. 稲作大百科 IV. 農山漁村文化協会, 東京. 1-560.
- 農林水産省大臣官房統計部編 2004. 全国農業地域別・都道府県別累年統計表(平成11年産~15年産)水稲. 平成15年産作物統計(普通作物・飼料作物・工芸農作物). 農林統計協会, 東京. 172-191.
- 沼尾吉則・佐々木多喜雄・佐々木一男・柳川忠男・相川宗嚴・和田定・本間昭・新橋登 1990. 水稲新品種「はやまさり」の育成について. 北海道立農試集報 60: 19-30.
- 佐々木孝司・小谷倫三・小林吉雄・中島勉 1962. 水稲湛水直播の品種. 中国農業研究 24: 15.
- 佐々木忠雄・沼尾吉則・太田早苗・田中一生・吉村徹・三分一敬・佐々木一男・和田定・新井利直・本間昭・森脇良三郎・楠谷彰人・犬飼剛・稲津脩・柳原哲司・鈴木慶次郎 1994. 水稲新品種「空育139号」の育成について. 北海道立農試集報 67: 1-17.
- 佐々木多喜雄・佐々木一男・柳川忠男・沼尾吉則・相川宗嚴 1990. 水稲新品種「きらら397」の育成について. 北海道立農試集報 60: 1-18.
- 柴田義弘・原田皓二・大隈光善 1988. 砂壤土水田における水稲湛水土中直播栽培の施肥法と初期水管理. 福岡農試研報 A-7: 15-18.
- 新橋登・前田博・國廣泰史・丹野久・田縁勝洋・木内均・平山裕治・菅原圭一・菊地治己・佐々木一男・吉田昌幸 2003. 水稲新品種「ほしのゆめ」の育成. 北海道立農試集報 84: 1-12.
- 高橋正夫・小野剛志・佐藤健 1991. 寒冷地における水稲移植および湛水直播栽培の窒素吸収特性. 日作東北支部報 34: 89-90.
- 竹川昌和 1991. 気象条件から求めた地帯別水稲品種選定の基準—とくにアメダスゾーンメッシュについて—. 北海道立農試集報 63: 41-52.
- 丹野久・相川宗嚴・山崎信弘・森脇良三郎・天野高久 2007. 寒地における水稲の湛水土中直播栽培の播種様式が収量に及ぼす影響. 日作紀 76: 586-590.
- 寺田優 1985. 湛水土中直播栽培水稲に関する調査研究. 石川農試研報 13: 17-38.
- 鳥山國士・鷺尾養・桜井義郎・江塚昭典・篠田治躬・坂本敏・山本隆一・守中正・関沢邦雄 1972. イネ縞葉枯病抵抗性水稲新品種「ミネユタカ」の育成について. 中国農試報 A21: 1-19.
- 内島立郎 1983. 北海道, 東北地方における水稲の安全作季に関する農業気象学的研究. 農試研報 A31: 23-113.
- 梅津敏彦・木村和則・中野憲司・長谷川愿・松田裕之・太田秀樹・芳賀静雄・武田正宏・矢島正晴 1993. メッシュ気候値を活用した水稲適地区分 第1報 好適作期の策定と適地判定. 山形農試研報 27: 1-21.
- 鷺尾養 1990. 栽植密度と形態. 松尾孝嶺・清水正治・角田重三郎・村田吉男・熊澤喜久雄・蓬原雄三・星川清親・前田英三・山崎耕宇編, 稲学体系 第1巻 形態編. 農山漁村文化協会, 東京. 466-471.
- 山崎信弘・田中英彦・古原洋・五十嵐俊成 1991. 水稲湛水直播栽培における適正苗立ち本数について. 日育・日作北海道談話会会報 31: 31.
- 吉永悟志・長田健二・村上優浩・高梨純一 1997. 直播水稲の生育特性及びその品種間差異. 四国農試報 61: 83-89.

Selection of Rice Varieties Suitable for Direct Seeding under a Submerged Soil Condition by Using the Effective Thermal Index in Hokkaido, in Northern Japan : Hisashi Tanno^{*1)}, Hidehiko Tanaka¹⁾, Hiroshi Kohara¹⁾, Makoto Sasaki²⁾ and Shu Miura²⁾
¹⁾Hokkaido Cent. Agr. Exp. Stn, Iwamizawa Branch, Iwamizawa 069-0365, Japan; ²⁾Hokkaido Kamikawa Agr. Exp. Stn.)

Abstract : The seeding date and heading date (HD) in direct seeding cultivation under a submerged soil condition were examined with three rice varieties at 27-40 sites of Hokkaido in 1999-2003. The effective thermal index (ETI) from the day after seeding to HD was determined using daily hours of sunshine, wind speed and air temperature in 19 paddy rice production areas. The HD estimated from ETI was nearly the same as the actual HD. In 1997-2002, grain yield and number of spikelets per panicle of direct-seeded rice (DSR) were 13-23% and 30% lower than those of transplanted rice (TR), respectively, in four areas with a similar amount of nitrogen fertilizer applied. The grain-filling period in DSR was also 3.2-6.7 days shorter than that in TR. From regression lines between the cumulative daily mean temperature during 35 days after heading and the grain-filling period, the grain-filling period estimated using the same cumulative daily mean temperature was six days shorter in DSR than in TR. From these results we assumed that the varieties whose HD estimated from ETI under normal weather conditions was earlier than the third day after the latest HD for safe cultivation under standard transplanting cultivation, are suitable for direct seeding. Although the medium-maturing variety was suitable only for the south arera, early variety was suitable for the area including the main rice cultivation area of Hokkaido.

Key words : Cumulative air temperature, Effective thermal index, Grain-filling period, Latest heading date for safe cultivation, Rice, Selection of variety, Submerged direct-seeding.