

直播イネの初期生育に及ぼす冷水温の影響*

竹 川 昌 和** 森脇良三郎***

Effects of Low Water Temperatures on Early Growth
of Directly Sown Rice Plants in Hokkaido

Masakazu TAKEKAWA and Ryojaburo MORIWAKI

北海道における水稻直播栽培は、春の低温によって減収することがよく知られている。対照区より 5℃ 低い冷水温処理が水田における直播イネの発芽、苗立などの初期生育に及ぼす影響を検討した。冷温処理はスノーボードと呼ばれる断熱材の水面被覆により行った。その結果は次の通りである。直播イネは生育初期の冷温によって、本葉 1 葉期が遅れ、苗立率が低下した。その結果、出穂遅延による登熟障害と穂数不足をまねき、減収した。冷温による発芽率の低下はほとんどなく、苗立率の低下は発芽後の個体の枯死によると考えられた。生育時期別の冷温処理を行った結果、冷温に対する抵抗力のもっとも劣る時期は、発芽以後、初生葉期ころまでの間であると推定された。なお、水温と物質分配の関係を調査した結果、冷温条件下での地上部、地下部間の物質分配の不均衡はみられなかった。

I 結 言

北海道における稲作の歴史の中で、水田面積の外延的拡大とその北進に対して、いわゆる“タコ足”式播種機による直播栽培法の役割はきわめて大きいものがあつた^{4,6)}。しかしながら近年においては陸苗移植栽培が稲作の大半を占めており、直播の栽培面積は 1% に満たない状況となっている。

その原因のひとつは陸苗移植栽培の技術体系が確立した反面、直播栽培は低収不安定で、とくに最大の弱点である苗立の不安定性がいまだ解決していないことにある。

現在の陸苗移植はほとんどが移植機によっている。この場合には気象およびイネの生育両面からの制約のために、移植の適期中は極めて狭く、移植機の稼働日数の延長は容易でない。したがって現在の移植機の下で適期内移植を完了するためには多くの移植機を必要とする。このような投資増大の抑制やまた労力の節減のためにも、省力的な直播栽培の見直しと、その導入を図る必要性があらう。

従来、寒地の直播イネの安定性は、その初期生育の良否によって影響されるといわれてきた⁷⁾。最近、実用化段階まで開発された過酸化石灰 (CaO₂) の利用によって、半世紀前の“タコ足”式直播にみられた初期の不安定性はかなり解消されることが、ここ数年間のほ場試験によって、ほぼ明らかにされた^{1,2,3)}。

著者らは灌水直播の安定性確保のための研究を行っているが、本報では冷温による苗立不良の実態を明らかにするために、発芽、苗立とその後の生育、収量に及ぼす生育初期の水田水温の影響に

1978 年 11 月 21 日受理

- 本報の一部は 1976 年度日本育種学会、作物学会北海道談話会講演会で発表した。
- ** 北海道立上川農業試験場（現北海道立中央農業試験場、夕張郡長沼町）
- *** 北海道立上川農業試験場、旭川市永山

ついて、ほ場試験によって検討を加えた結果を報告する。

II 試験方法

水稻品種「イシカリ」を供試、水温処理は高温区 (H, 有孔ポリビニール水面被覆)、標準区 (M, 無処理)、低温区 (L, スノーボード断熱材水面被覆、ただし 1976 年は発泡スチロール粒使用) の 3 段階、冷温処理時期は播種後 0~20 日 (L_1)、同 5~25 日 (L_2)、同 10~30 日 (L_3)、同 15~35 日 (L_4) を設け、1976 年から 3 年間実施した。ただし 1976 年の L_2 , L_3 , L_4 区と 1978 年の L_4 区はない。また 1976 年と 1977 年はイネわら施用条件 (60kg/a) も組み入れた。供試種子は種子消毒、浸漬、ハト胸催芽を行い、 CaO_2 種子粉衣区と同無粉衣区を設けた。ただし 1978 年は CaO_2 種子粉衣区のみである。1976 年はカルパー粉剤 (有効成分 CaO_2 54%) を乾籾重の 30% 相当を、1977 年と 1978 年はカルパー粉剤 G (有効成分 CaO_2 35%, 焼石膏混入剤) を乾籾重の 50% 相当を水分を補給しながら粉衣した。播種量は 1kg/a 乾籾とした。1978 年は密播効果をみるために 2kg/a 乾籾区も設けた。播種期は 3 ヶ年とも 5 月 10 日で代掻直後バラ播直播とした。施肥量は N 0.8, P_2O_5 0.8, K_2O 0.6 kg/a で、1976 年のみは止葉期に硫酸追肥 (N 0.4 kg/a) を行った。除草剤はモリネート粒剤 2 回、ACN 粒剤 1 回、モリネート SM 粒剤 1 回を散布した。1 区面積 10 m^2 , 1 区制で行った。

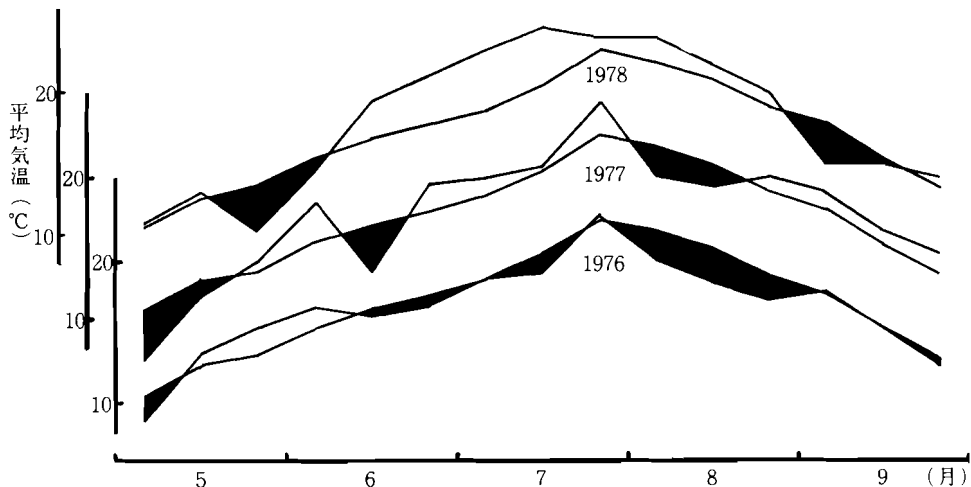
冷水温を得る方法として灌漑水かけ流し法があるが、これは藻類の発生や流水による種子の移動など、温度以外の要因が発生するために採用しなかった。一方、スノーボード被覆は幼苗の草丈が湛水深より長くなると、葉身の先端がスノーボードに接触して、機械的障害などが生じるので播種後ごく初期の処理のみに適用される方法である。またスノーボード被覆によって、地表面への透光率の減少があり、これが発芽およびその後の生育への影響を与える懸念があったので、1978 年にスノーボードに面積当り 5% の穴をあけ、穴をあけないものと比較検討を行った。しかし両者間では初期生育に与える影響に差が認められなかったため、この実験では穴をあけないものを用いたが、1978 年は両者の平均値を用いた。水温の測定は電子管式自動平衡温度記録計 (サーミスター) によった。

なお、本報においては水温処理の影響を検討する目的のため、イネわら施用、 CaO_2 種子粉衣、播種量については、おもに平均値を使用し、温度以外の要因についての検討は行わなかった。

III 結果および考察

1. 気象条件

各年次の旬別気象図を第 1 図に、また初期の半旬別水田水温を第 1 表に示した。これにもとづき各年次の気象と生育概況をみると次のようになる。



第 1 図 旬別気象図

第1表 各年次の水田水温（℃、日平均）

期 間	最 低 水 温			最 高 水 温		
	1976	1977	1978	1976	1977	1978
5月11～15日	7.7	9.4	6.5	20.4	28.9	24.3
16～20日	7.7	7.4	10.4	23.1	13.9	23.4
21～25日	9.7	6.5	8.1	26.8	26.6	18.1
26～30日	8.7	12.1	9.0	27.9	30.2	21.2
6月 31～4日	10.3	14.1	8.0	29.2	26.1	22.6
5～9日	13.0	12.1	11.6	29.0	29.8	19.4

第2表 各処理区の水田水温（℃）

年 次	最 低 水 温			最 高 水 温		
	H	M	L	H	M	L
1976	9.6	8.6	9.0	28.6	24.6	20.2
1977	9.2	9.1	12.2	26.5	25.2	19.5
1978	8.6	8.4	10.2	23.3	21.4	15.0

注）5月11日～5月31日の平均水温

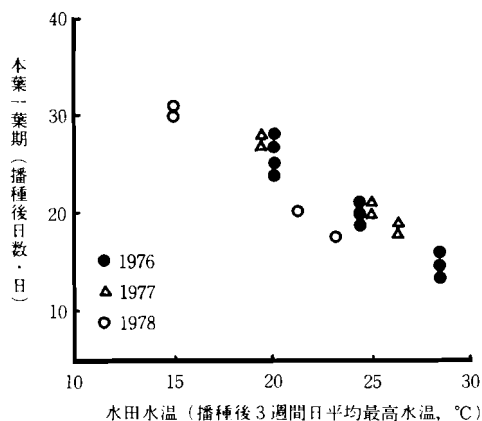
1976年：生育初期は高温で水温も高く経過し、良好な生育であった。しかし6月下旬以後、収穫にいたるまで全般的に低温であった。わずかに7月23日から8月3日までは高温となったが、早生種の移植栽培をのぞいて生育は遅延し、全道的には遅延型冷害となり低収であった。

1977年：生育初期は一時低温であったが、全般的にほぼ高目に経過し、生育は良好であった。6月中旬の低温によって分けつ、草丈の伸長が停滞し、葉色も落ちたが、6月末には29℃に達するなど高温に転じて生育も急速に回復した。8月前半に再び低温となり登熟が停滞したが、9月には回復して良好に経過し、一部では例作もみられたが、全般的には多収となった。

1978年：直播の播種直後をのぞいて生育初期は全般に低温で、水田水温は前2ヶ年に比較して5℃前後も低く経過し、一部に苗立不良、葉色の黄化、苗腐敗などが発生した。6月中旬以後は回復して全般に高温に経過し、出穂期は約1週間も早まり、史上最高の多収年となった。草丈は全般的に高く、直播栽培では倒伏するものが多かった。しかし本試験においては倒伏はみられなかった。

2. 初期水温と生育、収量

各処理区の水田水温を第2表に示した。これによると日最高水温は処理によって異なりH区（有孔ポリビニール）はM区（無処理）より2～3℃高く、L区（スノーボード）はM区より約5℃低



第2図 水田水温と本葉1葉期の関係

かった。しかし日最低水温はいずれも9℃前後で大差がなかった。このような傾向は3ヶ年とも同様であったが、最高水温の処理間差は日照の多い時に顕著に認められ、日照の少ない時にはほとんど差がなかった。なお最も低い水温が得られたのは1978年で、この年のL区の日平均最高水温は15.0℃であった。これは苗腐敗の多発した1969年の移植直後の水温よりもさらに2℃ほど低いことになる。

このように処理によって各区の水温が異なったと同時に各区の本葉1葉期も異なった。そこで水温と本葉1葉期の関係をみたのが第2図である。

これによると播種後3週間の日平均最高水温の低いほど本葉1葉期が遅く、水温が1℃低下する

と本葉1葉期は1～1.5日の割合で遅れることがわかる。しかしこの遅れが発芽までの影響か、発芽後の影響かについては明らかにできなかった。しかしながら、この本葉1葉期の遅れは幼穂形成期、出穂期、成熟期にも影響し、水温の低いほどいずれも遅れることが第3表に示されている。したがって、初期水温は出穂期、成熟期の遅速までも支配しているといえる。

次に初期水温と苗立の関係を見るために、各処理区の発芽率と苗立率を第4表に示した。これによると発芽率は処理間においてほとんど差はなかったが、苗立率は水温の低い場合(L区)に著しく低下し、標準区(M区)の約60%となった。その結果、m²当たり苗立数は、H、M区の約250本に対し、L区では150本前後にとどまった。

すなわち冷水温条件下においても発芽はする

が、発芽後の生育停止あるいは枯死個体の出現が苗立率を低下させたと言えよう。黒沢・東²⁾も水温(16.0～21.4℃)をかえてポット試験を行ない「発芽率は95～100%で処理間に差はないが、苗立率は水温が低いほど・・・低かった」と報告しており、本報と同様の結果を得ている。

以上要するに、本葉1葉期の遅れと発芽後の個体の枯死が、冷温による苗立不良の主要な内容であると考えられる。

次に生育初期の冷水温による減収要因について解析したところ第5～7表に示すような結果を得た。これによると収量は初期の冷温によって明らかに減収し、収量との単相関は苗立数や粒数よりも、出穂期や登熟歩合の方が高かった。また、標準偏回帰係数や偏相関をみると、収量に対する影響度は苗立数や粒数よりも、出穂期や登熟歩合の

第3表 水温と生育期節(月/日、平均値)

年 次	幼 穂 形 成 期			出 穂 期			成 熟 期		
	H	M	L	H	M	L	H	M	L
1976	7/8	7/11	7/16	8/2	8/4	8/13	9/26	10/1	(10/15)
1977	11	13	18	3	4	11	22	9/26	(3)
1978	6	6	13	7/30	7/30	3	15	15	(9/25)

注) () は推定

第4表 水温と発芽、苗立(平均値)

区 名	発 芽 率 (%)			苗 立 率 (%)		
	1976	1977	1978	1976	1977	1978
H	108	101	102	129	98	93
M	(87)	(80)	(88)	(66)	(72)	(74)
L ₁	95	95	99	64	53	89
L ₂	—	95	97	—	49	76
L ₃	—	97	93	—	21	83
L ₄	—	111	—	—	60	—

注) () は実数, 他はM区対比

第5表 水温と収量(平均値)

区 名	精 玄 米 重 (kg/a)		
	1976	1977	1978
H	103	102	100
M	(59.8)	(56.3)	(58.1)
L ₁	82	90	81
L ₂	—	72	68
L ₃	—	43	79
L ₄	—	86	—

注) () は実数, 他はM区対比

第6表 形質間相関(1977, n=24)

	苗立数	粒 数	登熟歩合	精玄米重
出 穂 期	-0.83	-0.74	-0.89	-0.92
苗 立 数		0.64	0.74	0.79
粒 数			0.63	0.83
登 熟 歩 合				0.95

第7表 収量に対する標準偏回帰係数、偏相関係数と回帰式（1977、n=24）

	標準偏回帰係数	偏 相 関 係 数	回 帰 式
出 穂 期 X_1 （8月X日）	-0.85	-0.77	$Y=61.7-1.46X_1+0.01X_2$
苗 立 数 X_2 （本/㎡）	0.08	0.11	$(R^2=0.84)$
出 穂 期 X_1 （8月X日）	-0.67	-0.81	$Y=59.6-1.16X_1+0.15X_2$
収 数 X_2 （万/㎡）	0.33	0.57	$(R^2=0.89)$
登 熟 歩 合 X_1 （%）	0.70	0.99	$Y=0.2+0.58X_1+0.17X_2$
収 数 X_2 （万/㎡）	0.39	0.93	$(R^2=0.99)$

方が明らかに強かった。このような結果から生育初期の冷温による減収要因を推定すると、第1に出穂遅延による登熟歩合の低下、第2に苗立数の減少による収数の不足ということができよう。なお1978年は7、8月に異常高温となり、出穂遅延による登熟低下は認められなかった。

以上をまとめると、直播イネの生育相は初期水温の影響を強く受けており、生育初期に冷温に遭遇すると、本葉1葉期が遅れて、出穂遅延と登熟障害をまねくばかりでなく、枯死個体の多発で苗立率が低下し苗立数が不足するために収数確保も不十分となり、その結果減収することが明らかになった。

3. 苗立障害の危険期

次に苗立不良を起こしやすい生育ステージを知る目的で、生育時期別の冷水温処理の影響を検討したところ、第5表および第8表に示したような結果が得られた。これによると播種直後からの処理（ L_1 ）よりも、発芽開始後からの処理（ L_2 ）の方が本葉1葉期と出穂期が遅く、登熟歩合が低く、穂数、収数もわずかに少なく、結果的に減収率が大きかった。また、1977年の L_4 区、1978年の L_3 区の生育は各年の L_2 区の生育よりも優っていた。な

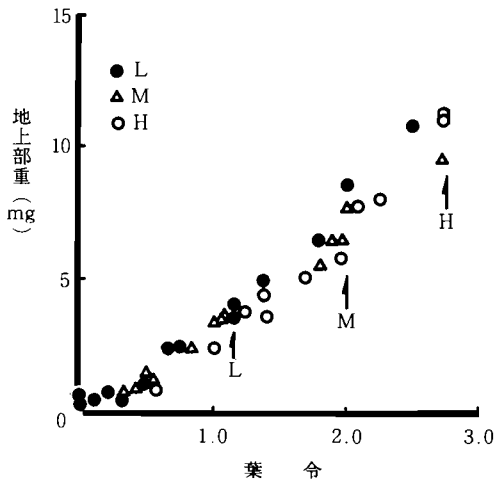
お1977年は L_3 区の生育がもっとも劣っているが、これは葉身先端がスノーボードへ接触したことや、 L_3 区の処理終了直後の除草剤散布による薬害が重なったためと考えられる。

以上の結果から、直播イネの生育初期の冷温に対する抵抗力の最も劣る時期は少なくとも、発芽そのものではなく、発芽以後、初生葉期ころまでの間ということができよう。この時期は光合成機能をもたない鞘葉の生育している時期であって、胚乳消尽期以前に相当する時期である。このことは冷温による苗立障害の軽減について考える場合、発芽そのものよりも鞘葉の生育と初生葉の発生促進に重点を置く必要があることを示唆している。

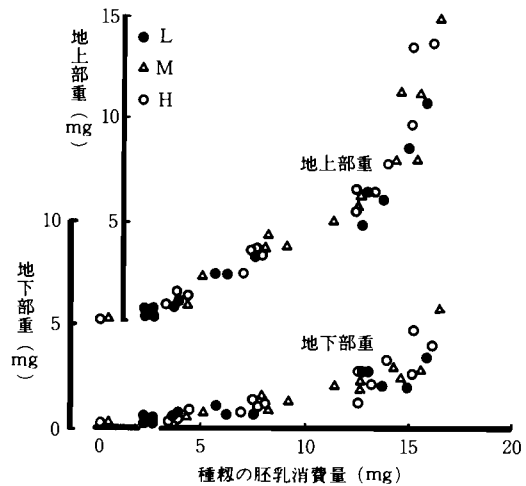
なお、杉谷・橋本⁵⁾は水稻幼苗の冷温抵抗性について検討し、発芽当初から第1緑葉の現われる程度の幼苗は、最低気温-9℃でも凍死しない。また、種粒消毒が不完全の場合、冷温が続くと立枯病等の菌類に侵されて枯死することがあると述べている。したがって、直播イネのは場における生育初期の冷温抵抗力は、真の冷温抵抗力のほか、苗腐敗の関与を考慮する必要があると思われる。

第8表 生育時期別冷水温処理の影響（平均値）

区 名	本葉1葉期(月/日)		苗立数(本/㎡)		収 数(万/㎡)		出穂期(月/日)		登 熟 歩 合(%)	
	1977	1978	1977	1978	1977	1978	1977	1978	1977	1978
H	5/29	5/29	272	229	2.82	326	8/ 3	7/30	90.6	86.4
M	31	30	278	245	2.77	268	4	30	90.5	79.8
L_1	6/ 6	6/10	147	218	2.63	278	11	8/ 3	82.5	87.5
L_2	9	12	136	187	2.33	234	16	5	76.3	87.2
L_3	13	9	58	204	2.28	237	24	4	50.0	87.0
L_4	4	—	166	—	2.56	—	14	—	82.5	—



第 3 図 葉令と地上部重の関係 (1976)
注) 矢印は 6 月 4 日の各区の値



第 4 図 種粒の胚乳消費量と地上部重、
地下部重の関係 (1976)

4. 物質の生産・分配と苗立

次に冷温による苗立障害を物質の生産と分配の面から検討するために、葉令別地上部、地下部および子実の重量を測定し、水温とこれらとの関係を第 3、4 図に示した。

まず第 3 図によって幼苗の葉令と地上部重の関係をみると、葉令が進むにつしたがって地上部重は増加するが、初期水温が低いほど葉令、地上部重はいずれも小さい。ところが同じ葉令で比較すれば、初期水温が異なっても地上部重はほぼ同じことがわかる。

次に第 4 図によって種粒の胚乳消費量と地上部重、地下部重の関係をみると、胚乳消費量が多くなるにしたがって、地上部重、地下部重はともに増加するが、同じ胚乳消費量で比較すれば初期水温が異なっても地上部重、地下部重の処理間差は認められない。すなわち、冷温条件下での地上部、地下部間の物質分配の不均衡はみられなかった。

したがって、冷温条件下における苗立障害が物質の生産・分配の不均衡などの異常によって発現する可能性は少ないと思われる。

以上の結果から、水田条件下における冷温による苗立不良の実態は発芽後において、立枯病などの発生を伴う条件下で、鞘葉の生育と初生葉の発生が阻害されて、生育が停滞し枯死する個体が発現するというものである。

したがって、直播イネの苗立の安定化のためには、今後、鞘葉の生育や初生葉の発生と温度との関係を生理的あるいは病理的な面から究明するとともに、冷温苗立性との関連についても再検討する必要があるものと考えられる。

謝辞 本研究を進めるに当たり貴重なご助言をいただいた上川農業試験場主任専門技術員斉藤準二氏、多大のご協力をいただいた同水稻栽培科研究員、また本稿のご校閲をいただいた上川農業試験場森哲郎場長、中央農業試験場島崎佳郎場長、同長内俊一稲作部長の各位に心から謝意を表する。

引用文献

- 1) 北海道立上川農業試験場編, "水稻栽培試験成績書", 1975 年度—1977 年度 (1976—1978)。
- 2) 黒沢 健, 東 誠司, "過酸化石灰の種子粉衣による水稻機械化湛水直播栽培の苗立安定化。Ⅲ, 温度条件および種子の埋没深さと過酸化石灰粉衣種子の苗立ち", 日本作物学会東北支部会報, **18**, 9—11 (1976)。
- 3) 太田保夫, 中山正義, "湛水条件下における水稻種子の発芽におよぼす過酸化石灰粉衣処理の影響", 日作紀, **39**, 535—536 (1970)。
- 4) 島崎佳郎, 柿本 彰, 佐竹徹夫, 斉藤準二, 伊藤延男, "水稻栽培", 北海道農業技術研究史, 北海道農業試験場編, 札幌, 1967, p. 135—161。
- 5) 杉谷文之, 橋本良材, "水稻幼苗の低温抵抗性に関する研究", 新潟県農試研報, **13**, 23—34 (1954)。

6) 外崎正次, “稲作の展開”, 北海道農業発達史, 上巻, 北海道総合経済研究所編, 札幌, 1963, p. 1057-1076.

7) 鳥山国土, “湛水直播用水稲の改良と問題点”, 農業技術, **17**, 305-309 (1962).

付表 各年次の水田水温

月/日	最 低 水 温 (℃)									最 高 水 温 (℃)								
	1976			1977			1978			1976			1977			1978		
	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L
5/11	6.5	7.0	8.5	7.6	7.5	8.1	10.0	7.6	12.0	28.6	25.0	20.0	33.6	31.5	26.3	25.5	22.0	17.0
12	9.2	9.2	9.2	10.0	9.0	12.5	6.2	4.9	9.8	11.8	11.9	11.7	34.4	32.0	26.5	23.3	21.0	14.5
13	8.8	8.8	8.8	10.0	8.0	12.8	5.0	5.0	7.7	22.5	22.5	19.0	34.0	33.5	26.4	29.0	25.2	16.0
14	7.7	7.7	8.0	11.8	10.5	14.5	6.5	6.5	8.3	17.3	17.0	15.2	35.1	31.5	25.4	31.9	25.8	18.3
15	5.6	5.6	5.6	14.5	12.0	14.8	8.5	8.5	9.8	35.3	25.7	24.0	17.3	16.0	15.1	34.1	27.5	19.0
16	11.4	8.5	8.7	10.5	9.2	11.5	10.0	10.0	11.5	36.3	26.3	23.5	19.0	19.2	16.0	25.0	20.0	16.3
17	13.3	10.5	10.5	9.8	8.6	11.0	8.5	8.5	10.5	23.0	20.0	18.0	13.9	13.6	12.0	33.8	29.5	18.0
18	11.5	10.3	10.3	6.2	7.0	9.5	9.5	9.5	11.2	33.5	24.5	21.5	12.1	12.0	10.5	26.5	25.0	16.4
19	8.6	5.7	7.0	5.5	5.5	8.0	12.0	12.0	12.6	21.6	15.4	14.0	12.0	12.0	10.2	21.5	21.5	15.5
20	5.6	3.5	3.5	6.7	6.8	8.0	12.0	12.0	12.8	37.7	29.4	23.0	10.7	10.7	9.0	22.0	20.8	17.0
21	10.6	8.0	9.0	5.0	5.0	7.1	9.0	9.0	12.0	28.7	23.3	16.8	25.8	25.1	18.8	14.5	14.5	12.8
22	11.2	10.5	10.2	6.0	6.5	10.3	8.0	8.0	9.5	36.6	30.3	22.0	29.6	28.5	18.8	13.5	12.5	10.5
23	11.8	9.3	9.6	4.0	5.0	9.5	7.5	7.5	9.0	34.0	25.8	20.6	30.2	29.8	17.6	25.0	25.0	14.8
24	11.6	9.8	10.5	6.8	7.5	11.0	9.0	9.0	9.5	41.8	33.0	25.7	20.3	20.8	13.5	15.5	15.0	10.5
25	13.5	10.8	11.2	7.9	8.4	10.6	7.0	7.0	9.2	29.0	21.6	17.6	28.5	29.0	21.5	23.5	23.5	14.5
26	13.5	13.5	12.5	9.5	10.0	14.0	9.0	9.0	10.0	28.4	28.4	24.0	33.3	29.4	22.0	25.5	25.5	16.0
27	7.5	7.5	9.0	11.5	12.0	15.3	11.0	11.0	12.0	29.7	29.7	23.6	34.3	30.6	24.5	25.0	23.0	17.0
28	7.5	7.5	9.0	12.0	12.5	17.9	10.5	10.5	12.0	26.4	26.4	21.7	30.4	27.0	21.9	17.0	17.0	13.5
29	8.4	8.4	9.1	13.0	13.5	16.0	7.0	7.0	8.6	24.4	24.4	20.2	33.3	31.4	24.0	23.0	22.5	14.5
30	6.7	6.7	6.7	12.6	12.6	18.5	7.5	7.5	8.8	30.8	30.8	22.7	34.3	32.8	24.9	20.0	18.0	11.8
31	12.0	12.0	12.5	13.3	13.0	16.2	6.3	6.3	7.7	24.2	24.2	19.0	34.6	32.5	24.8	15.0	15.0	11.2

Effects of Low Water Temperatures on Early Growth of Directly Sown Rice Plants in Hokkaido

Masakazu TAKEKAWA* and Ryozauro MORIWAJI*

Summary

It is well known that low temperatures in spring of Hokkaido give adverse effects on grain yields of directly sown rice. The authors studied here effects of cold water, set to temperatures 5°C lower than that of control field, on the early growth, namely germination and establishment of directly sown rice seedlings in the paddy field. The low water temperature was produced by covering the surface of water with heat insulators called "snow boards". The results are summarized as follows ;

- 1) The first leaf date was delayed and percentage of the seedlings establishment decreased by the cold water treatment. The percentage of ripened grains decreased because of the delay of the heading date and the number of spikelets decreased because of the poor establishment of seedlings. These results eventually led to decrease in the grain yield. The decrease in the percentages of seedlings establishment was concluded to be caused by the death of some seedlings after the germination, since the low temperature treatment made little difference in the percentages of germination from those of control.
- 2) Low temperature treatments at various early growing stages revealed a fact that rice is least resistant to low temperatures in the period between germination and primary leaf dates.
- 3) The relationship between the water temperatures and the distribution of substances was also studied. We could not find any unbalance in the distribution of substances between the top and root of rice grown under the cold conditions.

* Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Asahikawa, Hokkaido, 078-02, Japan.