

## 北海道での水稲湛水直播栽培の落水出芽法における播種後の気温による最適入水日の推定

田中英彦・丹野久

(北海道立中央農業試験場)

**要旨：**過酸化石灰剤被覆種子を用いた落水出芽法において、最適な入水日（播種粒数の30%程度の出芽と種子根の土中への伸長が確認された日）を気温から推定する目的で、播種後入水当日までの期間で、日最高最低平均気温から基準温度を差し引いた値を積算する方法（積算気温法）と、1日当たり発育速度（DVR）を日平均気温（T）の関数（ $DVR = 1 / (1 + \exp(-A(T - Th))) / G$ ）として算出した値を積算する方法（DVI法、入水日が1）を検討した。積算気温法では、基準温度を1～10℃の範囲で変化させた場合での積算気温の変動係数を比較したところ、基準温度が6℃で最も変動係数が小さく、この積算気温が85.9℃を超えた日が最適入水日と考えられた。DVI法では、 $A = 0.1908$ ,  $Th = 16.06$ ,  $G = 4.118$ が最適値となった。落水日数の実測値に対する推定値の二乗平均平方根誤差は、積算気温法で1.4日、DVI法で1.2日であった。上述の知見に基づき、生産コストを低減する過酸化石灰剤無被覆での催芽粉播種（催芽粉区）の最適入水日を検討したところ、過酸化石灰剤被覆区（CAL区）の最適入水日（標準区）では、CAL区の苗立ち率が70.9%であったのに対して、催芽粉区では52.2%と有意に低かった。しかし、標準区よりも約3日入水を遅くすると、催芽粉区の苗立ち率は60.9%に向上した。このことから、催芽粉播種における最適入水日は、積算気温法で105℃、DVI法で1.3を超える日と考えられた。

**キーワード：**過酸化石灰剤、出芽、推定法、水稲、湛水直播、苗立ち、落水期間。

湛水土壌中直播栽培（三石・中村 1977a, b）技術の開発以降、苗立ちを安定化させる栽培技術の開発が種々行われてきた（下田 1989, 古畑 2009）。そのなかでも、播種後の一定期間に落水管理する落水出芽法（大場 1994, 1997）は、全国各地で導入されて、湛水直播栽培の普及に大きく貢献している（丸山 2001）。

落水出芽法での入水日について、大場（1994, 1997）は長野県において、播種後10日以上落水して田面に出芽を認めたら直ちに湛水するとしている。一方、北海道では過酸化石灰剤の被覆種子を利用した場合に、出芽始めと種子根の土壌中への伸長が認められた日を入水日としている。しかし、適切な入水日について気象条件（気温）との関係から数量的に示した報告はない。最適な入水日を気象条件から数量的に推定することは、いずれの地域の生産現場でも入水日を適期管理するために重要であるが、北海道では播種後の気温が低く、長い落水期間が必要であり、また年次により出芽までの日数が変動しやすいのでさらに重要である。

一方で、落水出芽法の普及による出芽・苗立ちの安定化に伴い、過酸化石灰剤のコスト削減と被覆作業の省力化に対する生産者の要望は大きく、過酸化石灰剤の種子被覆量を減量する事例が増加しつつある（吉永ら 2007）。播種後の落水管理は、土壌とくに種粉近傍を酸化的に保つことにより苗立ちが安定化する（古畑ら 2005, 田中ら 2016）。このことから過酸化石灰剤を使用しない場合（催芽粉播種）にも、従来よりも入水時期を遅らせることで出芽・苗立ち

が高まることが期待されるが、催芽粉播種の最適な入水日については今日でも不明な点が多い。

そこで本研究では、過酸化石灰剤の種子への被覆の有無が入水日に及ぼす影響を検討した過去の試験結果を用いて、播種後の最適な入水日を有効積算気温から推定する方法（積算気温法）と、1日当たり発育速度（DVR）から推定する方法（DVI法）を検討し、北海道での湛水直播栽培の落水出芽法における最適な入水日を推定した。

### 材料と方法

#### 1. 過酸化石灰剤被覆種子における最適入水日の推定

試験は、1994～2003年の10年間、北海道立中央農業試験場稲作部（岩見沢市）の水田で行った。供試品種は、1994～1995年に直播用極早生品種「きたいぶき」、1996年以降に早生品種「ゆきまる」を使用した。種粉は、慣行法によりハト胸催芽後に過酸化石灰粉粒剤16を乾粉重量比100%、および殺菌剤であるヒドロキシイソキサゾール・メトラキシル粉剤を同3%で同時被覆した。播種は5月13～18日に行った（第1表）。播種機については、1994年は背負式動力散粒機（共立、DMD-5502）、1995年は10m条播機（中央農試、試作機）、1996～1997年は乗用散粒機（キセキ、JK14-IHB-181S）、1998年以降は密条型施肥条播機（ヤンマー、TRR10M）を用いた。播種後は落水管理を行い、播種粒数の30%程度の出芽と種子根の土中への伸長が確認された日に入水した。6月下旬（イネ4葉期以降）に苗立ち本数を1区0.2～0.3 m<sup>2</sup>を21～384ヶ所調査し、播

第1表 落水期間中の平均気温と苗立ち率（過酸化石灰剤被覆種子）。

年次	播種日 (月・日)	入水日 (月・日)	落水日数 (日)	落水期間中の平均気温		苗立ち率 (%)
				積算値 (℃)	平均値 (℃)	
1994	5.13	5.25	12	155.5	13.0	68.4
1995	5.15	5.28	13	166.7	12.8	49.5
1996	5.15	5.30	15	172.2	11.5	64.9
1997	5.15	5.28	13	147.8	11.4	42.3
1998	5.18	5.27	9	118.6	13.2	79.0
1999	5.18	5.31	13	176.5	13.6	54.8
2000	5.18	5.26	8	117.7	14.7	76.4
2001	5.17	5.26	9	122.9	13.7	66.3
2002	5.16	5.27	11	138.7	12.6	68.9
2003	5.15	5.29	14	179.7	12.8	53.6
平均	5.16	5.28	11.7	149.6	12.9	62.4

供試品種は1994～1995年は「きたいぶき」、他は「ゆきまる」である。種籾は、ハト胸催芽後に過酸化石灰粉粒剤を乾籾重量比100%、ヒドロキシソキサゾール・メタラキシル粉剤3%で同時被覆した。播種機は、1994年は背負式動力散粒機、1995年は10m条播機、1996～1997年は乗用散粒機、1998年以降は密条型施肥条播機を用いた。平均気温は、岩見沢アメダスの測定値。

種粒数で除して苗立ち率を算出した。

最適入水日の推定は、積算気温法とDVI法の2つの方法で行った。積算気温法は、日最高最低平均気温から1～10℃の基準温度を差し引いた値を播種翌日から入水当日まで積算した値を求め、これらの変動係数を比較した。DVI法は、堀江・中川(1990)を参考にした。すなわち、播種後毎日のDVRの積算値で表されるDVIを播種時に0、入水適期に1となると定義し、DVRは日平均気温の関数として次式で表した。

$$DVR = 1 / (1 + \exp(-A(T - Th))) / G \quad (1)$$

A, Th, Gのパラメータを第1表のデータを用い、F-BASIC97 V6.3(富士通)上のプログラムにより、シンプレックス法で推定した。なお、気温は岩見沢アメダスの測定値を用いた。両推定法の推定精度の比較には、実測値と推定値の差の二乗和をデータ数nで除したものの平方根である二乗平均平方根誤差(Root Mean Square Error, 以下RMSE)を用いた(中園ら2014)。

## 2. 催芽籾播種における最適入水日

試験は、1998～2002年の5年間、北海道立中央農業試験場稲作部(岩見沢市)の450m<sup>2</sup>の泥炭土水田で行った。供試品種は、早生品種「ゆきまる」である。種籾として、慣行法によりハト胸催芽後に過酸化石灰粉粒剤16を乾籾重量比100%、およびヒドロキシソキサゾール・メタラキシル粉剤を同3%で同時被覆した過酸化石灰剤被覆区(CAL区)と、催芽籾を播種機に付着しない程度に播種当日に籾上で風乾した過酸化石灰剤無被覆区(催芽籾区)を設けた。播種は、密条型施肥条播機を用い、5月16～19日に行った。播種量は、乾籾換算でCAL区で8.4～10.9g m<sup>-2</sup>、催芽籾区で10.3～13.7g m<sup>-2</sup>であった。

播種後は落水管理を行い、各年3水準(1998年は2水準)の入水時期を設定した。すなわち、CAL区において播種粒数の30%程度の出芽と種子根の土中への伸長が確認された日を標準区として、その前後3～4日前に入水した早期区と、2～3日後に入水した延長区を設けた。播種機の進行方向に垂直に水田を3分割し、水口側から入水時期の早い順に処理区を配置した。処理区の間には、360cm×24cm×3cmの板を水田に打ち込んで、隣接する処理区への水の浸入を抑えた。入水直前の出芽数と6月下旬(イネ4葉期以降)に苗立ち本数を1区0.2m<sup>2</sup>を8～12ヶ所調査し、播種粒数で除して入水時出芽率と苗立ち率を算出した。

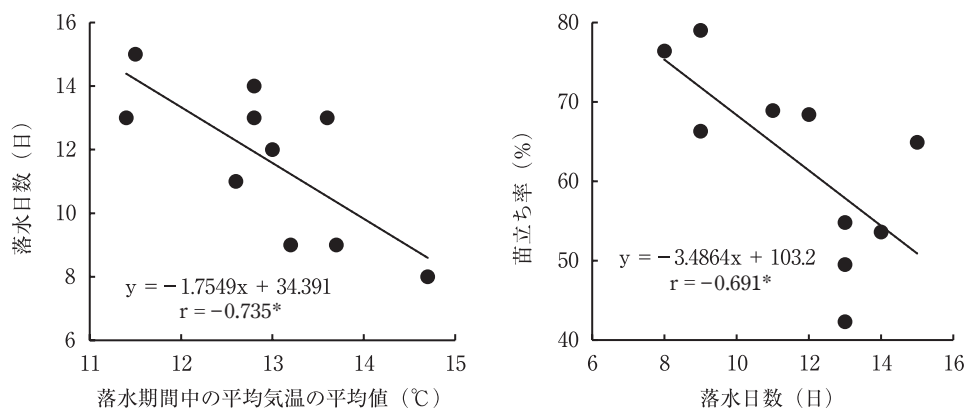
## 結 果

### 1. 過酸化石灰剤被覆種子における最適入水日の推定

各年次における落水日数、落水期間中の気温および苗立ち率を第1表に示した。落水日数は、8～15日で、平均で11.7日であった。苗立ち率は、42.3～79.0%で、平均で62.4%であった。落水期間中の平均気温が高いほど落水日数は短く、落水日数が短いほど苗立ち率は高い傾向にあり、ともに両者の関係は有意であった(第1図)。

最適入水日を播種後の気温から推定するために、積算気温法については、日最高最低平均気温から各々1～10℃の基準温度を差し引いた値を播種翌日から入水当日まで積算した有効積算気温を求め、変動係数とともに第2表に示した。変動係数は、基準温度が6℃のときに最も小さく、6℃より低いほど、また高いほど大きかった。このことから、基準温度を6℃として播種翌日から積算したときに、有効積算気温が85.9℃を超えた日が最適入水日であるとした。

DVI法について、(1)式におけるA, Th, Gの各パラメータを第1表のデータを用いシンプレックス法で推定した。



第1図 落水日数と落水期間中の平均気温および苗立ち率の関係(過酸化石灰剤被覆種子)。

\* は、5%水準で有意であることを示す (n=10)。

第2表 播種後入水日までに要する有効積算気温における基準温度の比較。

年次	落水日数 (日)	播種後入水日までの有効積算気温 (°C) (日最高最低平均気温から以下の基準温度を差し引いて積算した値)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1994	12	147.6	135.6	123.6	111.6	99.6	87.6	75.6	63.6	51.6	39.6
1995	13	159.6	146.6	133.6	120.6	107.6	94.6	81.6	68.6	55.6	42.6
1996	15	162.6	147.6	132.6	117.6	103.4	89.4	76.3	63.3	50.7	39.6
1997	13	141.5	128.5	115.5	102.5	89.5	76.5	63.5	50.5	37.5	25.5
1998	9	112.5	103.5	94.5	85.5	76.5	67.5	58.5	49.5	40.5	31.5
1999	13	169.0	156.0	143.0	130.0	117.0	104.0	91.0	78.0	65.0	52.0
2000	8	115.5	107.5	99.5	91.5	83.5	75.5	67.5	59.5	51.5	43.5
2001	9	121.7	112.7	103.7	94.7	85.7	76.7	67.7	58.7	49.7	40.7
2002	11	136.9	125.9	114.9	103.9	92.9	81.9	70.9	59.9	48.9	37.9
2003	14	175.1	161.1	147.1	133.1	119.1	105.1	91.1	77.1	63.1	49.1
平均	11.7	144.2	132.5	120.8	109.1	97.5	85.9	74.4	62.9	51.4	40.2
C.V.	20.2	15.6	15.4	15.1	14.9	14.7	14.6	14.8	15.3	16.7	19.1

過酸化石灰粉粒剤を被覆した場合、C.V.は変動係数。有効積算気温は、播種翌日から入水当日までの積算値。

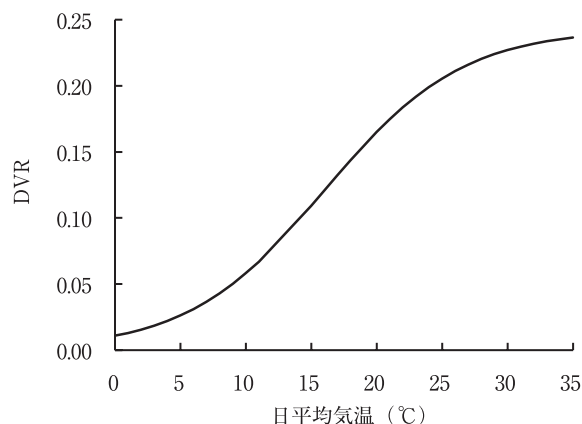
その結果、 $A=0.1908$ ,  $Th=16.06$ ,  $G=4.118$  の最適パラメータが得られた(第2図)。このことから、このパラメータを(1)式に代入し、播種後の平均気温から日々のDVRを求めて積算したときに、1を超えた日が最適入水日であるとした。

積算気温法ならびにDVI法の推定精度を第3表に示した。両者ともに実測値との間に1%水準で有意な正の相関係数が認められた。推定精度を表すRMSEは、積算気温法で1.4日、DVI法で1.2日とDVI法の推定精度がやや高かった。

## 2. 催芽粉播種における最適入水日

各年次各区の入水時出芽率および苗立ち率を第4表に示した。早期区の落水日数は6.8日で、入水時DVIは0.65、標準区の落水日数は10.2日で、入水時DVIは0.97であった。延長区の落水日数および入水時DVIは、標準区よりも各々2.8日、0.31大きかった。

同一入水日におけるCAL区と催芽粉区の入水時出芽率



第2図 日平均気温と播種から入水日までの1日当たり発育速度(DVR)の関係。

過酸化石灰粉粒剤を被覆した場合、両者の関係は、日平均気温  $T$  のとき  $DVR=1/(1+\exp(-A(T-Th)))/G$  で表され、 $A=0.1908$ ,  $Th=16.06$ ,  $G=4.118$  である。



第3表 積算気温法ならびに DVI 法による落水日数の推定精度.

年次	落水日数の 実測値 (日)	最適落水日数の推定値			
		積算気温法		DVI 法	
		落水日数 (日)	差 (日)	落水日数 (日)	差 (日)
1994	12	12	0	12	0
1995	13	12	1	12	1
1996	15	15	0	15	0
1997	13	15	-2	14	-1
1998	9	11	-2	11	-2
1999	13	11	2	12	1
2000	8	9	-1	9	-1
2001	9	11	-2	11	-2
2002	11	12	-1	12	-1
2003	14	13	1	13	1
実測値との相関係数		0.796**		0.886**	
RMSE		1.4		1.2	

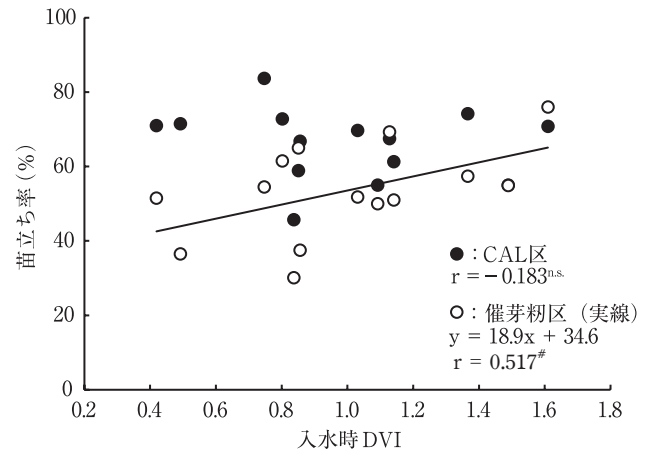
過酸化石灰粉粒剤を被覆した場合、積算気温法では、日最高最低平均気温 $-6^{\circ}\text{C}$ を播種翌日から積算した値が $85.9^{\circ}\text{C}$ を超えた日、DVI 法では、第2図に示した1日当たり発育速度(DVR)を播種翌日から積算した発育指数(DVI)の値が1を超えた日を各々最適入水日とした。RMSEは実測値と推定値の二乗平均平方根誤差(Root Mean Square Error)を示す。\*\*は1%水準で有意であることを示す( $n=10$ )。

を比較すると、CAL区で高く、催芽期区では出芽が遅れる傾向にあった。5年間の平均では、標準区ではCAL区が42.4%、催芽期区が23.8%と両区間に有意な差異が認められたのに対して、延長区では催芽期区の出芽率は38.4%に向上し、CAL区との間に有意な差異は認められなかった。

CAL区の苗立ち率は、概して標準区で最も高く、延長区では標準区よりも低下する場合が多かった。一方、催芽期区では、2002年以外は延長区で最も高かった。CAL区と催芽期区の出芽率を5年間の平均値と比較すると、標準区ではCAL区の70.9%に対し、催芽期区は52.2%と有意に低かった。これに対して、延長区では、両者の苗立ち率は各々65.0%、60.9%で有意な差異は認められなかった。苗立ち率が最も高いCAL区・標準区と催芽期区・延長区の差は10%と標準区での差よりも小さかった。第3図に、第4表に示した各区の入水時のDVIと苗立ち率の関係を示した。CAL区では、両者の間に一定の傾向は認められなかったのに対し、催芽期区では入水時のDVIが大きいほど苗立ち率は高い傾向にあった。

### 考 察

湛水直播栽培における播種後落水の効果と問題点については、古畑(2009)が詳細に報告しているが、落水出芽法の要点である播種後の落水期間、すなわち適切な入水日を示した報告は少ない。緒言に示した大場(1994, 1997)の報告以外では、古畑ら(2005)は、深さ1~2 cmに播種さ



第3図 入水時の発育指数(DVI)と苗立ち率の関係.

CAL区は過酸化石灰剤被覆区を、催芽期区は過酸化石灰剤無被覆区を示す。#は10%水準で有意であり、n.s.は有意ではないことを示す( $n=14$ )。

れた種子が第2葉抽出までに要する日数と、暖地におけるノビエの葉令が2.0を超えるまでの日数から、初期除草剤の散布を前提とした場合の落水期間の一つの目安が播種後10日であると考察している。

寒地の北海道において播種後落水管理の有効性を示した田中ら(2016)の報告を含め、10年間の落水出芽法による栽培事例では、播種粒数の30%程度の出芽と種子根の土中への伸長を確認した日を入水日とした落水期間は、8~15日で変動した。この落水期間を気温から数量化した結果、積算気温法の場合には、基準温度を $6^{\circ}\text{C}$ とした播種後の有効積算気温が $85.9^{\circ}\text{C}$ を超えた日が最適入水日であることが明らかとなった。また、DVI法の場合には、(1)式における最適パラメータとして、 $A=0.1908$ 、 $Th=16.06$ 、 $G=4.118$ が得られた。ここで、 $G$ は播種から最適入水日までの最少日数、 $Th$ は発育速度が1/2となる気温を表す(堀江・中川1990)。つまり、落水期間の最適気温は約 $32^{\circ}\text{C}$ 、最短の落水日数は5日となる。両者の推定精度を比較したところ、DVI法のRMSEがやや小さかったが、積算気温法におけるRMSEは1.4日であり、実用上は大きな差異はないと考えられる。

落水管理が長期化すると、施肥窒素の利用率の低下(吉永ら2000)や土壌硬度の増大にともなう出芽率の低下(竹牟禮ら2000)、あるいは鳥による食害や雑草の発生(大場1994)、土壌の過度のひび割れによる漏水などが問題となる。これらを回避するためにも、出芽・苗立ちの安定確保のための最適入水時期が明らかになった意義は大きい。この結果に基づいて、今後生産現場における落水期間の適切な指導に加え、播種時期や品種の選定(丹野ら2007)など作付け計画の立案などに用いられる直播水稲の発育予測モデルの精度向上が期待される。

北海道の湛水直播における過酸化石灰剤の出芽・苗立ち向上効果についていくつかの報告(竹川・森脇1979, 今野・

第4表 過酸化石灰剤無被覆種子における苗立ち率に及ぼす播種後落水期間延長の効果.

年次 (播種期)	落水 期間	落水日数 (日) (入水時 DVI)	種籽 処理	播種量 (g m <sup>-2</sup> )	入水時出芽率 (%)	苗立ち率 (%)
1998 年 (5 月 19 日)	標準	9 (0.80)	CAL	10.0	35.3	72.8
			催芽粉	12.0	17.3	61.5
	延長	12 (1.13)	CAL	10.0	61.8	67.5
			催芽粉	12.0	29.3	69.3
1999 年 (5 月 19 日)	早期	9 (0.84)	CAL	10.0	5.4	45.7
			催芽粉	13.7	0.2	30.1
	標準	12 (1.09)	CAL	10.0	32.7	55.0
			催芽粉	13.7	13.6	50.0
	延長	15 (1.49)	CAL	10.0	32.3	55.0
			催芽粉	13.7	36.2	54.9
2000 年 (5 月 17 日)	早期	8 (0.85)	CAL	9.8	—	58.9
			催芽粉	12.0	—	65.0
	標準	12 (1.37)	CAL	9.8	56.4	74.2
			催芽粉	12.0	50.8	57.4
	延長	14 (1.61)	CAL	9.8	53.6	70.8
			催芽粉	12.0	71.3	76.0
2001 年 (5 月 16 日)	早期	5 (0.49)	CAL	10.9	0.6	71.5
			催芽粉	12.2	1.5	36.5
	標準	9 (0.86)	CAL	10.9	37.9	66.8
			催芽粉	12.2	11.9	37.5
	延長	12 (1.14)	CAL	10.9	42.3	61.3
			催芽粉	12.2	21.6	51.0
2002 年 (5 月 17 日)	早期	5 (0.42)	CAL	8.4	—	71.0
			催芽粉	10.3	—	51.5
	標準	9 (0.75)	CAL	8.4	50.0	83.7
			催芽粉	10.3	31.6	54.5
	延長	12 (1.03)	CAL	8.4	69.1	69.7
			催芽粉	10.3	35.2	51.8
平均	早期	6.8 (0.65)	CAL	9.8	—	62.0
			催芽粉	12.1	—	45.7 <sup>n.s.</sup>
	標準	10.2 (0.97)	CAL	9.8	42.4	70.9
			催芽粉	12.0	23.8 <sup>**</sup>	52.2 <sup>*</sup>
	延長	13.0 (1.28)	CAL	9.8	51.9	65.0
			催芽粉	12.0	38.4 <sup>n.s.</sup>	60.9 <sup>n.s.</sup>

供試品種は「ゆきまる」、播種は密条型施肥条播機で行った。落水期間の標準は、出芽始めと土中への種子根の伸長を確認した日に入水した。播種量は乾粒換算で示した。CALは過酸化石灰被覆を、催芽粉は過酸化石灰剤無被覆を示す。平均は、早期は1999～2002年の4年間、標準と延長は5年間の平均値。出芽率と苗立ち率を arcsin 変換後、各落水期間別に、年次を反復とする t-検定 (早期は n=4, その他は n=5) を行い、CAL 区と催芽粉区の間、\*, \*\* は各々 5, 1% 水準で有意な差異があり、n.s. は有意な差異はないことを示す。

村上 1982, 田中ら 1986) があるが、いずれも播種後湛水管理を行った試験である。吉永ら (2007) は、東北地域で行われた播種後の落水管理における過酸化石灰剤被覆量の試験事例 27 件を解析し、過酸化石灰剤無被覆では、播種後落水条件 (落水日数は平均で 8.9 日) であっても苗立ち率が顕著に低下したと報告した。本研究においても、落水期間の標準区 (落水日数の平均は 10.2 日) においては、催芽粉区の出芽はやや遅れ、CAL 区と催芽粉区の苗立ち率

の間に 5 年間の平均で 20% 近い有意な差異が認められた。しかしながら、催芽粉区では入水時 DVI が大きいほど苗立ち率は高まる傾向にあり (第 3 図)、落水期間を 3 日程度延長した場合には、催芽粉区の苗立ち率は 8.7% 向上し、CAL 区は 5.9% 低下し、CAL 区・標準区と催芽粉区・延長区との差は 10% に縮小した。

したがって、催芽粉播種では、過酸化石灰剤被覆種子の標準よりも入水日を 3 日間遅らせ、播種粒数の 30% 程度

の出芽を確認後に入水すれば、催芽初播種は実際栽培においても採用可能と考えられる。すなわち、催芽初播種の最適入水日は、積算気温法の場合には基準温度を 6℃とした播種後の積算気温が 105℃を超えた日、DVI 法の場合には DVI が 1.3 を超えた日である。ただし、落水期間の延長は雑草の発生を助長し、ノビエの葉令の進展に伴い使用可能な除草剤を限定するほか、上記の課題もあることから、圃場条件あるいは経営的な視点からの検討も必要である。

**謝辞：**本論文を作成するにあたり、日本作物学会和文誌編集委員会の北海道地区担当地域編集委員である北海道大学名誉教授岩間和人博士に懇切なご指導とご校閲を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

### 引用文献

- 古畑昌巳・楠田宰・福嶋陽 2005. 水稲の湛水直播・落水栽培における落水時期が出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 74: 134-140.
- 古畑昌巳 2009. 湛水直播水稲の出芽・苗立ち向上に向けて. 日作紀 78: 153-162.
- 堀江武・中川博視 1990. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究 第 1 報 モデルの基本構造とパラメータの推定法および出穂予測への適用. 日作紀 59: 687-695.
- 今野一男・村上利男 1982. 湛水直播水稲の苗立ちに関する研究 第 2 報 水温・種子埋没深と出芽、苗立ちの関係に及ぼす過酸化石灰種子粉衣処理の影響. 日作紀 51(別 2): 3-4.
- 丸山幸夫 2001. 直播水稲の栽培技術－水管理－. 「農業技術体系作物編 2 イネ. 基礎技術編」追録 23: 技 402 の 1 の 8.
- 三石昭三・中村喜彰 1977a. 水稲の湛水土壤中直播栽培に関する研究 第 1 報 過酸化石灰の粉衣方法と粉衣量. 日作紀 46(別 1): 35-36.
- 三石昭三・中村喜彰 1977b. 水稲の湛水土壤中直播栽培に関する研究 第 2 報 播種機の構造と播種精度. 日作紀 46(別 1): 37-38.
- 中園江・大野宏之・吉田ひろえ・佐々木華織・中川博視 2014. コムギの発育段階の推定モデル. 日作紀 83: 249-259.
- 大場茂明 1994. 無人ヘリによる水稲湛水土壤中直播栽培と雑草防除. 今月の農業 5: 30-34.
- 大場茂明 1997. 落水出芽法の由来. 農業技術 52: 33-34.
- 下田英雄 1989. 水稲湛水土壤中直播栽培における最近の動向 (2). 農業技術 44: 219-224.
- 竹川昌和・森脇良三郎 1979. 直播イネの発芽、苗立ち障害に及ぼす過酸化石灰種子粉衣処理の効果. 北海道立農試集報 42: 1-9.
- 竹牟禮穰・吉永悟志・脇本賢三・吉田典夫 2000. シラス土壤における水稲湛水直播栽培の落水出芽法が土壤条件および出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 69(別 2): 30-31.
- 田中英彦・山崎信弘・天野高久 1986. 直播水稲の苗立率に及ぼす播種深度と過酸化石灰被覆量の影響. 日作紀 55(別 2): 29-30.
- 田中英彦・古原洋・今野一男 2016. 北海道の湛水直播水稲における出芽と苗立ちに及ぼす土壤還元の影響と播種直後からの落水の効果. 日作紀 85: 253-259.
- 丹野久・田中英彦・古原洋・佐々木亮・三浦周 2007. 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. 日作紀 76: 591-599.
- 吉永悟志・西田瑞彦・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次 2000. 湛水直播栽培における播種後の落水管理が施肥窒素の動態および水稲の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 69: 481-486.
- 吉永悟志・境谷栄二・吉田宏・山本晶子・若松一幸・菊池栄一・本間昌直 2007. 東北地域の水稲湛水直播栽培における酸素発生剤被覆量と苗立ちとの関係. 日作紀 76: 445-449.

**Estimation of the Optimal Date of Submergence after Draining just after Seeding in Submerged Direct-seeded Rice in Hokkaido**  
: Hidehiko TANAKA<sup>1,2)</sup> and Hisashi TANNO<sup>1)</sup> (<sup>1)</sup>Hokkaido Central Agri. Exp. Stn., <sup>2)</sup>Hokkaido Res. Organization Kamikawa Agri. Exp. Stn., Pippu 078-0397, Japan)

**Abstract :** The optimal date of submergence after draining just after seeding of calcium peroxide (CAL)-coated seeds was estimated by two methods. The first was an accumulated effective temperature (AET) method, in which accumulated temperature was obtained by subtracting the basal temperature from the daily maximum-minimum average air temperature during the period from the day after seeding to the submergence. The coefficient of variation of AET was the smallest when the basal temperature was 6°C. The AET at the optimal date was 85.9°C. The second was a developmental index (DVI) method, which was given by integrating the developmental rate (DVR). The DVR was defined as follows,  $DVR = 1 / (1 + \exp(-A(T - Th))) / G$ , where T was the daily mean air temperature, and A, Th and G were the parameters. The optimal values of the parameters, A=0.1908, Th=16.06, and G=4.118, were estimated by the Simplex method. The root mean square error of the difference between the measured and estimated dates was 1.4 days by the AET method, and 1.2 days by the DVI method. Using these two methods, the establishment percentage without CAL coating was tested. It was 52.2% in standard draining and was significantly lower than that with CAL (70.9%) in standard draining. However, it increased to 60.9% when the draining period was prolonged for about three days. The optimal date of submergence without CAL coating was estimated to be the day when AET was 105°C and when DVI exceeded 1.3.

**Key words :** Calcium peroxide, Draining period, Emergence, Estimation model, Paddy rice, Seedling establishment, Submerged direct-seeding.