

石川県における無加温出芽による水稻苗の出芽まで期間および有効積算温度の推定

宇野史生¹⁾・島田雅博¹⁾・中村弘和²⁾・吉田翔伍²⁾・塚口直史³⁾

(¹⁾ 石川県農林総合研究センター農業試験場, ²⁾ 石川県農林水産部, ³⁾ 石川県立大学生物資源環境学部)

要旨：高密度播種した水稻苗の移植栽培技術が開発され、普及が進んでいる。高密度播種苗は移植に適した葉齢の幅が狭く、許容できる育苗期間が制限される。石川県で一般的な加温出芽に加え、露地やビニルハウスでの被覆資材を用いた無加温出芽を組み合わせて出芽まで期間を変化させることで育苗期間を調節できる可能性がある。無加温出芽で育苗した場合の出芽までに必要な積算温度が明らかになれば、出芽まで期間を推測することが可能となる。そこで無加温出芽の出芽までに必要な被覆資材内の有効積算温度や被覆資材内温度に影響を及ぼす環境要因を明らかにすることを目的とし、石川県の4月上旬から5月上旬において露地およびビニルハウスで遮熱性に優れた被覆資材を用いた無加温出芽で育苗した。その際、被覆資材内温度を1時間毎に測定した。出芽まで期間は露地で7～18日、ビニルハウスで5～8日となった。出芽までの有効積算温度の変動係数は無効温度を8.7℃とした場合に最小となり、この場合の有効積算温度の全処理区平均値は63℃であった。遮熱性に優れた被覆資材を用いることで、被覆資材内最高温度は40℃以下に抑えられ、高温障害を防ぐ効果が示された。被覆資材内温度は育苗場所の温度と有意な正の相関関係が認められ、このことは育苗場所の温度により出芽まで期間が推定できる可能性を示唆する。

キーワード：高密度播種、出芽、水稻、無加温出芽、有効積算温度。

高密度播種苗の移植栽培技術(澤本ら 2019)は水稻育苗箱(28 cm × 58 cm)あたりに乾初換算で250～300 gの籾を播種して育苗、移植することで10 aあたりの育苗箱使用枚数を削減できる(澤本ら 2019, 宇野ら 2021)。澤本ら(2019)は葉齢が進んだ高密度播種苗は移植後の茎数が少なくなる傾向を示したことから、移植に適した葉齢の幅は狭い可能性を指摘している。高密度播種苗はこの移植に適した葉齢の幅が狭いことから頻繁な播種作業が必要となり、この点は乳苗(中谷 2003)と同様に営農上の負担と考えられる(種田ら 1994)。出芽まで期間を変化させて育苗期間を調節することで、播種作業を一部省略できる可能性がある。出芽まで期間は露地またはビニルハウスで被覆資材をかけて無加温で育苗する平置き出芽法(高橋ら 2004)の場合、加温して育苗した場合の3日よりも長くなる。この方法で育苗する際には出芽まで期間の推定が作業計画を立てる上で不可欠である。

高橋ら(2004)は群馬県で4月下旬または5月中旬に露地において無加温出芽で育苗した場合、出芽までの被覆資材内の有効積算温度(無効温度10℃)が50.7～68.3℃となったことを報告している。ただし、この時の気温はメッシュ農業気象(大野ら 2016)で16.1～20.5℃(群馬県農業技術センター東部地域研究センター)であり、石川県で出芽を行う4月上旬～5月上旬の平年値9.9～15.4℃(石川県農林総合研究センター農業試験場)よりもかなり高い。石川県の4月上旬～5月上旬の露地環境でも出芽まで期間が被覆資材内の有効積算温度で説明できるか、あるいはそ

の温度が高橋ら(2004)と同様になるかは不明である。

被覆資材内温度の測定は実用場面では現実的でない。被覆資材内温度と密接に関係する環境要因が明らかになれば、それらを用いて被覆資材内の有効積算温度の推定ができると考えられる。メッシュ農業気象データ(大野ら 2016)では26日間の気象の予報値が提供されるため(小南ら 2019)、播種日からの有効積算温度を満たす日を出芽日として推定が可能となり、作業計画が立てやすくなると考えられる。

無加温出芽は被覆資材をべたがけして育苗する必要がある(高橋ら 2004)。被覆資材の利用目的は育苗箱の温度・日射量・水分を適度に制御することである(高橋ら 2004, 古川・後藤 2019)。石川県の4月上・中旬の気温は9.9～11.9℃と低く、無加温出芽で育苗する場合には特に保温が必要となる。無加温出芽で多く使用されている被覆資材のシルバーラプ(斎藤・佐々木 1991, 市川ら 2008, 工藤 2019)は保温性に優れる一方、被覆資材内が高温となりやすいため、ビニルハウス内で育苗する場合は高温障害が発生する場合がある(古川・後藤 2019, 中田・宇野 2021)。そのため、本研究では遮熱性に優れるピアレスフィルムおよびトーカンほなみ(古川・後藤 2019, 中田・宇野 2021)を用いて研究を行い、これら資材を用いた無加温出芽における被覆資材内温度に及ぼす環境要因について検討した。

以上のことから、本研究は石川県においてビニルハウスおよび露地において無加温出芽で育苗した苗の出芽まで期間を推定するために、出芽までの有効積算温度を明らかに

第1表 播種日、出芽日および出芽までの環境。

試験年	育苗場所	被覆資材	播種日	出芽始め	出芽日	出芽までの 期間 (日)	出芽 むら	出芽までの平均温度 (℃)			出芽 までの 最高温度 (℃)	出芽 までの 最低温度 (℃)	出芽までの 有効積算 温度 (℃)
								気温	ビニル ハウス 内部	被覆 資材 内部			
2016	露地	ピアレス	5月 2日	5月 9日	5月10日	8	0	18.4		18.1	29.3	10.0	59.0
	ビニルハウス		5月 2日	5月 6日	5月 7日	5	0	19.6	23.0	23.4	32.0	17.8	65.8
2017	露地	ピアレス	4月21日	5月 1日	5月 3日	12	0	14.6		15.7	26.8	8.3	77.7
		ほなみ	4月21日	5月 1日	5月 3日	12	0	14.6		15.7	28.5	6.3	77.5
	ビニルハウス	ピアレス	4月21日	4月26日	4月27日	6	0	14.2	19.6	20.3	28.8	13.8	58.4
		ほなみ	4月21日	4月26日	4月27日	6	0	14.2	19.6	21.0	34.0	12.8	61.9
	露地	ピアレス	4月 3日	4月20日	4月21日	18	1	12.1		12.0	28.8	2.3	60.6
			4月10日	4月22日	4月23日	13	0	14.1		13.4	23.0	7.0	57.4
4月17日			4月25日	4月26日	9	0	15.8		16.5	28.0	7.5	62.7	
4月24日			5月 2日	5月 3日	9	0	16.3		16.3	30.8	6.0	61.4	
ほなみ		4月24日	5月 2日	5月 3日	9	0	16.3		16.4	32.5	6.0	61.6	
シルバーラブ		4月24日	4月30日	5月 1日	7	0	15.6		18.6	40.0	6.5	59.5	
2018	ビニルハウス	ピアレス	4月10日	4月17日	4月18日	8	0	12.8	15.0	17.1	24.8	11.0	58.9
			4月17日	4月22日	4月23日	6	0	15.9	18.1	20.1	31.8	12.0	57.4
		ほなみ	4月24日	4月29日	4月30日	6	0	14.8	19.9	20.5	35.8	12.0	59.3
			4月24日	4月29日	4月30日	6	0	14.8	19.9	20.7	39.5	10.8	60.2
		シルバーラブ	4月24日	4月29日	4月30日	6	0	14.8	19.9	24.0	47.0	11.5	76.5
			平均値							15.2	19.4	18.2	31.8

出芽むらは高橋ら (2004) の方法で、観察により 0 (無)~5 (甚) の 6 段階評価。最高温度、最低温度および有効積算温度は被覆資材内部の温度。出芽までの有効積算温度は CV が最小となる無効温度 8.7°C で算出。

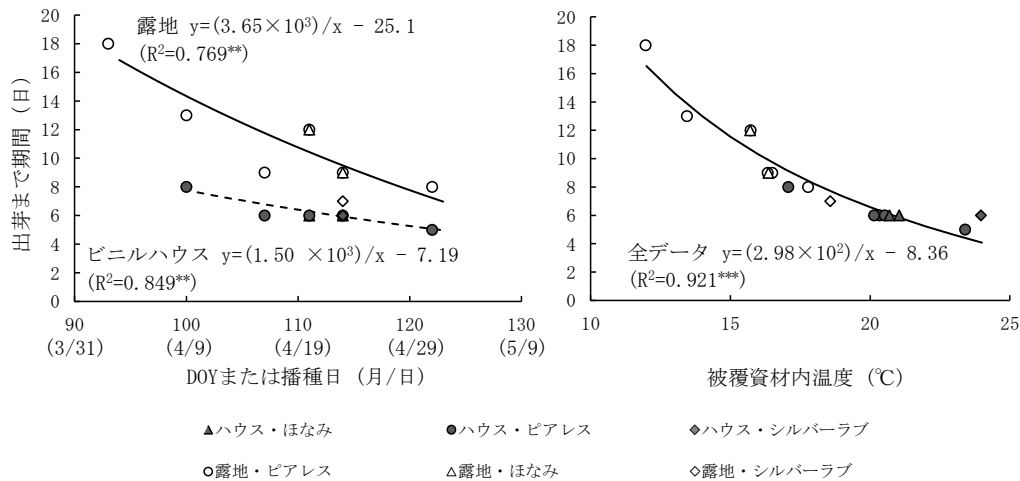
すること、および、遮熱性に優れる被覆資材の被覆資材内温度に及ぼす環境要因を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

1. 試験方法

試験は水稻品種「コシヒカリ」を用いて、2016~2018 年の 3 カ年に石川県農林総合研究センター農業試験場 (石川県金沢市) で実施した。育苗箱当たりの播種量は乾初換算で 300 g とした。種子予措および播種方法は澤本ら (2019) の方法に準じて実施した。種子消毒として銅・フルジオキシニル・ベフラゾエート水和剤 (商品名モミガード C 水和剤、北興化学株式会社) 200 倍液に種子を 24 時間浸漬した後、水道水に浸漬した。種子消毒後 48 時間は換水を行わず、その後は 24 時毎に換水した。種子消毒から催芽前日までの浸漬期間は、播種日が 4 月上旬の場合は 8~9 日間、4 月中旬の場合は 7~8 日、4 月下旬および 5 月上旬の場合は 5~6 日間とし、播種時にハトムネ状態となるように播種前日に 32°C で 3~12 時間催芽した。育苗培土は床土、覆土ともに粒状培土 (イセキラブリー培土、井関農機株式会社) を用いた。床土は 1.8 cm とし、播種後に育苗箱内高の 3 cm まで覆土した。2016 年は播種量を多くできるように改良した播種機 THK2008 (株式会社スズテック) を、2017~2018 年は播種機 THK2009b (株式会社スズテック) を用いて播種を行った。灌水量は育苗箱当たり 1 L とした。

育苗はアグリシート BB1515 (日本ワイドクロス株式会社) を敷いた露地またはビニルハウスに播種後の育苗箱を並べ被覆資材をべたがけして行った。被覆資材にはピアレスフィルム TS タイプ内張り用 (日本ピアレス工業株式会社、以下ピアレス)、トーカンほなみ (東罐興産株式会社、以下ほなみ) およびシルバーラプ # 80 (東罐興産株式会社、以下シルバーラプ) を用いた。出芽日まで観察時を除いてべたがけを継続し、灌水は行わなかった。播種日と用いた被覆資材および出芽場所を第 1 表に示した。各処理について 2 箱播種した。ビニルハウス内の温度は 20°C を目安に手動で側面を開閉した。出芽までの被覆資材内部およびビニルハウス内部の温度は温度記録計のサーモクロン G タイプ (株式会社 KN ラボラトリーズ) を用いて測定し、記録間隔は 1 時間毎とした。1 日の最大値を最高温度、最低値を最低温度、平均値を平均温度とした。被覆資材内部の温度は床土と被覆資材のわずかな隙間に温度記録計が床土と被覆資材に密着した状態で設置し測定した。ビニルハウス内部の温度は地上 3 cm の直射日光の当たらない風通しの良い場所に温度記録計を設置して測定した。気温および日射量は農研機構のメッシュ農業気象データ (大野ら 2016) を用いた。出芽始めおよび出芽日は高橋ら (2004) を参考にそれぞれ 30%、90% の覆土表面の鞘葉が 5 mm 程度となった日とした。出芽状況は毎日一度 8 時に育苗環境を変えないように被覆資材をめくり横から覗いて観察した。この育苗



第1図 各処理における播種日および被覆資材内温度と出芽まで期間の関係。

DOYは、1月1日を1とするシリアル値を示す。被覆資材内温度は出芽期間中における被覆資材内の平均温度を示す。**, ***はそれぞれ1%, 0.1%水準で有意性があることを示す(露地は9データ、ビニルハウスは8データ、全17データ)。

試験の一部のデータは中村ら(2018)によりすでに報告されている。播種から出芽日までの日有効温度を積算し、有効積算温度とした。有効温度を算出する際の時間の幅を1, 3, 6, 12および24時間とした。それぞれの時間の幅毎の平均温度から無効温度を引いて有効温度とした。無効温度は17処理の有効積算温度の変動係数が最小となる温度とし(江幡1990)、Microsoft Excel (Microsoft Corporation)のソルバー機能で求めた。

2. 統計解析

統計解析は統計解析ソフト JMP10 (SAS Institute Inc.)を用いて実施した。播種日および被覆資材内温度と出芽日の関係に逆数のあてはめを行った。その際、播種日は1月1日を1とする整数(シリアル値、以降 DOY (day of year) とする)に変換した。回帰式による推定値と実測値の残差の平方和をデータ数で除した値の平方根を2乗平均平方根誤差(RMSE)とした。被覆期間中の被覆資材内温度と育苗場所温度および日射量の相関関係を解析した。

結 果

1. 出芽期間中の気象概況

育苗場所、被覆資材および播種日の異なる17処理について播種から出芽までの環境を第1表に示した。各処理における播種から出芽までの平均気温は12.1~19.6℃で全処理の平均値は15.2℃、ビニルハウス内での出芽までの平均温度は15.0~23.0℃で、その平均値は19.4℃であった。

2. 出芽方法や時期が出芽まで期間に及ぼす影響

無加温出芽による出芽まで期間は5~18日となり、被覆資材による出芽まで期間の差はピアレスとほなみで認められず、2018年4月24日に播種し、露地で育苗したシルバー

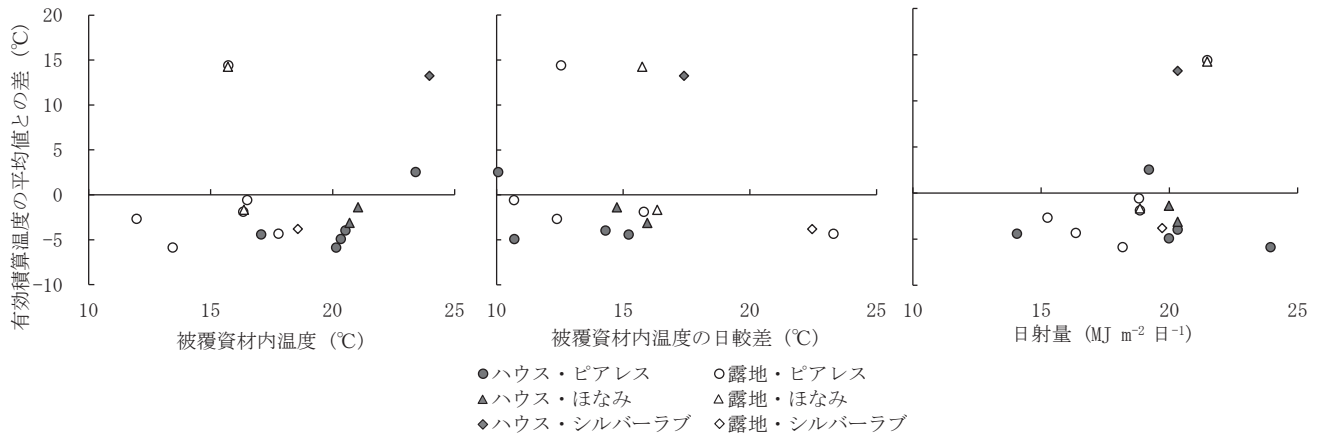
第2表 有効温度算出の時間の幅と無効温度、出芽に必要な被覆資材内の有効積算温度およびCVの関係。

有効温度算出の時間の幅(h)	1	3	6	12	24
有効積算温度のCVが最小となる無効温度(℃)	9.03	9.02	9.07	8.79	8.66
有効積算温度の平均値(℃)	64.1	61.4	61.0	62.6	63.3
有効積算温度のCV(%)	11.6	11.6	11.5	11.4	11.0

ラプでピアレスおよびほなみよりも2日短かった(第1表)。出芽日は出芽始めの1~2日後であった。第1図に各処理における播種日および被覆資材内温度と出芽まで期間の関係を示した。出芽まで期間は露地よりもビニルハウスで短く、播種日が遅いほど短くなった。また、被覆資材内温度が高いほど出芽まで期間は短くなった。2018年4月3日に播種し、露地でピアレスを用いて育苗した場合のみ軽微な出芽むら認められ、その他の処理では認められなかった(第1表)。全ての苗で覆土の持ちあがり認められましたが、灌水により育苗培土は落下し、以降の生育に問題は認められなかった。

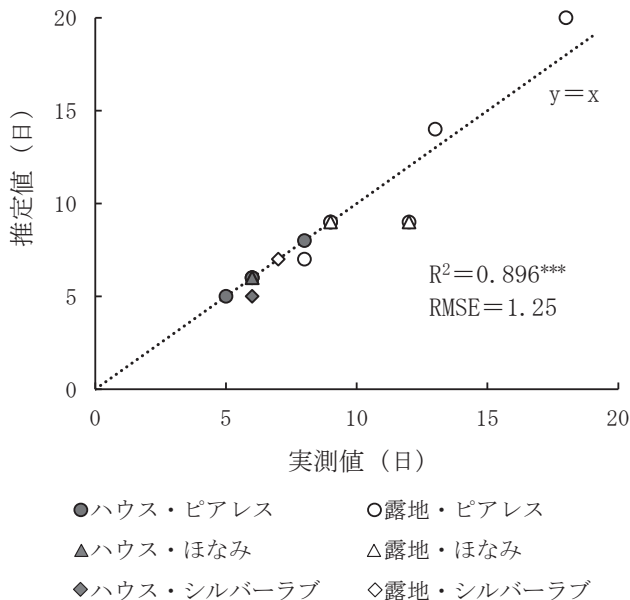
3. 被覆資材内部の温度が出芽まで期間に及ぼす影響

出芽までの有効積算温度を第1表に示した。有効積算温度は無効温度8.7℃で変動係数(CV)が最小となり、その時の有効積算温度は57.4~77.7℃となり、平均値は63.3℃であった。被覆資材内での出芽までの最高温度は2018年4月24日に播種してビニルハウス内でシルバーラプを用いて育苗した際に最も高い47.0℃となった。第2表に有効温度算出の時間の幅と無効温度、出芽に必要な被覆資材内の有効積算温度およびCVの関係を示した。有効積算温度算出の時間の幅を24時間より狭くした場合、無効温度は0.13~0.41℃高くなり、CVは低下しなかった。



第2図 各処理における被覆資材内温度、被覆資材内温度の日較差および日射量が有効積算温度の平均値と各処理との差に及ぼす影響。

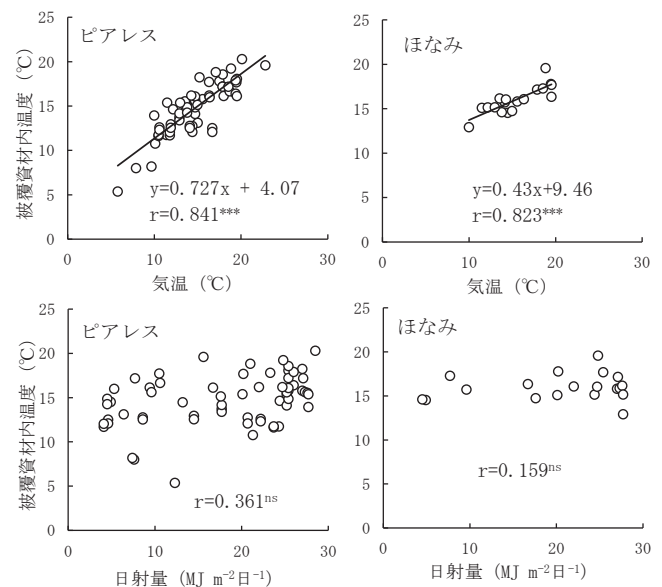
有効積算温度の平均値との差は無効温度8.7℃とした出芽まで有効積算温度の17処理の平均値と各処理の出芽まで有効積算温度の差を示す。被覆資材内温度は出芽期間中における被覆資材内の平均温度を示す。被覆資材内温度の日較差は出芽期間中の日ごとの最高温度と最低温度の差の平均値を示す。日射量は出芽期間中の1日当たりの積算量の平均値を示す。



第3図 出芽まで日数の実測値と推定値の関係。

出芽まで日数の推定値は無効温度を8.7℃とした有効積算温度の17処理の平均値63.3℃を各処理の出芽期間中の被覆資材内温度の平均値から8.7℃を引いた値で除した値を切り上げた値。***は0.1%水準で有意性があることを示す(17データ)。

各処理における被覆資材内温度、被覆資材内温度の日較差および日射量が有効積算温度の平均値と各処理との差に及ぼす影響を第2図に示した。被覆資材内温度、被覆資材内温度の日較差および日射量と有効積算温度の平均値と各処理との差に一定の傾向は認められなかった。第3図に出芽まで日数の実測値と推定値の関係を示した。被覆資材内温度の実測値と上記で求めた無効温度(8.7℃)および出芽に必要な有効積算温度(63.3℃)から出芽まで日数を推定した。実測値と条件をあわせるため推定された出芽まで日数の小数点以下の数値は切り上げた。出芽まで日数の推定値



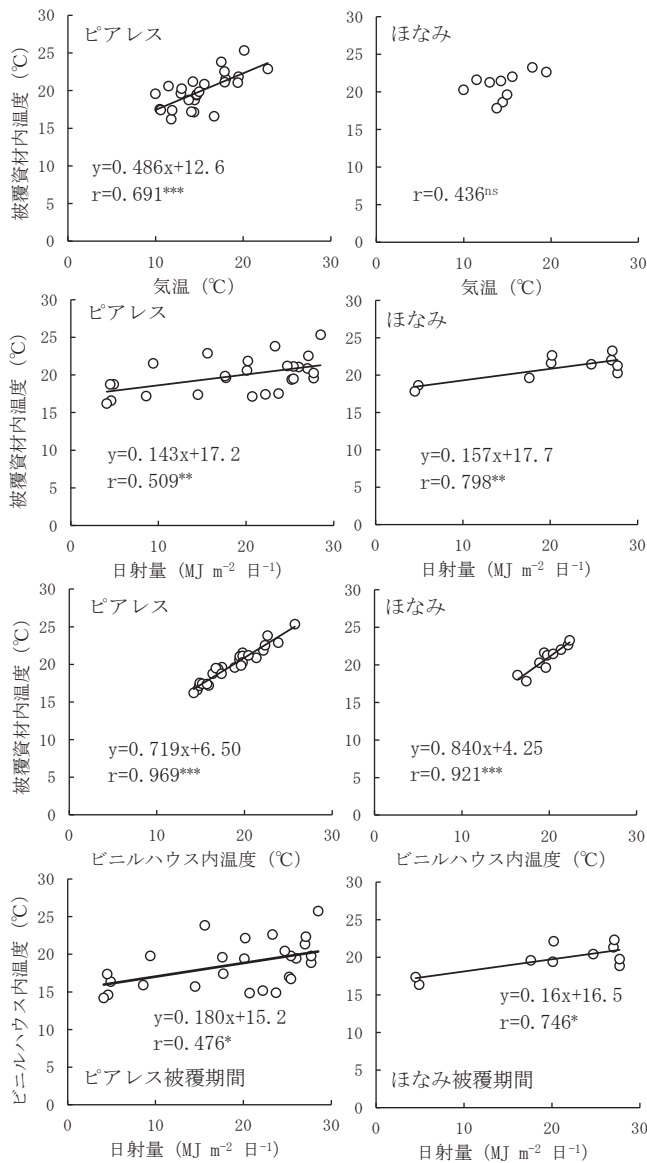
第4図 露地において無加温出芽で育苗した際の気温および日射量と被覆資材内温度の関係。

被覆資材内温度および気温は日平均値、日射量は1日当たりの積算量をそれぞれ示す。***は0.1%水準で有意性があることを示し、nsは有意性がないことを示す(ピアレスは63データ、ほなみは19データ)。

のRMSEは1.3日であった。

4. 出芽期間中の気象が被覆資材内部温度に及ぼす影響

露地において無加温出芽で育苗した際の気温および日射量と被覆資材内温度の関係を第4図に示した。シルバーラブは1作期のみデータであるため省略した。ピアレスおよびほなみとともに、被覆資材内温度と日平均気温の間に有意な正の相関関係が認められ、日射量との間には有意な相関関係は認められなかった。ビニルハウスにおいて無加



第5図 ビニルハウスにおいて無加温出芽で育苗した際の気温、日射量およびビニルハウス内温度と被覆資材内温度の関係ならびにピアレスおよびほなみの被覆期間における日射量とビニルハウス内温度との関係。

被覆資材内温度、気温およびビニルハウス内温度は1日の平均値、日射量は1日当たりの積算量をそれぞれ示す。*, **, *** はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意性があることを示し、nsは有意性がないことを示す（ピアレスは26データ、ほなみは10データ）。

温出芽で育苗した際の気温、日射量およびビニルハウス内温度と被覆資材内温度の関係を第5図に示した。ピアレスでは被覆資材内温度と気温、日射量およびビニルハウス内温度との間に、ほなみでは被覆資材内温度と日射量およびビニルハウス内温度との間に有意な正の相関関係が認められ、どちらの資材も被覆資材内温度との相関係数はビニルハウス内温度が最も高かった。ピアレスおよびほなみの被覆期間における日射量とビニルハウス内温度との関係を第5図に示した。両資材の被覆期間中における日射量とビニ

ルハウス内温度の間に有意な正の相関関係が認められた。ビニルハウスおよび露地における出芽期間中の1時間毎の被覆資材内温度の推移の資材間比較を第6図に示した。限られた期間ではあるが比較参照のためシルバーラブのデータも示した。被覆資材内温度の日最高温度はビニルハウスおよび露地のどちらもシルバーラブが最も高く、ほなみはピアレスよりわずかに高くなる傾向であった。被覆資材内の日最低温度は3つの資材ともに同等であった。

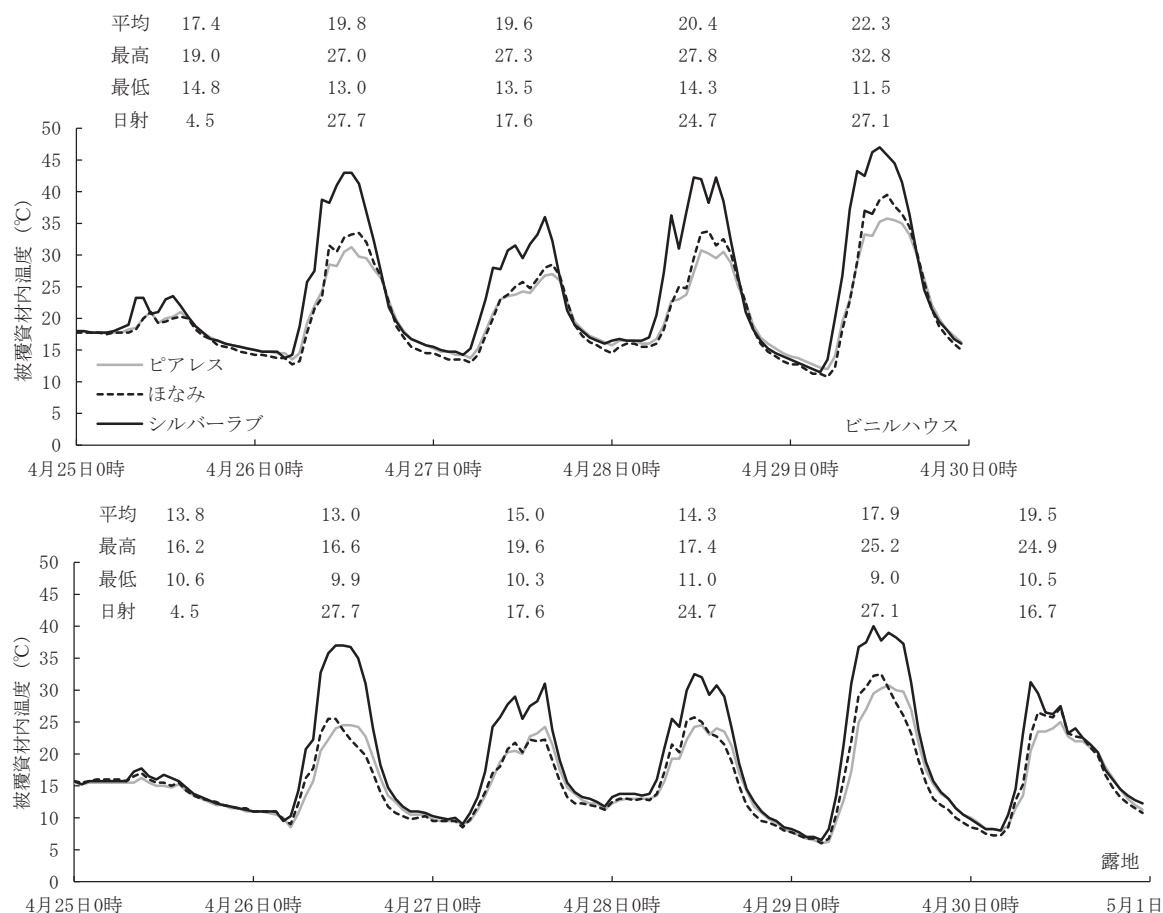
考 察

1. 出芽まで期間

石川県における高密度播種した水稻苗について、移植に適した葉齢を確保した上での、被覆資材を用いた無加温での出芽まで期間の調節による育苗期間調節の可能性について検討した。その結果、出芽まで期間は5~18日間となり（第1表）、加温出芽の出芽まで期間の3日（澤本ら2019）に比べて2~15日間長くなった。さらに、露地とビニルハウスでは出芽までの期間が異なり、加温出芽（澤本ら2019）に比べて無加温出芽の育苗期間はそれぞれ4~15日、2~5日間長くなることが示された（第1表）。この期間の差を利用することで育苗期間の調節が可能となると考えられる。

本研究の温度範囲でも出芽まで期間が有効積算温度で説明できるか検討したところ、無効温度を8.7℃とした場合に有効積算温度のCVが最小となり、その平均値は63.3℃となった（第1表）。本研究データにおいて高橋ら（2004）の無効温度10℃を用いても有効積算温度の平均値は高橋ら（2004）とほぼ同様となったが（データ略）、無効温度10℃よりも1.3℃低い8.7℃では4月中旬の平均気温が10℃に近い石川県（11.9℃）において出芽まで期間の推定精度に影響を及ぼすと考えられる。過去に2011年や2013年の4月中旬の平均気温はそれぞれ10.5℃、10.3℃となっており、それぞれ11日間、18日間この平均気温付近で推移した（データ略）。こうした低温の期間中は第4図に示す気温と被覆資材内温度の関係から被覆資材内温度も10℃程度で推移すると考えられ、無効温度を10℃とした場合、実際に生育は進むのに対しほとんど有効積算温度が増加しない。一方、無効温度を8.7℃とすることで有効積算温度は増加するため、こうした低温年でもより精度良く出芽時期を説明できると考えられる。

有効積算温度のCVは11.0%となり（第2表）、処理間で誤差が大きい場合があった（第1表）。この誤差が大きくなる要因としてまずは有効温度を算出する際の時間の幅に着目し、有効温度の算出時間の幅を1, 3, 6, 12時間毎と24時間毎よりも狭くして有効積算温度を算出したところ、CVは減少しなかった（第2表）。Severino and Auld (2014)は有効積算温度を5分毎に算出した場合と1日毎に算出した場合の積算値の差は無視できる程度であることを指摘しており、有効温度の算出時間の幅は本研究でも処理間の誤



第6図 ビニルハウスおよび露地における出芽期間中の1時間毎の被覆資材内温度の推移の資材間比較 (2018年)。

図中の平均、最高、最低はそれぞれ育苗場所の日別温度 (°C) を示し、日射は日別の積算日射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{日}^{-1}$) を示す。

差が大きくなった主な要因ではないと考えられた。被覆資材内の平均温度が高いもしくは低いほど生育が進みやすい可能性 (羽生・内島 1962) や、温度の日較差や日射の影響 (寺中ら 1979) が考えられる。本研究においても出芽期間中の被覆資材内の平均温度、日較差および日射について検討したが (第2図)、いずれも処理間の誤差との間に一定の傾向は認められなかった。有効積算温度が全処理の平均値 63.3°C と大きく異なったのは 2017 年の露地で育苗を行った 2 区 ($77.5, 77.7^{\circ}\text{C}$) と、2018 年のビニルハウスでシルバーラプを用いた区 (76.3°C) であった (第1表)。全ての処理区の中で出芽始めから出芽揃いまで 2 日間を要したのは 2017 年に露地で出芽を行った 2 区のみであった。これらの 2 区では出芽始めの翌日には出芽率が 8 割に達しており (データ略)、その後出芽揃いまで丸 1 日を要したとは考えにくい。本試験で出芽状況の観察を行ったのは 1 日に 1 回のみであったため、これらの 2 区においては 1 日分に近い積算温度が加算されている可能性がある。1 日単位の推定ではこうした誤差は許容せざるを得ないと考えられる。2018 年のビニルハウスでシルバーラプを用いた区では出芽までの被覆資材内の平均温度は 24.0°C 、最高温度は 47.0°C と全ての処理区の中で最大であった (第1表)。山

口ら (1991) は出芽期間中に高温に遭遇している期間に生育は一時停止することを報告しており、2018 年のビニルハウスでシルバーラプを用いた区では高温により生育が停止した期間があったため有効積算温度が過大となった可能性がある。以上のように 1 日単位の推定であることや、生育が停止するほどの高温に遭遇した場合には処理間差が生じる可能性があるが、出芽まで日数の実測値と推定値の RMSE は 1.3 日に留まり (第3図)、有効積算温度から出芽を見込んだ日がこの範囲で変動することは実用面では問題ないと考えられる。以上のことから石川県で 4 月上旬から 5 月上旬に無加温出芽で育苗した場合の出芽まで期間は被覆資材内温度から求めた有効積算温度でおおむね説明できると考えられた。

2. 育苗環境と被覆資材内温度

露地においては、1 日単位でみると被覆資材内温度と気温との間には高い正の相関が認められた一方、日射量との間には有意な相関は認められず、被覆資材内温度は気温の影響を強く受けると考えられた (第4図)。一方、ビニルハウスにおいては、被覆資材内温度はピアレスでは気温および日射量双方との間に、ほなみでは日射量との間に有意な

正の相関関係が認められ、どちらの被覆資材においても被覆資材内温度は日射量の影響を受けているように見えた(第5図)。ただし、両資材において、被覆資材内温度とその周囲の温度すなわちビニルハウス内温度との間の相関は、気温や日射量との間の相関よりも高かった。これらのことから、両資材において被覆内温度は周囲の温度の影響を強く受けると考えられ、露地の場合においては気温により、ビニルハウスの場合はビニルハウス内温度により被覆資材内温度が決まることが示唆された。ビニルハウス内において日射量と被覆資材内温度との間に相関関係が認められたのは、日射量とビニルハウス内温度との間の正の有意な相関関係から、ビニルハウス内温度への日射量の影響を通じたものである可能性が考えられる。以上のことから、ピアレスおよびほなみを被覆資材に用いた場合は、育苗場所の温度が推定できれば、被覆資材内温度を推定できる可能性が示された。特に露地で栽培した場合はメッシュ農業気象データ(大野ら 2016)の予報値を利用することで、有効積算温度を満たす日を出芽日として推定可能であると考えられる。またビニルハウスで無加温出芽する場合にも、側面ビニルの開閉によるビニルハウス内温度の調節などによる、気温とビニルハウス内温度との差の目標値の設定が可能と考えられる。さらにビニルハウスでも気温や日射量と被覆資材内温度の間に正の相関関係が認められたことからメッシュ農業気象データ(大野ら 2016)により出芽日の推定が可能かもしれない。本研究では手動でハウス側面を開閉したことから人為の影響程度を区分できなかったが、この点を区分することでメッシュ農業気象データ(大野ら 2016)の予報値を利用してビニルハウスでも出芽日を推定できる可能性があり、今後検討を要する。

また、播種時期が早いほどビニルハウスと露地の出芽まで期間の差が大きく(第1図)これはビニルハウスと露地の温度差が大きいため被覆資材内温度の差が大きくなっていることによると考えられる。このことはビニルハウスと露地の温度差が大きい場合、育苗期間の調節効果が大きく、逆に温度差が小さい場合は出芽まで期間の差が小さくなるため育苗期間の調節効果は小さくなるといえる。例えば、石川県では5月上旬が移植盛期となるため、高密度播種苗を加温出芽で育苗する場合、4月中旬に播種を行うことになる。この4月中旬にビニルハウスおよび露地において無加温出芽で育苗した場合の出芽まで期間は第1図の関係からそれぞれ7日、13日程度となるため加温出芽での出芽まで期間の3日よりそれぞれある程度の差を設けられ、育苗期間の調節効果も大きいと考えられる。

3. 被覆資材による被覆資材内温度の違い

ピアレスとほなみの被覆資材内の平均、最高、最低温度の比較から(第1表、第6図)、露地およびビニルハウスのどちらの育苗場所でもピアレスよりもほなみで被覆資材内最高温度はやや高くなるものの、平均温度、最低温度はほ

ぼ同等であった。また、ピアレスとほなみを用いた場合の出芽まで期間はビニルハウスおよび露地のどちらでも同一で(第1表)、どちらも灌水を行わずにむらなく出芽したことからピアレスとほなみの保温効果と保湿効果は同様であると考えられた。ビニルハウス内温度が高くなる日では比較参照のために用いたシルバーラプの被覆資材内温度が40℃を上回る日があり(第6図)、出芽まで期間の最高温度が47.0℃となった(第1表)。この温度は、山口ら(1991)が高温により生育が停止することを報告している43℃を上回り、中田・宇野(2021)が報告する出芽率が著しく低下する被覆資材内最高温度の50℃に近かった。一方、シルバーラプの被覆資材内温度が40℃以上の高温となる条件でもピアレス、ほなみの被覆資材内温度は40℃を下回り、古川・後藤(2019)、中田・宇野(2021)が報告するこれら資材の高温障害を防ぐ効果が示された。無加温出芽中の高温障害による出芽不良は、播種のやり直し等に多大な労力を必要とすることから、ピアレスおよびほなみは高温障害を防げる点で特にビニルハウスにおいて無加温出芽で育苗する際の使用が有効と考えられる。

4. まとめ

以上のことから、石川県の4月上旬から5月上旬に高温障害を防ぐ被覆資材を用いて無加温出芽で育苗した場合の出芽まで期間は有効積算温度でおおむね説明でき、無効温度を8.7℃とした場合の出芽までに必要な有効積算温度は63.3℃となることが明らかとなった。また、ピアレスおよびほなみの資材内温度は育苗場所の温度に影響を受けることが明らかとなった。これらのことから出芽までの期間は有効積算温度と育苗場所の温度により推定できる可能性が示唆される。しかし、移植作業計画を立てるにはさらにこれら出芽法や育苗場所の影響を受けた苗の出芽後の生育についての検討が必要である。

謝辞：本研究は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)」の支援を受けて実施した。東籾興産株式会社から被覆資材のトークンほなみをご提供いただきました。西木一氏、卜部裕之氏、佐近清蔵氏、水田班の皆様には出芽場所の造設、播種作業にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 江幡守衛 1990. 有効積算温度とイネの生長 第1報 有効下限温度の実験的算出法とイネの栄養生長への応用. 日作紀 59: 225-232.
- 古川勇一朗・後藤章 2019. 苗焼けを防止する水稻育苗用被覆資材と無加温露地プール育苗. 有機農業研究 11: 10-19.
- 羽生寿郎・内島立郎 1962. 作物の生育と気象との関連に関する研究 第1報 水稻の出穂期と気温との関係 (1). 農業気象 18: 109-117.
- 市川岳史・東聡志・奈良悦子・坂口いづみ・金高正典 2008. コシヒカリの密播疎植栽培技術 第2報 播種期と育苗日数が露地プール

- 育苗に及ぼす影響. 北陸作報 43: 23-25.
- 小南靖弘・佐々木華織・大野宏之 2019. 技術マニュアル「メッシュ農業気象データ利用マニュアル Ver. 4」. 農研機構農業環境変動研究センター, 茨城, 1-67.
- 工藤予志夫 2019. 水稻の高密度播種苗における無加温出芽による被覆資材の利用. 日作東北支部報 62: 27-28.
- Severino, L.S. and Auld, D.L. 2014. Study on the effect of air temperature on seed development and determination of the base temperature for seed growth in castor (*Ricinus communis* L.). Aust. J. Crop Sci. 8: 290-295.
- 中田敏朗・宇野史生 2021. 高温条件でのビニルハウス内の水稻無加温出芽における被覆資材の違いが出芽に及ぼす影響. 北陸作報 56: 35-37.
- 中村弘和・宇野史生・島田雅博・吉田翔伍 2018. 被覆資材を用いた高密度播種による水稻育苗法に関する研究. 北陸作報 53: 20-23.
- 中谷治夫 2003. イネ乳苗の移植栽培に関する研究. 北陸作報 38: 1-3.
- 大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園江 2016. 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象 16: 71-79.
- 斎藤佑幸・佐々木康之 1991. 効率的出芽育苗技術の確立 第1報 出芽苗の多段育苗法. 北陸作報 26: 16-17.
- 澤本和徳・伊勢村浩司・佛田利弘・濱田栄治・八木亜沙美・宇野史生 2019. 石川県における育苗箱に高密度に播種した水稻稚苗の形質および本田での生育・収量・玄米品質. 日作紀 88: 27-40.
- 高橋行継・佐藤泰史・前原宏・阿部邑美 2004. 群馬県的水稻普通期露地育苗における平置き出芽法の適用－被覆資材と出芽の関係について－. 日作紀 73: 253-260.
- 種田貞義・市川岳史・佐藤徹 1994. 乳苗における播種後育苗箱貯蔵技術. 北陸作報 29: 60-61.
- 寺中吉造・近藤和夫・吉田善吉 1979. 水稻の初期生育におよぼす水温日格差と日射の影響について (予報). 日作東北支部報 22: 23-24.
- 宇野史生・島田雅博・中村弘和・吉田翔伍・塚口直史 2021. 石川県における水稻多収品種の生産費が最小になる育苗箱当たり播種量および栽植密度. 日作紀 90: 252-260.
- 山口正篤・青木岳央・福島敏和 1991. 水稻の平置き出芽法における温度管理－被覆資材と出芽時の高温の影響－. 日作関東支報. 6: 19-20.

The Estimation of an Effective Cumulative Temperature for Emergence of Rice Cultivar 'Koshihikari' without Heating in Ishikawa Prefecture

Fumio UNO¹⁾, Masahiro SHIMADA¹⁾, Hirokazu NAKAMURA²⁾, Shogo YOSHIDA²⁾ and Tadashi TSUKAGUCHI³⁾ (¹⁾Ishikawa Agriculture and Forestry Research Center, Kanazawa 920-3198, Japan; ²⁾Ishikawa Prefectural office; ³⁾Ishikawa Prefectural Univ.)

Abstract: A technique has been developed for transplanting densely-seeded seedlings. The range of leaf age suitable for transplanting is narrow in these seedlings. This limits the acceptable range of the nursery period. In addition to heating nursery boxes till emergence, a conventional method, keeping those unheated under outdoor or greenhouse conditions may produce various periods to emergence which could be utilized to adjust the nursery period. Clarification of the thermal time required for emergence could help us estimate the period from seeding to emergence. The objective of this study was to clarify the effective cumulative temperature required for emergence and to clarify the climate factor affecting nursery box temperature under a covering material. We investigated the period from seeding to emergence in nursery boxes kept unheated under outdoor and greenhouse conditions from the beginning of April to the beginning of May. We also measured the hourly temperature of each nursery box under a covering material. The period from seeding to emergence was 7-18 days and 5-8 days under outdoor and greenhouse conditions, respectively. The smallest coefficient of variance, 63°C, was obtained, when calculated with the base temperature at 8.7°C. Heat shielding material kept the temperature under the covering material <40°C. The daily mean temperature under the covering material significantly and positively correlated with that of the surrounding atmosphere suggesting that day of emergence can be estimated from the surrounding air temperature.

Key words: Effective cumulative temperature, Emergence, Emergence without heating, High-density seeding, Rice.