

水稻苗の種類による出穂日の変動と障害型冷害による稔実歩合との関係

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	斎藤, 満保 中村, 聡 後藤, 雄佐
巻/号	75巻1号
掲載ページ	p. 1-6
発行年月	2006年1月

研究論文

栽培

水稻苗の種類による出穂日の変動と障害型冷害 による稔実歩合との関係

— 2003年の冷夏における宮城県での稲作において —

斎藤満保¹⁾・中村 聡¹⁾・後藤雄佐²⁾

(¹⁾ 宮城大学食産業学部, ²⁾ 東北大学大学院農学研究科)

要旨: 田植えや収穫期の時期的な分散および障害型冷害の危険分散を目的として、出穂期の分散化を図る研究を行っている。この研究の中で、苗の種類を変えることによる冷害危険期分散の効果について2003年の冷害年に検証を行った。2003年は、6月以降、低温と日照不足が続き、試験地宮城県では、障害型冷害が多発した。被害にあった水田では、同一圃場内においても出穂期間が例年より長く、また、出穂が早いほど被害が大きかったが、本実験において、その傾向をより詳しく解析することができた。水稻ササニシキの中苗と稚苗、乳苗それぞれを、1株4個体、畦間30 cm、株間15 cmで水田に移植栽培し、株内全ての茎の出穂日を調査した。収穫後、各穂の稔実歩合を調べた。中苗移植区、稚苗移植区、乳苗移植区の順に出穂し、出穂期間は中苗移植区で11日間、稚苗移植区で13日間、乳苗移植区で9日間と例年より長かった。50%が出穂した計算上の出穂日の中苗移植区と稚苗移植区の差は4.7日、稚苗移植区と乳苗移植区の差は4.2日であった。稔実歩合は、苗の種類にかかわらず、8月10日出穂茎から、8月20日出穂茎までは、遅く出穂した茎ほど、直線的に高くなった。また、8月20日以降に出穂した茎では、同程度の稔実歩合であった。精玄米重は中苗移植区で少なく、屑米重などから低温による不稔が主要因であったことが示された。特に、乳苗移植区では、低温障害による不稔は回避でき、苗の種類により出穂期を分散させ、障害型冷害の被害を分散できることが示された。

キーワード: イネ、出穂期、稚苗、中苗、低温障害、乳苗、不稔、冷害。

労働時間が過重となる田植えや収穫作業の時期的な分散や障害型冷害の危険分散を目的として、種々の栽培技術を駆使し、出穂期の分散化を図る研究を行っている(斎藤・後藤1993)。この中で、多種の品種を用いて出穂期の分散を図る方法もあるが、取引価格の高いブランド品種など商品として飛び抜けた優良品種を持つ地域では、品種の分散が難しく、本研究においても、同地域内で、同一の水稻品種を用い、出穂期の分散化を図ることに主眼をおいている。その方法として作期の分散、直播栽培の導入、葉齢の異なる苗の組合せなどがあげられる。この研究の中で、基礎的な知見を得るために、中苗と稚苗、乳苗を同一日に移植し、これら異なる種類の苗を用いることが、出穂期に与える影響を調べる実験も行っている。この研究の目的として、出穂期の分散化が導く効果の一つとして、障害型冷害の危険を分散することも重要な位置付けとしているため、冷害に遭遇した場合の実験的対処も盛り込んでいた。

2003年は、6月以降、低温と日照不足が続き、試験地宮城県では、障害型冷害が多発した。県の水稻の作況指数は69で、10 a当たりの収量は359 kgであった。被害にあった水田では、同一圃場内においても出穂期間が例年より長

く、また、出穂が早いほど被害が大きい傾向が報告された(宮城県2004)。

このような中、同一品種を同一日に移植する栽培実験においても、用いた苗の種類により出穂期に差が生じ、しかも、障害型冷害の被害も大きく異なった。また、同一苗に由来する株でも、茎ごとでは、出穂日と被害との関係を示す顕著な傾向が観察された。よって、単年度の結果ではあるが、実際に起きた冷害の解析を通し、障害型冷害の被害の程度と出穂日との関係を中心に、同一品種栽培での苗の種類による危険分散の可能性について報告する。

材料と方法

供試品種としてササニシキを用いた。中苗移植用には2003年4月7日に播種し、無加温出芽方式で出芽させプール育苗法で育苗した。稚苗移植用には4月25日に播種し、出芽器(育苗器)で出芽させ、プール育苗法で育苗した。乳苗移植用には5月9日に播種し、播種後移植までの育苗全期間を出芽器内で管理する出芽器内緑化育苗法(斎藤ら1995、斎藤ら1997)で育苗した。なお、箱当たりの播種量は、乾籾重換算で中苗では100 g、稚苗では160 g、乳苗で

は200gとした。

5月14日に、中苗と稚苗、乳苗それぞれを、畦間30cm、株間15cmで水田(仙台市太白区:宮城県農業短期大学内)に手植えた(1株4本)。肥料は全量基肥で施用し、成分でN:5.0g/m²、P₂O₅:7.0g/m²、K₂O:6.0g/m²とした。移植時の中苗は葉齢5.0、草丈12.4cm、稚苗は葉齢3.3、草丈10.0cm、乳苗は葉齢2.3、草丈10.0cmであった。

生育調査区(6株×2列×2区)を設け、6月4日からほぼ1週間ごとに、各株の草丈、主茎の葉齢、茎数を調べた。出穂が始まった日から、生育中庸で連続した稲株について、中苗移植区で6株(24個体145茎)、稚苗移植区で9株(36個体193茎)、乳苗移植区で7株(28個体147茎)、株内全ての茎の出穂を毎日午前9時から調査、記録した。収穫後、出穂日ごとに分け、各茎の稔実歩合を調べた。不稔でない籾を全て稔実籾とし、1穂穎花数に対する1穂稔実籾数で稔実歩合を表した。なお、不稔の多かった中苗移植区で高節位からの遅れ穂が生じたが、それらは調査対象外とした。

収量に関しては、上記調査区とは別に、各苗移植区とも11株ずつ6反復を調査した。なお、粒厚1.8mm以上の精玄米の収穫量を収量とした。また、全籾数に対する粒厚1.8mm以上の精玄米数の割合(百分率)を登熟歩合とした。

結果および考察

1. 栽培期間の気温

移植後約10日間は低温が続く、活着は遅れたが、その後、好天が続く、草丈、葉齢、茎数から判断すると、6月中旬には平年並みの生育に回復していた。6月下旬の後半以降、長期間の低温寡照が続いた。

第1図に2003年の6月25日から8月31日までの、試験地仙台での日平均気温(以下、本文中では平均気温と記述)と日最低気温(同、最低気温と記述)の推移を示した。また、図中で比較とした平年平均気温と平年最低気温は、

各日の1971年から2000年までの30年間の平均気温と最低気温をそれぞれ平均したものである。これらの気温は、試験地より東方へ約7km離れた場所の仙台管区気象台の観測値である。

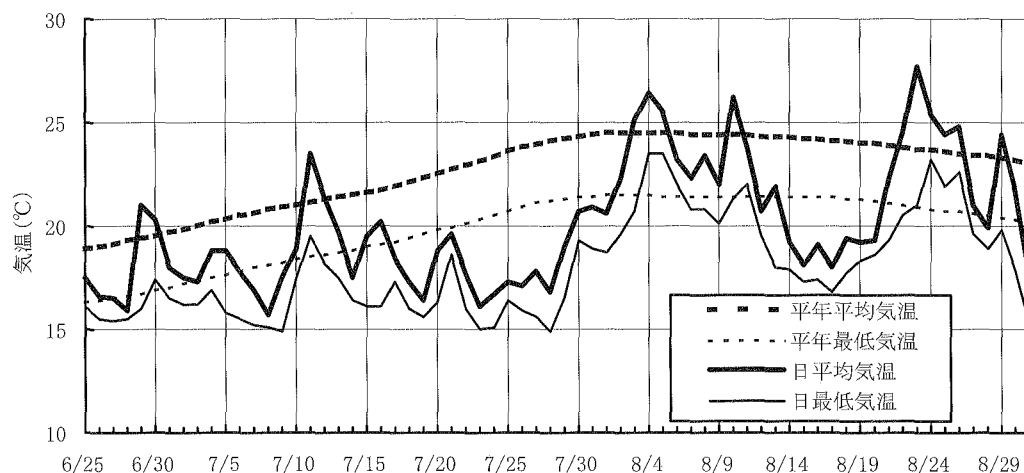
生殖生長期にある水稻が低温に対し最も弱い時期は減数分裂期であり、一般的に、同時期に最低気温17℃以下、平均気温が20℃以下で障害不稔の発生する可能性が高まる。この時期の低温の程度が強いほど、また出現日数が多くなるほど、障害不稔発生の割合は高くなることが知られている。2003年は、平年平均気温が21℃を越すようになる7月10日から、出穂が終わる8月26日までの期間で、日平均気温が18℃に満たない日が、7月14日と18、19日、22～28日と10日間あった。特に、平均気温が16℃台の日は、7月19日(平均気温、最低気温で示す:16.4℃、15.6℃)、23日(16.1℃、15.0℃)、24日(16.7℃、15.1℃)、28日(16.8℃、14.9℃)と4日間あった。

2. 水稻の生育

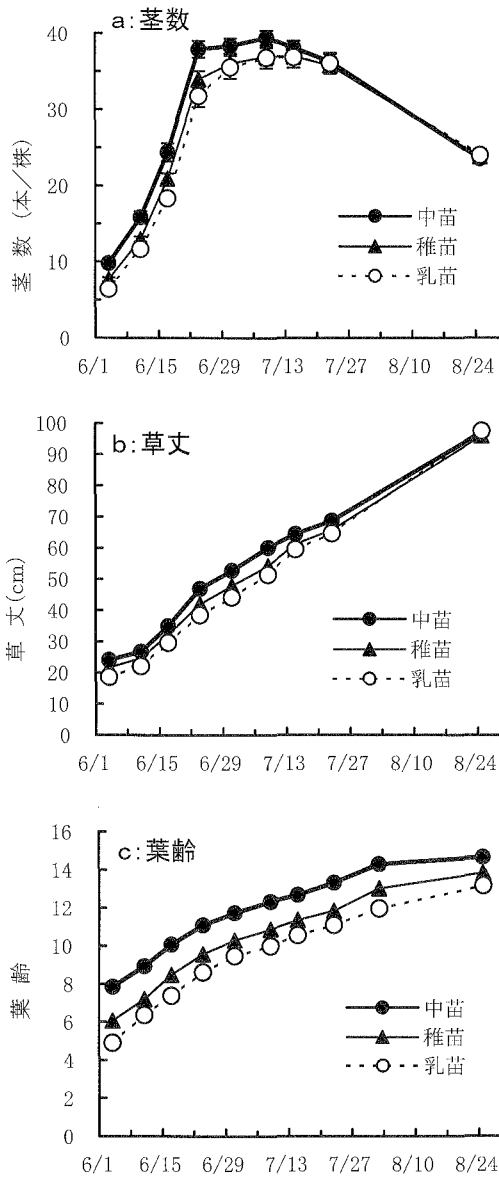
栄養生長期の各株の草丈、主茎の葉齢、茎数の推移を第2図に示した。どの種類の苗を用いた場合でも、最高分け時期は7月9日であり(a図)、極端な低温となった7月10日以降、草丈の伸びる速度は低下した(b図)。

最終的な主茎総葉数は中苗移植区で14.7、稚苗移植区で13.8、乳苗移植区で13.2で、移植時の苗の持つ葉数の差を半分近くにまで縮めていた(c図)。

7月19日に引き続き、強い低温時期となった7月23日における葉齢は、中苗移植区で13.3(主茎総葉数との差は1.4)、稚苗移植区で11.8(同2.0)、乳苗移植区で11.1(同2.1)であった。また、強い低温から気温が回復傾向にある8月2日の葉齢は、中苗移植区で14.3(主茎総葉数との差は0.4)、稚苗移植区で13.0(同0.8)、乳苗移植区で12.0(同1.2)で、中苗移植区と稚苗移植区では止葉が抽出中であり、乳苗移植区では止葉の抽出が始まる直前であった。



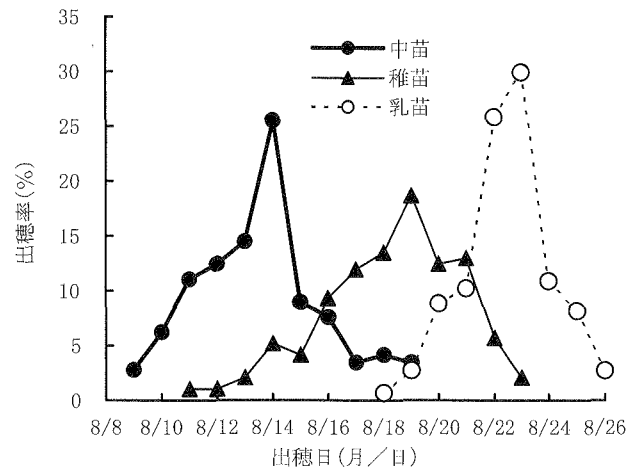
第1図 2003年夏期の日平均気温と日最低気温(仙台)。



第2図 茎数、草丈、葉齢の推移。
各シンボルの上下に示した範囲は土標準誤差を示す。

ここでの葉齢は、主茎の葉齢、しかも平均値であり、株内全ての穂の生育状態を推定できるわけではない。しかし、低温の被害を受けやすいと言われる減数分裂期の目安は、止葉の抽出期間の後半と考えられるので(松島1965)、中苗移植区の株内の多くの幼穂は、7月23日以降の最低気温が17℃に満たない日が続いた期間に、減数分裂期を迎えたものと推定できた。この中苗移植区の減数分裂期を迎える時期は、ちょうど低温が最も激しくなる時期に重なり、前述のように、7月28日には最低気温14.9℃にみまわれた。

稚苗移植区では、中苗移植区よりやや遅れ、多くの茎が8月2日前後に減数分裂期を迎えたものと推定できた。一方、乳苗移植区で、減数分裂期を迎えたのは8月2日以降と考えられる。なお、1穎花の発達でみれば低温の障害を



第3図 出穂日ごとの出穂率。

受けやすいのは小孢子初期と推定されているが(Satake and Hayase 1970)、ここでは1茎の穂全体での大まかなステージとして慣用の減数分裂期の表現を用いた。

出穂は(第3図)、中苗移植区、稚苗移植区、乳苗移植区の順で始まり、出穂期間は中苗移植区で8月9日~19日の11日間、稚苗移植区で11日~23日の13日間、乳苗移植区で18日~26日の9日間であった。例年、このような実験圃場での出穂期間は、苗の種類に関係なく、多くの場合は7日間、年によっては8日間であって、2003年は中苗移植区で約1.5倍、稚苗移植区で約1.7倍の期間となった。計算で、50%の茎が出穂した日(出穂日)を求めると、中苗移植区、稚苗移植区、乳苗移植区それぞれ暦日で8月の13.6日、18.3日、22.5日であった。出穂開始日の差は中苗移植区と稚苗移植区で2日間、稚苗移植区と乳苗移植区で7日間あったが、出穂日の差はそれぞれ4.7日と4.2日であった。

この出穂日を挟む6日間で(13.6日ならば11~16日)、中苗移植区は80.0%、稚苗移植区は78.8%、乳苗移植区は93.9%の茎が出穂した。このことから、乳苗移植区で、株内の出穂時期の分散が少なかったことが示された。

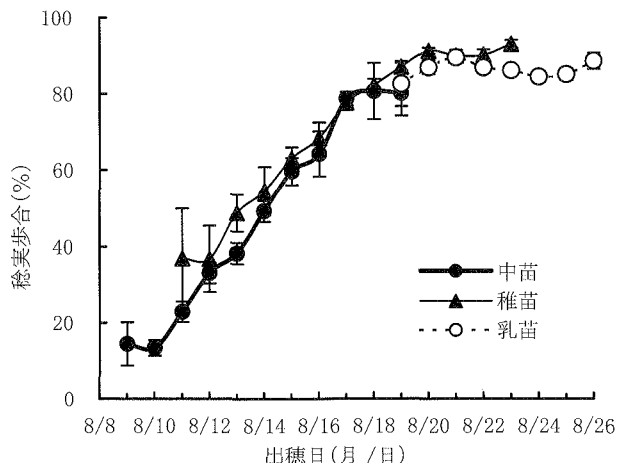
生育している水稻が低温に遭遇した場合、その時点から出穂までの日数が低温の影響を受けるが、その影響の程度はその稲のステージによって異なる(佐藤1977)。このことは、同種類の苗を同様に栽培した場合でも、株内での茎ごとのステージのわずかな違いが、出穂までの日数の差に結びつく可能性があることを示すものである。したがって、2003年は、低温の影響で例年以上の出穂期間の幅になったと考えられる。乳苗移植区でも、中苗移植区や稚苗移植区同様に例年以上の出穂期間の幅となる可能性があったが、出穂期を挟む6日間(8月20日~25日)の平均気温が23.9℃と平年値を上回る比較的高温で経過したため、ほぼ平年並みの出穂期間の幅になったものとみられた。

それぞれの苗移植区での出穂期間が例年より長くなったことの他に、苗の種類により出穂期に大きな差が認められ

た。また、7月23日時点で、主茎総葉数と主茎葉齢との差は、中苗移植区で1.4、稚苗移植区で2.0、乳苗移植区で2.1であった。この時点での葉齢から出穂日を予測すれば、中苗移植区での出穂が早く、稚苗移植区と乳苗移植区での出穂はほぼ同時期になると考えられる。しかし、現実には、稚苗移植区と乳苗移植区とでは出穂日で4.2日間の差があった。8月2日の時点で主茎総葉数と主茎葉齢の差を比較すれば、稚苗移植区で0.8、乳苗移植区で1.2と、差は0.4で7月23日より開いており、この時点では出穂日に、ある程度の差が生じることは予測できた。しかし、その差が0.4であり、また、止葉の展開に要する日数と考え合わせれば、出穂日に4.2日間の差があるのは、やや大きいようにも考えられる。8月14日から19日にかけては平均気温が20℃以下であり、乳苗移植区のほとんどの茎でこの低温による出穂時期への影響を受けたものとみられるが、出穂率から考慮して稚苗移植区でも半数以上の茎に同様の影響があったと考えられる。また、乳苗移植区では、出穂期前後の平年より高い気温の影響で出穂期間の幅が他の苗移植区よりも狭くなったことは、同時に出穂の時期を促進したものと推察される。それでも稚苗移植区と乳苗移植区との出穂期の差は、7月23日および8月2日の葉数から推測されるものより、やや広がったとみられた。これらのことから、苗の種類、また、主茎総葉数の違いによって、幼穂形成期から止葉抽出および出穂までの生育速度が異なること、あるいは低温への感受性が異なることが考えられる。逆に言えば、出穂前の日数で生育を振り返る時には、気温はもとより、苗の種類や、総葉数に影響する植付け時期などを考慮に加える必要があることを示している。

3. 各茎の出穂日と稔実歩合との関係

各茎での稔実歩合は(第4図)、苗の種類にかかわらず、8月10日出穂茎から、8月20日出穂茎までは、遅く出穂



第4図 茎の出穂日と稔実歩合との関係。
各シンボルの上下に示した範囲は
土標準誤差を示す。

した茎ほど、直線的に高くなった。また、8月20日以降に出穂した茎では、ほぼ同程度の稔実歩合となった。

減数分裂期は、仙台での通常の年では、出穂の約15日前とされ(宮城県2002)単純にこれを当てはめると、8月10日出穂の茎では7月26日が減数分裂期となる。このころは、平均気温が18℃に満たない時期であり、平均気温が20℃を越える7月30日まで4日間もある。さらに、低温下で生育速度が遅くなることを考えると、さらに長期間低温下で生育していたと推察できる。

葉齢を平均値で示していること、また、株内での生育段階の分散などを考慮すると、7月23日の葉齢と主茎総葉数との関係から、この時点で、中苗移植区の早い茎では減数分裂期に入っていた可能性も考えられる(松島・真中1956)。このようなステージに低温下に存在していた期間が、不稔程度に直接結びつき、7月下旬の低温時に、生育が進んでいた茎ほど、強い障害を受けたものと推察された。

出穂日ごとに稔実歩合を比較すると、中苗移植区と稚苗移植区の出穂が重なった8月11日から8月19日の間では、8月17日を除き、稚苗移植区の方が中苗移植区より高い傾向がみられたが、有意差はなかった。また、稚苗移植区と乳苗移植区の出穂日ごとの稔実歩合の比較では、出穂日が重なった8月19日から8月23日で、常に稚苗移植区の方が高く、8月20日では5%レベルでの有意差が認められた。

しかし、低温の障害を受けた時点でのステージの影響などが加わるとも考えられ、苗に中苗を用いた場合と稚苗を用いた場合とで低温感受性が異なる可能性については、今回の実験だけでは言及できなかった。従って、本実験の結果を、苗の種類によって不稔発生程度に差があるのではないかと現場での疑問に対する知見に用いることはできないと考えた。

また、稚苗移植区と乳苗移植区との比較においても、稚苗移植区では、出穂期間の前半に出穂した茎では低温による障害を受け、同じ株内での補償として後半に出穂した茎の登熟がよくなる可能性があり、苗の種類による稔実歩合への影響については本実験では解析できなかった。

4. 収量と収量関連形質

苗の種類ごとの収量とその関連形質を第1表に示した。

全重においては苗の種類による有意な差が認められなかったのに対し、わら重では、中苗移植区が有意に多く、逆に、粗粒重では中苗移植区が有意に軽かった。なお、わら重と粗粒重を加えても全重に満たないのは、穂軸や枝梗が除去されたためである。

精玄米重は稚苗移植区と乳苗移植区で差はなく、中苗移植区では有意に少なかった。屑米重も中苗移植区では有意に少なく、また、不稔粒を除いた稔実中の精玄米数の割合が96.3%と高かった中苗移植区の精玄米収量が少なくなったのは、登熟が不十分なためではなく、不稔が原因で

第1表 収量と収量関連形質.

	全重 g/m ²	わら重 g/m ²	粗粍重 g/m ²	精玄米重 g/m ²	屑米重 g/m ²	穂数 本/m ²	1穂粒数 粒	登熟歩合 ** %	玄米千粒 重 g	稔実歩合 *** %	稔実歩合 *** %
中苗	1165 a*	762 a	398 c	263 b	11.8 c	451 a	73.4 a	42.0 b	19.43 a	43.6	96.3
稚苗	1125 a	573 b	545 b	389 a	31.9 b	461 a	70.3 a	61.4 a	19.79 a	80.9	76.5
乳苗	1122 a	522 b	593 a	415 a	48.0 a	455 a	72.1 a	64.1 a	19.84 a	86.1	74.4

*同一アルファベット間にはFisherのLSD法により5%水準で有意差が無いことを示す.

**登熟歩合は、全穂数に対する粒厚1.8mm以上玄米(精玄米)数の比率.

***稔実歩合は、稔実粒数に対する粒厚1.8mm以上玄米(精玄米)数の比率で次の方法で算出した. なお、登熟歩合は精玄米重と同様、収量調査株からのデータであるが、稔実歩合は第3図、第4図に用いた株の調査データであり、同一調査株の値ではない.

登熟歩合=精玄米数/全穂数×100=(稔実粒数/全穂数)×(精玄米数/稔実粒数)×100. 稔実歩合=(精玄米数/稔実粒数)×100.

あったことを示している. 乳苗移植区で屑米が多かったのは、m²当たり粒数が32800粒と多く、さらに稔実歩合が一番高かったのに対し、乳苗移植区での出穂のピークが8月23日で、その登熟後期の9月下旬が天候不良となり、十分に登熟が進まなかったためと考えられた. 登熟と相関の高い出穂後40日間の2003年の平均気温は、中苗移植区21.5°C(平年22.4°C)、稚苗移植区21.2°C(同21.7°C)、乳苗移植区20.7°C(同21.0°C)であった. 宮城県で作況指数が最大となる場合の出穂後40日間の平均気温は23.5°C程度、作況指数が100になるの21.4°C~22.0°C程度である(齋藤1984). このことから、乳苗移植区では登熟がやや遅れ気味に経過したものとみられた.

穂数と一穂粒数、玄米千粒重に有意な差は認められず、精玄米重の差は登熟歩合によって形作られていた. 登熟歩合は、通常ササニシキでは低いとはいふものの、例年では75から80%程度にはなる. 中苗移植区で登熟歩合が42.0%と低いのは、7月下旬の低温で障害を受けたためであったが、稚苗移植区においても、前半に出穂した茎では障害を受けており、稔実歩合は乳苗よりやや高かったものの、稔実歩合が乳苗より低く、登熟歩合は61.4%に留まった. 乳苗移植区では障害不稔はほとんど無かったと考えられるが、出穂が遅れ登熟後期が不順な天候となり、64.1%の登熟歩合であった.

5. 出穂期の分散と障害型冷害

本実験の目的は、異なる種類の苗を用い、出穂期に幅を持たせ、それに伴って収穫期が長くなることを期待し、農作業の効率化を図るとともに、障害型冷害の危険分散を図ることであった.

本実験では、同一品種を同一日で移植したが、中苗、稚苗、乳苗の3種類の苗を組み合わせるにより、幅広い出穂期間を得ることができた. すなわち、8月9日から8月26日までの18日間に渡って出穂した. 特に、2003年は、平年よりも期間が長く、冷夏の影響も考えられたが、全体の50%が出穂した計算上の出穂期で考えても8月の13.6日から22.5日まで、8.9日間の開きができ、これは、同一日に移植しても、苗の種類をかえるだけで、出穂期間に幅を持たせることができる可能性を示している.

出穂期の幅に関しては、単年度の結果であるので、さらに実験を積み重ねる必要がある. 冷害年となった2003年の結果は、登熟歩合が中苗移植区では42.0%となったが、稚苗移植区と乳苗移植区では60%台を保つことができ、期せずして、障害型冷害の危険分散を図る本実験の目的の一つを証明した形となった. ただ、乳苗移植区では、ほとんど障害を受けていないにもかかわらず(第4図)、登熟後期の気候で登熟歩合が下がり、遅延型冷害に近い現象が認められ、冷害回避の難しさを示す例となった.

この先は、各種類の苗の移植時期にも幅を持たせ、出穂期より大きな分散を図りながら、育苗や移植などの作業の、さらなる効率化を考えている. その中で、減数分裂期前後の低温による危険の分散についても、深水栽培法などを組み合わせ、より細かな対応を模索していく予定である.

引用文献

- 松島省三・真中多喜夫 1956. 水稻幼穂の發育経過とその診断. 農業技術協会, 東京. 1-57.
- 松島省三 1965. 葉耳間長による發育段階の判別法. 稲作の理論と技術. 養賢堂, 東京. 87-90.
- 宮城県 2002. 宮城の稲作指導指針(基本編). 宮城県産業経済部農業振興課 157-172.
- 宮城県 2004. 平成15年稲作の作柄解析. 宮城の稲作指導指針. 宮城県産業経済部農業振興課 3-12.
- 齋藤満保・後藤雄佐 1993. 出芽苗による寒冷地稲作での移植・収穫作業の时期的分散化. 農作業研究 28: 195-200.
- 齋藤満保・後藤雄佐・松森一浩・山本由徳 1995. 乳苗の出芽器内育苗法と機械移植適応性. 日作紀 64: 734-739.
- 齋藤満保・中村聡・後藤雄佐・松森一浩 1997. 異なる変温処理で育苗した出芽器内緑化乳苗の移植後の生育に及ぼす気温の影響. 日作東北支部報 40: 35-36.
- 齋藤豊治 1984. 登熟期の診断と予測. 宮城県の水稻作柄の成り立ちと診断技術. 宮城県農業センター, 名取. 140-151.
- Satake, T. and H. Hayase 1970. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. V. Estimations of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. Proc. Crop Sci. Soc. Jap. 39: 468-473.
- 佐藤廉 1977. 環境に対する水稻の生育反応. 第6報 幼穂の發育期間の温度が出穂に及ぼす影響. 日作紀 46: 239-242.

Effects of the Growth Stage at Transplanting of Paddy Rice Seedlings on Heading Date and Floral Sterility Caused by Low Temperatures – in the Cool Summer of 2003 in Miyagi Prefecture – : Mitsuo SAITO¹⁾, Satoshi NAKAMURA¹⁾ and Yusuke GORO²⁾ (¹⁾*School of Food, Agric. and Envi. Sci., Miyagi Univ., Sendai 982-0215, Japan,* ²⁾*Grad. Sch. of Agric Sci., Tohoku Univ.*)

Abstract : Paddy rice seedlings transplanted at different growth stages in Miyagi prefecture in 2003 were examined for heading date and the percentage of ripening on all stems in each hill in relation to cool summer damage. In that year, the low temperature and insufficient sunshine continued from June for a long period, and floral sterility due to the low temperature occurred frequently. The heading date was earliest in the plants transplanted at the middle-seedling stage (MS plants) followed by those transplanted at the young-seedling stage (YS plants), and those transplanted at the nursling-seedling stage (NS plants), in this order. The heading period was longer than that in normal years, and was 11, 13 and 9 days in the MS, YS and NS plants, respectively. The difference in the 50% heading dates between the MS and YS plants was 4.7 days, and that between the YS and NS plants was 4.2 days. Irrespective of the growth stage of the seedlings at transplanting, the later the heading date within the period from August 10 to August 20, the higher the percentage of ripening on the stem. The percentage of ripening on the stems headed after August 20 was nearly the same. Weight of brown rice per unit area was lower in the MS plants and this was attributed to the sterility caused by the low temperature. We conclude that the damage caused by floral sterility from low temperatures can be mitigated by these seedling types.

Key words : Cool summer damage, Heading time, Low-temperature injury, Middle seedling, Nursling seedling, Paddy rice, Sterility, Young seedling.
