

品種・遺伝資源

西南暖地における早期栽培用・極早生水稲品種「とさびか」の出穂特性

—日長、温度と幼穂の分化、発育—

坂田雅正^{*、1、2}・鈴木かおり³・山本由徳³・宮崎彰³

(¹ 高知県農業技術センター, ² 愛媛大学, ³ 高知大学)

要旨：1998年の異常高温年に発生した極早生水稲品種とさびかの異常（不時）出穂の発生要因を明らかにするため、夏至前後（長日）および秋分以降（短日）の自然日長下で、25℃および20℃（恒温）区を設け、株まきポットで養成した苗の幼穂分化、発育を検討した。播種からの積算温度でみた苗の幼穂分化時期は、長日区、短日区ともにとさびかとその交配母本である高育27号が早かった。また、苗の幼穂分化後における幼穂伸長速度の日長、温度区間差は、播種からの積算温度で比較した場合より、基準温度を10℃とした有効積算温度でより小さかった。そして、とさびかでは苗の幼穂分化、発育への日長の影響は小さく、播種からの有効積算温度が301～348℃日（平均幼穂長1mm）に達することが判明し、この時の苗の葉齢は5.3～5.7で、25℃条件では主稈出穂の20日前であった。さらに、とさびかは北海道育成品種に比べ、最終主稈葉数が少ないため、早晩性を示す播種から止葉展開までの有効積算温度が低く、感光性、感温性および基本栄養生長性程度も比較的小さいことが明らかとなった。また、これらの特性は高育27号と類似することが判明した。

キーワード：温度、株まきポット、極早生水稲、出穂特性、日長、品種とさびか、有効積算温度、幼穂の分化・発育。

諸 言

1998年の異常高温年に、高知県の早期水稲栽培地帯で極早生品種とさびかの主稈に異常（不時）出穂が確認され、その後の分けつ出穂が不揃いとなり玄米品質の品位等級の低下もみられた（注：高知県農業技術センター試験研究実績報告書、1999年）。

水稲の異常（不時）出穂は、苗代期の高温、窒素欠乏、苗代日数が長い場合などにより、苗代期間中に幼穂が分化した苗を移植した本田において確認されている（寺尾・片山 1929, 橋田 1958, 伊藤ら 1965, 新屋ら 1965, 長峰ら 1982）。異常（不時）出穂が発生した場合、品種やその発生割合、程度により異なるが、減収や品質劣化を引き起こす場合が多い（橋田 1958, 藤吉ら 1965, 池上 1986, 坂田ら 2002, 坂田ら 2003a）。異常（不時）出穂の発生を未然に防ぐには、幼穂分化前の苗を移植することが望ましいと考えられる。また、今後解明すべき苗の幼穂発育程度と異常（不時）出穂の発生割合、さらにこれらと玄米収量との関係を明らかにするには、まず、苗養成中における幼穂の分化、発育程度を的確に把握する必要がある。苗の幼穂分化は検鏡により把握でき、異常（不時）出穂の危険性を予知できる（新屋ら 1965, 長峰ら 1982）。一方、検鏡せずに異常（不時）出穂の発生限界を知る指標としては、育苗日数や移植時の葉齢が示されている（青田ら 1964, 藤吉ら 1965, 新屋ら 1965, 西郷ら 1978）。しかしながら、これらの報告は育苗が苗代条件、あるいは晩期栽培等で検討されたものであり、機械移植用に養成した苗の幼穂分化、発育について検討し、播種からの積算温度や葉齢によって、異

常（不時）出穂の発生限界を示した報告はあまり見受けられない（長峰ら 1982）。さらに、苗養成時における幼穂分化、発育程度を簡易に推定するための指標についての詳細な検討はほとんど行われていない。

一方、異常（不時）出穂を含む水稲の出穂に及ぼす要因として、温度の他に品種の早晩性や日長の関与が報告されている（寺尾・片山 1929, 片山 1935, 大谷・白木 1942, 朝隈 1958, 細井 1975）。1998年にとさびかに発生した主稈の異常（不時）出穂と、その後みられた分けつ出穂の変動には、育苗期間あるいは移植後の異常な高温条件がその一要因であると考えられた（坂田ら 2002）。そこで、早期栽培の一般的な育苗期間にあたる3月～4月の自然日長下で、昼夜温の設定温度を違えた場合での出穂反応を検討したところ、とさびかでは出穂への温度や窒素施肥の影響は比較的小さいこと、また最終主稈葉数が少ないことから、播種から出穂までの積算温度が低く、その積算温度が1000℃日以上に達すれば主稈出穂することが判明した（坂田ら 2003b）。さらに、とさびかの早晩性を明らかにするには、日長を違えた場合での温度に対する出穂反応を検討し、感光性、感温性および基本栄養生長性程度を品種間で比較する必要がある。

そこで、本試験ではとさびかとこれまでの試験結果（坂田ら 2001, 2003b）から、播種から主稈出穂までの積算温度が低かった早生品種・系統を用いて、日長および温度が異なる条件下での幼穂分化後における幼穂長の変化率（以下、幼穂伸長速度と呼ぶ）を日平均温度の積算値と基準温度を10℃とした有効積算温度（西山 1985, 坂田ら 2002）で比較するとともに、これらの品種・系統の感光性、感温

性および基本栄養生長性程度について検討した。

材料と方法

1. 供試品種

試験には高知県で育成、選抜されたとさびか、高育27号(交配母本, ナツヒカリ×あきたこまち), 衣笠早生とナツヒカリを用いた。さらに, これまでの試験(坂田ら2001)において出穂関連形質に異なる日長, 温度反応がみられた北海道育成品種イシカリ, キタアケを供試し, 2001年に高知大学農学部内において試験を行った。

2. 栽培・管理方法

本試験は, 夏至近くの長日(開始時の日長時間は13時間59分。以下, 長日区)および秋分以降の短日(同, 12時間6分。以下, 短日区)の自然日長下で, 25℃および20℃の恒温(以下, 25℃区および20℃区)に設定した自然光ファイトトンネル内で実施した。その他の栽培・管理方法については, 前報(坂田ら2003b)と同様であるが, 播種日は5月16日(長日区)および9月22日(短日区)とした。また, 水稻育苗用株まきポット(17穴/列×34列, 縦1.5cm×横1.5cm×深さ2.5cm)を密着設置するためのコンテナ内水田土壌への施肥量は窒素, リン酸, カリそれぞれ3.0, 5.0, 4.0 g m⁻²とした。

3. 調査方法

(1) 幼穂調査

播種からの積算温度が25℃区では415, 515, 615, 715, 815℃日, 20℃区では, 410, 510, 610, 710, 810℃日において葉齢調査を行い, その値が平均に近い葉齢を示す15個体を抜き取り, FAA液で固定した。その後, 実体顕微鏡(最大70倍)下で10個体の幼穂長を測定し, 同時に発育段階を菅(1982)に従い分級した。ここでは, 幼穂発育段階(フロラル・ステージ)は0であるが, 生長点が明らかに隆起し, 幼穂の形態的特徴が明確となる時を苗の幼穂分化時期とした。また, 10個体の平均幼穂長が1mmをこえた時を苗の幼穂形成期とした。なお, 幼穂分化後の幼穂伸長速度の比較においては, 播種からの日平均温度の積算値(以下, 積算温度とする)と基準温度を10℃とした播種からの有効積算温度(西山1985, 坂田ら2002)を用いた。

(2) 出穂調査

各区とも, 1品種・系統当たり生育中庸な15個体の主稈の止葉展開日, 出穂日, 最終主稈葉数を調査した。また, 前報(坂田ら2003b)に準じ本試験でも主稈の止葉展開日および出穂日を, 基準温度を10℃(西山1985)とした播種からの有効積算温度(以下, 止葉展開までの有効積算温度, 出穂までの有効積算温度)で表示し, 播種から止葉展開までの有効積算温度を最終主稈葉数で除した1葉当たりの展開に要する有効積算温度(以下, 平均出葉有効積算温

度, °C日葉⁻¹)を求めた。

また, 品種・系統について, 感光相, 感温相, 基本栄養生長相を細井(1981), 佐藤・林(1985a)の手法に準じて, 播種から出穂まで日数で表示した。感光相は25℃区の長日区と短日区との差で表示し, 感温相は短日区の25℃区と20℃区との差から求めた。基本栄養生長相は, 短日区・25℃区の数値で示した。

なお, 試験は播種日や温度条件は若干異なるが, 2000年から2003年にかけて, とさびかの幼穂調査は2カ年, 出穂調査については4カ年行った。これらにおいては, ほぼ年次間で同様の結果をえることができたので, ここでは2001年の結果を示した。

結 果

1. 試験期間中の日長時間

温度処理開始(ファイトトンネル搬入)時の常用薄明30分(池田1978)を含む日長時間は, 長日区では13時間59分, 短日区は12時間6分であった。また, 調査対象とした全個体の主稈が出穂した時の日長時間は, 長日区, 短日区それぞれ, 13時間36分~14時間23分, 10時間1分~11時間1分であった。各処理区の日長時間は, 長日区では14時間9分~14時間26分で, 短日区は10時間55分~11時間32分であった。

2. 日長, 温度条件と苗の幼穂分化, 発育

(1) 苗の幼穂分化時期

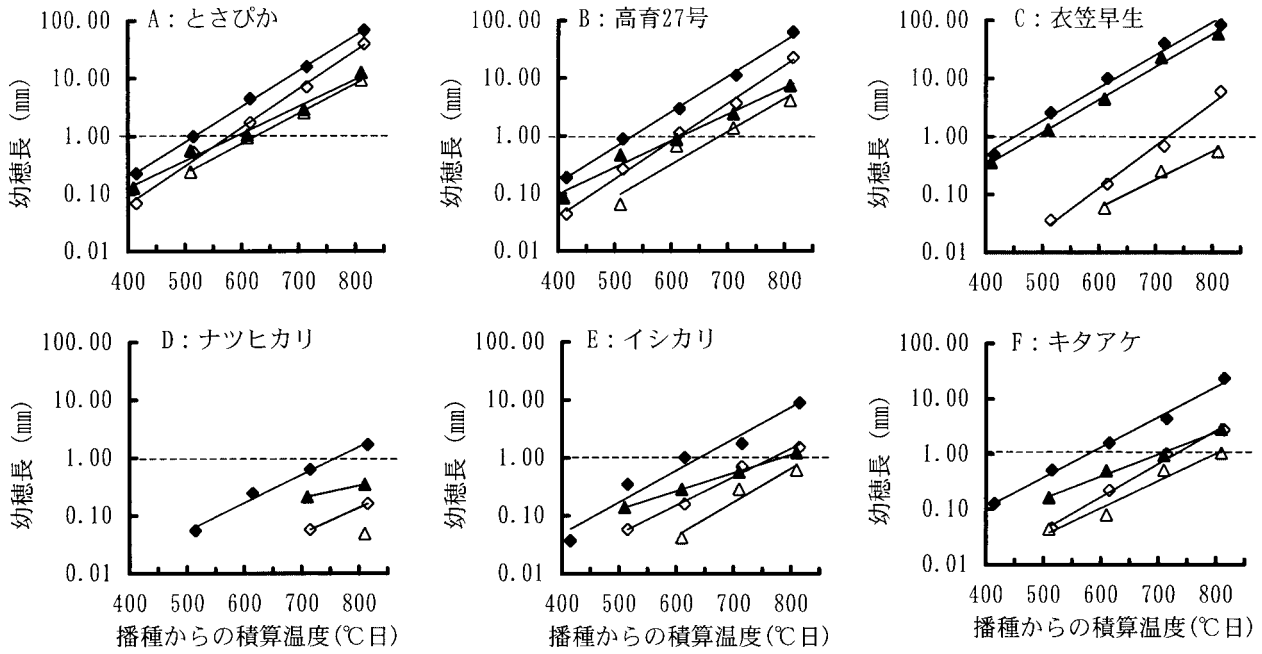
長日区の25℃区および20℃区の播種から415および410℃日において, 苗の幼穂が確認された品種・系統はとさびかか高育27号であった。衣笠早生, イシカリ, キタアケは播種から同515および510℃日, ナツヒカリは同615および610℃日で確認された。このように長日区の苗の幼穂分化は, とさびか, 高育27号が最も早く, ついで衣笠早生, キタアケ, イシカリ, そしてナツヒカリが最も遅かった。

短日区における幼穂分化は, イシカリ, キタアケの20℃区, ナツヒカリの全温度区を除き, 25℃区および20℃区の播種から415および410℃日で確認された。この時の幼穂発育段階は, 衣笠早生が1~2, とさびか, 高育27号が0~1, イシカリ, キタアケは0であった。イシカリ, キタアケの20℃区の子穂分化時期は, 播種から510℃日であった。ナツヒカリについては, 510~715℃日で幼穂分化が確認された。このように短日区の苗の幼穂分化は, 衣笠早生が最も早く, ついで, とさびか, 高育27号, そしてキタアケ, イシカリの順で, ナツヒカリが最も遅かった。

日長, 温度区間で比較すると, 日長区では短日区, 温度区では25℃区で, 長日区, 20℃区に比べて苗の幼穂分化時期が早い傾向であった。

(2) 播種からの積算温度と幼穂長との関係

品種・系統別にみた播種からの積算温度と幼穂長との関係を第1図に示した。日長区間で比較すると, とさびかの



第1図 播種からの積算温度と幼穂長との関係。◇、◆は25℃区、△、▲は20℃区。白抜きは長日区、黒塗りは短日区。縦軸は対数目盛。破線は幼穂形成期（幼穂長1mm）。

第1表 播種からの積算温度と幼穂長，有効積算温度と幼穂長，葉齢との関係。

育成地	品種・系統	項目	積算温度と幼穂長				有効積算温度と幼穂長				有効積算温度と葉齢	
			長日区		短日区		長日区		短日区		a値	b値
			a値	b値×10 ⁻²	a値	b値×10 ⁻²	a値	b値×10 ⁻²	a値	b値×10 ⁻²		
高知県 (西南暖地)	とさびか	25℃区	1.40×10 ⁻⁴	1.54	6.47×10 ⁻⁴	1.42	1.37×10 ⁻⁴	2.56	6.32×10 ⁻⁴	2.37	0.009	2.60
		20℃区	5.67×10 ⁻⁴	1.20	1.67×10 ⁻³	1.08	5.03×10 ⁻⁴	2.39	1.51×10 ⁻³	2.16		
	高育27号	25℃区	9.42×10 ⁻⁵	1.51	5.38×10 ⁻⁴	1.41	9.19×10 ⁻⁵	2.52	5.26×10 ⁻⁴	2.36	0.009	2.53
		20℃区	1.20×10 ⁻⁴	1.31	1.41×10 ⁻³	1.06	1.26×10 ⁻³	2.12	1.05×10 ⁻⁴	2.63		
北海道 (寒地)	衣笠早生	25℃区	5.39×10 ⁻⁶	1.68	2.77×10 ⁻³	1.30	5.24×10 ⁻⁶	2.80	2.71×10 ⁻³	2.17	0.007	3.35
		20℃区	7.07×10 ⁻⁵	1.12	1.73×10 ⁻³	1.30	6.32×10 ⁻⁵	2.24	1.52×10 ⁻³	2.61		
	イシカリ	25℃区	1.75×10 ⁻⁴	1.13	3.19×10 ⁻⁴	1.26	1.72×10 ⁻⁴	1.88	3.12×10 ⁻⁴	2.10	0.007	3.35
		20℃区	1.43×10 ⁻⁵	1.34	3.49×10 ⁻³	0.72	1.25×10 ⁻⁵	2.68	3.25×10 ⁻³	1.44		
キタアケ	25℃区	4.28×10 ⁻⁵	1.38	7.08×10 ⁻⁴	1.26	4.18×10 ⁻⁵	2.30	6.94×10 ⁻⁴	2.09	0.008	3.34	
	20℃区	1.16×10 ⁻⁴	1.13	1.60×10 ⁻³	0.92	1.04×10 ⁻⁴	2.27	1.46×10 ⁻³	1.84			

a 値, b 値は, 積算温度, 有効積算温度 (基準温度は10℃) と幼穂長との関係式 $y = a \exp^{bx}$, また, 有効積算温度と葉齢との関係式 $y = ax + b$ における係数で, 各関係式の相関係数はそれぞれ 0.938~0.999, 0.790~0.939 でいずれも 1%水準で有意であった。なお, 有効積算温度と葉齢の関係は, 日長, 温度区込みで計算した。

幼穂伸長速度は長日区より, 短日区の方が早かった。温度区間で比較すると, 長日区, 短日区ともに, 25℃区が20℃区より幼穂伸長速度が早く, また, 播種からの積算温度が高くなるにつれて, 温度区間の差が大きくなった。幼穂伸長速度には, 衣笠早生を除くと他の品種・系統においても, とさびかとほぼ類似した傾向がみられた。

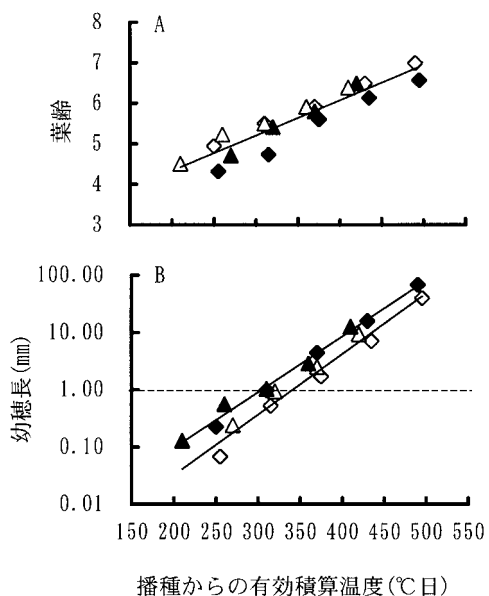
つぎに, 第1表に示した計算式より求めた幼穂形成期 (幼穂長1mm) の積算温度を比較すると, とさびかにおいては, 長日区の25℃区では576℃日であるのに対し, 20℃区では623℃日であった。一方, 短日区の25℃区では517℃日であるのに対して, 20℃区では592℃日であり, 日長, 温度区間で最大106℃日の差がみられた。また, 播種から

800℃日までに幼穂長が1mmに達しなかった衣笠早生, イシカリの長日, 20℃区を除く, 各品種・系統においても, 幼穂形成期の積算温度には, 日長, 温度区間で最小155~最大233℃日の差がみられた。

(3) 播種からの有効積算温度と幼穂長との関係

とさびかの播種からの有効積算温度と葉齢および幼穂長との関係をそれぞれ第2図A, Bに示した。なお, 図は全品種・系統について作成したが, ほぼ類似した傾向がみられたことから, ここでは省略した。

苗の幼穂伸長速度を比較すると, 播種からの積算温度で比較した場合より, 基準温度を10℃とした有効積算温度でみた日長, 温度区間差はより小さかった。区間の差は他の



第2図 播種からの有効積算温度と葉齢 (A) および幼穂長 (B) との関係 (品種: とさびか). ◇, ◆は25°C区, △, ▲は20°C区. 白抜きは長日区, 黒塗りは短日区. 有効積算温度の基準温度は10°C. A図の縦軸は対数目盛. 破線は幼穂形成期 (幼穂長1mm).

品種・系統においても同様に小さくなっていた. また, とさびかの播種からの有効積算温度と葉齢との関係をみると, 日長, 温度区間を込みにした場合でも, 1%水準でいずれも有意な正の相関関係がみられた (第1表).

(4) 播種から幼穂形成期までの有効積算温度, 葉齢および幼穂形成期から出穂まで日数

播種から幼穂形成期までの有効積算温度, 葉齢および幼穂形成期から出穂まで日数を第2表に示した. ここで示した播種から幼穂形成期までの有効積算温度, 葉齢の値は, 第1表に示した計算式より求めた値である. なお, ナツヒカリについては, 本試験での調査範囲内では幼穂の分化, 生長が遅いため検討できなかったため, ここでは省略した.

まず, とさびかの播種から幼穂形成期までの有効積算温度は, 25°C区では, 長日区が348°C日であったのに対して,

短日区が311°C日, 20°C区では長日区が318°C日であったのに対して短日区で301°C日であり, いずれの温度処理区とも短日区の方が低かった. 各日長区での温度区間差は最大30°C日で, 短日区の方が長日区より同37°C日低くなっていたが, 積算温度で比較したときよりも温度差は小さかった. 他の品種・系統における日長区間の温度差をみると, 高育27号では, 最大49°C日, イシカリは同76°C日, キタアケでは同91°C日, 衣笠早生は同183°C日であった. 播種からの有効積算温度は長日区では, とさびかが最も低く, 次いで高育27号, さらに衣笠早生およびキタアケの順で, イシカリが最も高かった. 短日区では, 衣笠早生が最も低く, 次いでとさびか, 高育27号, キタアケ, イシカリの順であった.

播種からの有効積算温度は長日区では, とさびかが最も低く, 次いで高育27号, さらに衣笠早生およびキタアケの順で, イシカリが最も高かった. 短日区では, 衣笠早生が最も低く, 次いでとさびか, 高育27号, キタアケ, イシカリの順であった.

つぎに, 幼穂形成期の葉齢をみると, とさびかは最小5.3~最大5.7齢, 高育27号は同5.4~5.9齢, 衣笠早生は同5.1~6.4齢, イシカリは同6.0~6.6齢, キタアケは同6.1~6.9齢であった. このように, 幼穂形成期の葉齢には衣笠早生を除き, 日長, 温度区間で大きな差はみられなかった.

とさびかの幼穂形成期から出穂まで日数をみると, 25°C区は長日区, 短日区それぞれ19日, 20日で, 20°C区ではそれぞれ27日, 28日であり, 日長区間での日数差は小さかった. 他の品種・系統においても出穂まで日数には日長区間差はみられなかった. 一方, 温度区ごとに品種・系統間で出穂まで日数を比較すると, 20°C区では8日以上之差がみられたのに対し, 25°C区での差は2~4日の幅であった.

3. 日長, 温度に対する出穂反応

(1) 日長, 温度条件と出穂関連形質

早晩性を示す播種から出穂までの有効積算温度を比較すると, とさびかは最小581~最大646°C日, 高育27号は同

第2表 播種から幼穂形成期までの有効積算温度, 葉齢および幼穂形成期から出穂まで日数.

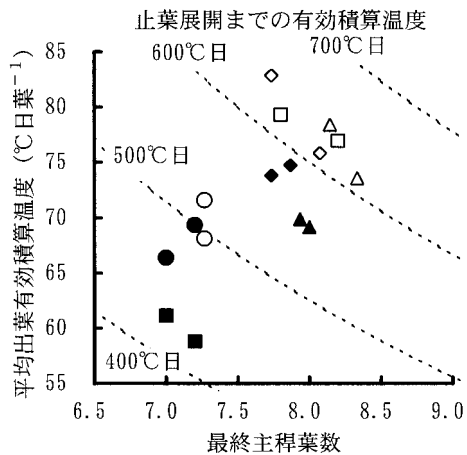
育成地	品種・系統	有効積算温度(°C日)				葉齢				出穂まで日数(日)			
		長日区		短日区		長日区		短日区		長日区		短日区	
		25°C区	20°C区	25°C区	20°C区	25°C区	20°C区	25°C区	20°C区	25°C区	20°C区	25°C区	20°C区
高知県 (西南暖地)	とさびか	348	318	311	301	5.7	5.5	5.4	5.3	19	27	20	28
	高育27号	369	315	320	349	5.9	5.4	5.4	5.7	20	28	20	30
	衣笠早生	435	432	273	249	6.4	6.4	5.3	5.1	19	31	17	28
北海道 (寒地)	イシカリ	461	422	385	398	6.6	6.3	6.0	6.1	20	29	19	31
	キタアケ	439	404	348	355	6.9	6.6	6.1	6.2	21	31	21	34

播種から幼穂形成期までの有効積算温度, 葉齢は第1表の計算式から求めた. 幼穂形成期は幼穂長が1mm以上に達した時.

第3表 播種から出穂までの有効積算温度および出穂まで日数と感光相, 感温相および基本栄養生長相.

育成・栽培地	品種・系統	出穂まで有効積算温度(°C日)				出穂まで日数(日)				感光相 (日)	感温相 (日)	基本栄養生長相 (日)
		長日区		短日区		長日区		短日区				
		25°C区	20°C区	25°C区	20°C区	25°C区	20°C区	25°C区	20°C区			
高知県 (西南暖地)	とさびか	646	602	605	581	42	57	40	56	2	16	40
	高育27号	671	636	621	607	44	61	41	59	3	18	41
	ナツヒカリ	916	881	729	789	60	85	48	77	12	29	48
	衣笠早生	728	742	520	524	48	71	34	50	14	16	34
北海道 (寒地)	イシカリ	764	774	679	701	50	69	45	68	5	24	45
	キタアケ	754	729	661	690	49	70	43	67	6	24	43

感光相, 感温相, 基本栄養生長相を細井 (1981), 佐藤・林 (1985a) の手法に準じて, 播種から出穂まで日数で表示した. 感光相は25°C区の長日区と短日区との差で表示し, 感温相は短日区の25°C区と20°C区の差から求めた. 基本栄養生長相は, 短日区・25°C区の値で示した.



第3図 最終主稈葉数と平均出葉有効積算温度との関係. ○, ●はとさびか, □, ■は衣笠早生, ◇, ◆はイシカリ, △, ▲はキタアケ, 白抜きは長日区, 黒塗りは短日区. 破線は播種から止葉展開までの有効積算温度.

607~671°C日, ナツヒカリは同729~916°C日, 衣笠早生は同520~742°C日, イシカリは同679~774°C日, キタアケは同661~754°C日の幅であった(第3表). また, 品種・系統によって程度は異なるが, 短日区または20°C区で播種から出穂までの有効積算温度が低くなる傾向がみられた.

播種から止葉展開までの有効積算温度を比較すると, とさびかは最小465~最大520°C日, 高育27号は同497~548°C日, ナツヒカリは同615~797°C日, 衣笠早生は同423~629°C日, イシカリは同587~658°C日, キタアケは同548~638°C日の幅であり, 播種から出穂までの有効積算温度と同様な傾向がみられた. 播種から出穂までの有効積算温度と止葉展開までの有効積算温度の間には, 全区込みで1%水準の有意な正の相関関係($r=0.994$)がみられ, 出穂までの有効積算温度が低いほど, 止葉展開までの有効積算温度が低くなっていた.

つぎに, 最終主稈葉数を比較すると, とさびかは最小

7.0~最大7.3葉, 高育27号は同7.3~7.9葉, ナツヒカリは同8.1~9.3葉, 衣笠早生は同7.0~8.1葉, イシカリは同7.7~8.1葉, キタアケは同7.9~8.3葉の幅であった. 最終主稈葉数は, とさびか, 高育27号, キタアケでは日長区間でほとんど差がみられなかったが, イシカリ, ナツヒカリ, 衣笠早生では短日区において少なくなる傾向がみられた.

平均出葉有効積算温度を比較すると, とさびかは最小66.4~最大72.5°C日葉⁻¹, 高育27号は同63.4~75.6°C日葉⁻¹, ナツヒカリは同75.7~88.7°C日葉⁻¹, 衣笠早生は同58.8~79.1°C日葉⁻¹, イシカリは同73.8~82.9°C日葉⁻¹, キタアケは同69.2~78.4°C日葉⁻¹の幅であり, 播種から止葉展開までの有効積算温度と同様な傾向がみられた.

第3図には最終主稈葉数と平均出葉有効積算温度との関係を示した. これら2要因により, 図中に破線で示した止葉展開までの有効積算温度が決定される. この図では, とさびかと類似した傾向を示した高育27号と育成地の異なるナツヒカリは省略した.

高知県育成のとさびかの全区, 衣笠早生の短日区では, 北海道育成品種に比べ, 止葉展開までの有効積算温度が低かった. とさびかにおいては, 平均出葉有効積算温度が北海道育成品種と同程度かやや低く, 最終主稈葉数が少なくなっていた. 一方, 衣笠早生の短日区では, さらに平均出葉有効積算温度が低く, 最終主稈葉数も少なかった.

(2) 感光相, 感温相および基本栄養生長相

感光相, 感温相および基本栄養生長相について, まず, 感光相をみると, とさびか, 高育27号はそれぞれ2日, 3日で短く, イシカリ, キタアケがそれぞれ5日, 6日であり, ナツヒカリ, 衣笠早生はそれぞれ12日, 14日で最も長かった(第3表). つぎに, 感温相をみると, とさびか, 衣笠早生が16日, 高育27号は18日で短く, イシカリ, キタアケが24日であり, ナツヒカリが29日で最も長かった. さらに, 基本栄養生長相をみると衣笠早生が34日で最も短く, ついでとさびか, 高育27号がそれぞれ40日,

41日, キタアケ, イシカリがそれぞれ43日, 45日で, ナツヒカリが48日で最も長かった。

考 察

1. 日長, 温度条件と幼穂の分化, 発育

本試験においては, 夏至前後の長日, 秋分以降の短日の自然日長下で株まきポットで養成した苗の幼穂分化, 発育および品種の早晩性を品種・系統間で比較した。各処理区の平均日長時間は, 長日区が14時間9分~14時間26分, 短日区では10時間55分~11時間32分であった。これまでの研究によると, 限界日長については12時間から14時間とされる(Sakamoto and Toriyama 1967)。しかしながら, 処理温度や品種, 試験地の緯度も様々であり, 直接比較することは困難である。本試験では, 各品種の限界日長を算出するに至っていないが, 全ての品種・系統, 日長, 温度区で出穂がみられたことから, 各区の日長時間は, 幼穂を分化し, 出穂しうる日長時間の範囲内であったものと考えられる。

処理温度については20℃から30℃の範囲で行ったが, 一般に生育適温は25℃~30℃の範囲であるとされている。さらに, 適温の下限については, Noguchi and Kamata (1965)は15℃で幼穂が分化するとし, 小林(1977)は生育適温の下限を17.5℃とした。また, 羽生ら(1983)は12℃および40℃では幼穂が分化しないと報告している。このことから, 本試験での設定温度は, 幼穂分化, 出穂に有効な温度の範囲内であったと判断される。

異常(不時)出穂に関するこれまでの報告から異常(不時)出穂が発生した場合, 主稈の正常な玄米生産が不可能となり, 穂揃いがよくないため品質への影響が懸念される(橋田 1958, 藤吉ら 1965, 池上 1986, 武田 1986, 坂田ら 2003a)。異常(不時)出穂の発生を未然に防ぐには, 幼穂分化前の苗を移植することが望ましいと考えられる。また, 今後解明すべき苗の幼穂発育程度と異常(不時)出穂の発生割合, さらにこれらと玄米収量との関係を明らかにするには, まず, 苗養成中における幼穂の分化, 発育程度を的確に把握する必要がある。ここでは, まず株まきポットで養成した苗の幼穂が肉眼で確認できる幼穂形成期(幼穂長1mm)を簡易に推定するための方法について検討した。今回はその指標として, 日平均温度の積算値(積算温度), 基準温度を10℃(西山 1985, 坂田ら 2002)とした有効積算温度, 葉齢および出穂前日数を用いた。

日長, 温度条件を違えた場合, 播種からの積算温度によってとさびかの苗の幼穂形成期を推定したところ, 区間で最大106℃日の差がみられた(第1図)。これに対し, 播種からの有効積算温度でみた区間差は最大で37℃日で小さかった(第2図)。積算温度における基準温度(無効温度)に関するこれまでの研究によると, 朝隈(1958)は, 出穂に対する無効温度は8~16℃と推定した。また, 江幡(1990a, b)は, 生育段階によって有効下限温度が変化し, 栄養生

長期間の生長の有効下限温度は10.5~11.1℃であり, 葉齢によって6~12℃と変化し, 幼穂分化期から開花期にその温度は最大になると報告した。中川・堀江(1995)は, 発育の下限温度は幼穂分化までを9~14℃, 幼穂分化後から出穂までを12~15℃と述べている。これらのように, 発育の下限温度は品種等によって異なるため, 多くの発育下限温度が示されてきた。これまで, 異常(不時)出穂の形態として, 止葉が展開し, 幼穂の発育・伸長が停止した出穂不能個体が確認されており(大谷・白木 1942, 坂田ら 2002), 長峰ら(1982)も止葉が展開した個体も異常(不時)出穂に含めている。葉の分化(出葉)および草丈(あるいは葉)の伸長の最低温度は10℃付近(西山 1985)とされ, 基準温度として10℃はこれまでの報告での平均的な値と考えられる。とさびかにおいては, 年次, 苗の種類, 移植時期を違えても基準温度を10℃とした播種からの有効積算温度がほぼ800℃日以上になれば出穂期に達することが認められた(坂田ら 2002)。また, 株まきポットで養成された苗の幼穂形成期を推定するにあたり, 基準温度を10~15℃として有効積算温度を計算したところ, 温度条件が20~30℃の範囲であれば, 10℃において温度区間差が最も小さくなった。これらより, 有効積算温度の基準温度は10℃とした。そこで, 日長, 温度を違えたときの幼穂生長曲線の近似式より, 播種から幼穂形成期までの有効積算温度を推定したところ, とさびかは301~348℃日の幅であり, 幼穂分化, 発育への日長の影響は比較的小さいと考えられた(第1, 2表, 第2図)。よって, とさびかにおいては, 播種からの有効積算温度が301~348℃日となる時をもって, 幼穂形成期に達するものと考えられた。

つぎに, 幼穂形成期の葉齢についてみると, 各品種・系統ともに, 日長, 温度の違いによる差はほとんどみられなかった(第2表)。品種・系統間で比較した場合, とさびかは, 最小5.3~最大5.7齢で幼穂形成期に達し, 幼穂形成期の有効積算温度がほぼ同じ値であった高育27号は同5.4~5.9齢, 北海道育成品種が6齢以上であることから, 比較的若齢で幼穂形成期に達することが判明した。ただし, 葉齢については, 育苗時期によって, 温度が違う場合は, 生育進度が異なるため, 多少の誤差が予想される。したがって, とさびかにおいては, 温度条件が20~25℃の範囲であれば, 5.3~5.7齢になる時をもって, 幼穂形成期に達するものと考えられた。

最後に, 幼穂形成期から出穂まで日数を温度区間で比較すると, 25℃区では最小17~最大21日, 20℃区では同27~34日であり, 25℃区の方がわずかながら日数差が小さかった(第2表)。温度区間では10日以上の日数差がみられたが, これは, 25℃区の方が高温であり, 幼穂の発育が促進されたためである(松島・真中 1959)。これまでの研究から, 品種の早晩性や栽培時期などの条件が極端でない場合ではほとんど, 出穂まで日数には差異を生じないとされる(朝隈 1958, 松島 1960)。本試験でも品種, 日長区間

では大きな日数差はみられなかった。供試した早生品種・系統において、今回のような日長時間の範囲で、温度が20～25℃の一定であるなら、主稈出穂が確認された時よりさかのぼり、日数を計算することによって、育苗条件下でも非破壊的に苗の幼穂形成期を知ることができると考えられた。しかしながら、出穂前日数から苗の幼穂形成期を推定するにあたり、温度区間でみられた誤差を多少考慮すると25℃条件である場合が望ましいと考えられた。

2. 日長、温度に対する出穂反応

(1) 日長、温度条件と出穂関連形質

播種から止葉展開までの有効積算温度は、品種の早晩性の指標となる播種から出穂までの有効積算温度と有意な正の相関関係 ($r=0.994$) を示し、積算温度でみた関係と同様の結果 (坂田ら 2003b) がえられた。止葉展開までの有効積算温度を最終主稈葉数と平均出葉有効積算温度の2要因にわけて、品種の早晩性を比較したところ、とさびかは、北海道育成品種に比べ平均出葉有効積算温度は同程度かやや低くて、最終主稈葉数が少なかったために主稈出穂が早くなったものと考えられた (第3図)。

(2) 感光相、感温相および基本栄養生長相の品種・系統間差異

イネの早晩性は、周知のように感光性、感温性および基本栄養生長性によって支配されており、これらの比較から、これまで、多くの研究により品種間差異が明らかにされてきた (朝隈 1958, Sakamoto and Toriyama 1967, 細井 1975, 細井 1981, 佐藤・林 1985a, b)。本試験では細井 (1981), 佐藤・林 (1985a) の手法により、感光相、感温相、基本栄養生長相を求め、品種・系統間の早晩性を比較した (第3表)。まず、とさびか、高育27号はイシカリ、キタアケと比較して感光相が短く、感光性がより小さいと考えられた。これらに対し、衣笠早生、ナツヒカりは感光相が長く、日長反応が認められた。日長反応に対するこれまでの研究から、日本の水稻早生品種においては、感光性は微弱であり (佐藤・林 1985a)、中でも、西南暖地育成品種に比べて、北海道育成品種は感光性が小さいとされてきた (細井 1975, 細井 1981)。しかし、とさびか、高育27号は衣笠早生、ナツヒカ、また、北海道育成品種であるイシカリ、キタアケに比べて感光性が小さく、近年育成された高知県育成品種・系統は、これまで報告されてきた品種とは異なる出穂特性をもつものと推察された。

つぎに、感温相を比較すると、とさびか、衣笠早生は最も短く、ついで高育27号であり、これら品種・系統は北海道育成品種に比べて感温性が小さいと考えられた。供試した品種・系統間での差は、感光相が最小2～最大14日であるのに対し、感温相は同16～29日であり、感温相の方が感光相に比べて長かった。細井 (1975) によると、出穂は日長と温度の相互反応によって決定し、感温性品種は感光性品種に比べて感光性、感温性程度が小さく、相対的

に早晩性に関して、温度の支配度が高いと報告している。

基本栄養生長相については、衣笠早生が最も短く、ついでとさびか、高育27号で、これら高知県育成品種・系統は北海道育成品種より基本栄養生長相が短かった。これまでの報告では日本在来品種の温度による出穂 (出穂) 日数の品種間差異 (感温性) は小さいとされており (細井 1981), 早晩性の品種間差は感光性、基本栄養生長性によって決まると述べられている (佐藤・林 1985a)。本試験ではとさびかは、感光性と基本栄養生長性程度が比較的小さかったことより、適温条件であれば、早く出穂しやすい特性を有する品種であると考えられた。

これらのことから、とさびかは、本試験で供試した北海道育成品種に比べて早く主稈出穂するのは、主に最終主稈葉数が少ないことや感光性、感温性および基本栄養生長性程度が小さいためであることが判明した。また、日長、温度に対して、同様な出穂反応を示し、早晩性も類似していた交配母本の高育27号の遺伝子の支配を強く受けているものと推察された。

謝辞: 本試験を実施するにあたり、高知県農業技術センター水田作物科内の方々からご指導、ご援助をいただいた。また、本試験においては高知大学農学部作物研究室専攻生各位に協力頂いた。ここに記して感謝を表す。

引用文献

- 青田精一・木根淵旨光・橋本勉・水野進 1964. 北陸地域における水稻晩植栽培の減収要因とその収量性. 北陸農試報 7: 29—60.
- 朝隈純隆 1958. 水稻の出穂に関する生態的研究. (I 報) 2, 3 条件と出穂日数について (II) 日本稲の基本栄養生長性, 感光性, 感温性に就いて. 日作紀 27: 61—66.
- 江幡守衛 1990a. 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.
- 江幡守衛 1990b. 有効積算温度とイネの生長. 第2報 イネの出穂・開花および登熟における有効積算温度. 日作紀 59: 233—238.
- 藤吉清次・川越初義・新村義弘・林田多賀夫 1965. 水稻早期栽培における不時出穂稲の生育経過について. 九州農業研究 27: 67—70.
- 羽生幸夫・中條博良・吉田鎮雄 1983. 水稻における花成の短日感応に及ぼす気温の影響. 日作紀 52: 135—142.
- 橋田龍一郎 1958. 水稻二期作の栽培技術. 久保佐土美・梶原子治・橋田龍一郎共著. 水稻の二期作. 高知市立市民図書館, 高知. 242—244.
- 細井徳夫 1975. 制御環境下におけるイネの出穂におよぼす日長・温度および窒素レベルの影響. 日作紀 44: 382—388.
- 細井徳夫 1981. 気象要因による水稻生育の変動性に関する研究. V. 日本の主要水稻品種の感温性, 感光性, 基本栄養生長性と出穂日数の制御要因の地域的特徴. 育種 31: 239—250.
- 池田勝彦 1978. 水稻の花芽形成に関する研究. 16. 薄明の影響 (1). 日作紀 (別2) 47: 135—136.
- 池上亘 1986. 高知県稲作技術史. 自費出版. 高知. 79—80.
- 伊藤暢恒・矢野幸重・下津盛昌・江藤慶一・井口睦夫 1965. 水稻短期栽培について. 九州農業研究 27: 73—74.
- 片山佃 1935. 水稻に於ける苗代日数感応度の品種間差異に関する研究 (予報). 日作紀 7: 184—185.

- 小林陽 1977. 水稲品種の感温性に関する研究. I. 出穂促進の適温域および適温の下限について. 育雑 27: 149—156.
- 松島省三・真中多喜夫 1959. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 53. 品種の早晩と栽培時期の早晩による幼穂発育経過の差異と発育段階の認定法 (2). 日作紀 28: 201—204.
- 松島省三 1960. 稲作の理論と技術. 養賢堂. 東京. 72—75.
- 長峰司・萩野幸治・和田学 1982. 水稲短期品種の箱育苗における不時出穂. 近畿中国農研 64: 12—17.
- 中川博視・堀江武 1995. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 第2報幼穂分化・発育過程の気象的予測モデル. 日作紀 64: 33—42.
- 西山岩男 1985. イネの冷害生理学. 北海道大学図書刊行会, 札幌. 206—207.
- Noguchi, Y., Kamata, E. 1965. Studies on control of flower bud formation by temperature and daylength in rice plants. V. Response of floral induction to temperature. Japan. J. Breed. 15: 86—90.
- 大谷義雄・白木実 1942. 水稲幼植物の異常環境に於ける品種特性の研究. 第1報 苗代期中の温度及び日長処理が水稲品種の不時出穂発現に及ぼす影響. 日作紀 14: 57—70.
- 西郷昭三郎・富田喜次郎・板谷至・鈴木金苗・塚本行雄 1978. 暖地水稲の省力短期栽培法に関する研究. 静岡県農試研報 23: 1—8.
- Sakamoto, S. and K. Toriyama 1967. Studies on the breeding of non-seasonal short duration rice varieties, with special reference to the heading characteristics of Japanese varieties. Bull. Chugoku Agr. Exp. Stn., Series A. No. 14: 147—165.
- 坂田雅正・平川真由美・山本由徳・宮崎彰 2001. 西南暖地における早期栽培用極早生水稲品種の出穂特性—日長, 温度, 窒素施肥と出穂の早晩—. 日作紀 70 (別1): 2—3.
- 坂田雅正・亀島雅史・中村幸生・古味一洋・山本由徳 2002. 早期栽培用・極早生水稲品種とさびかに発生した異常(不時)出穂—発生状況とその形態および要因—. 日作紀 71: 446—454.
- 坂田雅正・鈴木かおり・山本由徳・宮崎彰 2003a. 極早生水稲品種とさびかの異常(不時)出穂の発生とその後の生育, 収量および玄米品質. 日作紀 72 (別1): 18—19.
- 坂田雅正・平川真由美・山本由徳・宮崎彰 2003b. 西南暖地における早期栽培用・極早生水稲品種とさびかの出穂特性—温度に対する出穂反応—. 日作紀 72: 163—170.
- 佐藤洋一郎・林喜三郎 1985a. 日本各地の在来イネ品種の基本栄養生長期間および感光性程度の品種間差異. 育雑 35: 72—75.
- 佐藤洋一郎・林喜三郎 1985b. 日本の在来早生イネ品種の基本栄養生長期間の長さの遺伝様式. 育雑 35: 160—166.
- 新屋彰・松元幸男・山川恵久 1965. 早生水稲の不時出穂について. 日作九州支報 42—44.
- 菅洋 1982. 作物の発育生理. 養賢堂, 東京. 183—184.
- 武田和義 1986. イネ品種の早晩性と出穂揃い. 育雑 36: 291—303.
- 寺尾博・片山佃 1929. 水稲の不時出穂に関する研究. 農事試彙報 1: 25—40.

Heading Characteristics of the Extremely Early Rice Cultivar ‘Tosapika’ in Warm South – western District in Japan—Effects of daylength and temperature on the differentiation and development of the young panicle —:Mototaka SARATA*^{1,2)}, Kaori SUZUKI³⁾, Yoshinori YAMAMOTO³⁾ and Akira MIYAZAKI³⁾ (^{1)Kochi Pref. Agr. Res. Cent., Nankoku 783–0023, Japan;} ^{2)United Grad. Sch. of Agr. Coll., Ehime Univ.,} ^{3)Fac. Agr., Kochi Univ.})

Abstract : In 1998, premature heading was observed in the early season culture field of the extremely early rice cultivar ‘Tosapika’ in Kochi Prefecture. To clarify the factors associated with that, the effect of temperatures (constant temperature: 25 and 20°C) under natural daylength around the summer solstice (long day: 14.15—14.43 hours) and after the autumn equinox (short day: 10.32—11.53 hours) on the differentiation and development of young panicle was examined using the seedlings raised in stock-raising pots (each pot size is 1.5 × 1.5 × 2.5 cm) at a rate of one seed per pot. The cumulative temperature from sowing to panicle differentiation was lower in ‘Tosapika’ and its parent, Kouiku No.27 than in the cultivars bred in Hokkaido irrespective of the daylength. The effects of daylength and temperature on the panicle differentiation when examined based on the effective cumulative temperature (ECT, base temp. 10°C) were smaller than that when examined based on the cumulative temperature in each cultivar. In the seedling of ‘Tosapika’ the panicle differentiation and development were scarcely influenced by daylength and the panicle formation stage (average length; 1 mm) was observed at 301—348°Cday (ECT) from sowing and at 5.3—5.7 plant age in leaf number on the main culm. It was about 20 days before heading under 25°C condition. Moreover, the ECT after sowing to flag leaf expansion, which is closely related with the earliness of cultivars was also lower in ‘Tosapika’ due to the fewer number of final leaves on the main culm in comparison with the cultivars bred in Hokkaido. From these results, it was concluded that the thermo- and photo-sensitivities and basic vegetative growth of ‘Tosapika’ were comparatively low, and these characteristics were similar to those in its parent, Kouiku No.27.

Key words : Cultivar ‘Tosapika’, Daylength, Differentiation and development of the young panicle, Effective cumulative temperature, Extremely early rice, Heading characteristics, Stock-raising (kabumaki) pot, Temperature.