

## 時期別の気温・水温処理が水稻の生育に及ぼす影響第2報

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	柴田, 和博 佐々木, 一男 島崎, 佳郎
巻/号	42巻3号
掲載ページ	p. 267-274
発行年月	1973年9月

## 時期別の気温・水温処理が水稻の生育に及ぼす影響

### 第2報 昼夜別気温・水温および処理日数と出穂期との関係\*

柴田和博\*\*・佐々木一男\*\*\*・島崎佳郎\*\*\*

(\*\*農林省北海道農業試験場・\*\*\*北海道立上川農業試験場)

出穂期の変動に及ぼす気温と水温の影響についての報告<sup>1,3,6,9,11)</sup>は数多くあるが、14°C以下の低温や昼夜変温条件下で行なわれた例は殆んどない。本報では、北海道の稲作期間に実際に起こり得る範囲の昼夜別気温・水温および処理日数を組合せた実験を行ない、各時期の処理が出穂期の変動に及ぼす影響の大きさおよび出穂の促進に対する昼・夜温度の最適較差の存否などについて検討した結果を報告する。

#### 試験方法

人工気象箱を用い、昼の気温・水温を26°, 20°および14°C、夜の気温・水温を20°, 14°および8°C、処理日数を3, 6および9日とした各組合せ区を設定し、table 1に示した各時期から処理を開始した。品種は栄光(遅延型耐冷性弱)を用い、出穂期は各処理区の全穂(5~7穂)の平均値を用いた。昼間を8時間、夜間を16時間とし、その他は前報<sup>9)</sup>と全く同様である(5因子, 3水準, 1/3実施, 1ブロック)。なお、処理日数3および6日の区は、処理日数9日の区の出穂が終了する迄の6および3日間、昼・夜気温の組合せが26°, 20°Cの人工気象箱内に置いた。試験は1968年に行ない、生育は全期間にわたつて極めて順調であつた。

#### 試験結果

##### 1. 各処理時期の要因効果

各処理時期の出穂期についての分散分析結果(F値)をtable 2に、同じく処理日数別の昼・夜水温組合せ別出穂期をtable 3に、処理日数別の昼・夜気温組合せ別出穂期をtable 4に示した。

移植直後処理(T<sub>1</sub>): 昼水温(W<sub>D</sub>), 夜水温(W<sub>N</sub>), 処理日数(P)の主効果が0.1%水準で有意となり、他の主効果および全ての交互作用は有意でない。処理区間の最大の出穂期差は約5日であつた(table 3)。

\* 昭和47年11月8日受理。

大要は日本作物学会北海道談話会(昭和44年9月)において発表。

Table 1. Starting dates of treatment.

Treatment periods	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Starting dates	May 31	June 18	June 30	July 9	July 28
No. of days to heading	65	44	32	29	11

Note: T<sub>1</sub>; Transplanting time.  
T<sub>2</sub>; The seventh leaf stage.  
T<sub>3</sub>; The ninth leaf stage.  
T<sub>4</sub>; The tenth leaf stage.  
T<sub>5</sub>; The flag leaf stage.

7葉期処理(T<sub>2</sub>): 処理日数(P)以外の主効果および昼気温(A<sub>D</sub>)とP, 夜気温(A<sub>N</sub>)と夜水温(W<sub>N</sub>), A<sub>N</sub>とPなどの交互作用が有意である。Pが有意とならない理由は、処理日数が長いほど昼気温の低い区の出穂遅延が大きくなるが、逆に高気温区は出穂が促進されるため、各水準間の平均値の差が相殺されたことによる(table 4)。処理日数3日(P<sub>1</sub>)での昼・夜気温の各組合せ区間の最大の出穂期差は約3日、処理日数9日(P<sub>3</sub>)でのそれは8日であつた。A<sub>N</sub>×W<sub>N</sub>が有意となつたのは、いずれか一方が8°Cの時には他方が高温でも出穂遅延が大きかつたためである。

9葉期処理(T<sub>3</sub>): 全ての主効果およびA<sub>D</sub>とA<sub>N</sub>, A<sub>N</sub>とW<sub>N</sub>, A<sub>N</sub>とP, W<sub>N</sub>とPなどの交互作用が有意となり(table 2), 昼・夜気温の各組合せ区間の最大の出穂期差は約8日であつた(table 4)。T<sub>2</sub>と同様に、Pが長くなると出穂期の差は拡大するが、その差はT<sub>2</sub>よりも小さかつた(table 3, 4)。

10葉期処理(T<sub>4</sub>): A<sub>D</sub>以外の主効果およびA<sub>N</sub>とW<sub>N</sub>, A<sub>N</sub>とP, W<sub>N</sub>とPなどの交互作用が有意である。各処理区間の最大の出穂期差は8日であり(table 3), 全体的にはT<sub>3</sub>と類似した出穂反応であつた。

止葉期処理(T<sub>5</sub>): 主効果A<sub>D</sub>, A<sub>N</sub>, Pおよび交互作用A<sub>N</sub>×Pなどが有意である(table 2)。すなわち、気温と処理日数の効果が大きく、水温の効果は明かでない。昼・夜気温の各組合せ区間の最大の出穂期差は約5日であつた(table 4)。

Table 2. Analysis of variance of heading dates (F-value).

Factors <sup>1)</sup>	DF <sup>2)</sup>	Treatment periods <sup>3)</sup>				
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
A <sub>D</sub>	2	0.9	7.6**	3.9*	0.1	12.0***
W <sub>D</sub>	2	15.6***	14.3***	12.7***	7.8**	0.1
A <sub>N</sub>	2	0.7	70.6***	41.3***	16.5***	50.0***
W <sub>N</sub>	2	19.8***	50.9***	44.4***	13.7***	0.3
P	2	10.4***	0.5	157.7***	86.5***	231.2***
-----						
A <sub>D</sub> ×W <sub>D</sub>	4	2.1	0.9	2.6	1.1	2.0
A <sub>D</sub> ×A <sub>N</sub>	4	1.0	1.3	1.9	0.7	0.4
A <sub>D</sub> ×W <sub>N</sub>	4	0.5	0.5	1.0	0.5	3.0*
A <sub>D</sub> ×P	4	0.7	3.4*	0.8	2.0	1.9
-----						
W <sub>D</sub> ×A <sub>N</sub>	4	0.7	1.8	0.9	0.1	0.3
W <sub>D</sub> ×W <sub>N</sub>	4	0.5	0.3	1.7	0.8	0.4
W <sub>D</sub> ×P	4	2.2	1.4	1.4	0.3	0.9
-----						
A <sub>N</sub> ×W <sub>N</sub>	4	0.6	5.2**	4.1**	5.1**	1.5
A <sub>N</sub> ×P	4	0.6	3.6*	15.8***	3.6*	10.6**
W <sub>N</sub> ×P	4	2.3	0.8	7.1***	4.2**	1.2
Error <sup>4)</sup>	30	(1.109)	(1.72)	(0.64)	(1.52)	(0.61)

Note: <sup>1)</sup> A<sub>D</sub>; Daytime air-temperature.  
W<sub>D</sub>; Daytime water-temperature.  
A<sub>N</sub>; Nocturnal air-temperature.  
W<sub>N</sub>; Nocturnal water-temperature.  
P; Number of days of treatment.

<sup>2)</sup> Degrees of freedom.

<sup>3)</sup> See table 1.

<sup>4)</sup> (Error variance).

<sup>5)</sup> \*, \*\* and \*\*\*; significant at 5, 1 and 0.1% levels, respectively.

以上のように、T<sub>2</sub> では処理日数が3日でも比較的確に出穂期が変動するが、他の処理時期では処理日数が6日以上でないとその変動が明かでない。それで、出穂期が水・気温によつて最も敏感に変動するT<sub>2</sub>、水温のみが効果のあるT<sub>1</sub>および主として気温が効果のあるT<sub>5</sub>について、さらに詳しく検討する。

## 2. 昼夜別水温による出穂期の変動

前報<sup>2)</sup>と同じ方法で、処理日数(P)別に昼水温(W<sub>D</sub>)と夜水温(W<sub>N</sub>)による出穂期の回帰式を計算し、その係数をtable 5に示した。

移植直後処理(T<sub>1</sub>): 処理日数3日(P<sub>1</sub>)では全ての係数が有意でなく、同6日(P<sub>2</sub>)ではW<sub>D</sub>とW<sub>N</sub>の1次回帰係数(b<sub>10</sub>とb<sub>01</sub>)およびW<sub>D</sub>の2次回帰係数(b<sub>20</sub>)がいずれも1%水準で有意となり、同9日(P<sub>3</sub>)ではb<sub>10</sub>とb<sub>01</sub>が1%水準で有意である。W<sub>D</sub>とW<sub>N</sub>の効果を b<sub>10</sub>とb<sub>01</sub>の大きさと比較するとほぼ同程度であるが、昼・夜時間比1対2を考慮するとW<sub>D</sub>の効果がW<sub>N</sub>のそれより1.5~2倍の大きさとみられる。P<sub>3</sub>の回帰式による等出穂期線をfig. 1-

T<sub>1</sub>(P<sub>3</sub>)に示した。この図から、等出穂期線は曲線となり、同一平均水温での最も早い出穂期(図中の○印)はW<sub>N</sub>の高低に拘らずW<sub>D</sub>が21°C附近にあり、従つて出穂期が早まるためのW<sub>D</sub>とW<sub>N</sub>の最適較差は平均水温が低いほど大きくなった。

7葉期処理(T<sub>2</sub>): P<sub>1</sub>ではW<sub>N</sub>の1次回帰係数(b<sub>01</sub>)が有意となり、P<sub>2</sub>とP<sub>3</sub>ではW<sub>D</sub>とW<sub>N</sub>の1次回帰係数(b<sub>10</sub>とb<sub>01</sub>)がともに有意である。b<sub>10</sub>とb<sub>01</sub>の大きさから、時間比1対2を考慮してW<sub>D</sub>とW<sub>N</sub>の効果を比較すると、処理日数が短かい場合はW<sub>N</sub>の効果が相対的に大きく、それが長い場合はW<sub>D</sub>の効果が相対的に大きくなった。

P<sub>3</sub>の回帰式による等出穂期線(fig. 1-T<sub>2</sub>(P<sub>3</sub>))はほぼ平均水温線と平行であり、W<sub>D</sub>とW<sub>N</sub>の最適較差は存在せず、両水温とも高いほど出穂期が早まった。

## 3. 昼夜別気温による出穂期の変動

処理日数(P)別に昼気温(A<sub>D</sub>)と夜気温(A<sub>N</sub>)による出穂期の回帰式を計算し、その係数をtable 6に

Table 3. Heading dates as affected by the combination of water-temperatures and number of days of treatment<sup>1)</sup>.

P <sup>2)</sup>	W <sub>D</sub> <sup>2)</sup>	W <sub>N</sub> <sup>2)</sup>	Treatment periods <sup>3)</sup>			
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
3	26	20	34.7	33.0	32.0	37.7
		14	34.0	34.3	32.7	39.0
		8	35.0	37.0	33.0	38.7
	20	20	34.7	33.0	32.3	39.0
		14	34.7	35.7	32.7	39.3
		8	34.7	36.7	33.0	39.0
	14	20	34.0	35.3	32.7	38.3
		14	35.3	35.3	33.0	39.3
		8	35.7	37.0	33.7	39.7
6	26	20	33.7	34.0	33.7	39.7
		14	35.7	33.7	33.3	39.7
		8	35.7	36.0	35.0	41.3
	20	20	33.7	33.0	34.0	41.0
		14	35.0	33.3	33.0	41.3
		8	36.0	36.7	34.3	42.3
	14	20	36.3	33.7	33.3	41.3
		14	36.7	35.7	34.7	41.7
		8	38.0	38.3	36.3	41.7
9	26	20	34.3	32.3	35.3	41.0
		14	35.3	33.7	35.0	40.7
		8	36.3	36.0	37.3	45.3
	20	20	34.3	33.0	34.3	42.7
		14	35.7	34.3	36.0	43.7
		8	36.7	37.0	38.7	45.0
	14	20	35.0	34.3	35.7	42.7
		14	37.7	37.3	37.3	43.0
		8	38.7	39.0	39.7	45.7

Note: <sup>1)</sup> Number of days from June 30.  
<sup>2)</sup> See table 2.  
<sup>3)</sup> See table 1.

示した。

7葉期処理 (T<sub>2</sub>): 処理日数3日 (P<sub>1</sub>) では A<sub>N</sub> の1次回帰係数 (b<sub>01</sub>) のみが有意で, 同6日 (P<sub>2</sub>) では b<sub>01</sub> と A<sub>N</sub> の2次回帰係数 (b<sub>02</sub>) とが有意, 同9日 (P<sub>3</sub>) では A<sub>D</sub> と A<sub>N</sub> の1次回帰係数 (b<sub>10</sub> と b<sub>01</sub>) が有意である。昼・夜時間比1対2を考慮しても, P<sub>1</sub> と P<sub>2</sub> では A<sub>N</sub> の効果が A<sub>D</sub> のそれより大きく, P<sub>3</sub> では A<sub>D</sub> と A<sub>N</sub> の効果が同程度とみられる。P<sub>3</sub> での等出穂期線は曲線となり, 同一平均気温での最も早い出穂期 (○印) は A<sub>D</sub> が約20°Cの直線上に並び, 出穂が早まるための A<sub>D</sub> と A<sub>N</sub> の最適較差は平均気温が低いほど大きくなった (fig. 2-T<sub>2</sub>(P<sub>3</sub>)).

Table 4. Heading dates as affected by the combination of air-temperatures and number of days of treatment<sup>1)</sup>.

P <sup>2)</sup>	A <sub>D</sub> <sup>2)</sup>	A <sub>N</sub> <sup>2)</sup>	Treatment periods <sup>3)</sup>			
			T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
3	26	20	33.3	32.7	38.7	38.7
		14	35.7	33.0	40.0	39.7
		8	36.3	32.0	39.7	39.3
	20	20	34.3	32.3	38.7	39.3
		14	35.3	33.3	39.0	39.7
		8	37.0	32.3	39.7	39.3
	14	20	33.7	33.0	38.3	39.3
		14	35.3	33.3	38.3	39.3
		8	36.3	33.0	37.7	39.7
6	26	20	31.0	32.7	39.3	39.3
		14	36.3	34.3	40.7	40.0
		8	36.3	35.0	42.7	42.0
	20	20	31.7	33.7	40.3	40.3
		14	35.0	35.0	40.3	40.7
		8	36.7	34.3	43.0	42.3
	14	20	34.3	33.0	39.7	40.3
		14	36.3	34.0	41.0	42.0
		8	36.7	35.7	43.0	43.0
9	26	20	31.3	34.0	42.3	38.3
		14	34.3	36.3	43.0	40.0
		8	37.0	37.7	44.0	42.0
	20	20	32.0	35.0	42.3	39.3
		14	34.0	37.3	43.0	40.3
		8	37.7	38.0	43.7	43.0
	14	20	34.0	34.3	41.3	40.0
		14	37.3	37.0	45.0	41.7
		8	39.3	39.7	45.0	43.3

Note: <sup>1)</sup> Number of days from June 30.  
<sup>2)</sup> See table 2.  
<sup>3)</sup> See table 1.

止葉期処理 (T<sub>5</sub>): P<sub>1</sub> では全ての係数が有意でなく, P<sub>2</sub> と P<sub>3</sub> ではともに A<sub>D</sub> と A<sub>N</sub> の1次回帰係数 (b<sub>10</sub> と b<sub>01</sub>) が1%水準で有意である。昼・夜時間比1対2を考慮すれば P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> とも A<sub>D</sub> と A<sub>N</sub> は出穂期の変動に対してはほぼ同程度の効果がある。P<sub>3</sub> の等出穂期線は平均気温線と平行で, 平均気温が約5°C異なると出穂期が2日動いており, 従つて, A<sub>D</sub> と A<sub>N</sub> の最適較差は存在せず, 両者ともに高いほど出穂期が早まつた (fig. 2-T<sub>5</sub>(P<sub>3</sub>)).

#### 4. 水温と気温による出穂期の変動

7葉期処理 (T<sub>2</sub>), 9葉期処理 (T<sub>3</sub>) および10葉期処理 (T<sub>4</sub>) について, 昼水温と昼気温および夜水温と

Table 5. Coefficients of regression equations for the heading dates depended on water-temperatures.

Coefficients <sup>1)</sup>	T <sub>1</sub> <sup>2)</sup>			T <sub>2</sub> <sup>2)</sup>		
	P <sub>1</sub> <sup>3)</sup>	P <sub>2</sub> <sup>3)</sup>	P <sub>3</sub> <sup>3)</sup>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
b <sub>00</sub>	34.742	35.631	36.000	35.259	34.927	35.221
b <sub>10</sub>	- 0.222	- 0.998**	- 0.892**	- 0.555	- 0.667*	- 1.443**
b <sub>01</sub>	- 0.333	- 1.000**	- 1.335**	- 1.557**	- 1.722**	- 2.057**
b <sub>20</sub>	0.036	0.371**	0.222	0.073	0.297	0.222
b <sub>02</sub>	0.038	- 0.074	- 0.112	0.074	0.352	0.056
b <sub>11</sub>	0.335	- 0.083	0.418	- 0.583	0.665	0.250
Error <sup>4)</sup>	(0.362)			(0.572)		

Note: <sup>1)</sup> b<sub>00</sub>; Mean value of heading dates. See table 3.

b<sub>10</sub>; Linear regression coefficient of daytime water temperature.

b<sub>01</sub>; Linear regression coefficient of nocturnal water temperature.

b<sub>20</sub> and b<sub>02</sub>; Quadratic regression coefficients of daytime and nocturnal water temperatures.

<sup>2)</sup> See table 1.

<sup>3)</sup> P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> and P<sub>3</sub>; 3, 6 and 9 days treatment, respectively.

<sup>4)</sup> (Error variance).

Table 6. Coefficients of regression equations for the heading dates depended on air-temperatures.

Coefficients <sup>1)</sup>	T <sub>2</sub> <sup>2)</sup>			T <sub>5</sub> <sup>2)</sup>		
	P <sub>1</sub> <sup>3)</sup>	P <sub>2</sub> <sup>3)</sup>	P <sub>3</sub> <sup>3)</sup>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
b <sub>00</sub>	35.258	34.926	35.221	39.370	40.110	40.888
b <sub>10</sub>	0.000	- 0.612	- 1.333**	- 0.110	- 0.667**	- 0.778**
b <sub>01</sub>	- 1.388**	- 2.112**	- 2.778**	- 0.167	- 1.223**	- 1.778**
b <sub>20</sub>	- 0.148	0.239	0.332	- 0.037	0.000	0.001
b <sub>02</sub>	- 0.093	- 0.481*	0.001	- 0.093	0.110	0.111
b <sub>11</sub>	- 0.085	- 0.748	- 0.085	- 0.080	0.000	- 0.085
Error <sup>4)</sup>	(0.572)			(0.203)		

Note: <sup>1)</sup> b<sub>00</sub>; Mean value of heading dates. See table 4.

b<sub>10</sub> and b<sub>01</sub>; Linear regression coefficients of daytime and nocturnal air temperatures.

b<sub>20</sub> and b<sub>02</sub>; Quadratic regression coefficients of daytime and nocturnal air temperatures.

<sup>2)</sup> See table 1.

<sup>3)</sup> See table 5.

<sup>4)</sup> (Error variance).

夜気温が出穂期の変動に及ぼす影響を、前項迄と同様の方法で別に検討した。その結果、これら両者による等出穂期線は両者の平均温度線とほぼ平行な直線となり、両者の最適較差の存在は明かではなかつた。

##### 5. 主稈葉数の変動

処理区間で主稈葉数が明かに変動したのは7葉期処理 (T<sub>2</sub>) のみであり、昼夜別気・水温の各々が最も低

い区での葉数が特に多く、高温ほど少なくなり、処理区間には最大で1.0葉の差があつた。

##### 考 察

松島・真中<sup>5)</sup>に従えば、本報の7葉期処理 (T<sub>2</sub>) は第一苞始原体分化期の約10日前、9葉期処理 (T<sub>3</sub>) は第一苞始原体分化期頃、10葉期処理 (T<sub>4</sub>) は第一次枝

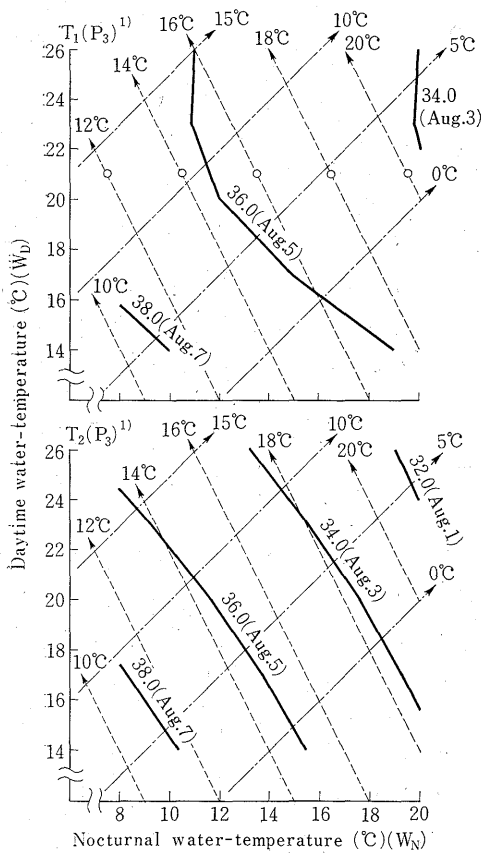


Fig. 1. Water-temperature effect on the heading date.

Note: <sup>1)</sup> See tables 1 and 5.

<sup>2)</sup> -----; Mean water-temperature.

— — —; The difference between  $W_D$  and  $W_N$ .

○; Earliest point of the heading date on the same mean water-temperature.

——; Contour line of the heading date.

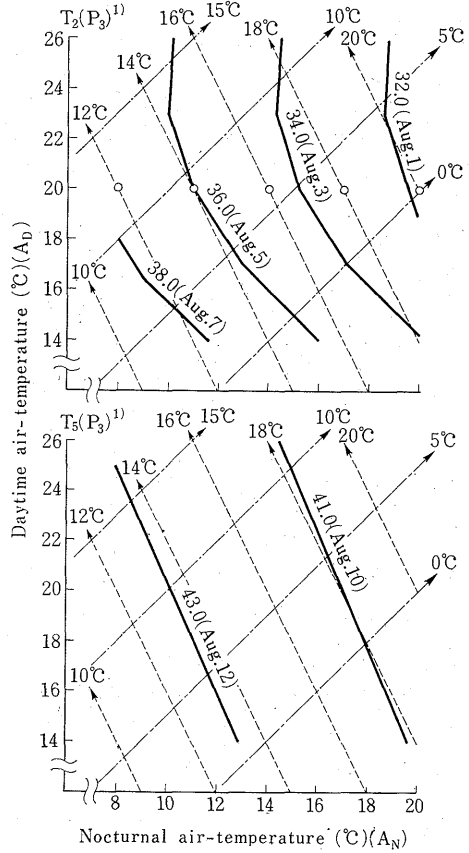


Fig. 2. Air-temperature effect on the heading date.

Note: <sup>1)</sup> See tables 1 and 5.

<sup>2)</sup> -----; Mean air-temperature.

— — —; The difference between  $A_D$  and  $A_N$ .

○; Earliest point of the heading date on the same mean air-temperature.

——; Contour line of the heading date.

梗始原体分化初期, 止葉期処理 ( $T_5$ ) は減数分裂期頃からの処理に相当する。これを考慮しながら, 以下の考察を行なう。

### 1. 処理時間間の比較

水温と気温の効果: 出穂期の変動に対して  $T_1$  では水温のみ,  $T_2, T_3$  および  $T_4$  では水温と気温,  $T_5$  では主として気温が有意であった。松島ら<sup>6)</sup>も水深 3 cm で 15 日程度の処理を行ない, 活着期から分けつ初期までの処理開始区は水温のみ, 穂首分化期から穎花分化中期頃迄の処理開始区は水温と気温, さらに止葉期頃からの処理開始区は気温のみが出穂期の変動に影響

することを認めている。このことは既に指摘されているように<sup>2, 6, 11)</sup>, 通常, 少なくとも穎花分化期頃迄は生長点の位置が水面下にあるためと考えられる。

出穂期の変動の大きさ: 各処理区間の最大の出穂期差は,  $T_1$  と  $T_5$  では約 5 日,  $T_2, T_3$  および  $T_4$  では約 8 日であつたが, 処理終了後の管理条件に若干の差があつたのでこれらの差の絶対値を直接比較することは差控える。しかし,  $T_2$  では処理日数 3 日でも出穂期の変動が明かに認められ, 処理日数が長くなると高気温で出穂が促進されるなど, 温度に最も敏感な時期と考えられる。穂首分化期の直前, すなわち止葉分

化期頃(標準区の出穂前 35~45 日頃)からの低気温・水温処理によつて最も出穂が遅延し、処理時期がその前後に離れると出穂遅延の程度が小さくなることは多くの実験で認められている<sup>1,3,4,6,9,10,11</sup>。T<sub>2</sub>では、処理期間中の温度による生育の差に加えて、低温ほど主稈葉数が増加したことによつて出穂期の変動が大きくなった。松島ら<sup>6</sup>および角田<sup>11</sup>は気温・水温および水温だけを 15°~16°C から 36°~40°C の範囲とし、各生育時期に 15~30 日間の処理を行ない、穂首分化期以前の処理では 30°C 附近が最も主稈葉数を増加させるが、葉数の増加以上に葉速度が早まるので出穂期が最も早まるとしている。これは処理温度の範囲、品種、処理日数、処理後の温度管理などの諸条件が本実験と異なることによるものであろう。

## 2. 昼夜別水温の効果と最適値

昼・夜水温の効果比較：出穂期の昼水温(W<sub>D</sub>)と夜水温(W<sub>N</sub>)に対する回帰式(table 5)の1次項の係数の大きさから、昼・夜時間比1対2を考慮すると、移植直後処理(T<sub>1</sub>)では各処理日数ともW<sub>D</sub>がW<sub>N</sub>よりも出穂促進効果が大きかつた。これは光効果や温度と光の交互作用の存在を暗示する。7葉期処理(T<sub>2</sub>)では処理日数が短いとW<sub>N</sub>の効果が相対的に大きく、処理日数が長いと逆にW<sub>D</sub>の効果が相対的に大きくなる傾向があつた。しかし、等出穂期線(fig. 1—T<sub>2</sub>(P<sub>3</sub>))は昼夜平均水温線と巨視的には平行しているので、W<sub>D</sub>とW<sub>N</sub>の出穂促進効果は大差がないと考えられる。角田<sup>11</sup>もほぼ同様な結果を得ている。

水温の最適値：T<sub>1</sub>では、各処理日数とも、同一平均水温での最も早い出穂期はW<sub>D</sub>が21°C付近にあつた(fig. 1—T<sub>1</sub>(P<sub>3</sub>))。全体の最早出穂期は本実験の範囲外となるが、W<sub>D</sub>とW<sub>N</sub>がともに21°~22°C付近にあると推察される。この温度は根と地上部の伸長状態からみて活着に最も適していると考えられた。出穂期の促進に対する昼・夜水温の最適較差は昼夜平均水温が低いほど大きかつた。ただし、較差効果そのものは比較的小さく、0.5~1.0日程度であつた。松島ら<sup>6</sup>および角田<sup>11</sup>は、移植直後の処理では水温が30°~31°C付近で最も出穂が早まるとしており、本実験の結果より約10°Cも高い。しかし、実験条件に前項であげたような差があるので、直接対比することはできない。昼・夜水温の較差効果については、角田<sup>11</sup>も本実験とほぼ同様な結果を得ている。

## 3. 昼夜別気温の効果と最適値

昼・夜気温の効果比較：出穂期の昼気温(A<sub>D</sub>)と夜気温(A<sub>N</sub>)に対する回帰式(table 6)の1次項の係

数から、昼・夜時間比1対2を考慮すると、7葉期処理(T<sub>2</sub>)では処理日数(P)が短いとA<sub>N</sub>の方が効果が大きく、Pが長いとA<sub>D</sub>とA<sub>N</sub>は同程度の効果となり、水温の場合と同傾向であつた。なお、T<sub>2</sub>では交互作用A<sub>D</sub>×Pが有意となり(table 2)、また気温、水温によつて主稈葉数が明かに変動したことから、この時期の高温は穂首分化を促進して葉数を減少させ、逆に低温は穂首分化を遅延させて葉数を増加させるものと推察される。この時期の生長点の位置は未だ水面下にあるのに、気温が葉数の増減と出穂期の変動に影響することは興味深い。これは、村田<sup>7</sup>が水稻葉の光合成が20°C以下では相当に低下するとしていることと関連があると考えられる。松島ら<sup>6</sup>も、穂首分化期直前からの処理では気温、水温がともに出穂に強く影響する、としている。9葉期以後の処理(T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>およびT<sub>5</sub>)では、処理日数に拘らず、A<sub>D</sub>とA<sub>N</sub>の効果は同程度で、主稈葉数も殆んど変動しなかつた。

気温の最適値：T<sub>2</sub>では、処理日数9日間の場合に等出穂期線が曲線となり、同一平均気温での最も早い出穂期は、A<sub>N</sub>の高低に拘らず、A<sub>D</sub>が20°C付近にあり、全体の最早出穂期はA<sub>D</sub>とA<sub>N</sub>の組合せが20°Cと22°C付近にあると推察される(fig. 2—T<sub>2</sub>(P<sub>3</sub>))。従つて、昼・夜気温の最適較差は昼夜平均気温が低いほど大きくなつた。これは、昼夜平均気温が同一ならば、夜気温が下つても昼気温が適温に近い方が出穂を促進させることを意味する。ただし、その促進効果は多くても1.0日程度である。松島ら<sup>6</sup>は、この時期の処理では気温31°Cが出穂を最も促進する結果を得ているが、前述の理由によつて、本実験の結果と直接の対比はできない。T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>およびT<sub>5</sub>では、等出穂期線が昼夜平均気温線と殆んど平行し、最適較差の存在は明かではなく、全体の最早出穂期は本実験の範囲外の高温になると考えられた。

## 4. 水温と気温の効果比較

7葉期処理(T<sub>2</sub>), 9葉期処理(T<sub>3</sub>)および10葉期処理(T<sub>4</sub>)において、夜気温(A<sub>N</sub>)と夜水温(W<sub>N</sub>)の交互作用が1%水準で有意となつた(table 2)。そこでA<sub>N</sub>とW<sub>N</sub>が出穂期の変動に及ぼす影響を、処理日数9日間の場合について別に比較検討した。その結果、A<sub>N</sub>とW<sub>N</sub>の平均温度が同一の場合の最早出穂期は、T<sub>2</sub>ではA<sub>N</sub>がW<sub>N</sub>よりも約3°C高い所、T<sub>3</sub>では両者がほぼ同温度の所、T<sub>4</sub>ではW<sub>N</sub>がA<sub>N</sub>よりも約4°C高い所にあつた。この結果は、処理時期が遅くなるほど地上部の生長の最も旺盛な部分の位置が上

昇することと矛盾しているように思われる。これは、本実験の場合、昼間温度を夜間温度よりも全体的に高く設定したので、 $W_N$  が  $8^\circ\text{C}$  の処理区は夜から昼への切換え直後の約1時間、葉からの蒸散と根からの吸水とのバランスが崩れて葉の萎凋が起り、それが生育の旺盛な  $T_4$  で顕著であつたことによると推察される。夜温度から昼温度への切換えの際、気温は約15分、水温は約70分を要したからである。しかし、 $T_2$ 、 $T_3$  および  $T_4$  とともに、 $A_N$  と  $W_N$  の温度差が出穂に及ぼした効果は最大0.5日程度であり、 $A_N$  と  $W_N$  の平均温度線と等出穂期線とは巨視的には平行であつたので、 $A_N$  と  $W_N$  とが出穂期の変動に及ぼす効果は大差ないものと判断される。

以上、水稻生育の各時期における水温、気温と出穂期の変動について考察したが、本報は北海道の稲作期間に実際に起り得る範囲の昼夜別気温・水温と処理日数についてのものである。温度、処理日数、品種などを変えた場合には若干異なる結果も予想される。例えば、道内品種間でも、温度による出穂期の変動の大きさに差のあることが著者らの別な実験で確かめられている。しかし、生育時期別に最も影響の大きい要因の種類や出穂期の変動の最も大きくなる生育時期には大差がないようである。北海道の穂作期間には、移植直後から出穂直前に至るまで、出穂を大きく遅延させるような低温の出現が少なくないので、この遅延を最小限に止めるための諸技術の開発が極めて重要である。

### 摘 要

1. 人工気象箱を用い、昼・夜時間をそれぞれ8時間、16時間とし、昼の気・水温を  $26^\circ$ 、 $20^\circ$  および  $14^\circ\text{C}$ 、夜の気・水温を  $20^\circ$ 、 $14^\circ$  および  $8^\circ\text{C}$ 、処理日数を3、6および9日とした組合せ実験（5因子、3水準、1/3実施、1ブロック）を行ない、出穂期の変動に及ぼす各要因の効果を検討した。供試水稻品種は「栄光」（遅延型耐冷性弱）で、処理開始は移植直後（ $T_1$ ）、7葉期（ $T_2$ ）、9葉期（ $T_3$ ）、10葉期（ $T_4$ ）および止葉期（ $T_5$ ）であつた。

2.  $T_1$  では水温の効果のみが認められ、 $T_2$ 、 $T_3$  および  $T_4$ （穂首分化期の約10日前以降）では水温と気温に同程度の効果が認められ、 $T_5$  では気温の効果が大きく、水温の効果は殆んど認められなかつた。

3. 出穂期の処理区間での変動は、 $T_2$ 、 $T_3$  および  $T_4$  ではいづれも約8日、 $T_1$  と  $T_5$  では約5日であつた。 $T_2$  では、処理日数が3日でも出穂期の変動が起

り、出穂遅延の起つた区の主稈葉数が増加し、温度に最も敏感な時期であつた。

4.  $T_1$  では昼・夜水温とも  $21\sim 22^\circ\text{C}$  付近、 $T_2$  では昼・夜気温の組合せが  $20^\circ\text{C}$ 、 $22^\circ\text{C}$  付近に全体の最早出穂期があると推察された。これらの場合に、同一平均温度での最も早い出穂期は、夜温の高低に拘らず、昼温が一定の所にあつた。従つて、出穂促進に対する昼・夜温の最適較差は昼夜平均温度が低くなるほど大きくなつた。しかし、これらの較差効果は比較的小さく、 $0.5\sim 1.0$  日程度であつた。他の処理時期では、水温気温とも等出穂期線と昼夜平均温度線とはほぼ平行となり、平均温度が高いほど出穂が促進され、最適較差の存在は明かではなかつた。

### 引用文献

1. 福家 豊・近藤頼己 1939. 水稻の冷害現象に関する実験的研究. 第1報 寡照低温による生育障害. 農及園 **14**: 2049—2060.
2. 長谷川浩 1959. 水稻の出葉速度と土壌温度. 農及園 **34**: 1795—1798.
3. 木戸三夫 1941. 水稻の幼穂発育並に節間伸長と冷水掛流による稔実障害及び出穂遅延 [1]. 農及園 **16**: 1463—1466.
4. ———— 1941. 同上 [2]. 農及園 **16**: 1605—1608.
5. 松島省三・真中多喜夫 1956. 水稻幼穂の発育経過とその診断. 農業技術協会, 東京.
6. 松島省三・田中孝幸・星野孝文 1964. 稲作には水温と気温のいづれが大切か [2]. 農及園 **39**: 1041—1046.
7. 村田吉男 1961. 水稻の光合成とその栽培学的意義に関する研究. 農技研報 **D9**: 1—169.
8. 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎 1970. 時期別の気温・水温処理が水稻の生育に及ぼす影響. 第1報 昼夜別気温・水温および処理日数と不稔歩合との関係. 日作紀 **39**: 401—408.
9. 田中 稔 1962. 水稻の冷水被害並びに出穂遅延障害に関する研究. 青森農試研報 **7**: 1—107.
10. 寺尾 博・大谷義雄・土井弥太郎・泉 清一 1941. 水稻冷害の生理学的研究 (予報). [VIII] 挿秧より出穂に至る各期よりの各種低温の幼穂分化・出穂・稔実に及ぼす影響. 日作紀 **13**: 317—336.
11. 角田公正 1964. 水温と稲の生育・収量との関係に関する実験的研究. 農技研報. **A11**: 75—174.



## Effects of Air-Temperature and Water-Temperature at Each Stage of the Growth of Lowland Rice

### II. Effect of air-temperature and water-temperature on the heading date

Masahiro SHIBATA\*, Kazuo SASAKI\*\* and Yoshiro SHIMAZAKI\*\*

(\*Hokkaido National Agricultural Experiment Station, Sapporo, Hokkaido

\*\*Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Asahigawa Hokkaido)

#### Summary

Growing the rice plants under various conditions of some possible combinations of daytime air-temperatures ( $A_D$ : 26, 20 and 14°C), the daytime water-temperatures ( $W_D$ : 26, 20 and 14°C), the nocturnal air-temperatures ( $A_N$ : 20, 14 and 8°C), the nocturnal water-temperatures ( $W_N$ : 20, 14 and 8°C) and the number of days of treatment ( $P$ : 3, 6 and 9 days), the authors examined their main effects and interactions on the heading date. The rice variety "Eiko" was used.

The daytime was settled for eight hours from 9.00 a.m. to 5.00 p.m. and the night-time was settled for sixteen hours from 5.00 p.m. to 9.00 a.m. of the next day. The water was kept four cm. in depth above the soil surface in pots. The experimental design was  $3^5$  factorial in 81 units (1/3 replicate) with one block and defining contrasts  $1 = A_D W_D A_N W_N P$ .

The results were summarized as follows;

1. At the fourth leaf stage ( $T_1$ ; the transplanting time), the main effects of  $W_D$ ,  $W_N$  and  $P$  were significant at 0.1% level and all the other were not significant (table 2). And regardless of the difference of  $W_N$ , it was inferred that  $W_D$  of 21°C hastened the heading date (fig. 1— $T_1$  ( $P_3$ )).

2. At the seventh leaf stage ( $T_2$ ; about ten days before the differentiating stage of first bract primordia), the main effects of  $A_D$ ,  $W_D$ ,  $A_N$  and  $W_N$  and the two-factor interactions of  $A_D \times P$ ,  $A_N \times W_N$  and  $A_N \times P$  were significant. The contour lines of each date of heading based on  $W_D$  and  $W_N$  were almost straight and parallel with the line of mean water-temperature for nine days treatment (fig. 1— $T_2$  ( $P_3$ )). On the other hand, the contour lines of each date of heading based on  $A_D$  and  $A_N$  were curved. And regardless of the difference of  $A_N$ , it was inferred that  $A_D$  of 20°C hastened the heading date (fig. 2— $T_2$  ( $P_3$ )). Moreover,  $T_2$  was considered to be the most sensitive stage to temperature, because the heading date and the total leaf number on the main stem were most variable by both air- and water-temperature among all the treatment stages.

3. At the stages of nine leaves ( $T_3$ ; the differentiating stage of first bract primordia) and ten leaves ( $T_4$ ; the middle differentiating stage of primary branch primordia), the main effects of each factor and their interactions were similar to those of  $T_2$ , but the strengths were weaker than those of  $T_2$  (table 2, 3 and 4).

4. At the thirteenth leaf (flag leaf) stage ( $T_5$ ; the stage of reduction division of pollen mother cells), the main effects of  $A_D$ ,  $A_N$  and  $P$  and the two-factor interaction of  $A_N \times P$  were significant greatly (table 2). The contour lines of each date of heading based on  $A_D$  and  $A_N$  were almost straight and parallel with the line of mean air-temperature (fig. 2— $T_5$  ( $P_3$ )).