冷温条件と水稻の不稔発生との関係 についての一考察

内 島 立 郎
(北海道農業試験場・農業物理部)

Some Aspects of the Relation Between Low Air Temperature
and Sterile Spikelets Numbers in Rice Plants

Tatsuro UCHIJIMA

(Hokkaido Nat. Agr. Exp. Station, Hitsujigaoka, Sapporo)

1. ま え が き

穂ばらみ期の冷温と不稔発生の関係については、榎本 (1933)、酒井 (1937)、柿崎・木戸 (1938)らの研究以来、多くの実験研究が行われ、昭和30年代以降は人工気象室の活用によって、多様な冷温条件下の実験が報告されている (松島ら: 1958, 島崎ら: 1964, 阿部ら: 1964, 檜淵ら: 1970, 1974, 柴田ら: 1970, 伊藤: 1971)。これらをまとめた佐竹 (1971)の総説によれば、不稔に影響しはじめの限界温度は、一定冷温の場合、耐冷性強の品種で15~17℃、耐冷性弱の品種で17~19℃前後であり、不稔発生程度は冷温の程度と持続時間、稲体の前歴、後歴に関係し、また夜温が相当強度の冷温でも昼温が高い場合は不稔発生が軽減されるといわれている。しかし、実際にいろいろの気温条件下の不稔発生を推定しようとする場合、上記の結果から限界気温を帰納することは容易ではない。その理由のひとつは、実際の圃場に現われる冷温や持続時間はきわめて不規則であり、上記のような実験で設定された冷温条件と著しく異なるためと考えられる。もし、さまざまな冷温条件をひとつの気温指標で表わすことができるならば、実験結果を実際圃場の不稔現象に適用する道が開けるものと考えられる。本報ではこの気温指標として冷却量を考え、柴田ら (1970)の実験データについて検討した結果、良好な結果を得たので報告する。

貴重な実験結果の使用を快諾いただいた当场柴田和博稲第1研究室長、ならびに有益な御助言をいただいた佐竹徹夫稲第3研究室長、鳥山国土博士、小沢行雄博士に御礼申し上げる。

2. 冷却量からみた不稔発生

冷温条件を表わす場合、ふつう最高気温、最低気温あるいは昼温、夜温、それらの平均気温、冷温持続時間などの気温指標が用いられる。この方法では各要素の組合せが多数生じて、それと不稔発生との関係を示した場合、結果の定量化が甚だ困難になる。したがって冷温条件をひとつの指標によって表わす工夫が必要になるが、ひとつの方法として冷却量 (仮称) が考えられる。

いま、ある時の気温を θ_i とし、生育適温または不稔障害が生じない温度を θ_s とすると、 $\theta_s > \theta_i$ の場合は作物が何らかの冷却をうけ、生育に対して負作用をうけていると考えられる。 $\theta_s - \theta_i$ を冷却度とよぶと、ある期間の冷却量 Q は

$$Q = \sum (\theta_s - \theta_i) \quad (1)$$

と考えることができる。 $\theta_s < \theta_i$ の場合は計算に加えない。

第1表は柴田ら (1970)の実験結果から、減数分裂期の冷温処理条件と不稔発生の値を借用したものである。人工気象室を利用したこれまでの実験では、もっとも多くの処理条件を設定して行われた結果とみられる。この表から昼温、夜温がそれぞれ低くなるほど不稔が増大し、同じ温度条件では処理日数が長いほど不稔が増す傾向が知られるが、これを冷却量との関係で整理すると以下のようなになる。

1) 低温デグラアワーと不稔発生との関係

不稔障害が生じない限界気温を仮に $\theta_s = 20^\circ\text{C}$ とし、ある日 (j) のある時刻 (i) の気温を θ_{ij} とすると、1日の冷却量は $\sum_{i=1}^{24} (20 - \theta_{ij})$ で表わされ、処理期間 (N) の総冷却量 (Q') は、

$$Q' = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{24} (20 - \theta_{ij}) \quad (2)$$

表 1 減数分裂期の冷温処理と不稔歩合

(柴田ら：1971より一部抜萃)

処 理 数	日	昼 温 ℃	夜 温 ℃	不 稔 歩 合 %	Q' ℃,hr	Q^*
3	26	20	20	2.2	0	0
			14	8.2	288	6
			8	11.6	576	18
	20	14	20	4.2	0	0
			14	7.3	288	12
			8	15.5	576	24
	14	14	20	5.9	144	6
			14	11.2	432	18
			8	23.0	720	30
6	26	20	20	3.7	0	0
			14	6.4	576	12
			8	22.5	1152	36
	20	14	20	6.1	0	0
			14	6.6	576	24
			8	28.0	1152	48
	14	14	20	7.0	288	12
			14	25.8	864	36
			8	74.8	1440	60
9	26	20	20	4.4	0	0
			14	12.1	864	18
			8	48.8	1728	54
	20	14	20	7.4	0	0
			14	14.4	864	36
			8	52.5	1728	72
	14	14	20	12.9	432	18
			14	41.3	1296	54
			8	76.0	2160	90

品種：栄光，処理時間：夜温 16 時間，昼温 8 時間

* は筆者の計算

ただし、 $20^{\circ}\text{C} < \theta_{ij}$ の場合は計算から除く。つまり Q' は 20°C を基準にしたデグリーアワーを示し、昼夜温の組合せに関係なく作物が受ける冷却量の大小を示すことになる。処理条件から求めた Q' を 1 表に示したが、不稔歩合との関係は図 1 のようになる。実験データが傾向線の上にすべての点ではないが、ある幅を考えると両者に比例関係があるとみられよう。すなわち、昼夜温の組合せや較差の大小、処理時間の長短など、多様の処理条件の結果にもかかわらず、不稔の発生程度は冷却量の大きさに影響されているように考えられる。6 日処理 14~8 $^{\circ}\text{C}$ 区の不稔歩合 (図の破線内の点) は、ほかの傾向からみて大きすぎるようであるが理由はわからない。

2) 日平均気温の冷却度と不稔発生との関係

前項でみたように、デグリーアワーを冷却量として冷温条件と不稔発生の定量的解析ができる。しかし図 1 の結果やその他の例について調べてみると、必ずしも精度がよくない。その理由は松島ら (1958)、島崎ら (1964) が指摘したように、夜温が強度の冷温であっても昼温が高い場合は不稔が軽減されるためと考えられる。つまり、同じデグリーアワーを示しても昼間の気温の高低で不稔発生への影響が異なるためであろう。冷却度を表わす気温指標には、昼夜の温度に関連するものが必要になる。この場合もっとも簡単な指標は日平均気温 ($\theta_0 = \Sigma \theta_i / 24$) である。

(2) 式の θ_{ij} を θ_{0j} におきかえると、この場合の冷却量は

$$Q = \sum_{j=1}^N (20 - \theta_{0j}) = (20 - \bar{\theta}_0) N \quad (3)$$

ただし、 $\bar{\theta} = \Sigma \theta_{0j} / N$ で表わされる。表 1 に Q の計算値を示したが、これと不稔発生との関係は図 2 のようにな

図 1 冷却量 (デグリーアワー) と不稔歩合との関係
○：昼温 26 $^{\circ}\text{C}$ ，●：同 20 $^{\circ}\text{C}$
●：同 14 $^{\circ}\text{C}$

図 2 冷却量と不稔歩合との関係
○：昼温 26 $^{\circ}\text{C}$ ，●：同 20 $^{\circ}\text{C}$
●：同 14 $^{\circ}\text{C}$

る。先に指摘した不稔歩合の異常に大きい1例を除くと、全処理条件を通じて Q と不稔発生の関係は、デグリーフワーの場合よりよい一致を示す。すなわち、不稔歩合 R は

$$R = 6.0 + 0.21Q + 0.007Q^2 \quad (4)$$

で近似される。図3は(4)式の Q を平均日冷却度($20 - \bar{\theta}_0$)と冷却日数(N)の関係で表わし、実際の不稔歩合を記入したものである。不稔歩合のうち前後の傾向からみて疑問の数値を()で示したが、実験条件の微細な変化でも変動しやすい不稔歩合を表わすものとしては、計算値はおおむね実態を示していると考えられる。このことは27通りの多様な冷温条件で発生させた不稔歩合の相違が、昼夜温や較差の違い、処理日数の違いではなく、冷却量の違いとしておおむね説明できることを示しており、(3)式のような冷却量を冷温の指標とすれば、不稔歩合の推定が、より精度よく定量化できる可能性を示している。

図3 平均冷却度、冷却日数と不稔歩合との関係 (図中の数値は不稔歩合)

3. 考 察

減数分裂期の冷温条件と不稔発生の関係について、松島ら(1958)は昼温(9.5時間)21℃、夜温(14.5時間)16℃の場合の不稔発生が50%なのに対し、同じ夜温でも昼温が31℃の場合の不稔は8%にすぎないことを示し、島崎ら(1964)は13℃連続冷温処理では1日処理で不稔が出はじめるが、[夜間12時間13℃+昼間12時間適温(20~30℃)]の断続冷温処理では、8日間処理でも不稔が著しく少ないことを示している。また伊藤(1971)は冷温処理による不稔発生が、その前あるいは後の弱い

冷温処理で明らかに助長されることから、冷温の前歴、後歴の重要性を指摘している。これらのことは、不稔発生に対して昼、夜、前後歴の温度の影響が異なることを示すようにも考えられるが、(3)式の冷却量で処理条件を考えてみると、不稔の差は昼夜の温度というよりも処理期間の冷却量の差と連続的關係があることがわかる。このような冷却量と不稔発生量との関係は、多くの実験例で共通的にみられるので、冷却量は冷温条件を表わす定量的指標として役立つように考えられる。しかし、両者の関係を個々の例について比較すると、冷却量に対する不稔発生量が異なり、図2のような関係曲線も著しく異なっている。減数分裂期の温度反応は、品種、栽培条件で著しく変化するといわれているが、同一品種でも年次によって異なる例がみられることは、冷却量の対象とする期間のとり方、生育時期の違いによる冷温反応程度の違い、日射の有無による体温の相違などを考慮してみる必要がありそうである。

冷却量の考え方は三原(1962)が水稻冷水被害率の解析に導入し、各地の調査結果から冷水被害率がかんがい水の冷却量、すなわち用水温の冷水度とかん水量の積に比例することを示している。冷却量は冷温条件の違いを量的に表わす手法であり、冷低温害の解析に活用すべき指標におもわれる。(3)式は基準温度 θ_s を20℃としたが、この値は品種や地域によって選択が必要になろう。また、この場合の平均冷却度を示す($20 - \bar{\theta}_0$)は日平均気温の関数であるから、気温日変化がSinカーブのとき、他の気温要素との関係は図4のように表わされる。この図から冷却度が小さくなる条件を考えると、最高気温が

同じなら最低気温の高い方が、最低気温が同じなら最高気温が高く日較差が大きい方がよく、日平均気温が同じならば最高、最低気温の組合せおよび日較差の大小とは関係ないことになる。図4の関係は、最高気温が高ければ最低気温はいくら低くてもよいことになるが、これには限界があり、短時間でも致命的な障害をもたらす最低気温の限界は別に決められるべきであろう。

4. あとがき

2, 3の結果の考察をもとに、主として冷温条件の考え方について述べたが、冷却量が不稔歩合の指標に利用できると、被害解析や危険度判定が容易になる。各地の実態についての検討が望まれる。また減数分裂期の不稔障害ばかりでなく、出穂遅延や登熟不良についても冷温の指標となりえないものであろうか、検討を要する問題である。

引 用 文 献

- 1) 阿部玄三・鳥山国土・東山春紀・小野清治, 1964: 青森県における冷害危険度の推定に関する研究, 第2報, 冷害減収量の推定尺度とその応用. 農業気象 **19** (4), 133-139.
- 2) 伊藤延男, 1971: 障害型冷害における前歴, 後歴の影響. 日作紀, **40** (別2), 95-96.
- 3) 櫛淵欽也・和田純二・浪岡 実・中川宣興・金沢俊光, 1970: 水稲冷害の実際的研究, 第32報, 低温障害に及ぼす気温較差の影響について. 東北の農業気象, **15**, 27-30.
- 4) 櫛淵欽也ほか9, 1974: 人工気象室の利用による水稲の耐冷性に関する研究. 指定試験育種第7号, 農林水産技術会議, 1-300.
- 5) 松島省三・角田公正・真中多喜夫, 1958: 水稲の登熟に及ぼす生育各期の気温, 日射及び気温較差の影響. 農及園, **33** (6), 887-883.
- 6) 三原義秋, 1962: 冷水かんがい田の水温水量と稲の被害に関する調査研究. 日本農業気象学会.
- 7) 佐竹徹夫, 1971: 障害型冷害におけるイネの雄性不稔, (1). 農及園, **46** (11), 1534-1538.
- 8) 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎, 1970: 時期別の気温, 水温処理が水稲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** (4), 401-408.
- 9) 島崎佳郎・佐竹徹夫・渡辺 潔・伊藤延男, 1964: 穂ばらみ期の昼夜温ならびに遮光処理が不稔粒発生におよぼす影響 (水稲冷害の解析的研究, IV). 北農試彙報, **83**, 10-16.