小麦の冷害に関する研究

第10報 開花期前後の低温による稔実障害の人為的作成実験*

戸 田 正 行

(長野県農業試験場)

長野市川中島町ほか数カ所で発生した小麦の稔実異常現象は、実態調査の結果、開花期前後の低温（0℃に近いプラスの低温）に起因するであろうと推論された²⁾。本報はこの推論を実験的に確かめたものである。

実験材料および方法

実験は3年間にわたって同様な材料および方法で行なわれ、合計46ヶの1/2000aポットが使用された。当場の標準耕種法によつて圃場で育てた小麦品種ミクニコムギを出穂直前にポットに鉢上げし（方法は本研究第2報¹⁾参照のこと）、戸外に置いて時々給水した。1ポット内の穂数は15～30本、平均約20本であつた。毎日午前9時に開花調査を行ない、開花を始めた穂に日付を表わす色別毛糸をつけ、低温処理日におけるポット内各穂の発育状態を開花始前日数または開花始後日数で表現できるようにした。実験に用いた穂は開花始前4日（-4と書く）から開花始後14日（+14と書く）の穂であつた。低温処理の開始時刻は午前9時、処理温度は+1℃、0℃、-0.5℃、-1℃、-2℃、処理時間は5時間と8時間、前処理は低温処理直前に植物体全体に水を噴霧した場合としない場合の2種類とした。低温器内の温度のふれは、穂の在る位置で±0.5℃であつた。処理後は再び戸外に置いて時々給水した。各種被害粒の定義は前報²⁾に示したとおりである。なお被害粒の大きさも前報²⁾と同様に、正常粒では開花後何日の粒に相当するかで表現した。

結 果

1. 自然界で発生した被害と人為的に作成した被害との比較

-0.5℃または-1℃、5時間、水噴霧の処理条件で作成した被害の様相をみると、被害茎の稈長や穂長は無処理茎のそれらと差異がなく（第4表）、被害をうけた穂や茎葉の色は暗緑色を呈した。また開花始後1～8日の穂を低温処理して得られた被害穂の内部に

は、第3表+1～+8の穂に示されるように、種々の大きさの秕粒が多く存在し、しかもその大きさは正常穂における正常粒の発育順序（穂の中央部分の第1小花が最も発育が進み、穂の上部や下部、第2小花や第3小花ではそれより発育がおくれること）とかなりよく一致しており、かつこれら秕粒間に正常粒やしわ粒・凹粒が無規則的に混在していた。以上の様相は前報²⁾で報告した長野市川中島町の被害の実相とよく一致している。

2. 処理条件と被害率との関係

開花始後0～7日の発育時期にあつた合計247穂を材料として、処理温度+1℃、0℃、-0.5℃、1℃、-2℃、処理時間5時間、8時間、前処理として水噴霧、無噴霧を組合せて実験した結果が第1表に示されている。この表から処理温度が低いほど、処理時間が長いほど被害が大きいくことがわかる。また処理直前に植物体全体に水を噴霧すると-0.5℃で30～40%の被害穂を作成できるのに、無噴霧では-2℃ではじめて同程度の被害を作りうるということがわかる、すなわち同程度の被害を作るのに両区間に1.5℃の温度差がある。つぎに+1℃、0℃の温度では8時間、水噴霧の処理条件でも被害を作成できず、-0.5℃ではじめて若干の被害を作成でき、かなりの被害の作成には-1℃の低温が必要であつた。

3. 開花始前後日数と被害率との関係

開花始前4日から開花始後14日までの穂を-1℃、5時間、水噴霧の処理条件で実験した結果が第2表に示されている。この表の被害穂率（1粒でも被害粒があれば被害穂とした）と被害粒率をみると、開花始前2～4日ではそれぞれ0%と0%、開花始前1日では38%と12%、開花始後0～14日では47～87%と30～70%である。したがつて開花始以後の穂は低温に対して弱く、開花始以前の穂は強いといえる（ただし実験の範囲内の穂）。

4. 開花始前後日数と被害粒の種類との関係

第2表から、秕粒は開花始前1日から開花始後9日

* 昭和47年2月14日受理

第1表 処理条件と被害発生との関係

前処理条件 水 噴 霧 無 噴 霧			(処理温度 °C)		1		0		-0.5		-1		-2	
			処理時間 h		5		8		5		8		5	
水 噴 霧			0	0	0	0	31	38	68	87	94	100		
無 噴 霧			0	0	0	0	0	0	0	0	33	47		

註：表中の数字は被害穂率 (%)

第2表 開花始前後日数と被害発生との関係

開 花 始 前後日数 (日)	供試穂数 (本)	被害穂率 (%)	調査粒数	被害粒率 (%)			正常粒率 (%)
				秕粒	しわ粒・凹粒	合計	
-4	12	0	210	0	0	0	100
-3	16	0	290	0	0	0	100
-2	11	0	218	0	0	0	100
-1	12	38	218	12	0	12	88
0	19	53	353	30	0	30	70
+1	15	47	259	43	0	43	57
+2	12	67	200	48	0	48	52
+3	18	67	339	50	0	50	50
+4	24	63	432	46	2	48	52
+5	19	84	390	45	8	53	47
+6	24	71	430	47	14	61	39
+7	20	80	313	35	35	70	30
+8	35	71	619	20	38	58	42
+9	23	87	453	7	55	62	38
+10	11	55	216	1	50	51	49
+11	14	71	209	1	48	49	51
+12	30	59	554	1	39	40	60
+13	11	77	200	0	55	55	45
+14	11	73	257	0	61	61	39
無処理	45	0	819	0	0	0	100

註：開花始前後日数の-は開花始前，+は開花始後を示す。

までの穂を低温処理したときに発生し、しわ粒・凹粒は開花始後4～5日以降の穂を処理したときに発生することがわかる。これを逆にみると、被害穂内の被害粒が、秕粒のみからなる場合は開花始前1日～開花始後4日に低温を受けたこと、秕粒としわ粒・凹粒からなる場合は開花始後5～9日に低温を受けたこと、しわ粒・凹粒のみからなる場合は開花始後10日以降に低温を受けたことを示している。

5. 低温処理後における被害粒の発育

しわ粒・凹粒は粒の内容物こそとぼしいが粒色が褐色で、胚も外観上完全であるから、成熟期またはその近くまで発育した考えられる。しかし秕粒は開花後15日以内の種々の大きさで発育を停止していた。そこで秕粒が低温処理によつてただちに発育を停止して得られたものか、あるいはある程度発育してから得られたものかを知るために、開花始後1～8日の穂を低

温処理して得られた被害粒の大きさが、開花後何日の正常粒の大きさに相当するかを調べ、その大きさと低温処理時における穂内の粒の大きさとの差を求めてみることにした。結果は第5表のとおりである。いま一例として開花始後4日の穂を低温処理した場合についてみると、被害粒の大きさは開花後1日から10～15日の大きさにわたっているが、最も多いのは開花後4～6日の大きさのものである。さて1穂を対象とした場合、最も早く開花した顕花と最もおそく開花した顕花との差は、実験中の観察によれば4日間であり、しかも真中の2日間に大部分の顕花が開花するから、開花始後4日の穂は少数の開花後1日の粒、大多数の開花後2～3日の粒、少数の開花後4日の粒があるはずである。したがって低温処理によつて全顕花がただちに発育を停止すれば、開花後2～3日の粒が圧倒的に多く、開花後5日以後の粒はないはずである。しかる

第 3 表 実験的に作出した被害穂の例

小穂 番号	小花 番号	(開花始後日数)									
		+1		+2		+3		+4		+5	
		1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3 4	1 2 3 4
9											
8		1	1		a	1			3	3	
7		1 1	2	1	1 1	1 1	2	2	2	4 3	3 2
6		1 1	a a a	1 1	1 1 1	2 2 1	2	3 2	3 2	a 4	3 3
5		1 1 1	a a 1	1 1	a a a	a a 1	3 2	3 3	3 3 2	b 4 4	3 3 2
4		1 1 1	2 1 1	2 1 1	14 a a	3 2 1	3 3 2	a 4 2	3 3 2	4 a 3 a	4 4 3 2
3		1 1	a a a	2 2 1	12 a a	2 1 1	3 2	4 2 1	3 b b	4 b 3	b 4 3 2
2		1 1	1 1 a	1 1 1	11 a	1 1 1	2 1	2 2 1	3 3 2	4 4 3	4 b 3 1
1			a a	1 1	1	1 1		2 1	3 2 2	3 3	4 3 1

小穂 番号	小花 番号	(開花始後日数)									
		+6		+7		+8		+9		+10	
		1 2 3 4	1 2 3	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
9			3		4	b 4				a	
8		4 3	3 3	3 2	4 3	b b	4	4	b b	a a	b
7		4 4	4 3	4 3	4 4	b b 4	b b	b b	b b	a a	b b
6		b 4 4	b 4 a	b b a	b 4 b	b b b a	4 a	b b a	b a a	a a b	a b a
5		b b 4	4 3 3	b b a	b 4 4 b	b b b a	b b b	b a a a	b a a a	a b b	a a a
4		4 4 3 2	a a a	b 4 b b	b b 4 3	b b 4	a b b 4	b b b a	a a a b	a a b b	a a b a
3		b b 3 2	b 3 3	4 4 4 b	b 4 4	b b b	a a b a	b b b a	b b a b	a b b b	b a b a
2		4 4 2	b 3 4	b 4 4 4	4 4 3	b b 4	b 4 4	b b 4	b b b b	b b b	b a b
1		2 2	3	4 4	3 3	4	b	b b	b 4	b	b

註：+1～+10は低温処理時における各穂の發育状態（開花始後日数で示した）である。小穂番号は穂の下部からの番号。表中の数字 1,2,3,4 はそれぞれ開花前 1,2日～開花後 2 日，開花後 3～4日，5～6日，7～15日の秕粒，aは正常粒，bはしわ粒・凹粒を示す。

第 4 表 被害茎の稈長と穂長

茎の種別	稈		1号分けつ	
	稈長 (cm)	穂長 (cm)	稈長 (cm)	穂長 (cm)
被害茎	59	8.0	59	8.2
無被害茎	58	7.9	59	8.1
無処理茎	58	7.8	58	8.2

に第 5 表によれば，開花後 5 日以後の粒は 51% もあり，最も多い粒は開花後 4～6 日の粒である。このことは大部分の粒は低温処理後少なくとも 2 日間は發育を続けたことを示している。このようにして第 5 表をみると，開花始後 1～3 日の穂を低温処理すると大部分の粒は少なくとも 1 日間，開花始後 4～8 日の穂を処理すると少なくとも 2 日間發育をつづけその後に停止したことがわかる。

考 察

開花始以後の穂を低温処理することによつて，被害植物の外観はもちろんのこと被害粒の形態などについ

ても長野市川中島町ほか数カ所で発生した被害のそれらと同様なものを人為的に作出することができた。いま川中島町の被害穂と人為的に作出した被害穂について，秕粒の大きさ，秕粒としわ粒・凹粒の相対的出現頻度を比較してみると，川中島町の被害は開花始後 1～8 日の穂を低温処理して得られた結果とよく似ている。したがつて川中島町に低温が来襲した日には，圃場内に開花始後 1～8 日の穂が存在した，すなわち圃場全体としてみれば開花終期であつたことになる。この發育時期の推定は実態調査の結果とよく一致している。

自然界では 0°C に近いプラスの低温で被害が発生すると考えられるのに²⁾，実験的には水を噴霧しても（この場合に水滴は植物体温を下げる効果をもつだろう）0°C 以上の温度では被害を作り出すことができなかった。この事情は出穂期における冷害の人為的作成実験の場合¹⁾と同様であり，この理由の解明は今後にまつべきであろう。

開花始以後の穂は開花始前の穂より低温に対して弱

第5表 低温処理後における秕粒の発育

処理時の穂 の発育状態	正常粒の開花後日数で表わした被害粒の大きさ (日)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10~15
+1	49	42	5	4							
+2	14	34	31	16	4						
+3	6	8	20	20	10	11	9	4	8	1	3
+4		5	12	13	20	17	18	6	5	2	3
+5			3	5	9	17	24	19	13	3	6
+6				2	8	13	23	21	17	6	10
+7						3	15	25	21	19	7
+8							11	13	21	20	35

註：+1～+8は開花始後日数。 表中の数字は被害粒の大きさ別の百分率（％）である。

いと考えられる。開花始後14日以後の穂については、このようなおそい時期の低温は現実には来襲しないと考え実験しなかつたが、まだ被害を発生するとと思われる。

つぎの問題点は、同一発育状態にある穂は大部分似たような被害例えば50～80％の被害粒率を示すのに、一部分ははずれた被害例えば0％の被害粒率を示し、また穂内についてみても大部分の粒は小花位置に応じた被害を示すのに若干の粒はそれとははずれた被害例えば完全粒になることである。これは自然界、人為的作成実験でもみられ、この事情は出穂期における冷害の場合と同様であつた。この理由は不明である。

つぎに被害粒の種類別頻度は処理時の穂の発育状態によつて異なることが明らかにされた。開花後日数が増大するにつれて秕粒が減りしわ粒・凹粒が多くなるという傾向は、処理した低温が0℃付近の温度である限りかわらないと考えられる。したがつて実態調査にあつて被害粒の種類別頻度を知ることが、当該被害をよりよく知るために有意義であろう。

本報においても前報²⁾と同様に被害粒を秕粒、しわ粒・凹粒に二大別したが、このほかに準正常粒（粒表面に小じわが多く、粒色は淡褐色になり易く、稔実も十分でないもの）を加えた方がよいかもしれない。しかしこの粒と正常粒とを明確に区別することは実際上困難であつたので、本報においても正常粒として取扱つた。

摘 要

長野市川中島町ほか数カ所で発生した小麦の稔実異常現象は、開花期前後における冷害であることを証明するために、被害を人為的に作り出す実験を行ない、つぎのような結果を得た。

1. -0.5°C または -1°C 、5時間、水噴霧の処理条件で開花始後1～8日の穂を処理したところ、川中島町の被害と同様な被害を作出することができた。
2. 自然界では 0°C に近いプラスの温度で被害が発生するのに、実験的作出には -0.5°C の温度が必要であつた。
3. 開花始後0～14日の穂は開花始前数日間の穂よりも低温に対して敏感であつた。
4. 被害粒または被害穂の種類と頻度は開花後日数の経過につれて変化した。
5. 大部分の被害粒は低温処理によつてただちに発育を停止せず、少なくとも1～2日発育を続けた。

引 用 文 献

1. 戸田正行 1965. 小麦の冷害に関する研究. 第2報 障害型冷害による不稔の人為的作成実験. 日作紀 33: 344—350.
2. ——— 1972. ———. 第9報 開花期前後の低温による稔実障害の実態調査. 日作紀 41: 310—314.

Studies on the Chilling Injury in Wheat Plants

X. Artificial inductions on injury caused by low temperature
before and after the flowering stage

Masayuki TODA

(Nagano Agricultural Experiment Station, Nagano)

Summary

In order to confirm the presumption that the abnormal ripening of wheat occurred in some regions involving the region of Kawanakazima-machi might be caused by the low temperature before and after the flowering stage, the experiments on artificial induction of the abnormal ripening were performed. The results of experiments were as follows.

1. Ears at 1—8 days after the beginning of flowering were subjected to the low temperature treatment, -0.5°C or -1°C for 5 hours, accompanied water spray. The artificially induced injury was similar to the natural injury occurred in Kawanakazima-machi.

2. Artificial induction of the injury required such a low temperature as -0.5°C at least, while the natural injury was caused by a temperature above 0°C .

3. Resistance to the low temperature of ears at few days before the beginning of flowering was higher than that of ears at 0—14 days after the beginning of flowering.

4. Kinds and frequencies of the injured grains or ears varied in accordance with the progress of day after the flowering.

5. Most of the injured grains showed continuation of development at least for 1—2 days after the low temperature treatment.