カブの低温感応における各種温度の影響と短日による抑制作用の明確化

斎藤秀幸^{1*}・斎藤 隆²

¹ 宮城大学食産業学部 982-0215 宮城県仙台市太白区旗立

² 997-0042 山形県鶴岡市新形町

An Approach to Characterizing Several Temperatures for Vernalization and Suppression of Vernalization Using a Short Photoperiod in Turnips

Hideyuki Saito^{1*} and Takashi Saito²

¹ School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi 982-0215

² Niigata-machi, Tsuruoka, Yamagata 997-0042

Abstract

The state of inflorescence formation in turnip plants (*Brassica rapa* L.) cultivar ‘Taibyō-hikari’ was investigated to clarify the degree of vernalization by the “flower formation index”. First, germinated seeds were exposed to 0, 3, 6 and 9°C for 7–42 days under darkness. As a result, the index increased as the duration of low temperature lengthened in all plots. However, each plot at 3°C showed a highest index, which was 1.7–47.1% at 14–28 days of low temperature. The indices of 0 or 6°C plots were lower than that at 3°C. The lowest index was the percentage of 9°C which was 0–8.3%. Thus we thought that the most optimal temperature for vernalization was around 3°C. Second, the germinated seeds were exposed in the same way to 3°C for 14–35 days and then the seedlings were grown for 0–50 days under a short photoperiod (8 h at 20°C). As a result, the index decreased as the duration of the short photoperiod lengthened in all plots. However, each plot with a 50-day short photoperiod showed the lowest index. Thus, we thought that effort to promote vernalization was lost as the duration of short photoperiods lengthened, while suppression of vernalization was conversely maintained as the duration of low temperature lengthened.

Key Words : flower formation index, lateral inflorescences, terminal inflorescence

キーワード : 花成強度, 側花房, 頂花房

緒 言

既報(斎藤・斎藤, 2001)において, カブ‘耐病ひかり’の花房形成状態を示す指標として, 単に頂花房の形成株率, 頂花房までの節数および側花房の形成節数として表すよりも, 花成強度を求めることによって定量的に表すことができることを明らかにした. 一方, 既報(斎藤・斎藤, 2001)では, 低温処理の温度は9°Cとしたが, 一般にカブの低温感応に最も影響の大きい温度は4~7°C前後と考えられ(斎藤, 1996), 9°Cではやや高い可能性がある. また, カブ‘耐病ひかり’の花房形成は低温処理後の短日(8時間日長)処理によって抑制され, 長日(24時間日長)処理によって助長されることを報告した. その際, 24時間日長では低温無処理でも90%の株で頂花房の形成が見られ, ‘耐病ひかり’は長日感応性が高い品種であると推定された. Takahashiら(1994)も, カブの低温感応による花房形成の品種間差異において, 短日(8時間日長)処理がいずれの

品種でも花房形成を抑制するように作用したことを認めている. このように, カブの花房形成における短日の抑制作用は明らかであるが, 短日処理期間の長短による違いは明確ではない.

そこで, 本報告では, カブ‘耐病ひかり’について, 低温感応性における各種温度の影響を明らかにするとともに, 最も影響の大きい温度による低温処理期間と低温処理後の短日(8時間日長)処理期間が花房形成に及ぼす相互作用を花成強度を用いて検討した.

材料および方法

1. 花房形成に及ぼす低温処理の温度と期間の影響(実験1)

材料にはカブ(*Brassica rapa* L.) ‘耐病ひかり’(タキイ種苗)を用いた. 低温処理開始2日前に, シャーレに湿らせたろ紙を敷いて種子を置床し, 暗黒の20°Cの恒温器(東京理化, LTI-700W)内に2日間置いて催芽を行い, 催芽種子を用いて低温処理を行った.

低温処理として, 温度が0, 3, 6および9°C(±0.5°C程度)の4区と, 処理期間が7, 14, 21, 28, 35および42日

2008年2月21日 受付. 2008年11月7日 受理.

* Corresponding author. E-mail: saitohi@myu.ac.jp

第1図 カブの頂芽の様相（左、頂花房未形成；右、頂花房形成）

の6区として、これらを組み合わせた計21区を設けた（42日間処理は9℃処理のみを行った）。低温処理は、シャーレ中の催芽種子を各温度に設定した暗黒の恒温器内に搬入して行った。低温処理終了日を同一にするため、2006年5月24日、31日、6月7日、14日、21日および28日に催芽を始め、催芽開始2日後の5月26日（42日間処理）、6月2日（35日間処理）、9日（28日間処理）、16日（21日間処理）、23日（14日間処理）および30日（7日間処理）に低温処理を開始し、7月7日に一斉に終了した。処理終了後直ちに処理種子を園芸用培養土（呉羽化学）を詰めた直径12 cmのポリポットに一斉に植え付け、ハウス内（最高32℃程度、最低18℃程度）に搬入し、50日間育成した（予備試験などから50日間以上の育成では花房形成の可能性がほとんどないと判断した）。1ポットあたり4株とし、供試株数は1処理区当たり12株とした。処理終了から50日目にあたる8月26日に全株を採取し、実体顕微鏡で頂花房および主茎上の側花房の形成の有無を観察し、頂花房までの節数を数え、花成強度を求めた（第1、2図）。

2. 花房形成に及ぼす低温処理期間と低温処理後の短日処理期間の影響（実験2）

実験1と同様に、カブ「耐病ひかり」を用いた。

低温処理として、3℃の処理を14、21、28および35日間行う4区を設け、短日処理として、8時間の日長処理を0、10、20、30、40および50日間行う6区を設け、これらを組み合わせて計24区を設けた。実験1と同様に、1ポットあたり4株とし、供試株数は1処理区当たり12株とした。

低温処理は、実験1と同様に種子の催芽処理を行い、シャーレ中の催芽種子を3℃の温度に設定した暗黒の恒温器（東京理化，LTI-700W）内に搬入して行った。低温処理終了日を同一にするため、2006年2月21日、28日、3月7日および14日に催芽を始め、催芽開始2日後の2月23

第2図 花成強度の計算式に関するモデルケース

日（低温 35 日間処理）、3 月 2 日（低温 28 日間処理）、9 日（低温 21 日間処理）および 16 日（低温 14 日間処理）に低温処理を開始し、3 月 30 日に一斉に終了した。低温処理終了後直ちに処理種子を園芸用培養土（呉羽化学）を詰めた直径 12 cm のポリポットに一斉に植え付け、短日処理を開始した。短日処理は、20°C、日長 8 時間（白色蛍光灯、 $230 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD）の人工気象器（日本医化, BIOTRON LH-200 型）内に搬入して行った。短日処理終了後、20°C、日長 16 時間（8 時間は白色蛍光灯による $230 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD で照明し、残りの 8 時間は白熱電球による $5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD で補光した）の人工気象器（日本医化, NC-3000-PS-1）内に移動し、それぞれ 50 日間（短日 0 日間処理）、40 日間（短日 10 日間処理）、30 日間（短日 20 日間処理）、20 日間（短日 30 日間処理）、10 日間（短日 40 日間処理）、および 0 日間（短日 50 日間処理）育成した。3 月 30 日の低温処理終了から 50 日目にあたる 5 月 19 日に全株を採取し、実験 1 と同様に調査し、花成強度を求めた。

結 果

1. 花房形成に及ぼす低温処理の温度と期間の影響（実験 1）

1) 花房の形成状態

頂花房の形成は、3°C 区では 14 日間処理で、0、6 および 9°C 区では 21 日間処理で見られ始めた（第 1 表）。また、全株での頂花房の形成は、3°C 区では 21 日間処理で、0、6 および 9°C 区では 28 日間処理で見られた。21 日間処理に

おける頂花房の形成株率を比較すると、3°C 区で 100%、0°C 区で 75.0%、6°C 区で 41.7%、9°C 区で 25.0%と 9°C 区で最も低かった。

頂花房までの節数は、いずれの温度区でも処理期間が長いほど少ない傾向であった（第 1 表）。

側花房の形成節数は、いずれの温度区でも処理期間が長い場合に多い傾向であったが、3°C 区では、28 日間処理で 8 節と、他の温度区が 1～2 節であるのに比べて明らかに多かった（第 1 表）。しかし、35 日間処理では、3°C 区以外の温度区でも側花房の形成節数は 6～8 節と増加し、3°C 区との差は小さくなった。

2) 花成強度

花成強度は、いずれの温度区においても処理期間が長いほど高くなったが、14、21 および 28 日間処理では 3°C 区で高く、9°C 区で最も低かった（第 1 表）。

2. 花房形成に及ぼす低温処理期間と低温処理後の短日処理期間の影響（実験 2）

1) 花房の形成状態

頂花房の形成は、低温 14 日間処理後の短日 20 日間以上の処理で、また、低温 21 日間処理後の短日 50 日間処理で抑制されたが、低温処理が 28 日間以上行われた後では抑制作用は見られなかった（第 2 表）。

頂花房までの節数は、いずれの低温処理期間でも短日処理期間が長いほど多い傾向であった（第 2 表）。

側花房の形成節数は、いずれの低温処理期間でも短日処理期間が長いほど少ない傾向であった（第 2 表）。

第 1 表 カブの花房形成に及ぼす低温処理の温度と期間の影響

低温処理温度 (°C)	低温処理期間 (日)	調査株数	頂花房の形成株率 (%)	頂花房までの 節数 ^z	側花房の 形成節数 ^z	花成強度 (%)
0	7	12	0	—	—	0
	14	12	0	—	—	0
	21	12	75.0	23.4 ± 0.8	0.6 ± 0.3	4.8
	28	12	100	21.7 ± 0.4	1.6 ± 0.3	11.4
	35	12	100	12.8 ± 0.3	8.2 ± 0.5	66.3
3	7	12	0	—	—	0
	14	12	16.7	19.0 ± 1.4	1.0 ± 0.0	1.7
	21	12	100	20.0 ± 0.9	2.2 ± 0.4	15.1
	28	12	100	17.4 ± 0.5	7.7 ± 0.8	47.1
	35	12	100	12.9 ± 0.3	7.7 ± 0.4	62.3
6	7	12	0	—	—	0
	14	12	0	—	—	0
	21	12	41.7	22.2 ± 1.0	0.6 ± 0.3	2.9
	28	12	100	20.7 ± 1.0	2.1 ± 0.8	14.2
	35	12	100	14.2 ± 0.6	7.3 ± 0.6	54.9
9	7	12	0	—	—	0
	14	12	0	—	—	0
	21	12	25.0	23.0 ± 2.5	0.3 ± 0.4	1.4
	28	12	100	24.3 ± 1.0	1.1 ± 0.4	8.3
	35	12	100	17.3 ± 0.8	5.5 ± 0.6	35.5
	42	12	100	16.6 ± 0.7	5.4 ± 0.6	36.5

^z 平均値 ± 標準誤差

第2表 カブの花房形成に及ぼす3°Cの低温処理期間と低温処理後の短日処理期間の影響

低温処理期間 (日)	8時間日長の 処理期間(日)	調査株数	頂花房の形成株率 (%)	頂花房までの 節数 ^z	側花房の 形成節数 ^z	花成強度 (%)
14	0	12	100	21.6 ± 1.3	0.8 ± 0.3	8.1
	10	12	100	22.0 ± 0.9	0.8 ± 0.3	8.0
	20	12	0	—	0	0
	30	12	0	—	0	0
	40	12	0	—	0	0
	50	12	0	—	0	0
21	0	12	100	16.1 ± 0.4	9.8 ± 0.9	62.9
	10	12	100	15.0 ± 0.4	8.4 ± 0.5	58.9
	20	12	100	15.1 ± 0.5	4.0 ± 0.9	31.1
	30	12	100	17.7 ± 0.4	3.3 ± 1.0	22.8
	40	12	100	21.3 ± 0.6	4.1 ± 1.1	22.8
	50	12	0	—	0	0
28	0	12	100	14.7 ± 0.2	10.3 ± 0.4	71.8
	10	12	100	14.0 ± 0.3	9.1 ± 0.4	67.2
	20	12	100	14.7 ± 0.3	8.2 ± 0.2	58.5
	30	12	100	16.3 ± 0.4	8.6 ± 0.4	55.6
	40	12	100	18.8 ± 1.1	7.5 ± 1.2	42.9
	50	12	100	17.3 ± 0.5	1.7 ± 0.4	14.6
35	0	12	100	14.2 ± 0.3	10.2 ± 0.3	73.6
	10	12	100	13.4 ± 0.4	8.9 ± 0.6	68.8
	20	12	100	14.3 ± 0.3	8.9 ± 0.6	64.7
	30	12	100	15.5 ± 0.3	9.4 ± 0.3	63.1
	40	12	100	16.9 ± 0.3	9.1 ± 0.6	56.3
	50	12	100	15.6 ± 0.5	3.3 ± 0.6	25.6

^z 平均値 ± 標準誤差

2) 花成強度

花成強度は、いずれの低温処理期間でも短日処理期間が長いほど順次低くなったが、短日50日間処理区で著しく低かった(第2表)。

考 察

1. 低温感応における影響の大きい温度の検討

花成強度を用いてカブの春化程度を明確にするために、‘耐病ひかり’を供試して、催芽種子へ低温処理を行って検討した。頂花房の形成株率は、3°C区では21日間処理で100%と全株で形成されたのに対して、0°C区で75.0%、6°C区で41.7%、9°C区で25.0%と低く、3°Cでは0、6および9°Cに比べて頂花房の形成を誘起する作用が強く働いたと考えられる。しかし、いずれの温度区でも28日間以上の処理では全株で頂花房の形成がみられた。このことから、頂花房の形成に対する低温作用は各低温処理区ともに28日間以内で飽和に達しており、頂花房の形成株率のみを花房形成状態の定量的指標として扱うには不十分であると考えられた。一方、頂花房までの節数は頂花房が分化した時点で決定されることになり、頂花房形成の早晩を示す指標の一つになると考えられる。本実験では、頂花房までの節数は3°C区で少なく、9°C区で多い傾向であった。また、側花房の形成節数は、いずれの温度区でも処理期間が長い場合に多く、温度区の違いでは、3°C区で多く、9°C区で少な

い傾向にあった。側花房の形成は、頂花房の形成に続いて主茎上の側芽の上位節から下位節に向かって順次進む(斎藤・斎藤, 2001)。このため、側花房の形成節数は、頂花房形成後の花房形成に対する低温作用の程度を量的に表しているものと考えられる。従って、頂花房までの節数および側花房の形成節数の両指標は、低温の処理温度および処理期間の違いによる低温感応の程度を強く反映していると考えられる。これらのことから、本実験においてもこれまでの報告(斎藤・斎藤, 2001, 2003, 2004)と同様に、カブの花房形成の状態を定量的に把握する上で、花成強度の算出は有効であると考えられた。そこで、花成強度を比較してみたところ、3°C・14、21および28日間処理区では他の温度による同一処理期間区よりも高く、9°C区ではいずれの処理期間でも最も低かった。0、3および6°C・35日間処理区の花成強度は54.9～66.3%と差が小さくなったが、これは各種温度区における低温処理期間が十分であったため、0°C区の低温感応が3°C区以上に高まり、6°C区では3°C区に近づいたものと考えられる。一方、9°C区では、35日間以上の処理においても、花成強度が35.5～36.5%と低かった。本実験において、カブ‘耐病ひかり’の低温感応に最も影響の大きい温度は3°Cであり、次いで0°Cおよび6°Cであり、9°Cでは低温感応への影響が小さいことが明らかになった。斎藤(1995)は、カブ‘耐病ひかり’について、3葉期苗を用いて5、9、12および16°C(夜温12°C)

に遭遇させたところ、5°C で花房形成が最も助長されたことを報告している。しかし、5°C より低い温度については確認していないので、さらに低い温度に影響の大きい温度があったとみられる。渡辺ら（2003）は、ダイコンの花房形成における低温感応に最も影響の大きい温度について、催芽種子と幼苗を用い、花成強度を指標として検討した。その結果、‘大蔵’、‘和歌山’において、催芽種子、幼苗ともに花成強度は6°C 区で最も高くなり、幼苗では低温感応は6°C を中心に3～9°C で高く、催芽種子に比べて幼苗では低温感応性が高く、低温感応の温度範囲も広がったことを報告している。その理由として、シャーレ中の暗黒下・低温処理の催芽種子に比べて、幼苗の低温処理では根が十分に伸長して養水分の吸収が活発に行われ、かつ、光合成が行われて生理活性が高まったことを挙げている。それらのダイコンの品種に比べても、本実験におけるカブ‘耐病ひかり’の低温感応に最も影響の大きい温度はやや低い結果となった。しかし、本実験では催芽種子に低温処理を行ったのに対し、前実験（斎藤・斎藤, 2001; 斎藤, 1995）では3葉期苗を用いて低温処理を行っており、低温感応に最も影響の大きい温度は3°C 付近にあると推定しても、ダイコンと同様に本実験の結果より広い範囲に適温域はあった可能性も考えられる。なお、カブ‘耐病ひかり’の低温感応に最も影響の大きい温度はダイコンに比べてやや低い傾向にあったが、催芽種子の低温感応性と幼苗の低温感応性の差異や‘耐病ひかり’以外の品種における反応性は不明であり、今後、検討が必要である。

2. 低温感応における短日処理期間の影響

本実験で低温感応に最も影響の大きかった3°C の低温処理を行った。その結果、低温14日間処理では短日（8時間日長）による花房形成の抑制作用は強く現れ、短日処理期間が20日間以上の場合には頂花房の形成は全くみられなかった。しかし、低温28日間以上の処理の場合には、短日処理期間の長短に関わらず全株で頂花房の形成がみられた。カブ‘耐病ひかり’において、低温処理期間が短い場合には短日による花房形成の抑制作用は強くなり、低温処理期間が長い場合には弱くなることが確認された。また、低温28日間以上の処理においてはすべての区で頂花房の形成株率は100%であり、処理間における差異がみられなかった。一方、頂花房までの節数や側花房の形成節数は、低温感応の程度を強く反映していると考えられる。これらのことから、本実験においても実験1と同様に花房形成状態を確認する上で花成強度の算出は有効であると考えられた。そこで、花成強度を比較してみたところ、いずれの低温処理期間においても短日処理を全く行わない場合に最も高くなり、短日処理期間が長くなるにつれて順次低くなった。また、低温21日間処理では20日間以上の短日処理で花成強度が0～30%程度に低くなったが、低温28日間以上の処理では30%以下に低下するのに50日間の短日を要した。これらのことから、低温遭遇後の短日はカブ‘耐病ひかり’

の花成における低温作用を消去する働きがあり、短日の期間が長いほどその働きは強くなることが確認された。また、低温遭遇期間が長いほど短日による低温作用の消去は次第に困難になり、完全に消去されなくなることも確認された。

Takahashi ら（1994）は短日（8時間日長）処理がカブの在来12品種において花房形成を抑制するように作用したと述べている。ダイコンでは、佐藤ら（1981）は‘耐病総太り’の春播きにおいて8時間日長の短日が抽だい株率を低下させることを報告しており、稲川ら（1991）は低温遭遇後の短日が‘耐病総太り’の花房形成を抑制することを報告している。同様の結果がセルリー（川口, 1972; Matsumoto・Nagase, 1983; Roelofse ら, 1989）やレタス（平岡, 1967）においても報告されており、長日により花房形成が推進される蔬菜では、短日が花房形成を抑制するものと考えられる。近年、千・斎藤（2004）はダイコン‘大蔵’を用いて、花成強度を指標として花房形成に及ぼす低温処理期間と低温処理後の短日処理期間の影響を検討している。この中で、低温処理後の短日（8時間日長）によって花房形成が抑制されることや低温処理期間が長いほど短日による花房形成の抑制作用は弱まることを明らかにした。また、千・斎藤（2004）は、実際の栽培において、低温に感応する恐れのある時期では、短日処理によってある程度の低温感応を抑制できることを提唱している。本実験のカブ‘耐病ひかり’においても、ダイコン、セルリー、レタスと同様に、短日処理による花房形成の抑制が期待できるが、低温遭遇期間が長いと短日による花房形成の抑制が弱くなると考えられた。本実験においては、35日間もの低温処理や50日間もの短日処理を段階的に行った。カブにおいて、これだけの長期間の処理を段階的に行った実験は見あたらない。今後は、‘耐病ひかり’以外の品種でも同様に検討し、カブ全体について俯瞰したい。

摘 要

カブの花房形成における春化程度を明確にするため、まず、低温処理の温度と期間の影響について、次に、低温処理後の短日処理期間の影響について、指標“花成強度”を用いて検討した。‘耐病ひかり’の催芽種子を0, 3, 6および9°C で7～42日間処理して育成した結果、花成強度は、いずれの温度区においても処理期間が長いほど高くなったが、14～28日間処理では、3°C 区で1.7～47.1%と最も高く、0°C と6°C でこれに次ぎ、9°C で0～8.3%と最も低かった。従って、3°C 前後がカブ‘耐病ひかり’の催芽種子において低温感応に最も影響の大きい温度であると考えられた。次に、催芽種子を3°C で14～35日間処理した後、8時間日長の短日処理を0～50日間行った結果、花成強度はいずれの低温処理期間でも短日処理期間が長いほど順次低くなったが、短日50日間処理区で著しく低かった。このことから、短日処理期間が長いほど花成における低温作用は消去されることが確認された。また、低温処理期間が長

いほど短日による低温作用の消去は次第に困難になり、完全に消去されなくなることも確認された。

引用文献

- 千 春鎮・斎藤 隆. 2004. 新指標“花成強度”を用いたダイコンの春化に対する日長作用の明確化. 生環調. 42: 75–81.
- 平岡達也. 1967. 洋菜類の生態に関する研究. (第1報). レタスの抽台, 出らい, 開花におよぼす温度, 日長およびジベレリンの影響について. 園学雑. 36: 70–78.
- 稲川 裕・澤田一夫・塩沢耕二. 1991. ダイコンの花芽分化・抽だいに関する研究. (第1報). ‘耐病総太り’の花芽分化・抽だいに及ぼす夜間低温処理の影響. 園学雑. 60 (別1): 322–323.
- 川口哲男. 1972. セルリーの抽台防止に関する研究. (第1報). 日長が花芽の分化および発達に及ぼす影響. 静岡農試報. 17: 1–10.
- Matsumoto, E. and Y. Nagase. 1983. Effects of temperature and day length on the occurrence of bolting in green celery. Bull. Nagano Veg. & Ornam. Crops Exp. Sta. Japan. 3: 15–20.
- Roelofse, E. W., D. W. Hand and R. L. Hall. 1989. The effect of daylength on the development of glasshouse celery. J. Hort. Sci. 64: 283–292.
- 斎藤秀幸・斎藤 隆. 2001. カブの花房形成に及ぼす低温処理期間と低温処理後の日長の影響. 園学雑. 70: 629–635.
- 斎藤秀幸・斎藤 隆. 2003. カブの花房形成に及ぼす低温処理中の高温処理の影響. 園学雑. 72: 329–334.
- 斎藤秀幸・斎藤 隆. 2004. カブの花房形成に及ぼす 24 時間の日長処理期間とジベレリンあるいはユニコナゾール施与の影響. 園学研. 3: 79–83.
- 斎藤 隆. 1995. カブの花芽形成に対する温度とジベレリンの相互作用. 生環調要旨. 33: 306–307.
- 斎藤 隆. 1996. 新版蔬菜園芸. p. 254–256. 文永堂出版. 東京.
- 佐藤忠弘・有馬重大・長谷川 一. 1981. 青首ダイコンの早期栽培に関する研究. (第2報). 保温, 遮光による抽だい防止について. 園学要旨. 昭56春: 188–189.
- Takahashi, H., M. Kimura, H. Suge and T. Saito. 1994. Interactions between vernalization and photoperiod on the flowering and bolting of different turnip varieties. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 63: 99–108.
- 渡辺陽子・千 春鎮・斎藤 隆. 2003. 新指標“花成強度”を用いたダイコンの春化の程度の明確化. 生環調. 41: 149–156.