カブの花房形成に及ぼす低温処理中の高温処理の影響

斎藤秀幸^{1*}・斎藤 隆²

¹宮城県農業短期大学 982-0215 仙台市太白区旗立

²東京農業大学農学部 243-0034 神奈川県厚木市船子

Effects of High Temperature Interruption during Vernalization on the Inflorescence Formation in Turnip Plants

Hideyuki Saito^{1*} and Takashi Saito²

¹Miyagi Agricultural College, Taihaku-ku, Sendai 982-0215

²Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture, Atsugi, Kanagawa 243-0034

Summary

The effects of high temperature interruption during low temperature treatment on inflorescence formation in turnip plants (*Brassica rapa* L. cv. Hikari) were investigated. Plants were exposed to 9 °C (low temperature treatment) with interruptions of 17 °C, 24 °C or 30 °C for 4, 6 or 8 hr per day. After the treatment, flower formation indices (%) were calculated. Based on these data, the total hours of vernalization, and hours of vernalization or devernialization per day were estimated. Flower formation indices were lower in the group of plants exposed to high temperature interruption than in the group of plants exposed to continuous low temperature. Moreover, the higher the interruptive temperature became and the longer its duration per day, the lower the flower formation index became. The indices were particularly low, when turnip plants were exposed to temperatures of 24 °C or 30 °C for 6 or 8 hr per day. The influence of high temperature interruption during the low temperature treatment was determined quantitatively by measuring the estimated hours of vernalization and devernialization per day. For example, vernalization effect of 9 °C was diminished by 50 %, when the plants were exposed to 17 °C for 8 hr per day during the low temperature treatment or to 24 °C or 30 °C for 4 hr per day during the low temperature treatment. Moreover, the vernalization effect of low temperature treatment was diminished by 90 % when plants were exposed to 24 °C or 30 °C for 8 hr per day during the 9 °C treatment.

Key Words: devernialization, estimated hours of vernalization, high temperature interruption, inflorescence formation, turnip.

緒 言

低温感応性の葉・根菜類の春播き栽培において、低温に遭遇する恐れのある場合、トンネル被覆などによって日中高温に保つことで、夜間の低温遭遇による春化作用が打ち消され、離春化を起こして花芽形成が抑制され、抽だいが軽減、防止できることが認められている。離春化を利用した抽だい防止技術については、ダイコン(香川・中村, 1958; 佐藤ら, 1980; 鈴木ら, 1980; 鈴木・篠原, 1981; 施山・高井, 1982; 古藤ら, 1983, 1985; 北田・岡田, 1988; 北田ら 1988), セルリ-(森脇・勝又, 1974; 森脇ら 1976), ニンジン(森脇ら, 1975; 森脇・山口 1977), キャベツ(Ito・Saito, 1961)などで報告されてい

るが、カブについての報告はみられない。

これらの報告の多くでは、主に抽だい状態を調査し、トンネル被覆などによって日中を高温に保つことで抽だいら率が低下したことを認め、低温感応および低温感応の消去は、1日1日の夜間の低温と日中の高温の収支によって起こるとしている。

本研究では、カブの低温感応に対する低温処理中の高温の作用について、高温の段階と処理時間を組み合わせて断続低温処理を行い、連続低温処理と対比して春化(低温感応)および離春化(低温感応の消去)の作用を、前報で述べた指標、花成強度(斎藤・斎藤, 2001)を用いることで定量的に把握することを試みた。

材料および方法

供試材料

カブ(*Brassica rapa* L.) 'ひかり'(タキイ種苗(株))を

2002年8月13日 受付。2002年11月28日 受理。

本報告の一部は園芸学会平成3年度春季大会で発表した。

*Corresponding author.

供試した。園芸用培養土(呉羽化学(株))を詰めた直径12 cmのポリポットに1990年5月20日に播種し、昼温30℃(9:00~17:00)、夜温25℃(17:00~9:00)に調節した自然光型人工気象室(小糸工業(株))内で育てた。発芽後順次間引きし、1ポット当たり7~8株ずつ残した。

連続低温処理と断続低温処理の方法

播種後16日目で本葉3枚展開時に当たる6月5日より低温処理を連続して行う連続低温処理と、低温処理中の日中に高温処理を行う断続低温処理を開始した。温度処理は、自然光型人工気象室内で行った。低温処理温度は9℃とし、高温処理温度は17、24および30℃の3段階とした。連続低温処理区では、低温処理の積算時間を480時間(20日間)、720時間(30日間)、960時間(40日間)および1200時間(50日間)とした。断続低温処理区では、低温処理中に、高温処理を1日当たり4時間(9:00~13:00)、6時間(9:00~15:00)および8時間(9:00~17:00)行った。それぞれの断続低温処理区の低温処理の積算時間は連続低温処理と同様に480時間(24~30日間)、720時間(36~45日間)、960時間(48~60日間)および1200時間(60~75日間)とし、処理開始から75日後の8月19日までにすべての温度処理を終了した。1処理区当たり3ポット(21~24株)を供試した。

それぞれの温度処理終了後、順次ガラス室内に移して6号素焼き鉢に植え替え、9月中旬まで自然日長下で育てた。9月中旬以降は日長が約14時間となるように100 Wの白熱電球(葉面上でPPFD $5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$)で17:00から20:00まで補光した。

温度処理終了後の調査

低温処理終了後80日目に株を採取し、頂花房の形成株率、頂花房までの節数、側花房形成節数について実体顕微鏡を用いて調べた。しかし、断続低温処理区において1日当たり6および8時間の高温処理で低温処理の積算時間が1200時間の場合、株が老化して側芽が脱落することが考えられたので温度処理終了後60日目に株を採取し、花芽形成状態の観察を行った。これらの結果から花成強度(斎藤・斎藤, 2001)を下式により求めた。

$$\text{花成強度(\%)} = \text{頂花房の形成株率(\%)} \times \frac{\text{側花房形成節数} + 1 (\text{頂花房})}{\text{頂花房までの節数} + 1 (\text{頂芽})}$$

結 果

頂花房の形成株率

連続低温処理区においては、最も短い480時間低温処理ですでに全株で頂花房の形成がみられた(第1図)。

断続低温処理区において、17℃区では、1日当たり4、6および8時間のいずれの高温処理でも、480時間低温処理で連続低温処理区に比べて頂花房の形成株率が若干低下したが、720時間以上の低温処理では全株で頂花房の形成がみられた。24℃区では、1日当たり4時間の高温処理の場合、480時間低温処理で頂花房の形成株率は88%、720時間低温処理で95%とやや低下したが、960時間以上の低温処理では全株で頂花房の形成がみられた。1日当たり6時間の高温処理の場合、480時間低温処理で頂花房の形成株率は45%、720時間低温処理で80%と低下したが、960時間以上の低温処理では全株で頂花房の形成がみられた。1日当たり8時間の高温処理の場合、480時間低温処理で頂花房の形成はほとんどみられず、720時間低温処理で30%、960時間低温処理でも56%と頂花房の形成株率は低下した。30℃区では、24℃区とほぼ同様の傾向を示し、1日当たり4および6時間の高温処理の場合、低温処理の積算時間の少ない区で頂花房の形成株率は低く、1日当たり8時間の高温処理の場合、いずれの低温処理の積算時間においても、頂花房の形成は強く抑制された(第1図)。

頂花房までの節数

頂花房までの節数は、連続低温処理区においては、480時間低温処理で24.8節、720時間以上の低温処理で23.0~23.4節で、低温処理の積算時間の多い区で減少する傾向を示した(第2図)。

断続低温処理区において、頂花房までの節数は、連続低温処理と比べて著しく増加し、高温処理温度が高いほど、また、1日当たりの高温処理時間が長いほど増加する

Fig. 1. Effects of high temperature interruption during low temperature treatment on the percentage of plants with a terminal inflorescence in 'Hikari' turnip. Cont.; Continuous low temperature treatment at 9℃.

Fig. 2. Effects of high temperature interruption during low temperature treatment on the number of nodes below the terminal inflorescence in 'Hikari' turnip. SE bars smaller than symbols are not shown. Cont.; Continuous low temperature treatment at 9 °C.

Fig. 3. Effects of high temperature interruption during low temperature treatment on the number of nodes with lateral inflorescences per plant in 'Hikari' turnip. SE bars smaller than symbols are not shown. Cont.; Continuous low temperature treatment at 9 °C.

傾向を示した。1日当たり8時間の高温処理の場合、17 °C区の36.4~31.3節と比べて、24 °C区では41.0~33.4節、30 °C区では40.0~34.2節と温度が高いほど頂花房までの節数が増加する傾向が認められた(第2図)。

側花房形成節数

連続低温処理区においては、側花房形成節数は、480時間低温処理で5.3節、720時間低温処理で11.7節、960時間低温処理で14.5節、1200時間低温処理で17.1節と、低温処理の積算時間が長いほど順次増加した(第3図)。

断続低温処理区においては、側花房形成節数は、連続低温処理に比べて減少し、高温処理温度が高いほど、1日当たりの高温処理時間が長いほど少なくなった。1日当たり8時間の高温処理の場合、17 °C区では480~1200時間低温処理で0.3~8.5節であったのに比べて、24 °C区では0~0.7節、30 °C区では0~0.3節と、17 °C区に比べて24および30 °C区では著しく少なかった。ただし、24 °C区と30 °C区の差は小さかった(第3図)。

花成強度

連続低温処理区においては、花成強度は、低温処理480

時間で24%、720時間で53%、960時間で64%、1200時間で75%と、低温処理の積算時間が長いほど高かった(第4図)。

断続低温処理区においては、17 °C区では、1日当たり4時間の高温処理の場合、花成強度は、低温処理480時間では5%、720時間では18%、960~1200時間では50%と、低温処理の積算時間が長いほど高かった。同様に、1日当たり6時間の高温処理の場合、低温処理の積算時間によって4~42%の花成強度を示し、1日当たり8時間の高温処理の場合も、低温処理の積算時間によって3~26%の花成強度を示し、1日当たりの高温処理時間が長いほど花成強度は低くなった。また、24および30 °Cでは、高温処理温度が高いほど、1日当たりの高温処理時間が長いほど花成強度は順次低下した(第4図)。

花成強度は、低温遭遇量および高温処理温度と時間のいずれによっても影響されて変化しており、花成強度によって、花房の形成状態を定量的に表すことが可能であった。

Fig. 4. Effects of high temperature interruption during low temperature treatment on the flower formation index (Percentage of plants with a terminal inflorescence $\times$ (Number of nodes with lateral inflorescences per plant + 1) / (Number of nodes below the terminal inflorescence + 1)) in 'Hikari' turnip.

考 察

花房形成に及ぼす低温処理中の高温の影響

本実験の結果、低温処理の積算時間が同一の場合でも、カブの花房形成は、頂花房においても、側花房においても、連続低温処理と比べて断続低温処理で抑制され、高温処理温度が高いほど、また、1日当たりの高温処理時間が長いほど強く抑制された。低温処理中の高温処理温度については、17℃では、頂花房の形成株率は低温処理の積算時間の少ない区でわずかに低下したのみであったが、頂花房までの節数はかなり増加しており、頂花房の分化時期が遅れたものとみられる。高温で処理された時間だけ連続低温処理に比べて低温処理の積算時間に達する時期が遅れ、その間に主茎の分化葉数が増加したためと考えられた。側花房形成節数は1日当たりの高温処理時間が長いほど減少しており、頂花房形成後の低温感応は連続低温処理区に比べてかなり抑制されたものと考えられた。低温処理中の24℃以上の高温処理による断続低温処理では、高温処理温度が高いほど、また、1日当たりの高温処理時間が長いほど、頂花房の形成は抑制され、頂花

房までの節数が著しく増加するとともに、側花房形成節数も著しく減少し、花房形成は著しく抑制されたものと考えられた。

カブ「ひかり」の花房形成における春化(低温感応)の温度および離春化(低温感応の抑制)の温度について、斎藤・千葉(1992)は、花房形成における春化の上限の温度は12℃と15℃の間にあることを認めており、本実験の結果から、離春化の下限の温度は16~17℃と推定された。したがって、カブ「ひかり」の低温感応に影響を及ぼさない温度は、14~16℃の範囲内にあると考えられた。このように、低温感応性の葉・根菜類において、春化の上限の温度と離春化の下限の温度を明確にすることは、高温による抽だい防止効果を推測する上できわめて重要であると考えられる。

春化作用の累積と離春化の程度を推定する新しい指標

前報(斎藤・斎藤, 2001)において、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を表す方法として、花成強度という新しい指標を考案した。花成強度という新しい指標を用いると、頂花房の形成株率、頂花房までの節数および側花房形成節数という指標を単独で用いて明瞭な差が認められなかった場合でも、花房形成に及ぼす低温と日長処理の影響を詳細にかつ定量的に表すことができた。本報で、カブに対して、断続低温処理を行うと、連続低温処理と低温処理の積算時間が同一の場合でも花房形成状態が異なっており、花成強度で表すことによって花房形成状態を定量的に表すことが可能であった。そこで、花成強度を用いて、断続低温処理作用を春化作用累積時間として計算し、春化作用の累積と離春化の程度を推定した。

(1)「春化作用累積時間」の推定

連続低温処理の場合、春化作用の累積は低温処理の積算時間として表される(第5図)。そこで、連続低温処理区の「低温処理の積算時間」(x)と「花成強度」(y)の関係式 $y = 6.83 \times 10^{-2}x - 3.3$ ($r=0.970$) に断続低温処理区の「花成強度」(y)を代入して「春化作用累積時間」(x)を推定した。

$$\text{春化作用累積時間}(x) = \frac{\text{花成強度}(y) + 3.3}{6.83 \times 10^{-2}}$$

その結果、花成強度で表されている花房形成の状態を春化作用の累積状態として直接表すことが可能となり、高温処理温度が高いほど、また、1日当たりの高温処理時間が長いほど春化作用の累積が少なくなることが示された(第5図)。

(2)「1日当たりの春化作用時間」および「1日当たりの離春化作用時間」の推定

次に、「春化作用累積時間」を「低温処理日数」で除し、「1日当たりの春化作用時間」を求めた(第6図)。さらに、

Fig. 5. Effects of high temperature interruption during low temperature treatment on the relation between cumulative hours of low temperature treatment and estimated hours of vernalization flower formation index (%) + $3.3/6.83 \times 10^{-2}$ in 'Hikari' turnip. Cont. ; Continuous low temperature treatment at 9°C.

「1日当たりの低温処理時間」から「1日当たりの春化作用時間」を差し引き、「1日当たりの離春化作用時間」を求めた(第6図)。

17°C区では、1日当たり4時間の高温処理を行うと、低温処理の積算時間が480時間の場合、低温処理時間20時間のうち26%が春化に作用し、74%が離春化されるが、960~1200時間の場合、春化の作用が強まり、低温処理時間20時間のうち82~66%が春化に作用し、18~34%が離春化されると推定された。しかし、1日当たり6時間の高温処理を行うと、春化の作用が弱まり、低温処理の積算時間が960~1200時間の場合、低温処理時間18時間のうち55%程度が春化に作用し、45%程度が離春化されると推定された。また、1日当たり8時間の高温処理を行うと、春化の作用はさらに弱まり、低温処理の積算時間が960~1200時間の場合、低温処理時間16時間のうち37%程度が春化に作用し、63%程度が離春化されるものと推定された。このように、17°Cでも1日当たり8時間の高温処理を行うと、春化作用の50%以上が打ち消されるものと考えられる。

24°C区では、低温処理の積算時間が960~1200時間の場合でも、1日当たり4時間の高温処理を行うと、42%程度が春化に作用し、58%程度が離春化され、1日当たり6時間の高温処理を行うと、17~25%が春化に作用し、75~83%が離春化され、1日当たり8時間の高温処理を行うと、8~11%が春化に作用し、89~92%が離春化されるものと推定された。このように、24°C区では17°C区に比べて離春化の程度が大きくなり、1日当たり4時間の高温処理でも春化作用の50%以上が打ち消されるものと考えられる。

30°C区では、低温処理の積算時間が960~1200時間でも、1日当たり4時間の高温処理を行うと、28~35%が春化に作用し、72~65%が離春化され、1日当たり6時間の高温処理を行うと、13%程度が春化に作用し、87%程度が離春化され、1日当たり8時間の高温処理を行うと、春

Fig. 6. Effects of high temperature interruption during low temperature treatment on the estimated hours of vernalization and devernization per day in 'Hikari' turnip.

化の作用は著しく弱くなり、離春化の作用はきわめて大きくなるものと推定された。このように、30°C区では24°C区に比べて離春化の程度はさらに大きくなったが、高温処理時間が長い区ではその差は小さいと考えられる。

以上のように、1日当たりの春化作用時間と離春化作用

時間を求めることで、24時間のうち春化に作用した時間と離春化された時間の収支を明確にし、低温遭遇中の高温の影響を実用的な形で把握することが可能になると考えられる。

摘 要

カブの低温感応による花房形成に対する低温処理中の高温処理の影響について検討した。‘ひかり’の幼苗を9℃で低温処理中、17、24および30℃の高温に、1日当たり4、6および8時間遭遇させる断続低温処理を行った。温度処理終了後、花成の様相を調べ、花成強度を求めた。さらに、花成強度を用いて連続低温処理に対する断続低温処理の春化作用累積時間、ならびに、断続低温処理した場合の1日当たりの春化作用時間と離春化作用時間を求めた。花成強度は、連続低温処理区と比べて断続低温処理区で低くなり、高温処理温度が高いほど、また、1日当たりの高温処理時間が長いほど低くなった。特に、24および30℃で1日当たり6および8時間の高温処理をした場合に、花成強度の低下は大きかった。断続低温処理した場合の1日当たりの春化作用時間と離春化作用時間を求めることにより、低温遭遇中の高温の影響を定量的に把握することができた。17℃で1日当たり8時間あるいは24および30℃で1日当たり4時間の高温処理を行うと、低温処理による春化作用の50%以上が打ち消され、さらに、24および30℃で1日当たり8時間の高温処理では低温処理の10%程度が春化に作用し、90%近くが離春化されるものと考えられた。

引用文献

- Ito, H. and T. Saito. 1961. Time and temperature factors for the flower formation in cabbage. *Tohoku J. Agri. Res.* 12: 297-316.
- 香川 彰・中村三夫. 1958. 大根の低温感応に関する研究. 第3報. 高温下における低温処理大根の開花行動について. *岐阜大農研報.* 9: 32-40.
- 北田幹夫・岡田 巖. 1988. 春まきダイコン栽培のトンネル内温度条件に及ぼす被覆資材と換気孔率の影響. *富山農技セ研報.* 3: 45-52.
- 北田幹夫・岡田 巖・福島 清・松本美枝子. 1988. 宮重ダイコン(長岡交配,耐病総太り)における低温処理後の高温が分化葉数に及ぼす影響. *富山農技セ野菜花き研報.* 2: 1-9.
- 古藤英司・町田治幸・隔山普宣. 1983. 春どり青首ダイコンの被覆下栽培における温度管理が花成,抽だいに及ぼす影響. *徳島農試研報.* 21: 9-15.
- 古藤英司・町田治幸・板東一宏. 1985. 春まきトンネルダイコンの生育初期の昼温が抽だいに及ぼす影響. *徳島農試研報.* 22: 6-12.
- 森脇宏爾・勝又広太郎. 1974. セリ科野菜の抽だい防止に関する研究. 第1報. 変温処理がセルリーの抽だい防止に及ぼす影響. *愛知農総試研報.* B6: 1-5.
- 森脇宏爾・山口久夫・勝又広太郎. 1975. セリ科野菜の抽だい防止に関する研究. 第2報. 変温処理がニンジンの抽だい防止に及ぼす影響. *愛知農総試研報.* B7: 1-5.
- 森脇宏爾・山口久夫・勝又広太郎. 1976. セリ科野菜の抽だい防止に関する研究. 第3報. 変温条件下におけるセルリーの低温感応および消去機構. *愛知農総試研報.* B8: 1-5.
- 森脇宏爾・山口久夫. 1977. セリ科野菜の抽だい防止に関する研究. 第4報. ニンジンのトンネル栽培における抽だい防止. *愛知農総試研報.* B9: 1-5.
- 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 隆・千葉敏子. 1992. カブの花芽形成における低温感応に対する温度の段階と継続期間の影響. *園学東北支部要旨.* 平4: 55-56.
- 佐藤忠弘・大場貞信・長谷川 一. 1980. 青首ダイコンの早期栽培に関する研究. 第1報. 昼温の高温管理による抽だい防止について. *園学要旨.* 昭和55春: 230-231.
- 施山紀男・高井隆次. 1982. ダイコンの抽台に及ぼす昼温の影響. *野菜試報.* B4: 47-60.
- 鈴木芳夫・篠原 温・石井幸夫. 1980. みの早生ダイコンの花成に及ぼす日温度較差の影響. *園学雑.* 49(別2): 144-145.
- 鈴木芳夫・篠原 温. 1981. みの早生ダイコンの春化程度と変温処理が抽苔に及ぼす影響. *園学要旨.* 昭和56秋: 190-191.