

## 不同温度对青花菜花芽分化的影响

于锡宏\*, 蒋欣梅

东北农业大学园艺学院, 哈尔滨 150030

**提要:** 适当的低温有利于青花菜的花芽分化, 14 °C 处理下的早熟青花菜植株可以完成花芽分化的各个过程, 18 °C 处理下的植株花芽虽能分化, 但花芽分化的各个过程不能完成, 22 °C 处理下的植株一直处于营养生长状态而花芽未分化。叶中 GA<sub>3</sub> 和 IAA 含量伴随着花芽分化过程而变化, 侧花茎上的每一级花芽分化过程中, GA<sub>3</sub> 含量较高而 IAA 含量较低。

**关键词:** 花芽分化; 生长锥; GA<sub>3</sub>; IAA; 青花菜

## Effect of Different Temperature on Flower-Bud Differentiation of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica* Plenck.)

YU Xi-Hong\*, JIANG Xin-Mei

College of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

**Abstract:** Proper low temperature was propitious to flower-bud differentiation of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Prematurity broccoli plant could finish every course of flower-bud differentiation at 14 °C. The every course of flower-bud differentiation couldn't be finished at 18 °C, though its flower-bud could differentiation. It maintained vegetative growth stage at 22 °C. In addition, the flower-bud differentiation was accompanied by changes of GA<sub>3</sub> and IAA contents. More GA<sub>3</sub> content and less IAA content during every furcation scape primordium differentiation were recorded.

**Key words:** flower-bud differentiation; growing tip; GA<sub>3</sub>; IAA; broccoli

青花菜属于低温长日照的绿体春化型植物, 对光照要求并不严格, 植株经过一定的营养生长后, 才可感受低温春化, 进行花芽分化(藤目幸和広瀬忠彦 1979, 1980, 1981)。花芽分化作为植株从营养生长向生殖生长的一个转折点一直倍受人们的关注。青花菜的花芽分化是获得产品器官花球的前提, 花球是由短缩、肉质的第一级侧花茎及其上各级侧花茎和花蕾组成, 花蕾的大小决定于侧花茎的分化级数及其发育程度(关佩聪和梁承愈 1992)。青花菜幼苗感应低温春化的能力与品种和温度有关。中熟品种、晚熟品种春化时对温度要求较为严格, 需要较低的温度; 而早熟品种对温度要求不严, 一般 20 °C 以下的温度均可通过绿体春化(陈春良和陆振清 2001)。黑龙江省春季气温偏低, 种植青花菜的早熟品种常常因过早地通过春化阶段而出现先期现球现象, 因此研究青花菜早熟品种的花芽分化对生产应用有指导意义。本文以青花菜早熟杂交一代品种‘清风青花菜 103’为试材, 通过对 5 叶 1 心期的青花菜植株以不同温度(14 °C、18 °C、22 °C)处理, 研

究花芽分化前后茎尖生长锥的形态变化与叶片中内源激素 GA<sub>3</sub> 和 IAA 含量的关系, 以探索花芽分化的作用机制, 为成花的调控提供参考。

### 材料与方法

试验于 2003~2004 年在本校园艺试验站及农业部寒地作物生理生态重点开放实验室进行。选用的青花菜(*Brassica oleracea* var. *Italica* Plenck.)品种为‘清风青花菜 103’, 由香港惟勤种苗公司提供。

于 2004 年 2 月 11 日温室播种育苗, 1~2 片真叶期分苗于 8 cm×8 cm 的营养钵中。通过铺设电热线, 用自动控温仪控制温度, 白天温度保持在 (25±0.5) °C, 夜间温度保持在 (17±0.5) °C, 光强为 540 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 左右, 常规管理。

根据我们 2002 年 11 月做的不同苗龄对低温感

收稿 2006-12-18 修定 2007-01-08

资助 黑龙江省普通高等学校骨干教师创新能力资助计划。

\*E-mail: yxh100@sohu.com; Tel: 0451-55190443

应的试验, 确定出‘清风青花菜103’可以感应低温春化进行花芽分化的最小苗龄为5叶1心期, 茎粗为3.0 mm (Jiang等2005)。为此于4月12日选择形体大小基本一致的5叶1心期、茎粗为3.0 mm 以上的青花菜植株放入光照培养箱中进行不同温度处理。光照培养箱中叶面上接受的光强为72  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、光照时间14 h/d。昼/夜温度分别为(17.3 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ /(9.3 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ 、(21.3 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ /(13.3 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ 、(25.3 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ /(17.3 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ , 分别用T14、T18、T22表示。处理30 d。重复3次, 每个重复30株。用OLYMPUS SZH-ILLD B071型实物解剖显微镜(60倍)观察花芽分化进程, 即在植株放入光照培养箱中的当天(0 d)及以后每隔3 d对各处理的植株茎尖生长锥进行观察, 并取茎尖生长锥用2.5%戊二醛固定液固定, 干燥处理采用 $\text{CO}_2$ 临界点干燥法(弭忠祥1999), 然后将干燥好的茎尖生长锥样品进行电镜扫描。同时取植株上部完全展开的1~3片叶切碎混合后随机取样进行 $\text{GA}_3$ 和IAA含量的测定, 取样量均为0.5 g, 每次测定重复3次。 $\text{GA}_3$ 和IAA的提取参照罗正荣等(1990)文中的方法, 用预冷甲醇提取, 其水相依次在碱性条件下经过乙酸乙酯-石油醚萃取, 在酸性条件下经过乙酸乙酯萃取后, 即得到 $\text{GA}_3$ 和IAA的粗提液, 用高效液相色谱(美国Waters HPLC系统)测定并计算。色谱条件: 色谱柱为C18, 柱温为40  $^{\circ}\text{C}$ , 0.8  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 恒流洗脱, 检测波长为207 nm, 流动相为乙腈:甲醇:0.6%乙酸=5:50:45。

## 结果与讨论

### 1 不同温度对青花菜花芽分化前后茎尖生长锥形态的影响

植株从营养生长转为生殖生长时, 茎尖的形态变化是主要指标(种康等1999), 从表1和图1可以看到, (1)温度为22  $^{\circ}\text{C}$  (T22)下的植株生长锥无

变化, 一直保持“营养生长期”状态(图1中的T22-a-1、T22-a-2、T22-a-3), 即茎尖基部生长锥较小, 体积与表面积也小, 生长锥四周绕着主轴螺旋形分化出近似三角形突起的叶原基。(2)青花菜完成花芽分化需要一定的低温, 随着处理温度的降低, 植株茎尖生长锥即发生变化。其中处理T14下的植株可完成花芽分化的各个过程, 茎尖生长锥经历营养生长期、花芽分化转折期(即绿体春化完成时, 是营养生长向生殖生长的转折点)、第1级侧花茎原基分化期和第2~3级侧花茎原基分化期4种状态。当植株在放入光照培养后的第12天开始进入“花芽分化转折期”, 此时生长锥逐渐突起变平加宽, 其体积和表面积都增大, 叶原基几乎包被不住, 在叶原基内侧出现突起痕迹(图1中的T14-b); 第18天开始进入“第1级侧花茎原基分化期”此时在茎端平圆生长锥的周围分化的突起明显(图1中的T14-c); 第27天开始进入“第2~3级侧花茎原基分化期”, 表现为在不断分化第1级侧花茎原基的同时, 先分化的第1级侧花茎原基的周缘开始分化第2级侧花茎原基; 在不断分化第1、2级侧花茎原基的同时, 先分化的第2级侧花茎原基的周缘开始分化第3级侧花茎原基(图1中的T14-d)。(3)处理T18下的植株也能进行花芽分化, 但不能完成整个花芽分化的全过程, 茎尖生长锥经历营养生长期、花芽分化转折期、第1级侧花茎原基分化期和花芽分化特殊期(生长锥逆转期)4种状态。植株进入“花芽分化转折期”和“第1级侧花茎原基分化期”均比处理T14推迟约1周时间, 即在进行光照培养后的第18天开始进入“花芽分化转折期”(图1中的T18-b), 第24天开始进入“第1级侧花茎原基分化期”(图1中的T18-c), 表明对于同一叶龄的植株, 温度越低, 通过绿体春化的时间越短。之后茎尖生长锥停止发育并维持类似

表1 不同温度对青花菜开始进入花芽各分化时期的影响

Table 1 Effects of different temperature on flower-bud differentiation in broccoli

处理	花芽开始分化所需时间/d	第1级侧花茎原基开始分化所需时间/d	第2~3级侧花茎原基开始分化所需时间/d
T14	12	18	27
T18	18	24	未分化
T22	未分化	未分化	未分化

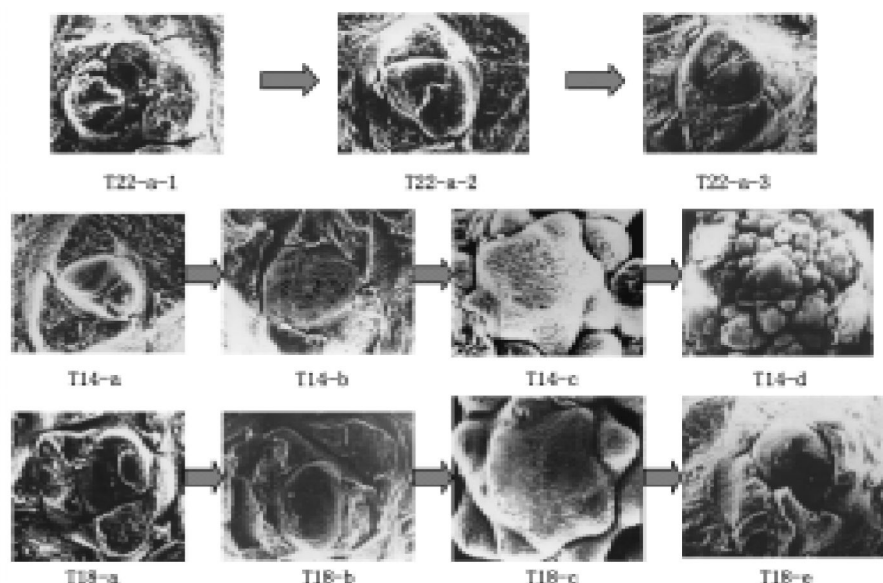


图1 不同温度对青花菜茎尖生长锥分化的影响

Fig. 1 Effect of different temperature on differentiation of growing tip in broccoli

a: 营养生长期(200倍); b: 花芽分化转折期(150倍); c: 第1级侧花茎原基分化期(150倍); d: 第2~3级侧花茎原基分化期(80倍); e: 花芽分化特殊期(生长锥逆转期)(120倍)。

花芽分化转折期状态, 其体积和表面积明显地大于处于营养生长期的生长锥, 呈半馒头形, 并且一直维持该状态, 这一时期可以认为是生长锥逆转期, 属于花芽分化的一个特殊时期(图1中的T18-e)。

生长锥逆转期的出现可能是以下几个原因造成: 一是植株花芽分化过程中营养物质的积累不够。花芽分化的过程需要大量的营养物质供给, 在本文中的光照培养箱内, 其光照强度只有  $7.2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 在这种条件下, 植株的呼吸消耗大于T14处理、而其营养物质积累要远远小于T14处理, 第1侧花茎原基的突起因得不到充足的营养供应而开始退化, 一旦条件适宜有可能继续进行花芽分化。二是植株进入花芽分化阶段, 也同样需要一定的低温条件。据Fujime和Okuda (1996)报道, 芸苔属植物花原基在分化后, 如果遇到  $25^\circ\text{C}$  以上的高温, 花芽分化停顿, 甚至部分返回到叶原基状态, 花蕾间出现绒毛状的小苞片、萼片而产生毛花球。本文的结果也同样表明, 植株在花芽分化阶段如果满足不了低温条件, 即使植株完成了绿体春化阶段, 也同样完成不了花芽分化的各个阶段。三是植株进入花芽分化阶段, 可能更需要一定的光照强度来满足植株的光合作用,

为花芽分化提供更多的物质和能量保障。有关青花菜植株茎尖生长锥退化的原因还有待进一步研究。

## 2 不同温度对青花菜花芽分化前后叶中 $\text{GA}_3$ 和IAA含量的影响

从图2和图3可以看到, (1) 一直处于营养生长状态下(T22)的叶中 $\text{GA}_3$ 和IAA含量变化不大, 随着处理天数的增加,  $\text{GA}_3$ 含量缓慢增加, 而IAA含量则缓慢下降。(2) 在测定时间内, 经过  $14^\circ\text{C}$  和  $18^\circ\text{C}$  低温处理后的青花菜叶中 $\text{GA}_3$ 和IAA含量伴随着花芽分化过程而变化。随着处理时间的增加, T14和T18的 $\text{GA}_3$ 和IAA含量均逐渐下降, 当植株完成绿体春化开始进入花芽分化的转折期(T14为植株放入光照培养箱后约12 d, T18为18 d, 表1),  $\text{GA}_3$ 含量降至低值, 而IAA含量开始迅速下降; 植株花芽分化开始之后 $\text{GA}_3$ 含量有所回升, 开始进入第1级侧花茎原基分化期时(约花芽分化1周后, 即T14为植株放入光照培养箱后约18 d, T18为24 d, 表1)达到高值, 之后开始下降, 而IAA含量在进入第1级侧花茎原基分化期时呈现低值, 之后开始逐渐上升。T14开始进入第2~3级侧花茎原基分化期时(约花芽分化2周后, 即植株放入光照培养箱后约27 d, 表1),  $\text{GA}_3$ 含量又出现一小高峰, 之后逐渐下降, 而IAA

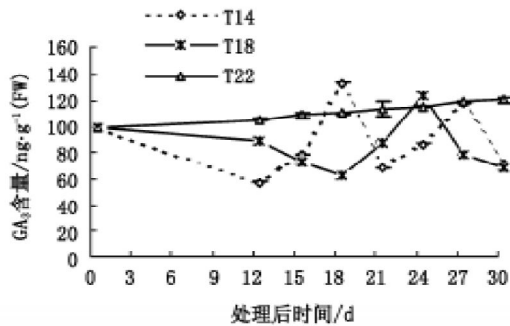


图2 不同温度处理下花芽分化前后叶中GA<sub>3</sub>含量变化  
Fig. 2 Changes of GA<sub>3</sub> content in leaves during flower-bud differentiation of broccoli under different temperature conditions

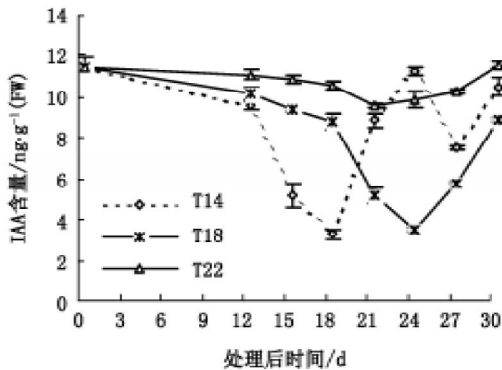


图3 不同温度处理下花芽分化前后叶中IAA含量变化  
Fig. 3 Changes of IAA content in leaves during flower-bud differentiation of broccoli under different temperature conditions

的含量又出现一低峰, 之后逐渐上升。(3) 青花菜的每一级侧花茎原基分化时, 叶中 GA<sub>3</sub> 含量出现一高值, 而 IAA 含量出现一低值。其中处理 T14 下的植株叶中 GA<sub>3</sub> 含量出现 2 个高值, 而 IAA 含量则出现 2 个低值, 这与我们在显微镜下观察的茎尖生长锥进入第 1 级侧花茎原基分化期和第 2~3 级侧花茎原基分化期相对应; 处理 T18 下的植株叶中 GA<sub>3</sub> 含量出现一个高值, 而 IAA 含量则出现一个低值, 这与我们在显微镜下观察的茎尖生长锥进入第 1 级侧花茎原基分化期相对应。赤霉素在植物生长过程中主要起促进伸长和促进细胞体积扩大的作用, 与营养生长阶段的茎尖生长锥分化相比, 花芽分化是一个细胞分裂旺

盛的过程, 所以在青花菜茎尖生长锥进入花芽分化转折期时 GA<sub>3</sub> 下降有利于花芽的分化, 这也与 Huang 和 Guan (1993) 以及李梅兰等 (2002) 在菜心中的结果相符。在第 1 级侧花茎原基分化期、第 2~3 级侧花茎原基分化期时 GA<sub>3</sub> 含量各有一高值, 这与我们的低温下青花菜萌动种子促进花芽分化的结果相符 (蒋欣梅和于锡宏 2004), 说明青花菜侧花茎每一级的花芽分化, 都要求有较高含量的 GA<sub>3</sub>。同时, 本研究中植株叶片的 IAA 含量变化与董合忠等 (1999) 在棉花中的结果相一致, 说明青花菜侧花茎每一级的花芽分化, 都要求有较低含量的 IAA。

### 参考文献

- 陈春良, 陆振清主编 (2001). 新编特色蔬菜瓜类栽培手册. 上海: 上海科学技术文献出版社, 109
- 种康, 雍伟东, 谭克辉 (1999). 高等植物春化作用研究进展. 植物学通报, 16 (5): 481~487
- 董合忠, 李维江, 任桂杰, 陈永哲 (1999). 棉花花芽分化过程中 IAA 含量与过氧化物酶活性变化趋势的研究. 棉花学报, 11 (6): 303~305
- 关佩聪, 梁承愈 (1992). 青花菜花球形态建成的研究. 园艺学报, 19 (2): 147~150
- 蒋欣梅, 于锡宏 (2004). 低温处理青花菜萌动种子对花芽分化的促进作用. 植物生理与分子生物学学报, 30 (4): 421~427
- 李梅兰, 曾广文, 朱祝军 (2002). 菜心茎尖 DNA 甲基化水平及 GA、蛋白质含量的变化与花芽分化. 浙江大学学报, 28 (2): 161~164
- 罗正荣, 朱丽华, 吴谋成, 章文才 (1990). 植物组织中赤霉酸含量的高效液相色谱测定. 植物生理学通讯, (2): 50~52
- 弭忠祥主编 (1999). 生物电子显微镜实验技术. 哈尔滨: 东北农业大学出版社, 32~34
- 藤目幸拔, 広瀬忠彦 (1979). ハナセサイ類の花らい形成並ごに發育の温度(I). 園芸学会雑誌, 48 (1): 82~86
- 藤目幸拔, 広瀬忠彦 (1980). ハナセサイ類の花らい形成並ごに發育の温度条件に關する(II). 園芸学会雑誌, 49 (2): 219~227
- 藤目幸拔, 広瀬忠彦 (1981). ハナセサイ類の花らいの肥大に及ぼす生育初期の温度の影響. 園芸学会雑誌, 50 (2): 215~221
- Fujime Y, Okuda N (1996). The physiology of flowering in brassicas, especially about cauliflower and broccoli. Acta Hort, 407: 247~254
- Huang MT, Guan PC (1993). Relationship between endogenous CTK and flowering stalk formation in *Brassica parachinensis* Bailey. J South China Agr Univ, 14 (3): 87~91
- Jiang XM, Li YF, Yu XH (2005). Effect of different growth state of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) on low temperature induction. J Northeast Agr Univ, 12 (1): 20~23