

网络出版时间:2014-03-26 17:09

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.04.027

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.04.027.html>

线辣椒花芽分化过程的形态观察及 部分代谢产物和酶活性的变化

臧纱纱, 赵尊练, 江山, 郭长美, 胡建超, 聂伟燕, 郭建伟

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究 4 个线辣椒品种(系)的花芽分化过程及其与外部形态、部分生理生化指标的关系, 为提高线辣椒花芽分化指数、获得高产提供依据和参考。【方法】以 M5-21、M34-1、2011-9 和陕椒 2006 4 个线辣椒品种(系)为供试材料, 从第 3 片真叶出现开始, 每隔 3 d 从生长点取样, 采用常规石蜡切片法制片, 观察线辣椒的花芽分化过程; 从第 4 片真叶出现时开始, 每隔 5 d 取第 3、4 片真叶, 测定可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白和叶绿素含量; 同时测定 POD、PAL 和 PPO 活性。【结果】线辣椒花芽分化过程包括生理分化期、分化初期、萼片分化期、花瓣分化期、雄蕊分化期和雌蕊分化期, 分化开始时茎秆上有 6 片展开真叶, 顶端花芽(即门椒花芽)分化全过程需 28 d 左右, 分化完成时茎秆上有 14 片展开真叶。叶片中可溶性糖及淀粉含量在花芽分化开始前积累至最大值, 在花芽分化开始后, 二者含量逐渐降低, 说明可溶性糖和淀粉的积累有利于花芽分化。叶片内可溶性蛋白含量在生理分化期达到峰值, 此后逐渐下降, 从萼片分化期到花芽分化结束保持平稳状态。叶绿素含量在生理分化期至花芽分化初期呈略微上升趋势, 之后逐渐下降, 花芽分化进入后期时有较大幅度的上升。线辣椒花芽分化期 POD 和 PAL 活性的变化趋势基本一致, 在生理分化期均达到一个相对较高的酶活水平, 进入花芽分化期均下降, POD 活性在萼片分化期下降至最低点, PAL 活性在花瓣分化期下降至最低点, 此后均又逐渐升高。PPO 活性呈现双峰变化趋势, 2 个峰值分别出现在萼片分化期和雄蕊分化期, 最低点出现在雌蕊分化期。4 个线辣椒品种(系)的上述指标变化趋势一致, 只是具体数值有所差异。【结论】较高的可溶性糖、淀粉、蛋白质和叶绿素含量, 及相对较高的 POD、PAL、PPO 活性, 有利于线辣椒花芽分化。

【关键词】 线辣椒; 花芽分化; 形态分化; 代谢物质

【中图分类号】 S641.301

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)04-0171-08

Morphology and changes in metabolites during floral bud differentiation of chili pepper

ZANG Sha-sha, ZHAO Zun-lian, JIANG Shan, GUO Chang-mei,
HU Jian-chao, NIE Wei-yan, GUO Jian-wei

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The flower differentiation process and its relation with physiological and biochemical indices of four chili peppers cultivars (lines) were studied. 【Method】Using four chili pepper varieties, M5-21, M34-1, 2011-9, and Shaanjiao 2006 as materials, samples were collected from the growing point every 3 days after the third true leaf emerged for observation of flower differentiation using paraffin section method, and another set of samples were collected from the third and fourth true leaves every 5 days for determination of soluble sugar, starch, soluble protein, chlorophyll, and activities of POD, PAL and

【收稿日期】 2013-04-07

【基金项目】 农业部公益性行业科研专项“干制辣椒品种优化及安全高效生产关键技术研究与示范”(200903025)

【作者简介】 臧纱纱(1987—), 女, 山东济宁人, 在读硕士, 主要从事线辣椒育种及栽培研究。E-mail: daidai4918@126.com

【通信作者】 赵尊练(1960—), 男, 陕西乾县人, 研究员, 博士, 主要从事线辣椒育种及栽培研究。

E-mail: zhaozunl@public.xa.sn.cn

PPO.【Result】The flower differentiation process included six phases: physiological differentiation, initial differentiation, sepal differentiation, petal differentiation, stamen differentiation and pistil differentiation. There were 6 true leaves in the stalk at the start of flower bud differentiation, and 28 days were needed for the whole process of the first flower bud differentiation with 14 true leaves expanded at the end of differentiation. The contents of soluble sugar and starch accumulated to the maximum in the physiological differentiation phase, and decreased gradually since the start of the flower bud differentiation, indicating that the accumulation of soluble sugar and starch were helpful to flower bud differentiation. Soluble protein content in leaves peaked at the physiological differentiation phase, then decreased gradually and maintained a steady state from sepal differentiation stage to the end of the flower bud differentiation. From physiological differentiation phase to flower bud differentiation early, chlorophyll content showed a slight upward trend followed by a gradual decrease, and there was a substantial increase in the late stage of flower bud differentiation. During the flower bud differentiation, POD and PAL activities trends were generally identical; achieving a relatively high level in the physiological differentiation phase and decreased since the stage of flower bud differentiation with the minimum levels at the sepals differentiation phase and the petals differentiation phase, respectively. PPO activity showed a bimodal trend with the two peaks at the sepal differentiation stage and stamen differentiation phase, and the lowest point at the pistil differentiation stage. The trends of indexes of the 4 chili pepper cultivars were consistent with differences in the absolute levels.【Conclusion】High contents of soluble sugar, starch, protein and chlorophyll, and high activities of POD, PAL and PPO were beneficial to the flower bud differentiation of chili pepper.

Key words: chili pepper; flower bud differentiation; morphological differentiation; metabolites

线辣椒是 1 年生辣椒种 (*Capsicum annuum* L.) 中的一个重要类型, 在中国有大面积的种植, 目前主要用于制干、制酱等。由于线辣椒单果质量有限, 因此提高单株结果数是获得高产的一个重要途径。而单株结果数与花芽分化密切相关。花芽分化是植物由营养生长期进入生殖生长期的转折点, 良好的花芽分化不但可以保证花芽的质量和数量, 对提高果实产量和品质也具有重要意义。有关花芽分化的研究在很多花卉植物上已有大量报道, 包括蝴蝶兰^[1]、杜鹃红山茶花^[2]、百合^[3-4]、金边瑞香^[5]、大丽花^[6]、菊花^[7]、鸢尾^[8]等。针对蔬菜作物花芽分化的研究也有一些报道, 如萝卜^[9]、薄皮甜瓜^[10]、京水菜^[11]等。但关于辣椒花芽分化的研究很少, 目前仅有对伏地尖椒花芽分化过程的简单观察^[12], 而对于线辣椒的花芽分化尚未见研究报道。本试验用光学显微镜观察了 4 个线辣椒品种(系)的花芽分化过程, 同时测定了花芽分化过程中线辣椒体内相关代谢产物及酶活性的变化, 以为生产中提高线辣椒花芽分化指数及产量提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在西北农林科技大学新天地试验基地进

行。供试材料为陕西省线辣椒产区(关中地区)的主栽品种陕椒 2006 及西北农林科技大学园艺学院线辣椒育种课题组培育的线辣椒新品系 M5-21、M34-1 和 2011-9, 4 个材料均为中熟品种, 成熟期基本一致。2012-03-20 在塑料大棚里以大田生产中的常规株行距点播, 04-03 左右出苗, 05-05 揭掉大棚上面的塑料膜, 使辣椒苗处于自然条件下。

1.2 花芽分化过程的观察

从线辣椒第 3 片真叶出现开始, 每隔 3 d 于上午 09:00 取样 1 次。取样部位为植株生长点, 每次取 6 株, 共 6 个生长一致的芽, 蒸馏水洗净后, 立即置入 FAA 固定液中, 抽气固定。采用 Leica RM2145 旋转切片机按照常规石蜡切片法^[13]切片, 厚度为 8 μm 。以番红固绿双重染色, 加拿大树胶封片, BX 型 OLYMPUS 显微镜观察并照相。

1.3 叶片中相关代谢产物及酶活性的测定

根据花芽分化进程, 于 04-20 第 4 片真叶出现时开始, 每隔 5 d, 每个品种取 5 株生长一致的线辣椒的第 3、4 片真叶, 进行相关代谢产物及酶活性的测定。采用蒽酮比色法^[14]测定可溶性糖和淀粉含量, 采用考马斯亮蓝比色法^[14]测定可溶性蛋白含量, 采用乙醇法^[15]测定叶绿素含量, 采用愈创木酚比色法^[14]测定 POD 活性, 采用比色法^[14]测定 PAL

和PPO活性。以上指标均重复测定3次,取平均值。结果分析采用DPS v7.05版统计分析软件及Excel软件。

2 结果与分析

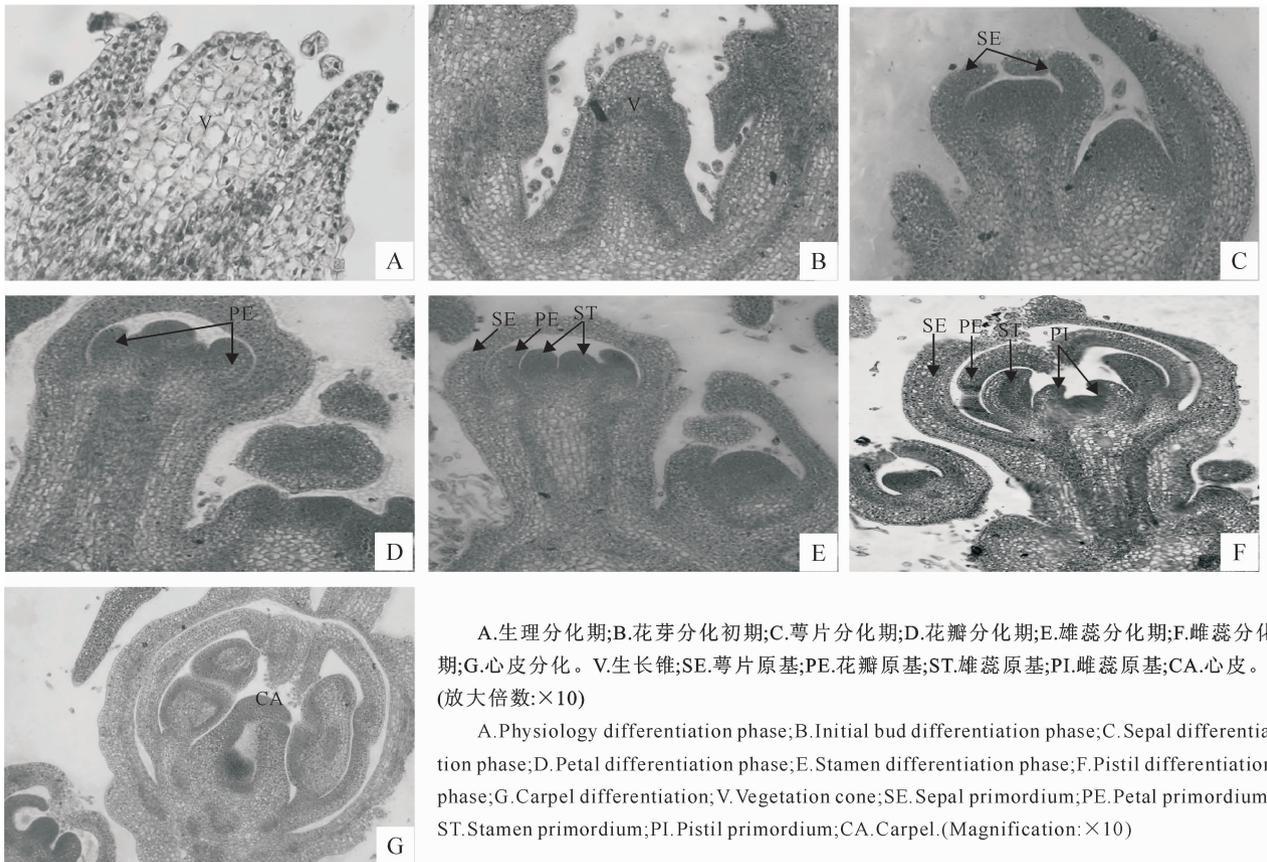
2.1 线辣椒的花器结构及开花习性

线辣椒的花为完全花,有雄蕊和雌蕊;单生或2~3朵簇生在一起。花小,花冠白色,基部合生,花萼5枚,基部联合,呈钟状萼筒,为宿存萼。雄蕊5枚,基部联合,花药长圆形,浅紫色,成熟散粉时纵裂;雌蕊1枚,花药与柱头等长或柱头稍长。本试验

所选线辣椒品种为无限生长型,花期较长,从顶端生长点的花芽分化开始到最后收获,一直都在进行花芽分化;由顶端生长点分化的第1朵花通称门椒花,门椒花后面的第2层花通称对椒花。

2.2 线辣椒花芽分化时期及主要特征

根据所观察的生长锥形态变化和花芽分化特点,可将线辣椒花芽分化过程分为6个时期。4个供试线辣椒品种花芽分化的形态学观察结果一致,为节省篇幅,以陕椒2006为例展示花芽分化过程(图1)。



A.生理分化期;B.花芽分化初期;C.萼片分化期;D.花瓣分化期;E.雄蕊分化期;F.雌蕊分化期;G.心皮分化。V.生长锥;SE.萼片原基;PE.花瓣原基;ST.雄蕊原基;PI.雌蕊原基;CA.心皮。(放大倍数:×10)

A. Physiology differentiation phase; B. Initial bud differentiation phase; C. Sepal differentiation phase; D. Petal differentiation phase; E. Stamen differentiation phase; F. Pistil differentiation phase; G. Carpel differentiation; V. Vegetation cone; SE. Sepal primordium; PE. Petal primordium; ST. Stamen primordium; PI. Pistil primordium; CA. Carpel. (Magnification: ×10)

图1 陕椒2006的花芽分化过程

Fig. 1 Flower bud differentiation phases of Shaanjiang 2006

2.2.1 生理分化期 线辣椒花芽分化前,即营养生长期生长锥突起小,被叶原基包在中间,长与宽差异不明显,类似半圆形。细胞体积大,细胞核较小,排列紧密(图1-A)。

2.2.2 花芽分化初期 营养生长期结束后进入生殖生长期,生长锥突起明显,长度明显大于宽度,与未分化期显著不同。细胞核变大,排列更加紧密(图1-B)。

2.2.3 萼片分化期 随着线辣椒的生长,生长锥顶部变宽,在其基部两边分别出现2个萼片突起。萼片原基呈小指状弯曲将生长锥包在中间。萼片原基

最终发育成萼片。在基部,萼片原基外侧出现2个小花突起(图1-C)。

2.2.4 花瓣分化期 随着萼片原基的不断伸长和向内弯曲,生长锥顶部中间略微凹陷,形成的突起即为花瓣原基。花瓣原基不断生长最终发育成花冠。生长锥基部的小花突起继续生长变大(图1-D)。

2.2.5 雄蕊分化期 随着萼片原基和花瓣原基的不断伸长,在花瓣原基内侧形成的突起即为雄蕊原基。此时外围萼片原基向内弯曲逐渐连在一起。随后雄蕊原基不断伸长,最终发育为雄蕊,基部小花处

于萼片分化期(图 1-E)。

2.2.6 雌蕊分化期 随着雄蕊原基的进一步发育,在雄蕊原基内侧基部形成的突起即为雌蕊原基。此时萼片原基紧密连在一起并在外侧形成 2 个三角锥的突起,就像兔耳一样的结构(图 1-F)。雌蕊原基进一步发育生长呈锥形,基部小花处于花瓣分化期(图 1-G)。生长锥顶部花芽最终形成一个成熟的花器官。

2.3 线辣椒花芽分化过程中生长锥及外部形态的变化

在陕西关中地区,早春温度较低,线辣椒于 03-20 播种,2 周左右出苗,04-27 开始进行花芽分化,顶端花芽分化大约需要 28 d 才能完成。表 1 显示了线辣椒顶端花芽(以下称门椒花芽)分化过程中生长锥及株高和展叶数的变化。随着花芽分化过程的推进,生长锥不断伸长增宽,株高不断增加,展开叶片数也不断增多。株高 12 cm 左右、展开真叶 4 片时,花芽均未分化,为生理分化期;株高 16 cm 左右、展开真叶 6 片时,门椒花芽开始分化;株高 21 cm 左

右、展开叶片 8 片时,门椒花芽进入萼片分化期,同时,生长锥基部出现新的小花突起;株高 24 cm 左右、展开叶片 10 片时,门椒花芽进入花瓣分化期,对椒花芽进入分化初期;株高 27 cm 左右,展开叶片 12 片时,门椒花芽进入雄蕊分化期,对椒花芽进入萼片分化期;株高 31 cm 左右、展开叶片 14 片时,门椒花芽进入雌蕊分化期,此后不久门椒花芽分化完成,现蕾开花。当门椒花芽进入雌蕊分化期时,对椒花芽进入花瓣分化期;门椒花芽分化完成时,对椒花芽进入雄蕊分化期。当对椒花芽进入萼片分化期时,其花芽基部出现第 3 层小花突起,即第 3 层花芽开始分化。这说明在线辣椒花芽分化阶段,花芽是簇生的,而随着植株不断生长,节间距不断增大,花坐落在不同的节位上,有些表现为单生花,有些则表现为簇生花。陕椒 2006、M5-21、M34-1、2011-9 的簇生花率(即簇生花占每株开花总数的百分率)分别为 12.44%、2.66%、7.32% 和 7.80%。

表 1 线辣椒花芽分化过程中顶端生长锥及外部形态的变化

Table 1 Changes of growth cone and external shape in flower bud differentiation of chili pepper

门椒花芽分化时期 The first flower bud differentiation phase	生长锥宽度/ μm Growth cone width	生长锥高度/ μm Growth cone height	株高/cm Plant height	展开叶数 Leaf number
生理分化期 Physiology differentiation phase	21.75 \pm 0.70 F	31.86 \pm 3.25 F	12.3 \pm 0.26 F	4
分化初期 Initial differentiation phase	53.93 \pm 1.75 E	98.52 \pm 2.34 E	16.1 \pm 0.38 E	6
萼片分化期 Sepal differentiation phase	97.49 \pm 4.31 D	117.44 \pm 3.54 D	21.0 \pm 0.96 D	8
花瓣分化期 Petal differentiation phase	137.91 \pm 1.70 C	153.40 \pm 3.69 C	23.9 \pm 0.54 C	10
雄蕊分化期 Stamen differentiation phase	164.91 \pm 11.92 B	184.97 \pm 12.58 B	27.1 \pm 0.84 B	12
雌蕊分化期 Pistil differentiation phase	239.03 \pm 10.88 A	425.35 \pm 16.97 A	31.6 \pm 0.75 A	14

注:表中数据为 4 个品种的平均值;同列数据后标不同字母表示在 $P=1\%$ 水平上差异显著。

Note: The data were mean values of 4 cultivars (lines). Different letters in each column indicate significant difference at $P=1\%$ level.

2.4 线辣椒花芽分化过程中部分代谢产物的变化

2.4.1 可溶性糖含量 4 个线辣椒品种叶片中可溶性糖含量的变化规律基本一致,随着花芽分化的推进,叶片中可溶性糖含量均呈现先上升后下降的趋势(图 2)。花芽分化开始前(生理分化期),M5-21、M34-1、2011-9 和陕椒 2006 叶片中的可溶性糖含量分别为 21.95、21.71、21.54 和 26.64 mg/g,花芽分化初期达到峰值(54.23、56.46、56.48 和 49.97 mg/g);之后开始下降,在雌蕊分化期降到最低,M5-21、M34-1、2011-9 和陕椒 2006 4 个品种的下降幅度分别为 64.82%、71.74%、77.83% 和 68.71%。说明花芽分化需要大量的可溶性糖。经方差分析,在生理分化期,陕椒 2006 叶片中可溶性糖含量显著高于 M34-1 和 2011-9 ($P<0.05$);进入花芽分化阶段后,4 个线辣椒品种叶片中的可溶性糖含量差异不显著。

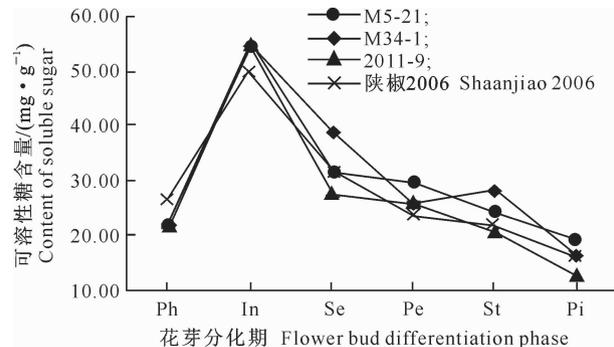


图 2 线辣椒花芽分化过程中叶片可溶性糖含量的变化
Ph. 生理分化期; In. 花芽分化初期; Se. 萼片分化期; Pe. 花瓣分化期;
St. 雄蕊分化期; Pi. 雌蕊分化期。下同

Fig. 2 Changes of soluble sugar contents in leaves of chili pepper in the process of flower bud differentiation
Ph. Physiology differentiation phase; In. Initial bud differentiation phase; Se. Sepal differentiation phase; Pe. Petal differentiation phase; St. Stamen differentiation phase; Pi. Pistil differentiation phase. The same below

2.4.2 淀粉含量 图3表明,4个线辣椒品种叶片中淀粉含量的变化趋势与可溶性糖含量的变化一致,均呈先上升后下降的趋势。其中M5-21、M34-1、2011-9和陕椒2006叶片中淀粉含量的下降幅度分别为65.59%、75.71%、82.31%和75.24%。经方差分析,4个品种叶片中的淀粉含量在花芽分化进程中差异不显著。M5-21、2011-9在花芽分化中后期出现了一个淀粉少量积累上升的转折点,这与可溶性糖含量变化一致,推断这2个品种生殖生长仍需营养物质的供给,因此淀粉含量有积累的趋势,花芽分化后期生殖生长活跃,继续消耗淀粉。

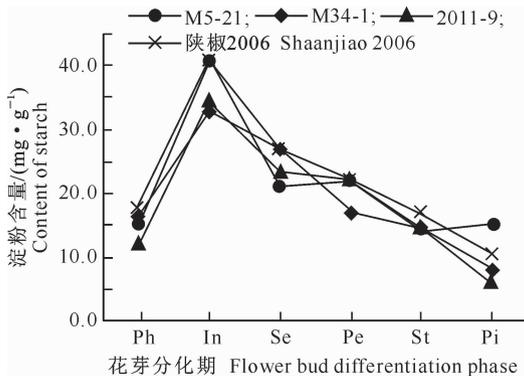


图3 线辣椒花芽分化过程中淀粉含量的变化

Fig. 3 Changes of starch contents in leaves of chili pepper in the process of flower bud differentiation

2.4.4 叶绿素含量 图5表明,4个线辣椒品种叶片中的叶绿素含量在生理分化期至花芽分化初期均呈平缓上升趋势,之后逐渐下降,间接表明植株由营养生长开始向生殖生长过渡。花芽分化进入花瓣分化期后,叶绿素含量呈上升趋势,表明此时整个植株的营养生长较生殖生长旺盛,需要大量的叶绿素制造所需营养物质。4个品种的叶绿素含量无显著性差异。

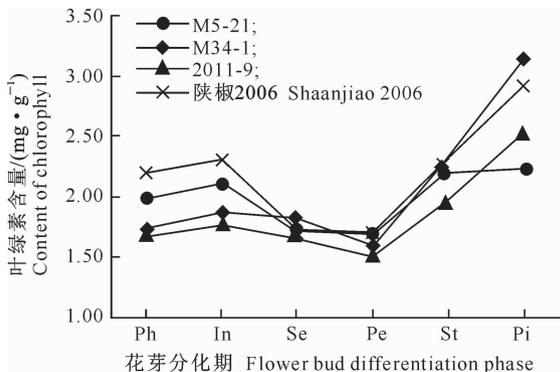


图5 线辣椒花芽分化过程中叶绿素含量的变化

Fig. 5 Changes of chlorophyll contents in leaves of chili pepper in the process of flower bud differentiation

2.4.3 可溶性蛋白含量 图4表明,4个线辣椒品种叶片中可溶性蛋白含量均在生理分化期达到峰值,此后逐渐下降,从萼片分化期开始到花芽分化结束保持平稳状态。M5-21、M34-1、2011-9和陕椒2006叶片中可溶性蛋白含量下降幅度分别为60.81%、62.75%、64.35%和66.09%。在花芽分化初期,叶片中的可溶性蛋白含量已降至一个较低的水平,由此推断较高的蛋白质水平不利于花芽分化进行。经方差分析知,4个线辣椒品种叶片中的可溶性蛋白含量在各个时期均没有显著差异。

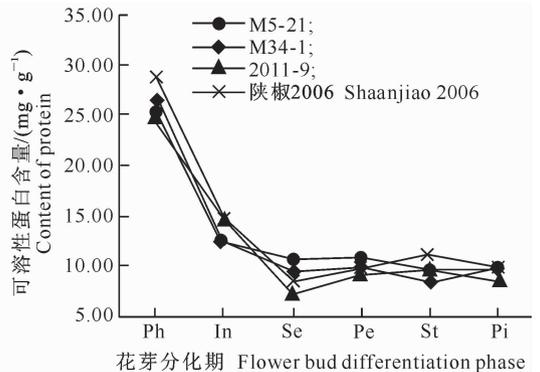


图4 线辣椒花芽分化过程中可溶性蛋白含量的变化

Fig. 4 Changes of protein contents in leaves of chili pepper in the process of flower bud differentiation

2.5 线辣椒花芽分化过程中酶活性的变化

由表2可知,花芽分化各个时期4个线辣椒品种的POD活性各不相同,但有着相同的变化趋势:在生理分化期均达到一个相对较高的酶活水平,进入花芽分化初期均下降,并在萼片分化期下降至最低点,此后逐渐上升。在生理分化期、分化初期、花瓣分化期及雄蕊分化期,4个线辣椒品种间的POD活性无显著差异;萼片分化期陕椒2006的POD活性显著高于其他3个品种;雌蕊分化期M5-21、M34-1和陕椒2006的POD活性显著大于2011-9。

由表2还可知,4个线辣椒品种的PAL活性变化趋势一致:在生理分化期达到一个较高的酶活水平,随着花芽分化进程的推进,PAL活性下降,在花瓣分化期降至最低,随后逐渐上升。4个线辣椒品种间在某些分化阶段有显著性差异,如在生理分化期、分化初期和花瓣分化期陕椒2006的PAL活性显著高于其他3个品种,萼片分化期M34-1和陕椒2006的PAL活性显著高于M5-21和2011-9,花瓣分化期陕椒2006的PAL活性显著高于其他3个品种,雄蕊分化期M5-21的PAL活性显著高于其他

品种,雌蕊分化期 M34-1 和 M5-21 的 PAL 活性显著高于 2011-9 和陕椒 2006。

在花芽分化期间,线辣椒叶片中的 PPO 活性呈现双峰变化趋势(表 2)。由生理分化进入分化初期时,PPO 活性下降,此后,在萼片分化期和雄蕊分化

期出现 2 个峰值,在雌蕊分化期下降至最低点。4 个线辣椒品种的 PPO 活性在生理分化期、萼片分化期、花瓣分化期无显著差异;在分化初期、雄蕊分化期和雌蕊分化期,个别品种间有显著差异。

表 2 4 个线辣椒品种花芽分化过程中叶片 3 种酶活性的变化

Table 2 Changes of 3 enzyme activities in leaf during flower bud differentiation process

花芽分化时期 Differentiation phase of flower bud	POD/($\Delta OD_{470} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)				PAL/($\Delta OD_{290} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)				PPO/($\Delta OD_{525} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)			
	M5-21	M34-1	2011-9	陕椒 2006 Shaanjiao 2006	M5-21	M34-1	2011-9	陕椒 2006 Shaanjiao 2006	M5-21	M34-1	2011-9	陕椒 2006 Shaanjiao 2006
生理分化期 Physiology differentiation phase	7.26	8.03	7.97	7.40	7.59	9.04	9.44	18.54 a	134.33	83.79	75.46	107.02
分化初期 Initial differentiation phase	3.26	3.56	3.03	4.99	5.76	6.58	7.32	12.72 a	108.53	56.82 c	45.97 c	84.71 b
萼片分化期 Sepal differentiation phase	1.30	1.76	1.88	2.67 a	1.64	3.71 a	1.84	3.24 a	236.67	130.00	90.00	116.67
花瓣分化期 Petal differentiation phase	7.97	7.98	5.52	4.94	1.61	0.89	1.44	2.40 a	95.63	84.38	88.12	65.62
雄蕊分化期 Stamen differentiation phase	10.64	11.77	7.90 b	10.56	3.30 a	0.97 c	2.75	2.93	116.25	118.13	98.13	90.00 b
雌蕊分化期 Pistil differentiation phase	14.29	10.40 b	8.90 c	13.39	5.24 a	5.94 a	4.36	4.50	76.50 a	32.29 c	42.17	50.63

注:标不同字母表示同一分化时期不同线辣椒品种间相同酶活性在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Note: Different letters for the same enzyme activity in each differentiation phase of different chili pepper varieties indicate significant difference at $P < 5\%$ level.

3 讨论

花芽分化是复杂的生理生化和形态分化过程,确定花芽分化的日期,了解线辣椒花芽分化的全过程和相关代谢产物含量及酶活性的变化,不仅可以为了解线辣椒生物学特性提供基础资料,也可作为制定线辣椒栽培管理措施的依据。对于多数植物来说,花芽分化开始的标志是芽体积的增大和芽顶端的形态变化。在本研究中,线辣椒的茎尖生长锥由原来的类似半圆形,经过显著伸长增宽变化为高度大于宽度,成为花芽开始分化的形态标志。本研究结果与前人在新铁炮百合^[3]和苦苣^[16]上的研究结果基本一致。一般而言,植物的花芽分化均按照一定的程序进行^[17]。本试验通过石蜡切片方法证实,线辣椒的花芽分化也是如此,其分化规律遵循生理分化期、分化初期、萼片分化期、花瓣分化期、雄蕊分化期和雌蕊分化期的顺序。罗应忠^[12]的研究结果表明,在湖南长沙,伏地尖早椒 03-10 出苗,大约 20 d 后顶端生长锥开始伸长,花芽开始分化,此时株高 3~4 cm,有 4~6 片展开真叶,花芽分化全过程大约需要 20 d,门椒花芽分化完成时茎秆上有 10~11 片展开真叶。而本研究结果表明,线辣椒 04-02 出苗,大约 25 d 后顶端生长锥开始伸长,花芽开始分化,此时株高 16 cm、展开真叶 6 片,花芽分化全过程大

约需要 28 d,门椒花芽分化完成时株高 31 cm 左右,展开真叶 14 片。这是因为尖椒植株较线辣椒矮小,早熟品种更是如此,加之湖南长沙春季的气温比陕西关中高,因此,与伏地尖早椒相比,线辣椒花芽分化开始的时间要晚一些,持续期要长一些,花芽分化期间的株形要高大一些。

营养生长和营养物质的积累是花芽分化的物质基础。大量研究表明,碳水化合物在植物成花过程中具有重要作用。Marcelle^[18]认为,碳水化合物是启动分生组织成花的重要因素之一。李倩等^[19]研究表明,高山杜鹃花芽临界期叶片中可溶性糖和淀粉等指标总体呈上升趋势。李兴军等^[20]指出,杨梅花芽发端前,叶片还原糖、蔗糖和可溶性总糖均明显积累而有利于花芽孕育。涂淑萍等^[4]研究表明,百合花芽分化消耗大量的可溶性糖,百合在定植后一定时间可溶性糖达到最大值,进而开始进入花芽分化过程。钟晓红等^[21]研究表明,奈李在生理分化期,体内可溶性糖等代谢产物含量出现高峰,一旦进入花芽形态分化期则大量消耗各类营养物质。路苹等^[22]的研究结果表明,百合鳞茎休眠期积累的淀粉通过淀粉酶或其他水解酶类降解为可溶性糖类物质,为代谢旺盛的花芽形态分化提供营养物质。本试验结果表明,线辣椒在花芽生理分化期,可溶性糖和淀粉大量积累达到峰值,此后随着花芽分化过程

的推进,叶片中可溶性糖和淀粉含量大幅降低。由此可以初步认为,较高的可溶性糖和淀粉含量有利于线辣椒花芽分化的进行,而此后的含量减少是由于线辣椒花芽形态分化以及开花需要大量的能源供给造成的。可溶性蛋白作为一种结构物质,对各种物质的合成均起到重要作用,它是花器官形态建成的物质基础,在花芽分化时需要量很大。涂淑萍等^[4]研究表明,百合花芽形态分化期间,叶片中可溶性蛋白质含量大幅增加,这是由于叶片合成大量的蛋白质以满足其生理功能的需要。但孙乃波等^[23]的研究表明,在草莓花芽分化前,蛋白质含量高不利于花芽分化的开始。本试验结果显示,在线辣椒花芽分化前,叶片中可溶性蛋白含量迅速下降,也说明在花芽分化前高的蛋白质水平不利于花芽分化的开始,但是生理分化期间较高的蛋白质含量可为后续花芽分化的顺利进行提供物质保证。段俊等^[24]研究发现,杂交水稻在开花结实期叶绿素含量有所下降。何开跃等^[25]研究发现,矮牵牛花芽刚刚分化时,叶绿素含量降低。本试验结果表明,线辣椒花芽分化期间叶绿素含量的变化与上述研究结果基本一致,即花芽分化前叶绿素含量积累,且达到峰值的时间与可溶性糖含量达到高峰的时间基本一致。

除了营养物质的积累,花芽分化还需要一系列酶参与调控。任红旭等^[26]对黄瓜的研究结果显示,相对较高的PAL活性有利于花芽分化。董合忠等^[27]、李秉真等^[28]、杨暹等^[29]、孔德政等^[30]对棉花、苹果梨、青花菜、碗莲的研究结果均显示,POD活性的升高有利于花芽分化。李倩等^[19]、那光宇^[31]对高山杜鹃和什锦丁香的研究结果均表明,较高的POD、PAL、PPO活性有利于花芽的孕育。Hirai等^[32-33]研究表明,PAL活性在花芽开始出现时上升,随后下降。本试验结果也表明,在线辣椒生理分化期POD、PAL、PPO 3种酶活性均较高,进入分化初期均下降。POD和PPO是与呼吸有关的酶,酶活性越高呼吸越旺盛,3种酶的高活性有利于木质素的积累,有利于植物从营养生长向生殖生长的转变。线辣椒花芽分化后期酶活性的降低是因为随着花芽的成熟,叶片也自然成熟。

综上所述,较高的可溶性糖、淀粉、蛋白质和叶绿素含量及相对较高的POD、PAL、PPO活性,有利于线辣椒花芽分化。因此,在生产实践中应采取适宜的栽培管理措施,保障线辣椒花芽分化顺利进行。具体而言,对于线辣椒应注意保证较高的日温和较低的夜温,充足的光照,以及适当的水肥管理。花芽

发端开始之前适当控水,适当施用磷肥和钾肥,使线辣椒向生殖生长转变。花芽分化是一个复杂的过程,其他影响因素还需要进一步研究。

[参考文献]

- [1] 韦莉,彭方仁,王世博,等. 蝴蝶兰‘V31’花芽分化的形态观察及几种代谢产物含量的变化[J]. 园艺学报, 2010, 37(8): 1303-1310.
Wei L, Peng F R, Wang S B, et al. Morphology and changes of several metabolites content during flower bud differentiation in *Phalaenopsis* [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(8): 1303-1310. (in Chinese)
- [2] 李辛雷,孙振元,李纪元,等. 杜鹃红山茶花芽分化及其代谢产物的变化[J]. 林业科学, 2012, 48(8): 81-86.
Li X L, Sun Z Y, Li J Y, et al. Changes of metabolites and flower bud differentiation of *Camellia azalea* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(8): 81-86. (in Chinese)
- [3] 宁云芬,龙明华,陶劲,等. 新铁炮百合花芽分化过程的形态学观察[J]. 园艺学报, 2008, 35(9): 1368-1372.
Ning Y F, Long M H, Tao J, et al. Morphological observation on flower bud differentiation of *Lilium formolongi* Bulb [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(9): 1368-1372. (in Chinese)
- [4] 涂淑萍,穆鼎,刘春. 不同百合品种花芽分化期的生理生化变化[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 207-209.
Tu S P, Mu D, Liu C. The physiological and biochemical changes during flower bud differentiation of different Lily cultivars [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(7): 207-209. (in Chinese)
- [5] 黄冬华,周超华,魏国汶,等. 金边瑞香花芽形态分化研究[J]. 园艺学报, 2003, 30(3): 349-351.
Huang D H, Zhou C H, Wei G W, et al. Morphological observation on flower bud differentiation of *Daphne odora* var *margmata* [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(3): 349-351. (in Chinese)
- [6] 韦三立,陈琰,韩碧文. 大丽花的花芽分化研究[J]. 园艺学报, 1995, 22(3): 272-276.
Wei S L, Chen Y, Han B W. Study on bud differentiation of *Dahlia* flower [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1995, 22(3): 272-276. (in Chinese)
- [7] 石万里,姚毓璆. 菊花花芽分化初步研究[J]. 园艺学报, 1990, 17(4): 309-313.
Shi W L, Yao Y Q. Preliminary study on flower bud differentiation of *Dendranthema morifolium* [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1990, 17(4): 309-313. (in Chinese)
- [8] 常钟阳,张金政,孙国峰,等. 德国鸢尾‘常春黄’花芽分化的形态观察及两种代谢产物的动态变化[J]. 植物研究, 2008, 28(6): 741-745.
Chang Z Y, Zhang J Z, Sun G F, et al. Morphological studies and changes of two metabolites content during floral bud differentiation period in *Iris germanica* cv. *Lovely Again* [J]. Bulle-

- tin of Botanical Research, 2008, 28(6): 741-745. (in Chinese)
- [9] 张惠蓉, 张建伟, 龚义勤, 等. 萝卜花芽分化的形态学研究 [J]. 广东农业科学, 2010(6): 8-9.
Zhang H R, Zhang J W, Gong Y Q, et al. Morphological study on flower bud differentiation in radish [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010(6): 8-9. (in Chinese)
- [10] 郝敬虹, 齐红岩, 阎妮. 薄皮甜瓜花芽分化的形态解剖学研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(4): 602-604.
Hao J H, Qi H Y, Yan N. Morphology and anatomy of flower bud differentiation in melon [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2007, 38(4): 602-604. (in Chinese)
- [11] 赖李明, 任吉君. 京水菜花芽分化的形态解剖学研究 [J]. 种子, 2008, 27(11): 25-29.
Lai L M, Ren J J. Anatomical morphology of flower bud differentiation in *Brassica japonica* Sieb [J]. Seed, 2008, 27(11): 25-29. (in Chinese)
- [12] 罗应忠. 伏地尖早椒花芽分化观察 [J]. 中国蔬菜, 1990(3): 26.
Luo Y Z. Observation on flower bud differentiation of peak early pepper [J]. China Vegetables, 1990(3): 26. (in Chinese)
- [13] 李正理. 植物制片技术 [M]. 北京: 科技出版社, 1987.
Li Z L. Slice production technology of plant [M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese)
- [14] 李合生. 植物生理生化原理与技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
Li H S. Physiology and biochemistry principles and technologies of plant [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. (in Chinese)
- [15] 张宪政. 植物生理学实验技术 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994.
Zhang X Z. Plant physiology experiment technology [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1994. (in Chinese)
- [16] 周荣, 王艳, 任吉君, 等. 苦苣花芽分化的解剖学及采种研究 [J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(3): 12-15.
Zhou R, Wang Y, Ren J J, et al. Study on flower bud differentiation and seed collection of *Cichorium endivia* L. [J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(3): 12-15. (in Chinese)
- [17] 曲波, 张微, 陈旭辉, 等. 植物花芽分化研究进展 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(24): 109-114.
Qu B, Zhang W, Chen X H, et al. Research progress of flower bud differentiation mechanism of plant [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(24): 109-114. (in Chinese)
- [18] Marcelle R. The flower process and its control [J]. Acta Horticulturae, 1984, 149: 65.
- [19] 李倩, 肖建忠, 李志斌, 等. 高山杜鹃花芽分化临界期生理生化研究 [J]. 河北农业大学学报, 2009, 32(1): 47-50.
Li Q, Xiao J Z, Li Z B, et al. Physiological and biochemical research on critical period of floral initiation in *Rhododendron hybrid* [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2009, 32(1): 47-50. (in Chinese)
- [20] 李兴军, 李芸玉, 汪国云, 等. 杨梅花芽孕育期间叶片酸性蔗糖酶活性及糖类含量的变化 [J]. 四川农业大学学报, 2000, 18(2): 164-166.
Li X J, Li Z Y, Wang G Y, et al. Changes of acid invertase activity and correlated sugar level in bayberry leaves during flower bud initiation stage [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2000, 18(2): 164-166. (in Chinese)
- [21] 钟晓红, 罗先实, 陈爱华. 奈李花芽分化与体内主要代谢产物含量的关系 [J]. 湖南农业大学学报, 1999, 25(1): 31-35.
Zhong X H, Luo X S, Chen A H. A study on Nai Plum's flower bud differentiation and its major content of metabolic production [J]. Journal of Hunan Agricultural University, 1999, 25(1): 31-35. (in Chinese)
- [22] 路苹, 郭蕊, 于同泉, 等. 切花百合鳞茎花芽形态分化期碳水化合物代谢变化 [J]. 北京农学院学报, 2003, 18(4): 259-261.
Lu P, Guo R, Yu T Q, et al. The change on carbohydrate metabolism of Lily's during flower bud shape differentiation [J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2003, 18(4): 259-261. (in Chinese)
- [23] 孙乃波, 张志宏. 草莓花芽分化过程中叶片碳水化合物和蛋白质含量的变化 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(11): 2328-2329.
Sun N B, Zhang Z H. Content change of carbohydrate and protein during flower bud differentiation of strawberry [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2006, 34(11): 2328-2329. (in Chinese)
- [24] 段俊, 梁承邨, 黄文. 杂交水稻开花结实期间叶片衰老 [J]. 植物生理学报, 1997, 23(2): 139-144.
Duan J, Liang C Y, Huang W. Leaf getting old during flowering and seeding of hybrid rice [J]. Plant Physiology Communications, 1997, 23(2): 139-144. (in Chinese)
- [25] 何开跃, 谢寅峰, 艾畅, 等. 矮牵牛开花过程中核酸和叶绿素含量的变化 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(6): 95-97.
He K Y, Xie Y F, Ai C, et al. Variation in contents of nucleic acid and chlorophyll during florescence process of *Petunia hybrida* [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2004, 28(6): 95-97. (in Chinese)
- [26] 任红旭, 陈雄, 赵晓俊, 等. 低氮素和水杨酸对黄瓜子叶离体培养中花芽分化的影响 [J]. 园艺学报, 1999, 26(2): 105-109.
Ren H X, Chen X, Zhao X J, et al. Effects of nitrogen nutrition and salicylic acid on floral bud initiation in cucumber cotyledon culture [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1999, 26(2): 105-109. (in Chinese)
- [27] 董合忠, 李维江, 任桂杰, 等. 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 [J]. 棉花学报, 1999, 11(6): 303-305.
Dong H Z, Li W J, Ren G J, et al. Changes of IAA content and activities of peroxidase during cotton floral bud initiation [J]. Acta Gossypii Sinica, 1999, 11(6): 303-305. (in Chinese)