

不同抽薹性不结球白菜抽薹过程中碳氮指标的分析

王真真^{1,2}, 侯瑞贤², 李晓峰², 朱红芳², 朱玉英^{2,*}, 侯喜林^{1,*}

¹南京农业大学园艺学院, 南京210095; ²上海市农业科学院园艺研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海201106

摘要: 以抽薹性不同的不结球白菜自交系为材料, 研究了抽薹前后6个发育阶段叶片中碳水化合物、可溶性蛋白质、游离氨基酸含量的变化。结果表明, 可溶性总糖、蔗糖、淀粉含量在花芽分化时不断升高, 分化完成后下降, 抽薹时又有所升高; 还原糖仅在花芽分化中期升高; 三个自交系相比, 晚抽薹自交系08-1P-89在花芽分化时糖含量最高; 可溶性蛋白质和游离氨基酸变化趋势与可溶性总糖基本一致, 但游离氨基酸含量在抽薹时明显下降, 整个过程中晚抽薹自交系含量都最高; 在花芽分化过程和抽薹期, 碳氮比呈升高趋势。

关键词: 不结球白菜; 花芽分化; 抽薹; 碳水化合物; 可溶性蛋白质; 游离氨基酸

Analysis of Carbon and Nitrogen Indexes among Different Inbred Lines during Bolting in Pak-Choi

WANG Zhen-Zhen^{1,2}, HOU Rui-Xian², LI Xiao-Feng², ZHU Hong-Fang², ZHU Yu-Ying^{2,*}, HOU Xi-Lin^{1,*}

¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai Key Lab of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201106, China

Abstract: Different inbred lines of pak-choi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) were used to study the contents of carbohydrate, soluble protein and free amino acids of leaves at six developmental stages. The contents of total soluble sugar and sucrose increased during the flower bud differentiation, and then decreased, but increased while bolting. The content of reducing sugar increased at the middle differentiation stage. Compared to the three inbred lines, the contents of sugars in line 08-1P-89 with late bolting were the highest during the flower bud differentiation. The tendency was similar among the contents of soluble protein, free amino acids and total soluble sugar during the whole process, except the free amino acids content decreased significantly while bolting, and the contents of soluble protein and free amino acids in late bolting inbred line were the highest. Carbon-nitrogen ration showed an increasing trend at flower bud differentiation stage and bolting stage.

Key words: pak-choi; flower bud differentiation; bolting; carbohydrate; soluble protein; free amino acids

抽薹是不结球白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)整个生育周期中一个特有和必经的生长阶段, 抽薹在花芽分化及发育的中途便开始, 与花芽分化有着密不可分的关系。在萝卜(孙奇超等2010)、大白菜(李梅兰等2002, 2003)、小麦(任江萍等1999)、菊花(Ichmura等2000)等许多植物上的研究都证明, 花芽分化与碳、氮代谢关系密切, 它们不仅是物质结构的提供者, 更是能量的主要来源。但是关于不结球白菜抽薹前后与碳水化合物、蛋白质和游离氨基酸含量的关系及不同抽薹性品种间的比较, 国内很少有报道。本试验以抽薹性不同的不结球白菜为材料进行研究, 为更好的研究花芽分化、抽薹机理及进行抽薹调

控提供理论依据, 并对不结球白菜耐抽薹性鉴定提供生理指标的参考。

材料与方法

1 试验材料

试验材料为不结球白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino)的晚抽薹自交系08-1P-89、早抽薹自交系09-1-328c和抽薹时间介于前两者之

收稿 2011-07-15 修定 2011-08-12

资助 上海市科技攻关项目(09391911400)和上海市绿叶蔬菜产业体系项目。

* 共同通讯作者(E-mail: yy5@saas.sh.cn, Tel: 021-52235455; E-mail: hxl@njau.edu.cn, Tel: 025-84395917)。

间的自交系08-1P-76。以上材料均由上海市农业科学院园艺所提供。

2 试验方法

试验于2010年7~12月在上海市农业科学院园艺所试验基地和实验室进行。2010年7月用15 cm×15 cm的营养钵育苗,每营养钵2棵,待长到6~7片真叶时,移到光照气候箱低温春化,日夜温度分别为10 °C 10 h和4 °C 14 h,春化处理40 d。春化结束后,取出常规管理。每隔2~6 d取其顶端在解剖镜下观察,在营养生长期(春化处理前)、花芽分化初期、花芽分化中期、花芽分化完成、现蕾期和抽薹期,分别取生长顶端新长出的叶片,混匀称重,3次重复,-84 °C冰箱保存备用。

碳水化合物(可溶性总糖、蔗糖、淀粉、还原糖)含量采用上海农科院园艺所生理实验室的蒽酮比色法测定;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝G-250法(王晶英2003)测定;游离氨基酸含量的测定采用付娟娟(2008)的方法,稍作修改测定;碳氮比用可溶性总糖/可溶性蛋白质来表示。

实验结果

1 不结球白菜花芽分化至抽薹过程中碳水化合物含量的变化

1.1 可溶性总糖含量的变化

在花芽分化至抽薹过程中,3个自交系的可溶性总糖含量都呈现出先升高后降低再升高的趋势(图1)。随着花芽分化的进行,可溶性总糖含量不

断升高,分化完成后,急剧下降,尤其是晚抽薹自交系08-1P-89下降幅度最大。至现蕾、抽薹时,总糖含量又升高。总体来看,晚抽薹自交系可溶性总糖含量较高,表明晚抽薹自交系较长时间的营养生长使叶片中积累了更多的光合产物。

1.2 蔗糖含量的变化

蔗糖含量在花芽分化至抽薹过程中变化趋势与总糖类似,但是不同发育时期变化幅度较大(图2)。晚抽薹自交系在花芽分化完成后,蔗糖含量由最高降至最低,降低了72%。至现蕾、抽薹时,早抽薹自交系升高较快。花芽分化时蔗糖含量表现出:晚抽薹>早抽薹。

1.3 还原糖含量的变化

还原糖含量在花芽分化中期出现一个高峰,而且晚抽薹大于早抽薹自交系,在其他各时期还原糖含量基本一样,且不同自交系间无明显差异,仅晚抽薹材料在抽薹时稍有升高(图3)。可见在花芽分化过程中还原糖代谢旺盛,但在抽薹时代谢缓慢。

1.4 淀粉含量的变化

不结球白菜花芽分化至抽薹过程中淀粉含量呈现先升高后降低再升高的趋势,但抽薹性不同的材料差异较大(图4)。早抽薹材料09-1-328c和晚抽薹材料08-1P-89叶片在营养生长期至花芽分化中期逐步升高,到花芽分化结束时降低,而至现蕾及抽薹时期又逐步上升。同时,抽薹性介于两者之间的材料08-1P-76叶片淀粉的含量在花芽分

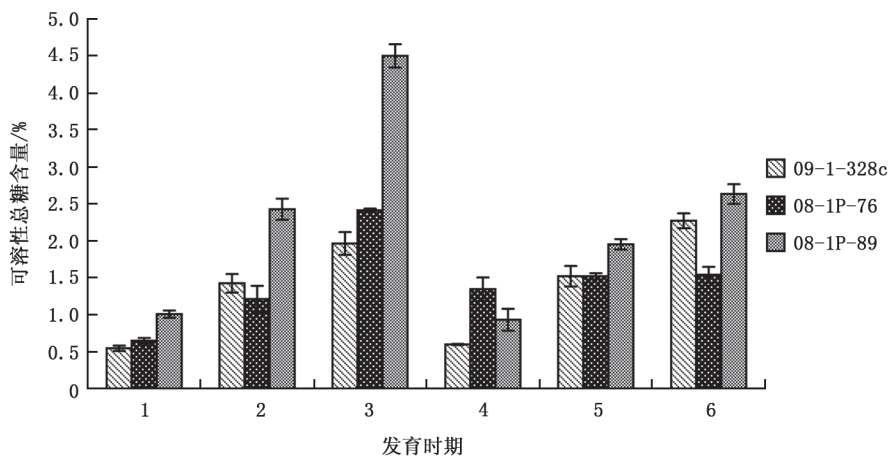


图1 可溶性总糖含量的变化

Fig.1 The changes of total soluble sugar content

1: 营养生长期; 2: 花芽分化初期; 3: 花芽分化中期; 4: 花芽分化完成; 5: 现蕾期; 6: 抽薹期; 下同。

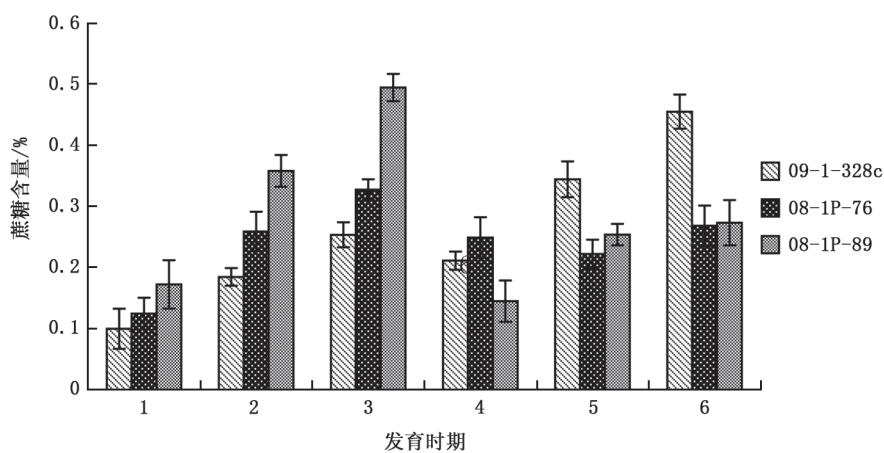


图2 蔗糖含量的变化

Fig.2 The changes of sucrose content

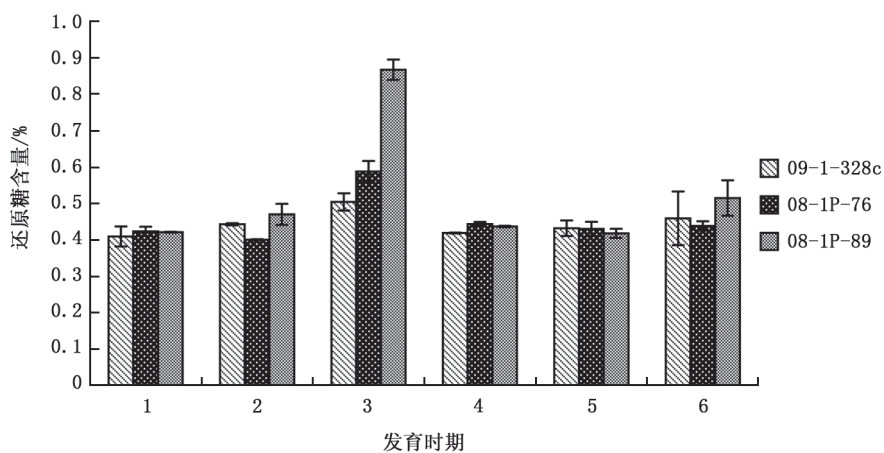


图3 还原糖含量的变化

Fig.3 The changes of reducing sugar content

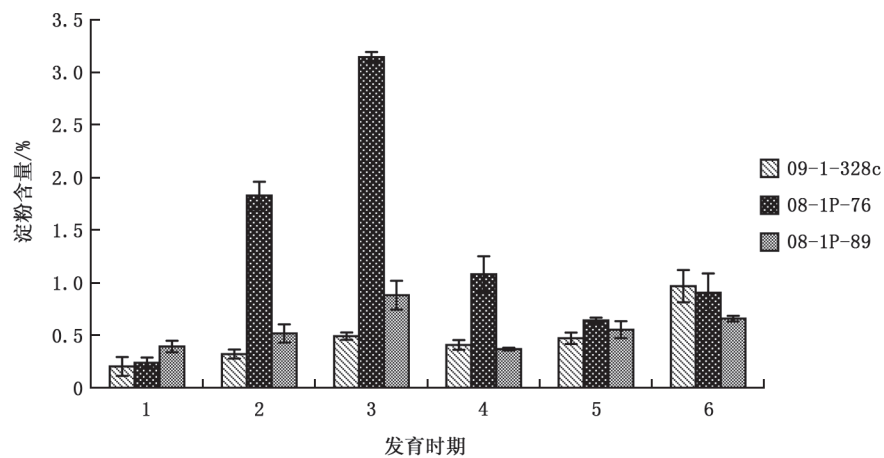


图4 淀粉含量的变化

Fig.4 The changes of starch content

化初期和中期的淀粉含量远高于其他两个材料(图4)。可见,花芽分化和成花作用的启动需要更多的淀粉。

2 不结球白菜花芽分化至抽薹过程中可溶性蛋白质含量的变化

可溶性蛋白质在整个发育过程中呈现先升高后降低再升高的趋势(图5)。在花芽分化初期,蛋白质表现出显著升高趋势,随着花芽分化的继续,08-1P-89和09-1-328c蛋白质含量缓慢升高,而08-1P-76开始下降,至分化完成时,3个自交系的蛋白质含量都呈下降趋势,但仍比营养生长期含量高。现蕾、抽薹时,可溶性蛋白质含量持续升高。在各时期晚抽薹自交系的可溶性蛋白质含量

始终高于另外2个自交系。

3 不结球白菜花芽分化至抽薹过程中游离氨基酸含量的变化

游离氨基酸在3个自交系中表现出升-降-升-降的变化趋势,晚抽薹自交系的变化幅度较大(图6)。在花芽分化过程中,游离氨基酸含量不断升高,分化结束后下降,现蕾时又升高,抽薹期明显下降,这与抽薹期蛋白质含量继续升高相反。游离氨基酸含量也表现出晚抽薹大于早抽薹材料。

4 不结球白菜花芽分化至抽薹过程中碳氮比的变化

在营养生长至花芽分化中期,不结球白菜顶端嫩叶的碳氮比呈显著升高的趋势,但至花芽分化结束时其碳氮比明显降低;而在现蕾、抽薹过

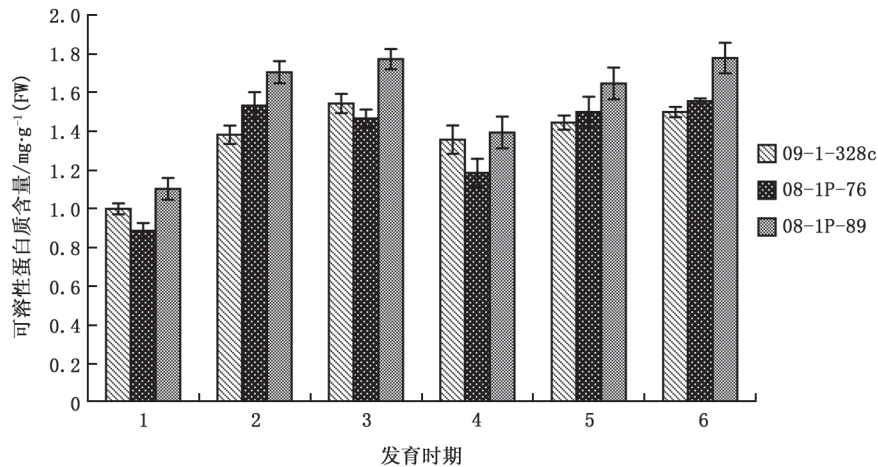


图5 可溶性蛋白质含量的变化

Fig.5 The changes of soluble protein content

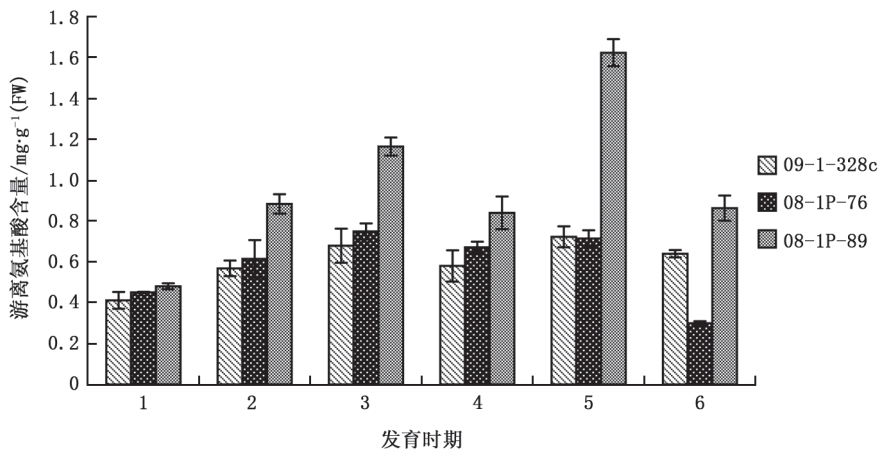


图6 游离氨基酸含量的变化

Fig.6 The changes of free amino acids content

程中, 早抽薹和晚抽薹两个材料的碳氮比又逐步升高, 但仍低于花芽分化中期, 08-1P-76的碳氮比

保持在稳定水平(图7)。表明较高的C/N有利于不结球白菜的花芽分化及花薹的发育。

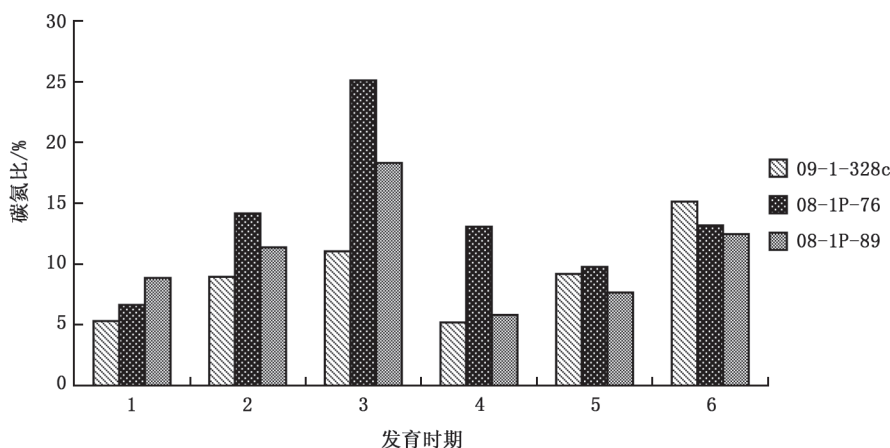


图7 碳氮比的变化

Fig.7 The changes of carbon-nitrogen ration

讨 论

目前关于花芽分化的研究较多, 在花芽分化阶段, 生长点作为“库”, 它的建成与糖类等同化物的代谢密切相关。在萝卜(Tzray-Fa 2000)、大白菜(杨勇2007)、甘蓝(杨小明等2009)上的研究都证明花芽分化时总糖含量升高, 本研究结果也与之一致。蔗糖作为最重要的碳水化合物, 可能不仅仅是作为能量供应物, 而且是作为一种信号物质发挥作用的(Bernier等1993)。国内有关不结球白菜抽薹与糖类代谢关系的研究较少, 杜正香等(2011)发现不结球白菜抽薹初期总糖含量较低, 随后逐渐升高, 汪炳良等(2003)认为萝卜春性品种较早的进入花芽分化状态。试验发现在不结球白菜抽薹时总糖和蔗糖含量升高, 它们为花薹的伸长提供物质结构和能量, 蔗糖的升高同时也可能是作为一种抽薹信号启动的表现。试验还证明还原糖在抽薹时所起作用不大, 可见抽薹过程对糖种类的需求是有选择性的, 非还原糖(蔗糖)代谢更加旺盛。晚抽薹材料叶片中各种糖含量在花芽分化中始终高于早抽薹材料, 表明晚抽薹品种需要调动较多的糖类物质来启动花芽分化。这也给不结球白菜耐抽薹品种鉴定提供生理指标的参考。

C/N在植物成花转变过程中具有重要作用。

张建铭等(1999)发现大花梔子在花芽孕育期, C/N急剧升高。孙奇超等(2010)认为萝卜花芽分化过程中, C/N逐渐增大, 在现蕾和抽薹期时, 比值急剧增大达到极显著。本试验显示不结球白菜花芽分化过程中, C/N呈现升高、降低、再升高的趋势。可见, 较高的C/N可促进不结球白菜的花芽分化及花薹的发育, 但是并非C/N越高越促进成花转变, 花芽分化的完成需要较低的碳氮比, 过高的碳氮比可能不利于现蕾, 因此碳和氮的平衡对促进开花更重要。

淀粉在植物中一般是作为贮藏性同化物加以利用的。汪炳良等(2004)、梁芳等(2008)认为在花芽分化中淀粉含量升高, 涂淑萍等(2005)却认为花芽分化并不直接需要淀粉。本试验发现3个抽薹时间早晚不同的自交系对淀粉的需求差异较大, 可能与抽薹性密切相关。抽薹性中等材料08-1P-76在花芽分化时积累了大量的淀粉, 这个发育阶段对淀粉的需求较大, 花芽分化完成后淀粉含量急剧下降, 可见大部分贮藏淀粉已被消耗。因此认为不结球白菜在抽薹时也都需要淀粉提供能量。

氨基酸是蛋白质的合成前体与组成单位, 在植物氮代谢过程中具有重要作用, 其变化与植物特定生理过程密切相关。本研究表明, 可溶性蛋白质和游离氨基酸含量在抽薹前变化趋势一致,

可见这两种物质的变化是相互牵制的。在抽薹时,蛋白质继续升高,而游离氨基酸含量则迅速下降,可能是抽薹时以游离氨基酸为基本单位形成了新的与抽薹密切相关的特异蛋白。奥岩松和李式军(1997)研究发现大白菜在抽薹初期出现两种特异蛋白,在甘蓝(杨小明等2009)、洋葱(刘磊等2006)等的研究中也发现抽薹期有特异蛋白产生。关于不结球白菜在花芽分化至抽薹过程中蛋白质种类的变化及与游离氨基酸的关系,仍需进一步的研究。整个发育过程中,晚抽薹自交系的蛋白质和游离氨基酸含量始终高于早抽薹自交系,因此它们也可作为耐抽薹性鉴定的生理指标。

参考文献

- 奥岩松,李式军(1997). 大白菜发育过程中可溶性蛋白质的变化. 中国蔬菜, (2): 19~21
- 杜正香,侯瑞贤,李晓峰,朱红芳,朱玉英,侯喜林(2011). 不结球白菜抽薹前后的生理生化研究. 上海农业学报, 27 (1): 60~64
- 付娟娟(2008). 萝卜春化过程中的生理生化变化及开花基因LFY的克隆[硕士论文]. 泰安: 山东农业大学
- 李梅兰,汪俏梅,朱祝军,曾广文(2002). 春化对白菜DNA甲基化、GA含量及蛋白质的影响. 园艺学报, 29 (4): 353~357
- 李梅兰,曾广文,朱祝君(2003). 冬性与春性白菜品种花芽分化前后生理代谢的比较. 中国农业科学, 36 (11): 1414~1418
- 梁芳,郑成淑,张翠华,孙庆春(2008). 菊花花芽分化过程中芽和叶片碳水化合物含量的变化. 山东农业科学, (1): 40~42
- 刘磊,刘世琦,许莉,齐连东,张云起(2006). 洋葱抽薹与未抽薹植株生理生化特性对比研究. 中国农学通报, 22 (1): 149~152
- 任江萍,潘登奎,尹均(1999). 小麦春化过程中蛋白质变化研究. 山西农业大学学报, 19 (4): 298~301
- 孙奇超,杨延杰,陈宁,林多(2010). 萝卜花芽分化进程中形态特征与碳氮比变化的研究. 北方园艺, (17): 47~49
- 涂淑萍,穆鼎,刘春(2005). 不同百合品种花芽分化期的生理生化变化. 中国农学通报, 21 (7): 207~209
- 汪炳良,邓俭英,曾广文(2003). 萌动种子低温处理对萝卜花芽分化及植株生长的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 29 (5): 504~508
- 汪炳良,邓俭英,曾广文(2004). 萝卜花芽分化过程中茎尖和叶片碳水化合物含量的变化. 园艺学报, 31 (3): 375~377
- 王晶英(2003). 植物生理生化实验技术与原理. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 22~24
- 杨小明,李成琼,宋洪元,任雪松,司军(2009). 春甘蓝花芽分化至抽薹过程中生理生化指标的变化. 中国蔬菜, (24): 19~23
- 杨勇(2007). 不同耐抽薹性大白菜春化及抽薹前后生理特性的变化[硕士论文]. 天津: 天津大学
- 张建铭,谈锋,陈京(1999). 大花栀子花芽分化生理分化期内源激素和碳氮比的动态变化. 西南师范大学学报(自然科学版), 24 (2): 219~223
- Bernier G, Havelange A, Houssa C, Petitjean A, Lejeune P (1993). Physiological signals that induce flowering. Plant Cell, 5: 1147~1155
- Ichimura K, Kohata K, Yamaguchi Y, Douzono M, Ikeda H, Koketsu M (2000). Identification of L-inositol and scyllitol and their distribution in various organs in chrysanthemum. Biosci Biotechnol Biochem, 64 (4): 865~868
- Tzray-Fa S (2000). Effect of day and night temperature variation and of high temperature on devernialization in radish. Acta Hort, 514: 157~162