

PBO 喷施对矮化富士幼树成花及 碳水化合物积累的影响

邢利博, 张晓云, 宋晓敏, 宋春晖, 韩明玉*, 赵彩平, 李高潮

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以‘长富2号’为试材,研究不同浓度 PBO 喷施处理对富士苹果幼树成花、新梢生长、叶片和芽碳水化合物含量变化的影响。结果表明:(1)PBO 喷施处理能在一定程度上提高‘长富2号’幼树上中下部位枝条的成花率和对树体各个部位枝条新梢生长形成抑制。不同浓度 PBO 喷施处理对‘长富2号’幼树叶片和芽碳水化合物含量变化的影响有所差异,对于高浓度 PBO 喷施处理($4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $6667\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),幼树各部位叶片蔗糖、葡萄糖、山梨醇和可溶性总糖含量在幼树生长前期(5—7月)增加显著,而淀粉含量在此时期却显著地减小;同样,高浓度 PBO 喷施处理对幼树芽山梨醇和可溶性总糖含量的增加作用在6月份均达显著水平,却导致芽淀粉含量在7月份显著地减小。(2)叶片与芽之间的碳水化合物的转化或转移和花芽的形成有密切的关系;高浓度 PBO 喷施处理($6667\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),叶片山梨醇和可溶性总糖含量与芽相应指标之间具有显著的正相关,而两者淀粉含量之间的相关性却不显著。考虑到成本等因素,建议在花芽分化的关键时期(5—7月),喷施 $4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ PBO 可以有效促进‘长富2号’幼树花芽的形成。

关键词: PBO; 苹果幼树; 花芽分化; 碳水化合物

中图分类号: S661.1; Q945.6+4 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)03-0118-09

Effects of spraying PBO on flowering rate and carbohydrate accumulation of ‘Fuji’ apple trees

XING Li-bo, ZHANG Xiao-yun, SONG Xiao-min, SONG Chun-hui, HAN Ming-yu*, ZHAO Cai-ping, LI Gao-chao
(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In attempt to investigate the effects of spraying PBO on flowering rate and carbohydrate accumulation of ‘Fuji’ apple trees, different concentrations of PBP were sprayed on young apple (*Malus domestica* Borth.) cultivar ‘Fuji’ Nagafu No.2. The flowering rate, shoot growth and carbohydrate content changes of leaf and bud in apple trees were studied also. The results showed that: (1)spraying PBO treatment could, to certain extent, improve flowering rate and restrain shoot growth in upper, middle and basal part of ‘Fuji’ young apple trees. The spraying PBO with different concentrations had different effects on carbohydrate content changes of leaf and bud of in upper, middle and basal part of ‘Fuji’ young apple trees. Compared with control, spraying PBO with higher concentrations ($4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $6667\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) could increase the content of the sucrose, glucose, sorbitol, total soluble sugar in leaf in upper, middle and basal part of ‘Fuji’ young apple tree in the early growth stage (from May to July), but significantly reduced starch content in leaf during this period. Similarly, spraying PBO with higher concentration significantly increased content of sorbitol and total soluble sugar in bud in June and significantly reduced starch content in bud in July. (2) Flower bud formation was closely correlated to translocation or conversion of carbohydrate between leaf and bud. Spraying PBO of highest concentration ($6667\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) leaded to a significant positive correlation between sorbitol and total soluble sugar content and leaf

收稿日期: 2013-01-04

基金项目: 科技部国家成果转化项目(2011GB23600009); 农业部国家苹果产业技术体系(CARS-28); 陕西省苹果重大创新项目(2011KTZB02-02)

作者简介: 邢利博(1986—), 男, 陕西长安人, 在读硕士, 研究方向为果树生理栽培。E-mail: xingliboxuwei@126.com。

* 通信作者: 韩明玉(1962—), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事果树遗传育种与栽培生理研究。E-mail: hanmy@nwsuaf.edu.cn。

and bud; however, corresponding correlation between starch content and leaf and bud was not significant. According to experiment results of this study and taking production investment into consideration, we proposed that spraying PBO treatment with $4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ is effective in promoting flower bud formation of ‘Fuji’ apple trees in the period from May to July (the critical period for physiological differentiation of apple flower buds).

Keywords: PBO; apple tree; flower bud differentiation; carbohydrates

富士是我国苹果种植面积最大的品种^[1],占种植面积的 65% 以上^[2],但是黄土高原地区富士品种难成花,成花质量差是我国苹果产业所面临的问题之一,针对以上问题,生产上多采用刻芽、环剥、环切等对树体有较大伤害以及劳动强度大的措施,以解决富士品种难成花的问题^[3],近年研究认为枝条拉下垂能有效促进黄土高原地区成龄富士树体成花,但对于幼龄树即使枝条拉下垂也较难成花。PBO 作为新型果树促控剂,由细胞分裂素 BA、生长素衍生物 ORE 及 10 多种营养元素组成,具有促进苹果、梨等蔷薇科植物花芽形成的作用,已在我国多个地区广泛应用^[4]。已有报道表明喷施 PBO 能够显著地促进富士花芽的形成^[5],此外,喷施 PBO 还具有低劳动强度、易于操作、生产成本低等优点。因此,本研究拟探讨黄土高原地区适宜的 PBO 喷施质量浓度,揭示 PBO 促进成花的相关生理机制,对于解决生产中富士品种难成花、成花质量差等问题具有现实的指导意义。

1 材料和方法

试验于 2011 年 3 月—2012 年 6 月在陕西省杨凌示范区现代农业示范园国家苹果产业技术体系杨

凌试验示范苗圃(东经 $108^{\circ}04'$,北纬 $34^{\circ}16'$)进行。选用 5 a 生已经结果 1 a 的长富 2 号[基础为八楞海棠(*Mainsmicromalus*),中间砧为 M26]品种为试验材料。株行距 $1.5\text{ m}\times 3.5\text{ m}$,栽植密度为 $110\text{ 株}\cdot 666.7\text{ m}^{-2}$;树形为高纺锤形。选取长势健壮、生长基本一致的植株分别于 2011 年 4 月 10 日,5 月 10 日,6 月 10 日喷施不同质量浓度的 PBO 溶液。共设置 4 个处理,为对照(喷施清水)和喷施不同质量浓度的 PBO 溶液(处理 T1: $2\ 857\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,处理 T2: $4\ 000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,处理 T3: $6\ 667\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;单株处理,每个处理设计 5 个重复,具体处理参见表 1)。同时于 2011 年 3 月在幼树不同部位选取长度、粗度基本一致的枝条进行标记(树体上、中、下部位各选取 2 条,分别用于测量新梢生长量和成花率的统计);从 4 月 20 日开始,每隔 1 个月测量新梢生长量,到 10 月 20 日共测量 7 次;于 2012 年 4 月中旬统计成花情况。

试验所用 PBO(购于唐山华龙科技公司,产品为灰白色可湿性粉剂),为一种果树促控剂,主要成分为细胞分裂素 BA、生长素衍生物 ORE 等多种激素和微量元素。使用方法:加水搅拌溶解在喷雾器中,选择晴朗无风或微风天气对整株幼树进行喷施。

表 1 不同浓度 PBO 喷施处理
Table 1 The treatments of spraying PBO at different concentration

品种 Varieties	处理 Treatment	喷施日期(月-日) Spraying date(m-d)		
		04-10	05-10	06-10
富士 Fuji	CK	清水 Water	清水 Water	清水 Water
	T1	PBO $2857\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	PBO $2857\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	PBO $2857\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$
	T2	PBO $4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	PBO $4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	PBO $4000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$
	T3	PBO $6667\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	PBO $6667\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$	PBO $6667\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

从 5 月 20 日开始,每间隔 1 个月采集树体叶片(根据枝条在主干上着生部位,把树体分成上、中、下三个部分,采集主枝上短枝四周生长良好且完整的叶片)和芽(短枝顶芽),标记并用锡箔纸包好,立即放入液氮罐中,带回实验室放入超低温冰箱中保存,直到 10 月 20 日,共取样 6 次。用于测定叶片和芽多种单糖和淀粉含量(蔗糖、葡萄糖、果糖、山梨醇、

淀粉、可溶性总糖)。

富士幼树不同部位叶片及芽多种单糖和淀粉含量的提取方法参见考 Cheng 等^[6]和 Rosa 等^[7]的方法。测定所用仪器为高效液相色谱仪,测定方法参见吴本宏等^[8]的方法。准确称取 1 g 植物干样,放入 50 mL 离心管中,加入 15 mL 80%乙醇,置于 70℃ 水浴中振荡提取 30 min,5 000 g、15 min 离心(离心

前注意调节平衡),上清液转入干净锥形瓶中;沉淀再反复提取(15 min 80% 乙醇,70℃ 振荡提取 30 min)两次。合并 3 次上清液,定容为 50 mL;之后准确量取 10 mL 蒸干再用 10 mL 流动相(超纯水)溶解,经过 0.22 μm 有机滤膜过滤,使用液相色谱进行测定各种单糖含量。沉淀加入 2 mL 2.5M NaOH,混匀后置于沸水中 5 min 使淀粉糊化,冷却后用 2 M HCl 将上清液 pH 调节为 4.5,之后加入 10 mL pH4.5 乙酸缓冲液,并加入 1 mL 1 g·L⁻¹ 淀粉葡萄糖苷酶(amyloglucosidase, AMG),混匀后,置于 50℃ 振荡水浴锅中,酶促反应 16 h,后离心取上清 2 次,合并上清液,定容为 25 mL,经过 0.22 μm 有机滤膜过滤后作为待测液,使用液相色谱进行测定葡萄糖含量。

采用 Microsoft Excel 和 SPSS16.0 软件进行实验数据的处理与分析;采用 Origin 8.0 进行相关图表的制作。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 PBO 喷施处理对幼树不同部位枝条成花率的影响

由表 2 可以看出,‘长富 2 号’幼树不同部位枝条的成花率有差异,除处理 T2 外(上部同中部无差异),各处理上部位枝条的成花率显著大于中下部枝条,且各处理中部枝条的成花率显著大于下部枝条。另外,幼树各部位枝条不同处理间成花率差异显著。其中,高浓度 PBO 喷施处理(T2、T3)上中部枝条成花率显著大于处理 T1 和对照处理;相比较于对照处理,PBO 喷施处理显著提高了下部枝条的成花率。说明 PBO 喷施处理对于提高‘长富 2 号’幼树各部位枝条的成花有显著作用。

表 2 PBO 喷施处理对幼树不同部位枝条成花率的影响

Table 2 The effects of spraying PBO on flowering rate of different parts of branches of ‘Fuji’ young apple tree

处理 Treatment	枝条成花率 Flowering rate of branches/%		
	上部 Upper	中部 Middle	下部 Basal
CK	7.96 ± 0.59b	4.24 ± 0.29b	1.74 ± 0.20c
T1	10.63 ± 1.40b	5.85 ± 0.48b	4.52 ± 0.20b
T2	17.40 ± 2.49a	16.23 ± 3.98a	6.83 ± 0.98a
T3	20.53 ± 2.40a	17.65 ± 0.98a	4.55 ± 0.22b

注:同列中不同小写字母表示差异显著水平(P < 0.05)。

Note: The different small letters in same column indicate significant at 0.05 level.

2.2 PBO 喷施处理对幼树不同部位枝条新梢生长的影响

新梢长度动态变化规律表明(图 1 所示),PBO 喷施处理均在一定程度上能够抑制树体各个部位新梢的生长,但不同处理对新梢生长的抑制效果存在差异,其中处理 T2、T3 对于抑制中部、下部枝条新梢生长的效果更显著;从 5 月份开始 PBO 喷施处理和对照之间新梢长度的差异逐渐变大,其中处理 T3 各部位枝条新梢长度与对照差异更加显著。

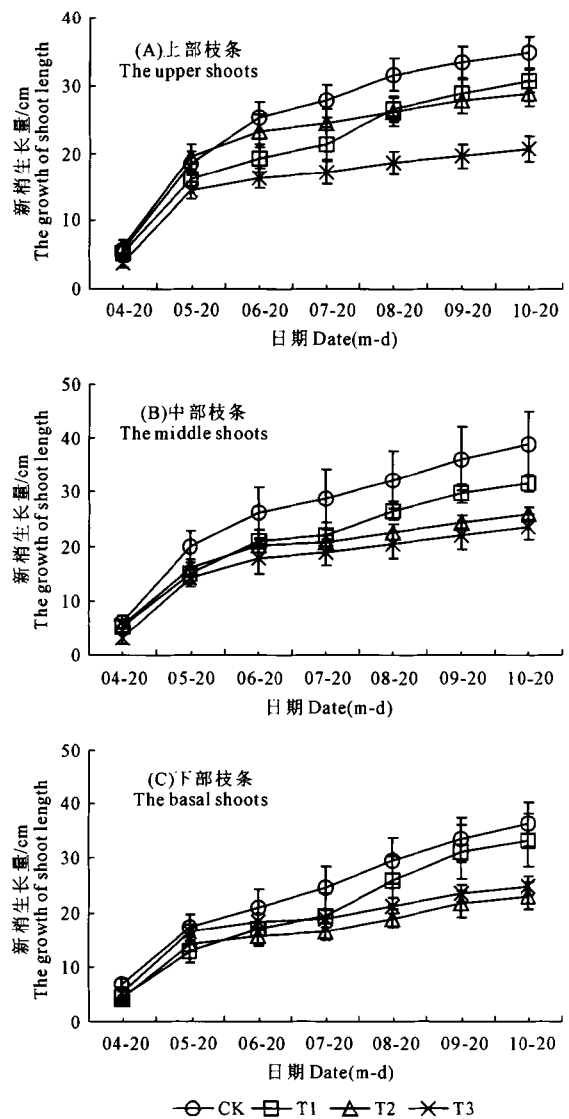


图 1 不同浓度 PBO 喷施处理对幼树不同部位枝条新梢生长量的影响

Fig.1 The effects of spraying PBO at different concentrations on the shoot growth of different parts of young apple tree

2.3 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽碳水化合物含量变化的影响

2.3.1 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽蔗糖含量变化的影响 由图 2(A、B、C)可以看出,富士

幼树上、中、下部位叶片蔗糖含量变化趋势差异显著,6 月份各个部位叶片蔗糖含量均达到一个峰值点,之后呈下降趋势,只有上部叶片在 10 月份又有上升趋势,上部与中、下部趋势明显不同。说明,高浓度 PBO 喷施处理对于富士幼树叶片蔗糖含量的累积有显著的作用。

由图 2(D)可以看出,富士幼树芽蔗糖含量动态

变化为“倒 N”形,5—7 月份迅速下降,7—9 月份逐渐升高,10 月份又迅速减小。5—9 月份,PBO 喷施处理芽蔗糖含量均大于对照,其中 9 月份处理 T2、T3 与对照差异达显著,5 月份则是处理 T1、T3 与对照差异达显著;说明高浓度 PBO 喷施处理也可以显著增加富士幼树芽蔗糖含量。

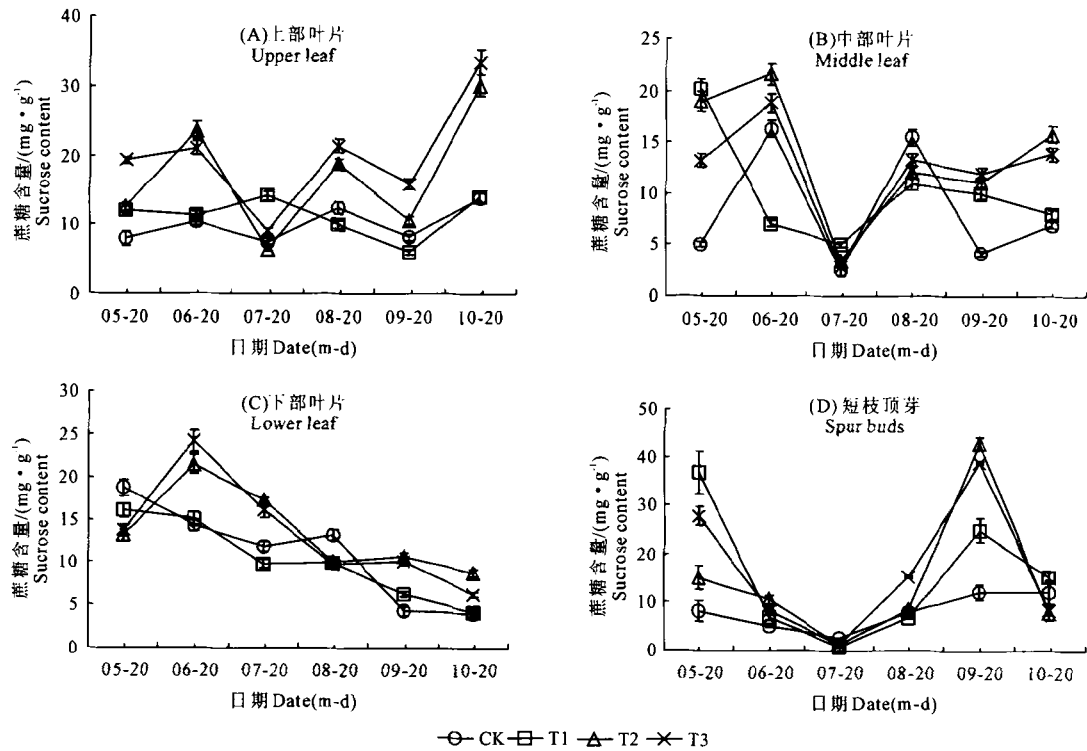


图 2 不同浓度 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽蔗糖含量变化的影响

Fig.2 The effects of spraying PBO at different concentrations on sucrose content of leaf and bud of different parts of young apple tree

2.3.2 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽葡萄糖含量变化的影响 由图 3(A、B、C)可以看出,富士幼树上、中、下部位叶片葡萄糖含量变化趋势相同,5—6 月份迅速下降,7 月份又迅速升高,之后到 10 月份逐渐降低。幼树生长前中期(5—7 月份),PBO 喷施处理各部位叶片葡萄糖含量均大于对照,说明高浓度 PBO 喷施处理富士幼树上、中、下部位叶片葡萄糖含量均增大且显著大于对照。在幼树生长后期(8—10 月份),上部叶片葡萄糖含量显著大于中部和下部,中部和下部之间差异不显著。

由图 3(D)可以看出,富士幼树芽葡萄糖含量 5—6 月份迅速下降,6—8 月份变化平稳,8—10 月份逐渐升高。5、9—10 月份,处理 T2、T3 芽葡萄糖含量均显著大于对照和处理 T1,表明高浓度喷施高浓度 PBO 对于生长后期幼树芽葡萄糖含量的累积有显著作用。

2.3.3 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽果糖含量变化的影响 由图 4(A、B、C)可以看出,在整个生长季中,富士幼树各部位叶片果糖含量相对较低。5—10 月份,上、中、下部位叶片果糖含量整体为降低的变化,处理喷施高浓度 PBO 对于增加 5、7 月份各部位叶片果糖含量有显著的作用;6—8 月份,幼树不同部位叶片果糖含量没有显著性差异,9—10 月份,上部叶片果糖含量显著大于中部和下部。

由图 4(D)可以看出,富士幼树芽果糖含量动态变化趋势为类“V”形,5—7 月份迅速下降,7—10 月份逐渐升高。6 月份处理 T2、T3 芽果糖含量大于对照和处理 T1,但差异不显著;在幼树生长中后期(9—10 月份),有显著性差异。表明在幼树芽逐渐分化形成的过程中,PBO 对于芽体内果糖含量的累积有一定作用。

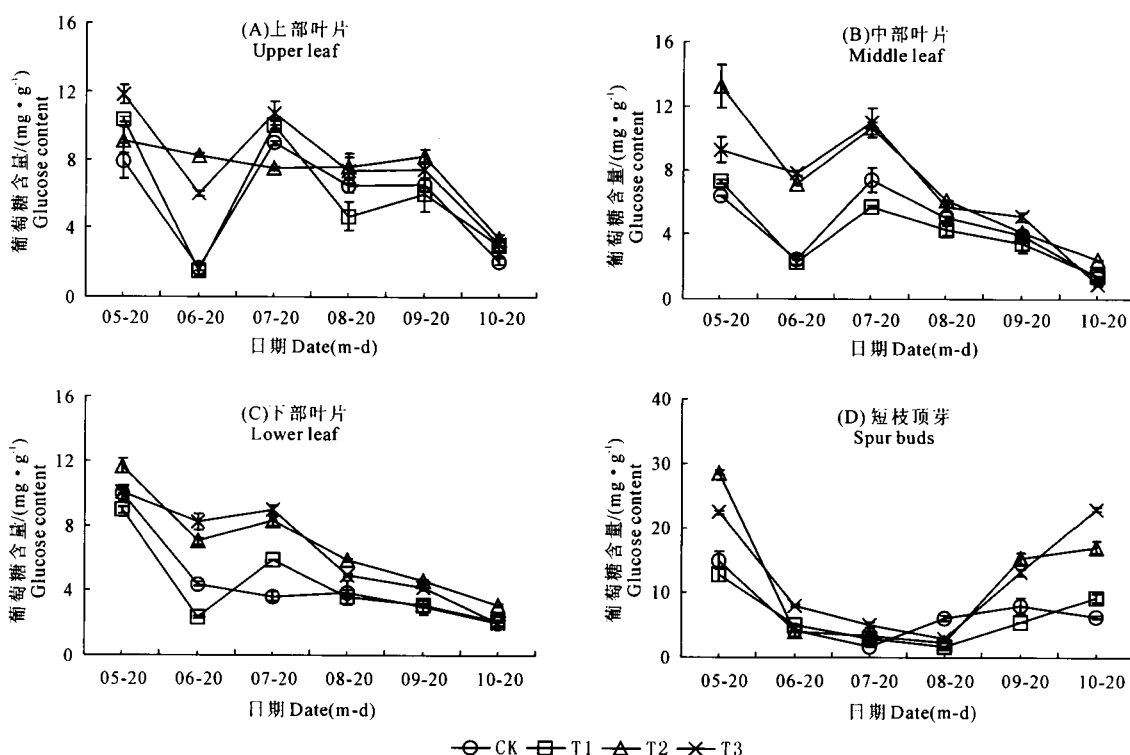


图 3 不同浓度 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽葡萄糖含量变化的影响

Fig.3 The effects of spraying PBO at different concentrations on glucose content of leaf and bud of different parts of young apple tree

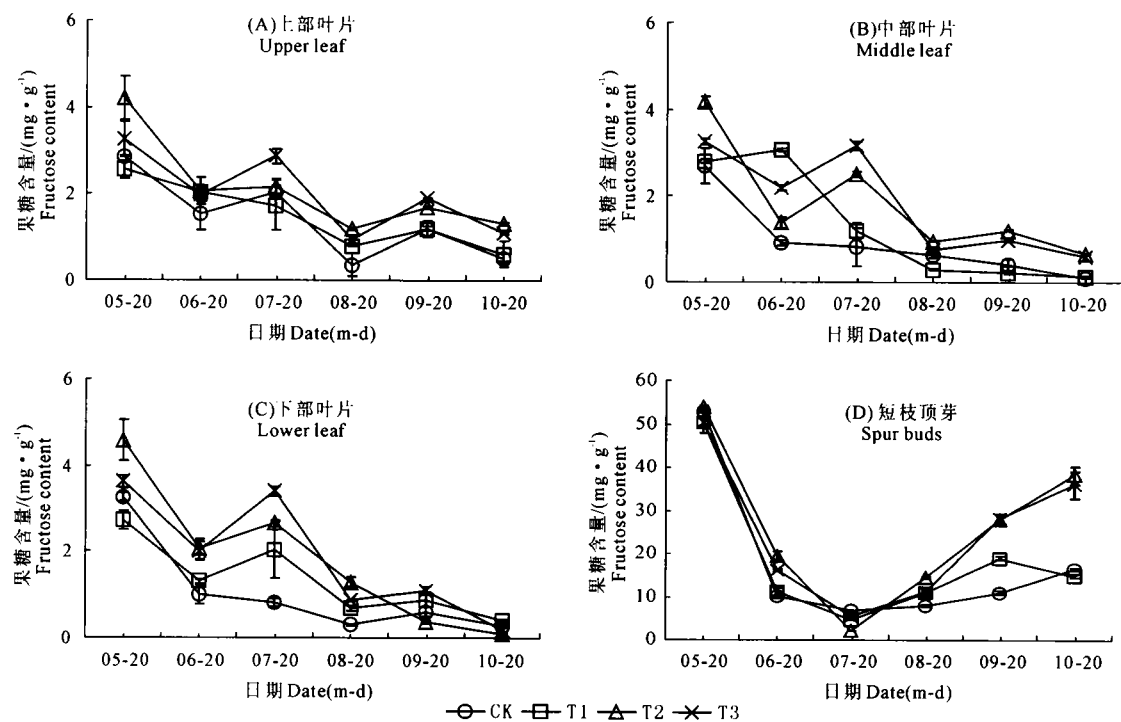


图 4 不同浓度 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽果糖含量变化的影响

Fig.4 The Effects of spraying PBO at different concentrations on fructose content of leaf and bud of different parts of young apple tree

2.3.4 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽山梨醇含量变化的影响 由图 5(A、B、C)可以看出,富士幼树不同部位叶片山梨醇含量动态变化趋势一致,7—10 月份,各 PBO 喷施处理与对照上中下部位

叶片山梨醇含量变化均逐渐降低;5—7 月份,各部位叶片山梨醇含量 PBO 喷施处理与对照之间变化趋势有所不同,其中,对照 5—6 月份迅速下降,6—7 月份又迅速升高,而 PBO 喷施处理各部位叶片山梨

醇含量5—7月份变化相对平稳;除10月份上部叶片山梨醇含量显著大于下部叶片外,其它月份富士幼树不同部位叶片山梨醇含量没有显著性差异。

由图5(D)可以看出,富士幼树芽山梨醇含量动

态变化为“倒V”形,5—6月份迅速升高,6—10月份逐渐下降。6、7月份,PBO 喷施处理芽山梨醇含量均大于对照,表明幼树生长6—7月份,PBO 喷施处理可以显著增加幼树芽山梨醇含量。

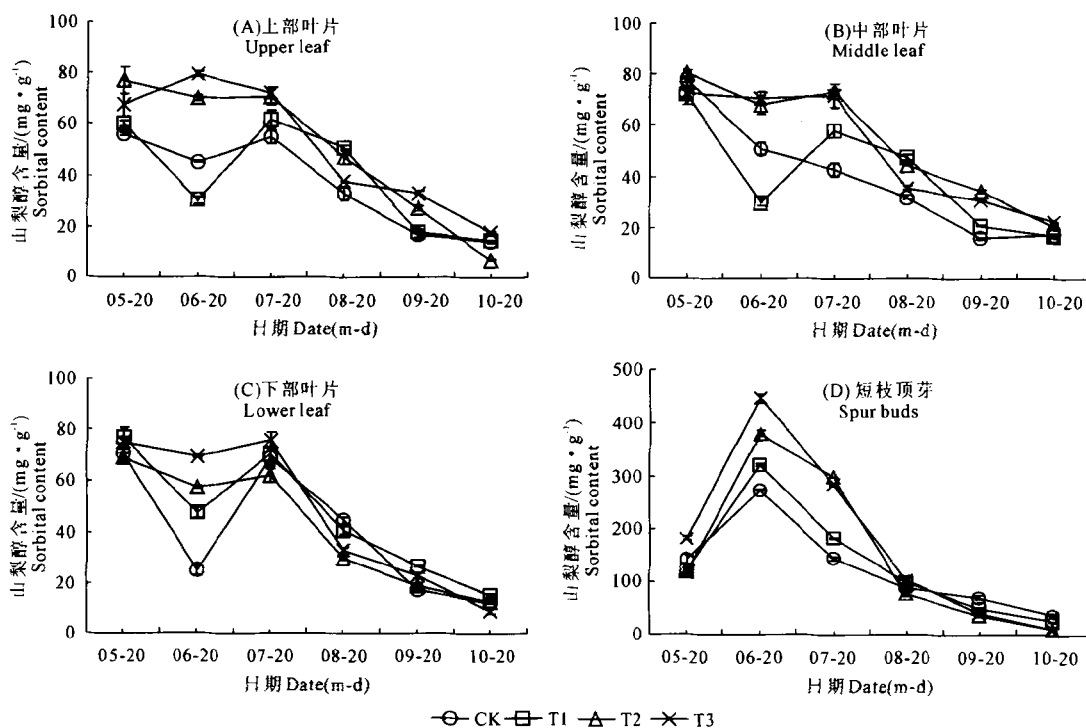


图5 不同浓度 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽山梨醇含量变化的影响

Fig.5 The effects of spraying PBO at different concentrations on sorbital content of leaf and bud of different parts of young apple tree

2.3.5 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽淀粉含量变化的影响 由图6(A、B、C)可以看出,富士幼树不同部位叶片淀粉含量的变化趋势基本一致,为“倒V”形。7月份,不同部位叶片淀粉含量均出现了峰值点,但中部、下部叶片淀粉含量 PBO 喷施处理与对照之间有所不同,表现为处理 T3 中部叶片淀粉含量与对照相比显著减小,处理 T2、T3 下部叶片淀粉含量也显著小于对照;在幼树生长中后期(8—10月份),相比较于对照,各 PBO 喷施处理叶片淀粉含量也表现出减小的变化,其中处理 T3 减小的程度达显著。在幼树生长的整个阶段,各 PBO 喷施处理对于幼树不同部位叶片淀粉含量有显著的减小作用,特别是7月份叶片淀粉含量减小更加显著。7、9月份,上部叶片淀粉含量显著大于中下部,且中部和下部叶片淀粉含量差异不显著。

由图6(D)可以看出,富士幼树芽淀粉含量动态变化为“倒V”形,5—7月份迅速上升到最大值,7—10月份则逐渐下降。6—8月份,高浓度 PBO 喷施处理幼树芽淀粉含量小于对照,其中6、8月份差异达显著,7月份差异极显著。表明幼树生长中期(6—8月份),处理喷施高浓度 PBO 显著减小了幼树

芽内的淀粉含量。

2.3.6 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽可溶性总糖含量变化的影响 由图7(A、B、C)可以看出,富士幼树不同部位叶片可溶性总糖含量变化趋势相一致,7—10月份,不同部位叶片可溶性总糖含量均逐渐下降;5—7月份,各 PBO 喷施处理和对照相应部位叶片可溶性总糖含量的变化趋势存在差异性,处理 T2、T3 变化相对平稳,对照和处理 T1 则在5—6月份迅速下降,6—7月份又急剧升高。5—6、9—10月份,处理 T2、T3 上部叶片可溶性总糖含量显著大于对照,6月份这种差异极显著;综合分析可以看出,在幼树生长前期(5—6月份)及后期(9—10月份),高浓度 PBO 喷施处理对于增加富士幼树上部、中部叶片可溶性总糖含量有显著的作用,其中6月份的作用效果达极显著水平。

由图7(D)可以看出,富士幼树芽可溶性总糖含量动态变化趋势为“斜7”形,5—6月份迅速升高,6—10月份逐渐下降。6、7月份,PBO 喷施处理幼树芽可溶性总糖含量均大于对照。表明幼树生长前中期(5—7月份),高浓度 PBO 喷施处理可以显著提高富士幼树芽可溶性总糖含量。

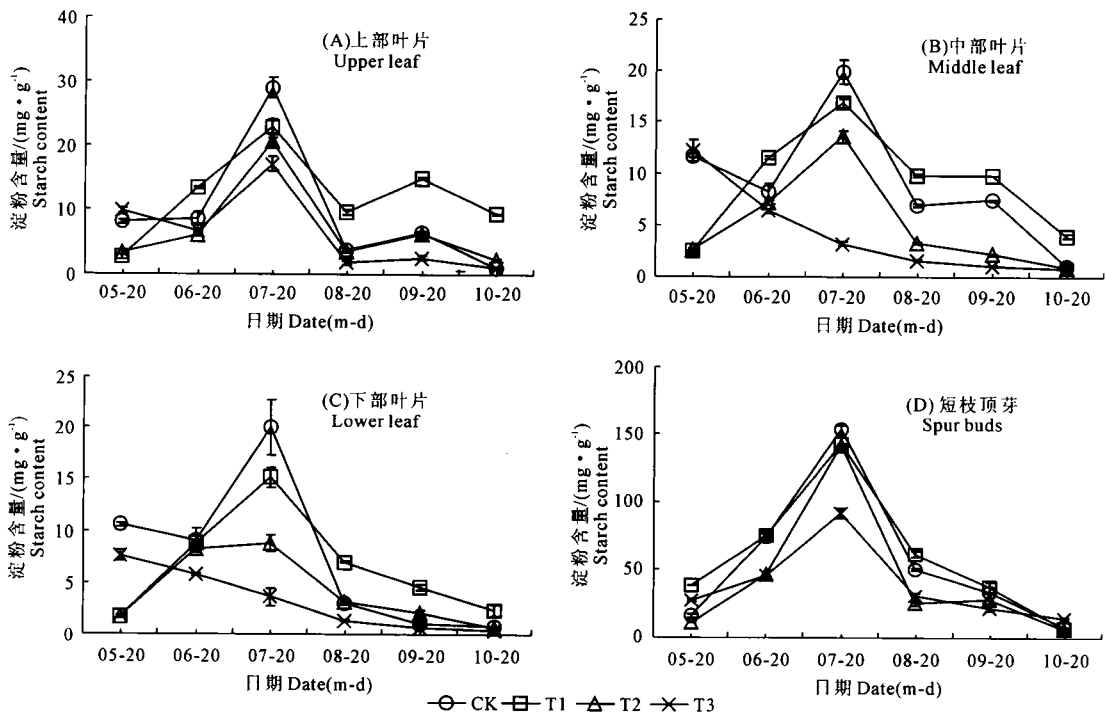


图 6 不同浓度 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽淀粉含量变化的影响

Fig.6 The effects of spraying PBO at different concentrations on starch content of leaf and bud of different parts of young apple tree

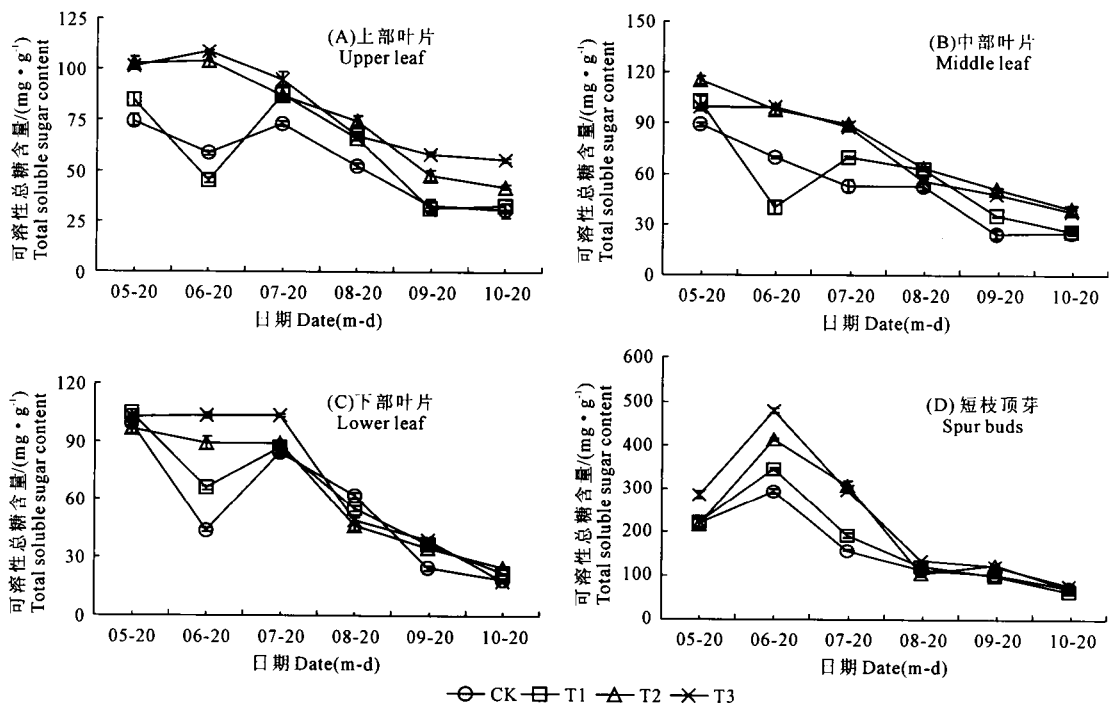


图 7 不同浓度 PBO 喷施处理对幼树不同部位叶片和芽可溶性总糖含量变化的影响

Fig.7 The effects of spraying PBO at different concentrations on total soluble sugar content of leaf and bud of different parts of young apple tree

2.4 幼树叶片与芽多个指标相关性分析

由表 3 可以看出,各 PBO 喷施处理和对照叶片蔗糖、葡萄糖含量与芽蔗糖、葡萄糖含量均没有显著相关性;对照叶片果糖含量与芽果糖含量具有显著正相关,而各 PBO 喷施处理相应指标之间的相关性

不显著;处理 T3 叶片山梨醇、可溶性总糖含量与芽山梨醇、可溶性总糖含量分别具有显著正相关,而低浓度的 PBO 喷施处理 T1、T2 和对照相应指标之间的相关性不显著;对照和低浓度 PBO 喷施处理 T1、T2 叶片淀粉含量与芽相应指标之间均具有显著正

相关,但高浓度 PBO 喷施处理 T3 叶片淀粉含量与芽淀粉含量的相关性不显著。

表 3 幼树叶片与芽多个指标相关性分析结果
Table 3 The results of the correlation analysis of leaves and buds of various indicators of young apple tree

处理 Treatment	指标 Index	蔗糖 Sucrose	葡萄糖 Glucose	果糖 Fructose	山梨醇 Sorbital	淀粉 Starch	可溶性总糖 Total soluble sugar
CK	相关系数 <i>r</i>	- 0.350	0.451	0.860*	0.518	0.880*	0.635
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.497	0.369	0.028*	0.292	0.021*	0.175
T1	相关系数 <i>r</i>	0.488	0.305	0.546	0.343	0.880*	0.435
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.326	0.559	0.263	0.505	0.021*	0.389
T2	相关系数 <i>r</i>	- 0.244	0.225	0.389	0.738	0.978*	0.804
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.641	0.669	0.446	0.094	0.000*	0.054
T3	相关系数 <i>r</i>	- 0.132	- 0.262	0.105	0.868*	0.594	0.911*
	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	0.803	0.615	0.844	0.025*	0.259	0.012*

注:表中 * 表示 0.05 水平 ($P < 0.05$) 的差异显著性。
Note: * means significant difference at 0.05 level ($P < 0.05$).

3 讨 论

1) 实验结果表明不同质量浓度 PBO 喷施处理富士幼树不同部位枝条成花率相比较于对照均不同程度的增加,说明 PBO 可以促进富士品种的成花,这与孟庆刚等^[9]的试验结果及李素芳等^[10]研究喷施 PBO 对梨树的成花有显著的增加作用这一结果相同。另外富士幼树不同部位枝条的成花情况有很大差异,上部枝条的成花率显著高于中部和下部,这与枝条所在树体部位的微环境有直接的关系^[11-12]。也有研究表明果树上部枝条存在的顶端优势作用以及相对较高的叶片光合效率,使得上部枝条的成花率较高^[13-14]。

2) 喷施不同质量浓度的 PBO 溶液,富士幼树不同部位枝条的新梢的生长受到明显的抑制,其中,处理浓度为 6667 mg·L⁻¹时,新梢生长的抑制达到显著水平,说明喷施 PBO 抑制了新梢的生长,这一结论与汪景彦等^[15]的研究结果一致。同时贾兵等^[16]研究发现喷施 PBO 对于“砀山酥梨”新梢的生长有显著的抑制作用,这与朱风云等^[17]和胡友军^[18]的研究表明杏树喷施 PBO 可以抑制新梢的旺长所得的结果相一致。

3) 已有报道表明在植物花芽生理分化过程中,植物组织中可溶性糖含量的积累对植物成花具有重要作用,Goldschmidt 等^[19]和 Garcia-Luis 等^[20]都指出碳水化合物含量是柑橘花芽形成的重要限制因素之一,环剥或环切等促花措施直接改善了植株或枝条的碳水化合物含量,进而提高了果树的成花率。Es-ghhi 等^[21]研究也表明,短日照诱导后的草莓(表现为易于成花)其叶片和茎尖蔗糖含量升高,而淀粉含量降低,并指出可溶性碳水化合物含量在一定程度

上决定了草莓的花芽分化。王慧等^[22]研究发现,油桃花芽分化过程中葡萄糖、果糖、蔗糖含量逐渐增加,淀粉含量则表现出相反变化的趋势。钟晓红等^[23]在李的花芽分化研究中发现叶片中可溶性糖含量在生理分化时达到最高,但在形态分化时降至最低,认为李的形态分化要消耗大量的糖分。Ito 等^[24]研究认为苹果芽在生理分化期内可溶性总糖含量和淀粉含量得到积累,而在花芽的形态分化期因不断的消耗而降低。

本试验表明,叶片蔗糖含量在 5—6 月处于上升趋势,6 月 20 日达到高峰,之后下降,这与苹果芽 5 月中旬开始进入生理分化期,6 月 20 日开始形态分化相一致,说明叶片蔗糖积累对苹果花芽分化有重要作用。上部与高浓度处理叶片蔗糖含量高,其对应的容易成花,从另一个方面也说明叶片蔗糖对成花的重要性。芽中蔗糖在 5 月 20 日达到高峰,之后一直下降,9 月 20 日又达高峰,5 月 20 日正是生理分化开始期,而 9 月 20 日是形态分化基本结束期,PBO 处理曲线上升下降明显,而对照芽蔗糖变化比较平稳,也说明了蔗糖对促进成花的作用。

葡萄糖、果糖含量从 5 月一直处于下降趋势,且含量较低。叶片山梨醇和可溶性总糖含量在 5 月 20 日至 7 月 20 日处于较高水平,且 PBO 处理浓度越高,其山梨醇和可溶性总糖含量越高,之后下降,芽山梨醇和可溶性总糖含量均在 6 月 20 日达到高峰,说明山梨醇和可溶性总糖含量对苹果成花非常重要。叶片和芽淀粉含量在 7 月 20 日达到高峰,对照比 PBO 处理含量明显高,7 月 20 日是苹果营养生长的停滞期,此期叶片和芽淀粉积累容易理解,对照淀粉含量明显较高,说明营养积累而其它生理活动没有 PBO 处理活跃,此期也是苹果花芽形态分化的

初期,PBO 处理淀粉含量相比对照较低,可能是营养参与和应用于成花的生理活动。树体上、中、下部叶片和芽蔗糖、山梨醇和可溶性总糖含量之间的差异,也与成花多少呈正相关。

4) 喷施 PBO 的所有处理各种单糖和淀粉含量幼树芽远高于叶片,高浓度 PBO 喷施处理($6667 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),叶片山梨醇、可溶性总糖含量与芽相应指标具有显著正相关,说明喷施 PBO 对于改善或提高叶片和芽碳水化合物含量,促进两者间相关物质的转化、转移有显著的作用,进而有利于花芽的分化和发育。而芽蔗糖、葡萄糖、果糖在 9—10 月间有一个积累高峰,与叶片一直处于下降状态不同,其原因有待进一步分析研究。

4 结 论

本实验通过研究喷施不同质量浓度 PBO 对富士幼树成花、新梢生长、叶片和芽多种单糖及淀粉含量的变化规律,找出适宜的 PBO 喷施质量浓度,揭示果树成花的相关生理机制。高浓度 PBO 喷施处理(处理 T1: $4000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、T2: $6667 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)显著提高了‘长富 2 号’幼树上、中、下部位枝条的成花率,且对幼树各部位枝条新梢的生长有显著的抑制作用;另外,高浓度 PBO 喷施处理在花芽分化关键时期(5—7 月)显著提高了‘长富 2 号’幼树叶片蔗糖、葡萄糖、山梨醇和可溶性总糖含量,显著降低了叶片淀粉含量;此外,幼树芽山梨醇和可溶性总糖含量在 6 月份显著增加,而芽淀粉含量在 7 月份却显著减小。综合以上结果,笔者在试验过程中通过比较研究及考虑到生产成本等因素,建议生产中采用 PBO 质量浓度为 $4000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,认为此浓度是达到促进富士幼树的成花效果的适宜选择。

参 考 文 献:

- [1] 翟 衡,赵政阳,王志强,等.世界苹果产业发展趋势分析[J].果树学报,2005,22(1):44-50.
- [2] 韩明玉,张芳芳,张立新,等.矮化中间砧富士苹果初夏土施 15N-尿素的吸收分配特性[J].中国农业科学,2011,44(23):4841-4847.
- [3] 汪景彦,刘凤之,程存刚.我国苹果栽培技术 50 年回顾与展望[J].果农之友,2008,(11):3-5.
- [4] 汪景彦,张凤敏.PBO 在苹果生产中的应用效果[J].西北园艺,2010,(5):34-36.
- [5] 汪景彦,张凤敏.PBO 在苹果树上的应用效果[J].山西果树,2006,(5):44-45.
- [6] Cheng L, Ma F, Ranwala D. Nitrogen storage and its interaction with carbohydrates of young apple trees in response to nitrogen supply[J]. Tree Physiology, 2004,24(1):91-98.
- [7] Rosa M, Hilal M, Gonzalez J A, et al. Low-temperature effect on enzyme activities involved in sucrose-starch partitioning in salt-stressed and salt-acclimated cotyledons of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seedlings[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2009,47(4):300-307.
- [8] 吴本宏,李绍华,Quilot,等.桃果皮毛、果肉颜色对果实糖与酸含量的影响及相关性研究[J].中国农业科学,2003,36(12):1540-1544.
- [9] 孟庆刚,王传吉,潘文金.PBO 在红富士苹果上的示范应用报告[J].烟台果树,2000,(2):35-35.
- [10] 李素芳,樊新军,张素英.PBO 在梨树上的应用试验[J].中国果树,2006,(4):46-47.
- [11] Lauri P É, Trottier C. Patterns of size and fate relationships of contiguous organs in the apple (*Malus domestica*) crown[J]. New Phytologist, 2004,163(3):533-546.
- [12] Lauri P, Maguylo K, Trottier C. Architecture and size relations: an essay on the apple (*Malus × domestica*, Rosaceae) tree[J]. American journal of botany, 2006,93(3):357-368.
- [13] Lauri P É, Terouanne É, Lespinasse J M. Quantitative analysis of relationships between inflorescence size, bearing-axis size and fruit-set—An apple tree case study[J]. Annals of Botany, 1996,77(3):277-286.
- [14] 潘增光,朱德兴.苹果秋梢腋花芽形态分化开始时期的观察[J].果树科学,1997,14(3):172-173.
- [15] Ar F S, Hudina M, Valentinausenik K S, et al. Influence of leaf area on net photosynthesis, yield and flower-bud formation in apple (*Malus domestica* Borkh.)[J]. Phyton(Austria) Special Issue: Plant Physiology, 1999,39(3):101-106.
- [16] 贾 兵,朱立武,张绍铃.生长调节剂对‘砀山酥梨’脱萼果率和果实品质及新梢生长的影响[J].南京农业大学学报,2012,35(1):26-32.
- [17] 朱凤云,杨艳丽.PBO 在杏树上的应用研究[J].安徽农业科学,2008,36(11):4491-4492.
- [18] 胡友军.PBO 对凯特杏新梢生长的影响[J].安徽农业科学,2004,32(3):504-505.
- [19] Goldschmidt E E, Aschkenazi N, Herzano Y, et al. A role for carbohydrate levels in the control of flowering in citrus[J]. Scientia Horticulturae, 1985,26(2):159-166.
- [20] Garcia-Luis A, Fornes F, Guardiola J L. Leaf carbohydrates and flower formation in citrus[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science,1995,120(2):222-227.
- [21] Eshghi S, Tafazoli E, Dokhani S, et al. Changes in carbohydrate contents in shoot tips, leaves and roots of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) during flower-bud differentiation[J]. Scientia Horticulturae, 2007,113(3):255-260.
- [22] 王 慧,李 玲,谭 钺,等.休眠期间油桃花芽碳水化合物代谢及其相关基因的表达变化[J].植物生理学报,2011,47(6):595-600.
- [23] 钟晓红,罗先实.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(自然科学版),1999,25(1):31-35.
- [24] Ito A, Hayama H, Kashimura Y. Sugar metabolism in buds during flower bud formation: a comparison of two Japanese pear [*Pyrus pyrifolia* (Burm.) Nak.] cultivars possessing different flowering habits[J]. Scientia Horticulturae,2002,96(1):163-175.