

# 修剪对苹果枝(梢)皮层总黄酮含量的影响

吴媛琳<sup>1</sup>, 王世军<sup>1</sup>, 张社奇<sup>1\*</sup>, 李丙智<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:**以“长富2号”、“玉华早富”苹果树为试材,采用  $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$  比色法测定总黄酮含量,研究了枝(梢)秋剪、冬剪后剪口自然暴露空气不同时长后枝(梢)皮层组织总黄酮含量的动态变化特征。结果表明,1)修剪处理后与未修剪情况下枝(梢)皮层组织总黄酮含量变化存在显著差异。2)秋季修剪后,果树秋梢皮层组织总黄酮含量在 24 h 内均呈波动变化,0~3 h 逐渐升高,3~24 h 逐渐下降;修剪处理 24 h 后秋梢皮层组织总黄酮含量逐渐增加并趋于稳定,净增加率达 50% 以上。3)冬季修剪后,果树 1 年生枝条皮层组织总黄酮含量 24 h 以内的变化特征与秋季相同;24 h 后呈现波动变化,表现为 24~48 h 逐渐升高,48~168 h 逐渐下降至初始值左右。修剪能够改变黄酮类化合物的代谢,影响枝(梢)总黄酮含量,可为指导苹果树修剪及枝条剪口的保护提供科学依据。

**关键词:**苹果;修剪;枝条;皮层;总黄酮;自我保护

**中图分类号:**S661.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2013)06-0103-05

## Effects of Pruning on the Content of Total Flavonoids in the Branch Bark of Apple Trees

WU Yuan-lin<sup>1</sup>, WANG Shi-jun<sup>1</sup>, ZHANG She-qi<sup>1\*</sup>, LI Bing-zhi<sup>2</sup>

(1. College of Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

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

**Abstract:** Effects of pruning on the content of total flavonoids contained in the branch bark of apple trees were examined. To figure out the variation characteristics of total flavonoids content in the annual branch bark after pruning in autumn and in winter, the content of total flavonoids in the annual branches' barks of "Fuji" and "Yuhua Zaofu" apple after pruning were measured by  $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$  colorimetric method. The results showed that the changes of total flavonoids content in the annual branch bark of the two cultivars were extremely small within 168 h. In autumn, the total flavonoids contents were between  $17.00 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  and  $20.00 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . And the contents in winter were much higher than those in autumn which were between  $31.00 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  and  $34.00 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ . From 0h to 24 h, the total flavonoids content presented extensive variation, i. e. it increased from 0h to 3 h then decreased afterwards. The total flavonoids content showed a gradual increase after 24 post pruning. The overall increase rate was over 50%. In the winter pruning, the total flavonoids content showed an increased from 24 h to 48 h then decreased from 48 h to 168 h. The research results suggested that pruning could change the metabolism of flavonoids in the annual branch bark.

**Key words:** apple tree; pruning; bark; total flavonoid; self-protection

植物的次生代谢产物在植物自我修复和抵御逆境胁迫中发挥着重要作用<sup>[1-2]</sup>,植物受到环境胁迫时,次生代谢产物能提高植物自身保护和生存竞争

能力<sup>[3]</sup>。对大多数植物而言,次生代谢产物的合成与积累往往受制于所处环境的变化,可诱导或影响次生代谢产物合成积累的环境因子很多,有生物因

收稿日期:2013-05-22 修回日期:2013-06-02

基金项目:国家苹果产业技术体系(CARS-28);陕西省果业专项(2011-12);西北农林科技大学科技推广基金(2012-14)。

作者简介:吴媛琳,女,在读硕士,研究方向:从事环境生物物理。E-mail: wuyuanlin900518@163.com

\* 通信作者:张社奇,男,教授,博士,研究方向:从事环境生物物理与土壤生态。E-mail: zhangsheqi@nwsuaf.edu.cn

子、非生物因子。生物因子如病虫害、个体密度等；非生物因子如水分、温度、营养、紫外线、土壤理化性质、空气污染等<sup>[4-5]</sup>。

作为次生代谢产物之一的黄酮类化合物广泛存在于植物体内,该类物质具有很强的抗氧化能力,能够有效的清除自由基,在植物抗寒<sup>[6-7]</sup>、抗旱<sup>[8]</sup>、抗病<sup>[9-10]</sup>的过程中发挥着重要作用。其代谢受到各种因素的影响,王勇<sup>[6-7]</sup>等在对核桃枝条中总酚、黄酮类化合物含量的研究中发现,枝条中黄酮含量与温度呈负相关性,黄酮类化合物含量与核桃枝条冬季抗寒能力关系密切。梁宗锁等<sup>[8]</sup>发现土壤干旱胁迫对酸枣叶片黄酮类代谢有一定影响。刘法敏<sup>[9]</sup>、R. A. Dixon<sup>[10]</sup>等研究发现植物黄酮含量与其抗病性有一定正相关性。W. Gao<sup>[11]</sup>等报道,增加紫外辐射可以使玉米叶片中总黄酮含量明显增加。但有关修剪对植物黄酮类化合物代谢的影响却鲜见报道。

苹果属喜光性果树,树体高大,透光性差,结果较晚,生命周期长。在苹果生产管理中,整形修剪直接影响着苹果的产量和品质,已成为果树管理的一项重要的重要的常规管理技术。果树生长期和休眠期黄酮含量存在显著差异<sup>[5]</sup>。冬季修剪是果树最重要的修剪时期,往往冬季比较寒冷,修剪后的伤口愈合较慢,成为腐烂病的主要侵入和冻害发生部位。本研究拟对苹果树枝(梢)秋剪、冬剪后皮层组织总黄酮含量的动态变化进行检测,确定修剪后枝(梢)皮层组织总黄酮含量的变化特征,进而了解修剪对黄酮物质的代谢的影响,为果树剪口的保护提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验在陕西杨凌现代农业示范园区国家苹果产业技术体系试验园进行,试验地位于 34°16′56.24″N,108°4′27.95″E,海拔 520 m,年平均气温为 12~14℃,年降水量为 635.1~663.9 mm。试验地土壤为黏土,有机质含量 12.06 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮 125.20 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 28.50 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 168.90 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[12]</sup>。

### 1.2 试验设计

1.2.1 试材的选取 于 2012 年 9 月至 2013 年 1 月田间采样(每月 10 日为采样日)。试材从“长富 2 号”、“玉华早富”苹果树种植区内长势、果实负载量一致的 4 a 生果树上选取。结合修剪,每品种均选取树势基本一致的 12 株树,设不秋剪(autumn non-pruning,简称 AN)、秋剪(autumn pruning,简称

AP)、不冬剪(winter non-pruning,简称 WN)、冬剪(winter pruning,简称 WP)4 种处理,每种处理选 3 株树做重复。为避免方位、不同冠层分布造成的差异,采用随机取样法,随机挑选粗细长短一致的 1 a 生秋梢材料,每株 42 个枝条(即每株每个时间处理 3 次重复)。

1.2.2 试材的采集 在距离枝(梢)基部 20 cm 处始剪截,剪下部分作为初始值 0 h 对照,树上保留部分分别再进行剪口自然暴露空气处理 3、6、9、12、15、18、21、24、48、72、96、120、144 h 和 168 h,每到相应处理时间结束,先观察记录距剪切口形态,然后,距枝条基部 0.2~0.3 cm 处将被处理枝条剪下,装入冰盒带回实验室备用。

1.2.3 总黄酮的提取 枝(梢)总黄酮的提取综合汪河滨<sup>[13]</sup>、庞伟<sup>[14]</sup>等的方法,去除枝(梢)的腋芽和叶子,用蒸馏水洗干净,擦干,然后剥皮(韧皮部和皮层),称取 0.60 g 近剪口处枝(梢)皮样品,剪碎,加入 15 mL 提取液(70%乙醇),置于 70℃水浴锅中恒温浸提 4 h,最后,将粗提液过滤冷却至室温,得到样品总黄酮提取液。

1.2.4 总黄酮含量测定 参考罗峰等<sup>[15]</sup>的 NaNO<sub>2</sub>-Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 比色法进行总黄酮含量的测定。测定的提取液用量为 1 mL,显色定容体积为 25 mL,以提取液(70%乙醇)空白为对照,使用紫外可见分光光度计 UV-3200(上海美谱达)在 510 nm 波长处测定提取液的吸光度(A<sub>510</sub>)。标准曲线的制作:以芦丁标准品的含量为横坐标,相应吸光度 A<sub>510</sub> 为纵坐标,绘制标准曲线,线性回归方程为: A = 13.283C-0.004 9, R<sup>2</sup> = 0.998 8。结果表明,含量在 4~40 μg 范围内,芦丁的吸光度与含量之间呈良好的线性关系。

1.2.5 数据处理 数据采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 进行统计及分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 枝(梢)剪口形态变化特征

秋季和冬季枝(梢)进行剪截后,剪口的髓部有汁液渗出,髓部颜色在短时间内由白色变为黄色;且剪口皮层组织部位也有少量汁液渗出;随着剪口在空气中暴露时间的延长,汁液变干,剪口干瘪萎缩,变得疏松,剪口处皮层组织变成褐色,整个愈合过程较慢且愈合程度一般。蘸取少许剪口渗出汁液,点在滤纸片上,滴加 1%三氯化铝乙醇溶液,吹干,在紫外光下呈黄绿色荧光斑点,推测汁液中含有黄酮

类化合物<sup>[16]</sup>。

2.2 未修剪情况下苹果枝(梢)皮层组织总黄酮含量变化

未修剪情况下苹果秋梢和一年生枝条皮层组织总黄酮含量变化(图 1)可以看出,“长富 2 号”和“玉华早富”2 品种秋季未修剪时秋梢皮层组织总黄酮含量在 17.00 mg · g<sup>-1</sup>~20.00 mg · g<sup>-1</sup>之间,冬季未修剪时枝条皮层组织总黄酮含量在 31.00 mg · g<sup>-1</sup>~34.00 mg · g<sup>-1</sup>之间,变化幅度保持在 3 mg · g<sup>-1</sup>之内。说明未修剪时枝(梢)皮层组织总黄酮含量变化波动极小,且冬季枝条皮层组织总黄酮含量远高于秋梢,约为秋梢皮层组织总黄酮含量的 2 倍,两者差异显著(*p*<0.05)(表 1)。

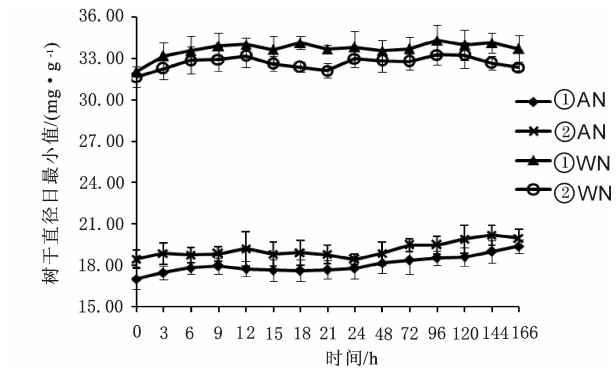


图 1 未修剪时苹果枝(梢)皮层组织总黄酮含量变化 (①代表“长富 2 号”;②代表“玉华早富”)

Fig. 1 The changes of total flavonoids in the annual branches' bark of apple trees without pruning

表 1 不同处理的黄酮含量均值比较

Table 1 Comparison of mean flavonoid content among different treatments mg · g <sup>-1</sup>		
处理	长富 2 号	玉华早富
不秋剪	18.06±0.88a	19.13±0.89a
秋 剪	21.71±3.52b	22.55±3.27b
不冬剪	33.68±0.97c	32.66±0.79c
冬 剪	36.00±2.42d	35.05±2.03d

2.3 苹果秋梢修剪后皮层组织总黄酮含量的变化

“长富 2 号”和“玉华早富”2 品种秋季修剪后的秋梢皮层组织总黄酮含量与未修剪时秋梢皮层组织总黄酮含量存在显著差异(*p*<0.05)(表 1),但两个品种秋季修剪后秋梢皮层组织总黄酮变化特征一致,其变化特征主要可分为两部分,即 0~24 h 和 24~168 h。其中 0~24 h 秋梢皮层组织总黄酮含量呈波动变化,表现为 0~3 h 逐渐升高,3~24 h 逐渐下降,“长富 2 号”在 3 h 的峰值为 25.55 mg · g<sup>-1</sup>,对照初始值 17.21 mg · g<sup>-1</sup>,净增加率达 48.44%,“玉华早富”在 3 h 的峰值为在 24.70 mg · g<sup>-1</sup>,对照初始值 18.31mg · g<sup>-1</sup>,净增加率达 34.89%;修剪处理 24 h 后秋梢皮层组织总黄酮含量均呈现出

逐渐增加并趋于稳定的趋势,“长富 2 号”在修剪处理 96 h 以后的增幅逐渐减小,“玉华早富”在修剪处理 120 h 以后的增幅逐渐减小。经过 168 h 的处理“长富 2 号”总黄酮含量达 26.70 mg · g<sup>-1</sup>,对照初始值其净增加量为 9.49 mg · g<sup>-1</sup>,净增加率达 55.14%;“玉华早富”总黄酮含量达 27.78 mg · g<sup>-1</sup>,对照初始值其净增加量为 9.47 mg · g<sup>-1</sup>,净增加率达 51.74%(图 2)。说明秋季修剪后总黄酮含量有显著的升高,秋季修剪处理对苹果秋梢黄酮类化合物的代谢有一定影响。

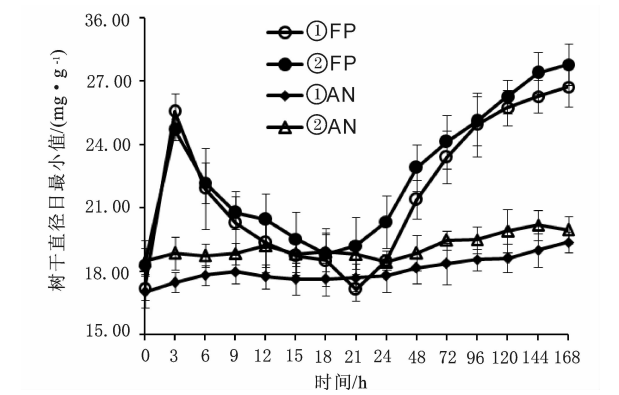


图 2 苹果秋梢修剪后皮层组织总黄酮含量变化  
Fig.2 Changes of total flavonoids in the annual branches' bark of apple trees after pruning in autumn

2.4 苹果一年生枝条冬季修剪后皮层组织总黄酮含量的变化

苹果“长富 2 号”和“玉华早富”2 品种冬季修剪后枝条皮层组织总黄酮含量变化与未修剪时枝条皮层组织总黄酮含量变化存在显著差异(*p*<0.05)(表 1),但两品种冬季剪切后枝条皮层组织总黄酮变化特征一致,其变化特征主要可分为两个部分,即修剪处理 24 h 内和 24 h 之后。冬季修剪处理 24 h 内,枝条皮层组织总黄酮含量呈波动变化,与秋季修剪处理 24 h 内枝条总黄酮含量变化一致;修剪处理 24 h 后,枝条皮层组织总黄酮含量也呈波动变化,表现为 24~48 h 逐渐升高,48~168 h 逐渐下降,最终接近初始值。“长富 2 号”在 3 h 的峰值为 40.38 mg · g<sup>-1</sup>,48 h 的峰值为 40.94 mg · g<sup>-1</sup>,对照初始值 34.02 mg · g<sup>-1</sup>,3 h 净增加率达 18.70%,48 h 净增加率达 20.34%;“玉华早富”在 3 h 的峰值为在 38.48 mg · g<sup>-1</sup>,48 h 的峰值为 38.54 mg · g<sup>-1</sup>,对照初始值 32.78 mg · g<sup>-1</sup>,3 h 净增加率达 17.38%,48 h 净增加率达 17.59%,说明冬季修剪后一年生枝条皮层总黄酮含量较未修剪有明显变化(图 3),冬季修剪处理对苹果 1 a 生枝条黄酮类化合物的代谢有一定影响。

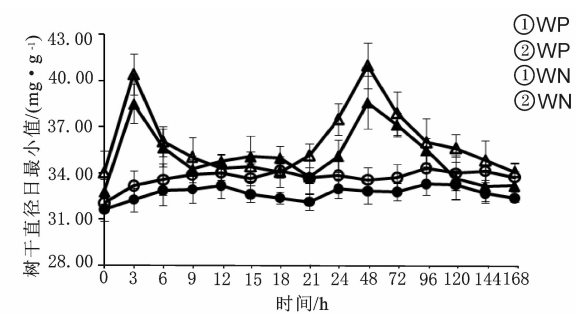


图3 苹果一年生枝条冬剪后皮层组织总黄酮含量变化  
Fig.3 Changes of total flavonoids in the annual branches' bark of apple trees after pruning in winter

3 结论与讨论

两个品种苹果树枝(梢)不同修剪处理后,未修剪情况下枝(梢)总黄酮含量变化波动较小,且枝条总黄酮含量冬季远高于秋季,约为秋季的2倍,说明休眠期果树枝条总黄酮含量相对于生长期有显著增加,这与冷平<sup>[17]</sup>、王勇<sup>[6]</sup>等的研究结果较为一致,表明苹果树枝条黄酮含量与其枝条冬季抗寒能力的获得关系密切。低温胁迫可造成活性氧在树体中积累,诱发膜脂过氧化,从而引起膜损伤,进而造成冻害<sup>[18]</sup>。许多研究表明黄酮类化合物具有较强的抗氧化性,主要表现在减少自由基的产生和清除自由基2个方面<sup>[19]</sup>,另有研究表明,植物体内黄酮含量与其抗氧化性呈正相关性<sup>[20]</sup>。因此,植物通过产生黄酮类化合物来清除自由基和控制自由基的产生可能是其保护自身免受低温冻害的重要机制之一。

苹果树枝(梢)在修剪处理24 h内,秋季修剪、冬季修剪两种情况下的枝(梢)皮层组织总黄酮含量变化特征相似,均呈波动变化,在3 h处均有峰值出现,该峰值相对于各初始值均有较高的增加,净增加率在17%~48%之间。剪口枝(梢)皮层组织有汁液外溢,经检测该汁液中含有黄酮类化合物。造成汁液外溢的原因可能是修剪处理切断了植物正常运输的路径,导致大量的物质在切口处积累。由于剪口处失去原有的表皮和皮层保护,直接暴露在空气中,易遭受空气中的细菌、自由基等侵袭,而黄酮类化合物具有强的抗氧化性和抑菌活性<sup>[21]</sup>,所以,剪口处积累的黄酮类化合物可以通过不断清除自由基或形成其他保护素来保护剪口,且在清除自由基和形成保护素的过程中会被消耗掉,黄酮的消耗导致了含量降低,因此,黄酮含量在3 h处出现峰值。在修剪处理24 h后,秋季修剪、冬季修剪后枝(梢)总黄酮含量的变化特征存在明显不同,其中,秋季修剪后呈现逐渐增加趋势,最后趋于稳定,冬季则呈波动变化。切伤能诱导甘薯块根切片苯丙氨酸解氨酶

(PAL)活性增高<sup>[22]</sup>,促进黄酮类化合物的生物合成,提高黄酮含量。本研究中修剪处理24 h后枝(梢)总黄酮含量升高与此相符,说明黄酮含量的升高是果树对修剪这一外界刺激的应答反应。果树秋季、冬季修剪处理24 h后黄酮含量变化存在显著差异,可能与果树生长期、休眠期代谢强弱有关。产生的黄酮类化合物会通过氧化或降解合成其他保护素而不断消耗,秋季植物处于生长期,光合作用强,代谢旺盛,能迅速补充消耗的合成黄酮类化合物的苯丙氨酸底物,维持黄酮类化合物不断升高,最终稳定在一个较高水平;而冬季植物处于休眠期,代谢缓慢,生命活动微弱,物质储备有限,总黄酮含量升高后最终会达到基准水平(初始值)。

综上所述,修剪能够改变苹果的黄酮类化合物的代谢,进而影响枝(梢)皮层组织黄酮类化合物的含量。秋剪和冬剪后苹果树枝(梢)皮层组织总黄酮含量变化特征差异显著,但不同品种间黄酮含量变化特征明显差异。

参考文献:

[1] 阎秀峰,王洋,李一蒙. 植物次生代谢及其与环境的关系[J]. 生态学报,2007,27(06):2554-2562.  
YAN X F, WANG Y, LI Y M. Plant secondary metabolism and its response to environment [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6):2554-2562. (in Chinese)

[2] CHALLKE-SCOTT L. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses [J]. Photochemistry and Photobiology, 1999, 70(1): 1-9.

[3] 苏文华,张光飞,李秀华,等. 植物药材次生代谢产物的积累与环境的关 系[J]. 中草药,2005,36(9):139-142.  
SU W H, ZHANG G F, LI X H, *et al.* Relationship between accumulation of secondary metabolism in medicinal plant and environmental condition[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2005, 36(9):139-142. (in Chinese)

[4] PARE P W, TUMLINSON J H. Induced synthesis of plant volatiles [J]. Nature, 1997, 385: 30-31.

[5] SUDHA G, RAVISHANKAR G A. Involvement and interaction of various signaling compounds on the plant metabolic events during defense response, resistance to stress factors formation of secondary metabolites and their molecular aspects [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2002, 71(2): 181-212.

[6] 王勇,宋宇琴,韩玉虎,等. 核桃枝条中总酚、黄酮类化合物含量研究[J]. 果树学报,2007,24(5):626-629.  
WANG Y, SONG Y Q, HAN Y H, *et al.* Study on the content of total phenol and flavonoids in walnut shoot [J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(5):626-629. (in Chinese)

[7] 王勇,吴国良,李登科,等. 核桃树体内酚类物质含量的变化 [J]. 果树学报,2003,20(4):325-327.  
WANG Y, WU G L, LI G K, *et al.* Studies on the content of

phenols in different part of walnut tree [J]. Journal of Fruit Science, 2003,20(4):325-327. (in Chinese)

[8] 王改利,魏忠,贺少轩,等. 土壤干旱胁迫对酸枣叶片黄酮类代谢及某些生长和生理指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2011,20(3):1-8.

WANG G L, WEI Z, HE S X, *et al.* Effects of drought stress in soil on flavonoids metabolism in leaf and some growth and physiological indexes of *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2011, 20(3):1-8. (in Chinese)

[9] 刘发敏,刘鸿年,肖建国. 棉花多酚类、黄酮类含量与抗枯萎病关系的研究[J]. 棉花学报,1993,5(2):75-78.

LIU F M, LIU H N, XIAO J G. Studies on the content of polyphenols and flavones in cotton plant and their relationship to Fusarium-wiit Resistance. [J]. Cotton Science, 1993, 5 (2):75-78. (in Chinese)

[10] DIXON R A. Natural products and plant disease resistance [J]. Nature, 2001, 411(14): 843-847.

[11] GAO W, ZHENG Y, SLUSSER J R, *et al.* Effects of supplementary ultraviolet-B irradiance on maize yield and qualities; a field experiment[J]. Photochestmistry and Photobiology, 2004, 80:127-131.

[12] 雷桢桢,李丙智,张社奇,等. 利用二维图像评价"Y"形苹果幼树的分形特征[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版 [J],2012,40(10):185-190.

LEI Z Z, LI B Z, ZHANG S Q, *et al.* Using two-dimensional images to assess the fractal characteristics of young apple trees trained to Y-shaped configuration[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition [J]. 2012, 40 (10):185-190. (in Chinese)

[13] 汪河滨,郭志愿,赵小亮,等. 超声-微波协同萃取灰叶胡杨花粉中总黄酮的工艺研究[J]. 食品科学,2009,30(2):61-64.

WANG H B, GUO Z Y, ZHAO X L, *et al.* Study on ultrasonic-microwave synergistic extraction of total flavones from pollen of *Populus pruinosa* Schrenk [J]. Food Science, 2009, 30(2):61-64. (in Chinese)

[14] 庞伟. 苹果多酚的分离纯化及抗氧化性研究[D]. 西安:西北大学,2007.

[15] 罗锋,汪河滨,杨玲,等. 超声—微波协同萃取法提取甘草黄

酮的研究[J]. 食品研究与开发,2006,27(8):127-128.

[16] 王俊儒. 天然产物提取分离与鉴定技术[M]. 陕西杨凌:西北农林科技大学出版社,2006:54.

[17] 冷平,张国军,吴晓云,等. 秋冬季节柿属植物树体内酚类物质含量的变化[J]. 中国农业大学学报,2001,6(1):63-67.

LENG P, ZHANG G J, WU X Y, *et al.* Change of phenols in persimmon during autumn and winter [J]. Journal of China Agricultural University, 2001,6(1):63-67. (in Chinese)

[18] 徐呈祥. 提高植物抗寒性的机理研究进展[J]. 生态学报, 2012,32(24):7966-7980.

XU C X. Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32 (24):7966-7980. (in Chinese)

[19] 鲁晓翔. 黄酮类化合物抗氧化作用机制研究进展[J]. 食品研究与开发,2012,33(3):220-224.

LU X X. Research progress in antioxidant mechanism of flavonoids [J]. Food Research and Development, 2012, 33(3): 220-224. (in Chinese)

[20] 龚晓武,李炳奇,刘丹丹,等. 红景天黄酮提取及其抗氧化活性研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(3):136-138.

GONG X W, LI B Q, LIU D D, *et al.* Antioxidant activity of the flavonoid extract from *Rhodiola rosea* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(3):136-138. (in Chinese)

[21] 张鞅灵,刘国强,马琼,等. 黄酮类化合物生物活性与结构的关系[J]. 西北林学院学报,2001,16(2):75-79.

ZHANG A L, LIU G Q, MA Q, *et al.* Structure-activity relationship of flavonoids [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001,16(2):75-79. (in Chinese)

[22] 王敬文,薛应龙. 植物苯丙氨酸解氨酶的研究 I. 植物激素对甘薯块根苯丙氨酸解氨酶和肉桂酸 4-羟化酶活性变化及其伴随性的影响[J]. 植物生理学报,1981,7(4):373-380.

WANG J W, XUE Y L. Studies on plant phenylalanine ammonialyase I. The effect of phytohormone on the increase in phenylalanine ammonialyase (PAL) and cinnamic acid 4-hydroxylase(CA4H) activity and the sequence of concomitant changes of enzyme activities in sweet potato root tuber [J]. Acta Phytophysilogia Sinica, 1981, 7(4):373-380. (in Chinese)