

## 无患子果实发育动态及内含物含量变化

邵文豪<sup>1</sup>, 刁松锋<sup>1</sup>, 董汝湘<sup>1</sup>, 孙洪刚<sup>1</sup>, 姜景民<sup>1\*</sup>, 肖可青<sup>2</sup>, 徐金良<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省天台县满园春农林开发有限公司, 浙江 天台 317200; 3. 浙江省开化县林场, 浙江 开化 234300)

**摘要:**对无患子果实生长发育动态及果肉内含物含量变化进行研究,结果表明,无患子果实纵径、横径、侧径、鲜质量等性状发育进程呈现明显的S型生长曲线特征;以果实生长发育时期为横轴( $x$ ),分别以果实纵径、横径、侧径、鲜质量的均值为纵轴( $y$ ),构建的果实生长发育数学模型表明,无患子果实生长各性状与果实发育时期高度相关,数学模型可以正确地反映无患子果实生长发育动态变化规律。对无患子果实脱落规律、果肉含水量、可溶性糖含量、皂苷含量变化规律等综合分析表明,10月下旬,无患子果实发育成熟,生长性状趋于稳定,果肉含水量和可溶性糖含量从峰值下降至相对较低水平,而果肉皂苷含量相对较高,因此提出该时期为无患子果实采摘的适宜时期。

**关键词:**无患子;果实发育;落果;果肉内含物;动态变化

中图分类号:S789

文献标识码:A

## Dynamic Changes of Fruit Development and Pulp Inclusion of *Sapindus mukorossi*

SHAO Wen-hao<sup>1</sup>, DIAO Song-feng<sup>1</sup>, DONG Ru-xiang<sup>1</sup>, SUN Hong-gang<sup>1</sup>, JIANG Jing-min<sup>1</sup>, XIAO Ke-qing<sup>2</sup>, XU Jin-liang<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Tiantai Manyuan Chun Agroforestry Development Co., Ltd., Tiantai 317200, Zhejiang, China; 3. Kaihua County Forest Farm, Kaihua 234300, Zhejiang, China)

**Abstract:** The dynamic changes of fruit development and pulp inclusion of *Sapindus mukorossi* were studied. The results showed that the development process of fruit vertical diameter, transverse diameter, side diameter and fresh weight presented an obvious Sigmoid growth curve. The mathematical models of fruit growth and development were built by using development period as  $X$ -axis, and using respective mean of fruit traits as  $Y$ -axis. Meanwhile, the models were proved available to reflect the change rule, because the fruit growth traits highly correlated with development periods. The change rules of fruit drop, pulp water content, pulp soluble sugar content and pulp saponin content were analyzed comprehensively. The result indicated that the fruits matured and the growth traits tended towards stability in later October, and the pulp water content and soluble sugar content decreased from peak to relatively low levels. However, the pulp saponin content was relatively high at the same time. So the suitable period for fruit harvest of *S. mukorossi* was in later October.

**Key words:** *Sapindus mukorossi*; fruit development; fruit drop; pulp inclusion; dynamic change

收稿日期:2014-02-18

基金项目:国家林业公益性行业科研专项项目(200804032);浙江省重大科技专项计划项目(2011C12015)

作者简介:邵文豪(1981—),男,山东济宁人,助理研究员,硕士,主要从事林木种质资源创新与利用研究。

\* 通讯作者:研究员,主要从事林木遗传育种研究。E-mail:jmjiang6001@126.com

无患子 (*Sapindus mukorossi* Gaertn.) 为无患子科 (*Sapindaceae*) 无患子属 (*Sapindus* L.) 落叶乔木, 零散分布于我国东部、南部至西南部, 在低山丘陵及石灰岩山地较为常见<sup>[1]</sup>。无患子适应性强, 生长快, 对二氧化硫等有害气体具较强抗性, 秋季叶色金黄, 是我国南方重要的园林绿化观赏树种。其果肉富含皂苷, 具有良好的起泡性、去污性和抗菌止痒生理功效, 因此又是重要的生物洗涤剂原料树种<sup>[2-3]</sup>。

近年来, 以无患子果肉为原料的生物洗涤剂产业稳定发展。但目前无患子产业发展过程中仍存在诸多问题, 低产、原料供应不足是其中重要原因之一, 严重影响了无患子资源的推广应用和产品的系列研发。现有对无患子的研究绝大部分集中在无患子皂苷类活性物质的效用及提取测定、遗传材料的评价及种苗繁育等方面<sup>[4-14]</sup>, 而对于与果实产量、皂苷含量、果实收获等密切相关的果实生长发育规律等缺乏系统的调查研究。本文从早年营建并已投产的成年无患子原料林中选择样株作为研究对象, 对无患子果实发育动态、落果特性、果肉内含物含量变化等进行系统观测研究, 以揭示无患子果实生长发育的变化规律, 提出适宜的果实采摘期, 为无患子科学栽培管理和提高果实产量提供基础依据。

## 1 试验地概况

试验在浙江省天台县满园春农林开发有限公司无患子原料林基地进行, 地理位置 28°57' N, 120°41' E, 海拔高度约 90 m; 年平均气温 16.8℃, 年降水量 1 320 mm, 年无霜期平均 232 d; 土壤以粘性红黄壤为主, pH 值 5.8。该原料林为利用当地无患子种源实生繁育营建, 林龄 10 a, 已进入正常开花结实阶段。栽植密度 4 m × 4 m, 林分郁闭度约 75%。林下常散生耐荫植物, 主要有络石 (*Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.)、小果蔷薇 (*Rosa cymosa* Tratt.)、山莓 (*Rubus corchorifolius* L. f.)、枸骨 (*Ilex cornuta* Lindl. et Paxt.)、铁芒萁 (*Dicranopteris linearis* (Burm. f.) Underw.) 等。

## 2 材料与方法

### 2.1 果实采样与观察

2010年, 从原料林中选择长势良好、无病虫害、正常开花结实的5棵无患子植株, 分别挂牌标记1、2、3、4、5。自花期结束后10 d即6月30日开始, 每隔15 d分别从5棵样株上采集果实样品一次, 直至果实成熟、脱落。果实采样方法: 分别于每样株树冠中上部不同方位随机采摘30个正常发育果实, 立即装入保鲜袋中, 带回实验室并置于-5℃冰箱中保存待测。

同时, 在每棵无患子样株树冠中上部不同方位

分别标记并固定5个果序, 从6月30日起, 每隔15 d调查一次每个果序上的果实数量, 直到果实成熟、脱落, 观察果实脱落情况。

### 2.2 性状测定与分析

无患子果实基本形态见图1。用游标卡尺分别测量果实纵径、横径和侧径, 精确到0.01 mm; 用电子天平称量果实鲜质量, 后将果肉剥离, 取出种子称取质量, 均精确到0.01 g。

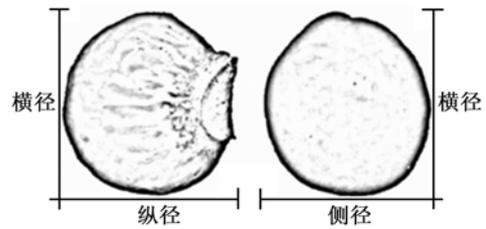


图1 无患子果实形态

果肉含水量测定: 从每次采集的果实样品中分别将种子剥出, 混合均匀, 随机称量果肉鲜质量 ( $G_1$ ) 后, 放入 80℃ 电热恒温鼓风干燥箱中烘干至恒质量, 称取果肉干质量 ( $G_2$ ), 果肉含水量 =  $(G_1 - G_2) / G_1 \times 100\%$ 。

果肉可溶性糖测定根据 GB/T 6194-1986 方法进行<sup>[15]</sup>。

果肉皂苷含量测定: 用微型粉碎机将测定完全含水量的果肉干样粉碎成末状, 分别称取 20 g, 重新放入 80℃ 电热恒温鼓风干燥箱中保持干燥、待测。从待测样中分别称取 0.3 g 左右果肉粉末, 分装入 20 mL 带密封塞的试管中, 使用甲醇定容至 15 mL, 立即盖上试管塞, 浸泡 20 h 后, 用漏斗过滤, 滤液进行 HPLC 检测。以 0.4 mg · mL<sup>-1</sup> 常春藤皂苷元甲醇溶液为对照, 采用高效液相色谱分析法测定无患子皂苷含量, 色谱条件: 色谱柱 Symmetry<sup>TM</sup> C<sub>18</sub> (3.9 mm × 150 mm); 柱温 40℃; 流动相 CH<sub>3</sub>CN: H<sub>2</sub>O (H<sub>2</sub>O: 90% → 20%, 30 min); 流速 1 mL · min<sup>-1</sup>; 检测波长 210 nm。

分别计算不同时期 5 棵样株果实各性状的均值, 应用 Excel 2003 进行统计分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 无患子果实生长发育动态

从图2可知, 无患子果实纵径、横径和侧径生长变化趋势相对一致, 表明果实横向和径向生长趋于同步。6月底至7月底为果实迅速生长阶段, 果实纵径、横径和侧径分别增长 7.20 mm、8.61 mm、8.31 mm; 8月初至中旬果实增长缓慢, 果实纵径、横径和侧径分别增长 0.36 mm、0.96 mm、0.65 mm; 8月中旬至9月初果实又进入较快增长阶段, 果实纵径、横径和侧径分别增长 0.64 mm、2.42 mm、2.18 mm, 并

达到峰值,平均值为 22.66 mm、25.33 mm 和 20.92 mm;随后,3 个性状呈缓慢减小的趋势,至 10 月底果实纵径、横径和侧径的平均值分别为 20.14 mm、22.77 mm 和 18.79 mm。可见,无患子果实生长发育呈现较为明显的 S 型曲线趋势。

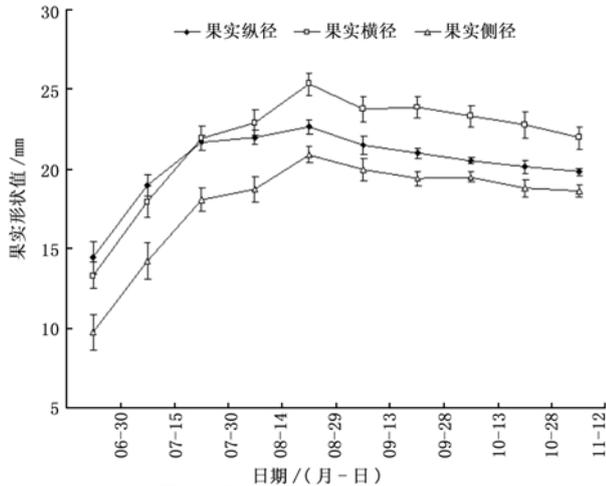


图 2 无患子果实形态动态变化

由图 3 可知,无患子果实鲜质量的增长动态也表现出明显的 S 型曲线特征。与果实纵径、横径和侧径的生长变化较为相似,即 7 月 30 日前为果实鲜质量快速增长期,至 8 月中旬增长缓慢,9 月初果实鲜质量增长基本达到峰值,平均值为 6.89 g;随后至 9 月底果实鲜质量缓慢下降,平均值为 6.44 g;10 月初至月底为果实鲜质量快速下降阶段,平均值为 4.01 g,之后仍略有下降,但已相对稳定。

无患子种子鲜质量变化趋势与果实鲜质量不

同。9 月初种子鲜质量平均值为 2.67 g,后继续增长至 9 月中旬达到峰值,平均值为 2.76 g;之后缓慢下降,至 10 月底种子平均鲜质量趋于稳定,平均值为 1.45 g。可见,无患子种子鲜质量增长达到峰值的时间较果实鲜质量延迟了半个月。

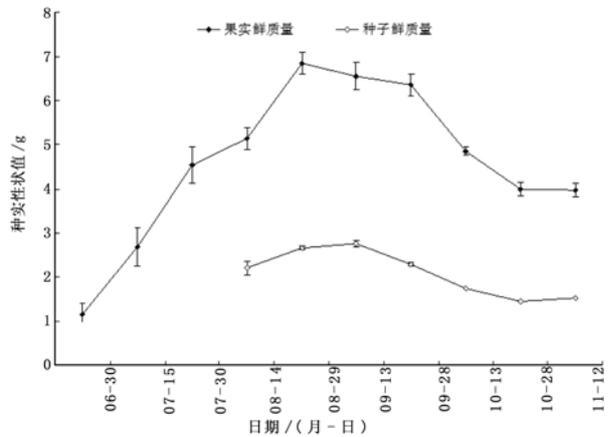


图 3 无患子果实和种子鲜质量动态变化

研究果实生长发育的数学模型,可以为预测和评估果实的生长发育状况、确定合理的田间管理措施以及获取优质的果实品质提供科学的理论依据<sup>[16-17]</sup>。以无患子果实生长发育时期为横轴(x),分别以果实纵径、横径、侧径、鲜质量的均值为纵轴(y),作出各自相应的散点图,再根据变化曲线,配以相应的多项式回归方程,结果见表 1。从表中的曲线方程可以看出,无患子果实形态各性状与果实发育时期高度相关,说明得到的数学模型可以正确反映无患子果实生长发育动态变化规律。

表 1 无患子果实生长发育的数学模型

性状	回归方程式	相关系数 R <sup>2</sup>
果实纵径	$y = 0.068 0x^3 - 1.330 2x^2 + 7.715 3x + 8.235 4$	0.919 3
果实横径	$y = 0.045 6x^3 - 1.089 0x^2 + 7.892 7x + 6.430 6$	0.981 6
果实侧径	$y = 0.048 4x^3 - 1.097 4x^2 + 7.698 4x + 3.079 7$	0.984 0
果实鲜质量	$y = 0.009 0x^4 - 0.187 2x^3 + 1.070 0x^2 - 0.682 6x + 1.013 5$	0.977 2

### 3.2 无患子果实脱落规律

从图 4 可知,无患子幼果初期即 6 月底,每果序结果数平均为 57.3 个,至 7 月中上旬每果序结果数下降为平均 49.8 个,落果率 13.1%,果实脱落较多;8 月初每果序结果数快速下降至平均 28.1 个,脱落率 50.9%,可见,7 月下旬无患子果实脱落较为严重;8 月中旬之后每果序结果数相对稳定,果实脱落现象不明显,至 10 月中旬每果序结果数平均为 19.2 个。

### 3.3 无患子果肉内含物含量动态

#### 3.3.1 果肉含水量动态变化 较低水平的果肉

含水量对于无患子果实采摘后的安全保存非常重要。从图 5 可知,无患子幼果初期,其果肉含水量平均为 69.2%,至 7 月中旬果肉含水量达到最高,平均为 76.4%;8 月初果肉含水量降为平均 70.3%,到 8 月中旬又略有升高,平均为 74.2%;随后果肉含水量呈缓慢下降趋势,至 9 月中旬下降为平均 66.3%;之后进入快速下降阶段,至 10 月底下降至平均 10.1%;而在 11 月份,果肉含水量又略显增高。

#### 3.3.2 果肉可溶性糖动态变化 无患子果肉中可溶性糖成分不利于皂苷的分离和纯化,而且皂苷中

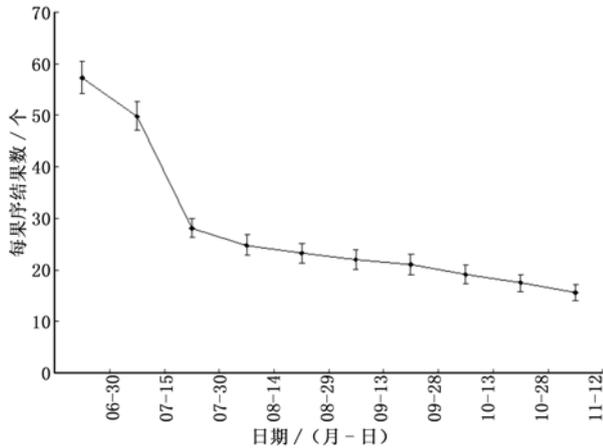


图4 无患子果实脱落动态变化

若混杂有糖分,容易吸水,造成微生物污染,不利于长期保存。从图6可知,无患子果肉可溶性糖在6-8月份含量相对较低,平均为 $4.43 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,其中6月底果肉可溶性糖含量平均为 $4.72 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,至7月中旬升至 $5.34 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之后略有下降,至8月中旬降到最低,平均为 $3.74 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。从9月份开始,无患子果肉可溶性糖含量大幅上升,至10月中旬达到峰值,平均为 $17.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,之后开始缓慢下降,直至果实成熟、脱落,果肉可溶性糖含量均保持相对较高水平。

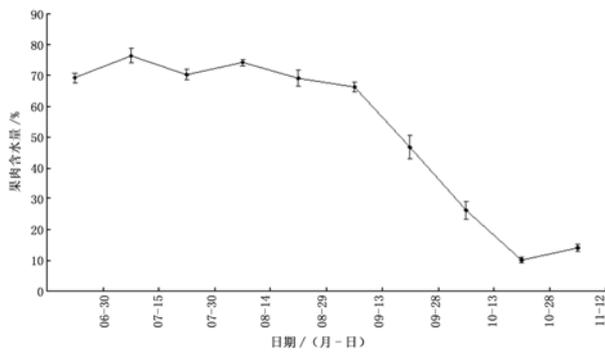


图5 无患子果肉含水量变化

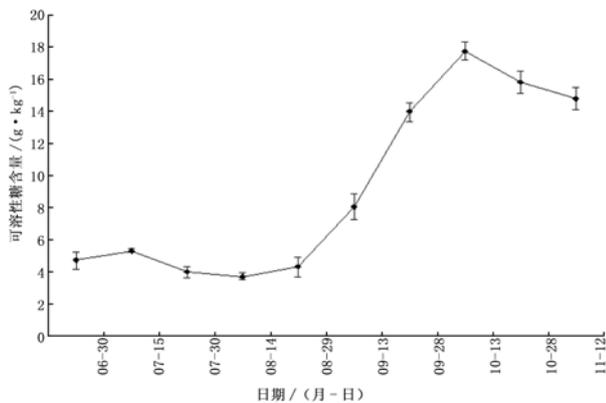


图6 无患子果肉可溶性糖含量变化

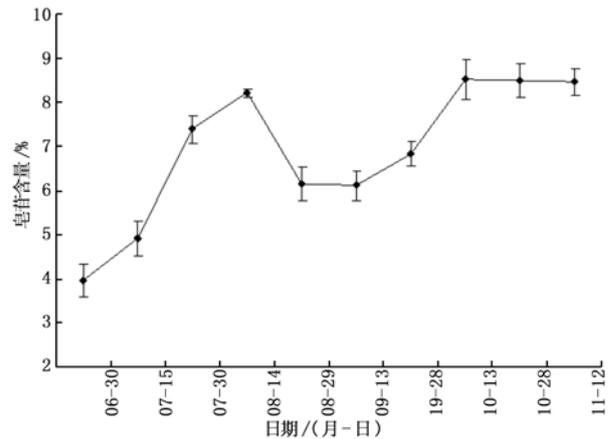


图7 无患子果肉皂苷含量变化

3.3.3 果肉皂苷含量动态变化 从图7可知,无患子幼果初期果肉皂苷含量平均为3.95%,至8月中旬皂苷快速累积至第1个峰值8.21%,之后呈下降趋势,至9月中旬其含量下降为平均6.11%;9月下旬开始,果肉皂苷含量又开始增高,至10月中旬,其含量累积至果实发育阶段的最高值8.52%,后期果肉皂苷含量略有下降,但变化不大,趋于稳定,平均为8.48%。可见,在无患子果实发育进程中,果肉皂苷含量累积出现2次较为明显的峰值,分别在8月中旬和10月中旬。

## 4 结论与讨论

林木果实从形成到成熟,经不断的细胞分裂和膨大而呈现出一定的生长动态变化,此过程可以用果实纵径、横径、体积或质量为基础绘制生长曲线来表现。不同种类的林木,其果实生长曲线的类型不尽相同,可分为两大类型,即单S曲线和双S曲线;具有单S型生长曲线的林木果实有‘贵妃红’荔枝(*Litchi* ‘Guifeihong’)、‘寒富’苹果(*Malus* ‘Hanfu’)、‘金秋’梨(*Pyrus* ‘Jinqiu’)、枇杷(*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.)、柑桔(*Citrus reticulata* Blanco)等,具有双S型生长曲线的林木果实主要有‘秦光’油桃(*Amygdalus* ‘Qinguang’)、杏(*Prunus armeniaca* L.)、柿(*Diospyros kaki* L.)、玫瑰香葡萄(*Vitis vinifera* L. cv. Muscat Hamburg)等<sup>[18-24]</sup>。无患子果实纵径、横径和侧径生长变化趋势相对一致,横向和径向生长趋于同步,果实发育变化表现为S型生长曲线特征,果实纵径、横径、侧径、鲜质量等主要生长性状在10月下旬均已趋于稳定。以无患子果实生长发育时期为横轴( $x$ ),分别以果实纵径、横径、侧径、鲜质量的均值为纵轴( $y$ ),构建果实生长发育

数学模型,结果表明无患子果实生长各性状与果实发育时期高度相关,数学模型可以正确地反映无患子果实生长发育动态变化规律。

落果是果树生产中普遍存在的现象,根据其发生前后,可分为早期落果和采前落果,早期落果在各种果树中均有发生,且落果时多时少,形成高低相间的落果曲线<sup>[25]</sup>。无患子果实脱落是一个持续的过程,自花期过后一直在落果,并且存在一次较为明显的落果高峰期,即7月中下旬,落果率高达50.9%,8月份之后果实脱落较少。落果高峰期形成原因与果树立地栽培环境、树体营养状况、激素水平和授粉受精程度等多种因素有关。邱燕萍等<sup>[26-27]</sup>通过对‘糯米糍’荔枝(*L. chinensis* ‘Nuomici’)果实发育、营养消长及落果的关系进行研究认为,荔枝第一次落果高峰期的出现,主要是由于多数幼果未受精脱落造成,而在授粉受精完成的前提下,果实迅速发育阶段以及营养生长旺盛期所造成的激素与营养的失调,是引起生理落果的主要原因。无患子花量繁多,落果现象同样较为突出,造成明显落果高峰期的原因仍待进一步研究。

无患子果肉中的皂苷是其最重要的有效活性成分,因此合理的果实采摘期对整体提高皂苷产量具有重要意义。本研究表明,7月中旬无患子果肉含水量最高达76.4%,至10月底下降至平均10.1%,而随后果肉含水量又略显增高。11月份,无患子果实已经完全成熟,表现为果色金黄、果肉与种子分离、果皮开始干皱,甚至果柄失去生理机理,因此可能受空气湿度、降水等影响,很多果实开始“吸水”膨胀,导致果肉含水量升高。无患子果肉可溶性糖含量在10月中旬达到峰值,平均为 $17.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,之后开始缓慢下降,出现“退糖”现象<sup>[19]</sup>。在无患子果实生长发育进程中,果肉皂苷含量累积出现两次峰值,第1次出现在8月中旬,平均含量为8.21%,第2次出现在10月中旬,平均含量为8.52%,之后果肉皂苷含量趋于稳定,平均为8.48%。以上可见,10月下旬,无患子果肉含水量和可溶性糖含量均从峰值下降至相对较低水平,虽然果肉皂苷含量峰值出现在10月中旬,但是考虑到该时期果肉含水量和可溶性糖含量仍相对较高,并不利于果实采摘后的常规保存,而在进入11月份后不仅果实仍在脱落而且随着果肉含水量的升高,各种霉病也极易发生,直接影响果实品质,因此无患子果实较适宜的采摘时期应选择在10月下旬。

#### 参考文献:

[1] 中国植物志编辑委员会. 中国植物志:四十七卷(第一分册)无患子科 清风藤科[M]. 北京:科学出版社,1998:15.

- [2] 黄素梅,王敬文,杜孟浩,等. 无患子总皂苷的提取工艺研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(1):354-356.
- [3] 黄素梅,王敬文,杜孟浩,等. 无患子的研究现状及其开发利用[J]. 林业科技开发,2009,23(6):1-5.
- [4] 孙洁如,陈孔常,周鸣方,等. 无患子表面活性物及其复配体系的性质研究[J]. 日用化学工业,2002,32(4):16-18,27.
- [5] Huang H C, Tsai W J, Liaw C C, et al. Anti-platelet aggregation triterpene saponins from the galls of *Sapindus mukorossi* [J]. Chem Pharm Bull,2007,55(9):1412-1415.
- [6] 魏凤玉,解辉,余锦城,等. 超滤法分离提纯无患子皂苷[J]. 膜科学与技术,2008,28(2):85-88.
- [7] 邵文豪,姜景民,董汝湘,等. 不同产地无患子果皮皂苷含量的地理变异研究[J]. 植物研究,2012,32(5):627-631.
- [8] 邵文豪,岳华峰,姜景民,等. 不同种源无患子苗期生长性状遗传变异研究[J]. 浙江林业科技,2012,32(1):21-25.
- [9] 邵文豪,刁松峰,董汝湘,等. 无患子种实形态及经济性状的地理变异[J]. 林业科学研究,2013,26(5):603-608.
- [10] 刁松峰,邵文豪,姜景民,等. 基于种实形状的无患子天然群体表型多样性研究[J]. 生态学报,2014,34(6):1451-1460.
- [11] 岳华峰. 无患子主要经济性状的地理变异研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010.
- [12] 谢必武,张凤龙. 几种处理方法对无患子种子发芽的影响[J]. 种子,2007,26(5):74-75.
- [13] 林文荣. 无患子扦插繁殖试验研究[J]. 现代园艺,2007,(7):9-10.
- [14] 张风光. 无患子组织培养研究[J]. 山地农业生物学报,2005,24(2):119-123,141.
- [15] 黑龙江省农业科学院. GB/T 6194-1986 水果、蔬菜可溶性糖测定法[S]. 北京:中国标准出版社,1986.
- [16] 宋国庆,李绍华,孟昭清,等. 果实大小预测方法研究概况[J]. 落叶果树,1998,(4):30-31.
- [17] 李慧峰,李林光,张琮,等. 苹果果实生长发育数学模型研究[J]. 江西农业学报,2008,20(4):40-42.
- [18] 杨文衡,陈景新. 果树生长与结实[M]. 上海:上海科学技术出版社,1986:121-170.
- [19] 黄凤珠,彭宏祥,朱建华,等. 贵妃红荔枝果实生长发育规律及含糖量变化特性研究[J]. 西南农业学报,2011,24(2):703-706.
- [20] 吕金海,伍贤进,周书伟,等. 金秋梨果实发育中生长速率及主要营养成分的变化[J]. 中国农学通报,2004,20(5):35-36,44.
- [21] 韩明玉,田玉命,张慧梅,等. 秦光油桃果实生长曲线和落果波相的观察[J]. 西北植物学报,2001,21(6):1249-1253.
- [22] 于希志,徐秋萍,金锡凤. 杏果实发育的研究[J]. 果树科学,1990,7(4):227-230.
- [23] 苏彩虹,郭创业. 山区生态条件下甜柿的果实性状研究[J]. 贵州大学学报:农业与生物科学版,2002,21(2):105-109.
- [24] 许哲峰,罗国光,彭宜本. 玫瑰香葡萄浆果生长发育动态及其变化特点[J]. 园艺学报,1995,22(4):318-322.
- [25] 杜丽清,张秀梅,杜俊杰,等. 果树落花落果的原因及对策[J]. 山西果树,2004,98(2):28-29.
- [26] 邱燕萍,张展薇. 荔枝果实发育及其与落果的关系[J]. 广东农业科学,1993,(1):17-19.
- [27] 邱燕萍,张展薇,王碧青,等. 糯米糍荔枝结果期叶、果营养消长及其与落果的关系[J]. 果树科学,1996,13(增刊):20-24.