

## 文冠果优良无性系授粉组合选择及结实性状分析

牛媛<sup>1,2</sup>, 敖妍<sup>1,2</sup>, 李云<sup>3</sup>, 田秀铭<sup>4</sup>, 杨长文<sup>5</sup>, 刘小天<sup>6</sup>, 李志虹<sup>6</sup>

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学 国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100083; 3. 国家林业和草原局调查规划设计院, 北京 100714; 4. 朝阳市果树技术推广站, 辽宁 朝阳 122000; 5. 辽宁文冠实业开发有限公司, 辽宁 朝阳 122000; 6. 科右前旗农牧和科技局农业研究所, 内蒙古 兴安盟 137713)

**摘要:**【目的】探究文冠果 *Xanthoceras sorbifolium* 优良无性系最佳授粉组合, 提高其坐果率、种实产量, 为科学配置授粉树及优良种质资源无性系化推广提供参考。【方法】以文冠果 5 个优良无性系为材料, 进行花期物候观测、柱头可授性及花粉活力检测。进行控制授粉, 分析各授粉组合受精率、坐果率、种实产量及种实性状。【结果】①5 个无性系开花时间在 4 月 27 日至 5 月 14 日。②雌能花开花当天及花后 1 d 柱头可授性较强。③雄能花初开放和完全开放当天花粉活力较高。④综合考虑各授粉组合受精率、最终坐果率、产量及种实性状得出, 10 号无性系最佳授粉组合为 10×16、10×119, 14 号、15 号、16 号最佳授粉组合分别为 14×15、15×16、16×15, 10 号、14 号、15 号、16 号均不适合做 119 号的授粉无性系。【结论】科学的授粉树配置可以提高文冠果坐果率及种实产量。图 4 表 7 参 29

**关键词:** 植物学; 文冠果; 人工授粉; 坐果率; 种子产量; 主成分分析

**中图分类号:** S718.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2020)02-0209-11

## Selection of pollination combinations and analysis of fruit and seed characters of excellent clones of *Xanthoceras sorbifolium*

NIU Yuan<sup>1,2</sup>, AO Yan<sup>1,2</sup>, LI Yun<sup>3</sup>, TIAN Xiuming<sup>4</sup>, YANG Changwen<sup>5</sup>, LIU Xiaotian<sup>6</sup>, LI Zhihong<sup>6</sup>

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. National Energy R&D Center for Non-food Biomass, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Survey Planning and Design Institute of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China; 4. Fruit Tree Technology Promotion Station of Chaoyang City, Chaoyang 122000, Liaoning, China; 5. Liaoning Wenguan Industrial Development Co., Ltd., Chaoyang 122000, Liaoning, China; 6. Agricultural Research Institute of Keyouqianqi Agriculture, Animal Husbandry, Science, and Technology Bureau, Xinganmeng 137713, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** [Objective] The present study attempts to provide reference for scientific allocation of pollination trees and superior clone popularization of *Xanthoceras sorbifolium* by investigating the best pollination combinations of the excellent clones to increase fruit setting rate and seed yield. [Method] Five superior clones were chosen to observe florescence phenology, stigma receptivity, and pollen viability. Control pollination was carried out to analyze the fertilization rate, fruit setting rate, and characters of each pollination combination related to seed yield. [Result] (1) The florescence stage of the 5 clones was from April 27 to May 14. (2) The stigma receptivity of female flowers was higher on the day of blooming and one day after that. (3) The pollen viability of male flowers was higher on the days of initial blooming and the complete blooming. (4) Considering fertilization rate, final fruit setting rate, seed yield, and fruit and seed characters of all pollination combinations, the optimal

收稿日期: 2019-04-11; 修回日期: 2019-10-10

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2019GJZL02, 2015ZCQ-LX-02); 国家自然科学基金青年基金资助项目(31600241)

作者简介: 牛媛, 从事森林培育学研究。E-mail: niu123yuan321@163.com。通信作者: 敖妍, 副教授, 从事森林培育学研究。E-mail: aoyan316@163.com

pollination combinations for No.10 were 10×16 and 10×119, and the recommended combinations for No.14, No.15, and No.16 were 14×15, 15×16, and 16×15 respectively. No.10, No.14, No.15 and No.16 were not suitable for pollination clone of No.119. [Conclusion] The fruit setting rate and seed yield of *X. sorbifolium* can be improved by scientific pollination combination. [Ch, 4 fig. 7 tab. 29 ref.]

**Key words:** botany; *Xanthoceras sorbifolium*; artificial pollination; fruit setting rate; seed yield; principal component analysis

文冠果 *Xanthoceras sorbifolium* 为无患子科 Sapindaceae 文冠果属 *Xanthoceras* 植物, 是少数适合中国北方地区重点发展的生物质能源树种, 具有抗寒、抗旱能力强, 结实早的特性。文冠果种仁含油率高达 67%, 可用于生产生物柴油及高级润滑油等工业用油; 籽油富含不饱和脂肪酸, 可用于生产高级食用油。油粕可做高级饲料, 种仁可制作果汁露, 其中的药用成分可用于治疗心血管病、遗尿症等疾病; 果壳可生产活性炭、糠醛、皂苷等<sup>[1-5]</sup>。文冠果种实开发利用前景广阔, 且其嫁接苗第 2 年、播种苗第 3 年即可结实。一定年限内, 种子产量随树龄增长递增, 8~10 a 进入盛果期, 结果期可达百年, 具有见效快、附加值高、经济效益明显的特点。但是, 目前低产仍是文冠果种实开发利用产业发展的主要限制因素, 其原因除了缺乏集约的栽培管理措施外, 还与文冠果雌雄比例低、自交不亲和等生物学特性有很大关系<sup>[6-8]</sup>。多数自交不亲和树种如薄壳山核桃 *Carya illinoensis*、杏 *Armeniaca vulgaris*、梨 *Pyrus spp.* 等, 利用不同品种花粉控制授粉, 分析杂交组合坐果率、果实品质, 确定最佳授粉树, 提高产量<sup>[9-11]</sup>。文冠果栽培授粉树配置的重要性还未引起重视, 一方面影响文冠果坐果率和种实产量的提高; 另一方面, 在无性系化推广时<sup>[12-13]</sup>会出现“优树不优”现象, 影响文冠果优良性状的表现。科学的授粉树配置除要考虑授粉树与主栽品种花期相遇时间长短、亲和性强弱之外, 也应兼顾授粉后种实产量及果实品质。本研究以文冠果 5 个优良无性系为试材, 确定其花期物候和最佳授粉时期, 通过设计交互授粉、混合授粉、自然授粉, 综合分析各授粉组合坐果情况、种实产量及种实性状, 得到各无性系的最佳授粉组合, 为文冠果优质丰产栽培及优良种质无性系化推广提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况与试验材料

试验地位于辽宁省朝阳市大平房镇原家洼村文冠果基地(41°25'N, 120°16'E), 属北温带大陆性季风气候, 年均日照 2 861.7 h, 年均气温为 8.4 °C, 无霜期为 158.0 d, 年均降水量为 489.0 mm。土壤类型为褐土, 土层厚度 100 cm 左右。供试材料是 2016 年 7 月嫁接的生长健壮、无病虫害的 10 号、14 号、15 号、16 号、119 号优良文冠果无性系各 56 株。接穗采自辽宁省朝阳市文冠果基地的 15 年生实生苗, 砧木为 1 年生干 2 年根的文冠果实生苗。试验用嫁接苗平均树高 107.3 cm, 平均地径 2.6 cm, 株行距 1.5 m × 1.5 m, 常规管理。

### 1.2 试验方法

1.2.1 花期物候观测 各无性系随机选取 10 株作为花期物候观测样株。各样株树体东、南、西、北 4 个方向选取标准枝编号标记, 于 2018 年 4 月 24 日至 5 月 15 日, 每天 8:00 和 16:00 观测标准枝上开花数量, 并统计开花数量占整个花序总花数量的百分比, 10 株样株中有一半以上植株达到某物候相标准时, 记录该物候开始日期。物候相标准: 25%~50%的花开放为初花期; 50%~75%的花开放为盛花期; 75%~95%的花开放为末花期<sup>[14-15]</sup>。

1.2.2 柱头可授性检测 各无性系另选 10 株作为柱头可授性和花粉活力检测取样植株。于盛花期分别采集花蕾初开放(图 1A①)、开花当天(花蕾完全开放, 图 1A②)、花后 1~5 d 的雌能花(图 1A③~⑦), 每无性系每时期取 20 朵, 用联苯胺-过氧化氢法测定柱头可授性<sup>[16]</sup>。

1.2.3 花粉活力检测 开花前 1 d 在取样植株上标记即将开放的雄能花, 每天 9:00 分别采集处于花蕾初开放(图 1B①)、开花当天(花蕾完全开放, 图 1B②)、花后 1 d(图 1B③)3 个阶段的雄能花。每无性系每时期取 20 朵, 采用固体培养基法(质量分数分别为 0.50%、10.00%和 0.03%的琼脂、蔗糖和硼酸)检测花粉活力<sup>[17]</sup>。

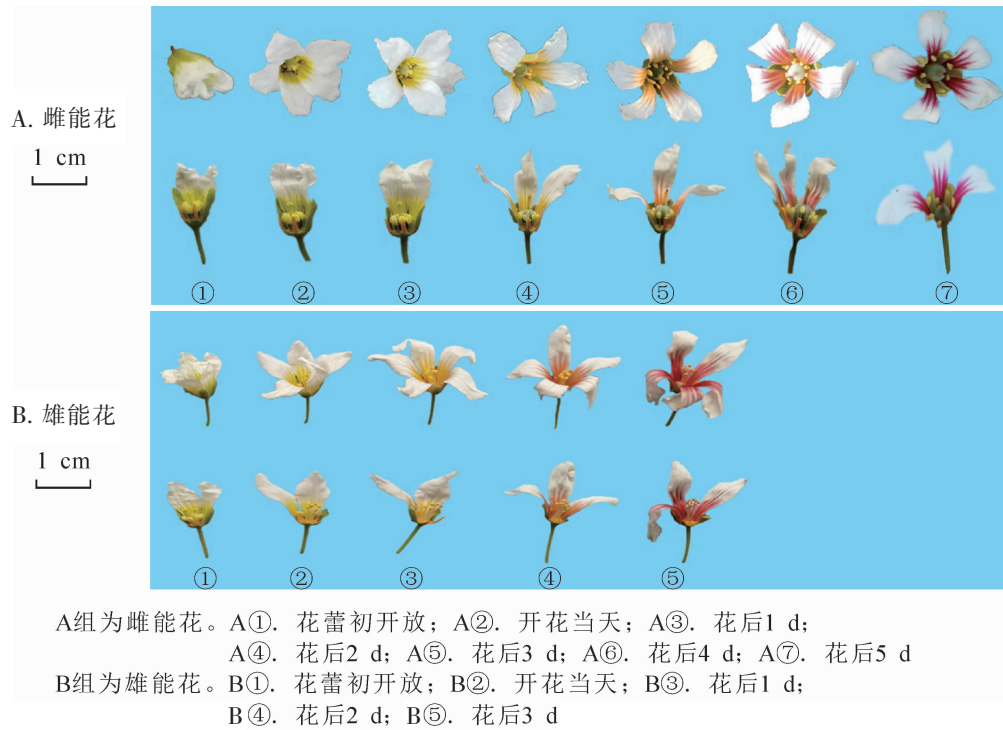
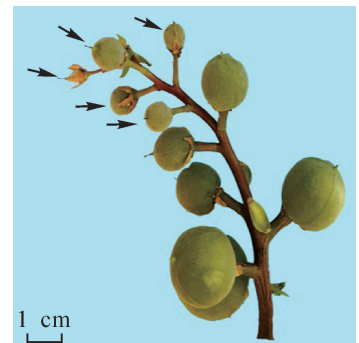


图 1 文冠果开花不同时期雌能花和雄能花

Figure 1 Female and male flowers in different flowering stages of *X. sorbifolium*

1.2.4 授粉试验 各无性系另选 36 株作为授粉试材，设计交互授粉、混合授粉和自然授粉，其中混合授粉所授花粉为 5 个无性系混合花粉(mixed pollination, MP)，自然授粉组(ck)为对照。因文冠果成熟果实均来自异花授粉<sup>[7-8]</sup>，故不设计自交授粉。授粉配置设计见表 1。每个授粉组合每重复授粉 100 朵雌能花，3 次重复。因文冠果雌能花花药不开裂，故不去除雌能花雄蕊，在开花前 1 d 识别、去除将要授粉花序上的雄能花和已经开放的雌能花，套袋即可。授粉时，采集正在散粉的雄能花，除去花瓣，用花药涂抹开花当天的雌能花柱头，直到可以明显看到柱头上黄色的花粉为止，之后套袋。授粉后 15 d(5 月 23 日)，第 1 次生理落果期结束，结果枝上的果实分为 2 种(图 2)，一种是子房略微膨大的未成功受精果实，另一种是子房明显膨大的受精成功果实<sup>[16,18]</sup>。5 月 23 日，统计受精率(子房明显膨大果实数/授粉花朵数×100%)；7 月 19 日(即果实采收前)，统计最终坐果率(成熟果实/授粉花朵数×100%)，并采收各授粉组合果实，进行产量及种实性状测定。



箭头所指为未受精成功果实，其余为受精成功果实

图 2 授粉 15 d 后文冠果果实发育情况

Figure 2 Fruit development of *X. sorbifolium* after 15 days of pollination

1.2.5 产量及种实性状测定 果实成熟后(2018 年 7 月 19 日)，按授粉组合采集所有杂交果实，记录果实个数、每果种子数，电子天平称量单果质量、单果种子质量、百粒重，精确到 0.01 g。游标卡尺测量果实横径、纵径(各授粉组合均 3 次重复，每重复 10 个果实)，种子横径、纵径、侧

表 1 授粉配置设计

Table 1 Pollination configuration design

母本	父本					混合授粉(MP)	自然授粉(ck)
	10 号	14 号	15 号	16 号	119 号		
10 号		10×14	10×15	10×16	10×119	10×MP	10ck
14 号	14×10		14×15	14×16	14×119	14×MP	14ck
15 号	15×10	15×14		15×16	15×119	15×MP	15ck
16 号	16×10	16×14	16×15		16×119	16×MP	16ck
119 号	119×10	119×14	119×15	119×16		119×MP	119ck

径(种子最宽处厚度)(3次重复,每重复10粒种子),精确到0.01 mm。随机选取各授粉组合种子150粒,取种仁,每重复1 g种仁,3次重复,采用索氏提取法测定种仁含油率<sup>[19]</sup>。

### 1.3 数据处理方法

计算每百朵雌能花种子产量=每百朵雌能花果实个数×平均每果种子数×平均单籽质量。出籽率=单果种子质量/单果质量×100%。出仁率=种仁质量/种子质量×100%。

采用Excel 2016统计数据并进行相关图表制作,用SPSS 19.0进行方差分析及主成分分析,用Duncan检验进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 各无性系花期相遇情况

由各无性系花期物候和相遇情况(表2)可知:文冠果5个无性系开花集中在4月27日至5月14日,雌能花、雄能花单花花期7 d左右,雌能花花期为14~16 d,盛花期持续6~7 d,雄能花花期为15~17 d,盛花期持续7~9 d。各无性系雌能花和雄能花盛花期相遇情况:10号、16号雌能花与119号雄能花相遇时间为5 d,与其余无性系雄能花相遇时间为6 d;14号雌能花与119号雄能花相遇时间6 d,与其余无性系雄能花相遇时间为7 d;15号雌能花与所有无性系雄能花相遇时间为6 d;119号雌能花与16号雄能花相遇时间6 d,与其余无性系雄能花相遇时间为7 d。从花期相遇情况看,5个无性系雌能花、雄能花盛花期较一致,相遇时间较长。

表2 文冠果5个无性系花期观测

Table 2 Observation of florescence meeting stage of 5 clones of *X. sorbifolium*

无性系	开花日期(月-日)																	
	04-27	04-28	04-29	04-30	05-01	05-02	05-03	05-04	05-05	05-06	05-07	05-08	05-09	05-10	05-11	05-12	05-13	05-14
10号(♀)		○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□	□		
14号(♀)	○	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□	□	
15号(♀)	○	○	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□		
16号(♀)	○	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□				
119号(♀)				○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□	□
10号(♂)	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□	
14号(♂)	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□	
15号(♂)	○	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□	
16号(♂)	○	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□	
119号(♂)	○	○	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	□	□	□

说明:○,▲,□分别表示初花期、盛花期、末花期

### 2.2 花期各阶段柱头可授性

根据开花不同天数的雌能花柱头在联苯胺-过氧化氢溶液下的反应情况,判断可授性强弱(表3)。由表3可知:5个无性系柱头可授性表现一致,雌能花花蕾初开放(-1 d)时可授性较弱,此时柱头呈绿色,黏液较少(图1A①);开花当天(0 d)及花后1 d可授性最强,此时柱头呈淡黄色,三基瓣外翻,乳突细胞体积较大,并可看到大量发亮的黏液分泌(图1A②和1A③);花后2~3 d可授性较强,此时柱头为暗黄色,乳突细胞体积较大但黏液量较少(图1A④和1A⑤);花后4~5 d可授性较弱,此时柱头开始干枯变黑,基本无黏液分泌(图1A⑥和1A⑦)。由此可知,文冠果雌能花柱头对花粉接受能力可持续4~5 d。随着开花天数增加,可授性逐渐降低,柱头干枯变黑时,可授性消失。

### 2.3 不同时期父本花粉活力

由各无性系开花不同时期花粉活力(表4)可知:5个无性系花粉活力均表现出,花蕾初开放(-1 d)和开花当天(0 d)之间无显著差异,两者均显著高于花后1 d的花粉活力。花蕾初开放时,5个无性系花粉活力为84.26%~90.25%,此时雄能花呈钟状,花瓣基部呈黄绿色,2~3个花丝伸长,花药散粉(图1B①)。开花当天5个无性系花粉活力为75.59%~89.12%,此时花瓣平展,花瓣基部为黄色,4~6个花丝伸长,花药散粉(图1B②)。花后1 d各无性系花粉活力最低,为7.91%~15.13%,此时花瓣基部变为浅

表 3 文冠果 5 个无性系开花不同时期柱头可授性

Table 3 Stigma receptivity of 5 clones of *X. sorbifolium* in different flowering stages

开花后天数/d	不同无性系柱头可授性				
	10 号	14 号	15 号	16 号	119 号
-1	+	+	+	+	+
0	+++	+++	+++	+++	+++
1	+++	+++	+++	+++	+++
2	++	+++	++	++	++
3	++	++	++	++	++
4	+	+	+	+	+
5	-	-	+	-	+

说明: “-”表示柱头不具有可授性; “+”表示柱头有可授性; “++”表示柱头可授性较强; “+++”表示柱头可授性最强

橙黄色, 花丝全部伸长, 所有花药均已散粉(图 1B③)。文冠果雄能花散粉极快, 花后 2 d 花瓣基部由橙黄逐渐变为紫红, 此时已全部散粉(图 1B④和图 1B⑤)。

表 4 文冠果 5 个无性系开花不同时期花粉活力对比

Table 4 Comparison of pollen vitality of 5 clones of *X. sorbifolium* in different flowering stages

开花后天数/d	花粉活力/%				
	10 号	14 号	15 号	16 号	119 号
-1	84.26 ± 0.82 a	85.30 ± 2.24 a	87.24 ± 2.56 a	88.82 ± 0.30 a	90.25 ± 2.27 a
0	82.77 ± 3.06 a	75.59 ± 8.92 a	80.13 ± 3.12 a	87.87 ± 1.50 a	89.12 ± 1.85 a
1	7.91 ± 2.99 b	13.25 ± 3.42 b	11.80 ± 0.60 b	13.69 ± 0.82 b	15.13 ± 0.47 b

说明: 表中数值为平均值±标准差, 不同字母表示同一无性系不同开花时期花粉活力在 0.05 水平上差异显著

## 2.4 各授粉组合受精及坐果情况

各授粉组合的受精率和最终坐果情况(图 3)表明: 以 10 号无性系为母本(图 3A), 10×16 受精率显著高于其他授粉组合, 10×16、10×119 和 10×15 显著提高了 10 号无性系最终坐果率, 与 10ck 相比, 分别提高 467.48%、328.83%和 206.74%。由图 3B 可知: 人工授粉可以显著提高 14 号无性系的受精率和最终坐果率; 与 14ck 相比, 14×16 对母本受精率提高最为显著, 14×15 对母本最终坐果率提高最为显著。以 15 号无性系为母本(图 3C), 仅 15×10、15×MP 和 15×16 提高了母本的受精率和最终坐果率; 15×14 和 15×119 最终坐果率为 0 和 1.05%, 说明 14 号、119 号无性系不适合做 15 号授粉树。以 16 号无性系为母本(图 3D), 与 16ck 相比, 仅 16×15 显著提高了母本受精率。16×MP 组合受精率为 0。最终坐果率最高的是 16ck(7.38%), 其次是 16×15(5.45%)和 16×14(4.00%)。119 号无性系为母本(图 3E)时, 各授粉组合受精率为 0~3.64%, 119×MP 对母本最终坐果率提高最为显著, 119ck、119×10、119×15 最终坐果率均为 0。因此, 10 号、14 号、15 号、16 号无性系均不适合做 119 号无性系授粉树。

## 2.5 不同授粉组合对种子产量的影响

对各无性系自然授粉、混合授粉和交互授粉中受精率、最终坐果率排名前 3 位的授粉组合子代果实进行产量计算和种实性状测定, 为便于比较, 将种子产量转换成每百朵雌能花种子产量。因 10×MP、16×MP、15×119 和 119 号无性系全部授粉组合最终结果个数为 0~4, 样本数量小, 故未进行产量计算和种实性状测定。

由不同授粉组合对种子产量的影响(图 4)可知: 10 号无性系为母本时, 10ck 产量最低(24.92 g), 10×16 产量最高(198.02 g), 是 10ck 的 7.95 倍。以 14 号无性系为母本, 产量从高到低依次为 14×15、14×MP、14×10、14×16、14ck, 分别是 14ck 产量的 20.44、18.97、12.05 和 11.36 倍。以 15 号无性系为母本, 15×MP、15×10 和 15×16 产量显著高于 15ck 产量。以 16 号无性系为母本, 产量最高的是 16×15 (110.82 g), 是 16ck(27.31 g)的 4.05 倍。可见, 人工授粉可以有效提高文冠果种子产量。

## 2.6 不同授粉组合对种实性状的影响

表 5 为各授粉组合对种实性状的影响(同 2.5, 仅对计算产量的授粉组合进行统计)。10 号无性系作母本, 10×16 在每果种子数、百粒重和种仁含油率方面均最高, 10×15 在果实大小及出仁率方面表现较

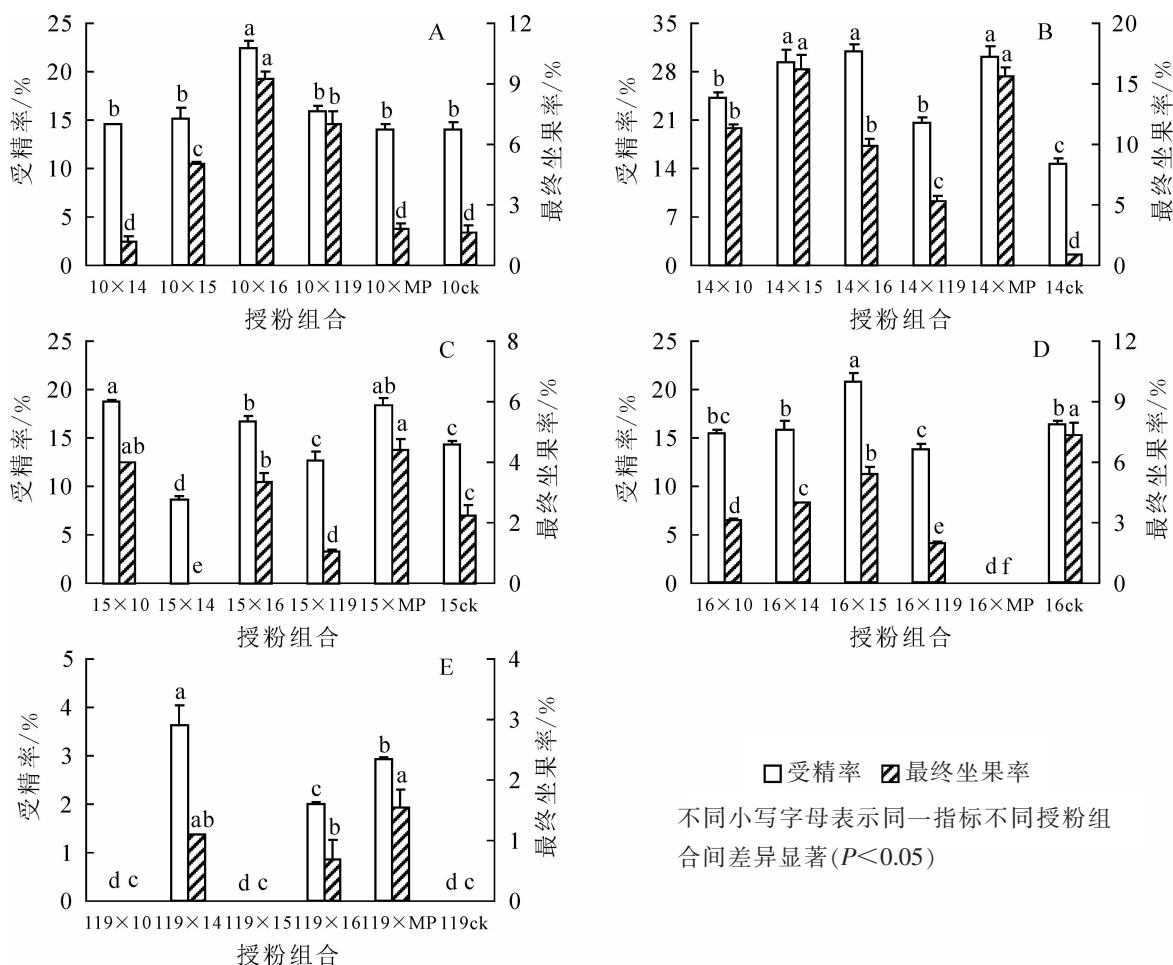


图3 文冠果5个无性系受精率和最终坐果情况

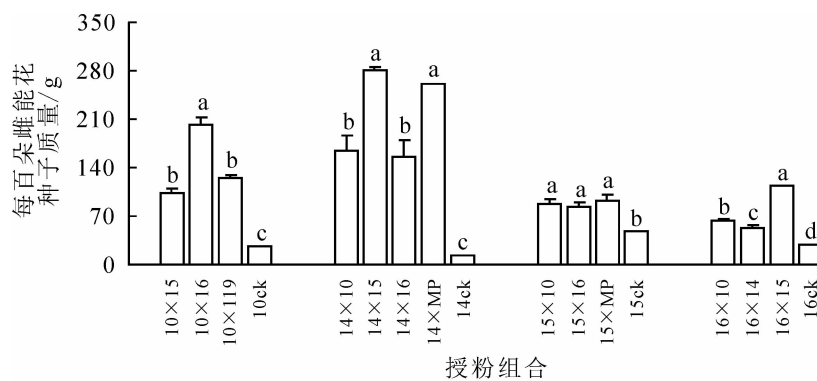
Figure 3 Fertilization rate and final fruit setting rate of 5 clones of *X. sorbifolium*不同小写字母表示同一指标不同授粉组合间差异显著( $P < 0.05$ )

图4 不同授粉组合对文冠果种子产量的影响

Figure 4 Effect of different pollination combinations on seed yield of *X. sorbifolium*

优。以14号为母本,14×16在出籽率、百粒重和出仁率较高方面优于其他授粉组合,14×MP果实横径、纵径、百粒重较小,但每果种子数最多(18.30粒)。人工授粉显著提高了15号为母本的各授粉组合的出籽率。15×MP出籽率最高(53.86%),15×10组合出仁率最高(58.20%),15×16每果种子数最高(20.36粒)。以16号为母本,各授粉组合显著增加了16号果实纵径。16×15的出籽率、百粒重、种仁含油率均最大。

## 2.7 各授粉组合综合评价

对受精率、最终坐果率、产量及表5中的种实性状指标,共14个指标进行主成分分析,得到各主成分的特征向量、特征值、贡献率及累计贡献率(表6)。其中,前4个主成分累计贡献率达81.21%,能

表 5 不同授粉组合对种实性状的影响

Table 5 Effect of different pollination combinations on fruit and seed characters

授粉组合 (♀ × ♂)	果实大小		单果质量/g	出籽率/%	每果种子数/粒	百粒重/g
	横径/mm	纵径/mm				
10×15	56.68 ± 1.30 a	48.37 ± 1.39 ab	37.18 ± 1.93 a	43.55 ± 2.07 b	18.47 ± 1.40 a	109.43 ± 0.74 b
10×16	50.84 ± 0.80 b	46.50 ± 0.10 bc	37.30 ± 0.23 a	39.87 ± 0.84 c	19.13 ± 0.76 a	111.92 ± 0.80 a
10×119	57.95 ± 1.05 a	49.18 ± 0.11 a	36.28 ± 1.09 a	50.39 ± 1.81 a	16.29 ± 0.38 b	106.68 ± 1.11 c
10ck	48.55 ± 1.42 b	45.14 ± 1.04 c	33.65 ± 1.77 a	51.10 ± 1.36 a	14.22 ± 1.02 b	108.85 ± 0.79 b
14×10	50.36 ± 0.38 b	48.75 ± 0.53 c	32.19 ± 0.33 d	48.57 ± 0.55 a	14.80 ± 0.40 b	96.45 ± 2.20 c
14×15	54.67 ± 0.71 a	54.88 ± 0.75 a	51.54 ± 1.33 a	43.77 ± 0.40 b	16.80 ± 0.10 ab	101.25 ± 0.22 ab
14×16	54.81 ± 0.50 a	56.45 ± 0.83 a	37.81 ± 1.07 c	49.93 ± 1.03 a	15.07 ± 0.55 b	102.95 ± 0.83 ab
14×MP	51.30 ± 0.83 b	51.27 ± 0.62 b	50.22 ± 0.52 a	44.02 ± 1.52 b	18.30 ± 1.54 a	89.30 ± 1.26 d
14ck	55.04 ± 0.61 a	56.31 ± 1.20 a	43.31 ± 0.62 b	47.70 ± 0.96 a	15.75 ± 0.39 b	104.52 ± 0.39 a
15×10	56.09 ± 2.07 a	56.70 ± 1.53 c	59.43 ± 0.74 a	45.90 ± 0.96 b	17.94 ± 0.82 a	120.98 ± 1.19 a
15×16	58.01 ± 1.33 a	62.69 ± 1.50 a	58.85 ± 1.84 a	52.54 ± 0.47 a	20.36 ± 0.38 a	119.85 ± 0.97 a
15×MP	56.99 ± 0.64 a	59.83 ± 0.31 b	55.07 ± 0.43 b	53.86 ± 0.92 a	17.85 ± 0.80 a	113.82 ± 1.78 b
15ck	58.57 ± 1.02 a	57.02 ± 1.28 bc	59.92 ± 2.02 a	43.75 ± 1.17 c	17.56 ± 1.78 a	121.28 ± 0.88 a
16×10	48.09 ± 0.43 a	50.45 ± 0.73 c	40.50 ± 0.77 a	42.41 ± 0.94 d	21.00 ± 0.58 a	97.05 ± 1.63 b
16×14	46.64 ± 1.01 a	53.57 ± 0.58 b	36.48 ± 0.95 c	45.35 ± 0.35 c	12.00 ± 0.25 b	105.03 ± 0.30 a
16×15	48.22 ± 0.40 a	56.95 ± 0.22 a	38.42 ± 0.31 ab	55.70 ± 0.34 a	19.20 ± 1.68 a	106.48 ± 0.73 a
16ck	47.70 ± 0.66 a	48.93 ± 0.88 d	39.81 ± 0.75 ab	48.59 ± 1.06 b	13.95 ± 0.73 b	97.88 ± 0.79 b

授粉组合 (♀ × ♂)	出仁率/%	种仁含油率/%	种子大小		
			横径/mm	纵径/mm	侧径/mm
10×15	57.39 ± 0.60 a	57.84 ± 0.74 a	13.88 ± 0.68 a	16.11 ± 1.11 a	10.56 ± 0.77 a
10×16	53.83 ± 1.64 b	59.82 ± 0.69 a	14.14 ± 1.25 a	15.43 ± 1.14 ab	11.12 ± 0.77 a
10×119	55.90 ± 0.89 ab	58.59 ± 3.36 a	13.05 ± 0.83 b	14.94 ± 0.71 bc	10.89 ± 0.57 a
10ck	56.74 ± 1.70 a	55.13 ± 3.70 a	13.57 ± 0.10 ab	14.15 ± 1.61 c	10.64 ± 0.70 a
14×10	60.25 ± 1.30 a	61.16 ± 0.88 a	13.96 ± 1.02 a	10.80 ± 0.77 a	15.08 ± 0.99 ab
14×15	54.28 ± 0.64 b	62.80 ± 1.81 a	13.99 ± 0.67 a	10.96 ± 0.80 a	15.12 ± 0.84 ab
14×16	60.21 ± 1.35 a	65.62 ± 2.17 a	14.04 ± 0.74 a	11.31 ± 0.65 a	15.14 ± 0.88 a
14×MP	58.99 ± 1.27 a	63.62 ± 1.37 a	13.58 ± 0.72 a	10.52 ± 1.20 a	14.44 ± 0.88 b
14ck	55.99 ± 0.31 b	65.68 ± 0.60 a	13.66 ± 0.72 a	11.24 ± 0.76 a	14.97 ± 1.08 ab
15×10	58.20 ± 1.80 a	59.87 ± 3.85 b	14.59 ± 1.11 a	11.93 ± 1.16 a	15.90 ± 1.26 a
15×16	54.72 ± 0.81 b	65.17 ± 1.62 a	13.66 ± 0.79 b	11.14 ± 0.79 b	15.73 ± 2.90 a
15×MP	55.37 ± 0.96 b	55.72 ± 2.07 bc	14.29 ± 1.11 ab	11.32 ± 1.25 ab	15.70 ± 1.33 a
15ck	56.68 ± 1.17 ab	52.26 ± 0.73 c	14.57 ± 1.12 a	11.75 ± 0.85 ab	16.35 ± 0.96 a
16×10	52.61 ± 1.86 c	58.38 ± 1.47 a	12.52 ± 1.06 b	14.28 ± 1.80 b	10.42 ± 1.03 a
16×14	58.71 ± 1.58 b	56.99 ± 2.76 a	13.74 ± 0.94 a	14.49 ± 0.89 b	10.92 ± 0.47 a
16×15	53.91 ± 1.69 c	58.54 ± 0.32 a	13.79 ± 1.37 a	15.67 ± 1.90 a	10.79 ± 0.83 a
16ck	66.30 ± 1.15 a	55.38 ± 0.54 a	13.71 ± 2.01 a	14.43 ± 1.09 b	10.87 ± 1.13 a

说明: 不同字母表示同一指标同一无性系在不同授粉组合间差异显著 ( $P < 0.05$ )

够有效代表各授粉组合种实性状的主要信息。其中  $F_1$  代表百粒重、种子纵径、种子侧径, 归为种子表型及质量;  $F_2$  主要反映受精率、最终坐果率及产量, 归为亲和性及产量因子;  $F_3$  代表出仁率;  $F_4$  代表出籽率。

根据因子得分的系数矩阵和方差奉献率, 得到各主成分以及综合评价函数表达式:

$$F_1 = -0.062x_1 - 0.097x_2 - 0.056x_3 + 0.154x_4 + 0.150x_5 + 0.157x_6 + 0.038x_7 + 0.074x_8 + 0.187x_9 - 0.060x_{10} + 0.127x_{11} + 0.174x_{12} + 0.170x_{13} - 0.022x_{14}$$

$$F_2 = 0.272x_1 + 0.252x_2 + 0.278x_3 + 0.088x_4 + 0.073x_5 + 0.096x_6 - 0.068x_7 + 0.090x_8 - 0.066x_9 + 0.033x_{10} + 0.087x_{11} + 0.066x_{12} + 0.032x_{13} + 0.191x_{14}$$

表6 5个主成分的特征向量、特征值、贡献率及累计贡献率

Table 6 Eigenvector, eigenvalue, variance contribution and cumulative contribution of 5 principal components

评价指标	主成分				评价指标	主成分			
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$		$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
受精率( $x_1$ )	-0.298	0.893	0.193	0.109	出仁率( $x_{10}$ )	-0.287	-0.109	0.818	0.075
最终坐果率( $x_2$ )	-0.465	0.826	0.179	-0.101	种子横径( $x_{11}$ )	0.610	0.284	0.610	-0.249
产量( $x_3$ )	-0.269	0.912	-0.069	-0.179	种子纵径( $x_{12}$ )	0.834	0.216	0.000	-0.216
果实横径( $x_4$ )	0.737	0.290	-0.066	0.016	种子侧径( $x_{13}$ )	0.814	0.105	0.410	-0.033
果实纵径( $x_5$ )	0.718	0.241	-0.026	0.537	种仁含油率( $x_{14}$ )	-0.107	0.627	-0.154	0.503
单果质量( $x_6$ )	0.756	0.314	-0.041	0.023	特征值	4.798	3.280	1.924	1.367
出籽率( $x_7$ )	0.183	-0.222	0.100	0.783	方差贡献率/%	34.270	23.431	13.744	9.764
每果种子数( $x_8$ )	0.354	0.296	-0.775	-0.131	累计贡献率/%	34.270	57.701	71.445	81.209
百粒重( $x_9$ )	0.899	-0.217	-0.011	-0.155					

$$F_3=0.100x_1+0.093x_2-0.036x_3-0.034x_4-0.014x_5-0.021x_6+0.052x_7-0.403x_8-0.006x_9+0.425x_{10}+0.317x_{11}+0.001x_{12}+0.213x_{13}-0.080x_{14}$$

$$F_4=0.080x_1-0.074x_2-0.131x_3+0.012x_4+0.393x_5+0.017x_6+0.537x_7-0.096x_8-0.113x_9+0.055x_{10}-0.182x_{11}-0.158x_{12}-0.024x_{13}+0.368x_{14}$$

同时,分别以  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  对应的方差贡献率作为权数,得到各授粉组合种实性状综合得分。由表7可知:以10号无性系为母本,10ck的  $F_1$  值最高,说明自然授粉种子表型及质量较大。10×16的  $F_2$  值最高,说明该组合父本母本亲和性较强,提高母本产量幅度最高。总得分最高的是10×119(34.112),其次为10×16(33.577)。以14号无性系为母本,14ck的  $F_1$  值最高,说明自然授粉种子表型及质量较大。亲和性及产量因子和总得分均以14×15最高。15号无性系为母本时,10ck的  $F_1$  值最高,说明自然授粉种子表型及质量较大。15×16的  $F_4$  值及总得分最高。以16号无性系为母本,  $F_2$  值及总得分最高的组合均为16×15。

表7 不同授粉组合综合得分

Table 7 Comprehensive scores of different pollination combinations

授粉组合 (♀×♂)	各主成分得分				总得分	授粉组合 (♀×♂)	各主成分得分				总得分
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$			$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	
10×15	39.862	48.686	16.725	38.505	31.125	15×10	47.584	47.699	16.750	44.503	34.129
10×16	33.004	78.851	11.480	22.682	33.577	15×16	49.259	46.876	13.534	53.073	34.904
10×119	33.755	76.167	12.655	30.317	34.112	15×MP	46.277	47.853	16.023	48.908	34.047
10ck	41.879	23.667	20.215	50.608	27.615	15ck	51.030	34.292	17.366	45.242	32.325
14×10	31.151	69.614	15.486	35.941	32.623	16×10	39.217	38.728	13.443	44.758	28.730
14×15	29.459	106.839	10.593	21.173	38.651	16×14	40.341	33.452	21.039	48.666	29.305
14×16	34.967	70.229	18.193	42.954	35.132	16×15	39.191	52.926	14.818	47.631	32.517
14×MP	26.656	101.490	12.703	24.493	37.051	16ck	39.752	27.880	25.091	52.072	28.687
14ck	45.963	25.558	18.264	58.945	30.004						

### 3 讨论与结论

筛选最佳授粉组合的前提是父本雄能花盛花期与母本雌能花盛花期相遇时间较长,以保证充分授粉受精<sup>[20]</sup>。本研究中,文冠果5个无性系雌能花、雄能花盛花期相遇时间较长(5~7 d),符合授粉树配置花期一致要求。花粉活力直接影响果树授粉、受精及坐果<sup>[21]</sup>。本研究发现:5个文冠果无性系的雄能花初开放及开花当天花粉活力为75.59%~90.25%,即各无性系均适宜作为授粉无性系。柱头的可授性受花期的长短、开花后的时间以及柱头分泌物等因素影响<sup>[22]</sup>。如油茶 *Camellia oleifera*<sup>[23]</sup>开花1~5 d可授性较强,膏桐 *Jatropha curcas*<sup>[24]</sup>雌花柱头花后1~4 d可授性最强。本研究发现:各无性系柱头可授性在开花当天及花后1 d较强,且持续4~5 d,因此,各无性系可作为授粉母树。



自交不亲和或自交结实率低的树种, 如亚洲李 *Prunus salicina*、富士苹果 *Malus domestica* ‘Fuji’ 等, 可以通过授亲和性较强的花粉提高坐果率及产量<sup>[25-26]</sup>。文冠果自交不亲和, 自然坐果率较低, 只有 0.3%~5.1%<sup>[27-28]</sup>。本研究中, 10 号、14 号、15 号和 119 号无性系自然授粉最终坐果率为 0~2.23%, 16 号无性系自然授粉最终坐果率为 7.38%。在花粉活力正常的情况下, 不同父本对母本的坐果率影响较大, 说明两者亲和力越高, 受精率越高, 最终坐果率也越高。14×119 组合受精率为 20.49%, 最终坐果率为 5.33%, 而 14×15 组合受精率 29.43%, 最终坐果率为 16.14%。由此可见, 只有父本、母本亲和性强时, 才能提高坐果率, 这与刘国彬等<sup>[29]</sup>在板栗 *Castanea mollissima* 上的研究一致。产量方面, 10 号、14 号、15 号和 16 号无性系均表现出自然授粉显著低于交互授粉中亲和性强的各组合产量, 如以 14 号为母本的授粉组合中, 各组合最终坐果率均显著高于 14ck 最终坐果率, 而且, 产量是 14ck 产量的 11.36~20.44 倍。由此可见, 最佳授粉组合筛选可以提高文冠果坐果率及产量。因此, 在生产中进行科学的授粉树配置是提高文冠果坐果率及产量的关键。

此外, 本研究所选优良无性系均来源于结实率、产量较高的母树, 但 119 号无性系所有授粉组合坐果情况均较差, 这说明树木的生长结实表现除了受自身遗传因素影响, 还受到环境因素的作用。该无性系原株生长的立地条件、周围授粉树的配置与嫁接苗圃里这些因素的差异都会影响到其表现。因此, 生产实践中对所选高产种质资源无性系推广时, 还应考虑环境因素, 即授粉树的配置对坐果及结实性状的影响。文冠果成功授粉还受到多方面的影响, 因此, 今后需要对传粉媒介、授粉效率及促进措施、授粉最佳气候条件、授粉后相应的配套管理技术进一步研究。

综上所述, 本研究根据各授粉组合综合评价认为: 以 10 号无性系为母本, 综合评价总得分最高的是 10×119(34.112), 但亲和性及产量因子得分最高的是 10×16(33.577), 因此, 16 号和 119 号无性系均可作为 10 号无性系授粉树。综合考虑亲和性及产量因子得分和综合评价总得分, 14 号、15 号和 16 号无性系的最佳授粉组合分别是 14×15, 15×16 和 16×15。

#### 4 参考文献

- [1] 敖妍, 段劫, 于海燕, 等. 文冠果研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 197 - 203.  
AO Yan, DUAN Jie, YU Haiyan, et al. Research progress on *Xanthoceras sorbifolia* Bunge [J]. *J China Agric Univ*, 2012, 17(6): 197 - 203.
- [2] 张毅, 敖妍, 刘觉非, 等. 不同群体文冠果种实性状变异特性[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(5): 1037 - 1043.  
ZHANG Yi, AO Yan, LIU Juefei, et al. Variable fruit and seed characteristics of *Xanthoceras sorbifolia* in different populations [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2019, 36(5): 1037 - 1043.
- [3] 吴丽清, 郑战伟, 付凤奇, 等. 文冠果营养成分分析及食用价值研究[J]. 农产品加工(学刊), 2010(11): 93 - 95.  
WU Liqing, ZHENG Zhanwei, FU Fengqi, et al. Nutrients analysis and edible value of *Sorbifolia* [J]. *Acad Period Farm Prod Proc*, 2010(11): 93 - 95.
- [4] 张文霞, 包文芳. 文冠木化学成分的研究[J]. 药学学报, 2000, 35(2): 124 - 127.  
ZHANG Wenxia, BAO Wenfang. Studies on the chemical constituents of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge [J]. *Acta Pharm Sin*, 2000, 35(2): 124 - 127.
- [5] YANG Chunyan, HA Wei, LIN Yong, et al. Polyphenols isolated from *Xanthoceras sorbifolia* husks and their anti-tumor and radical-scavenging activities [J]. *Molecules*, 2016, 21(12): 1694.
- [6] 周庆源, 郑元润, 来利明, 等. 文冠果有性生殖特征的观察研究[J]. 西北植物学报, 2017, 37(1): 14 - 22.  
ZHOU Qingyuan, ZHENG Yuanrun, LAI Liming, et al. Observations on sexual reproduction in *Xanthoceras sorbifolium* (Sapindaceae) [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2017, 37(1): 14 - 22.
- [7] 戚建华, 姚增玉. 文冠果的生殖生物学与良种繁育研究进展[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(3): 91 - 96.  
QI Jianhua, YAO Zengyu. Review on reproductive biology, propagation and breeding of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. *J Northwest For Univ*, 2012, 27(3): 91 - 96.
- [8] 周庆源, 傅德志. 文冠果生殖生物学的初步研究[J]. 林业科学, 2010, 46(1): 158 - 162.

- ZHOU Qingyuan, FU Dezhi. Preliminary studies on the reproductive biology of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46**(1): 158 – 162.
- [9] 杨先裕, 袁紫倩, 凌骅, 等. 薄壳山核桃 ‘Mahan’ 授粉品种选择及其结实性状分析[J]. 果树学报, 2014, **31**(5): 776 – 783.
- YANG Xianyu, YUAN Ziqian, LING Hua, *et al.* Choice of pollination varieties and the fructification analysis of *Carya illinoensis* of ‘Mahan’ [J]. *J Fruit Sci*, 2014, **31**(5): 776 – 783.
- [10] 安晓芹, 廖康, 孙慧瑛, 等. 不同品种授粉对 ‘轮台白杏’ 坐果及果实品质的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(2): 187 – 193.
- AN Xiaoqin, LIAO Kang, SUN Huiying, *et al.* Effect of different cultivars pollinating on fruit setting and fruit quality of *Armeniaca vulgaris* ‘Luntaibaixing’ [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2013, **30**(2): 187 – 193.
- [11] 曼苏尔·那斯尔, 杜润清, 陈湘颖, 等. 新疆梨品种与库尔勒香梨授粉亲和性及花粉直感[J]. 果树学报, 2019, **36**(4): 447 – 457.
- Mansur Nasir, DU Runqing, CHEN Xiangying, *et al.* Pollination compatibility and pollen xenia of Xinjiang pear cultivars with ‘Korlaxiangi’ pear [J]. *J Fruit Sci*, 2019, **36**(4): 447 – 457.
- [12] 敖妍. 木本能源植物文冠果类型划分、单株选择及相关研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- AO Yan. *Type Classification, Individual Selection and Relevant Studies on Woody Energy Plant Xanthoceras sorbifolia Bunge* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2010.
- [13] 柴春山, 戚建莉, 薛睿, 等. 甘肃省文冠果优良单株的选择及其性状特征[J]. 经济林研究, 2017, **35**(4): 22 – 28.
- CHAI Chunshan, QI Jianli, XUE Rui, *et al.* Fine individual selection and its morphological characteristics in *Xanthoceras sorbifolia* in Gansu Province [J]. *Nonwood For Res*, 2017, **35**(4): 22 – 28.
- [14] 马利苹, 王力华, 阴黎明, 等. 乌丹地区文冠果生物学特性及物候观测[J]. 应用生态学报, 2008, **19**(12): 2583 – 2587.
- MA Liping, WANG Lihua, YIN Liming, *et al.* Biology and phenology of *Xanthoceras sorbifolia* in Wudan area [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, **19**(12): 2583 – 2587.
- [15] 敖妍, 张宁, 赵磊磊, 等. 不同分布区文冠果物候期的差异及其与地理-气候因子和结实性状的相关性[J]. 植物资源与环境学报, 2017, **26**(2): 27 – 34.
- AO Yan, ZHANG Ning, ZHAO Leilei, *et al.* Differences in phenophases of *Xanthoceras sorbifolium* in different distribution areas and correlation of them with geographical-climatic factors and fruiting characters [J]. *J Plant Res Environ*, 2017, **26**(2): 27 – 34.
- [16] 严婷. 文冠果优良单株开花结实生物学特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- YAN Ting. *Research about the Flowering and Fruit Setting Biological Characteristics of Superior Individual Plant of Xanthoceras sorbifolia* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [17] 彭伟秀, 李凤兰, 杨文利. 文冠果不同类型花粉生活力测定及比较[J]. 河北林果研究, 1999, **14**(1): 51 – 53.
- PENG Weixiu, LI Fenglan, YANG Wenli. Pollen vitality determination and comparison of various types of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. *Hebei J For Orchard Res*, 1999, **14**(1): 51 – 53.
- [18] 盛德策, 丰庆荣, 李凤兰, 等. 文冠果授粉习性和果实发育规律的研究[J]. 辽宁林业科技, 2010(4): 1 – 4, 58.
- SHENG Dece, FENG Qingrong, LI Fenglan, *et al.* Pollination characteristics and fruit developing law of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. *J Liaoning For Sci Technol*, 2010(4): 1 – 4, 58.
- [19] 牟洪香, 侯新村, 刘巧哲. 不同地区文冠果种仁油脂脂肪酸组分及含量的变化规律[J]. 林业科学研究, 2007, **20**(2): 193 – 197.
- MOU Hongxiang, HOU Xincun, LIU Qiaozhe. The regularity of fatty acid component and contents changes in the seed kernel oil of *Xanthoceras sorbifolia* in different areas [J]. *For Res*, 2007, **20**(2): 193 – 197.
- [20] 范邦文, 罗舜炯. 板栗授粉品种组合测交研究[J]. 江西农业大学学报, 1993, **15**(4): 371 – 375.
- FAN Bangwen, LUO Shunjiong. A study on the percentages of fertile fruit of different cross combination of chestnut varieties [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 1993, **15**(4): 371 – 375.

- [21] 彭晓莉, 廖康, 贾杨, 等. 9 个新疆杏品种间杂交亲和性研究[J]. 果树学报, 2015, **32**(2): 192 – 199.  
PENG Xiaoli, LIAO Kang, JIA Yang, *et al.* Study on the cross compatibility among 9 apricot cultivars in Xinjiang [J]. *J Fruit Sci*, 2015, **32**(2): 192 – 199.
- [22] 阮丽丽, 高亦珂, 刘玮, 等. 糖果鸾尾花粉活力和柱头可授性研究[J]. 西北农业学报, 2017, **26**(9): 1379 – 1384.  
RUAN Lili, GAO Yike, LIU Wei, *et al.* Study on pollen viability and stigma receptivity of *Pardancanda norrisii* [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 2017, **26**(9): 1379 – 1384.
- [23] 王湘南, 陈永忠, 王瑞, 等. 油茶花粉活力及柱头可授性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, **32**(3): 17 – 22.  
WANG Xiangnan, CHEN Yongzhong, WANG Rui, *et al.* Pollen viability and chapter receptivity of *Camellia oleifera* [J]. *J Cent South Univ For Technol*, 2012, **32**(3): 17 – 22.
- [24] 罗长维, 李昆, 陈友, 等. 膏桐花粉活力与柱头可授性及其生殖特性研究[J]. 西北植物学报, 2007, **27**(10): 1994 – 2001.  
LUO Changwei, LI Kun, CHEN You, *et al.* Pollen viability, stigma receptivity and reproductive features of *Jatropha curcas* L.(Euphorbiaceae) [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2007, **27**(10): 1994 – 2001.
- [25] 陈菲菲. 授粉品种对富士苹果种子发育与果实品质形成的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.  
CHEN Feifei. *The Effect on Development of Fuji Apple Seed and Fruit Quality for Mation with Pollination Cultivar* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015.
- [26] KWON J H, JUN J H, NAM E Y, *et al.* Selection of a suitable pollinizer for ‘Summer Fantasia’ plum [J]. *HortScience*, 2017, **52**(9): 1182 – 1187.
- [27] 敖妍. 赤峰地区文冠果开花坐果性状[J]. 东北林业大学学报, 2017, **45**(3): 48 – 50.  
AO Yan. Flowering and fruit setting characters of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge in Chifeng [J]. *J Northeast For Univ*, 2017, **45**(3): 48 – 50.
- [28] 常月梅. 文冠果优系产量性状分析与筛选[J]. 山西林业科技, 2018, **47**(2): 1 – 4.  
CHANG Yuemei. Yield traits analysis and screening of *Xanthoceras sorbifolia* superior lines [J]. *Shanxi For Sci Technol*, 2018, **47**(2): 1 – 4.
- [29] 刘国彬, 兰彦平, 姚研武, 等. 板栗结实特性研究[J]. 浙江农业学报, 2011, **23**(2): 288 – 291.  
LIU Guobin, LAN Yanping, YAO Yanwu, *et al.* Fruiting characteristics of *Castanea mollissima* [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2011, **23**(2): 288 – 291.