

锥栗花粉直感效应研究

张旭辉, 袁德义*, 邹 锋, 范晓明, 唐 静, 朱周俊

(中南林业科技大学经济林育种与栽培国家林业局重点实验室, 经济林培育与保护教育部重点实验室, 长沙 410004)

摘 要: 为研究锥栗花粉直感效应, 选用‘华栗 1 号’、‘华栗 2 号’、‘华栗 3 号’和‘黄榛’4 个品种为试材, 进行自交、异交授粉试验, 以自然授粉作为对照, 共 20 个授粉组合, 分析不同授粉组合的果实成熟期、结实率及果实品质等, 结果表明: 锥栗在果实成熟期、坐果率、结实率、果实大小、可溶性糖、脂肪、蛋白质、直链淀粉和维生素 C 等方面表现明显的花粉直感效应, 而在出籽率、总淀粉含量和含水量等方面无明显花粉直感效应; 通过平均隶属函数法分析 20 个授粉组合, ‘华栗 2 号’×‘华栗 3 号’得分最高, ‘黄榛’自交得分最低。因此, ‘华栗 2 号’×‘华栗 3 号’为首选授粉组合。

关键词: 锥栗; 授粉; 坐果率; 花粉直感; 平均隶属度法

中图分类号: S 664.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2016) 01-0061-10

Studies on the Pollen Xenia of *Castanea henryi*

ZHANG Xu-hui, YUAN De-yi*, ZOU Feng, FAN Xiao-ming, TANG Jing, and ZHU Zhou-jun

(Key Laboratory of Non-Wood Forest Product of State Forestry Administration, Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-Wood Forest Trees of Ministry of Education, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: The pollen xenia phenomenon not only affects the setting rate but also influences the appearance and quality of nuts. To elucidate this phenomenon, we investigated the pollen xenia effect in *Castanea henryi*, using the cultivars Huali 1, Huali 2, Huali 3 and Huangzhen as materials. Twenty combinations of self-, cross-, and natural pollination were undertaken in a Chenzhou chestnut orchard of Hunan Province. The results revealed that there were significant difference among the pollination combinations in terms of fruit ripening, fruit setting, size of the barbed shell and nut, soluble sugars, fats, proteins, amylose, and vitamin C, but that there were no significant differences with regard to seed rate, total starch, and moisture content. The fruit quality of the 20 pollination combinations was evaluated by subordinate function method of fruit, showed that Huali 2 × Huali 3 is the best combination, and Huangzhen × Huangzhen is the last one. Thus, the combination of Huali 2 × Huali 3 was the best choice.

Key words: *Castanea henryi*; pollination; fruit-setting rate; pollen xenia; subordinate function method

花粉直感是父本花粉对种子和果实的直感效应 (Denny, 1992)。异花授粉植物的花粉直感效应不仅影响母本的坐果率, 而且影响其果实的形状、成熟期、大小、颜色、风味及内在成分等综合品

收稿日期: 2015-09-30; 修回日期: 2016-01-12

基金项目: 国家‘十二五’科技支撑计划课题 (2013BAD14B04)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: yuandeyi@126.com)

质 (Alexander et al., 2012)。近年来利用花粉直感效应改善果实品质的研究在扁桃、苹果、荔枝、葡萄、板栗、梨、猕猴桃、罗汉果和山核桃等几十种园艺植物上均有报道 (Kumar & Das, 1996; 邱燕萍 等, 2006; 沙海峰 等, 2006; 王正加 等, 2010; Wang et al., 2012)。但在锥栗 (*Castanea henryi* Rehd. et Wils.) 上国内外尚未见报道。本研究中以锥栗的 4 个品种为试材, 通过自交和异交不同组合田间授粉试验, 阐明不同父本授粉结实的影响和不同授粉组合间的花粉直感差异, 旨在为锥栗品种配置和优质高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2013—2014 年在湖南省郴州市汝城县南方锥栗中南林业科技大学试验基地 (25°33'43"N, 113°45'08"E) 进行。试验地海拔 765 m, 亚热带季风湿润气候, 年降水量 1 547.1 mm, 年均温 16.6 °C。

供试材料为锥栗 (*Castanea henryi* Rehd. et Wils.) 品种 ‘华栗 1 号’ (代号 H1)、‘华栗 2 号’ (代号 H2)、‘华栗 3 号’ (代号 H3) 和 ‘黄榛’ (代号 H)。以 4 个品种设计自交、异交及自然授粉, 共 20 个授粉组合, 所选 8 年生树管理良好、树势中庸、长势相近。

试验采用完全随机设计, 各品种 45 株作为母本, 每 3 株为一个小区, 重复 3 次。具体的授粉方法为: 在雌花开花前, 根据上述授粉组合, 选择树冠各个方向上、中、下生长健壮的结果枝去雄套袋, 分别挂牌标记, 每株套袋约 50 个。在雄花盛开时, 采集各锥栗品种的花粉, 储存备用。待雌花柱头开张角度达到 30°~45°时授粉, 并套袋挂牌标记, 同时选择自然授粉的花朵挂牌作为对照。

1.2 测定分析方法

于 8 月底至 9 月果实成熟时调查统计不同授粉组合果实成熟期, 试验从刺苞开裂数量为 30% 时开始统计, 达 90% 时停止, 并采集样品, 统计各个组合的坐苞率、结实率、出籽率, 计算公式如下: 坐苞率 (%) = (坐苞数/授粉数) × 100; 结实率 (%) = (结实数/授粉数) × 100; 出籽率 (%) = (坚果平均质量/刺苞平均质量) × 100; 空苞率 = 坐苞率 - 结实率。

果实质量的测定是将采集的样品分别称每个刺苞以及刺苞中的坚果质量, 后取其平均值; 用游标卡尺直接度量刺苞及坚果横径, 取其平均值作为横径; 纵径的测量是用游标卡尺直接测量刺苞及坚果基部至尖处。

70 °C 烘干种仁后粉碎保存, 可溶性糖的测定采用蒽酮比色法 (陈佳佳, 2010), 直链淀粉的测定采用双波长法 (陈炫 等, 2012), 总淀粉的测定采用蒽酮比色法 (梁丽松 等, 2009), 粗脂肪的测定采用索氏抽提法 (王广鹏 等, 2008), 蛋白质的测定采用凯氏定氮法 (鲍士旦, 2005), 维生素 C 的测定采用二氯靛酚比色法 (全月澳, 1982)。

所有数据均为小区平均数, 采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 花粉直感对果实成熟期的影响

锥栗采用不同父本授粉, 其果实成熟期会受到一定影响。在自然状态下, 4 个供试品种中 ‘华

栗 1 号’为早熟品种, ‘华栗 2 号’和 ‘黄榛’为中熟品种, ‘华栗 3 号’为晚熟品种。在控制授粉情况下, 不同父本对母本成熟期影响明显, 从表 1 可以看出, ‘华栗 2 号’对 ‘华栗 1 号’授粉、‘华栗 1 号’对 ‘华栗 2 号’和 ‘华栗 3 号’授粉均提前了母本的成熟期约 2~3 d; 相反, ‘华栗 3 号’对 ‘华栗 1 号’、‘黄榛’对 ‘华栗 2 号’、‘华栗 2 号’对 ‘华栗 3 号’授粉均延迟了母本的成熟期约 4~5 d, 这与父本品种成熟期趋势一致。但 ‘黄榛’为母本的授粉组合中, ‘华栗 3 号’授粉成熟最早, ‘华栗 1 号’授粉成熟最晚, 其成熟期与父本品种成熟期趋势不一致。由此可以看出, 不同组合成熟期与父本有关系, 对于大部分品种来说, 成熟期早的品种作为父本给成熟期晚的品种授粉, 能在一定程度上提前成熟期。

表 1 花粉直感对刺苞开裂时间的影响
Table 1 Effect of xenia on bur cracking time

♀	♂	8 月 August				9 月 September																									
		28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
H1	CK			★	★	★	★	★	★																						
	H1			★	★	★	★	★																							
	H2	★	★	★	★	★	★																								
	H3							★	★	★	★	★	★																		
	H				★	★	★	★	★	★																					
H2	CK													★	★	★	★	★	★	★	★	★									
	H2														★	★	★	★	★	★	★										
	H1												★	★	★	★	★	★													
	H3													★	★	★	★	★	★	★											
	H																	★	★	★	★	★	★	★							
H3	CK																						★	★	★	★	★	★	★		
	H3																														
	H1																		★	★	★	★	★	★	★	★					
	H2																			★	★	★	★			★	★	★	★	★	★
	H																						★	★	★	★	★				
H	CK																	★	★	★	★	★	★	★	★						
	H																		★	★	★	★	★	★	★						
	H1																			★	★	★	★	★	★	★	★				
	H2																			★	★	★	★	★	★						
	H3													★	★	★	★	★	★	★	★	★									

注: H1: 华栗 1 号; H2: 华栗 2 号; H3: 华栗 3 号; H: 黄榛; CK: 自然授粉。
Note: H1: Huali 1; H2: Huali 2; H3: Huali 3; H: Huangzhen; CK: Natural pollination.

2.2 花粉直感对坐果结实的影响

从图 1 可以看出, 异花授粉可提高母本的坐苞率。与自然授粉对比, ‘华栗 1 号’、‘华栗 3 号’、‘黄榛’的授粉组合都提高了坐苞率, 其中, 母本为 ‘黄榛’ 的授粉组合对坐苞率的提升最为显著, 母本为 ‘华栗 3 号’ 的授粉组合对其坐苞率的提升不显著, 其他品种的授粉组合中, ‘华栗 2 号’ 和 ‘黄榛’ 授粉显著增加了 ‘华栗 1 号’ 的坐苞率, ‘华栗 3 号’ 授粉显著增加了 ‘华栗 2 号’ 的坐苞率; 与自花授粉比较, 母本为 ‘华栗 2 号’ 和 ‘黄榛’ 的异花授粉组合对坐苞率的提升较为显著; 所有授粉组合中, ‘黄榛’ 给 ‘华栗 1 号’ 授粉坐苞率最大, 达 83.33%, ‘华栗 3 号’ 给 ‘华栗 2 号’ 授粉相对于自交的坐苞率提升最为显著, 提升了 64.21%。

不同父本授粉对锥栗结实影响也非常明显。各授粉组合相对于自交均显著提高了各个品种的结实率, 其中 ‘华栗 3 号’ 给 ‘黄榛’ 授粉的结实率最高, 达 80%。相对于自然授粉, 除授粉组合 (‘华栗 2 号’ × ‘华栗 1 号’) 外, 其他授粉组合均提高了各个品种的结实率, 母本为 ‘黄榛’ 的授粉组

合对结实率的提升最为显著,其他品种的授粉组合中,‘华栗2号’授粉显著增加了‘华栗1号’的结实率,‘华栗3号’授粉显著增加了‘华栗2号’的结实率。锥栗不同品种授粉结实率与坐苞率趋势较为一致。

锥栗各个品种自交结实率普遍较低。4个试验品种自交结实率都低于30.00%,且‘华栗3号’<‘黄榛’<‘华栗2号’<‘华栗1号’。‘华栗1号’、‘华栗2号’、‘华栗3号’和‘黄榛’的自交结实率分别为27.50%、12.43%、2.00%和10.00%。

结实率与空苞率成反向相关,结实率高就空苞少。各个授粉组合出籽率相对于自然授粉有差异,但均不显著。

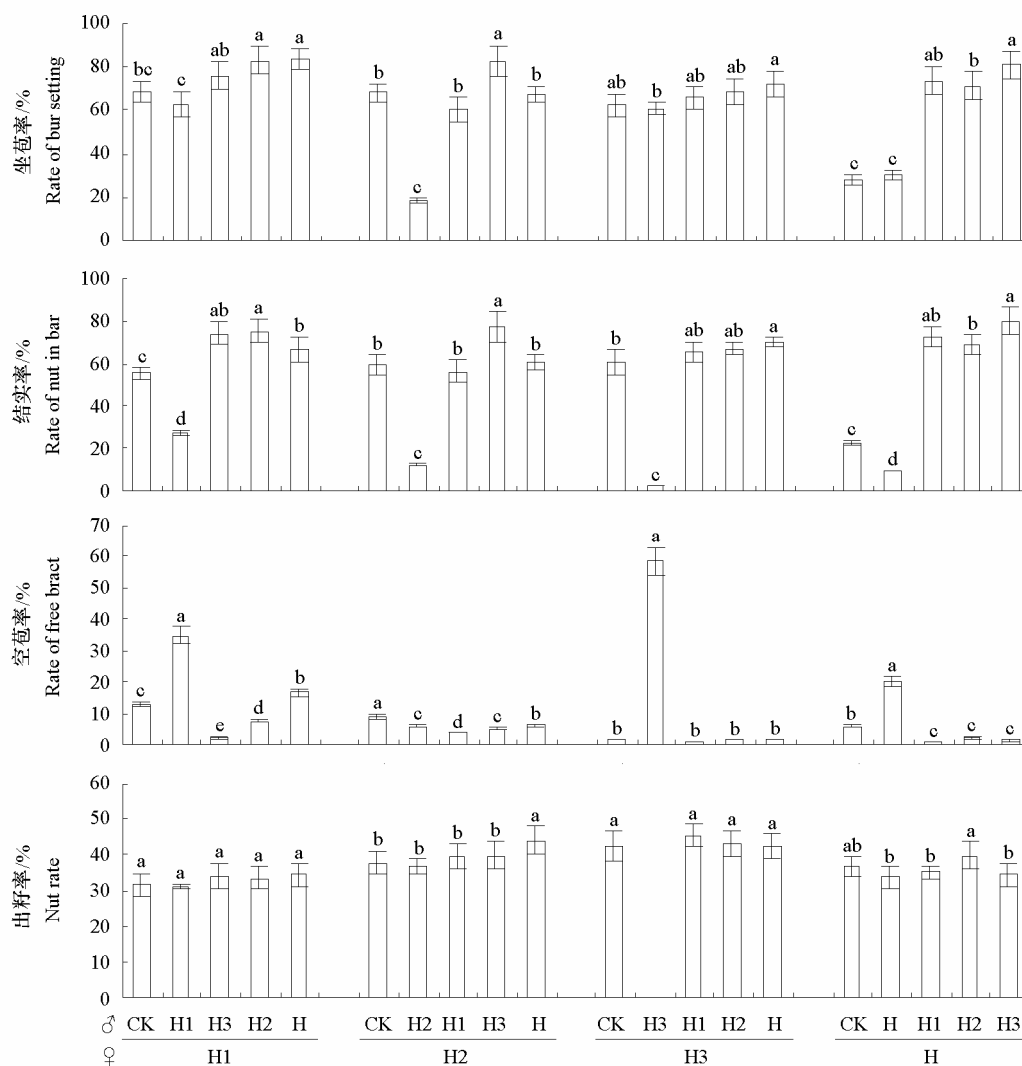


图1 不同授粉组合的坐苞率、结实率、空苞率及出籽率

H1: 华栗1号; H2: 华栗2号; H3: 华栗3号; H: 黄榛; CK: 自然授粉。下同。

Fig. 1 Rate of bur setting, nut in bar, free bract and nut rate of different combination

H1: Huali 1; H2: Huali 2; H3: Huali 3; H: Huangzhen; CK: Natural pollination. The same below.

2.3 花粉直感对果实表型性状的影响

不同父本授粉对锥栗坚果的表型性状有显著影响。由表2可知,在自然状态下,4个品种单果

质量为：‘华栗 1 号’ > ‘黄榛’ > ‘华栗 3 号’ > ‘华栗 2 号’。在控制授粉状态下，以 ‘华栗 1 号’ 及 ‘黄榛’ 为父本授粉均增大了单果质量，其中，‘华栗 1 号’ 授粉对 ‘黄榛’ 的提升效果最显著，单果质量达 13.53 g，相对自然授粉增大了 3.32 g，同时 ‘华栗 2 号’ 授粉 ‘华栗 3 号’ 和 ‘黄榛’ 的单果质量下降，这与父本单果质量大小趋势一致；但是 ‘华栗 2 号’ 授粉 ‘华栗 1 号’ 的单果质量增加，这与父本单果质量大小趋势相反。果实纵横径趋势与单果质量趋势一致。

不同父本授粉对锥栗果实果皮色泽有一定影响，参照《板栗种质资源描述规范和数据标准》（刘庆忠，2006）对各个品种进行评价如下：‘华栗 1 号’ 及 ‘华栗 3 号’ 为红褐色，‘华栗 2 号’ 为紫褐色，‘黄榛’ 为黄褐色（图 2）；颜色深度为 ‘华栗 2 号’ > ‘华栗 1 号’ = ‘华栗 3 号’ > ‘黄榛’；‘黄榛’ 为 ‘华栗 1 号’ 和 ‘华栗 2 号’ 授粉，其果皮颜色相对于自然授粉均较浅，‘华栗 2 号’ 及 ‘华栗 3 号’ 授粉均加深了 ‘黄榛’ 的果皮颜色，这与父本颜色深浅一致；相反，‘华栗 2 号’ 为 ‘华栗 3 号’ 授粉，其果皮颜色变浅，这与父本果皮颜色相反。

以上结果表明锥栗在坚果纵横径、单果质量及果皮色泽上均表现出花粉直感效应。

表 2 不同品种授粉对坚果表型性状的影响
Table 2 Effects of different pollen source on phenotypic character of fruit

母本 Female	父本 Male	单果质量/g Nut size	纵径/mm Longitudinal diameter	横径/mm Transverse diameter	母本 Female	父本 Male	单果质量/g Nut size	纵径/mm Longitudinal diameter	横径/mm Transverse diameter
H1	CK	10.25 ± 0.93 b	29.11 ± 1.69 c	25.06 ± 0.73 b	H3	CK	8.37 ± 0.79 ab	24.65 ± 1.49 c	22.72 ± 1.75 ab
	H2	13.19 ± 1.17 a	32.68 ± 1.27 a	27.09 ± 1.13 a		H1	9.91 ± 0.97 a	26.47 ± 1.05 a	23.95 ± 0.83 a
	H3	10.49 ± 0.86 b	30.68 ± 1.61 b	24.95 ± 1.70 b		H2	7.99 ± 0.29 b	25.11 ± 1.58 bc	22.85 ± 1.56 ab
	H	12.52 ± 0.59 a	31.68 ± 1.36 ab	25.56 ± 1.19 b		H	9.64 ± 0.81 ab	26.24 ± 1.28 ab	22.36 ± 1.84 b
H2	CK	7.23 ± 0.73 c	23.11 ± 1.27 b	21.75 ± 0.96 c	H	CK	10.21 ± 1.06 b	27.39 ± 2.38 b	26.26 ± 1.76 ab
	H1	9.26 ± 0.83 a	25.03 ± 0.97 a	23.68 ± 1.30 a		H1	13.53 ± 1.01 a	30.52 ± 1.65 a	27.41 ± 1.20 a
	H3	8.67 ± 0.69 ab	25.50 ± 1.34 a	23.38 ± 1.55 ab		H2	10.02 ± 0.71 b	27.86 ± 1.33 b	24.25 ± 1.39 c
	H	7.64 ± 0.92 b	23.33 ± 1.65 b	22.30 ± 1.40 bc		H3	11.20 ± 0.86 b	28.30 ± 1.57 b	25.75 ± 1.89 b

注：不同小写字母表示差异达到显著水平（ $P=0.05$ ）。下同。
Note: The different lowercase expresses significant difference at $P=0.05$ level. The same below.

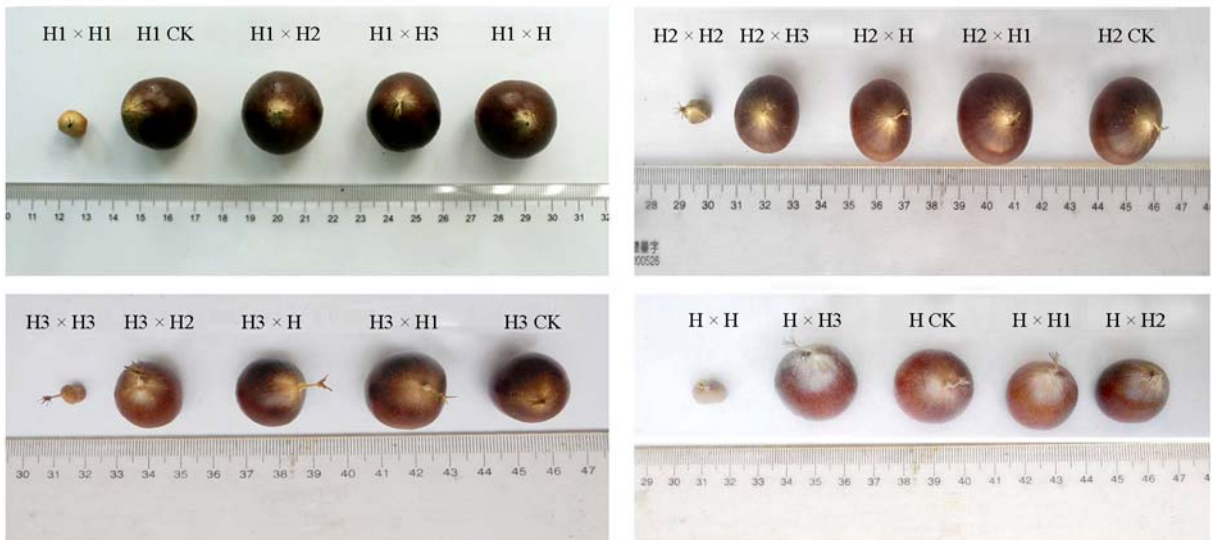


图 2 不同授粉组合坚果对比
Fig. 2 Comparison of different pollination combinations of nuts

2.4 花粉直感对果实品质的影响

2.4.1 种仁含水量

不同父本授粉对锥栗种仁含水量的影响较小, 变幅也较小(表3)。所有授粉组合中, 仅有‘黄榛’给‘华栗2号’授粉相对于自然授粉显著增加了其含水量, 说明4个品种在种仁含水量方面花粉直感效应不明显。

表3 花粉直感对种仁含水量的影响
Table 3 Effects of xenia on moisture content

母本 Female	父本 Male					平均值 Average value	变幅 Variance range
	H1	H2	H3	H	CK		
H1	45.40 a	47.05 a	48.03 a	47.24 a	48.64 a	47.27	6.66
H2	44.46 ab	42.87 b	43.61 b	48.70 a	43.44 b	44.62	11.97
H3	46.23 a	46.93 a	—	47.61 a	46.00 a	46.69	3.38
H	50.34 ab	51.53 a	48.11 ab	46.23 b	46.93 ab	48.63	11.29

2.4.2 可溶性糖

不同父本授粉对锥栗可溶性糖含量有显著影响(表4)。以‘华栗1号’为母本的组合中可溶性糖含量平均值最高(7.87%), ‘华栗2号’、‘华栗3号’和‘黄榛’则分别为7.47%、7.85%和5.91%, 明显受母本的影响; 变幅也不同, 上述4个品种分别为35.08%、20.40%、26.91%和21.87%, 不同品种间直感效应存在差异, 最高值与最低值分别为10.49%和5.36%, 变幅达48.90%。

表4 花粉直感对可溶性糖含量的影响
Table 4 Effects of xenia on soluble sugar content

母本 Female	父本 Male					平均值 Average value	变幅 Variance range
	H1	H2	H3	H	CK		
H1	6.81 ± 0.34 c	7.00 ± 0.42 c	10.49 ± 0.32 a	7.79 ± 0.61 b	7.26 ± 0.41 bc	7.87	35.08
H2	7.85 ± 0.44 ab	7.05 ± 0.30 c	7.32 ± 0.31 bc	8.43 ± 0.47 a	6.71 ± 0.52 c	7.47	20.40
H3	7.78 ± 0.25 b	8.77 ± 0.65 a	—	8.44 ± 0.15 ab	6.41 ± 0.36 c	7.85	26.91
H	5.59 ± 0.35 bc	5.36 ± 0.19 c	6.86 ± 0.52 a	5.42 ± 0.26 c	6.30 ± 0.44 ab	5.91	21.87

2.4.3 粗脂肪含量

不同父本授粉对锥栗的脂肪含量有较明显的影响(表5)。以‘华栗2号’为母本的授粉组合差异达极显著, 且变幅最大, 达27.55%, 其最大值和最小值分别为2.94%和2.13%; 不同母本品种的平均值相差较大, 母本为‘华栗2号’的平均值仅为2.64%, 母本为‘黄榛’的平均值达4.60%, 但前者的变幅达27.55%, 表明利用花粉直感还可以大幅改变脂肪含量, 后者变幅仅7.79%, 表明其脂肪含量不易通过花粉直感改变。以上结果表明锥栗在脂肪含量上表现出花粉直感效应, 且品种间差异较大。

表5 花粉直感对粗脂肪含量的影响
Table 5 Effects of xenia on axunge content

母本 Female	父本 Male					平均值 Average value	变幅 Variance range
	H1	H2	H3	H	CK		
H1	3.20 ± 0.18 b	3.38 ± 0.16 ab	3.63 ± 0.08 a	3.44 ± 0.11 ab	3.30 ± 0.18 ab	3.39	11.85
H2	2.13 ± 0.06 c	2.88 ± 0.12 ab	2.56 ± 0.14 b	2.94 ± 0.13 a	2.69 ± 0.11 a	2.64	27.55
H3	3.44 ± 0.08 a	3.25 ± 0.16 ab	—	2.81 ± 0.13 b	3.38 ± 0.15 a	3.22	18.31
H	4.63 ± 0.06 a	4.38 ± 0.09 a	4.66 ± 0.14 a	4.56 ± 0.15 a	4.75 ± 0.12 a	4.60	7.79

2.4.4 蛋白质含量

不同父本授粉对锥栗的蛋白质含量有影响（表 6）。“华栗 2 号”变幅最大（28.79%），所有组合中最大值 3.67%，最小值仅有 1.86%，变幅 49.32%，‘华栗 1 号’×‘华栗 3 号’和‘华栗 3 号’×‘华栗 2 号’分别相对于‘华栗 1 号’和‘华栗 3 号’的自交组合及自然组合，蛋白质含量均显著降低，以上结果表明锥栗在蛋白质含量上表现出花粉直感效应。

表 6 花粉直感对蛋白质含量的影响
Table 6 Effects of xenia on protein content

母本 Female	父本 Male					平均值 Average value	变幅 Variance range
	H1	H2	H3	H	CK		
H1	3.30 ± 0.27 b	3.67 ± 0.14 a	2.67 ± 0.22 d	3.00 ± 0.19 c	3.67 ± 0.12 a	3.262	27.25
H2	3.31 ± 0.11 a	2.35 ± 0.24 c	2.61 ± 0.18 b	2.39 ± 0.19 c	2.67 ± 0.23 b	2.664	28.79
H3	3.32 ± 0.24 b	2.98 ± 0.09 c	-	3.17 ± 0.20 bc	3.67 ± 0.15 a	3.290	18.80
H	2.33 ± 0.17 a	2.04 ± 0.20 b	1.96 ± 0.11 b	1.86 ± 0.17 b	2.05 ± 0.18 b	2.048	20.17

2.4.5 淀粉含量

直链淀粉含量可以作为评价板栗糯性品质的指标（梁丽松 等，2009），不同父本授粉在总淀粉方面无显著差异（表 7），对直链淀粉含量有影响（表 8）。直链淀粉以‘华栗 2 号’、‘华栗 3 号’、‘黄榛’为母本的组合差异达极显著，4 个母本品种中，‘黄榛’的变幅最高，达 29.05%，最大值和最小值分别为 15.73%和 11.16%，所有组合中最大值和最小值分别为 17.45%和 11.16%，变幅为 36.05%，稍小于可溶性糖等品质。由此可知，锥栗在淀粉含量方面表现出花粉直感效应。

表 7 花粉直感对淀粉含量的影响
Table 7 Effects of xenia on starch content

母本 Female	父本 Male					平均值 Average value	变幅 Variance range
	H1	H2	H3	H	CK		
H1	61.71 ± 3.43 a	63.57 ± 5.35 a	65.98 ± 4.54 a	66.13 ± 2.15 a	56.69 ± 3.43 a	62.82	14.27
H2	61.24 ± 2.08 a	64.77 ± 4.42 a	65.01 ± 3.88 a	68.38 ± 5.16 a	67.67 ± 3.92 a	65.41	10.44
H3	62.37 ± 5.39 a	62.09 ± 0.92 a	-	64.56 ± 1.3 a	63.33 ± 4.28 a	63.09	3.83
H	63.68 ± 2.13 a	66.34 ± 5.70 a	63.51 ± 4.02 a	64.28 ± 3.09 a	63.15 ± 4.01 a	64.19	4.81

表 8 花粉直感对直链淀粉含量的影响
Table 8 Effects of xenia on amylase content

母本 Female	父本 Male					平均值 Average value	变幅 Variance range
	H1	H2	H3	H	CK		
H1	12.60 ± 0.52 b	13.17 ± 0.49 ac	12.36 ± 0.60 b	12.35 ± 0.87 b	14.10 ± 1.05 a	12.92	12.41
H2	12.70 ± 1.25 b	16.32 ± 0.66 a	16.40 ± 1.05 a	17.45 ± 1.24 a	15.44 ± 0.61 a	15.66	27.22
H3	16.76 ± 1.30 a	15.50 ± 0.42 a	-	15.33 ± 0.51 a	12.98 ± 0.85 b	15.14	22.73
H	11.16 ± 0.91 c	15.73 ± 1.45 a	13.71 ± 0.82 b	13.58 ± 0.83 ab	15.00 ± 0.86 ab	13.84	29.05

2.4.6 维生素 C 含量

不同父本授粉对锥栗维生素 C 影响明显（表 9）。4 个品种中，‘华栗 2 号’的维生素 C 含量最高，平均值达 298.11 mg · kg⁻¹，所有组合中，‘华栗 2 号’×‘华栗 1 号’维生素 C 含量最高，达 327.75 mg · kg⁻¹，相对于自交和自然授粉分别提高了 40.65 mg · kg⁻¹和 25.19 mg · kg⁻¹，以‘华栗 3 号’为母

本的授粉组合中，3 个父本授粉相对于自然授粉均显著提高了其维生素 C 含量，其变幅也最大，达 21.09%，说明锥栗在维生素 C 含量上具有花粉直感效应。

表 9 花粉直感对维生素 C 含量的影响
Table 9 Effects of xenia on vitamin C content

母本 Female	父本 Male					平均值	变幅/%
	H1	H2	H3	H	CK	Average value	Variance range
H1	280.58 ± 5.49 b	304.16 ± 0.65 a	285.46 ± 4.58 ab	266.54 ± 9.77 b	301.25 ± 6.97 a	287.60	12.37
H2	327.75 ± 2.03 a	287.10 ± 3.48 bc	293.55 ± 0.91 bc	279.58 ± 13.40 c	302.56 ± 9.26 b	298.11	14.7
H3	292.12 ± 3.87 b	230.59 ± 3.16 b	-	242.63 ± 1.37 a	230.50 ± 1.07 b	248.96	21.09
H	250.38 ± 3.67 ab	230.37 ± 4.01 b	240.05 ± 5.52 ab	253.41 ± 5.85 ab	263.90 ± 1.67 a	247.62	12.71

2.5 产量和果实品质的平均隶属函数法综合评价

参照前人研究（陈在新 等，2000；郑诚乐 等，2003；郭素娟 等，2013），并结合各个因素对锥栗经济性状影响的重要程度，将产量、果实品质的权重分别定为 0.6、0.4，产量指标中坐苞率、出籽率、结实率的权重分别为 0.1、0.1、0.4，果实品质指标中可溶性糖、直链淀粉、脂肪、蛋白质、维生素 C 和坚果质量的权重分别为 0.13、0.09、0.04、0.04、0.04 和 0.06。

根据各个指标的特点，即各个指标数值越大越优，故采用半梯形分布的隶属函数（郭素娟 等，2013）进行评价。由表 10 可知，综合评价产量及果实品质的综合排名，‘华栗 2 号’× ‘华栗 3 号’为综合品质最优的组合。

表 10 不同授粉组合平均隶属度法评价的综合得分及排名
Table 10 Comprehensive score and ranking of each pollination combination evaluated by subordinate function method

母本 Male	父本 Female	综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking	母本 Male	父本 Female	综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
H1	CK	0.541	15	H2	CK	0.589	11
	H1	0.325	16		H2	0.247	18
	H2	0.667	8		H1	0.575	12
	H3	0.718	2		H3	0.727	1
	H	0.618	9		H	0.675	7
H3	CK	0.557	14	H	CK	0.305	17
	H3	-	-		H	0.162	19
	H1	0.714	3		H1	0.563	13
	H2	0.686	6		H2	0.613	10
	H	0.688	5		H3	0.689	4

3 讨论

本研究通过对锥栗的成熟期、坐果结实、果实外部形态及品质测定分析发现，锥栗在果实成熟期、坐果率、结实率、果实表型性状、可溶性糖、脂肪、蛋白质、直链淀粉和维生素 C 方面具有明显的花粉直感效应，而在出籽率、总淀粉和含水量方面表现不明显。

父本直感效应在锥栗成熟期方面较明显，如早熟品种 ‘华栗 1 号’ 作为父本相应的提前了母本 ‘华栗 2 号’ 和 ‘华栗 3 号’ 的成熟期。在结实率方面，‘华栗 3 号’ 自交结实仅有 2%，其他供试

品种自交结实率也都比较低, 说明锥栗具有自交不亲和性。同时, 异交授粉后, 相对于自交组合, 均在一定程度上提高了坐果率, 这与范晓明等 (2014) 对锥栗的开花生物学特性的研究结果一致。因此, 锥栗在生产上需要合理配置授粉树。

从果实品质的花粉直感效应可以看出, 不同品种的花粉直感效应存在差异, 反应在指标和强弱不同, 如以‘华栗 2 号’为母本的组合在可溶性糖、脂肪、蛋白质、直链淀粉、维生素 C 等方面均存在花粉直感效应, 且差异均达极显著, 而以‘华栗 1 号’为母本的组合仅在可溶性糖、蛋白质、维生素 C 方面表现出极显著差异; 另外, 同一父本对不同母本授粉时, 某些优良性状能够在多个母本的子代表现, 如‘黄榛’对‘华栗 1 号’、‘华栗 2 号’和‘华栗 3 号’授粉相对于各自自交均显著提高坐苞。花粉直感对锥栗果实品质存在影响, 如‘华栗 3 号’对‘华栗 2 号’授粉相对于自交提高了脂肪含量, 而对‘黄榛’无明显影响, 对‘华栗 1 号’却明显降低了其的脂肪含量, 这与马小军等 (2008) 在罗汉果和齐秀娟等 (2007) 在猕猴桃的研究结果一致。同时, 在进行评价时, 将维生素 C 考虑在内, 发现锥栗的维生素 C 含量较高, 是苹果的 3 倍 (鲁玉妙 等, 2003)。

试验结果采用平均隶属函数法分析得出, 授粉组合‘华栗 2 号’×‘华栗 3 号’的产量和果实品质综合得分最高, 同时发现, ‘华栗 3 号’给各个品种授粉, 综合得分均靠前, 这一结果可以为生产作理论指导。

References

- Alexander C M, Stuart A C, Maria A B. 2012. Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and Applied Ecology*, 13 (4): 524 - 532.
- Bao Shi-dan. 2005. Soil and agricultural chemistry analysis. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 鲍士旦. 2005. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社.
- Chen Jia-jia. 2010. Effects of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* BL.) metaxenia on fruit quality [M. D. Dissertation]. Yunnan: Southwest Forestry University. (in Chinese)
- 陈佳佳. 2010. 板栗花粉直感现象对果实品质的影响 [硕士论文]. 云南: 西南林业大学.
- Chen Xuan, Tao Zhong-liang, Wu Zhi-xiang. 2012. Effect of PP₃₃₃ and ethehl treatment on endogenous hormones and carbon and nitrogen nutrients in Feizixiao litchi. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 34 (1): 27 - 33. (in Chinese)
- 陈 炫, 陶忠良, 吴志祥. 2012. 多效唑 + 乙烯利对妃子笑荔枝内源激素及碳氮营养的影响. *江西农业大学学报*, 34 (1): 27 - 33.
- Chen Zai-xin, Lei Ze-xiang, Liu Hui-ning, Wu Guang-yu, Wang Xiang-bin. 2000. Analysis of chestnut kernel nutrient ingredients and its integrated quality evaluation. *Journal of Fruit Science*, 17 (4): 286 - 289. (in Chinese)
- 陈在新, 雷泽湘, 刘会宁, 吴广宇, 王襄宾. 2000. 板栗营养成分分析与品质的模糊综合评价. *果树科学*, 17 (4): 286 - 289.
- Denny J O. 1992. Xenia includes metaxenia. *Hortscience*, 27 (7): 722 - 728.
- Fan Xiao-ming, Yuan De-yi, Tang Jing, Tian Xiao-ming, Zhang Xu-hui, Wang Bi-fang, Tan Xiao-feng. 2014. Biological characteristics of flowering and pollination *Castanea henryi*. *Scientia Silvae Sinicae*, 50 (10): 42 - 48. (in Chinese)
- 范晓明, 袁德义, 唐 静, 田晓明, 张旭辉, 王碧芳, 谭晓风. 2014. 锥栗开花授粉生物学特性. *林业科学*, 50 (10): 42 - 48.
- Guo Su-juan, Lü Wen-jun, Zou Feng, Xie Peng. 2013. Comprehensive evaluation and screening of different pollination combinations of chesnut based on different evaluation methods. *Journal of Beijing Forestry University*, 35 (6): 42 - 47. (in Chinese)
- 郭素娟, 吕文君, 邹 锋, 谢 鹏. 2013. 不同数学方法对板栗授粉组合的评价与筛选. *北京林业大学学报*, 35 (6): 42 - 47.
- Kumar K, Das B. 1996. Studies on xenia in almond. *Journal of Horticultural Science*, 71 (4): 545 - 549.
- Liang Li-song, Xu Juan, Wang Gui-xi, Ma Hui-ling. 2009. Relationship between starch pasting amylose content and starch granule size in different Chinese chestnut variety groups. *Scientia Agricultura Sinica*, 42 (1): 251 - 260. (in Chinese)
- 梁丽松, 徐 娟, 王贵禧, 马惠铃. 2009. 板栗淀粉糊化特性与淀粉粒粒径及直链淀粉含量的关系. *中国农业科学*, 42 (1): 251 -

260.

- Liu Qing-zhong. 2006. Descripyors and data standard for chestnut. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 刘庆忠. 2006. 板栗种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社.
- Lu Yu-miao, Gao Hua, Zhao Zheng-yan, Wang Lei-cun, Yuan Jing-jun. 2003. Analysis and evaluation on fruit quality on quality of Pink Lady apple. *Journal of Fruit Science*, 20 (6): 503 - 505. (in Chinese)
- 鲁玉妙, 高 华, 赵政阳, 王雷存, 袁景军. 2003. 粉红女士苹果品质特性分析评价. *果树学报*, 20 (6): 503 - 505.
- Ma Xiao-jun, Shi Lei, Mo Chang-ming. 2008. Xenia effect on main qualitative characters of *Siraitia grosvenorii*. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (11): 1695 - 1700. (in Chinese)
- 马小军, 石 磊, 莫长明. 2008. 罗汉果主要品质性状的花粉直感效应. *园艺学报*, 35 (11): 1695 - 1700.
- Qi Xiu-juan, Han Li-xing, Li Ming. 2007. Studies on pollen xenia of kiwifruit. *Journal of Fruit Science*, 24 (6): 774 - 777. (in Chinese)
- 齐秀娟, 韩礼星, 李 明. 2007. 3 个猕猴桃品种花粉直感效应研究. *果树学报*, 24 (6): 774 - 777.
- Qiu Yan-ping, Dai Hong-fen, Li Zhi-qiang. 2006. Effects of pollinator on fruit quality of Guiwei litchi cultivar. *Journal of Fruit Science*, 23 (5): 703 - 706. (in Chinese)
- 邱燕萍, 戴宏芬, 李志强. 2006. 不同品种授粉对桂味荔枝果实品质的影响. *果树学报*, 23 (5): 703 - 706.
- Sha Hai-feng, Zhu Yuan-di, Gao Qi-jie. 2006. Effect of xenia on fruit quality of Jingbaili pear cultivar. *Journal of Fruit Science*, 23 (2): 287 - 289. (in Chinese)
- 沙海峰, 朱元娣, 高琪洁. 2006. 花粉直感对京白梨品质的影响. *果树学报*, 23 (2): 287 - 289.
- Tong Ao-yue, Zhou Hou-ji. 1982. Nutrition diagnosis of fruit trees. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 仝月澳, 周厚基. 1982. 果树营养诊断. 北京: 中国农业出版社.
- Wang Guang-peng, Liu Qin-xiang, Kong De-jun. 2008. Determination of amylopectin in *Castanea mollissima* BL. by dual-wavelength spectrophotometry. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 12 (1): 53 - 56. (in Chinese)
- 王广鹏, 刘庆香, 孔德军. 2008. 板栗支链淀粉含量的双波长测定方法. *河北农业科学*, 12 (1): 53 - 56.
- Wang Qian, Su Shu-chai, Zhao Di, Kou Yan-ru. 2012. Study on varieties combination suitable for mutual pollination of Yan Mountain chestnut. *Natural Resources*, 3: 66 - 70.
- Wang Zheng-jia, Zhang Bin, Xia Guo-hua. 2010. Analysis of the progeny of *Carya cathayensis* × *C. illinoensis* and the xenia effect. *Journal of Fruit Science*, 27 (6): 908 - 913. (in Chinese)
- 王正加, 张 斌, 夏国华. 2010. 山核桃 × 薄壳山核桃花粉直感效应与后代分析. *果树学报*, 27 (6): 908 - 913.
- Zheng Cheng-le, Wu Shao-hua, Yu Wen-qin. 2003. Analyses of nutrient ingredients and quanlity evalution in nuts of Chinquapin (*Castanea henryi*). *Journal of Fujian College of Forestry*, 23 (4): 293 - 296. (in Chinese)
- 郑诚乐, 吴少华, 余文琴. 2003. 锥栗果实营养成分分析及其品质的模糊综合评价. *福建林学院学报*, 23 (4): 293 - 296.