

自动化学间断分析仪和原子吸收光谱法测定 锥栗不同授粉组合果实的元素含量

邹 锋, 张旭辉, 袁德义*, 朱周俊, 谭露曼, 刘冬明

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

摘 要 为探讨锥栗不同授粉组合果实中矿质元素是否也存在花粉直感效应, 应用全自动间断化学分析仪和原子吸收光谱法测定了“华栗1号”、“华栗2号”、“华栗3号”和“黄榛”四个锥栗主栽品种自交、异交以及自然授粉的子代坚果中主要矿质元素的含量。结果表明, 锥栗不同授粉组合坚果的 N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn 和 Mn 八种矿质元素含量差异较为显著, 其矿质元素具有明显的花粉直感效应, 尤其是铁、锌元素受花粉直感作用的影响较大, “华栗2号”×“黄榛”授粉组合果实铁、锌元素含量最高, 分别为 162.13 和 41.79 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; “黄榛”×“华栗1号”授粉组合果实中 Mn 元素含量最高为 165.67 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 为锰微肥的利用提供了参考; 通过主成分分析, 评价出 19 个组合中在矿质元素方面表现最优的授粉组合为“华栗2号”×“黄榛”。该研究结果可为锥栗生产上合理配置授粉树和改善果实品质提供科学的依据。

关键词 全自动间断化学分析仪; 原子吸收光谱法; 锥栗; 花粉直感; 矿质元素; 主成分分析

中图分类号: S567.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)01-0286-06

引 言

锥栗 (*Castanea henryi* (Skan) Rehder & E. H. Wilson) 是我国南方重要的木本粮食树种之一, 素有“铁杆庄稼”之称, 适应性强, 耐旱、耐贫瘠^[1]。其坚果口感好、营养价值高, 且具有较高的经济效益和生态效益, 在我国林业生产、生态安全、山区精准扶贫产业建设中占有重要的地位^[2]。我国现有锥栗的种植面积达 100 万 hm^2 , 年产值数十亿元^[3], 在福建北部、浙江南部以及湖南南部已成为当地的优势产业。锥栗雌雄同株异位, 雄花为葇荑花序, 传粉主要以风媒为主^[1]。目前, 由于锥栗自花结实率低^[4], 产量低, 严重制约了锥栗产业的发展。生产上迫切需要合理选择亲和性较高的授粉品种, 品种配置成为提高锥栗产量和品质的重要技术手段^[5]。近几年来, 本课题组采用人工控制授粉, 设计不同的品种授粉组合, 研究了不同锥栗品种授粉组合对其产量和品质的影响, 发现不同品种的锥栗花粉授粉, 在其果实性状、结实率和内在品质上存在显著的花粉直感现象^[4]。花粉直感是父本花粉对种子和果实的直感效应, 主要表现在当年形成果实的形状、成熟期、色泽、大小、可溶性固形物含量、

种子大小和内在成分含量等方面的影响^[6]。花粉直感效应的研究可为生产上品种配置、提高产量和改善品质等提供理论依据, 如在葡萄^[7]、杨梅^[6]、罗汉果^[8]、山核桃^[9]、板栗^[10-12]等果树上取得进展。关于栗花粉直感现象的研究, 多集中对其果实大小、可溶性糖、淀粉含量等方面的研究^[4, 10-12]。但有关栗花粉直感效应对果实或种子中矿质元素影响的研究未见报道。因此, 本研究以四个锥栗的主栽品种为试材, 通过测定不同授粉组合子代坚果的主要矿质元素含量, 了解花粉直感效应显著的锥栗果实中矿质元素是否也存在花粉直感效应, 同时也为锥栗授粉树合理配置、丰产栽培提供理论基础; 这对促进我国南方丘陵山区锥栗品质提升及产业健康发展具有重要的现实意义。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

全自动间断化学分析仪 (SmartChem 200, Italy), 原子吸收分光光度计 (TAS-990, China), 消化炉 (EasyDigest40, Italy), 精细电子天平 (CP224C, Shanghai)。

试剂: 硝酸, 高氯酸、双氧水和浓硫酸等均为优纯级,

收稿日期: 2017-08-15, 修订日期: 2018-01-30

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(31500554)和国家“十二五”科技支撑计划课题(2013BAD14B04)资助

作者简介: 邹 锋, 1983 年生, 中南林业科技大学副教授 e-mail: zoufeng06@126.com

* 通讯联系人 e-mail: csufyuanyi@126.com

试验用水为去离子水(中南林业科技大学自制),各元素标准溶液均由浓度为 $1\ 000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的国家标准溶液稀释所得。

1.2 材料

材料来自湖南省郴州市汝城县中南林业科技大学南方锥栗试验基地($25^{\circ}33'43''\text{N}$, $113^{\circ}45'08''\text{E}$),试验园环境因素良好,土肥水管理一致。以 8a 生主栽品种锥栗“华栗 1 号”、“华栗 2 号”、“华栗 3 号”及“黄榛”为试材,并选择树势及立

地条件一致的树体,授粉位置均位于离地 1.5 m 位置且均为同一方向,在 2014 年—2015 年开花时进行不同品种自交、异交授粉组合,以自然授粉为对照(见表 1)。成熟时采收各授粉组合果实 20 个迅速带回实验室, $105\ ^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min, $60\ ^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重。取种仁用小型粉碎机粉碎,过 60 目筛,保存于有干燥剂的器皿中备用。

表 1 锥栗不同授粉组合设计

Table 1 Pollination combinations design of *Castanea henryi*

父本	母本				对照
	A(“华栗 1 号”)	B(“华栗 2 号”)	C(“华栗 3 号”)	D(“黄榛”)	
A(“华栗 1 号”)	A×A	A×B	A×C	A×D	NA
B(“华栗 2 号”)	B×A	B×B	B×C	B×D	NB
C(“华栗 3 号”)	C×A	C×B	C×C	C×D	NC
D(“黄榛”)	D×A	D×B	D×C	D×D	ND

1.3 矿质元素含量测定

样品准确称取 0.2 g(精确至 0.001 g),经 $\text{H}_2\text{O}_2\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消化,采用全自动化学分析仪测定不同授粉组合种仁的全氮、全磷;称取样品 0.8 g(精确至 0.001 g),经 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消化,使用原子吸收分光光度计测定其钾、钙、铁、铜、锌、锰。

1.4 数据处理

所有分析均为 3 次重复,测定结果取平均值,采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,并采用 Origin 8.5 软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 花粉直感对常量元素的影响

不同锥栗品种的父本花粉对其坚果的 N, P, K 和 Ca 四种常量元素有显著影响,其中“华栗 3 号”自交结实率极低,未收获到足够的果实样本,导致实验数据无法获得。

由图 1—图 4 可知,在自然状态下,4 个品种的氮元素含量趋势如下:“华栗 3 号”($25.39\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)>“华栗 2 号”($17.9\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)>“华栗 1 号”($17.53\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)>“黄榛”

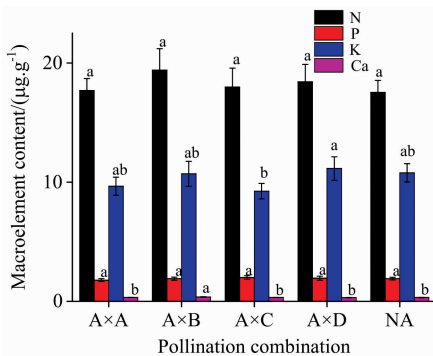


图 1 “华栗 1 号”不同授粉组合种仁常量元素含量

Fig. 1 The macroelement content in kernels of *C. henryi* “Huali No. 1” with different pollination combinations

($15.65\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$);在人工控制授粉条件下, B×A 及 D×A 授粉组合相对于自然授粉显著降低了母本氮元素含量,分别降低了 3.47 和 $4.35\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$;相对于自交组合,仅有“华栗 2 号”各授粉组合均显著增加了母本氮元素含量。

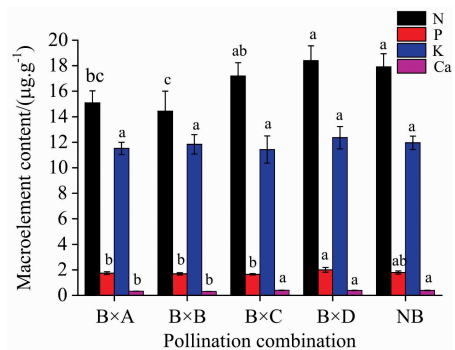


图 2 “华栗 2 号”不同授粉组合种仁常量元素含量

Fig. 2 The macroelements content in kernels of *C. henryi* “Huali No. 2” with different pollination combinations

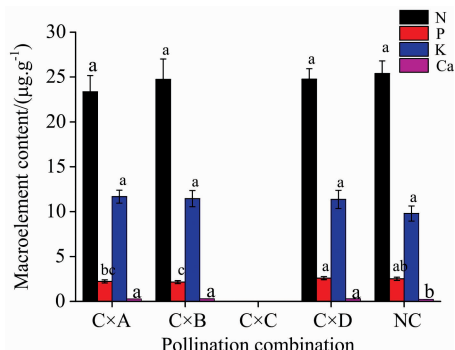


图 3 “华栗 3 号”不同授粉组合种仁常量元素含量

Fig. 3 The macroelements content in kernels of *C. henryi* “Huali No. 3” with different pollination combinations

自然条件下,“华栗 3 号”的坚果磷元素显著高于其他三

个品种,达 $2.52 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 相对于自然授粉, $C \times B$ 及 $D \times A$ 授粉组合显著降低了母本磷元素含量, $D \times B$ 授粉组合显著增加了坚果磷元素含量。

钾元素中, 仅有 $D \times C$ 授粉组合显著小于自然授粉, “黄榛”各授粉组合钙元素含量显著大于自交组合。 $B \times D$ 授粉组合果实钾元素含量最大为 $12.36 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

自然条件下“华栗 3 号”钙元素较小, 相对于自然授粉, “华栗 2 号”为“华栗 1 号”授粉及“华栗 3 号”的各授粉组合均显著增加了母本钙元素含量, 同时, “黄榛”的各授粉显著降低了母本的钙元素含量; $B \times C$ 授粉组合果实钙元素含量达到最高为 $0.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

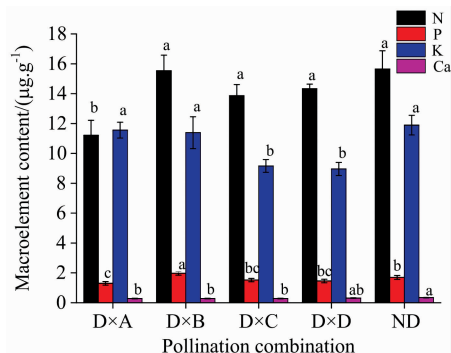


图 4 “黄榛”不同授粉组合种仁常量元素含量

Fig. 4 The macroelements content in kernei of *C. henryi* “Huangzhen” with different pollination combinations

2.2 花粉直感对微量元素的影响

锥栗各个授粉组合坚果 Fe, Cu, Zn 和 Mn 四种微量元素存在一定差异(图 5—图 8)。

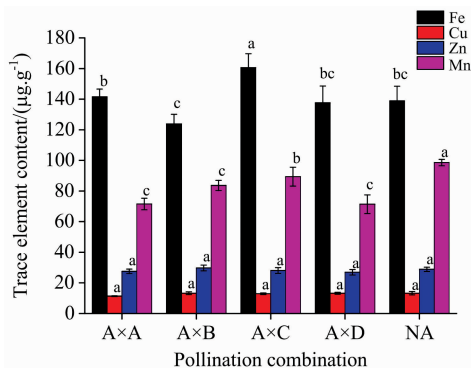


图 5 “华栗 1 号”不同授粉组合种仁微量元素含量

Fig. 5 The trace elements content in kernei of *C. henryi* “Huali No. 1” with different pollination combinations

相对于自然授粉, $A \times C$, $B \times D$ 以及“华栗 3 号”的各授粉组合均显著增加了母本铁元素含量, 其中 $B \times D$ 授粉组合最为显著, 增加了 $30.71 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; 相对于自交授粉, “华栗 2 号”的各授粉组合均显著增加了母本铁元素含量。

自然状态下“黄榛”的铜元素含量显著大于其他品种, “华栗 2 号”的授粉处理中, 所有授粉组合均显著大于自交组合; “华栗 3 号”的授粉处理中所有授粉组合均显著大于自然

授粉, “华栗 1 号”和“黄榛”的授粉处理的所有组合无显著差异。

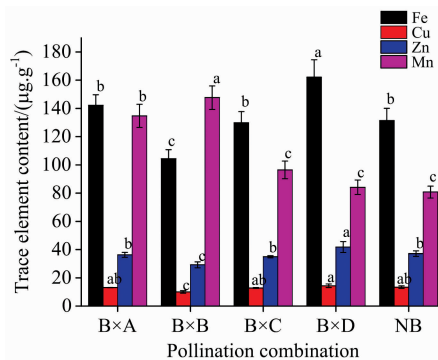


图 6 “华栗 2 号”不同授粉组合种仁微量元素含量

Fig. 6 The trace elements content in kernei of *C. henryi* “Huali No. 2” with different pollination combinations

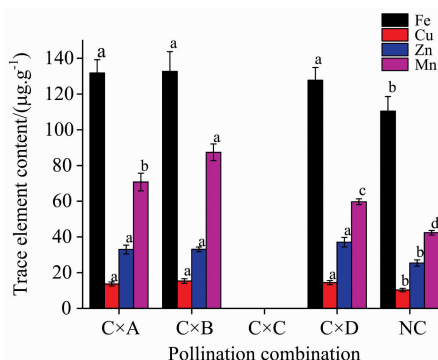


图 7 “华栗 3 号”不同授粉组合种仁微量元素含量

Fig. 7 The trace elements content in kernei of *C. henryi* “Huali No. 3” with different pollination combinations

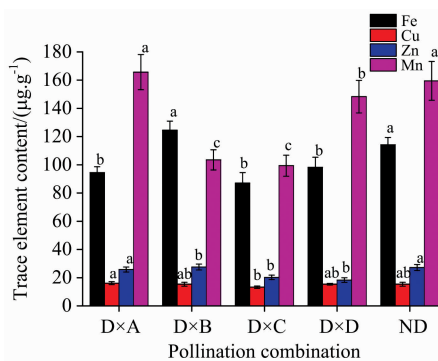


图 8 “黄榛”不同授粉组合种仁微量元素含量

Fig. 8 The trace elements content in kernei of *C. henryi* “Huangzhen” with different pollination combinations

相对于自然授粉, $B \times D$ 及“华栗 3 号”的各授粉组合均显著增加了锌含量; 相对于自交组合, $A \times D$, $B \times D$ 及“华栗 3 号”的各授粉组合均显著增加了母本的锌含量, 其中 $B \times D$ 授粉组合果实锌元素含量最高为 $41.79 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; “华栗 1 号”的授粉处理中各授粉组合无显著差异。

锰元素在所有授粉处理中均呈现显著差异。相对于自然授粉,“华栗 3 号”的各授粉组合增加了母本锰元素含量,其中,C×B 授粉组合最高为 $87.38 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;相反的,D×C,D×B 及“华栗 1 号”的各授粉组合与对照相比降低了母本锰元素含量,其中 D×C 授粉组合锰元素含量为 $99.38 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$;相对于自交组合,A×B,A×C,D×A 授粉组合显著增加了母本锰元素含量,其中 D×A 授粉组合果实锰元素含量最高为 $165.67 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

2.3 主成分分析

由表 2 可知,前 3 个主成分累计贡献率已达 84.12%,权重系数分别为 3.32, 2.27 和 1.34,基本保留了 19 个组合相关性状的全部信息。因此,可以将不同组合间的 8 种矿质元素综合为前 3 个主成分来进行评价,以达到降维的目的。第 1 主成分的方差贡献率达 41.512%,主要由 N, P 和 Fe 三种元素决定,表明当组合中这三种元素含量较高时,其综合得分就较高;第 2 主成分的方差贡献率为 28.415%,主要由 K, Ca, Zn 和 Mn 四种元素决定;第 3 主成分的方差贡献率为 14.187%,主要由 Cu 元素决定。

表 2 主成分特征向量、特征值、贡献率及累计贡献率

Table 2 The eigenvector, eigenvalue, account and total account of PCAs

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3
N	0.480 72	-0.206 59	0.204 77
P	0.488 62	-0.213 23	0.208 85
K	0.139 15	0.497 51	0.350 46
Ca	-0.006 65	0.543 10	-0.431 83
Fe	0.370 98	0.280 20	-0.190 98
Cu	-0.164 61	0.183 17	0.730 05
Zn	0.367 24	0.455 15	0.058 28
Mn	-0.459 48	0.224 29	0.179 55
特征值	3.321	2.273	1.135
贡献率/%	41.512	28.415	14.187
累计贡献率/%	41.512	69.927	84.115

将因子载荷换算为规格化特征向量后,可以得到 3 个主成分综合评价模型 F 的表达式:

$$F_1 = 0.481X_1 + 0.487X_2 + 0.139X_3 - 0.007X_4 + 0.371X_5 - 0.165X_6 + 0.367X_7 - 0.459X_8$$

$$F_2 = -0.207X_1 - 0.213X_2 + 0.498X_3 + 0.543X_4 + 0.28X_5 + 0.183X_6 + 0.456X_7 + 0.224X_8$$

$$F_3 = 0.205X_1 + 0.209X_2 + 0.35X_3 - 0.432X_4 - 0.191X_5 + 0.73X_6 + 0.058X_7 + 0.18X_8$$

式中, $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ 和 X_8 分别代表 N, P, K, Ca, Fe, Cu, Zn 和 Mn。

以各主成分的贡献率为权重,利用主成分值与对应的权重相乘求和,可以得出样本综合评价模型: $Y = (41.512F_1 + 28.415F_2 + 14.187F_3)/100$,其中 Y 为综合评价值。根据主成分综合得分模型,即可计算不同授粉组合果实品质优良度的排名(表 3)。可以看出,综合得分排在前 3 位的组合分别是:“华栗 2 号”×“黄榛”、“华栗 3 号”×“黄榛”、“华栗 3

号”×“华栗 2 号”。

表 3 综合主成分值

Table 3 Comprehensive principal component values

授粉组合	F_1	F_2	F_3	综合得分	排名
B×D	0.922 417	0.933 214	-0.005 52	1.850 115	1
C×D	1.378 144	-0.190 160	0.250 148	1.438 131	2
C×B	0.775 632	-0.048 310	0.263 137	0.990 461	3
C×A	0.934 847	-0.180 690	0.171 885	0.926 039	4
NB	0.378 889	0.627 646	-0.095 240	0.911 298	5
B×C	0.057 095	0.547 484	-0.183 170	0.421 405	6
B×A	-0.082 570	0.516 298	-0.053 320	0.380 413	7
A×D	0.313 825	-0.060 010	0.004 453	0.258 268	8
A×B	0.180 262	0.098 093	-0.089 150	0.189 203	9
NA	0.094 322	-0.028 480	-0.047 850	0.017 991	10
A×C	0.318 107	-0.219 380	-0.199 620	-0.100 890	11
D×B	-0.257 400	-0.051 220	0.202 117	-0.106 500	12
NC	1.060 847	-1.285 550	-0.039 760	-0.264 470	13
ND	-0.953 070	0.403 192	0.190 307	-0.359 570	14
A×A	0.168 911	-0.261 030	-0.319 830	-0.411 950	15
B×B	-0.613 350	0.221 429	-0.247 970	-0.639 890	16
D×A	-1.793 660	0.166 827	0.270 852	-1.355 980	17
D×D	-1.618 130	-0.465 070	0.018 941	-2.064 260	18
D×C	-1.265 120	-0.724 270	-0.090 400	-2.079 800	19

3 结 论

花粉直感效应对锥栗的主要矿质元素具有显著影响:所有授粉组合的矿质元素均有不同程度的差异,其中大部分授粉组合差异显著($p < 0.05$),如“黄榛”的授粉处理中的常量元素,以及“华栗 2 号”、“华栗 3 号”和“黄榛”的授粉处理中的微量元素差异显著,表明锥栗不同授粉组合坚果中的矿质元素表现出明显的花粉直感现象。

此外,果实内的矿质营养除影响果实生长发育外,还会影响到果实品质^[13],甚至影响到果实采后的贮藏效果^[14]。铁元素与果实碳水化合物、有机酸(如苹果酸和柠檬酸)和维生素的合成有关,缺铁会降低果实还原糖、有机酸以及维生素 B2 的含量^[15]。本研究结果表明,其他三个品种为“华栗 2 号”授粉以及为“黄榛”×“华栗 2 号”授粉组合可以提高其果实的铁元素含量。

随着人们健康意识的增强和对营养元素认识的逐渐加深,果实中的各种元素含量逐渐得到人们的重视,如锌含量的高低受到普遍关注。锌可以促进光合产物积累,果实膨大,改善果实风味^[16]。本研究结果表明,“华栗 2 号”×“黄榛”及“华栗 3 号”各授粉组合均能显著提高锌含量。栗为“喜锰”植物,对锰营养需求量大,缺锰会严重影响栗的生长发育。所有授粉组合中锰元素含量均呈现显著差异,其中“黄榛”×“华栗 1 号”授粉组合显著增加了母本锰元素含量。由此可见,父本花粉选择的重要性。花粉直感效应与果实品质具有明显的关系,生产中可以根据这一现象合理配置授粉树以提升锥栗果实品质。

通过主成分分析发现,影响不同授粉组合矿质元素综合评价的关键影响因子是氮、磷、铁三种元素,其中,“黄榛”为其他品种授粉得分均优于对照,其中授粉组合“华栗 2 号”

×“黄榛”排名最前,可为锥栗生产上品种配置和改善果实品质提供科学的理论依据。

References

- [1] FAN Xiao-ming, YUAN De-yi, TANG Jing, et al(范晓明,袁德义,唐静,等). *Scientia Silvae Sinicae(林业科学)*, 2014, 50(10): 42.
- [2] Fan Xiaoming, Yuan Deyi, Tang Jing, et al. *Trees*, 2015, 29: 1713.
- [3] MA Hai-quan, JIANG Xi-bing, GONG Bang-chu, et al(马海泉,江锡兵,龚榜初,等). *Journal of Zhejiang Forestry Science & Technology(浙江林业科技)*, 2013, 33(1): 62.
- [4] ZHANG Xu-hui, YUAN De-yi, ZOU Feng, et al(张旭辉,袁德义,邹锋,等). *Acta Horticulturae Sinica(园艺学报)*, 2016, 43(1): 61.
- [5] CAO Yong-qing, YAO Xiao-hua, TENG Jian-hua, et al(曹永庆,姚小华,滕建华,等). *Journal of Nanjing Forestry University(南京林业大学学报)*, 2016, 40(5): 55.
- [6] QI Xing-jiang, ZHENG Xi-liang, REN Hai-ying, et al(戚行江,郑锡良,任海英,等). *Journal of Fruit Science(果树学报)*, 2017, 34(7): 861.
- [7] Sabir A. *Plant Biology*, 2015, 17: 567.
- [8] MA Jing, YANG Xiao-hong, MA Xiao-jun, et al(马静,杨晓红,马小军,等). *Guihaia(广西植物)*, 2009, 29(6): 905.
- [9] WANG Zheng-jia, ZHANG Bin, XIA Guo-hua, et al(王正加,张斌,夏国华,等). *Journal of Fruit Science(果树学报)*, 2010, 27(6): 908.
- [10] Wang Qian, Su Shuchai, Zhao Di, et al. *Natural Resources*, 2012, 3: 66.
- [11] YANG Liu, ZHAO Zhi-heng, SHI Zhuo-gong(杨柳,赵志珩,石卓功). *Journal of Northwest Forestry University(西北林学院学报)*, 2012, 27(6): 75.
- [12] CHEN Jia-jia, SHI Zhuo-gong(陈佳佳,石卓功). *Journal of Central South University of Forestry and Technology(中南林业科技大学学报)*, 2009, 29(6): 152.
- [13] PAN Hai-fa, XU Yi-liu, ZHANG Yi, et al(潘海发,徐义流,张怡,等). *Plant Nutrition and Fertilizer Science(植物营养与肥料学报)*, 2011, 17(4): 1024.
- [14] GONG Xin-ming, GUAN Jun-feng, ZHANG Ji-shu, et al(龚新明,关军锋,张继澍,等). *Plant Nutrition and Fertilizer Science(植物营养与肥料学报)*, 2009, 15(4): 942.
- [15] GUAN Jun-feng(关军锋). *Fruit Quality Research(果品品质研究)*. Shijiazhuang: Hebei Science & Technology Press(石家庄:河北科学技术出版社), 2001. 153.
- [16] LI Juan, CHEN Jie-zhong, HUANG Yong-jing, et al(李娟,陈杰忠,黄永敬,等). *Journal of Fruit Science(果树学报)*, 2011, 28(4): 668.

The Different Pollination Combinations in *Castanea henryi* Determined by Auto Discrete Analyzers and Atomic Absorption Spectrometry

ZOU Feng, ZHANG Xu-hui, YUAN De-yi*, ZHU Zhou-jun, TAN Lu-man, LIU Dong-ming

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

Abstract To elucidate the xenia effects of mineral elements on different pollination combinations in *Castanea henryi*, using the chinquapin cultivars “Huali No. 1”, “Huali No. 2”, “Huali No. 3” and “Huangzhen” as materials, we investigated the xenia effects of mineral elements in *C. henryi* by auto discrete analyzers and atomic absorption spectrometry. Twenty combinations of self-, cross-, and natural pollination were undertaken. The results revealed that eight mineral elements of *Castanea henryi* seeds were significant differences. Xenia obviously has its mineral elements, especially iron and zinc. The fruit of “Huali No. 2” × “Huangzhen” showed the highest iron and zinc content, which were 162.13 and 41.79 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. The fruit of “Huangzhen” × “Huali No. 1” showed an increased manganese content of 165.67 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, which provides a reference for the utilization of this variety as a manganese fertilizer. Through principal component analysis, the best combination was “Huali No. 2” × “Huangzhen” in the 19 combinations. The results can give a basis for planting design of varieties and improving fruit quality in *C. henryi*.

Keywords Auto discrete analyzers; Atomic absorption spectrometry; *Castanea henryi*; Xenia; Mineral elements; Principal component analysis

(Received Aug. 15, 2017; accepted Jan. 30, 2018)

* Corresponding author