

文冠果人工种群的果实表型多样性及其变异

柴春山, 芦娟, 蔡国军, 王三英, 戚建莉, 王子婷, 薛睿

(甘肃省林业科学研究院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 以文冠果果实为研究对象, 调查了研究区内 44 株文冠果果实的 19 个表型性状, 利用变异系数、方差分析和相关分析研究了调查区内文冠果人工种群的变异情况。方差和变异系数分析结果表明, 研究区内文冠果果实表型性状差异都极显著, 并在不同个体之间存在很大的变异幅度。其中, 单株结果量和种子产量变异最大(变异系数大于 76%), 其次是单果质量、单果种质量和单果仁质量(变异系数约 30%), 再次是单果出种数和果柄长度(变异系数大于 20%), 而种子长、种子宽、种形比和心室数变异较小(变异系数低于 10%), 种仁出油率变异最小(变异系数 6.13%); 单株间丰产性差异明显, 并具有一定的遗传稳定性。相关性分析结果表明, 文冠果人工种群果实不同性状的相关性不一样并差异显著, 其中果长、果宽、果质量、种质量、仁质量、种子长、出种数、出种率、千粒质量和果柄粗的相关性强, 与多个性状呈显著相关, 而果形比、出仁率、结果量和种子产量与个别性状呈显著相关, 果实心室数和果柄长相关性最弱, 与所有性状相关性不显著。

关键词: 文冠果; 果实; 表型性状; 变异

中图分类号: S722

文献标识码: A

Fruit Phenotypic Diversity and Variation of *Xanthoceras sorbifolia* Artificial Population

CHAI Chun-shan, LU Juan, CAI Guo-jun, WANG San-ying, QI Jian-li, WANG Zi-ting, XUE Rui

(Gansu Academy of Forestry, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract: 19 phenotypic characters of fruit were investigated for 44 *Xanthoceras sorbifolia* Bunge. The phenotypic variation was studied by using variance analysis, correlation analysis and variation coefficient. The results of variance analysis and variation coefficient analysis showed that the phenotypic characters of fruit were significantly different among individuals of *X. sorbifolia*, and had great variation in test area. Among 19 phenotypic characters, the variations in fruit number and seed yield were the biggest among different *X. sorbifolia* individuals and all their variation coefficients were over 76%, followed by fruit weight, seed weight and kernel weight with the variation coefficient about 30%, the seed number per fruit and stalk length with variation coefficient over 20%, whereas the characters of seed length, seed width, seed shape index and number of ventricle had smaller variation and their variation coefficients were less than 10%, the least variation was the oil yield of seed kernel and its variation coefficient was only 6.13%, which showed there was evident differences in fruit-bearing capacity for individuals of *X. sorbifolia*, and had determinate hereditary stability. The correlation analysis results indicated that the correlation of various phenotypic characters of fruit had significant differences. Among them, the correlations of characters for fruit length, fruit width, fruit weight, seed weight, kernel weight, seed length, seed ratio, 1 000-seed weight and stalk diameter of fruit were strong, and significantly related to many phenotypic characters, whereas the characters of fruit

收稿日期: 2012-07-06; 修回日期: 2012-11-09

基金项目: 甘肃省技术研究与开发专项计划课题“文冠果优良单株选择及类型划分研究”(0912TCYA038); 甘肃省自然科学基金项目“甘肃省文冠果资源遗传多样性的研究”(1010RJZA132)

作者简介: 柴春山(1976—), 女, 青海互助人, 副研究员, 硕士, 主要从事林木引种和培育研究。Email: 163chaics@163.com.

shape index, kernel ratio of seed, fruit number and seed yield were only significantly related to a few phenotypic characters, but the correlation of characters for number of ventricle and stalk length was weak and hardly related to any phenotypic characters of fruit. The genetic diversity of fruit phenotypic characters and their significant differences among *X. sorbifolia* individuals would play an important role in its elite tree selection and breeding.

Key words: *Xanthoceras sorbifolia*; fruit; phenotypic characters; variation

文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge)又名文冠花、文登阁、文官果、文光果、木瓜、崖木瓜、僧灯毛道等,属无患子科文冠果属,系落叶小乔木或大灌木,1属1种,是我国特有的珍贵木本油料树种^[1]。分布于28°34′~47°20′N,73°20′~120°25′E之间的广大地区,遍及华北、华东及西北地区等14个省区,沟壑纵横的黄土高原是其分布最为集中的地区之一^[2]。早在20世纪60—80年代,为了解决北方食用油短缺问题,文冠果曾一度受到重视,我国北方许多地区都曾大面积栽培^[3]。近年来随着我国中长期能源发展战略的调整和生物质能源林的发展,文冠果再次受到普遍重视和关注,成为北方地区生物质油料能源首选树种,人工林面积不断扩大^[4]。但目前文冠果在生产中存在诸多问题,低产是其中之一。由于文冠果为异花授粉植物,类型多、变异性大,且人工栽培历史短,长期处于野生繁殖,品种混杂,良莠不齐,大部分单株开花多,坐果少,常有“千花一果”之说,这是造成文冠果低产的一个主要原因,严重影响着文冠果的开发与利用^[5]。为此,许多学者曾从花的类型和特征^[6-8]、落花落果^[9-11]、雄性不育^[12-14]、雌蕊败育^[15]等多方面探索了文冠果坐果率低的原因。近年来又有一些研究者从其表型性状特征^[16-17]及性状间的相关性^[18-20]探索了文冠果群体的变异性及遗传改良的可能性。但对文冠果表型性状尤其与产量关系最密切的果实性状的调查研究不够全面系统。针对于此,本文围绕文冠果选优的目标,对甘肃省文冠果人工种群资源状况及其花、果、叶等表型性状进行了大量的调查和连续的系统观测研究,现将文冠果人工种群果实表型性状特征进行报道,以期对文冠果优良单株选择和品种选育提供理论依据。

1 调查区概况

调查区定西市岷口林业试验场(104°29′E,35°45′N),位于定西市安定区岷口镇北部6 km处。地貌属半干旱黄土丘陵沟壑区,海拔1 800 m。气候属温带大陆性季风气候,年均气温6.8℃,极端高温36.5℃,极端低温-24.4℃。年均无霜期152 d。

年均降水量386.3 mm,主要集中在7—9月。自然植被属干草原类型。土壤为灰钙土类,较贫瘠,pH值7.5~8.5,呈弱碱性。

2 材料与方法

2.1 研究材料

调查树种为岷口林场院内生长的文冠果,呈带状和块状分布,树龄20~40年。其中带状分布文冠果主要生长在地埂和路边,遍及林场院内整个生产区,多为灌丛状,密度大,树龄较小,约20~25年,长势旺盛,而块状分布文冠果主要生长在墙角和墙边,主要集中在林场院内的东南角一带,多为乔木状,树龄较大,约35~40年,长势较差。其母树于20世纪60年代造林,造林苗木育苗所用种子于1960年从甘肃庆阳合水地区引进,后期因无开发价值而母树屡遭挖除破坏,现在残存的植株多为母树挖除后由残留的根萌蘖的根蘖苗,所以植株多为灌丛。由于长期不受人管护,植株处在半野生状态,病虫害比较严重。

2.2 研究方法

在2008—2010年连续3年对文冠果开花结果特征进行实地观测的基础上,于2010年6月按照文冠果不同果型特征,选择标定包含各种果型的观测样本70株,观测记录单株株高、冠幅、枝下高等基本信息;7月下旬果实近成熟时,调查单株果实形状、大小、心室数量、果柄大小等特征以及单株结果量,结果量采用整株调查。8月上旬果实成熟期,调查果实性状特征。每株选取正常发育的果实8个,尽量在四个方向均匀选取,然后连同果柄一起剪下,装在塑料袋并标上样本号,带回室内用游标卡尺(测量精度为0.01 mm)和电子天平(测量精度为0.01 g)逐一测定每个果实的果长、果宽、单果质量、出种数、种长、种宽、单果种质量、单种仁质量、果柄长度和果柄粗度,并换算果形指数、种形指数、单果出种率、单果仁质量和出仁率,并记录每果的心室数,其中果实和种子的横径采用垂直交叉法测定后取其平均值。测完后,将单株种子分别装在信封纸袋并标上样本号,放在室内风干。风干后,每株随机选取100粒种

子称其百粒质量,并依此干质量换算千粒质量和单株种子产量。最后,将每株剩余种子采用人工方法取出种仁,用GB/2906—1982规定的方法测定种仁出油率。

2.3 数据处理与分析

数据用Excel 2003整理,由SPSS18.0进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 果实变异特征

在调查群体不同单株间,文冠果果实无论大小还是质量其差异都较大(表1和表2)。其中,果实长度和宽度变化范围分别在3.74~8.67 cm、4.15~7.63 cm,最大值分别是最小值的2.32和1.84倍。果长在不同单株间差异比果宽大。从表1和表2的果形指数数据也可看出,文冠果种群平均果形指数为1.06,绝大多数单株果形指数大于1.0;单株间果质量差异更大,其变化范围在33.84~149.66 g,极差达到115.82 g,最重果实是最轻果实的4.41倍。经方差分析表明(表2),果实的纵径、横径、果形指数和果质量在不同单株间差异均极显著($P < 0.0001$)。说明文冠果果实大小和质量在不同单株间具有较大变异。同时从以上分析数据也可看出,文冠果绝大多数单株果实是纵径大于横径,果实形状以长果形为主。

在所测定的样本中(表2),单株5、12、18、33、36、37、40、53、70号果实较大,其纵横径平均长度大于6 cm,单果质量均在90 g以上,无论果实大小还是质量均远大于样本总体均值;单株1、11、28、29、32、61、62、63、64号果实较小,其单果质量平均不到60 g;其余单株果实大小居中。从果实不同大小的单株占测定样本的比例来看,果实较大和较小的单株所占比例小,均为20.25%,而绝大多数单株果实大小居中,所占比例为59.09%。

3.2 种子变异特征

从种子大小看(表1),单株间种子大小较果实大小差异小,其种子纵、横径平均为1.64 cm和1.38 cm,变化范围在1.98~1.19 cm、1.77~1.10 cm,最大值分别是最小值的1.66倍和1.61倍。种形指数差异也比果形指数小,单株间变化范围在1.46~0.81,平均为1.19。不论果实大小和形状如何,文冠果种子大小均是纵径大于横径(表2);单果出种数和单果种质量在不同单株间差异较大,其平均值

分别为16.87粒和25.62 g,最多出种数是最少出种数的5.6倍,最大种质量约是最小种质量的6倍;单果出种率在不同单株间差异也较大(表1),观测群体平均出种率33.95%,不同单株间的变化范围为17.17%~59.38%,最大值是最小值的3.46倍。方差分析表明(表2)种子的纵径、横径、种形指数、出种数、出种率和种质量在不同单株间差异均极显著($P < 0.0001$)。说明文冠果种子在其人工种群不同单株间变异也较大。

在所测样本中,单株3、4、10、12、18、19、26、33、34、36、37、53、56号种子较大,纵横径均值均大于样本总体均值,而单株1、6、8、11、13、28、29、32、39、40、48、54、61、62、63、64、70号的种子较小,其纵横径均值均小于样本总体均值(表2)。种子千粒质量平均925.13 g,最大可达1223 g,最小约588 g,其中2、3、4、10、12、18、19、24、25、26、33、36、37、56号千粒质量较高,平均在1000 g以上。可见,果实大的单株的种子一般较大,其相应的千粒质量也较高,但种子大小和千粒质量与果实大小变化并不完全一致,但果实小的单株的种子一定小,千粒质量也一定低。据观测这主要与果实的形状有关,凡是横径大的大果实的种子就大,而纵径大的大果实的种子则相反。从表2还可看出,果实大的单株一般单果出种数少且出种率低,而果实小的单株和纵径长的大果实单株单果出种数多且出种率高。

3.3 种仁变异特征

从表1来看,不同单株间单果仁质量、单果出仁率和种仁出油率也存在明显差异。其中,单果仁质量差异最大,平均为14.56 g,变化范围在4.40~25.84 g,最大值是最小值的5.87倍,其中单株5、6、12、18、26、37、53号仁质量较高,平均出仁率大于18 g,而24、28、32、54、61、62号仁质量较低,平均仁质量低于或接近10 g(表2)。可见,果实大的单株果质量较大,相应的仁质量也较高,而果实小的单株果质量也小,相应的仁质量也较低;单果种子出仁率平均为57.07%,变化范围27.72%~93.81%,最大值是最小值的3.38倍,其中单株1、3、6、8、9、13、26、35、53号出仁率较高,平均出仁率均高于60%,而单株4、11、33、36、51、63、64号出仁率较低,平均出仁率不到50%(表2);种仁出油率差异比较小,平均59.82%,变化范围51.27%~67.42%,极差16.15%,最大值仅为最小值的1.31倍。方差分析表明,单果仁质量和单果种子出仁率在不同植株间

差异极显著($P < 0.0001$)。

3.4 果实心室特征

文冠果观测群体的果实心室数平均为3.08室,最多5室,最少3室(表1)。通常文冠果具有4心室或5心室的果实与3心室的果实分布在同一株,目前在自然界还没看到纯4心室或纯5心室果实的文冠果单株^[21]。在本观测样本中(表2),同时具有3、4、5心室果实的单株只有1株,占总样本的2.27%;同时具有3、4心室果实的样本共8株,占总样本的18.18%;其余均为3心室果实的单株,所占比例为81.82%。说明文冠果人工种群绝大多数为3心室果实。方差分析表明,不同单株间果实心室数差异极显著($P < 0.0001$)。

一般文冠果果实每心室种子数量5~7粒,最多8粒,极个别达到9粒,所以3心室的果实单果种子数量通常在15~21粒之间,最多24粒,极个别达到25粒(如39号株)。随果实心室数的增加,单果种子具有每室种子数量减少但总种子数量增加的趋势,所以具有3室以上的单果种粒数最多可达28粒(如40号株)。

3.5 果柄变异特征

从表1可以看出,果柄长和果柄粗在文冠果观测群体不同单株间差异也很大,其大小范围分别在3.26~0.53 cm和1.02~0.40 cm,其极差分别为2.73 cm和0.62 cm。相比之下,单株间果柄长变化幅度远大于果柄粗。从表2可看出,一般单株果柄直径比较粗时则长度比较短,且果实比较大时则果柄直径比较粗,如单株5、12、33、36、37、53。说明单株果实大时果柄比较粗而短,而果实小时则果柄细而长。方差分析表明,果柄长和果柄粗在不同单株间差异也极显著($P < 0.0001$)。

3.6 单株产量变异特征

从表1可以看出,单株产量(单株结果量和单株种子产量)在种群不同单株间差异非常大,如单株平均结果数量为32.48个,最多可达108个,最少只有4个,最大结果量是最小结果量的27倍;单株种子产量平均只有0.51 kg,而最大产量能达到1.79 kg,最低却只有0.06 kg,其极差达到1.73 kg,最大产量约是最小产量的30倍。从表2可看出,果实越小,单株结果数量就越多,相应的种子产量就越高。虽然结果数量因植株个体的大小、植株病虫害危害程度和大小年现象而发生变化,但总体的结果特征不变,植株间的丰产性差异非常明显,这对文冠果优树

选育奠定了良好的基础。

据报道,现有林分的产量均低于相同条件下通过集约经营的林分所能达到的产量,在粗放经营条件下,株间结果的差异和大小年结实现象比较明显^[22]。在本观测样本中(表2),单株单产非常低,平均结果量不到10个的单株占18%,单株丰产性好、平均结果量能达到60个的单株占16%。仅从文冠果优树选择的产量标准——单株种子产量0.5 kg以上这个指标来看,本观测群体单株产量较高,有41%(18株)的样本达到其产量要求,并能入选为优株。如果能对其群体给与一定的抚育经营或选优再建优良林分,其产量有很大的提升潜力。

3.7 性状的变异性

变异系数表示性状离散性特征,变异系数越大则性状值离散程度越大^[16]。从表1可看出,文冠果果实各性状指标在观测群体不同单株间都有很大程度的变异,其变异系数由大到小依次是单株结果量(78.36%) > 单株种子产量(76.97%) > 单果仁质量(30.05%) > 果质量(29.49%) > 单果种质量(27.36%) > 果柄长(26.73%) > 单果出种数(23.34%) > 单果出种率(17.43%) > 千粒质量(17.09%) > 果柄粗(16.11%) > 果长(15.00%) > 单果出仁率(14.98%) > 果形指数(13.25%) > 果宽(11.44%) > 种子长(9.48%) > 心室数(9.15%) > 种形指数(8.66%) > 种子宽(8.58%) > 种仁出油率(6.13%)。其中,单株结果量和单株种子产量变异系数最大(76%以上),其次是果质量、种质量和仁质量(接近30%),较小的是种子长、种子宽、种形指数和心室数(10%以下),出油率变异系数最小(6.13%)。说明文冠果单株产量在不同株间变异最大,其次是果实、种子和种仁的质量,而种子的大小、种子的纵横径比、果实的心室数和种仁的出油率在不同株间变化相对稳定,尤其是种仁出油率。此外,单果的出种数量和果柄的长度在株间变异也较大。就果实大小的变异来看,其变异较其它性状指标小,但从其纵横径来看,纵径相对横径变异较大。

据牟洪香等^[16]对14个文冠果分布区的群体研究认为,文冠果分布区内的变异大于分布区间的变异,分布区内的表型变异是文冠果变异的主要来源,分布区内的多样性程度高于分布区间的多样性。本研究结果也显示,文冠果人工种群果实表型性状在同一分布区内的变异大,个体间存在着很大的遗传差异,且丰产性差异显著。这使文冠果高产优质品

种选育具有可能^[23]。

3.8 性状间的相关性

表3显示了文冠果果实各性状间的相关性。从此表可看出,果实大小不论横径还是纵径都与果质量、种质量、仁质量、千粒质量和果柄粗呈显著或极显著正相关关系($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),与出籽率呈显著负相关关系($P < 0.05$)。说明文冠果果实越大,其果、种和仁的质量以及千粒质量就越大,果柄也越粗,但出籽率降低。此外,果长与果宽、果形指数、出种数呈显著或极显著正相关,果宽与种子长和种子宽呈显著或极显著正相关。说明果实纵径越长,其横径和果形指数就越大,出种粒数就越多;果实横径越长,其种子纵、横径就越大。

果质量、种质量和仁质量除与果实大小呈极显著相关外($P < 0.01$),还与种子长、出种数和千粒质量呈极显著正相关($P < 0.01$),说明单果出种数越多、种子越大、千粒质量越大,其果质量、种质量和仁质量就越大。此外,种质量与果质量呈极显著相关,仁质量与种质量呈极显著相关,其相关系数均在0.8以上。说明果质量越大则种质量就越大,而种质量越大则仁质量就越大。千粒质量除与果实大小、果、种和仁的质量呈显著相关外($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),还与种子长和种子宽呈极显著正相关($P < 0.01$),其相关系数均在0.7以上,说明文冠果种子越大则千粒质量越大,相应的果质量、种质量和仁质量就越大。

出种率与果长、果宽、果质量呈显著负相关($P < 0.05$),与出种数呈显著正相关($P < 0.05$)。出仁率与仁质量呈极显著正相关($P < 0.01$),而与果形指数呈显著负相关($P < 0.05$)。出油率与出种数、出籽率、仁质量、出仁率呈显著正相关($P < 0.05$)。说明果实越大则出种率越低,单果出种数越多则出种率越高,单果仁质量越大则出仁率和出油率越高。这与实际观测的结果一致,因大果实一般比较空,果壳所占比重大,所以出种率低;果形比大即果实纵径长时,单果出种数多但种子小,而种子小的其种质量所占比重低,所以出种率也低。这对文冠果利用其果壳还是利用其种子提供了不同的选择对象。

单株种子产量与种质量、出种率、单株结果量呈

显著或极显著正相关关系($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),尤其与单株结果量的相关性极高,其相关系数高达0.942,说明文冠果的种子产量主要由单株结果量决定的。果柄粗与果实大小、果、种和仁的质量、出种数、种子长及千粒质量很多性状指标呈显著正相关关系,说明果柄的粗度与果实大小、种子大小以及它们相应的质量密切相关,在文冠果果实发育及其重量承载中发挥着重要作用。

果实心室数和果柄长与所有调查性状的相关性不显著,说明这两个性状不是文冠果选择高产单株的主要选择性状。但文冠果的4瓣裂果实和5瓣裂果实的籽粒数普遍高于3瓣裂的籽粒数,这对筛选文冠果高产单株具有一定的遗传学意义^[21]。

3.9 病虫害与产量间的相关性

表4显示了文冠果病虫害与其枝条被毛和结果能力间的关系。从表4可看出,文冠果的结果能力与植株的病虫害危害紧密相关,而病虫害与枝条的被茸毛情况密切相关。调查区内凡是新枝不被茸毛的文冠果单株普遍病虫害很轻或几乎无病虫害,单株产量高,结果能力强,能连续4年结果且大小年现象小,如观测样本1、4、19、33、38、51、62、63、64号4年平均年结果量达25个以上,丰产单株能达50~70个,但这种无毛单株无论在观测样本还是在观测群体,其所占比例都很小,而新枝被茸毛的单株所占比例高,但多数病虫害非常严重,且大小年现象也很严重,基本上一年结果一年休或结果很少,有的单株甚至因病虫害非常严重导致花无法正常开放而连续几年不结果,或所结果实很少且严重畸形,所以此类单株并未选入2010年的果实表型性状测定样本中。但也有个别被毛单株虽然病虫害很严重但结果能力很强,如样本35号和56号。文冠果的此特征在种群内比较稳定且具有一定的连续性,病虫害严重的植株一年比一年严重,而病虫害轻的植株年年如此。说明文冠果的丰产性除受大小年影响外,主要是遗传因素所决定的。中国林科院的文冠果研究者们^[24]也已发现这一现象,并将新枝有无茸毛作为划分文冠果类型的一个重要性状指标,指出在单株结实量及其他经济性状等方面,无毛类型多优于有毛类型,认为无毛类型是丰产类型。

表1 文冠果果实表型性状统计特征

科目	果长/cm	果宽/cm	果形指数	果质量/g	种子长/cm	种子宽/cm	种子指数	单果出种数/粒	单果质量/g	出种率/%	出仁率/%	心室数/室	果柄长/cm	果柄粗/cm	千粒质量/g	单株产量/kg	单株结果量/个	种仁出油率/%
均值	5.98	5.64	1.06	76.66	1.64	1.38	1.19	16.87	25.62	33.95	57.07	3.08	1.44	0.73	925.13	0.51	32.48	59.82
最大值	8.67	7.63	1.51	149.66	1.98	1.77	1.46	28.00	46.49	59.38	93.81	5.00	3.26	1.02	1222.56	1.79	108	67.42
最小值	3.74	4.15	0.68	33.84	1.19	1.10	0.81	5.00	7.76	17.17	27.72	3.00	0.53	0.40	587.98	0.06	4	51.27
极差	4.93	3.48	0.83	115.82	0.79	0.66	0.65	23.00	38.73	42.21	66.09	2.00	2.73	0.62	634.58	1.73	104	16.15
标准差	0.90	0.65	0.14	22.61	0.16	0.12	0.10	3.94	7.01	5.92	8.55	0.28	0.39	0.12	158.11	0.40	24	3.67
变异系数/%	15.00	11.44	13.25	29.49	9.48	8.58	8.66	23.34	27.36	17.43	14.98	9.15	26.73	16.11	17.09	76.97	78.36	6.13

表2 文冠果果实表型性状均值和标准差

株号	果长/cm	果宽/cm	果形指数	果质量/g	种子长/cm	种子宽/cm	种子指数	出种数/粒	种质量/g
1	5.04±0.39	5.27±0.30	0.96±0.04	51.39±9.93	1.59±0.09	1.36±0.08	1.17±0.06	17.25±2.05	21.37±5.41
2	5.76±0.49	5.73±0.38	1.01±0.07	73.77±12.02	1.70±0.16	1.45±0.03	1.17±0.11	14.88±2.70	24.73±4.88
3	5.51±0.21	5.85±0.31	0.94±0.05	72.92±8.28	1.77±0.11	1.56±0.04	1.14±0.08	13.19±1.77	23.53±2.75
4	5.57±0.28	5.70±0.18	0.98±0.02	78.29±10.04	1.68±0.08	1.49±0.10	1.13±0.06	16.47±1.98	27.27±4.36
5	6.80±0.67	5.71±0.12	1.19±0.11	94.92±6.97	1.65±0.12	1.41±0.13	1.18±0.14	20.50±1.41	32.14±2.66
6	5.36±0.26	5.92±0.33	0.91±0.04	70.14±11.49	1.54±0.13	1.36±0.05	1.14±0.09	22.00±4.12	30.15±3.90
7	5.78±0.33	5.37±0.20	1.08±0.03	67.06±4.42	1.66±0.09	1.34±0.08	1.25±0.10	19.38±1.90	26.48±2.21
8	5.97±0.51	5.68±0.19	1.05±0.08	78.95±8.42	1.61±0.08	1.32±0.09	1.23±0.10	19.63±2.20	26.00±3.07
9	5.17±0.66	5.67±0.50	0.91±0.04	65.93±15.43	1.67±0.17	1.30±0.04	1.29±0.17	14.75±5.06	18.63±7.65
10	5.79±0.22	6.04±0.18	0.96±0.04	86.78±6.74	1.79±0.05	1.37±0.06	1.31±0.09	17.06±1.57	29.34±2.62
11	6.07±0.31	5.00±0.19	1.22±0.05	59.29±6.65	1.61±0.10	1.30±0.06	1.24±0.08	18.25±2.94	25.64±3.22
12	6.98±0.50	6.49±0.31	1.07±0.03	114.18±9.74	1.87±0.07	1.48±0.07	1.27±0.07	19.25±1.39	36.93±3.26
13	5.89±0.30	5.24±0.25	1.12±0.03	77.80±9.92	1.60±0.06	1.25±0.04	1.28±0.06	20.88±2.47	27.90±3.95
17	5.79±0.29	5.41±0.25	1.07±0.10	69.12±9.99	1.79±0.07	1.43±0.04	1.25±0.09	14.00±3.61	22.33±4.99
18	6.49±0.32	6.22±0.36	1.04±0.02	104.49±9.20	1.85±0.11	1.51±0.03	1.22±0.08	20.33±1.86	38.47±1.84
19	5.95±0.38	5.37±0.38	1.11±0.04	76.09±9.22	1.86±0.06	1.52±0.08	1.23±0.08	15.13±2.23	31.45±4.36
23	5.83±0.50	5.32±0.29	1.10±0.07	74.89±11.14	1.67±0.07	1.35±0.05	1.24±0.06	20.13±2.17	30.38±5.00
24	7.02±0.74	5.07±0.50	1.38±0.03	58.86±15.92	1.59±0.07	1.57±0.10	1.02±0.12	7.50±3.11	14.38±4.20
25	6.02±0.29	5.48±0.20	1.10±0.03	71.09±7.75	1.63±0.14	1.42±0.08	1.15±0.13	15.00±2.51	25.29±3.47
26	4.95±0.38	5.94±0.19	0.83±0.06	66.26±8.24	1.85±0.08	1.50±0.06	1.24±0.08	16.56±2.06	26.11±4.49
28	5.27±0.22	4.53±0.27	1.17±0.08	41.34±4.45	1.45±0.07	1.25±0.07	1.16±0.04	17.71±2.56	16.71±3.10
29	4.96±0.25	5.12±0.15	0.97±0.03	52.01±5.62	1.57±0.09	1.36±0.08	1.16±0.05	14.06±1.40	19.57±2.45
30	6.64±0.49	5.33±0.41	1.25±0.02	66.23±12.51	1.63±0.09	1.33±0.05	1.22±0.09	17.50±3.74	24.62±5.27
32	4.81±0.31	5.37±0.49	0.90±0.05	59.95±10.59	1.43±0.06	1.18±0.07	1.18±0.04	18.13±3.98	19.33±3.62

续表2

株号	果长/cm	果宽/cm	果形指数	果质量/g	种子长/cm	种子宽/cm	种子指数	出种数/粒	种质量/g
33	7.60±0.30	6.92±0.39	1.10±0.04	109.93±12.03	1.73±0.04	1.34±0.07	1.34±0.06	21.19±1.98	35.02±5.13
34	5.53±0.28	5.95±0.28	0.93±0.04	83.77±9.19	1.79±0.12	1.35±0.05	1.33±0.08	18.19±2.31	27.47±3.27
35	5.68±0.36	5.69±0.40	1.00±0.04	75.28±12.54	1.66±0.17	1.34±0.08	1.24±0.11	17.25±2.60	26.87±4.75
36	6.48±0.27	7.26±0.26	0.89±0.02	118.80±5.98	1.64±0.06	1.35±0.06	1.22±0.05	18.31±1.75	36.12±3.25
37	6.77±0.44	6.39±0.26	1.06±0.06	105.49±9.04	1.77±0.06	1.44±0.11	1.24±0.11	16.25±0.93	31.31±2.60
38	6.16±0.52	5.63±0.44	1.10±0.05	84.03±15.83	1.66±0.11	1.41±0.06	1.18±0.10	14.63±2.92	24.93±5.13
39	7.04±0.73	5.52±0.33	1.27±0.10	80.68±11.87	1.37±0.09	1.25±0.03	1.10±0.09	20.38±3.20	25.47±4.23
40	7.25±0.37	6.02±0.37	1.21±0.12	102.01±11.41	1.38±0.05	1.28±0.06	1.08±0.07	22.13±4.12	26.14±4.51
48	7.04±0.48	5.68±0.27	1.24±0.05	92.59±11.56	1.59±0.11	1.38±0.06	1.15±0.07	17.38±2.33	27.48±3.31
51	5.98±0.52	5.52±0.42	1.08±0.04	66.68±11.22	1.61±0.13	1.48±0.03	1.10±0.10	12.88±1.64	21.88±3.38
53	7.29±0.50	6.52±0.30	1.12±0.04	128.01±18.34	1.77±0.07	1.47±0.05	1.21±0.07	18.25±2.92	32.15±5.16
54	5.67±0.76	5.28±0.43	1.08±0.18	62.86±10.92	1.45±0.12	1.32±0.08	1.10±0.11	13.40±4.16	16.72±4.32
56	5.88±0.21	5.69±0.26	1.03±0.04	78.40±7.17	1.73±0.07	1.51±0.09	1.15±0.09	13.75±1.16	25.08±2.30
58	6.22±0.72	5.37±0.68	1.16±0.10	63.20±18.40	1.61±0.09	1.38±0.07	1.17±0.07	11.83±3.31	17.53±6.47
61	4.43±0.20	4.60±0.12	0.96±0.03	43.26±4.45	1.46±0.06	1.16±0.06	1.25±0.05	15.38±2.56	14.53±2.08
62	4.22±0.35	5.80±0.52	0.73±0.04	50.20±13.82	1.50±0.08	1.16±0.13	1.03±0.10	7.00±2.20	10.71±3.91
63	5.70±0.46	4.76±0.38	1.20±0.03	56.11±5.57	1.52±0.08	1.25±0.07	1.22±0.04	17.00±2.27	22.83±2.66
64	5.68±0.36	4.79±0.38	1.19±0.02	55.13±8.40	1.57±0.07	1.31±0.09	1.20±0.04	16.25±1.67	22.61±3.23
65	6.56±0.25	5.92±0.16	1.11±0.01	72.94±5.20	1.67±0.13	1.40±0.04	1.20±0.13	16.50±0.71	24.67±1.71
70	8.47±0.29	5.69±0.10	1.49±0.03	95.38±3.03	1.57±0.13	1.31±0.04	1.20±0.06	17.50±2.12	23.35±1.16
<i>P</i> 值	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
<i>F</i> 值	27.54***	21.94***	36.53***	29.15***	13.91***	13.79***	4.71***	11.33***	17.01***
株号	出种率/%	仁质量/g	出仁率/%	心室数/室	果柄长/cm	果柄粗/cm	千粒质量/g	结果量/个	种仁出油率/%
1	41.09±4.25	14.28±3.25	68.13±12.92	3.00±0.00	1.28±0.20	0.62±0.10	923.36	94	65.41
2	33.41±1.95	12.89±2.54	52.23±3.64	3.00±0.00	1.37±0.32	0.66±0.05	1080.28	9	63.19
3	32.35±2.68	15.29±2.63	64.68±5.26	3.75±0.71	1.44±0.16	0.82±0.05	1135.61	42	59.76
4	34.73±1.27	13.01±2.72	48.29±8.51	3.00±0.00	1.90±0.11	0.78±0.07	1058.39	48	60.86
5	33.85±1.22	18.15±1.84	56.55±4.48	3.25±0.46	0.92±0.17	0.97±0.04	971.16	67	62.12
6	43.81±8.96	19.36±4.23	63.67±6.83	3.00±0.00	1.31±0.15	0.63±0.03	822.50	21	59.20
7	39.49±2.04	15.20±2.44	57.05±4.84	3.00±0.00	1.37±0.16	0.71±0.02	902.44	23	65.86
8	32.94±1.86	15.72±1.85	60.58±3.81	3.00±0.00	1.66±0.23	0.80±0.07	821.01	33	67.42
9	27.50±5.99	12.09±4.32	66.44±7.57	3.00±0.00	1.61±0.36	0.63±0.04	752.71	5	60.23
10	33.81±1.51	16.64±1.98	56.70±3.78	3.00±0.00	1.36±0.22	0.79±0.02	1039.18	46	57.59
11	43.24±2.77	12.61±2.43	48.88±5.00	3.00±0.00	1.46±0.08	0.69±0.05	916.26	108	60.58
12	32.41±2.34	21.88±3.27	59.12±6.54	3.00±0.00	1.13±0.26	0.83±0.03	1222.56	35	60.67

续表 2

株号	出种率/%	仁质量/g	出仁率/%	心室数/室	果柄长/cm	果柄粗/cm	千粒质量/g	结果量/个	种产量/kg	种仁出油率/%
13	35.82±0.98	17.12±2.31	61.80±7.29	3.00±0.00	1.06±0.20	0.70±0.05	768.13	60	0.96	66.89
17	32.07±2.85	12.25±2.73	54.88±0.59	3.33±0.58	1.60±0.21	0.87±0.01	911.11	32	0.41	61.41
18	36.96±2.10	21.29±1.96	55.26±2.94	3.00±0.00	1.64±0.18	0.84±0.06	1 170.91	9	0.21	63.22
19	41.32±2.56	15.84±2.71	50.41±4.60	3.00±0.00	1.47±0.17	0.61±0.05	1 160.84	61	1.07	59.15
23	40.52±1.69	17.69±3.26	58.25±5.56	3.25±0.46	1.67±0.20	0.69±0.07	910.04	16	0.29	66.39
24	24.34±1.91	7.37±2.28	51.18±2.59	3.00±0.00	1.25±0.20	0.60±0.08	1 114.79	11	0.09	58.46
25	35.53±2.43	14.05±1.56	55.81±3.27	3.00±0.00	1.43±0.08	0.78±0.09	1 044.54	8	0.13	61.73
26	39.23±2.61	20.46±3.25	78.81±6.39	3.50±0.53	1.00±0.13	0.66±0.03	1 061.95	14	0.24	63.27
28	40.44±5.88	9.00±1.44	54.15±3.43	3.00±0.00	1.74±0.31	0.49±0.03	625.65	15	0.17	63.87
29	37.59±1.25	11.75±1.71	59.24±7.30	3.00±0.00	1.48±0.20	0.84±0.05	902.85	22	0.30	60.21
30	37.03±2.06	14.78±3.72	60.04±8.21	3.00±0.00	1.47±0.15	0.72±0.08	894.77	27	0.42	61.48
32	32.28±2.83	10.18±2.86	52.35±9.84	3.75±0.46	1.68±0.22	0.64±0.06	649.20	14	0.16	55.84
33	31.87±1.62	16.40±1.42	49.13±2.73	3.00±0.00	1.03±0.12	0.81±0.07	1 011.60	20	0.41	58.32
34	32.82±2.17	15.50±2.98	56.36±8.32	3.00±0.00	1.42±0.15	0.80±0.05	934.01	32	0.54	57.70
35	35.67±2.16	17.05±2.87	63.63±3.36	3.00±0.00	1.31±0.32	0.77±0.08	930.33	61	0.98	57.04
36	30.39±1.89	17.03±2.42	47.38±7.00	3.00±0.00	1.45±0.12	0.95±0.04	1 183.70	35	0.67	56.06
37	29.71±1.08	18.17±3.26	57.70±6.70	3.00±0.00	1.18±0.11	0.84±0.09	1 194.26	27	0.51	58.45
38	29.65±2.54	15.08±3.42	60.34±4.38	3.00±0.00	2.13±0.49	0.62±0.07	881.16	44	0.57	51.27
39	31.53±1.74	14.62±1.68	58.06±6.13	3.13±0.35	1.21±0.21	0.79±0.07	898.82	19	0.35	59.60
40	25.53±2.51	15.60±2.63	59.98±7.35	3.38±0.52	1.64±0.27	0.83±0.08	842.16	28	0.52	58.87
48	29.81±2.71	15.11±2.30	54.95±5.01	3.00±0.00	1.49±0.16	0.77±0.11	924.35	52	0.84	57.25
51	33.55±7.52	10.65±1.51	48.92±4.00	3.00±0.00	2.69±0.36	0.60±0.05	932.38	38	0.46	53.88
53	25.14±1.97	21.52±3.21	67.21±5.23	3.00±0.00	1.37±0.18	0.84±0.07	1 001.89	20	0.37	59.84
54	26.55±4.00	10.05±2.90	59.77±3.27	3.00±0.00	0.87±0.20	0.67±0.04	682.97	5	0.05	59.23
56	32.01±1.55	14.30±1.49	57.03±3.21	3.00±0.00	1.76±0.12	0.79±0.04	1 005.36	24	0.33	61.83
58	27.38±3.52	9.72±2.49	57.88±0.67	3.00±0.00	1.14±0.13	0.63±0.09	828.05	7	0.07	61.78
61	33.47±1.78	8.35±1.04	57.89±5.84	3.00±0.00	1.15±0.08	0.66±0.06	587.98	33	0.30	58.05
62	21.07±2.45	5.97±2.13	56.03±4.78	3.00±0.00	1.42±0.21	0.70±0.11	868.36	53	0.32	52.63
63	40.66±1.72	10.88±1.54	47.58±2.80	3.00±0.00	1.45±0.22	0.59±0.08	718.16	30	0.36	54.57
64	41.12±2.77	11.26±1.88	49.91±5.08	3.00±0.00	1.34±0.21	0.66±0.06	712.99	74	0.79	55.11
65	33.83±0.06	13.34±0.59	54.29±6.17	3.00±0.00	1.93±0.13	0.67±0.04	859.23	4	0.06	57.33
70	24.51±2.00	12.18±0.25	52.18±1.53	3.00±0.00	1.00±0.08	0.73±0.06	832.14	5	0.08	58.32
P 值	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1				
F 值	24.25***	15.22***	8.35***	5.42***	18.01***	17.89***				

表 3 文冠果果实表型性状相关系数

性状	果长	果宽	果形指数	果质量	种子长	种子宽	种形指数	出种数	种质量	出种率	仁质量	出仁率	心室数	结果量	千粒质量	种产量	出油率	果柄长	果柄粗	
果长	1.000																			
果宽	0.432**	1.000																		
果形指数	0.744**	-0.277	1.000																	
果质量	0.717**	0.850**	0.129	1.000																
种子长	0.127	0.480**	-0.224	0.442**	1.000															
种子宽	0.138	0.367*	-0.120	0.269	0.676**	1.000														
种形指数	-0.013	0.189	-0.163	0.245	0.515**	-0.279	1.000													
出种数	0.322*	0.267	0.135	0.458**	-0.003	-0.432**	0.472**	1.000												
种质量	0.494**	0.678**	0.026	0.811**	0.583**	0.235	0.463**	0.685**	1.000											
出籽率	-0.342*	-0.360*	-0.085	-0.342*	0.128	-0.153	0.336*	0.409**	0.249	1.000										
仁质量	0.354*	0.631**	-0.099	0.729**	0.596**	0.264	0.445**	0.661**	0.895**	0.232	1.000									
出仁率	-0.232	0.092	-0.341*	-0.011	0.155	0.077	0.102	0.094	-0.029	-0.009	0.408**	1.000								
心室数	-0.169	0.027	-0.210	-0.046	-0.025	0.020	-0.053	0.068	-0.060	-0.026	0.073	0.270	1.000							
结果量	-0.178	-0.169	-0.056	-0.109	0.039	-0.026	0.085	0.077	0.095	0.354*	0.048	-0.080	-0.077	1.000						
千粒质量	0.348*	0.638**	-0.091	0.583**	0.729**	0.789**	0.026	-0.049	0.615**	-0.056	0.549**	-0.021	-0.009	0.055	1.000					
种产量	0.011	-0.004	0.016	0.106	0.158	0.001	0.206	0.282	0.335*	0.392**	0.284	-0.033	-0.058	0.942**	0.210	1.000				
出油率	-0.020	-0.121	0.054	-0.032	0.180	0.004	0.219	0.357*	0.188	0.345*	0.314*	0.347*	0.036	-0.071	0.078	0.072	1.000			
果柄长	-0.156	-0.076	-0.109	-0.116	-0.003	0.159	-0.178	-0.144	-0.077	0.083	-0.170	-0.266	-0.003	-0.005	-0.035	-0.089	-0.248	1.000		
果柄粗	0.378*	0.631**	-0.075	0.689**	0.323*	0.201	0.170	0.304*	0.572**	-0.255	0.516**	0.012	0.131	0.065	0.501**	0.210	0.086	-0.215	1.000	

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

表4 文冠果结果量与枝条性状及病虫害间的关系

株号	结果量/个					枝条 被毛情况	病虫害 危害情况	株号	结果量/个					枝条 被毛情况	病虫害 危害情况
	2008	2009	2010	2011	平均				2008	2009	2010	2011	平均		
1	78	12	94	17	50.25	无毛	很轻	30	47	11	27	13	24.50	无毛	很轻
2	21	0	9	13	10.75	有毛	较严重	32	13	0	14	0	6.75	无毛	轻
3	41	0	42	0	20.75	有毛	严重	33	12	0	20	0	8.00	有毛	较轻
4	60	3	48	8	29.75	无毛	很轻	34	31	11	32	13	21.75	无毛	很轻
5	52	0	67	8	31.75	有毛	较轻	35	79	53	82	61	68.75	有毛	非常严重
6	19	6	21	0	11.50	有毛	较严重	36	31	12	35	0	19.50	有毛	较轻
7	17	0	23	0	10.00	有毛	较轻	37	21	0	27	0	12.00	有毛	较严重
8	24	6	33	0	15.75	有毛	较严重	38	104	19	44	55	55.50	无毛	很轻
9	17	0	5	14	9.00	有毛	较轻	39	21	7	19	11	14.50	无毛	很轻
10	45	0	46	0	22.75	有毛	非常严重	40	17	0	28	0	11.25	有毛	非常严重
11	143	21	108	26	74.50	无毛	很轻	48	63	0	52	0	28.75	有毛	较轻
12	31	0	35	8	18.50	有毛	非常严重	51	114	12	38	54	54.50	无毛	很轻
13	28	0	60	0	22.00	有毛	较轻	53	41	0	20	31	23.00	有毛	较严重
17	27	0	32	3	15.50	有毛	严重	54	12	0	5	0	4.25	有毛	非常严重
18	13	1	9	0	5.75	有毛	严重	56	32	9	24	7	18.00	有毛	较严重
19	46	23	61	6	34.00	无毛	很轻	58	6	0	7	4	4.25	有毛	非常严重
23	6	0	16	1	5.75	有毛	较轻	61	28	0	33	0	15.25	有毛	非常严重
24	6	17	11	49	20.75	有毛	较重	62	62	17	53	3	33.75	无毛	很轻
25	22	0	8	0	7.50	有毛	严重	63	48	23	30	41	35.50	无毛	很轻
26	19	0	14	8	10.25	有毛	较严重	64	76	39	74	42	57.75	无毛	很轻
28	23	0	15	19	14.25	有毛	较严重	65	8	0	4	10	5.50	有毛	严重
29	39	0	22	5	16.50	有毛	非常严重	70	13	0	5	2	5.00	有毛	非常严重

4 结论与讨论

遗传多样性是遗传信息在内、外在因素共同作用下产生的遗传变异,是群体生物遗传信息的重要表征,也是长期适应与进化的产物^[19]。表型性状的变异往往具有适应和进化上的意义^[16]。群体中的数量或质量性状是研究群体遗传多样性的重要内容 and 手段^[19]。本文对甘肃定西文冠果人工种群果实表型多样性及其变异的研究显示,文冠果果实表型性状在分布区内个体间差异都极显著,且均有很大程度的变异。其中,文冠果在单株产量性状上群体变异最大,其次是果实、种子和种仁质量性状,而在种子大小、种形指数、果实心室数和种仁出油率性状上群体变异较小,变化相对稳定。表明文冠果在单株产量及其果实、种子、种仁质量性状上遗传多样性十分丰富,这对筛选文冠果高产单株具有重要的遗传学意义。

经相关性研究显示,文冠果果实表型性状间具有不同的相关性,且相关性差异显著或极显著。其中,果长、果宽、果质量、种质量、仁质量、种子长、出种数、出种率、千粒质量和果柄粗的相关性强,与多

个性状呈显著相关,而果形比、出仁率、结果量和种子产量与个别性状呈显著相关,但果实心室数和果柄长与所有性状相关性不显著。因此,对相关性强性状组进行选择时,对其中一个性状改良,可以同时影响其它性状;而对相关性不显著的性状组进行选择时,由于一个性状的改良,对其它性状影响不大,所以在性状选择上应当有不同的改良方向和选择标准^[23]。

在调查的众多性状中,果实大小(果长、果宽)性状所发挥的作用大,决定着果、种和仁的质量、种子大小、千粒质量、出籽率等很多性状,并与这些性状呈显著正相关,但与出籽率呈显著负相关。但是果长与果宽所发挥的作用各有侧重,其中果长主要决定着果宽、果形指数和出种数,而果宽主要决定着种子大小。果柄粗性状与果实的多个性状显著相关,在文冠果果实发育及其质量承载中发挥着重要作用。文冠果的种子产量主要由单株结果量决定的,其与种质量、出籽率和单株结果量相关性显著,尤其与单株结果量的相关性极高。这与敖妍^[22]的果实鲜质量、结果个数和出籽率对种子产量的贡献较大的研究结果相一致,是选择高产单株的主要选

择性状。

经本研究认为,文冠果人工种群果实表型多样性十分丰富,且在同一分布区内不同个体间差异显著,尤其丰产性差异明显。并在群体中有一定数量的丰产性能好的优良单株^[25]。而且其丰产性在种群内具有一定的稳定性和连续性,并发现其丰产性和植株的病虫危害紧密相关,而病虫害与枝条的被茸毛情况密切相关。文冠果的这一重要发现和性状特征是今后文冠果良种选育工作需重点考虑的因素或性状,也是文冠果研究者们今后从其化学成分甚至基因水平上探索其抗病虫害和丰产的研究方向和改良目标。

参考文献:

- [1] 牟洪香,候新村,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
- [2] 牟洪香,于海燕,候新村. 木本能源植物文冠果在我国的分布规律研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(9): 3626-3628
- [3] 苗青,曲波,张春宇,等. 文冠果花粉形态学观察及生活力研究[J]. 辽宁农业科学, 2005(3): 61-62
- [4] 康永祥,康博文,刘建军,等. 陕北黄土高原文冠果群落结构及物种多样性[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4328-4339
- [5] 高述民,马凯,杜希华,等. 文冠果(*Xanthoceras sorbifolia*)研究进展[J]. 植物学通报, 2002, 19(3): 296-301
- [6] 王晋华,李凤兰,高荣孚. 文冠果花性分化及其花药内淀粉动态[J]. 北京林业大学学报, 1992, 14(3): 54-59
- [7] 刘武林,马丽玲. 文冠果的花粉及其生活力的研究[J]. 东北师大学报:自然科学版, 1982(3): 57-63
- [8] 彭伟秀,李凤兰,王保柱. 文冠果同源异型变异株的发现[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(5): 92-94
- [9] 杜盛,徐贵锋,徐东翔. 文冠果落果与内源脱落酸的关系[J]. 华北农学报, 1986, 1(4): 90-95
- [10] 徐东翔. 文冠果落果机理及提高座果率和种子品质的研究[J]. 西北植物学报, 1990, 10(2): 117-127
- [11] 柴春山,芦娟,蔡国军,等. 文冠果人工种群的果实发育与落花落果特性研究[J]. 植物研究, 2012, 32(1): 110-114
- [12] 郑彩霞,李凤兰. 文冠果两性花花粉败育原因的进一步研究[J]. 北京林业大学学报, 1993, 15(1): 78-84
- [13] 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
- [14] 马凯,高述民,胡青,等. 文冠果雄蕊发育的解剖学及雄性不育蛋白的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(5): 40-42
- [15] 胡青. 文冠果两种不同类型花中雌蕊发育情况的比较研究[D]. 北京:北京林业大学, 2004
- [16] 牟洪香,候新村,刘巧哲. 木本能源植物文冠果的表型多样性研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(3): 350-355
- [17] 芦娟,柴春山,蔡国军,等. 甘肃定西文冠果花的表型多样性研究[J]. 林业资源管理, 2011(6): 49-53
- [18] 孙琳琳,赵登超,韩传明,等. 文冠果实生植株果实经济性状遗传性分析[J]. 山东农业科学, 2012, 44(1): 25-28
- [19] 杨雨春,赵佳宁,张忠辉,等. 文冠果不同群体果实和种子性状综合评价研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(16): 36-40
- [20] 侯元凯,黄琳,杨超伟,等. 文冠果种子性状与果实性状的相关性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(9): 24-27
- [21] 汪智军,张东亚. 文冠果花结构特性与结实性的相关性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(24): 14564-14565
- [22] 敖妍. 文冠果种子产量影响因素分析[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 300-304
- [23] 侯元凯,黄琳,周忠惠. 文冠果果实性状相关性研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(3): 395-398
- [24] 中国林科院林研所经济林室文冠果组,内蒙古和林格尔县浑河林场科研组. 文冠果主要性状与结实量的关系研究[J]. 林业科技通讯, 1980(8): 11-14
- [25] 汪智军,张东亚,古丽江. 文冠果树种类型的划分及优良高产单株的筛选[J]. 经济林研究, 2011, 29(1): 128-131