



尧云萍, 赵兰, 何万存, 等. 南酸枣果实表型性状及发芽率地理变异研究[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(5): 996–1006.
YAO Y P, ZHAO L, HE W C, et al. Study on geographic variation of *Choerospondias axillaris* fruit phenotype characters and germination[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(5): 996–1006.

南酸枣果实表型性状及发芽率 地理变异研究

尧云萍, 赵 兰, 何万存, 胡百强, 晏雨鸿, 陈梦义, 丁 菲, 吴南生*

(江西农业大学 园林与艺术学院/江西省林木育种中心/南酸枣研究所/职业师范学院, 江西 南昌 330045)

摘要:【目的】对来自湖北、湖南、广西 15 个种源的南酸枣果实表型性状进行测定, 在江西省九江市开展发芽率试验, 为南酸枣进一步优质资源选育提供参考。【方法】对各种源果实的 9 个表型性状及发芽率进行方差分析及多重比较、对指标间及其与地理因子进行相关性分析和聚类分析; 在表型性状及发芽率主成分分析的基础上进行综合评价。【结果】15 个种源间果纵径无显著差异, 其他果实表型性状及发芽率差异显著, 变异系数范围为 6.90% ~ 45.44%, 变异程度为发芽率>果肉鲜质量>果鲜质量>核鲜质量>核形指数>果横径>核纵径>核横径>果纵径>果形指数; 相关性结果表明性状间存在显著相关性, 性状与地理因子存在关系如下: 果横径与经度呈极显著正相关, 相关性系数为 0.717; 果鲜质量与纬度呈极显著正相关, 相关性系数为 0.696; 果形指数与经度呈显著负相关, 相关性系数为 -0.527; 核鲜质量与纬度呈显著正相关, 相关性系数为 0.602; 果肉鲜质量与纬度呈极显著正相关, 相关性系数为 0.644; 发芽率与经度、纬度呈显著正相关, 相关性系数分别为 0.522、0.601; 聚类分析将其划分为 3 个类群, 第 I 类群(含湖北咸安), 此类群果大、果核大、果卵圆形、果肉较多、发芽率低; 第 II 类群果小、果核小、果肉最少、发芽率较高; 第 III 类群(含湖北秭归), 此类群果最大、果核最大、果近圆形、果肉最多、发芽率最高; 主成分分析表明 3 个主成分的特征值均大于 1, 累计贡献率达 95.63%; 供试种源中, 湖北咸安种源综合得分最高, 广西苍梧种源综合得分最低。【结论】因地理差异, 15 个种源南酸枣果实表型性状及发芽率多样性较为丰富, 且受经纬度影响明显, 南酸枣表型性状及发芽率在纬度带上都未形成明显分布规律, 在经度上形成规律如下: 果横径、核横径形成从西向东变宽的变化趋势, 果形、核形从东向西由近圆形变为椭圆形的变化趋势, 平均发芽率形成从西向东变高的变化趋势。供试种源中, 湖北咸安种源南酸枣果实表型性状表现及发芽率最佳, 广西苍梧种源表现最差。

关键词: 南酸枣; 种源; 果实表型性状; 发芽率

中图分类号: S794 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2021)05-0996-11

A Study on Geographic Variation of *Choerospondias axillaris* Fruit Phenotype Characters and Germination

YAO Yunping, ZHAO Lan, HE Wancun, HU Baiqiang, YAN Yuhong,
CHEN Mengyi, DING Fei, WU Nansheng*

收稿日期: 2020-12-12 修回日期: 2020-12-30

基金项目: 江西省国家林木种质资源库建设项目(2018-360000-0201-015493)、江西省重点研发计划项目(20171BBF60011)和江西省林业科技创新专项经费项目(201608)

Project supported by the National Forest Tree Germplasm Bank Construction Project in Jiangxi Province (2018-360000-0201-015493), Jiangxi Province Key R&D Program Project (20171BBF60011) and Jiangxi Province Forestry Science and Technology Innovation Special Fund Project (201608)

作者简介: 尧云萍, orcid.org/0000-0002-0945-0855, 15079464920@163.com; *通信作者: 吴南生, 教授, 博士, 主要从事经济林、园林植物与观赏园艺研究, orcid.org/0000-0001-6070-9538, rensh111@126.com。

(School of Landscape Architecture and Art, Jiangxi Forest Breeding Center, Research Institute of Southern *Choerospondias Axillaris*, College of Vocational Teachers, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: [Objective] By taking use of 15 *Choerospondias axillaris* germplasms that were collected from Hubei, Hunan, and Guangxi, the phenotypic traits of *C. axillaris* fruit were measured, the germination rate test was carried out in Jiujiang City, Jiangxi Province, which provides references for further selection of high-quality provenances of *C. axillaris*. [Method] Variance analysis and multiple comparisons of 9 phenotypic traits of fruits and germination rates of various provenance were performed, the correlation between the indicators and geographic factors was analyzed, and cluster analysis on various provenances was performed; based on the principal component analysis of traits and germination rate, comprehensive evaluation of various provenances was carried out. [Result] There is no significant difference in fruit longitudinal diameters among the 15 provenances, and other phenotypic characteristics and germination rates are significantly different among the provenances. The coefficient of variation ranges from 6.90% to 45.44%. The degree of variation is germination rate > fresh fresh > fresh stone weight > fruit stone shape index > fruit diameter > stone length > stone diameter > fruit length > fruit shape index. The correlation result shows that there is a significant correlation among the traits, and the relationship between traits and geographic factors is as follows: fruit diameter and longitude are extremely significantly positively correlated, with a correlation coefficient of 0.717; fruit fresh weight and latitude are extremely significantly positively correlated, with a correlation coefficient of 0.696; fruit shape index and longitude have significant negative correlation, with a correlation coefficient of -0.527; stone fresh weight and latitude are significantly positively correlated, with a correlation coefficient of 0.602; fresh fresh and latitude have extremely significant positive correlation, the correlation coefficient was 0.644; the germination rate was significantly positively correlated with longitude and latitude, and the correlation coefficients were 0.522 and 0.601 respectively; cluster analysis divides it into three groups, the first group (including Xian'an, Hubei), which has large fruits, large pits, oval fruits, more flesh and low germination rate; group II, which has small fruit, small pit, least flesh, and higher germination rate; group III (including Hubei Zigui), which has the largest group of fruits, the largest core, nearly round fruit, and flesh the most and the highest germination rate; principal component analysis shows that the characteristic values of the three principal components were all greater than 1, and the cumulative contribution rate reached 95.63%. Among the tested provenances, Xian'an, Hubei provenance has the highest score, and that of Guangxi Cangwu provenance is the lowest. [Conclusion] Due to geographic differences, the 15 provenances of *Choerospondias axillaris* fruit phenotypic traits and germination rates are more diverse. The phenotypic traits and germination rate of *Choerospondias axillaris* fruit are significantly affected by the latitude and longitude. There is no obvious distribution law, the law of formation in longitude is as follows: the horizontal diameter of the fruit and the horizontal diameter of the core show a trend of widening from west to east, and the change in the shape of the fruit and the core from east to west shows a trend of from nearly circular to oval. The change trend of the shape and the average germination rate shows a rising trend from west to east. Among the tested provenances, the phenotypic traits and germination rate of Jujube from Xian'an, Hubei are the best, and those of Cangwu from Guangxi are the worst.

Keywords: *Choerospondias axillaris*; provenance; fruit phenotypic traits; germination rate

【研究意义】南酸枣(*Choerospondias axillaris*)为漆树科南酸枣属落叶乔木,主要分布在中国长江以南、印度、中南半岛和日本等。南酸枣果实、果皮、树皮、树叶等多个部位含黄酮类、甾醇、有机酸、香豆素、糖类、挥发油、鞣质及其他酚性成分等多种生理活性成分^[1-4]。药食同源,核是良好的活性炭原料,木材可作贴面板材料^[5],南酸枣耐贫瘠、适应性强^[6]、分布面广,南酸枣林下有良好的发展林下经济的空间和

条件,有良好地力维护的自然能力^[7-9],为持续利用和发展提供了条件,具有较高的生态效益。因此,对南酸枣的研究和开发的前景十分广阔。【前人研究进展】南酸枣研究基础较薄弱^[10],如良种水平还不高,栽培技术的提高还有很大潜力,木材利用和果品加工领域^[11-12]还不够普遍,不够充分。就南酸枣的种源研究工作来说,目前采种覆盖区域不够全面,对种源差异与地理分布的关系研究少^[13-15]。黄丽莉等^[16]对江西、福建、浙江种源的南酸枣果实性状进行差异对比;王小安等^[17]通过果实表型研究将福建地区的49份南酸枣资源分为5组,对南酸枣表型性状与地理因子的关系未作进一步研究。【本研究切入点】表型性状能直接反映植物的生长发育情况,植物基因比较稳定,因此植物在不同自然环境中产生表型差异主要是环境导致的。表型性状分析作为研究植物遗传多样性的重要方法,已被广泛应用于花生(*Arachis hypogaea*)^[18]、玉米(*Zea mays*)^[19]、胡麻(*Linum usitatissimum* L.)^[20]、野杏(*Armeniaca vulgaris* var. *ansu*)^[21]等研究。【拟解决的关键问题】本研究通过对采自湖南、湖北、广西3个省份15个种源的南酸枣果实表型性状及发芽率进行方差分析,对各表型性状间及其地理因子进行相关性分析,以揭示南酸枣果实表型性状及发芽率的变异规律,并通过聚类分析及综合评价,为南酸枣进一步的资源选育、收集保存提供参考,优化南酸枣研究和开发资源配置。

1 材料与方法

1.1 种源地、试验地概况

1.1.1 种源地概况 从南酸枣中国主要分布区中选择湖南、湖北、广西3个省15个区县采集南酸枣果实,各地区种源编号、具体采种点地理位置信息见表1,地理因子中经度、纬度和海拔的数据均为采种点GPS记录数据。

表1 南酸枣15个种源地地理位置概况
Tab.1 Geographical situation of 15 provenances of *Choerospondias axillaris*

种源号 Provenance number	种源 Provenance	东经 East longitude	北纬 North latitude	海拔/m Altitude
1	湖北通山县	114°31′	29°57′	102~210
2	湖北崇阳县	113°59′	29°61′	74~219
3	湖北赤壁市	113°56′	29°70′	59~219
4	湖北咸安区	114°18′	29°80′	129~130
5	湖北秭归县	110°53′	30°87′	178~584
6	湖南宁乡市	112°04′	28°09′	154~191
7	湖南安化县	111°46′	28°17′	398~557
8	湖南桃源县	111°11′	29°05′	71~240
9	湖南湘西苗族土家族自治州	109°49′	29°10′	594~662
10	湖南湘潭市	112°49′	27°45′	66~92
11	广西上林县	108°35′	23°33′	74~226
12	广西阳朔县	110°20′	24°53′	120~179
13	广西钟山县	111°15′	24°28′	179~391
14	广西苍梧县	111°29′	23°41′	80~191
15	广西平南县	110°24′	23°43′	97~405

1.1.2 播种试验地概况 发芽试验地为江西省林木育种中心林丰林场,地处江西省南昌市安义县和九江市永修县交界处,东经115°39′、北纬28°57′、海拔189 m、气压1 002.1 hPa,属中亚热带温湿气候类型。历年平均气温17.7℃,极端最高气温40℃,极端最低气温-15.2℃。历年平均无霜期258 d,历年平均降雨量1 515.7 mm,全年降雨量分配不均,历年平均日照时数为1 853.1 h,日照率为42%。

1.2 试验材料

采种方法参照国家林业局《林木种质资源普查技术规程》^[22],选择优树采集果实,果实转为黄色时开始采样。10—12月是果实成熟期,于2019年11月至12月采种,湖南、湖北、广西3个省每个省收集5个县南酸枣种质资源,分别为湖北通山、湖北崇阳、湖北赤壁、湖北咸安、湖北秭归、湖南宁乡、湖南安化、湖南桃源、湖南湘西苗族土家族自治州、湖南湘潭、广西上林、广西阳朔、广西钟山、广西苍梧、广西平南。每个县域种源收集10个单株,每个单株不少于200粒果实,采种株间间隔距离不少于100 m,根据实际情况,在分布区范围内可以适当增加家系和种源。共收集15个县市南酸枣种源(表1)。

1.3 试验方法

1.3.1 育苗方法 2020年1—3月种子贮藏,4月初进行温室播种育苗,培养土为田园土:木屑:沙=6:3:1,消毒杀菌土壤施肥后使用,育苗方式采用32穴的育苗盘,长宽高规格为0.54 m×0.28 m×0.05 m,共15×10个育苗盘。播种时每穴播一粒种子,每个育苗盘播30粒种子,共15个参试种源。播种后进行浇水、通风、防病虫害等日常管理。

1.3.2 果实及果核表型性状测定 选取6个描述性状和2个形状指标作为研究指标,包括果纵径FL:Fruit Length,果横径FD:Fruit Diameter,果鲜质量FW:Fresh Fruit Weight,果形指数FSI:Fruit Shape Index,核纵径FSL:Fruit Stone length,核横径FSD:Fruit Stone Diameter,核鲜质量FSW:Fresh Stone Weight,核形指数FSSI:Fruit Stone Shape Index,果肉鲜质量FF:Fresh flesh。其中形状指数用纵横径比值表示,果肉鲜质量为果鲜质量与核鲜质量的差值。每个种源随机抽取30×10个饱满的果实,分别置于分析天平中称量并记录;对经过处理的南酸枣果核,随机抽取30×10粒果核,置于分析天平中称量并记录(精度保留至0.001 g)。采用游标卡尺准确测量果实及果核的纵径和横径(精度保留至0.01 mm)。

1.3.3 数据分析 采用Excel2016对基础数据进行录入、整理和统计;SPSS23.0软件对测试数据进行方差分析、多重比较和相关性分析;采用离差平方和,根据欧式距离利用Origin 2019b进行聚类分析。

发芽率计算公式^[23]:发芽率=全部发芽数/播种种子粒数 (1)

变异系数计算方法^[24]如下:CV=(S/X)*100% (2)

式(2)中:S为标准差;X为平均值。

各表型性状的种源重复力^[25](T): $T=1-1/F$ (3)

式(3)中:F为该表型性状种源间方差分析的F值。

所有表型性状数据通过SPSS23.0进行标准化处理,对标准化数据进行主成分分析,按照特征值大于1的标准提取主成分,以各表型性状的特征向量值为依据确定各主成分的权重并构建综合得分函数方程^[25],最后根据综合得分进行种源排序。

2.1 不同种源南酸枣果实表型性状及其发芽率差异

对15个种源南酸枣果实和果核的6个数量性状进行测量,计算果实、果核的形状指数及果肉鲜质量,并统计发芽率GR(Germination rate)。表2表明,种源间果纵径(FL)无显著差异,其他7个表型性状均在2个或2个以上种源间存在显著差异($P<0.05$),说明15个种源南酸枣果实表型性状多样性较丰富。4号湖北咸安种源的果纵径(FL)、果横径(FD)、果鲜质量(FW)、核横径(FSD)、核鲜质量(FSW)、果肉鲜质量(FF)均显著高于其他种源;5号湖北秭归种源的果形指数(FSI)、核纵径(FSL)均显著高于其他种源;2号湖北崇阳种源的核形指数(FSSI)显著高于其他种源。15个种源南酸枣平均果形指数<1.3,果实大部分呈近圆形;平均核形指数>1.3,果核大部分呈卵圆形;其中2号湖北崇阳、5号湖北秭归、12号广西阳朔3个种源的核形指数>1.5,果核呈长卵圆形。15个种源发芽率范围在28%~67%,其中7号湖南安化种源的发芽率最高。

表3表明,15个种源南酸枣果实表型性状及发芽率的种源间变异系数范围为6.90%~45.44%,变异程度为发芽率>果肉鲜质量>果鲜质量>核鲜质量>核形指数>果横径>核纵径>核横径>果纵径>果形指数。发芽率的变异系数最大,为45.44%;其次是果肉鲜质量,变异系数为18.26%,说明种源间的发芽率及核鲜质量差异较大。从种源重复力来看,果纵径的重复力最低,仅38.91%;果鲜质量、果形指数、核鲜质量、核形指数的重复力均高于80%,说明这4个性状稳定遗传;发芽率的重复力较低,为65.55%,说明发芽率受环境影响较大。

表 2 不同种源南酸枣果实表型性状及发芽率的多重比较
Tab.2 Multiple comparisons of phenotypic characters and germination rate
of *Choerospondias axillaris* from different provenances

$\bar{x} \pm s, n = 300$

种源 Provenance number	果纵径/mm FL	果横径/mm FD	果鲜质量/g FW	果形指数 FSI	核纵径/mm FSL	核横径/mm FSD	核鲜质量/g FSW	核形指数 FSSI	果肉鲜质量/g FF	发芽率 GR
1	28.68±1.32 ^a	23.91±1.59 ^{ab}	9.07±0.33 ^{abcd}	1.20±0.10 ^{ab}	20.85±1.65 ^{ab}	14.93±0.79 ^{ab}	2.64±0.26 ^a	1.40±0.05 ^{abcde}	6.36±0.52 ^{bcd}	0.44±0.22 ^{ab}
2	28.97±2.09 ^a	24.03±1.26 ^{ab}	9.32±0.54 ^{abcd}	1.21±0.05 ^{ab}	22.15±1.18 ^{ab}	14.18±0.94 ^a	2.85±0.19 ^{ab}	1.58±0.16 ^f	6.46±0.43 ^{bcd}	0.57±0.19 ^{ab}
3	27.97±3.13 ^a	23.81±2.63 ^{ab}	8.81±1.71 ^{abc}	1.18±0.13 ^a	21.58±1.77 ^{ab}	15.01±1.34 ^{ab}	2.74±0.41 ^{ab}	1.44±0.10 ^{bcdef}	6.07±1.44 ^{abc}	0.58±0.27 ^{ab}
4	29.81±0.35 ^a	25.55±0.22 ^b	10.89±0.26 ^d	1.17±0.01 ^a	22.39±0.30 ^b	16.21±0.15 ^b	3.45±0.06 ^c	1.38±0.01 ^{abcd}	7.45±0.24 ^d	0.63±0.19 ^b
5	29.39±0.38 ^a	21.49±0.88 ^a	10.45±1.02 ^{cd}	1.37±0.05 ^c	22.70±0.80 ^b	14.70±0.79 ^{ab}	3.24±0.12 ^{bc}	1.55±0.05 ^{ef}	7.21±0.93 ^{cd}	0.42±0.20 ^{ab}
6	29.12±1.09 ^a	23.52±0.96 ^{ab}	9.50±0.96 ^{bcd}	1.24±0.04 ^{ab}	22.04±1.05 ^{ab}	14.96±0.64 ^{ab}	2.64±0.35 ^a	1.48±0.10 ^{bcdef}	6.86±0.85 ^{bcd}	0.64±0.17 ^b
7	29.05±1.56 ^a	24.20±1.66 ^{ab}	9.70±1.31 ^{bcd}	1.20±0.04 ^{ab}	19.56±2.00 ^a	14.71±1.37 ^{ab}	2.80±0.35 ^{ab}	1.34±0.13 ^{abc}	6.89±1.15 ^{bcd}	0.67±0.12 ^b
8	27.90±1.48 ^a	22.93±0.99 ^{ab}	8.76±1.11 ^{abc}	1.22±0.04 ^{ab}	20.78±1.70 ^{ab}	15.72±1.19 ^{ab}	2.69±0.17 ^a	1.32±0.04 ^{ab}	6.07±1.01 ^{abcd}	0.50±0.21 ^{ab}
9	27.08±3.64 ^a	21.70±3.62 ^a	9.26±1.45 ^{abcd}	1.26±0.05 ^{abc}	20.07±2.73 ^{ab}	15.73±1.34 ^{ab}	2.79±0.40 ^{ab}	1.27±0.08 ^a	6.47±1.23 ^{bcd}	0.40±0.17 ^{ab}
10	29.24±2.72 ^a	23.48±2.92 ^{ab}	9.12±2.06 ^{abcd}	1.25±0.04 ^{ab}	21.97±1.90 ^{ab}	15.52±1.50 ^{ab}	2.93±0.37 ^{abc}	1.42±0.10 ^{abcdef}	6.20±1.79 ^{abcd}	0.51±0.21 ^{ab}
11	29.07±1.13 ^a	23.14±1.01 ^{ab}	8.70±0.91 ^{abc}	1.26±0.03 ^{abc}	21.56±1.13 ^{ab}	14.22±0.56 ^a	2.56±0.39 ^a	1.52±0.03 ^{def}	6.15±1.05 ^{abcd}	0.42±0.21 ^{ab}
12	28.70±0.75 ^a	22.12±1.23 ^a	7.51±0.66 ^a	1.30±0.08 ^{bc}	22.23±0.51 ^b	15.00±0.96 ^{ab}	2.97±0.46 ^{abc}	1.49±0.08 ^{cdef}	4.54±0.41 ^a	0.42±0.24 ^{ab}
13	28.66±1.06 ^a	23.51±1.10 ^{ab}	9.22±1.01 ^{abcd}	1.22±0.04 ^{ab}	20.86±1.11 ^{ab}	14.71±0.78 ^{ab}	2.75±0.39 ^{ab}	1.42±0.07 ^{abcdef}	6.47±0.66 ^{bcd}	0.37±0.17 ^{ab}
14	27.50±1.36 ^a	23.12±1.01 ^{ab}	7.91±0.55 ^{ab}	1.19±0.08 ^{ab}	20.32±1.63 ^{ab}	14.59±1.25 ^{ab}	2.49±0.34 ^a	1.40±0.14 ^{abcde}	5.41±0.76 ^{ab}	0.28±0.15 ^a
15	27.24±2.77 ^a	22.65±1.62 ^{ab}	8.06±1.82 ^{ab}	1.20±0.07 ^{ab}	20.48±1.96 ^{ab}	14.53±1.14 ^{ab}	2.43±0.43 ^a	1.41±0.13 ^{abcde}	5.63±1.62 ^{abc}	0.37±0.33 ^{ab}

1:湖北通山,2:湖北崇阳,3:湖北赤壁,4:湖北咸安,5:湖北秭归,6:湖南宁乡,7:湖南安化,8:湖南桃源,9:湖南湘西苗族土家自治州,10:湖南湘潭,11:广西上林,12:广西阳朔,13:广西钟山,14:广西苍梧,15:广西平南。

用Tukey法进行多重比较。同列中有不同小写字母者表示组间差异显著($P<0.05$)。

1: Hubei Tongshan, 2: Hubei Congyang, 3: Hubei Chibi, 4: Hubei Xianan, 5: Hubei Zigui, 6: Hunan Ningxiang, 7: Hunan Anhua, 8: Hunan Taoyuan, 9: Hunan Xiangxi, 10: Hunan Xiangtan, 11: Guangxi Shanglin, 12: Guangxi Yangshuo, 13: Guangxi Zhongshan, 14: Guangxi Cangwu, 15: Guangxi Pingnan.

Use Tukey's method for multiple comparisons. Those with different lowercase letters in the same column indicate significant differences between groups ($P<0.05$).

表 3 南酸枣果实表型性状及发芽率的离散度分析
Tab.3 Analysis of the phenotypic traits and germination rate dispersion of *Choerospondias axillaris*

指标 Index	果纵径 FL	果横径 FD	果鲜质量 FW	果形指数 FSI	核纵径 FSL	核横径 FSD	核鲜质量 FSW	核形指数 FSSI	果肉鲜质量 FF	发芽率 GR
极差 Range	10.87	12.47	7.19	0.43	9.00	5.59	1.77	0.69	6.72	0.87
最小值 Max.	21.15	16.29	5.03	1.01	16.12	12.88	1.98	1.07	2.59	0.03
最大值 Min.	32.03	28.76	12.22	1.43	25.12	18.46	3.75	1.76	9.31	0.90
平均值 Average	28.58	23.34	9.19	1.23	21.29	15.01	2.81	1.43	6.37	0.49
标准差 Standard deviation	1.97	1.94	1.37	0.08	1.75	1.13	0.402	0.12	1.16	0.22
变异系数(种源间)/% CV (among provenances)	6.90	8.30	14.89	6.58	8.23	7.56	14.30	8.53	18.26	45.44
F值 F value	1.64	3.34	5.05	5.72	3.41	2.75	6.34	7.07	4.02	2.90
重复力 T/%	38.91	70.10	80.20	82.50	70.64	63.62	84.23	85.85	75.12	65.55

**表示差异 1% 水平显著性。

** significant at 0.01 level.

2.2 南酸枣果实表型性状及其发芽率的相关性

2.2.1 南酸枣果实表型性状及其发芽率间的相关性 表4表明,果纵径与果鲜质量、核纵径、核鲜质量、果肉鲜质量、发芽率呈显著正相关($P<0.05$),相关性系数分别为0.590、0.635、0.637、0.546、0.556;果横径与果形指数呈极显著负相关($P<0.01$),相关性系数为-0.782,与发芽率呈显著正相关($P<0.05$),相关性系数分别为0.605;核鲜质量与核鲜质量、果肉鲜质量呈极显著正相关($P<0.01$),相关性系数分别为0.701、0.978,与发芽率呈显著正相关,相关性系数为0.535;核纵径与核鲜质量呈显著正相关($P<0.05$),相关性系数为0.577,与核形指数呈极显著正相关($P<0.05$),相关性系数为0.705;核横径与核鲜质量呈显著正相关($P<0.05$),相关性系数为0.528,与核形指数呈极显著负相关($P<0.01$),相关性系数为-0.663;核鲜质量与果肉鲜质量呈显著正相关,相关性系数为0.541。

表4 南酸枣果实表型性状及发芽率间的相关系数

Tab.4 Correlation coefficients among phenotypic traits and germination rate of <i>Choerospondias axillaris</i>										
指标 Index	果纵径 FL	果横径 FD	果鲜质量 FW	果形指数 FSI	核纵径 FSL	核横径 FSD	核鲜质量 FSW	核形指数 FSSI	果肉鲜质量 FF	发芽率 GR
果纵径 FL	1									
果横径 FD	0.406	1								
果鲜质量 FW	0.590*	0.395	1							
果形指数 FSI	0.244	-0.782**	0.040	1						
核纵径 FSL	0.635*	-0.003	0.275	0.443	1					
核横径 FSD	0.019	0.165	0.356	-0.115	0.060	1				
核鲜质量 FSW	0.637*	0.169	0.701**	0.297	0.577*	0.528*	1			
核形指数 FSSI	0.463	-0.123	-0.038	0.420	0.705**	-0.663**	0.070	1		
果肉鲜质量 FF	0.546*	0.428	0.978**	-0.030	0.176	0.249	0.541*	-0.039	1	
发芽率 GR	0.556*	0.605*	0.535*	-0.259	0.232	0.244	0.376	0.014	0.014	1

*表示差异 5% 水平显著性,**表示差异 1% 水平显著性。

* significant at 0.05 level, ** significant at 0.01 level.

2.2.2 南酸枣果实表型性状及其发芽率与地理因子的相关性 表5表明,果横径与经度呈极显著正相关($P<0.01$),相关性系数为0.717;果鲜重与纬度呈极显著正相关($P<0.01$),相关性系数为0.696;果形指数与经度呈显著负相关($P<0.05$),相关性系数为-0.527;核鲜质量与纬度呈显著正相关($P<0.05$),相关性系数为0.602;果肉鲜质量与纬度呈极显著正相关($P<0.01$),相关性系数为0.644;发芽率与经度、纬度呈显著正相关($P<0.05$),相关性系数分别为0.522、0.601,与海拔呈负相关,但未达到显著水平。说明南酸枣果实的形状性状与经度有关,质量与纬度有关,发芽率受经纬度影响,但均与海拔无显著相关性。

表5 南酸枣果实表型性状及发芽率与地理因子的相关系数

Tab.5 Correlation coefficients of phenotypic traits and germination rate of <i>Choerospondias axillaris</i> fruit with geographical factors										
地理因子 Geographic factor	果纵径 FL	果横径 FD	果鲜质量 FW	果形指数 FSI	核纵径 FSL	核横径 FSD	核鲜质量 FSW	核形指数 FSSI	果肉鲜质量 FF	发芽率 GR
东经 East longitude	0.310	0.717**	0.363	-0.527*	0.278	0.202	0.319	0.063	0.342	0.522*
北纬 North latitude	0.325	0.224	0.696**	0.051	0.315	0.445	0.602*	-0.060	0.644**	0.601*
海拔 Altitude	-0.191	-0.322	0.323	0.249	-0.415	0.007	0.133	-0.284	0.326	-0.059

*表示差异 5% 水平显著性,**表示差异 1% 水平显著性。

* significant at 0.05 level, ** significant at 0.01 level.

2.3 不同种源南酸枣果实表型性状及发芽率的聚类分析

将9个特征参数的原始数据进行标准化转换,对15个南酸枣种源进行聚类分析,表6、图1表明,在平方欧氏距离为11.88时可将其划分为3个类群,第I类群包括湖北咸安,地理位置相对靠东,这一类群果大、果核大、果卵圆形、果肉较多、发芽率较低;第II类群包含的种源最多,地理位置较其他两类大部分种源处于中部位置,这一类群南酸枣果小、果核小、果肉最少、平均发芽率较高,包括2个亚群:第1个亚群包括湖北赤壁、湖北通山、湖北崇阳、湖南宁乡、湖南湘潭、湖南安化、广西上林、广西钟山,该亚群果最小、果核最小、果近圆形、发芽率高;第2个亚群包括湖南桃源、湖南湘西苗族土家族自治州、广西平南、广西苍梧、广西阳朔,该亚群果近圆形、发芽率最低;第III类群包括湖北秭归,地理位置相对靠西,这一类群果最大、果核最大、果近圆形、果肉最多、发芽率最高;从聚类结果来也可看出,3个类群南酸枣表型性状及发芽率在纬度带上都未形成明显分布规律,在经度上形成明显分布规律,规律如下:果横径、核横径形成从西向东变宽的变化趋势,果形、核形从东向西由近圆形变为椭圆形的变化趋势,平均发芽率形成从西向东变高的变化趋势。

表6 各类群南酸枣果实表型性状及发芽率的平均表现
Tab.6 The average performance of phenotypic traits and germination rate
of various types of *Choerospondias axillaris* fruits

分类	果纵径/mm	果横径/mm	果鲜质量/g	果形指数	核纵径/mm	核横径/mm	核鲜质量/g	核形指数	果肉鲜质量/g	发芽率
C.classification	FL	FD	FW	FSI	FSL	FSD	FSW	FSSI	FF	GR
I	29.39	21.49	10.45	1.37	22.70	14.70	3.24	1.55	7.21	0.42
II	1 28.84	23.73	9.18	1.22	21.34	14.79	2.74	1.45	6.43	0.53
	2 27.68	22.50	8.30	1.24	20.77	15.12	2.67	1.38	5.63	0.39
II(平均值)Mean	28.26	23.12	8.74	1.23	21.06	14.95	2.71	1.42	6.03	0.46
III	29.81	25.55	10.89	1.17	22.39	16.21	3.45	1.38	7.45	0.63

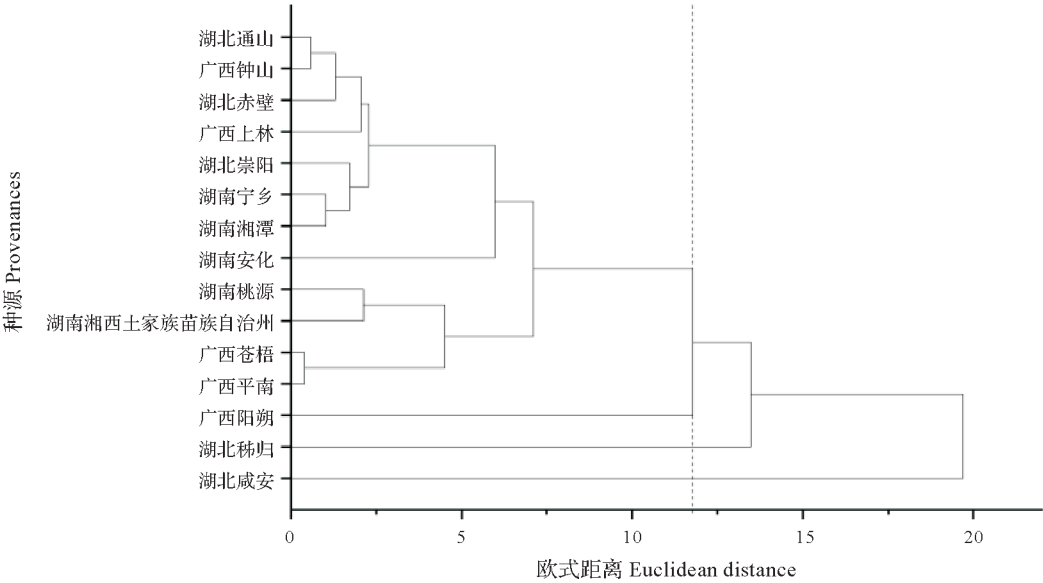


图1 不同种源南酸枣果实表型性状及发芽率的聚类结果

Fig.1 Clustering results of fruit phenotypic traits of *Choerospondias axillaris* from different provenances

2.4 不同种源南酸枣果实表型性状及发芽率的主成分分析

果形指数及核形指数作为形状指标,不作为评价南酸枣果实优良的指标,因此对不同种源南酸枣果纵径、果横径、果鲜质量、核纵径、核横径、核鲜质量、发芽率7个指标数据进行标准化处理后,以标准化数据为变量进行主成分分析。结果见表8,个主成分的特征值均大于1,累计贡献率达95.63%,表明这2个主成分代表了南酸枣果实表型性状及发芽率8个指标的绝大部分信息。第1主成分的贡献率为63.24%,其中果纵径、果鲜质量、果肉鲜质量的特征向量较高,说明第1主成分主要由这3个指标决定。第2主成分的贡献率为32.40%,其中核横径、核鲜质量的特征向量较高,说明第2主成分主要由这2个指标决定。

表 7 不同种源南酸枣果实表型性状及发芽率的标准化数值

Tab.7 Standardized values of phenotypic characters and germination rate of *Choerospondias axillaris* from different provenances

种源号 Provenance Number	各表型性状的标准化数值 Standardized value of each phenotypic trait							
	果纵径 FL	果横径 FD	果鲜质量 FW	核纵径 FSL	核横径 FSD	核形指数 FSW	果肉鲜质量 FF	发芽率 GR
1	0.046	0.838	-0.048	-0.378	0.002	-0.493	0.110	-0.347
2	0.501	0.703	0.262	0.896	-1.358	0.179	0.254	0.752
3	-0.761	0.491	-0.283	0.275	0.019	-0.231	-0.293	0.866
4	1.561	2.169	1.941	1.157	2.010	2.419	1.601	1.297
5	1.031	-1.746	1.471	1.494	-0.496	1.635	1.280	-0.512
6	0.690	0.211	0.455	0.776	-0.064	-0.605	0.792	1.383
7	0.602	0.867	0.669	-1.924	-0.479	-0.007	0.842	1.613
8	-0.850	-0.357	-0.337	-0.596	1.197	-0.418	-0.290	0.177
9	-1.519	-1.293	0.412	-1.031	1.578	0.328	0.258	-0.712
10	0.841	0.173	0.048	0.700	0.865	0.478	-0.122	0.231
11	0.627	-0.155	-0.401	0.253	-1.292	-0.903	-0.190	-0.540
12	0.160	-1.302	-2.016	0.906	-0.048	0.366	-2.404	-0.521
13	0.109	0.202	0.155	-0.509	-0.479	-0.194	0.263	-0.936
14	-1.355	-0.174	-1.246	-1.097	-0.678	-1.165	-1.202	-1.753
15	-1.683	-0.627	-1.085	-0.922	-0.778	-1.389	-0.897	-0.999

1:湖北通山,2:湖北崇阳,3:湖北赤壁,4:湖北咸安,5:湖北秭归,6:湖南宁乡,7:湖南安化,8:湖南桃源,9:湖南湘西苗族土家族自治州,10:湖南湘潭,11:广西上林,12:广西阳朔,13:广西钟山,14:广西苍梧,15:广西平南。

1: Hubei Tongshan, 2: Hubei Congyang, 3: Hubei Chibi, 4: Hubei Xianan, 5: Hubei Zigui, 6: Hunan Ningxiang, 7: Hunan Anhua, 8: Hunan Taoyuan, 9: Hunan Xiangxi, 10: Hunan Xiangtan, 11: Guangxi Shanglin, 12: Guangxi Yangshuo, 13: Guangxi Zhongshan, 14: Guangxi Cangwu, 15: Guangxi Pingnan.

表 8 不同种源南酸枣果实表型性状及发芽率的主成分分析

Tab.8 Principal analysis of phenotypic characters and germination rate of *Choerospondias axillaris* from different provenances

主成分 Principal Comonent	特征向量 Eigenvector								特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	累计贡献率/% Accumulated contribution rate
	果纵径 FL	果横径 FD	果鲜质量 FW	核纵径 FSL	核横径 FSD	核鲜质量 FSW	果肉鲜质量 FF	发芽率 GR			
1	0.215	0.171	0.228	0.158	-0.043	0.080	0.234	0.102	5.059	63.236	63.236
2	-0.029	0.078	-0.085	0.093	0.347	0.246	-0.160	-0.359	2.592	32.396	95.631

2.5 不同种源南酸枣果实表型性状的综合评价

将各性状对应主成分的特征向量先除以对应主成分特征值的算术平方根,再乘以对应主成分的贡献率,2个主成分同一表型性状计算结果的总和即为该表型性状的权重系数,根据各表型性状的权重系数构建的各种源南酸枣苗期生长性状综合得分的函数方程为 $Y_i=0.054X_{i1}+0.064X_{i2}+0.047X_{i3}+0.089X_{i4}+0.058X_{i5}+0.072X_{i6}+0.034X_{i7}-0.044X_{i8}$ 。式中, Y_i 为第*i*个种源的综合得分, X_{i1} 为果纵径的标准化数值, X_{i2} 为果横径的标准化数值, X_{i3} 为果鲜质量的标准化数值, X_{i4} 为核纵径的标准化数值, X_{i5} 为核横径的标准化数值, X_{i6} 为核鲜质量的标准化数值, X_{i7} 为果肉鲜质量的标准化数值, X_{i8} 为发芽率的标准化数值。

不同种源南酸枣果实表型性状及发芽率的最终综合评价结果表明见表 9,从高到低依次为湖北咸安、湖北秭归、湖南湘潭、湖北崇阳、湖南宁乡、湖北通山、湖北赤壁、湖南湘西土家族苗族自治州、广西

上林、广西钟山、湖南桃源、湖南安化、广西阳朔、广西平南,说明湖北咸安种源南酸枣果实表型性状表现及发芽率最佳,广西苍梧种源表现最差。从各指标的权重可以看出,果的表型性状的权重与果核的表型性状的权重系数均占比重较大,而发芽率的权重系数较小,因此果实的表型性状是评价南酸枣种源的主要指标。

表 9 不同种源南酸枣果实表型性状及发芽率的综合评价结果
Tab.9 Comprehensive evaluation results of phenotypic traits and germination rate
of *Choerospondias axillaris* from different provenances

种源 Provenance	综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking	种源 Provenance	综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking	种源 Provenance	综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking
通山 Tongshan	0.003	6	宁乡 Ningxiang	0.061	5	上林 Shanglin	-0.094	9
崇阳 Congyang	0.075	4	安化 Anhua	-0.122	12	阳朔 Yangshuo	-0.123	13
赤壁 Chibi	-0.062	7	桃源 Taoyuan	-0.117	11	钟山 Zhongshan	-0.011	10
咸安 Xianan	0.705	1	湘西 Xiangxi	-0.083	8	苍梧 Cangwu	-0.328	14
秭归 Zigui	0.301	2	湘潭 Xiangtan	0.192	3	平南 Pingnan	-0.396	15

3 讨论与结论

3.1 讨论

研究结果表明,除了果纵径以外,15个种源的果实表型性状及发芽率差异显著,变异程度为发芽率>果肉鲜质量>果鲜质量>核鲜质量>核形指数>果横径>核纵径>核横径>果纵径>果形指数,结果与王小安等^[17]对49份南酸枣资源果实表型数量性状多样性分析研究中变异程度果鲜质量>果核鲜质量、果横径>果纵径、核形指数>果形指数结果一致,其他表型变异程度不一致。这种差异可能是因为本研究基于3个省份种源间的研究,而王小安的研究是基于福建省种源内的研究。

相关性研究结果表明,南酸枣果的表型性状之间互相影响,说明果实发育和果核特性具有正相关作用。南酸枣果实的形状性状与经度有关,质量与纬度有关,发芽率受经纬度影响,说明不同的地理因子中,经度和纬度对南酸枣果实性状及发芽率变异的影响较大。

从聚类分析的结果可以看出,划分的3个类群包括3个亚群,3个类群南酸枣表型性状地理分布情况近似形成从东向西方向平均发芽率变高的变化趋势,但进行聚类分析时出现了部分种源地理相隔很近却不属于同一类的情况,何霞等^[26]研究表示气候因子制约了苦楝的生长,说明气候因子对种源性状地理变异具有一定影响。湖北咸安单独归为一类,与相近的赤壁、通山等种源果实表型差异大,原因有待研究。湖北秭归单独划分为一类,可能与采种点地理位置相对其他采种点为高海拔山林中,形成天然地理隔离有关,并且采种南酸枣有300年历史,其他采种南酸枣群树龄基本在20~50年,南酸枣果实表型性状、发芽率与群体本身的发展阶段、树体的发育状况是否有关有待考证^[27]。同时聚类结果第一类和第三类种源数量较少,应扩大采种范围,对研究结果进行进一步考证。

3.2 结论

研究表明:15个种源南酸枣的果实表型性状及发芽率由于地理原因多样性较为丰富,南酸枣果实表型性状及发芽率受经纬度影响,南酸枣表型性状及发芽率在纬度带上都未形成明显分布规律,在经度上形成明显分布规律,规律如下:果横径、核横径形成从西向东变宽的变化趋势,果形、核形从东向西由近

圆形变为椭圆形的变化趋势,平均发芽率形成从西向东变高的变化趋势。供试种源中,湖北咸安种源南酸枣果实表型性状表现及发芽率最佳,广西苍梧种源表现最差。

致谢:江西农业大学园林与艺术学院研究生彭恒亮参与了种源收集及实验数据采集工作,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] 熊冬生,浦跃武,吴晓英.南酸枣植物在药物方面的研究概况及其应用前景[J].广东药学,2000,10(5):8-10.
XIONG D S, PU Y W, WU X Y. Research overview and application prospects of wild *Choerospondias axillaris* plant in medicine [J]. Guangdong pharmacy, 2000, 10(5): 8-10.
- [2] 翟宇鑫,陈军,李俦,等. ICP-AES法测定南酸枣及其提取物中矿质元素含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(4): 1052-1054.
ZHAI Y X, CHEN J, LI C, et al. Determination of mineral elements in *Choerospondias axillaris* and its extracts by ICP-AES method [J]. Spectroscopy and spectral analysis, 2015, 35(4): 1052-1054.
- [3] 李胜华,伍贤进,郑尧,等. 南酸枣树皮化学成分研究[J]. 中药材, 2009, 32(10): 1542-1544.
LI S H, WU X J, ZHENG Y, et al. Study on the chemical constituents of the bark of *Choerospondias axillaris* [J]. Chinese medicinal materials, 2009, 32(10): 1542-1544.
- [4] 刘晓庚,陈优生,丁悦琴. 南酸枣核仁油成分研究[J]. 粮食与油脂, 2001(10): 32-33.
LIU X G, CHEN Y S, DING Y Q. Study on the components of the nucleus oil of *Choerospondias axillaris* [J]. Cereals & oils, 2001(10): 32-33.
- [5] 钟景兵,李英键. 酸枣木材物理力学性质试验[J]. 广西林业科学, 1997, 26(1): 44-46.
ZHONG J B, LI Y J. Test on physical and mechanical properties of *Choerospondias axillaris* wood [J]. Guangxi forestry science, 1997, 26(1): 44-46.
- [6] 陈柏灵. 紫色土地南酸枣栽培技术措施试验研究[J]. 林业勘察设计(福建), 2014, 5(1): 129-133.
CHEN B L. Experimental study on cultivation techniques of *Choerospondias axillaris* in purple soil forest land [J]. Forestry investigation and design (Fujian), 2014, 5(1): 129-133.
- [7] 李胜蓝,方晰,项文化,等. 湘中丘陵区4种森林类型土壤微生物生物量碳氮含量[J]. 林业科学, 2014, 50(5): 8-16.
LI S L, FANG X, XIANG W H, et al. Soil microbial biomass carbon and nitrogen concentrations in four subtropical forests in hilly region of central hunan province, China [J]. Forestry science, 2014, 50(5): 8-16.
- [8] 孙伟军,方晰,项文化,等. 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7765-7773.
SUN W J, FANG X, XIANG W H, et al. Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in central Hunan, China [J]. Acta ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7765-7773.
- [9] 郭婧,喻林华,方晰,等. 中亚热带4种森林凋落物量、组成、动态及其周转期[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4668-4677.
GUO J, YU L H, FANG X, et al. Litter production and turnover in four types of subtropical forests in China [J]. Acta ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4668-4677.
- [10] 朱慧. 优良树种南酸枣研究综述[J]. 广西林业科学, 2005, 34(3): 122-126.
ZHU H. Study summary of superior tree species-*Choerospondias axillaris* [J]. Guangxi forestry sciences, 2005, 34(3): 122-126.
- [11] 陈豪,戴涛涛,陈军,等. 南酸枣糕成型机理的初探[J]. 食品工业科技, 2020, 41(1): 56-61, 68.
CHEN H, DAI T T, CHEN J, et al. Preliminary study on the forming mechanism of southern *Choerospondias axillaris* Cake [J]. Science and technology of food industry, 2020, 41(1): 56-61, 68.
- [12] 李景恩,龚毅,罗园珍. 正交试验优化南酸枣多糖的提取工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(7): 754-757.
LI J E, GONG Y, LUO Y Z. Study on extraction technology of polysaccharides from *Choerospondias axillaris* fruit by orthogonal Test [J]. Journal of food science and biotechnology, 2018, 37(7): 754-757.
- [13] 何贵平,陈益泰,孙银祥,等. 南酸枣地理种源苗期性状变异研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(2): 177-182.
HE G P, CHEN Y T, SUN Y X, et al. Study on variations of seedling traits in *Choerospondias axillaris* geographic provenances [J]. Forestry science research, 2003, 16(2): 177-182.
- [14] 何小三,廖振欣,王玉娟,等. 不同地理种源南酸枣苗期生长性状差异分析[J]. 南方林业科学, 2016, 44(3): 7-12.

- HE X S, LIAO Z X, WANG Y J, et al. The difference analysis of growth characters from different geographical provenance *Choerospondias axillaris* in seedling period[J]. Southern forestry science, 2016, 44(3): 7-12.
- [15] 区锦玮, 李光友, 徐建民, 等. 南酸枣家系叶及生理性状的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(4): 75-78.
- QU J W, LI G Y, XU J M, et al. Study on the leaf traits of families[J]. Journal of central south university of forestry and technology, 2017, 37(4): 75-78.
- [16] 黄丽莉, 李万和, 龚斌, 等. 不同产地南酸枣果实性状分析及评价[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(2): 24-27.
- HUANG L L, LI W H, GONG B, et al. Analysis and evaluation on fruit traits of *Choerospondias axillaries* in twenty different habitats[J]. Food research and development, 2016, 37(2): 24-27.
- [17] 王小安, 韦晓霞, 吴如健, 等. 49份福建南酸枣资源果实表型性状多样性分析[J]. 福建农业学报, 2019, 34(4): 400-408.
- WANG X A, WEI X X, WU R J, et al. Morphological diversity of 49 *Choerospondias axillaris* germplasms in fujian[J]. Fujian journal of agriculture, 2019, 34(4): 400-408.
- [18] 闫彩霞, 王娟, 张浩, 等. 基于表型性状构建中国花生地方品种骨干种质[J]. 作物学报, 2020, 46(4): 520-531.
- YAN C X, WANG J, ZHANG H, et al. Developing the key germplasm of Chinese peanut landraces based on phenotypic traits[J]. Acta agronomica Sinica, 2020, 46(4): 520-531.
- [19] TUCKER S L, DOHLEMAN F G, GRAPOV D, et al. Evaluating maize phenotypic variance, heritability, and yield relationships at multiple biological scales across agronomically relevant environments[J]. Plant, cell & environment, 2020, 43(4): 880-902.
- [20] 伊六喜, 高凤云, 周宇, 等. 胡麻种质资源表型性状的鉴定与分析[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(3): 411-419.
- YI L X, GAO F Y, ZHOU Y, et al. Evaluation and analysis of phenotypic traits of flax germplasm resources[J]. The Chinese journal of oil crops, 2020, 42(3): 411-419.
- [21] 董胜君, 高子英, 卢彩云, 等. 不同种源野杏无性系定量描述性状的变异及其分类[J]. 经济林研究, 2020, 38(3): 1-8.
- DONG S J, GAO Z W, LU C Y, et al. Study on quantitative descriptive traits of *Armeniaca vulgaris* var. *ansu* clones from different provenances[J]. Economic forest research, 2020, 38(3): 1-8.
- [22] 国家林业局. 林木种质资源普查技术规程[EB/OL]. (2016-06-21)[2020-11-11]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/21/content_5083964.htm.
- State Forestry Administration. Technical regulations for general survey of forest germplasm resources[EB/OL]. (2016-06-21)[2020-11-11]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-06/21/content_5083964.htm.
- [23] 叶红, 幸福梅, 杨红. 不同种源江孜沙棘种子发芽试验研究[J]. 高原农业, 2018(3): 274-278.
- YE H, XIN F M, YANG H. Experimental study on germination of seeds from different seed sources of *Gyangzê Hippophae rhamnoides*[J]. Plateau agriculture, 2018(3): 274-278.
- [24] 赵阳, 毕泉鑫, 句娇, 等. 文冠果种子及苗期生长性状地理种源变异[J]. 林业科学研究, 2019, 32(1): 160-168.
- ZHAO Y, BI Q X, JU J, et al. Geographical provenance variation of seed and seedling growth traits of *Xanthoceras sorbifolium*[J]. Forestry research, 2019, 32(1): 160-168.
- [25] 郭松, 李在留, 薛建辉, 等. 不同种源掌叶木果实和种子表型性状多样性分析及综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 11-20.
- GUO S, LI Z L, XUE J H, et al. Diversity analysis and comprehensive evaluation on phenotypic traits of fruit and seed of *Handeliendron bodinieri* from different provenances[J]. Journal of plant resources and environment, 2018, 27(4): 11-20.
- [26] 何霞, 邓成, 杨嘉麒, 等. 苦楝种源间生长性状的早期地理变异分析[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(7): 45-54.
- HE X, DENG C, YANG J Q, et al. Geographic variation of growth traits in early stage for *Melia azedarach* among different provenances[J]. Journal of Beijing forestry university, 2018, 27(4): 11-20.
- [27] 曹忆, 李建华, 田春元, 等. 6个自然青檀居群种子形态特征及其与发芽率的相关分析[J]. 种子, 2015, 34(7): 95-100.
- CAO Y, LI J H, TIAN C Y, et al. The seed morphological characteristics of six wild *Pteroceltis tatarinowii* populations and the correlation analysis between characteristics and their germination rates, 2015, 34(7): 95-100.