

顶坛花椒结实性状表型多样性分析

朱亚艳¹,任世超²,徐嘉娟¹,侯娜^{1*}

(1. 贵州省林业科学研究院, 贵州 贵阳 550005; 2. 关岭县板贵乡林业站, 贵州 关岭 561301)

摘 要:以贵州花江峡谷地区特有经济树种顶坛花椒为研究对象,按海拔、坡向因素选取 3 个群体 32 个单株,调查了 9 个结实性状,采用多重比较、变异系数、相关分析、聚类分析等方法,分析顶坛花椒结实性状的多样性及群体间和群体内的变异特征和变异规律。结果表明,顶坛花椒结实性状在群体间和群体内均存在丰富的变异。3 个群体 9 个性状的平均变异系数为 29.81%(17.36%~50.96%),9 个形态性状的平均变异系数由大到小的顺序依次为果穗果粒密度(47.56%)>果穗果粒数(44.43%)>枝条结果部位长度(33.71%)>果穗宽(28.75%)>果枝直径(25.21%)>果穗长(24.61%)>果枝长宽比(22.54%)>果穗长宽比(21.23%)>果枝果穗密度(20.20%),表明果枝果穗密度和果穗长宽比较为稳定,而果穗果粒密度和果穗果粒数稳定性较低。相关分析表明,果穗性状和枝条性状间无显著相关关系。聚类分析表明,顶坛花椒结实性状的变异无空间特异性。为顶坛花椒种质资源的评价、利用及遗传改良提供了依据。

关键词:顶坛花椒;表型多样性;变异

中图分类号:S722.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)06-0140-06

Phenotypic Diversity of Fruit Bearing Characters in *Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensis*

ZHU Ya-yan¹, REN Shi-chao², XU Jia-juan¹, HOU Na^{1*}

(1. Guizhou Academy of Forestry, Guiyang, Guizhou 550005, China; 2. Bangui Forestry Station, Guanling, Guizhou 561301, China)

Abstract: Taking *Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensis* occurring in valley area of Huajiang, Guizhou Province as research object, 32 individual plants in 3 populations were sampled based on altitude and slope direction. Nine phenotypic traits were investigated by using multi-comparison, coefficient of variation (C. V), correlation analysis and cluster analysis to understand the diversity of fruiting characters, variation features within and between populations. The results showed that there were significant differences among the populations and individuals. The C. V of 9 traits ranged from 17.36% to 50.96%, with an average of 29.81%, and the order of average C. V for 9 phenotypic traits was in the order of fruit density (47.56%)> fruit numbers (44.43%)> fruited position length of branches (33.71%)> ear transverse diameter (28.5%)> branch diameter (25.21%)> ear longitudinal diameter (24.61%)> branch aspect ratio (22.45%)> length-width ratio of ear (21.23%)> ear density (20.20%), the stabilities of ear's length-width ratio and density were higher than those of other traits. Based on the correlation analysis, there were no significant correlation between the ear and bearing branch traits. The cluster analysis of 9 phenotypic characters from 32 individuals showed that there was no spatial specificity of bearing characters in *Z. planispinum* var. *dingtanensis* populations. The present study provided a scientific basis for the evaluation and use of germplasm resources, and genetic improvement of *Z. planispinum* var. *dingtanensis*.

Key words: *Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensis*; phenotypic diversity; variation

收稿日期:2016-01-26 修回日期:2016-03-14

基金项目:贵州省科技厅中药现代化项目(黔科合 ZY 字[2012]3002 号);贵州省安顺市农业科技合作攻关项目(黔安科农合[2013]10 号)。

作者简介:朱亚艳,女,硕士,研究方向:林木遗传改良。E-mail:zyynjfu@163.com

* 通信作者:侯娜,女,工程师,研究方向:森林培育。E-mail:houna1018@163.com

植物表型是其各种形态特征的组合,是基因表达与环境因子共同作用的结果。植物体在表型形态水平上的变异称为表型变异或表型多样性^[1],表型多样性是遗传多样性与环境多样性的综合体现,是遗传多样性研究的重要内容^[2-4]。形态特征的变化可作为遗传变异的表征,从表型性状可以得到最简便直接的遗传变异规律^[5-6]。利用表型性状揭示天然群体的遗传变异及其适应性被许多学者所应用^[7-10]。张彩霞^[11]等通过对腊梅天然群体表型多样性研究发现群体间变异是蜡梅表型性状变异的主要来源;表型多样性可作为紫丁香种质资源收集、保护以及育种亲本的选择依据^[12];李树发^[13]等以表型多样性研究为基础,提出香格里拉特有易危植物中甸刺玫的种质资源保护策略。

花椒为芸香科(Rutaceae)花椒属(*Zanthoxylum*)植物,在我国有悠久的栽培历史,是香料、药用、油料兼用的经济树种^[14]。目前,果实为绿色的花椒统称为“青花椒”^[14],因其具有麻味浓烈、气味清香的特点,且其果皮的独特颜色,深受消费者喜爱。顶坛花椒(*Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensis*)是竹叶椒的一个变种,果实成熟时外果皮常为橄榄绿色^[15],主要种植于贵州省贞丰县的北盘江、者相、平街及关岭县的板贵、花江等乡镇,是贵州花江峡谷地区特有的经济树种^[16]。目前,对青花椒的研究主要涉及栽培管理、生理、生化、生态及药用价值方面^[14,17-19],对该物种遗传多样性、种质资源保存利用方面还鲜见报道^[20],严重制约了珍贵种质资源的开发利用。表型多样性研究作为种质资源研究的重要组成部分,对种质资源的鉴定、保存、开发利用及遗传改良具有重要意义^[21-24]。本研究以花江峡谷地区顶坛花椒为对象开展其结实性状形态多样性的调查与分析,以期了解该地区花椒的自然变异情况,为进一步筛选优良单株及遗传改良提供依据。

1 材料与方法

1.1 群体选择与试验材料采集

在顶坛花椒分布区以坡向和海拔因素选择 3 个群体:关岭县板贵乡三家寨村(SJZ):105.38°E,25.41°N,海拔 600 m,东南坡;关岭县板贵乡木工村(MG):105.43°E,25.40°N,海拔 800 m,东南坡;贞丰县北盘江镇察耳岩村(CEY):105.38°E,25.39°N,海拔 600 m,西北坡。每个群体选取 10~12 株生长正常、无病虫害的单株进行调查采样,每个单株采集 30 个成熟果穗。

1.2 性状测定方法

用游标卡尺分别测量每个果穗的长度和宽度,

记录每个果穗的果粒数目。每个单株分别随机选取 6 个枝条,用钢卷尺测量结果部位长度,用游标卡尺测量所选枝条直径,记录每个枝条所结果穗数目。

1.3 统计分析

利用变异系数分析各观测性状的离散程度^[25-26]。利用欧式平均距离,采用类间平均连锁法^[26-28]对 3 个群体不同个体的 9 个表型进行聚类分析。

表型性状测量原始数据利用 SPSS18.0 和 EXCEL2007 进行方差分析、相关性分析及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 顶坛花椒群体间结实性状的表型变异特征

2.1.1 平均值与多重比较 平均果穗果粒密度最大的为 CEY 群体,果穗长宽比、果穗果粒密度 2 性状在 3 个群体间均存在显著差异。枝条果穗密度平均值最大的是 CEY 群体,但其在 3 个群体间无显著差异。果穗长在 SJZ 和 MG 群体间无显著差异,与 CEY 群体均差异显著。SJZ 和 CEY 群体的果穗宽无显著差异,而与 MG 群体均差异显著。果穗果粒数平均值最大的是 MG 群体,其与 SJZ 和 CEY 群体均差异显著,SJZ 和 CEY 间无显著差异。枝条结果部位长度平均值最大的群体为 SJZ,与 MG 和 CEY 均差异显著,MG 与 CEY 间差异不显著。SJZ 群体的果枝长宽比平均值最大,其与 MG 和 CEY 群体间均存在显著差异,MG 和 CEY 间无显著差异。3 个群体均处于花江峡谷区域,具有相似的立地条件,以果穗果粒密度和枝条果穗密度来衡量结实情况。CEY 群体的果穗果粒密度和枝条果穗密度平均值均最大,具有较好的结实性能,同时该群体个体间标准差较大,存在丰富的变异(表 1),进行选择育种时应容易得到期望的选择效果。

2.1.2 表型性状离散特征 果穗密度、果穗果粒密度等 9 个表型性状的变异幅度为 17.36%~50.96%,平均变异系数为 29.81%。其中,枝条果穗密度变异系数最小,平均为 20.02%;其次为果穗长宽比,平均为 21.33%;而果穗果粒密度变异系数最大,平均为 47.56%(表 2)。表明顶坛花椒果穗和果枝两类性状的变异系数均比较大,稳定性较低。

同一性状在不同群体间的变异幅度存在差异,3 个群体中,SJZ 群体的果穗果粒密度、果穗长和果穗长宽比的变异系数最大,CEY 群体的果穗果粒数的变异系数最大,MG 群体的结果枝结果部位长度、果枝直径、果枝长宽比及枝条果穗密度的变异系数最大。3 个群体所有性状的平均变异系数从大到小分别为 SJZ(31.16%)、CEY(29.66%)、MG(28.59%),3 个群体均有较高的变异系数,说明其表型变异丰富。

表 1 顶坛花椒 3 个群体间表型性状分析

Table 1 The mean value and standard deviation of phenotypic traits of 3 populations in <i>Zanthoxylum planispinum</i> var. <i>dingtanensis</i>									
编号	果穗长 /mm	果穗宽 /mm	果穗 长宽比	果穗 果粒数/个	果穗 果粒密度 /(个·cm ⁻³)	枝条 结果部位 长度/ cm	果枝直径 /mm	果枝 长宽比	枝条果穗密度 /(个·cm ⁻¹)
SJZ	41.88±10.85a	31.24±9.86b	1.40±0.36a	35.7±16.4b	3.84±1.96b	66.96±22.17a	8.69±2.05a	74.51±16.77a	0.25±0.05a
MG	42.61±9.59a	34.47±8.44a	1.26±0.23c	41.0±16.1a	3.40±1.47c	52.82±20.19b	8.07±2.12b	68.13±15.89b	0.26±0.06a
CEY	40.17±10.21b	30.95±9.34b	1.34±0.27b	37.7±18.1b	4.23±2.05a	56.24±16.75b	8.94±2.31a	67.82±14.78b	0.27±0.05a

注:不同字母表示同一性状在不同群体间差异显著($P\leq 0.05$,下同),反之则差异不显著。SJZ、MG、CEY 分别为关岭县板贵乡三家寨村、关岭县板贵乡木工村、贞丰县北盘江镇察耳岩村顶坛花椒分布区 3 个采样区。

表 2 顶坛花椒 3 个群体表型性状的变异分析

Table 2 The C. V of phenotypic traits from 3 populations in <i>Z. planispinum</i> var. <i>dingtanensis</i>										/%
编号	性状									平均
	果穗长	果穗宽	果穗 长宽比	果穗 果粒数	果穗 果粒密度	枝条结果 部位长度	果枝 直径	果枝 长宽比	枝条 果穗密度	
SJZ	25.92	31.57	25.68	46.09	50.96	33.12	23.61	22.51	20.97	31.16
MG	22.51	24.50	17.83	39.26	43.21	38.23	26.22	23.32	22.27	28.59
CEY	25.41	30.19	20.19	47.93	48.51	29.79	25.79	21.79	17.36	29.66
平均	24.61	28.75	21.23	44.43	47.56	33.71	25.21	22.54	20.20	29.81

表 3 顶坛花椒群体内表型性状分析

Table 3 The mean value and standard deviation of phenotypic traits among individuals within populations in <i>Z. planispinum</i> var. <i>dingtanensis</i>									
编号		果穗长 /mm	果穗宽 /mm	果穗 长款比	果穗 果粒数/个	果穗果粒 密度/(个·cm ⁻³)	枝条结果 部位长度/cm	枝条果穗 密度/(个·cm ⁻¹)	
SJZ	1	38.83±13.27bc	31.77±14.36abc	1.37±0.73bcd	38.2±17.8ab	4.67±1.45a	84.67±14.19ab	0.25±0.05bc	
	2	41.64±8.41abc	31.15±6.91abc	1.36±0.25cd	40.2±14.1a	4.08±1.58abc	100.42±11.02a	0.23±0.03cd	
	3	39.43±12.52bc	31.12±11.9abc	1.34±0.43cd	35.5±19.1ab	4.19±2.02abc	80.62±15.58b	0.22±0.05cd	
	4	43.02±10.33abc	30.84±7.47abc	1.44±0.37bc	35.6±12.3ab	3.67±1.36abcd	45.50±10.67e	0.25±0.04bc	
	5	43.77±9.25abc	27.57±7.46c	1.64±0.32a	31.2±11.9b	4.03±1.71abc	67.48±15.70bcd	0.20±0.04d	
	6	47.50±8.56a	31.74±8.85abc	1.56±0.31ab	36.0±12.2ab	3.29±1.63cd	46.07±11.93e	0.24±0.03cd	
	7	44.23±7.68ab	32.92±4.86ab	1.36±0.26cd	34.5±8.7ab	2.91±0.9d	68.48±15.79bcd	0.21±0.03cd	
	8	39.61±8.55bc	28.47±7.87bc	1.44±0.23bc	31.8±12.9b	3.91±1.6abcd	55.83±22.18cde	0.31±0.07a	
	9	38.56±11.41c	28.93±8.6bc	1.36±0.27cd	29.8±15.7b	3.74±1.51abcd	57.67±13.4cde	0.29±0.04ab	
	10	42.74±11.31abc	35.65±11.21a	1.24±0.29d	42.6±20.3a	3.45±1.85bcd	54.00±19.81de	0.24±0.04cd	
	11	42.91±14.05abc	35.02±14.7a	1.32±0.38cd	41.3±18a	4.04±2.87abc	68.92±18.46bcd	0.31±0.04a	
	12	39.34±7.22bc	29.83±7.37bc	1.35±0.18cd	34.9±11.4ab	4.30±1.76ab	73.83±26.86bc	0.22±0.02cd	
MG	1	35.16±7.02d	28.65±6.14d	1.25±0.2c	33.2±12.9cd	4.57±1.43a	53.10±13.75abc	0.28±0.05a	
	2	45.28±8.43ab	36.00±7.43ab	1.27±0.15bc	43.6±12.3b	3.09±1.22cd	37.37±14.59c	0.29±0.06a	
	3	44.72±12.93ab	38.13±11.51ab	1.20±0.19c	51.7±19.2a	3.52±1bc	50.58±9.23abc	0.19±0.03b	
	4	47.12±8.09a	35.00±7.03bc	1.37±0.2ab	39.2±13.3bc	2.77±1.11d	47.83±13.25bc	0.27±0.06a	
	5	39.23±7.15cd	28.59±5.78d	1.39±0.2a	29.2±8.1d	3.80±1.34b	71.92±9.08a	0.23±0.06ab	
	6	39.26±8.37cd	32.20±8 cd	1.25±0.23c	39.2±16bc	3.88±1.45b	53.08±11.19abc	0.24±0.06ab	
	7	42.17±8.46bc	34.49±6.69bc	1.24±0.24c	42.1±12.5b	3.52±1.52bc	46.67±12.08bc	0.29±0.06a	
	8	43.20±11.01abc	36.26±9.07ab	1.22±0.31c	39.4±13.8bc	3.04±1.49cd	66.83±5.49ab	0.25±0.07ab	
	9	45.29±8.34ab	36.74±7.08ab	1.25±0.20c	41.9±16.8b	2.67±0.9d	58.67±9.09abc	0.24±0.02ab	
	10	44.81±8.93ab	38.94±7.66a	1.18±0.24c	51.0±15.1a	3.06±0.95cd	42.17±5.58c	0.28±0.04a	
CEY	1	37.98±9.27cde	32.07±8.79bd	1.21±0.24cd	39.2±13bc	4.45±2.05c	68.00±19.06a	0.23±0.01c	
	2	35.07±5.49e	25.84±6.95f	1.41±0.26ab	34.1±14.1bc	5.81±1.68ab	44.25±15.86d	0.28±0.05abc	
	3	39.93±9.2bcd	30.74±7.26cde	1.32±0.25bc	41.1±15.2b	4.43±1.78c	45.00±6.75cd	0.26±0.04bc	
	4	37.65±4.98bcde	26.71±8.31ef	1.49±0.32a	32.9±11.1bc	4.91±2.1c	62.17±14.88abc	0.27±0.03abc	
	5	41.89±12.16bc	33.64±8.64ab	1.25±0.2cd	33.8±17.4bc	2.81±0.9d	65.25±27.63ab	0.32±0.04a	
	6	43.36±9.16b	33.74±8.05ab	1.32±0.28bc	40.6±17.2bc	3.35±1.67d	46.87±7.96cd	0.25±0.04bc	
	7	41.42±11.24bc	35.42±9.5ab	1.19±0.23d	35.0±10.3bc	2.77±1.07d	55.17±19.45abcd	0.28±0.07ab	
	8	36.80±8.97de	28.67±9.25def	1.33±0.24bc	36.0±16.6bc	4.93±1.96bc	68.75±9.5a	0.24±0.02bc	
	9	52.65±8.28a	37.35±9.11a	1.47±0.31a	53.9±18a	3.05±1.18d	57.17±11.37abcd	0.25±0.03bc	
	10	35.30±9.39	24.90±9.02f	1.46±0.21a	31.8±11.7c	5.99±2.13a	49.75±5.44bcd	0.27±0.07bc	

2.2 顶坛花椒群体内结实性状的变异特征

2.2.1 平均值及多重比较 同一群体不同单株间存在一定差异,不同性状在不同个体和不同群体间的差异性并无规律,同一群体内某些单株间有些性状存在显著差异而有些性状间无显著差异(表 3),说明顶坛花椒的结实性状稳定性低,在群体间和群体内存在着广泛的变异。

2.2.2 表型性状离散特征 对群体内不同单株变异系数(表 4)的分析表明,同一群体内不同单株间结实性状的变异幅度存在一定差异。SJZ 群体 12 个单株的果穗长等 9 个表型性状的变异幅度为 8.03%~53.94%,平均变异系数为 26.87%;MG 群体 10 个单株表型性状的变异幅度为 5.40%~48.95%,平均变异系数 22.99%;CEY 群体的平均变异系数 23.86%,变异幅度为 5.62%~51.61%,说明同一群体不同个体间也存在比较丰富的变异,

表 4 顶坛花椒群体内不同单株表型性状的变异分析

Table 4 The C. V of phenotypic traits among individuals within populations of *Z. planispinum* var. *dingtanensis* %

编号	果穗长	果穗宽	果穗长款比	果穗果粒数	果穗果粒密度	枝条结果部位长度	枝条直径	枝条长宽比	枝条果穗密度
SJZ	24.62±6.13	29.59±8.61	23.95±10.57	40.37±8.68	41.07±6.44	25.46±8.49	18.74±5.04	22.01±9.04	15.74±4.34
MG	20.81±3.66	22.07±3.54	17.17±3.78	34.15±5.02	36.84±6.25	20.74±9.13	18.36±4.57	16.96±7.60	19.85±5.02
CEY	22.03±5.44	23.77±1.84	18.79±2.27	38.60±6.78	39.28±6.22	24.20±10.76	18.18±7.40	16.86±5.01	13.07±5.23

表 5 顶坛花椒结实性状相关分析

Table 5 Correlation coefficient matrix among phenotypic traits of *Z. planispinum* var. *dingtanensis*

性状	果穗长	果穗宽	果穗长宽比	果穗果粒数	果穗果粒密度	果枝结果部位长度	结果枝直径	果枝长宽比	果枝果穗密度
果穗长	1								
果穗宽	0.742**	1							
果穗长宽比	0.061	-0.598**	1						
果穗果粒数	0.622**	0.811**	-0.427**	1					
果穗果粒密度	-0.786**	-0.793**	0.326	-0.381*	1				
果枝结果部位长度	-0.197	-0.186	0.102	-0.242	0.154	1			
果枝枝条直径	0.198	0.081	-0.384*	0.049	0.023	0.247	1		
果枝长宽比	-0.281	-0.101	-0.144	-0.225	0.127	0.763**	-0.420*	1	
果枝果穗密度	-0.155	-0.006	-0.175	-0.121	-0.017	-0.312	-0.252	-0.144	1

注: ** 表示极显著相关($P<0.01$), * 表示显著相关($P<0.05$)。

3 结论与讨论

通过对花江地区 3 个顶坛花椒群体结实性状的调查分析,发现该地区花椒的结实形态变异较为丰富,调查的 9 个性状在群体间和群体内均存在广泛的变异。不同形态性状的平均变异系数由大到小的顺序依次为果穗密度>果穗果粒数>枝条结果部位长度>果穗宽>果枝直径>果穗长>果枝长宽比>果穗长宽比>果枝果穗密度,说明在调查的 9 个性状中果枝果穗密度和果穗长宽比较为稳定。按照坡向和海拔划分的 3 个群体的平均变异系数为 SJZ>CEY>MG,可能是因为 MG 群体 10 个单株生长的

顶坛花椒结实性状的形态特征稳定性较低。

2.3 顶坛花椒结实性状间的相关性分析

果穗长与果穗宽、果穗果粒数及果穗宽与果穗果粒数呈极显著正相关;果穗宽与果穗长宽比、果穗果粒密度及果穗长与果穗果粒密度呈极显著负相关;果穗长宽比与果穗果粒数也呈极显著负相关;果穗果粒数与果粒密度呈显著负相关;果枝长宽比与果枝结果部位长度呈极显著正相关,而与果枝直径呈显著负相关。除果穗长宽比与果枝结果部位长度呈显著负相关,其余果枝性状与果穗性状间无相关性(表 5)。

2.4 聚类分析

以欧氏距离 18 为阈值时,32 个单株基本分为 6 组,15 号、24 号均单独聚为一类,而其余单株的也未依据采样时所划分的群体进行聚类(图 1),说明顶坛花椒结实性状并无空间上的特异性。

土壤条件较为一致,而 SJZ 和 CEY 群体各单株生境差异较大,有土层相对较为深厚、坡度较低的洼地,也有土层浅薄的坡地。顶坛花椒不同形态性状的差异是其自身遗传因素和环境因素共同影响的结果。

顶坛花椒 3 个群体 9 个性状的平均变异系数为 29.81%,果穗果粒数(44.43%)和果穗果粒密度(45.76%)变异系数较大;果穗长宽比(21.23%)和果枝果穗密度(20.20%)变异系数较小,在本研究调查的 9 个结实性状中最为稳定。果穗长宽比是果穗形态的一个直观表现,是结实性状中较为稳定的遗传特征,与其他研究中认为果实形态在许多物种的表型性状中是较稳定的遗传性状的结论一致^[29-30]。

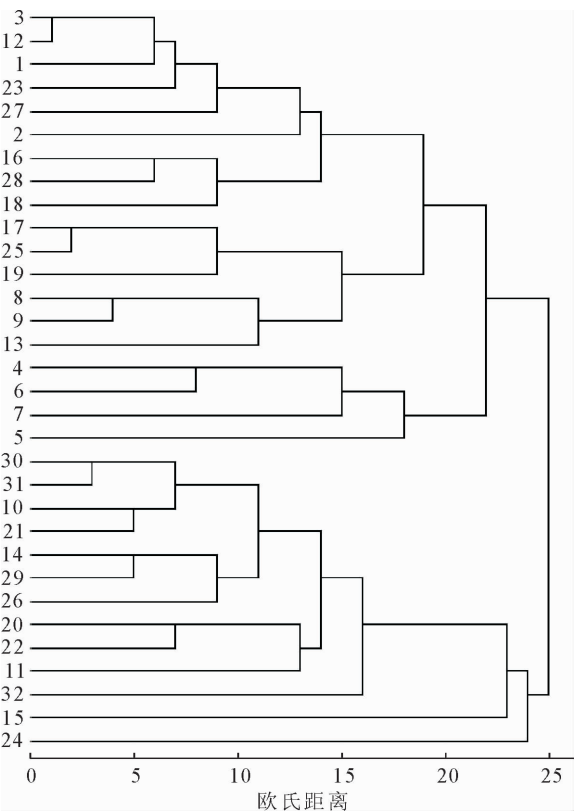


图 1 32 株顶坛花椒表型性状聚类图

Fig. 1 UPGMA cluster based on the phenotypic traits of 32 individuals

相关性分析表明,顶坛花椒果穗性状和果枝性状间无显著相关关系,果穗大小、果穗果粒数目与果枝长度、果枝直径并不相关,因此,筛选果穗品质优良的单株,提高顶坛花椒的品质是有必要的。

花江峡谷是典型的喀斯特干热河谷,季节性干旱频繁,石漠化严重。顶坛花椒是该地区特有的经济树种,也是极少数能在该地区生长良好的树种之一。花椒的种植,不仅可以提高人们的经济收入,而且对该地区生态环境的改善具有积极的作用。但目前该地区花椒种植模式还较为粗放,花椒品质参差不齐。因此,筛选优良单株,提高花椒品质,对该地区的发展具有重要意义。本研究对该地区花椒结实性状形态多样性的分析表明,顶坛花椒群体间和群体内结实性状均存在较大差异且表现不一致,变化较为复杂而不稳定。目标改良性状的变异几率越大,变异幅度越大,越容易获得所期望的选择效果^[10]。顶坛花椒群体间及群体内丰富的变异为选择育种奠定了重要的物质基础,应注重重要性状不同层次的变异分析,同时分析子代遗传的稳定性,加强优良个体的选择和利用。顶坛花椒结实性状所存在的丰富变异资源为其良种化和产业化提供了广阔的前景,但目前有关其种质资源评价、良种选育方面的研究还比较缺乏,本研究结果对顶坛花椒的良种

选育、种质资源收集及遗传多样性保护具有一定的指导意义。在后续研究中将结合分子标记技术,研究顶坛花椒的遗传多样性。

参考文献:

[1] 阎爱民,陈文新. 苜蓿、草木樨、锦鸡儿根瘤菌的表型多样性分析[J]. 生物多样性,1999 (2):32-38.
YAN A M, CHEN W X. Phenotypic feature diversity of rhizobia isolated from *Medicago* sp., *Melilotus* sp. and *Caragana* sp. [J]. Chinese Biodiversity, 1999 (2):32-38. (in Chinese)

[2] MACKAY T F, LANGLEY C H. Molecular and phenotypic variation in the achaete-scute region of *Drosophila melanogaster*[J]. Nature, 1990, 348(6296): 64-66.

[3] PIGLIUCCI M, MURREN C J, SCHLICHTING C D. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation[J]. Journal of Experimental Biology, 2006, 209(12): 2362-2367.

[4] SMITS W K, KUIPERS O P, VEENING J W. Phenotypic variation in bacteria: the role of feedback regulation[J]. Nat. Rev. Microbiol., 2006, 4(4): 259-271.

[5] 葛颂,王海群,张灿明,等. 八面山银杉林的遗传多样性和群体分化[J]. 植物学报, 1997, 39(3): 266-271.
GE S, WANG H Q, ZHANG C M, et al. Genetic diversity and population differentiation of *Cathaya argyrophylla* in Bamian Mountain[J]. Acta Botanica Sinica, 1997, 39(3): 266-271. (in Chinese)

[6] 邹喻苹,葛颂,王小东. 系统与进化植物学中的分子标记[M]. 北京:科学出版社, 2001.

[7] DEAHLE C C, YORKSTON M, SUN W, et al. Genetic variation in morphology and growth characters of *Acacia koa* in the Hawaiian Islands[J]. International Journal of Plant Sciences, 1999, 160(4): 767-773.

[8] GARCIA R, SIEPIELSKI A M, BENKMAN C W. Cone and seed trait variation in white bark pine (*Pinus albicaulis*; Pinaceae) and the potential for phenotypic selection[J]. American Journal of Botany, 2009, 96(5): 1050-1054.

[9] 柴春山,芦娟,蔡国军,等. 文冠果人工种群的果实表型多样性及其变异[J]. 林业科学研究, 2013, 26(2): 181-191.
CHAI C S, LU J, CAI G J, WANG S Y, et al. Fruit phenotypic diversity and variation of *Xanthoceras sorbifolia* artificial population[J]. Forest Research, 2013, 26(2): 181-191. (in Chinese)

[10] 刁松峰,邵文豪,姜景民,等. 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1451-1460.
DIAO S F, SHAO W H, JIANG J M, et al. Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1451-1460. (in Chinese)

[11] 张彩霞,左丹丹,赵海涛,等. 蜡梅天然群体表型多样性分析[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(5): 19-23.
ZHANG C X, ZUO D D, ZHAO H T, et al. Phenotypic diversity in natural populations of *Chimonanthus praecox*[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2011, 31(5): 19-23. (in Chinese)

[12] 明军,顾万春. 紫丁香表型多样性研究[J]. 林业科学研究,

2006,19(2):199-204.

MING J, GU W C. Phenotypic variation of *Syringa oblata* Lindl. l[J]. Forest Research, 2006, 19(2): 199-204. (in Chinese)

[13] 李树发,李纯佳,蹇洪英,等. 云南香格里拉特有易危植物中甸刺玫的表型多样性[J]. 园艺学报,2013,40(5):924-932.

LI S F, LI C J, JIAN H Y, *et al.* Studies on phenotypic diversity of vulnerable *Rosa praelucens* endemic to Shangrila, Yunnan[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(5): 924-932. (in Chinese)

[14] 张华,叶萌. 青花椒的分类地位及成分研究现状[J]. 北方园艺,2010(14):199-203.

ZHANG H, YE M. Research status on the taxonomic and component of green *Zanthoxylum bungeanum* Maxim[J]. Northern Horticulture, 2010(14):199-203. (in Chinese)

[15] 屠玉麟,韦昌盛,左祖伦,等. 花椒属一新变种—顶坛花椒及其品种的分类研究[J]. 贵州科学,2001,19(1):77-80.

TU Y L, WEI C S, ZUO Z L, *et al.* A new *Zanthoxylum* genus—*Z. planispinum* var. *dintanensis* and the research of its species classification[J]. Guizhou Science, 2001, 19(1): 77-80. (in Chinese)

[16] 宋林,张晓珊,王欣,等. 贵州顶坛花椒发展潜力探析[J]. 安徽农业科学,2009,37(25):12210-12212.

SONG L, ZHANG X S, WANG X, *et al.* Development potential analysis of *Zanthoxylum planispinum* var. *dintanensis* in Guizhou[J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2009, 37(25): 12210-12212. (in Chinese)

[17] 龙成昌,陈训. 花江峡谷地区顶坛花椒生长状况与土壤条件相关分析[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2003,21(3):102-104.

LONG C C, CHEN X. Interrelated analysis between the growing state of *Zanthoxylum planispinum* var. *dintanensis* and the soil situations in the area of Huajiang valley[J]. Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences, 2003, 21(3):102-104. (in Chinese)

[18] 姚佳,蒲彪. 青花椒的研究进展[J]. 中国调味品,2010(6):35-39.

YAO J, PU B. Research progress on *Zanthoxylum schinifolium* sieb. *et* Zucc[J]. China Condiment, 2010(6): 35-39. (in Chinese)

[19] 王尧钰,左德川. 贵州顶坛花椒的特征特性及配套栽培技术[J]. 现代农业科技,2011(6):125-126.

[20] 徐洁. 九叶青花椒的起源及遗传多样性研究[D]. 重庆:西南大学,2007.

[21] 曾杰,郑海水,甘四明,等. 广西西南桦天然居群的表型变异[J]. 林业科学,2005,41(2):59-65.

ZENG J, ZHENG H, GAN S, *et al.* Phenotypic variation in natural populations of *Betula alnoides* in Guangxi, China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(2): 59-65. (in Chinese)

[22] 贾子瑞,张守攻,王军辉. 林芝云杉天然群体针叶与种实的变异及其地理趋势[J]. 林业科学研究,2011,24(4):428-436.

JIA Z R, ZHANG S G, WANG J H. Genetic variation and spatial geographical trend of needles, cones and seeds traits for natural populations of *Picea linzhinensis* [J]. Forest Research, 2011, 24(4): 428-436. (in Chinese)

[23] 姬志峰,高亚卉,李乐,等. 山西霍山五角枫不同海拔种群的表型多样性研究[J]. 园艺学报,2012,39(11):2217-2228.

Ji Z H, GAO Y H, LI L, *et al.* Phenotypic diversity of populations of *Acer mono* in Huoshan Mountain of Shanxi at different altitude [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(11): 2217-2228. (in Chinese)

[24] 尚帅斌,郭俊杰,王春胜,等. 海南岛青梅天然居群表型变异[J]. 林业科学,2015,51(2):154-162.

SHANG S B, GUO J J, WANG C S, *et al.* Phenotypic variations in natural populations of *Vatica mangachapoi* in Hainan, China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(2): 154-162. (in Chinese)

[25] 柳新红,李因刚,赵勋,等. 白花树天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学研究,2011,24(6):694-700.

LIU X H, LI Y G, ZHAO X, *et al.* Phenotypic diversity in natural populations of *Styrax tonkinensis* [J]. Forest Research, 2011, 24(6): 694-700. (in Chinese)

[26] 李林昊,张延龙,牛立新,等. 秦岭地区‘凤丹’牡丹居群果期相关性状的表型多样性研究[J]. 西北林学院学报,2015,30(4):127-131.

LI L C, ZHANG Y L, NIU L X, *et al.* Phenotypic variations of fruiting-related traits of populations in *Paeonia ostii* ‘Feng Dan’ native to Qinling Mountains[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(4): 127-131. (in Chinese)

[27] 刘永红,高桂琴,崔嵬,等. 油松天然群体种实性状表型多样性分析[J]. 种子,2010,29(9):44-49.

LIU Y H, GAO G Q, CUI W, *et al.* Study on phenotypic diversity of seeds and cones characteristics in *Pinus tabulaeformis* Carr. [J]. Seed, 2010, 29(9): 44-49. (in Chinese)

[28] 王娅丽,李毅,陈晓阳. 祁连山青海云杉天然群体表型性状遗传多样性分析[J]. 林业科学,2008,44(2):70-77.

WANG Y L, LI Y, CHEN X Y. Phenotypic diversity of natural populations in *Picea crassifolia* in Qilian Mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(2): 70-77. (in Chinese)

[29] 李文英,顾万春. 蒙古栎天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学,2005,41(1):49-56.

LI W Y, GU W C. Study on phenotypic diversity of natural population in *Quercus mongolica* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(1): 49-56. (in Chinese)

[30] 田胜平,汪阳东,陈益存,等. 山苍子天然种群叶片和种实性状的表型多样性[J]. 生态学杂志,2012,31(7):1665-1672.

TIAN S P, WANG Y D, CHEN Y C, *et al.* Phenotypic diversity of natural *Litsea cubeba* population’s leaf- and fruit traits [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(7): 1665-1672. (in Chinese)