

杜仲种质资源雄花主要数量性状变异及概率分级

杜庆鑫 刘攀峰 庆军 魏艳秀 杜红岩

(中国林业科学研究院经济林研究开发中心, 国家林业局杜仲工程技术研究中心)

摘要:为更好地对杜仲种质资源雄花进行评价和利用,对193份不同种质杜仲雄花14个主要数量性状进行变异分析和概率分级。结果表明,杜仲雄花数量性状存在丰富的变异,14个性状变异系数均在12%以上,京尼平苷含量(112.00%)变异系数最大,其次为紫云英苷含量(89.56%)、京尼平苷酸含量(88.60%),氨基酸含量(12.52%)变异系数最小。经K-S检验,花高、雄蕊长度、雄蕊数、桃叶珊瑚苷含量、绿原酸含量、异槲皮苷含量、总黄酮含量、氨基酸含量等8个数量性状Sig值大于0.05,均符合正态分布;花径、鲜质量、干质量均呈偏态分布,去除拖尾部分,也近似看作正态分布;京尼平苷酸含量、京尼平苷含量、紫云英苷含量均不符合正态分布。对符合正态分布的数量性状统一用 $(X-1.2818S)$ 、 $(X-0.5246S)$ 、 $(X+0.5246S)$ 、 $(X+1.2818S)$ 4个点分为5级,对不符合正态分布的性状按实际分布情况分级,使1~5级出现的概率分别为10%、20%、40%、20%和10%。

关键词:杜仲; 雄花; 数量性状; 变异; 概率分级

中图分类号:S718.43 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2016)11-0042-08

DU Qing-xin; LIU Pan-feng; QING Jun; WEI Yan-xiu; DU Hong-yan. **Variation and probability grading of main quantitative traits of male flowers for *Eucommia ulmoides* germplasm.** *Journal of Beijing Forestry University* (2016) **38** (11) 42-49 [Ch, 25 ref.] Non-timber Forest Research and Development Center of Chinese Academy of Forestry, The Eucommia Engineering Research Center, National Forestry Administration, Zhengzhou, Henan, 450003, P. R. China.

To make better evaluation and utilization, 14 main quantitative traits of 193 male flowers of *Eucommia ulmoides* germplasm were studied through variation analysis and probability grading. The results showed that a large variation was observed in the quantitative traits of the flowers, coefficients of variation of the 14 quantitative traits were all above 12%, in which the highest occurred in geniposide content (112.00%), followed by astragaline content (89.56%) and geniposidic acid content (88.60%), and the smallest occurred in amino acids content (12.52%). According to the K-S test, flower height, stamen length, stamen number, aucubin content, chlorogenic acid content, isoquercitrin content, total flavonoids content and amino acid content all conformed to the normal distribution; flower diameter, fresh weight and dry weight that followed skewed distribution could be regarded and treated as those conforming to normal distribution; geniposidic acid content, geniposide content and astragaline content did not conform to normal distribution. Eleven quantitative traits that conformed to the normal distribution could be divided into 5 grades by 4 dividing points: $X - 1.2818S$, $X - 0.5246S$, $X + 0.5246S$ and $X + 1.2818S$, while other 3 traits could be divided into 5 grades according to the actual distribution. The occurrence probability of grade 1 - 5 was 10%, 20%, 40%, 20% and 10%, respectively. An index system of probability grading for 14 quantitative traits was built, which could provide important guidelines for *E. ulmoides* breeding program and quality control of male flower related products, and meanwhile, it could provide a reference for specification and data standardization of

收稿日期: 2016-01-20 修回日期: 2016-05-30

基金项目: “十二五”国家农村领域科技支撑计划课题(2012BAD21B0502)。

第一作者: 杜庆鑫。主要研究方向: 经济林育种栽培。Email: duqingxin20102325@163.com 地址: 450003 河南省郑州市纬五路3号中国林业科学研究院经济林研究开发中心305室。

责任作者: 杜红岩, 研究员, 博士生导师。主要研究方向: 杜仲育种栽培与综合利用。Email: dhy515@126.com 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

E. *ulmoides* male flowers descriptor system.

Key words *Eucommia ulmoides*; male flower; quantitative trait; variation; probability grading

杜仲 (*Eucommia ulmoides*) 为杜仲科 (*Eucommiaceae*) 杜仲属植物, 系第四纪冰川侵袭后仅留存于我国的孑遗树种, 是我国特有的珍稀濒危二类保护植物和天然药食两用植物, 具有很高的经济价值、药用价值、营养价值和生态价值。主要分布于我国 $25^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$, $104^{\circ} \sim 119^{\circ} \text{E}$ ^[1-3]。杜仲雌雄异株, 雄花簇生于当年生枝条基部, 产量高, 易于采集^[4-5]。杜仲雄花已被列为新食品原料, 以杜仲雄花为原料开发出的杜仲雄花茶、杜仲雄花酒、杜仲雄花功能饮料等产品含有多种生物活性物质, 具有良好的医疗保健功能, 备受市场青睐^[6-7]。

种质资源评价是种质资源合理利用和研究工作的中心环节。数量性状的合理分级是种质资源评价的基础, 对种质资源的研究及利用具有重要的指导意义^[8]。传统的数量性状分级均为建立在经验基础上的等差分级, 虽然简单易行, 但缺乏反映各性状取值的概率分布情况, 而且未能形成统一的标准^[9-10]。刘孟军^[11]依据数量性状取值概率分布特征, 提出了数量性状的概率分级方法, 可以客观的反映数量性状的变异特征, 使数量性状的分级有了统一的标准。赵海娟等^[12]在对普通杏 (*Armeniaca vulgaris*) 果实主要数量性状概率分级的研究中, 对理论分点值进行了合理的修正, 便于记忆和实际应用。目前, 数量性状的概率分级已在芒果 (*Mangifera indica*)^[13]、核桃 (*Juglans regia*)^[14]、柿 (*Diospyros kaki*)^[15]、菊花 (*Chrysanthemum × morifolium*)^[16]、大花蕙兰 (*Cymbidium hybridum*)^[17] 等园艺植物重要经济性状上取得了比较理想的结果, 但是在杜仲雄花上的相关研究还未见报道。

杜仲雄花的大小、鲜质量、干质量和活性成分含量对于杜仲育种工作和杜仲雄花相关产品品质有着重要的应用价值, 随着对杜仲种质资源雄花研究的不断深入, 有必要对杜仲种质资源雄花主要数量性状提出合理的分级标准, 从而完善杜仲种质资源雄花主要数量性状的评价系统, 为杜仲种质资源雄花的科学评价和利用提供依据, 同时为杜仲育种工作和杜仲雄花相关产品品质控制提供一定的指导。本研究通过对中国林业科学研究院经济林研究开发中心杜仲基因库保存的杜仲种质资源雄花主要数量性状, 进行系统测定, 得出各性状的变异情况及分布规律, 探索建立合理的概率分级标准。

1 材料与方法

1.1 材料

193 份雄花种质资源均来自中国林业科学研究院经济林研究开发中心原阳试验基地 ($113^{\circ}36' \text{E}$, $34^{\circ}55' \text{N}$) 杜仲基因库, 基因库采用 6 株小区, 定植行间距为 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。每份试验材料选取 6 株树, 每株树均于盛花期分别在树冠中部的东、西、南、北 4 个方向采摘雄花各约 10 簇, 然后混匀, 低温冷藏带回试验, 保存备用。

1.2 方法

本研究考察的雄花数量性状包括花径、花高、鲜质量、干质量、雄蕊长度、雄蕊数、桃叶珊瑚苷含量、京尼平苷酸含量、绿原酸含量、京尼平苷含量、异槲皮苷含量、紫云英苷含量、总黄酮含量、氨基酸含量共 14 个性状。形态性状测定随机选取 10 簇雄花, 花径、花高、雄蕊长度用游标卡尺测定, 精确到 0.01 mm ; 鲜质量、干质量用电子天平称取, 精确到 0.001 g ; 雄蕊数直接计数。总黄酮含量测定采用三氯化铝比色法^[18], 氨基酸含量测定采用全自动氨基酸分析仪^[19], 桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、京尼平苷、异槲皮苷、紫云英苷等 6 种活性成分含量测定采用改进 HPLC 法^[20], 8 种活性成分含量的测定结果均为 3 次重复的平均值。

1.3 数据分析

数据处理利用 Excel 和 SPSS20.0 完成。利用 K-S 检验法对杜仲雄花数量性状分布的正态性进行检验, 其 X 代表各性状的平均值, S 代表各性状的标准差。对符合正态分布的性状用 $(X - 1.281 8S)$ 、 $(X - 0.524 6S)$ 、 $(X + 0.524 6S)$ 和 $(X + 1.281 8S)$ 4 个分点分为 5 个等级, 使 1 ~ 5 级的出现概率分别为 10%、20%、40%、20% 和 10%; 对不符合正态分布的性状, 按照其实际分布情况分级。

2 结果与分析

2.1 杜仲雄花数量性状的变异情况

杜仲雄花主要数量性状的变异情况见表 1。各性状变异系数均在 12% 以上, 范围在 12.52% ~ 112.00% 之间, 表明不同种质间杜仲雄花数量性状存在较大变异。京尼平苷含量在不同种质间变异程度最大, 变异系数达 112.00%, 其次是紫云英苷含

量(89.56%)、京尼平苷酸含量(88.60%)、异槲皮苷含量(55.65%)、绿原酸含量(52.11%)和桃叶珊瑚苷含量(44.72%);杜仲雄花形态性状的变异系

数相对较低,说明杜仲雄花主要活性成分含量相对形态性状具有更丰富的变异。

表1 杜仲雄花数量性状的变异

Tab.1 Variation of quantitative traits among *Eucommia ulmoides* male flowers

性状 Trait	种质数量 Germplasm number	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
花径 Flower diameter/mm	193	8.77	32.49	14.34	3.210	22.39
花高 Flower height/mm	193	13.66	31.02	19.06	2.871	14.06
鲜质量 Fresh weight/g	193	0.13	1.36	0.49	0.198	40.41
干质量 Dry weight/g	193	0.04	0.36	0.10	0.038	39.85
雄蕊长度 Stamen length/mm	193	6.75	16.18	10.73	1.495	13.93
雄蕊数 Stamen number	193	25	174	82	25.665	31.28
桃叶珊瑚苷 Aucubin/(mg·g ⁻¹)	193	0.19	22.58	9.92	4.436	44.72
京尼平苷酸 Geniposidic acid/(mg·g ⁻¹)	193	0.03	21.35	4.35	3.854	88.60
绿原酸 Chlorogenic acid/(mg·g ⁻¹)	193	0.07	21.76	7.02	3.658	52.11
京尼平苷 Geniposide/(mg·g ⁻¹)	193	0.03	6.52	1.05	1.176	112.00
异槲皮苷 Isoquercitrin/(mg·g ⁻¹)	193	0.05	3.05	1.14	0.640	55.65
紫云英苷 Astragaline/(mg·g ⁻¹)	193	0.03	1.45	0.23	0.206	89.56
总黄酮 Total flavonoids/(mg·g ⁻¹)	193	7.01	40.99	21.99	5.492	24.97
氨基酸 Amino acids/(mg·g ⁻¹)	193	144.26	254.66	206.23	25.830	12.52

2.2 杜仲雄花数量性状分布及正态性检验

在对杜仲种质资源雄花14个数量性状变异情况统计分析的基础上,绘制了数量性状分布频次图(图1)。经K-S检验(表2),花高、雄蕊长度、雄蕊数、桃叶珊瑚苷含量、绿原酸含量、异槲皮苷含量、总黄酮含量、氨基酸含量等8个性状Sig.值均大于0.05,均符合正态分布。而其他性状Sig.值均小于0.05,不完全符合正态分布;但是,从数量性状分布频次图来看,花径、鲜质量和干质量虽呈偏态分布,但去除拖尾部分,其主要部分仍遵从正态分布,因此,这3个性状也近似看作正态分布性状处理。京尼平苷酸含量、京尼平苷含量、紫云英苷含量呈严重的偏态分布,不符合正态分布。

2.3 杜仲雄花数量性状的概率分级

根据K-S检验,对杜仲雄花符合正态分布的数量性状按照 $(X-1.2818S)$ 、 $(X-0.5246S)$ 、 $(X+0.5246S)$ 、 $(X+1.2818S)$ 4个点分为5个等级,1~5级的出现概率分别为10%、20%、40%、20%、10%;对于不符合正态分布的数量性状,按其实际分布情况进行分级,即按照实际结果10%、20%、40%、20%、10%的比例分级(表3),使数量性状的描述更加规范化。

2.4 杜仲雄花数量性状概率分级的频率分布

2.4.1 花径

193份杜仲种质资源雄花花径变异幅度为8.77~32.49mm,平均14.34mm,变异系数22.39%。花径概率分级的频率分布:1级<10.22mm(极低)占3.63%;2级10.22~12.65mm(低)占23.32%;3级12.65~16.02mm(中)占51.30%;4级16.02~18.45mm(高)占12.95%;5级>18.45mm(极高)占8.81%。

2.4.2 花高

193份杜仲种质资源雄花花高变异幅度为13.66~31.02mm,平均19.06mm,变异系数14.06%。花高概率分级的频率分布:1级<14.38mm(极低)占6.74%;2级14.38~17.55mm(低)占24.35%;3级17.55~20.57mm(中)占44.56%;4级20.57~22.74mm(高)占14.51%;5级>22.74mm(极高)占9.84%。

2.4.3 鲜质量

193份杜仲种质资源雄花鲜质量变异幅度为0.13~1.36g,平均0.49g,变异系数40.41%。鲜质量概率分级的频率分布:1级<0.24g(极低)占6.22%;2级0.24~0.39g(低)占24.87%;3级

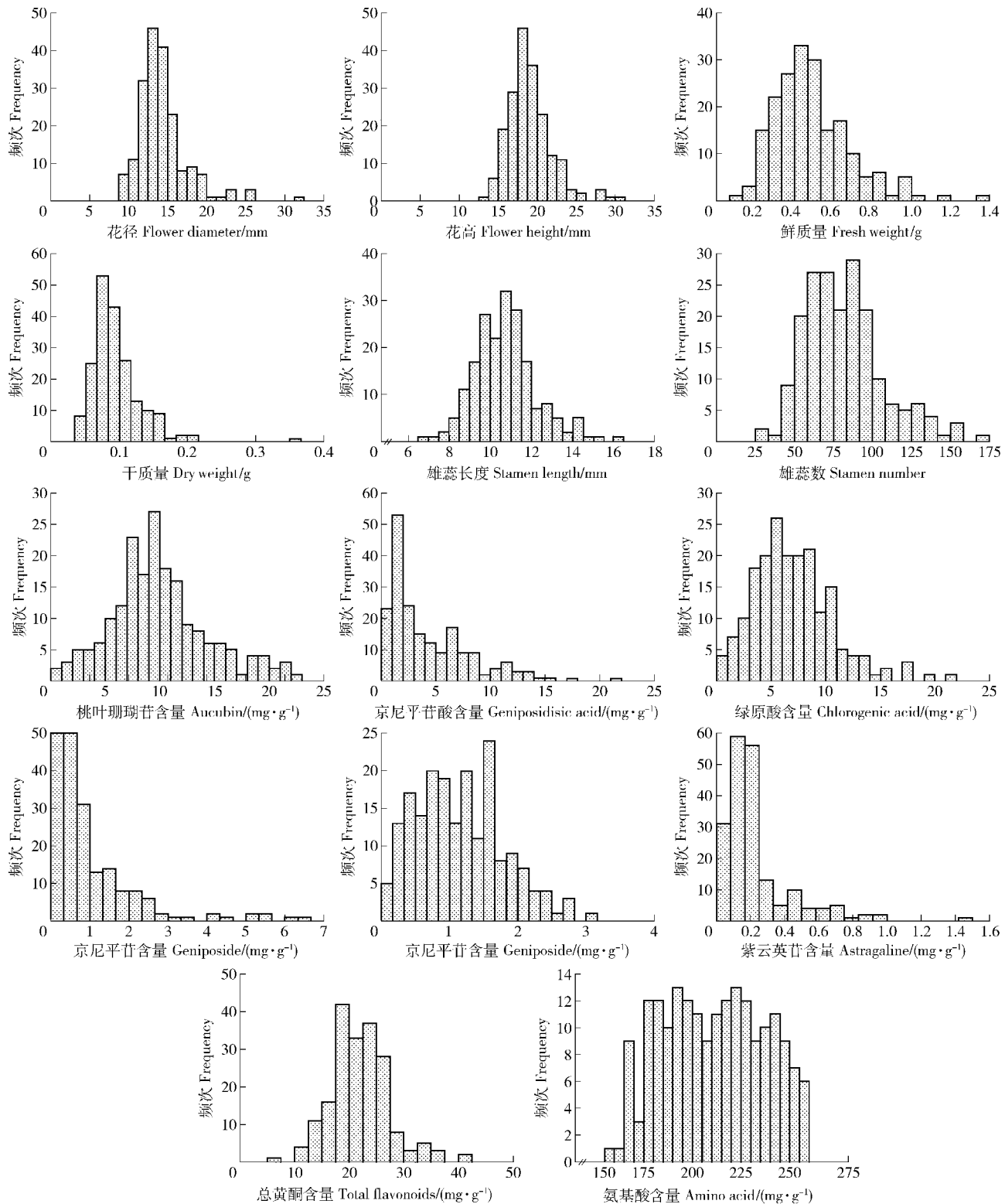


图 1 杜仲雄花数量性状分布频次

Fig. 1 Frequency distribution of quantitative traits of *Eucommia ulmoides* male flowers

0.39 ~ 0.59 g(中)占 44.04% ;4 级 0.59 ~ 0.74 g (高)占 14.03% ;5 级 > 0.74 g(极高)占 9.84%。

2.4.4 干质量

193 份杜仲种质资源雄花干质量变异幅度为 0.04 ~ 0.36 g,平均 0.10 g,变异系数 39.85%。干

质量概率分级的频率分布:1 级 < 0.05 g(极低)占 4.14% ;2 级 0.05 ~ 0.07 g(低)占 18.13% ;3 级 0.07 ~ 0.11 g(中)占 52.33% ;4 级 0.11 ~ 0.14 g (高)占 14.54% ;5 级 > 0.14 g(极高)占 9.84%。

表2 杜仲雄花数量性状 K-S 正态性检验

Tab. 2 K-S normal test of quantitative traits of *Eucommia ulmoides* male flowers

性状 Trait	极差绝对值 Absolute	正值 Positive	负值 Negative	K-S 值 K-S value	Sig. 值 Sig. value
花径 Flower diameter	0.132	0.132	-0.088	1.830	0.002
花高 Flower height	0.095	0.095	-0.051	1.316	0.063
鲜质量 Fresh weight	0.104	0.104	-0.058	1.442	0.031
干质量 Dry weight	0.120	0.120	-0.086	1.663	0.008
雄蕊长度 Stamen length	0.075	0.075	-0.032	1.035	0.234
雄蕊数 Stamen number	0.068	0.068	-0.051	0.944	0.335
桃叶珊瑚苷 Aucubin	0.094	0.094	-0.044	1.306	0.066
京尼平苷酸 Geniposidic acid	0.168	0.168	-0.139	2.336	0.000
绿原酸 Chlorogenic acid	0.067	0.067	-0.034	0.924	0.360
京尼平苷 Geniposide	0.205	0.205	-0.189	2.851	0.000
异槲皮苷 Isoquercitrin	0.071	0.071	-0.048	0.991	0.280
紫云英苷 Astragaline	0.234	0.234	-0.160	3.254	0.000
总黄酮 Total flavonoids	0.067	0.067	-0.051	0.932	0.350
氨基酸 Amino acid	0.066	0.065	-0.066	0.919	0.367

表3 概率分级标准

Tab. 3 Hierarchical criterion of probability grading

性状 Trait	分级 Grade				
	1(极低 Very low)	2(低 Low)	3(中 Medium)	4(高 High)	5(极高 Very high)
花径 Flower diameter/mm	<10.22	10.22 ~ 12.65	12.65 ~ 16.02	16.02 ~ 18.45	>18.45
花高 Flower height/mm	<14.38	14.38 ~ 17.55	17.55 ~ 20.57	20.57 ~ 22.74	>22.74
鲜质量 Fresh mass/g	<0.24	0.24 ~ 0.39	0.39 ~ 0.59	0.59 ~ 0.74	>0.74
干质量 Dry mass/g	<0.05	0.05 ~ 0.07	0.07 ~ 0.11	0.11 ~ 0.14	>0.14
雄蕊长度 Stamen length/mm	<8.82	8.82 ~ 9.95	9.95 ~ 11.52	11.52 ~ 12.65	>12.65
雄蕊数 Stamen number	<49.14	49.14 ~ 68.58	68.58 ~ 95.50	95.50 ~ 114.94	>114.94
桃叶珊瑚苷 Aucubin/(mg·g ⁻¹)	<4.25	4.25 ~ 7.61	7.61 ~ 12.26	12.26 ~ 14.62	>14.62
京尼平苷酸 Geniposidic acid/(mg·g ⁻¹)	<0.87	0.87 ~ 1.72	1.72 ~ 5.80	5.80 ~ 10.4	>10.4
绿原酸 Chlorogenic acid/(mg·g ⁻¹)	<2.33	2.33 ~ 5.10	5.10 ~ 8.93	8.93 ~ 11.70	>11.70
京尼平苷 Geniposide/(mg·g ⁻¹)	<0.14	0.14 ~ 0.40	0.40 ~ 1.10	1.1 ~ 2.40	>2.40
异槲皮苷 Isoquercitrin/(mg·g ⁻¹)	<0.33	0.33 ~ 0.82	0.82 ~ 1.49	1.49 ~ 1.97	>1.97
紫云英苷 Astragaline/(mg·g ⁻¹)	<0.06	0.06 ~ 0.12	0.12 ~ 0.22	0.22 ~ 0.50	>0.50
总黄酮 Total flavonoids/(mg·g ⁻¹)	<14.95	14.95 ~ 19.11	19.11 ~ 24.88	24.88 ~ 29.03	>29.03
氨基酸 Amino acid/(mg·g ⁻¹)	<173.12	173.12 ~ 192.68	192.68 ~ 219.78	219.78 ~ 239.34	>239.34

2.4.5 雄蕊长度

193份杜仲种质资源雄花雄蕊长度变异幅度为6.75~16.18 mm, 平均10.73 mm, 变异系数13.93%。雄蕊长度概率分级的频率分布为:1级<8.82 mm(极低)占7.25%;2级8.82~9.95 mm(低)占24.87%;3级9.95~11.52 mm(中)占43.52%;4级11.52~12.65 mm(高)占14.51%;5级>12.65 mm(极高)占9.84%。

2.4.6 雄蕊数

193份杜仲种质资源雄花雄蕊数变异幅度为25~174个, 平均82个, 变异系数31.28%。雄蕊数概率分级的频率分布为:1级<49.14个(极低)占6.22%;2级49.14~68.58个(低)占25.91%;3级68.58~95.50个(中)占42.49%;4级95.50~114.94个(高)占14.03%;5级>114.94个(极高)占10.36%。

2.4.7 桃叶珊瑚苷含量

193 份杜仲种质资源雄花桃叶珊瑚苷含量变异幅度为 0.19 ~ 22.58 mg/g, 平均 9.92 mg/g, 变异系数 44.72%。桃叶珊瑚苷含量概率分级的频率分布为: 1 级 < 4.25 mg/g (极低) 占 8.81%; 2 级 4.25 ~ 7.61 mg/g (低) 占 20.21%; 3 级 7.61 ~ 12.26 mg/g (中) 占 46.63%; 4 级 12.26 ~ 14.62 mg/g (高) 占 13.47%; 5 级 > 14.62 mg/g (极高) 占 10.88%。

2.4.8 绿原酸含量

193 份杜仲种质资源雄花绿原酸含量变异幅度为 0.07 ~ 21.76 mg/g, 平均 7.02 mg/g, 变异系数 52.11%。绿原酸含量概率分级的频率分布为: 1 级 < 2.33 mg/g (极低) 占 7.77%; 2 级 2.33 ~ 5.10 mg/g (低) 占 24.35%; 3 级 5.10 ~ 8.93 mg/g (中) 占 43.01%; 4 级 8.93 ~ 11.70 mg/g (高) 占 16.06%; 5 级 > 11.70 mg/g (极高) 占 8.81%。

2.4.9 异槲皮苷含量

193 份杜仲种质资源雄花异槲皮苷含量变异幅度为 0.05 ~ 3.05 mg/g, 平均 1.14 mg/g, 变异系数 55.65%。异槲皮苷含量概率分级的频率分布为: 1 级 < 0.33 mg/g (极低) 占 9.33%; 2 级 0.33 ~ 0.82 mg/g (低) 占 25.91%; 3 级 0.82 ~ 1.49 mg/g (中) 占 32.64%; 4 级 1.49 ~ 1.97 mg/g (高) 占 21.24%; 5 级 > 1.97 mg/g (极高) 占 10.88%。

2.4.10 总黄酮含量

193 份杜仲种质资源雄花总黄酮含量变异幅度为 7.01 ~ 40.99 mg/g, 平均 21.99 mg/g, 变异系数 24.97%。总黄酮含量概率分级的频率分布为: 1 级 < 14.95 mg/g (极低) 占 7.77%; 2 级 14.95 ~ 19.11 mg/g (低) 占 23.83%; 3 级 19.11 ~ 24.88 mg/g (中) 占 42.49%; 4 级 24.88 ~ 29.03 mg/g (高) 占 17.62%; 5 级 > 24.88 mg/g (极高) 占 8.29%。

2.4.11 氨基酸含量

193 份杜仲种质资源雄花氨基酸含量变异幅度为 144.26 ~ 254.66 mg/g, 平均 206.23 mg/g, 变异系数 12.52%。氨基酸含量概率分级的频率分布为: 1 级 < 173.12 mg/g (极低) 占 10.88%; 2 级 173.12 ~ 192.68 mg/g (低) 占 24.35%; 3 级 192.68 ~ 219.78 mg/g (中) 占 31.09%; 4 级 219.78 ~ 239.34 mg/g (高) 占 21.76%; 5 级 > 239.34 mg/g (极高) 占 11.92%。

2.4.12 京尼平苷酸、京尼平苷和紫云英苷含量

193 份杜仲种质资源雄花京尼平苷酸含量变异幅度为 0.03 ~ 21.35 mg/g, 平均 4.35 mg/g, 变异系数 88.60%。京尼平苷酸含量概率分级的频率分布为: 1 级 < 0.87 mg/g (极低); 2 级 0.87 ~ 1.72 mg/g

(低); 3 级 1.72 ~ 5.80 mg/g (中); 4 级 5.80 ~ 10.4 mg/g (高); 5 级 > 10.4 mg/g (极高)。京尼平苷含量变异幅度为 0.03 ~ 6.52 mg/g, 平均 1.05 mg/g, 变异系数 112.00%。京尼平苷含量概率分级的频率分布为: 1 级 < 0.14 mg/g (极低); 2 级 0.14 ~ 0.40 mg/g (低); 3 级 0.40 ~ 1.10 mg/g (中); 4 级 1.10 ~ 2.40 mg/g (高); 5 级 > 2.40 mg/g (极高)。紫云英苷含量变异幅度为 0.03 ~ 1.45 mg/g, 平均 0.23 mg/g, 变异系数 89.56%。紫云英苷含量概率分级的频率分布为: 1 级 < 0.06 mg/g (极低); 2 级 0.06 ~ 0.12 mg/g (低); 3 级 0.12 ~ 0.22 mg/g (中); 4 级 0.22 ~ 0.50 mg/g (高); 5 级 > 0.50 mg/g (极高)。

3 结论与讨论

3.1 杜仲雄花数量性状的选择

在对不同植物的数量性状进行分级时,人们会根据不同目标选择数量性状,朗彬彬等^[21]对野生毛花猕猴桃 (*Actinidia eriantha*) 种质资源主要数量性状分级中,选取了单果质量、可溶性糖含量、可滴定酸含量等反映猕猴桃理化品质的重要经济性状。张韶伊等^[17]在对大花蕙兰主要数量性状分级中选取的是叶片长、筒状花序数目、花葶长、花宽、花瓣长等凸显其观赏价值的重要数量性状。在对杜仲种质资源雄花数量性状的选择中,既包括与雄花直接相关的重要形态性状,如花径、花高、鲜质量、干质量、雄蕊长度等,又包括雄花中的重要活性成分含量,桃叶珊瑚苷、绿原酸、总黄酮、氨基酸等活性成分目前在杜仲雄花中研究较多,而且含量相对较高。在杜仲育种工作和杜仲雄花相关产品研发时,这些数量性状都尤为重要,对杜仲育种及杜仲雄花相关产品品质控制有一定的指导价值。

3.2 杜仲雄花数量性状变异特征

通过系统比较与评价,发现不同种质间杜仲雄花主要数量性状存在明显差异。由于试验材料全部来自同一地点,其栽培立地条件和管理条件基本一致,因此说明杜仲种质资源间雄花主要数量性状存在遗传变异。种质资源的数量性状变异系数越大,其遗传多样性程度越高^[22]。杜仲雄花数量性状的变异系数介于 12.52% ~ 112.00% 之间,表明杜仲种质资源雄花数量性状存在着丰富的变异和遗传多样性,蕴藏着较大的选择潜力和改良潜力,加大对杜仲雄花数量性状的研究,就有可能得到期望的变异类型。

变异系数的大小在一定程度上也反映了不同品种固有特征及其个体间差异范围^[23],本研究中,杜仲雄花形态性状差异相对较小,而活性成分含量差

异相对较大,且杜仲雄花主要活性成分含量变异系数相比较要高于形态性状变异系数,表明杜仲雄花主要活性成分含量相对于形态性状来说,具有更丰富的变异。

3.3 杜仲雄花数量性状分布类型

通常认为,在自然状态下,生物现象的连续性变量或间断性变量是符合正态分布的。通过对193份杜仲种质资源雄花14个主要数量性状的研究发现,花高、雄蕊长度、雄蕊数、桃叶珊瑚苷含量、绿原酸含量、异槲皮苷含量、总黄酮含量、氨基酸含量等8个性状均符合正态分布。其他6个性状呈偏态分布,其中,花径、鲜质量和干质量若去除拖尾部分,其主要部分仍遵从正态分布;而京尼平苷酸含量、京尼平苷含量、紫云英苷含量则呈现严重的偏态分布。对于呈现偏态分布的性状,一方面可能是由于种质来源不同,不同来源的种质放在一起其数量性状不一定呈正态分布,本研究中杜仲种质资源分别来源于北京、河南、江苏等10个省市。朱敏等^[24]对不同起源的杠果种质8个主要性状研究中,发现4个性状呈偏态分布。另一方面可能是由于在杜仲育种和栽培过程中收到了较大的选择压力。以本研究中花径为例,向花径较大的方向拖尾,可能是人们在选择过程中偏向于花较大的种质。雒新艳等^[16]对中国传统大菊品种18个数量性状研究中也出现类似的情况,花瓣宽、舌状小花个数、筒状小花个数、花梗长和节间长5个数量性状呈偏态分布,其中筒状小花个数分布呈严重的偏态分布。这些性状是人们比较关注的重要经济性状,在长期进化过程中受到了偏好性选择,导致呈现偏态分布。

3.4 杜仲种质资源雄花数量性状的概率分级

数量性状的合理分级对种质资源的利用具有重要指导价值。与传统的分级相比,概率分级主要有以下优点:1)使性状分级有了客观依据和统一的标准;2)只要供试样本有足够代表性,其分级结果更具合理性;3)能反映性状变异的中值和离散程度以及各级取值在总体变异中的系统位置,因而具有更大的指导价值^[25]。

资源评价的最终目的是利用,而和杜仲雄花资源利用价值关系最为密切的是雄花的数量性状(即经济性状)。本研究首次对杜仲种质资源雄花主要数量性状进行了概率分级,提出了基于数量性状分布特征的概率分级指标体系。通过对花径、花高、鲜质量、干质量、雄蕊长度、雄蕊数等14个性状指标进行分析,对杜仲种质资源雄花进行了概率分级,并取得了较理想的结果,使得杜仲种质资源雄花数量性状的分级有了客观和统一的标准,在将来杜仲育种

及杜仲雄花相关产品品质控制时,可参照本研究中杜仲种质资源雄花数量性状统一的分级标准,选择优良种质,从而更加科学有效地开发利用杜仲雄花资源,同时为我国杜仲种质资源雄花性状描述规范和数据标准化的建立提供参考。

参 考 文 献

- [1] 杜红岩,胡文臻,俞锐,等. 杜仲产业绿皮书[M]. 北京:社会科学文献出版社,2013:188-195.
DU H Y, HU W Z, YU R, et al. Green book of *Eucommia* industry[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2013: 188-195.
- [2] 杜红岩,李芳东,杜兰英,等. 不同产地杜仲果实形态特征及含胶量的差异性研究[J]. 林业科学,2006,42(3):35-39.
DU H Y, LI F D, DU L Y, et al. Difference of samara's form characters and gutta-percha content from different producing areas associated with *Eucommia ulmoides*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(3): 35-39.
- [3] 杜红岩. 中国杜仲图志[M]. 北京:中国林业出版社,2014:76-79.
DU H Y. China *Eucommia pictorial*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2014: 76-79.
- [4] 白喜婷,朱文学,罗磊,等. 杜仲雄花及花茶中总黄酮含量的测定[J]. 食品科技,2008,33(4):186-188.
BAI X T, ZHU W X, LUO L, et al. Determination of total flavone contents in male flowers and flower tea of *Eucommia ulmoides* oliver[J]. Food Science & Technology, 2008,33(4): 186-188.
- [5] 杜红岩. 杜仲活性成分与药理研究的新进展[J]. 经济林研究,2003,21(2):58.
DU H Y. The progress in research of the active component from *Eucommia ulmoides* and its pharmacology [J]. Economic Forest Researches, 2003, 21(2): 58.
- [6] 国家卫生计生委. 关于批准壳寡糖等6种新食品原料的公告[EB/OL]. (2015-09-20)[2014-05-15]. <http://www.moh.gov.cn/sps/s7890/201405/367ce408981e4807809e107417b3d361.Shtml>.
National Health and Family Planning Commission of PRC. The announcement on approving chitosan oligosaccharide and other five kinds of new food ingredients[EB/OL]. (2015-09-20)[2014-05-15]. <http://www.moh.gov.cn/sps/s7890/201405/367ce408981e4807809e107417b3d361.Shtml>.
- [7] DONG J E, MA X H, ZHUO R F, et al. Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34(1):1102-1110.
- [8] 景士西. 关于编制我国果树种质资源评价系统的若干问题的商榷[J]. 园艺学报,1993,20(4):353-357.
JING S X. On some problems concerned with compiling the descriptors of fruit germplasm in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1993, 20(4): 353-357.
- [9] 魏浩华. 杏果实主要数量性状分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.
WEI H H. Analysis of fruit quantitative characters of apricot

- varieties[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [10] 杨雷, 杨莉, 李莉, 等. 草莓种质资源果实主要数量性状变异及概率分级[J]. 西南农业学报, 2007, 20(5): 1067-1069.
YANG L, YANG L, LI L, et al. Variation and probability grading of main quantitative characters of fruit in strawberry germplasm resource[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2007, 20(5): 1067-1069.
- [11] 刘孟军. 枣树数量性状的概率分级研究[J]. 园艺学报, 1996, 23(2): 105-109.
LIU M J. Studies on the variations and probability gradings of major quantitative characters of Chinese jujube [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1996, 23(2): 105-109.
- [12] 赵海娟, 刘威生, 刘宁, 等. 普通杏种质资源果实主要数量性状变异及概率分级[J]. 果树学报, 2013, 30(1): 37-42.
ZHAO H J, LIU W S, LIU N, et al. Variation and probability grading of main quantitative traits of apricot (*Armeniaca vulgaris*) germplasm[J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(1): 37-42.
- [13] 尼章光, 张林辉, 解德宏, 等. 怒江流域杜果种质资源主要数量性状变异及概率分级[J]. 果树学报, 2009, 26(4): 492-497.
NI Z G, ZHANG L H, XIE D H, et al. Variation and probability grading of main quantitative characteristics of mango germplasm resource in Nujiang Valley, Yunnan Province[J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(4): 492-497.
- [14] 蒲光兰, 肖千文, 蔡利娟, 等. 四川核桃种质资源坚果的数量性状变异及概率分级[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 41(6): 647-650.
PU G L, XIAO Q W, CAI L J, et al. Variation and probability grading of main quantitative traits of walnut (*Juglans regia* L.) germplasm resources[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Nat Sci), 2014, 41(6): 647-650.
- [15] 赵献民, 龚榜初, 吴开云, 等. 浙江省农家柿品种数量分类研究[J]. 林业科学研究, 2012, 25(1): 77-87.
ZHAO X M, GONG B C, WU K Y, et al. Research on quantitative classification of native persimmon varieties in Zhejiang Province[J]. Forest Research, 2012, 25(1): 77-87.
- [16] 雒新艳, 宋雪彬, 戴思兰. 中国传统大菊品种数量性状变异及其概率分级[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(1): 101-111.
LUO X Y, SONG X B, DAI S L. Variation and probability grading of quantitative characters of traditional *Chrysanthemum* cultivars[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2016, 38(1): 101-111.
- [17] 张韶伊, 宁惠娟, 范义荣. 大花蕙兰主要数量性状的变异及概率分级[J]. 浙江农业科学, 2013(9): 1118-1121.
ZHANG S Y, NING H J, FAN Y R. Variation and probability grading of main quantitative traits of *Cymbidium grandiflorum*[J]. Zhejiang Nongye Kexue, 2013(9): 1118-1121.
- [18] 范杰平. 柿叶中有效成分的提取与分离研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
FAN J P. Study on the extraction and separation of the active components in the leaves of *Diospyros kaki* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [19] 中华人民共和国卫生部. 食品中氨基酸的测定: GB/T5009.124-2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
National Health and Family Planning Commission of PRC. Determination of amino acids in foods; GB/T5009.124-2003 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [20] 郭洋静, 丁艳霞, 许兰波, 等. HPLC 法同时测定杜仲雄花中 5 种活性成分[J]. 中成药, 2014, 36(10): 2131-2134.
GUO Y J, DING Y X, XU L B, et al. Simultaneous determination of five compounds in male flowers of *Eucommia ulmoides* Oliv. by hplc[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2014, 36(10): 2131-2134.
- [21] 朗彬彬, 朱博, 谢敏, 等. 野生毛花猕猴桃种质资源主要数量性状变异分析及评价指标探讨[J]. 果树学报, 2014, 33(1): 8-14.
LANG B B, ZHU B, XIE M, et al. Variation and probability grading of the main quantitative characteristics of wild *Actinidia chinensis* germplasm resources[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 33(1): 8-14.
- [22] 王昆, 刘凤之, 肖艳宏, 等. 苹果种质资源果实数量性状评价分析[J]. 中国果树, 2007(5): 14-17.
WANG K, LIU F Z, XIAO Y H, et al. Evaluation and analysis on quantitative traits of apple germplasm resources[J]. China Fruits, 2007(5): 14-17.
- [23] 刘小勇, 董铁, 王发林, 等. 甘肃省元帅系苹果叶营养元素含量标准值研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 246-251.
LIU X Y, DONG T, WANG F L, et al. Studies on the standard ranges of leaf nutritional element contents of delicious apple in Gansu Province[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(1): 246-251.
- [24] 朱敏, 高爱平, 邓穗生, 等. 杜果种质资源果实主要数量性状评价指标探讨[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(4): 418-423.
ZHU M, GAO A P, DENG S S, et al. Evaluation index of main quantitative characters of mango (*Mangifera indica*) genetic resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(4): 418-423.
- [25] 马小河, 赵旗峰, 董志刚, 等. 鲜食葡萄品种资源果实数量性状变异及概率分级[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(6): 1185-1189.
MA X H, ZHAO Q F, DONG Z G, et al. Variation and probability grading of main quantitative traits of table grape resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(6): 1185-1189.

(责任编辑 赵 勃
责任编辑 戴思兰)