



舒钰,孔文汇,王钰婷,等.黑龙江省茶条槭种质资源表型多样性分析[J].黑龙江农业科学,2025(5):67-77.

黑龙江省茶条槭种质资源表型多样性分析

舒钰^{1,2,3},孔文汇³,王钰婷⁴

(1.黑龙江开放大学 继续教育学院,黑龙江 哈尔滨 150080; 2.东北林业大学 园林学院,黑龙江 哈尔滨 150040; 3.黑龙江省林业科学研究所,黑龙江 哈尔滨 150081; 4.黑龙江省林业科学院,黑龙江 哈尔滨 150081)

摘要:为促进黑龙江省茶条槭种质资源选育、种质创新、遗传改良及种质资源的保护,根据黑龙江省茶条槭分布情况,选取了20个居群对其表型变异幅度、表型性状的分化情况、表型遗传多样性及各性状之间的相互关系展开研究。结果表明,各个表型性状的平均变异系数从大到小的顺序为叶柄长宽比(38.73%)、叶柄宽(29.49%)、叶片长比叶柄长(21.62%)、左侧角(20.55%)、叶柄基部宽(19.99%)、叶脉数(19.29%)、叶柄长(17.83%)、果厚(15.74%)、叶片长宽比(15.63%)、翅果长宽比(15.14%)、叶片宽(12.98%)、叶片长(12.42%)、叶长(10.37%)、翅果长(10.25%)、翅果宽(9.65%)、果宽(8.83%)、种子长(7.32%)、果长(7.15%)、种子宽(6.67%)、着生痕(6.49%)、种子厚(6.43%)、翅果连接角(6.35%)。叶片性状的平均变异系数为19.90%,翅果性状的变异系数为9.95%,种子性状为6.81%。其表型特征与地理位置密切相关,随纬度、经度和海拔的变化,叶片的形态特征表现出显著的地理梯度效应。表型多样性的变异大多发生在居群间,表型多样性较高的居群分布在高纬度地区。孙吴、嫩江和沾河居群变异系数最大,分别为16.91%、16.31%和15.83%。建议将孙吴、嫩江和沾河居群作为重点保护居群。

关键词:茶条槭;表型性状;遗传多样性;地理梯度效应;黑龙江省

茶条槭(*Acer ginnala* Maxim.)槭属植物,是优良的秋季景观树种;其果实富含油脂,可用于生产食用油^[1];叶片富含没食子酸^[2-3],可用于抗菌、降血糖、抗炎、抗肿瘤等多种药物的开发^[4-6];是一种综合利用价值很高的植物。作为一种重要的生态、经济及观赏植物,茶条槭正遭受过度开发和栖息地破碎化的威胁,其生存环境日益严峻。茶条槭的天然居群仍处于野生状态,分布零散,尚未形成独立稳定的森林群落^[7]。黑龙江省处于茶条槭自然分布的北界,在人类活动和气候环境变化的双重影响下,亟需深入调查与评估黑龙江省茶条槭的种质资源现状,为黑龙江省茶条槭资源的保护和可持续利用提供科学依据。

遗传多样性最直接的表现形式是遗传变异的水平,包括表型、细胞学、生理生化和分子等多个层次的遗传变异。表型是基因型和环境共同作用的结果,表型多样性是遗传与环境多样性的综合体现^[8],对表型多样性的研究是科学保护的前提^[9]。精确有效的采样、合理的数学统计方法,并选择遗传学上较为稳定,不受环境影响的性状,可以揭示居群的遗传规律和变异大小,客观评价其

遗传多样性^[10]。许多学者都采用表型性状来分析和研究植物居群内、居群间的遗传多样性,如冬青(*Ilex chinensis*)^[11]、新樟属(*Neocinnamomum*)^[12]、元宝枫(*A. truncatum*)^[13]等。

1 材料与方法

1.1 材料

根据黑龙江省茶条槭分布情况,在20个地点采集样本。

1.1.1 叶片样本 2024年,6月—7月,每个地区随机选取30株健康植株(做好标记),植株间距大于50m,以降低植株间的亲缘关系。分别在每棵树上东南西北4个方向摘取当年生枝条向上数第3片、第4片、第5片、第6片成熟叶片,对其性状进行测量和记录^[14]。

1.1.2 果实样本 2024年,9月—10月,选择做好标记的茶条槭,每株树东南西北不同方位分别从树冠上、中、下部位采集当年生结果小枝,每株采集树果实数量不少于100个。每株随机选取30个完整翅果、30粒种子对其性状进行测量和记录。

收稿日期:2025-02-27

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(QN2024-02)。

第一作者:舒钰(1982—),女,博士,副研究员,从事园林植物研究工作。E-mail:370194057@qq.com。

表 1 茶条槭调查地自然概况

序号	调查地点	经度/°	纬度/°	海拔/m	年均气温/℃	年降水量/mm
1	嫩江县(NJ)	126.4247768	49.49627946	470.30	1.2	493.3
2	孙吴县(SW)	127.5622605	49.44359545	200.86	0.8	558.0
3	通北林业局(TB)	127.4190463	48.18397819	368.28	1.5	554.0
4	沾河林业局(ZH)	128.2181624	48.63226821	418.67	1.2	532.2
5	五营镇(WY)	129.1877139	48.11063219	319.11	0.9	638.3
6	嘉荫县(JY)	130.2899672	48.78351389	182.71	0.9	607.8
7	双丰林业局(SF)	128.0919896	46.81564476	276.48	1.8	665.4
8	铁力市(TL)	128.8192314	46.97212255	432.49	2.5	662.4
9	鹤北林业局(HB)	130.3110471	47.55039874	184.51	3.6	672.8
10	桦南林业局(HN)	131.2349379	46.33794907	438.20	4.1	542.1
11	东方红林业局(DFH)	133.7382576	46.67155927	202.69	3.1	618.4
12	八五三农场(BWS)	134.0767661	47.33994517	68.08	4.6	529.1
13	密山市(MS)	131.7825733	45.51813173	173.14	4.4	562.4
14	迎春林业局(YC)	132.5664849	46.07308948	246.79	4.0	618.4
15	山河屯林业局(SHT)	127.7477122	44.79543843	218.25	4.9	606.4
16	方正林业局(FZ)	128.8920177	45.78422534	137.60	4.1	617.5
17	林口林业局(LK)	130.3137931	45.12931289	445.96	3.9	555.3
18	东京城林业局(DJC)	129.0585240	43.98886190	460.52	4.5	533.1
19	大海林林业局(DHL)	128.8252669	44.46438601	616.99	5.0	559.1
20	绥阳林业局(SY)	130.7056763	44.22695817	382.54	6.0	553.6

注:气象数据来源于国家气象科学中心。

1.2 方法

1.2.1 表型性状的测量 根据文献[14-16]的方法,用游标卡尺测量茶条槭叶的叶长(叶片长+叶柄长)、叶片长、叶片宽、叶柄长、叶柄宽、叶柄基部宽,精度为 0.01 mm;用量角器测量左侧角,精度为 0.1°;计算叶片长宽比、叶柄长宽比、叶脉数和叶片长比叶柄长。待茶条槭果实自然阴干后,用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量翅果长、翅果宽、着生痕、果长、果宽、果厚、种子长、种子宽、种子厚;用量角器测量翅果连接角,精度为 0.1°;计算翅果长宽比。

1.2.2 数据分析 使用 SPSS 23.0 软件对茶条槭 20 个居群的 22 个表型性状进行巢式设计方差分析、与地理生态因子的 Persone 相关性分析、主成分分析、聚类分析,得到每一个性状的平均值、平方和、均方、标准差、标准误差、F 值和显著水平等结果。使用 Excel 2019 对变异系数进行计算。

$$CV(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 \tag{1}$$

式中,CV 为变异系数,S 为标准差, \bar{x} 为平均值。

$$S = [1xx/(n-1)]^{1/2} \tag{2}$$

$$1xx = \sum_{j=1}^n X_1^2 - (\sum_{j=1}^n X_1)1/2 \tag{3}$$

对各性状采用巢式方差分析,线性模型为:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + T_{(i)j} + \epsilon_{(ij)k} \tag{4}$$

式中, Y_{ijk} 为第 i 个种、第 j 个种源、第 k 个观测值, μ 为总均值, S_i 为种间效应(固定), $T_{(i)j}$ 为种内种源间效应(随机); $\epsilon_{(ij)k}$ 为试验误差。

欧式距离(d_{ij}):

$$d_{ij} = [\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2]^{1/2} \tag{5}$$

2 结果与分析

2.1 茶条槭表型性状的均值比较及方差分析

2.1.1 叶片表现性状 由表 2 可知,桦南(HN)和孙吴(SW)两个居群的平均叶长均超过 16.00 cm。方正(FZ)、鹤北(HB)、山河屯(SHT)和通北(TB)4 个居群的平均叶长较短,而其他居群的叶长介于 11.00~15.00 cm 之间。居群间叶片长度差异较为显著。桦南(HN)居群的叶片平均长度最长,达到 10.39 cm,而通北(TB)居群的叶片平均长度最短,仅为 5.80 cm。东京城(DJC)、方正(FZ)和密山(MS)居群叶片较宽,其中东京城居群位列第一,为 8.67 cm。叶片长宽比在居群间

也表现出明显差异,平均值为 1.38,嘉荫(JY)居群最大,为 1.93,密山居群最小,仅为0.96。叶柄长度的平均值为 4.05 cm,其中孙吴(SW)居群的叶柄长度最短,平均为 2.97 cm。桦南(HN)居群叶柄长宽比最高,为 75.68;而嘉荫(JY)居群最低,为 21.48。五营(WY)居群的叶片左侧角最大

为 73.7°,嫩江(NJ)居群最小为 27.8°。在叶脉数方面,铁力(TL)居群平均叶脉数最多,为 11.94,而五营(WY)居群最少,为 7.00。在叶片长与叶柄长的比值方面,孙吴(SW)居群最大,其次是双丰(SF)和东京城(DJC)居群。

表 2 黑龙江省茶条槭各居群叶片性状均值统计

居群	叶长/ cm	叶片长/ cm	叶片宽/ cm	叶片长 宽比	叶柄长/ cm	叶柄宽/ mm	叶柄长 宽比	叶柄基部宽/ mm	叶片长比 叶柄长	左侧角/ °	叶脉数/ 对
BWS	12.06	7.81	5.86	1.33	4.25	1.44	29.51	1.67	1.84	39.3	8.48
DFH	11.23	7.19	5.41	1.33	4.04	1.14	35.44	1.89	1.78	45.4	9.48
YC	12.68	8.18	5.23	1.59	4.50	1.03	43.69	2.09	1.82	42.5	6.52
MS	14.10	6.85	7.25	0.96	4.08	1.23	33.17	2.00	1.68	48.0	10.98
HN	16.80	10.39	6.41	1.63	5.85	0.79	74.05	1.85	1.78	53.6	9.08
SY	11.76	7.40	5.97	1.26	4.35	1.24	35.08	1.62	1.70	73.1	10.82
LK	12.43	7.94	5.00	1.67	4.49	1.05	42.76	1.58	1.77	51.2	11.78
HB	10.66	6.88	5.58	1.25	3.78	1.65	22.91	1.98	1.82	64.4	8.44
JY	12.10	8.65	4.59	1.93	3.45	1.73	19.94	1.94	2.51	32.5	8.04
WY	13.35	8.34	7.03	1.19	5.01	1.27	39.45	1.84	1.66	73.7	7.00
DJC	13.81	9.92	8.67	1.15	3.89	0.95	40.95	1.41	2.55	57.4	10.04
FZ	10.48	7.49	7.59	1.00	2.99	1.69	17.69	2.04	2.51	47.9	8.46
DHL	14.52	9.56	6.76	1.43	4.96	1.56	31.79	2.17	1.93	54.5	11.38
TL	12.64	8.68	5.59	1.58	3.97	1.19	33.36	1.67	2.19	42.0	11.94
ZH	11.46	7.10	5.74	1.25	4.36	1.02	42.75	1.50	1.63	29.8	9.32
SF	12.11	8.93	6.62	1.36	3.18	1.22	26.07	1.99	2.81	49.1	10.06
SHT	10.80	7.34	4.91	1.53	3.46	1.07	32.34	1.76	2.12	60.0	9.38
SW	16.23	9.26	6.97	1.33	2.97	1.42	20.92	1.99	3.12	30.8	8.42
TB	10.61	5.80	4.81	1.21	3.65	1.24	29.44	1.85	1.59	66.0	8.96
NJ	13.33	8.24	5.09	1.64	3.85	1.68	22.92	2.10	2.14	27.8	11.62

2.1.2 果实表型性状 由表 3 可知,各居群中,翅果长度在 22.00~32.00 mm 之间,宽度在7.00~12.00 mm 之间,其中东方红(DFH)居群的翅果宽度最大,达到 11.55 mm。沾河(ZH)居群的翅果的长宽比最高,为 3.60,而孙吴(SW)居群最低,仅为 2.20。大海林(DHL)居群翅果连接角最大,为 84.58°;东京城(DJC)居群的翅果连接角最小,平均值为 61.36°。通北(TB)居群的着生痕最大,为 3.97 mm,双丰(SF)居群最小,为 2.86 mm。东方红(DFH)居群果实平均长度最长,为 11.40 mm,

五营(WY)居群最短,为 7.88 mm;铁力(TL)居群的果实平均宽度最大,达 6.29 mm,而迎春(YC)居群的最小,平均宽度为 4.37 mm。密山(MS)和嘉荫(JY)居群的种子较长,分别为 5.85 和 5.83 mm,其他居群的种子长度通常在 5.00 mm 左右。种子宽度的平均值在 3.00 mm 左右,密山(MS)居群的种子厚度最小,为 2.05 mm,种子厚度最大值观测是通北(TB)居群,其次是林口(LK)居群。

表 3 黑龙江省茶条槭各居群果实、种子性状均值统计

居群	翅果长/ mm	翅果宽/ mm	翅果长 宽比	翅果连接角/ °	着生痕/ mm	果长/ mm	果宽/ mm	果厚/ mm	种子长/ mm	种子宽/ mm	种子厚/ mm
BWS	23.92	9.85	2.46	69.99	3.52	8.95	4.99	3.59	5.69	3.20	2.43
DFH	29.93	11.55	2.71	84.31	3.56	10.40	5.08	3.87	5.62	3.32	2.36
YC	28.25	8.65	3.29	71.30	3.39	9.15	4.37	3.50	5.56	2.62	2.35
MS	31.30	10.31	3.05	62.80	3.25	9.57	5.53	5.07	5.85	3.26	2.05

表 3 (续)

居群	翅果长/ mm	翅果宽/ mm	翅果长 宽比	翅果连接角/ °	着生痕/ mm	果长/ mm	果宽/ mm	果厚/ mm	种子长/ mm	种子宽/ mm	种子厚/ mm
HN	23.24	9.46	2.47	74.45	3.55	9.71	5.12	4.51	5.10	2.64	2.47
SY	26.42	8.93	3.05	69.34	3.29	9.08	4.51	3.51	5.40	2.63	2.37
LK	22.21	7.47	3.01	80.82	3.31	8.06	4.91	2.92	5.24	3.47	2.51
HB	24.11	9.74	2.51	63.17	3.69	10.31	5.96	3.88	5.52	3.19	2.37
JY	28.60	9.05	3.18	77.31	3.82	9.78	5.09	4.47	5.83	3.42	2.25
WY	25.86	8.16	3.23	81.71	3.71	7.88	4.58	4.42	4.72	2.61	2.40
DJC	24.99	10.33	2.43	61.36	3.67	10.84	5.47	3.88	5.66	3.20	2.12
FZ	24.64	9.32	2.66	66.45	3.26	11.39	5.12	3.98	5.60	3.12	2.12
DHL	27.80	9.58	2.92	84.58	3.20	9.08	4.93	3.88	4.96	2.78	2.21
TL	26.45	10.98	2.42	73.61	3.52	8.94	6.29	3.50	5.48	3.31	2.39
ZH	31.96	8.90	3.60	78.92	3.76	10.92	5.42	2.90	5.91	3.06	2.49
SF	26.46	7.63	3.52	62.97	2.86	9.64	5.50	3.47	5.62	3.14	2.34
SHT	28.04	9.68	2.92	71.29	3.37	9.18	5.12	3.43	5.48	3.14	2.37
SW	24.97	11.39	2.20	64.16	3.60	8.98	5.03	4.17	4.80	3.06	2.40
TB	26.07	9.09	2.90	80.53	3.97	9.27	5.27	4.05	4.90	3.13	2.57
NJ	26.24	10.01	2.65	77.13	3.38	9.49	5.09	3.23	5.44	3.07	2.08

2.1.3 巢式方差分析

由表 4 可知,参试茶条槭 22 个表型性状中只有叶长、叶片长宽比和叶片宽在居群内具有显著性差异,其余 19 个表型性状在居群内差异均不显著,这表明大部分表型性状在居群内保持相对稳定。而 22 个表型性状在居

群间均表现出显著性差异,说明黑龙江省茶条槭居群间变异分化程度明显,多样性和丰富度较高,在居群内变异性较小,稳定性强,大部分性状在居群内存在着稳定的遗传。

表 4 黑龙江省茶条槭居群间和居群内各表型性状的巢式方差分析

性状	均方		机误	F 值	
	居群内	居群间		居群内	居群间
叶长	1.881	156.287	1.661	1.300**	83.098***
叶片长	1.171	66.141	0.900	1.132	56.488***
叶片宽	0.711	58.241	0.558	1.273**	81.916***
叶片长宽比	0.058	2.928	0.049	1.1878*	50.763***
叶柄长	0.475	25.441	0.683	0.696	53.518***
叶柄宽	0.169	3.700	0.210	0.805	21.889***
叶柄长宽比	198.838	7449.394	261.015	0.762	37.465***
叶柄基部宽	0.112	2.279	0.203	0.550	20.398***
叶片长比叶柄长	0.178	10.438	0.280	0.636	58.598***
左侧角	92.114	9444.93	94.812	0.972	102.535***
叶脉数	2.295	120.805	4.950	0.464	52.638***
翅果长	4.113	332.112	11.488	0.358	80.748***
翅果宽	0.742	60.469	1.233	0.602	81.489***
翅果长宽比	0.114	7.578	0.288	0.394	66.672***
翅果连接角	20.145	2932.435	26.375	0.764	145.568***
着生痕	0.055	3.319	0.056	0.976	60.215***
果长	0.382	39.939	0.668	0.572	104.597***
果宽	0.155	10.297	0.301	0.516	66.254***
果厚	0.213	14.952	0.467	0.457	70.052***
种子长	0.171	8.704	0.186	0.923	50.789***
种子宽	0.043	3.620	0.042	1.037	83.789***
种子厚	0.023	1.080	0.023	0.972	46.125***

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上极显著相关; *** 表示在 0.001 水平上极显著相关。

2.2 茶条槭居群表型变异特征

2.2.1 表型方面 由表5、表6可知,参试茶条槭各个表型性状的平均变异系数从大到小的顺序为叶柄长宽比(38.73%)>叶柄宽(29.49%)>叶片长比叶柄长(21.62%)>左侧角(20.55%)>叶柄基部宽(19.99%)>叶脉数(19.29%)>叶柄长(17.83%)>果厚(15.74%)>叶片长宽比(15.63%)>翅果长宽比(15.14%)>叶片宽(12.98%)>叶片

长(12.42%)>叶长(10.37%)>翅果长(10.25%)>翅果宽(9.65%)>果宽(8.83%)>种子长(7.32%)>果长(7.15%)>种子宽(6.67%)>着生痕(6.49%)>种子厚(6.43%)>翅果连接角(6.35%)。综上所述,叶片的表型性状中叶柄长宽比变异最大,其次是叶柄宽;在翅果的表型性状中,左侧角的变异最大,其次为果厚;种子的性状中,种子长变异最为突出,其次为种子宽。

表5 黑龙江省茶条槭20个居群叶片表型性状的变异系数

居群	变异系数/%										
	叶长	叶片长	叶片宽	叶片长宽比	叶柄长	叶柄宽	叶柄长宽比	叶柄基部宽	叶片长比叶柄长	左侧角	叶脉数
BWS	11.74	15.45	18.36	14.84	15.89	9.22	16.39	8.39	21.41	13.87	13.32
DFH	18.47	19.35	19.22	15.67	22.73	15.09	25.35	5.63	20.54	20.24	10.92
YC	10.99	13.23	19.45	10.50	13.96	11.35	17.79	4.68	16.36	12.44	17.04
MS	8.87	14.25	10.47	17.93	22.34	12.37	24.99	7.97	29.39	12.16	17.41
HN	7.80	11.88	8.64	15.19	16.58	14.79	23.97	21.09	26.18	8.88	15.55
SY	16.39	19.54	20.57	18.78	19.15	12.47	23.83	22.82	26.11	7.05	17.68
LK	9.72	13.14	20.83	25.96	19.11	27.99	33.28	24.35	24.89	26.08	17.35
HB	18.15	19.24	19.81	15.56	23.26	26.86	36.63	25.81	20.95	12.82	13.15
JY	10.08	8.97	15.86	17.87	21.86	28.49	31.33	18.07	22.69	29.03	17.76
WY	10.92	12.03	7.24	13.25	18.83	39.02	51.01	27.46	22.12	7.50	20.41
DJC	9.79	6.09	7.06	9.46	30.31	27.55	44.16	18.11	29.77	20.90	29.02
FZ	8.56	9.25	10.54	16.37	13.93	41.83	51.01	24.45	15.12	30.56	20.43
DHL	6.07	8.48	9.98	12.59	7.66	30.42	37.11	19.60	11.70	21.07	20.62
TL	9.79	9.54	11.39	16.85	25.45	35.58	45.01	23.43	30.27	25.81	18.26
SF	8.52	8.24	11.01	14.57	19.42	39.10	48.59	20.16	23.72	36.69	24.38
ZH	7.19	8.46	9.79	11.85	13.73	43.93	47.85	31.18	18.53	25.46	25.59
SHT	10.27	11.96	16.97	17.97	16.39	41.23	50.25	23.99	18.09	14.86	24.83
SW	7.79	13.72	4.95	15.26	16.34	47.67	62.91	30.66	20.65	31.49	20.65
TB	8.52	13.55	7.37	14.64	13.68	38.03	46.49	21.56	20.74	15.65	22.54
NJ	7.71	11.99	10.03	17.55	5.90	46.91	56.66	20.40	13.12	38.56	18.96
均值	10.37	12.42	12.98	15.63	17.83	29.49	38.73	19.99	21.62	20.55	19.29

2.2.2 居群方面 由表5、表6可知,同一居群茶条槭的不同表型性状的变异系数也有很大差别。八五三(BWS)居群叶片长比叶柄长变异系数最大(21.41%),种子长变异系数最小(3.55%);东方红(DFH)和五营(WY)居群均为叶柄长宽比变异系数最大(25.35%和51.01%),种子长变异系数最小(5.17%和2.55%);迎春(YC)居群果厚变异系数最大(19.46%),翅果长变异系数最小(3.92%);密山(MS)居群叶片长比叶柄长变异系数最大(29.39%),种子宽变异系数最小(5.18%);桦南(HN)和绥阳(SY)均为叶片长比叶柄长变异系数最大(26.18%和26.11%),果长变异系数最小(4.91%和4.48%);林口(LK)和大海林(DHL)居群叶柄长宽比变异系数最大(33.28%

和37.11%),果宽变异系数最小(4.51%和3.89%);鹤北(HB)居群叶柄长宽比变异系数最大(36.63%),果长变异系数最小(6.14%);嘉荫(JY)和山河屯(SHT)居群均为叶柄长宽比变异系数最大(31.33%和50.25%),种子宽变异系数最小(4.32%和4.24%);东京城(DJC)居群叶柄长变异系数最大(30.31%),翅果连接角变异系数最小(4.52%);方正(FZ)、双丰(SF)、沾河(ZH)和通北(TB)居群均为叶柄长宽比变异系数最大(51.01%、48.59%、47.85%和46.49%),着生痕的变异系数最小(4.48%、3.51%、5.45%和2.54%);铁力(TL)居群叶柄长宽比变异系数最大(45.01),翅果连接角变异系数最小(2.40%);孙吴(SW)居群叶柄长宽比变异系数最大(62.91%),叶片宽变异系数最小(4.95%);

嫩江(NJ)居群叶柄长宽比变异系数最大(56.66%),

叶片相关性状的变异最为显著,而与翅果和种子

种子长变异系数最小(3.72%)。这些结果表明,

相关的性状变异相对较小。

表 6 黑龙江省茶条槭 20 个居群果实、种子表型性状的变异系数

居群	变异系数/%										
	翅果长	翅果宽	翅果长宽比	翅果连接角	着生痕	果长	果宽	果厚	种子长	种子宽	种子厚
BWS	6.99	10.26	13.12	6.63	7.97	4.94	10.79	6.20	3.55	4.61	4.17
DFH	7.02	19.92	22.82	7.07	7.31	5.28	9.92	20.03	5.17	5.40	7.87
YC	3.92	9.04	9.10	10.05	11.60	3.97	15.28	19.46	4.90	9.55	4.99
MS	6.68	7.05	11.04	11.40	9.52	6.21	10.76	19.63	8.21	5.18	6.99
HN	13.24	7.67	16.60	5.92	7.93	4.91	9.69	15.46	8.98	6.94	6.92
SY	10.56	16.62	23.27	8.09	5.47	4.48	5.15	17.77	4.79	6.63	7.25
LK	15.53	11.94	19.55	7.24	5.03	14.09	4.51	10.87	6.79	4.63	4.19
HB	17.38	11.91	20.86	6.30	5.36	6.14	7.54	10.83	6.60	6.98	7.64
JY	7.37	7.89	11.58	1.96	4.89	11.23	8.37	15.80	8.49	4.32	5.04
WY	14.57	13.04	21.04	7.31	4.49	3.67	7.10	13.72	2.55	8.20	8.26
DJC	14.62	7.07	15.31	4.52	4.90	10.30	14.55	10.83	8.98	8.35	7.99
FZ	16.38	6.93	17.22	4.59	4.48	6.49	9.85	10.74	8.15	7.19	8.41
DHL	6.51	9.47	10.29	5.61	11.46	7.31	3.89	10.83	12.95	6.94	6.95
TL	8.73	5.15	10.64	2.40	7.09	6.54	7.73	23.16	7.02	6.46	5.15
SF	8.01	3.89	9.93	3.76	3.51	9.33	11.80	12.67	9.66	8.00	4.80
ZH	7.49	12.56	14.15	6.30	5.45	8.34	7.92	20.78	8.29	7.42	5.90
SHT	4.37	9.80	9.67	7.49	5.78	6.61	9.85	20.11	7.28	4.24	6.68
SW	11.78	5.88	13.25	8.24	6.77	6.42	6.42	18.40	10.30	7.43	4.98
TB	9.73	6.85	15.86	5.76	2.54	7.75	7.13	18.66	9.98	7.89	6.86
NJ	14.16	10.11	17.44	6.46	8.34	8.98	8.37	18.81	3.72	7.02	7.63
均值	10.25	9.65	15.14	6.35	6.49	7.15	8.83	15.74	7.32	6.67	6.43

根据 20 个茶条槭居群 22 个性状平均变异系数计算得出各居群平均变异系数,由高到低依次为:孙吴(SW)(16.91%)>嫩江(NJ)(16.31%)>沾河(ZH)(15.83%)>林口(LK)(15.78%)>方正(FZ)(15.57%)>铁力(TL)(15.52%)>双丰(SF)(15.44%)= 鹤北(HB)(15.44%)=东京城(DJC)(15.44%)>山河屯(SHT)(15.40%)>五营(WY)(15.17%)>通北(TB)(14.63%)>绥阳(SY)(14.29%)>东方红(DFH)(14.14%)>嘉荫(JY)(14.04%)>密山(MS)(12.76%)>大海林(DHL)(12.61%)>桦南(HN)(12.49%)>迎春(YC)(11.35%)>八五三(BWS)(10.82%)。对不同表型性状的变异系数进行分析,叶片性状的平均变异系数为 19.90%,翅果性状的变异系数为 9.95%,种子性状为 6.81%。三者之间变异性大小关系为叶片>翅果>种子。这表明叶片相关性状在茶条槭的表型变异中扮演了更加重要的角色,而种子的稳定性更强。

2.3 茶条槭表型性状间的主成分分析

对茶条槭叶片、果实和种子的 22 个表型性状

指标进行主成分分析,其主成分特征值、贡献率和累计贡献率见表 7,前 8 个主成分累计贡献率达到 70.790%,表明这 8 个主成分中的表型性状能够较全面地代表原始变量所包含的信息。在第一主成分中,贡献率为 11.312%,起决定作用的是叶长(0.924)、叶片长(0.918)、叶片宽(0.427),显示出对茶条槭叶片形态的显著影响;第二主成分贡献率为 9.640%,发挥主要决定作用的表型性状为叶片长比叶柄长(-0.882)、叶柄长(0.819)、翅果连接角(0.432)和叶柄长宽比(0.423),反映了茶条槭叶片与叶柄的比例及其与翅果连接角的关系;第三主成分的贡献率为 9.594%,其中种子长(0.801)、果长(0.715)和翅果长(0.524)三者的贡献率最大;第四主成分的贡献率为 9.416%,其中叶片长宽比(0.839)、叶片宽(-0.816)、翅果连接角(0.507)和左侧角(-0.437)的特征向量绝对值较大,在第四主成分中贡献率最高,反映了叶片和翅果的尺寸特征;第五主成分贡献率为 8.950%,其中发挥主导作用的是翅果长宽比(0.961)、翅果宽(-0.720)、翅果长(0.582);第六主成分贡献率

为 8.422%,叶柄宽(0.898)和叶柄长宽比(−0.812)贡献率最高;第七主成分贡献率为 7.192%,其中有突出贡献的是果宽(0.722)、种子宽(0.704)和叶柄基部宽(−0.426);第八主成分的贡献率为 6.263%,着生痕(0.709)、叶脉数(−0.641)和果厚(0.505)发挥主要作用。根据以上主成分分析

结果,茶条槭表型多样性的基本来源为叶片贡献率>果实贡献率>种子贡献率。说明茶条槭表型多样性的主要来源依次为叶片、果实和种子,反映了其不同环境条件下的适应性和进化潜力。为了解茶条槭的遗传多样性及其环境适应机制提供了理论依据。

表 7 黑龙江省茶条槭表型性状间的主成分分析

性状	主成分贡献率							
	1	2	3	4	5	6	7	8
叶长	0.924	0.179	−0.081	−0.059	−0.106	−0.071	−0.065	0.027
叶片长	0.918	−0.207	−0.063	0.079	−0.053	−0.104	−0.069	−0.059
叶片长比叶柄长	0.328	−0.882	0.069	0.042	−0.072	0.108	0.068	−0.012
叶柄长	0.341	0.819	−0.142	−0.032	0.047	−0.239	−0.120	−0.012
种子长	−0.139	−0.076	0.801	−0.017	0.062	−0.051	0.069	−0.004
果长	−0.091	−0.142	0.715	−0.162	−0.054	−0.088	0.109	0.059
种子厚	−0.158	0.056	−0.464	0.225	0.132	−0.303	0.114	0.310
叶片长宽比	0.333	−0.146	−0.085	0.839	0.034	−0.060	−0.044	−0.046
叶片宽	0.427	−0.056	0.079	−0.816	−0.062	−0.001	0.002	−0.014
翅果连接角	−0.057	0.432	−0.206	0.507	0.109	0.055	−0.102	0.090
左侧角	−0.226	0.101	−0.434	−0.437	0.072	−0.121	−0.168	0.033
翅果长宽比	−0.074	0.102	0.103	0.066	0.961	0.002	−0.090	−0.026
翅果宽	0.106	0.070	0.326	−0.025	−0.720	0.123	0.198	0.189
翅果长	−0.003	0.243	0.524	0.064	0.582	0.138	0.077	0.167
叶柄宽	−0.024	−0.020	−0.053	−0.003	0.000	0.898	0.040	0.030
叶柄长宽比	0.240	0.423	−0.009	0.008	−0.011	−0.812	−0.100	−0.019
果宽	0.007	−0.036	0.145	−0.102	−0.148	0.044	0.722	−0.024
种子宽	−0.158	−0.163	0.107	0.141	−0.098	0.111	0.704	−0.056
叶柄基部宽	0.023	0.041	0.117	0.105	−0.250	0.338	−0.426	−0.154
着生痕	−0.092	0.133	−0.062	0.174	−0.148	−0.057	0.200	0.709
叶脉数	0.105	0.211	0.010	0.026	−0.059	0.016	0.420	−0.641
果厚	0.220	0.032	0.139	−0.290	−0.003	0.116	−0.065	0.505
特征值	2.489	2.121	2.111	2.071	1.969	1.853	1.582	1.378
贡献率/%	11.312	9.640	9.594	9.416	8.950	8.422	7.192	6.263
累计贡献率/%	11.312	20.952	30.546	39.962	48.913	57.335	64.527	70.790

2.4 茶条槭表型性状与环境因子之间的相关性分析

对茶条槭表型性状与所在地区的生态因子(包括经度、纬度、海拔、年均气温和年降水量)进行相关性分析,由表 8 可知,叶柄长、叶柄长宽比、翅果宽、果厚和种子长均与经度呈显著或极显著正相关;叶柄宽、叶片长比叶柄长、叶脉数和果宽与经度呈负相关。叶片长宽比、叶柄宽、叶片长比叶柄长、叶柄基部宽度、翅果宽、翅果连接角、着生痕、果宽、种子宽和种子厚均与纬度呈极显著正相关;叶片长、叶片宽、叶柄长、叶柄长宽比、左侧角度和叶脉数与纬度呈极显著负相关。叶长、叶片长、叶片长宽比、叶柄长、叶柄长宽比、左侧角、叶

脉数和翅果连接角与海拔呈正相关;叶柄宽、叶柄基部宽、叶片长比叶柄长、翅果宽、果长、果厚、种子长和种子宽与海拔呈极显著负相关。年均气温与叶片宽度、叶柄长、叶柄长宽比、左侧角、叶脉数和种子长呈极显著正相关;叶片长宽比、叶柄宽、叶柄基部宽、叶片长比叶柄长、翅果长、翅果长宽比、翅果连接角、着生痕、果宽、种子宽和种子厚与年均气温呈显著或极显著负相关。叶柄宽、叶柄基部宽、叶片长比叶柄长、左侧角、翅果长宽比、果宽、果厚、种子长、种子宽、种子厚与年降水量呈显著或极显著正相关;叶长、叶片长、叶柄长、叶柄长宽比、叶脉数、翅果宽、翅果连接角、着生痕与年降水量呈显著或极显著负相关。

表 8 黑龙江省茶条槭表型性状与生态因子间的相关性分析

性状	经度	纬度	海拔	年均气温	年降水量
叶长	-0.015	0.023	0.270**	-0.036	-0.288**
叶片长	-0.059	-0.096**	0.293**	0.008	-0.072*
叶片宽	-0.046	-0.271**	0.046	0.165**	-0.051
叶片长宽比	0.006	0.146**	0.155**	-0.136**	-0.009
叶柄长	0.254**	-0.162**	0.335**	0.192**	-0.172**
叶柄宽	-0.097**	0.201**	-0.149**	-0.117**	0.064*
叶片长宽比	0.076*	-0.140**	0.304**	0.089**	-0.155**
叶柄基部宽	-0.030	0.112**	-0.087**	-0.071*	0.116**
叶片长比叶柄长	-0.264**	0.088**	-0.111**	-0.188**	0.111**
左侧角	0.022	-0.418**	0.111**	0.341**	0.213**
叶脉数	-0.153**	-0.205**	0.357**	0.150**	-0.182**
翅果长	0.035	0.047	-0.044	-0.098**	0.019
翅果宽	0.079*	0.084**	-0.117**	0.023	-0.085**
翅果长宽比	-0.031	-0.015	0.049	-0.111**	0.104**
翅果连接角	0.008	0.148**	0.363**	-0.202**	-0.135**
着生痕	-0.013	0.353**	-0.033	-0.308**	-0.098**
果长	-0.016	-0.026	-0.129**	0.041	-0.005
果宽	-0.161**	0.088**	0.010	-0.109**	0.209**
果厚	0.136**	0.029	-0.198**	-0.024	0.072*
种子长	0.175**	-0.003	-0.277**	0.074*	0.072*
种子宽	-0.007	0.103**	-0.222**	-0.142**	0.068*
种子厚	0.058	0.148**	0.027	-0.123**	0.065*

注：* 在 0.05 水平相关性显著；** 在 0.01 水平相关性极显著。

2.5 茶条槭居群表型聚类分析

使用 UPGMA 法对茶条槭的 22 个性状进行聚类分析,基于相对欧式距离,聚类结果如图 1 所示。20 个居群在阈值为 1.568 处明显分为两大类。第一类包括纬度较高的 5 个地点:嘉荫(JY)、孙吴(SW)、嫩江(NJ)、沾河(ZH)和通北(TB)。其中,通北(TB)和沾河(ZH)聚为一支,嘉荫(JY)、孙吴(SW)和嫩江(NY)聚为另一支。第二类涵盖了其余的十五个地点:八五三(BWS)、

东方红(DFH)、铁力(TL)、迎春(YC)、林口(LK)、密山(MS)、双丰(SF)、山河屯(SHT)、五营(WY)、东京城(DJC)、绥阳(SY)、鹤北(HB)、方正(FZ)、大海林(DHL)和桦南(HN)。根据上述聚类分析结果,茶条槭的天然居群大致按照地理距离进行聚类,但也出现了与地理距离不完全一致的情况。这表明茶条槭的表型性状变异具有不连续性,可能受到多种因素的共同影响,而不仅仅是地理距离的影响。

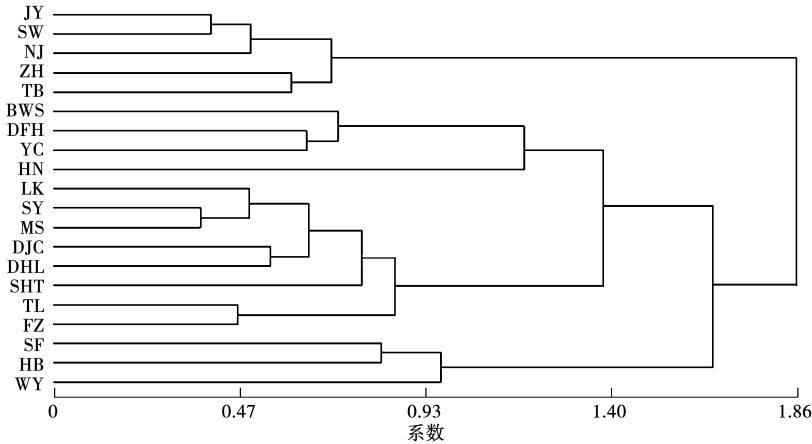


图 1 黑龙江省 20 个茶条槭居群表型性状 UPGMA 聚类图

3 讨论

3.1 茶条槭表型变异特点

表型多样性显示物种在不同生长区域内展现出的形态差异,这些差异是基因型与环境互作的直接表现^[17]。当植物表型出现变异时,这通常反映了其遗传的变异。物种表型变异的系数越高,其遗传变异的可能性也越大。因此,在进行遗传多样性的研究中,表型多样性的分析是一个重要环节^[18-19]。

调查结果表明茶条槭表型变异非常丰富,这与其他地区茶条槭的研究结果类似^[20-21]。通过计算 22 个表型性状的变异系数来展示其离散程度,变异系数均值为 14.50%,变异范围较宽(6.35%~38.73%),各居群间的变异系数也存在明显差异。变异系数最大的是孙吴居群(16.91%),其次为嫩江居群(16.31%)和沾河居群(15.83%)说明这 3 个居群的基因型具有广泛的可塑性,能适应更多的环境变化。其中,各个居群的种子变异系数较小,这与武艳虹等^[20]对 7 个不同省份的茶条槭天然居群的果实和种子的研究结果一致,说明种子性状稳定,这对于保持其遗传多样性和适应性至关重要,这些性状特征为选育优良品种提供了基础。

黑龙江省茶条槭展现出显著的居群间表型差异,而居群内差异则相对较小。这些形态特征的差异可能是对其各自生态环境的适应性反应,源于同一物种内不同性状对相同环境条件的适应性差异^[22-23]。这一特征与槭属其他树种,五角枫(*A. mono*)、葛萝槭(*A. grosseri*)相似^[24-25]。果实和种子的形态特征也显示出居群间的显著变异。翅果长度和宽度在不同居群间波动,其中东方红居群的翅果宽度最大,这种差异可能与居群特有的繁殖策略和散播机制有关^[13,26]。种子的长度、宽度和厚度在居群间也表现出不同的变异模式,这可能与种子的适应性和生存策略相关。通过对 20 个居群 22 个表型性状的统计分析,发现其平均表型变异系数大小为:叶片>果实>种子;主成分分析结果表明,贡献率依次为:叶片>果实>种子。这进一步印证了茶条槭表型变异的规律性。在元宝枫(*A. truncatum*)^[13]、五角枫^[24]、野扁桃核桃(*Amygdalus ledebouriana*)^[27]、葛萝槭^[25]、山苍子(*Litsea cubeba*)^[28]、龙葵(*Solanum rostratum*)^[29]等

植物的表型性状研究中,也发现了同样的规律。

通过巢式方差分析发现,大部分表型性状在居群内保持相对稳定,而所有表型性状在居群间均表现出显著性差异。20 个居群分布在小兴安岭、长白山脉,居群相对分散,生境条件多样。为了适应不同的环境,这些居群逐渐形成了各自独特的形态特征。此外,茶条槭天然居群的种子成熟度不高,且胚胎生理后熟过程较长,这也导致了其表型变异水平较高。居群间显著的变异和居群内的稳定性可能是遗传因素与生态环境因素共同作用的结果。表型聚类结果大致与地理分布相符,地理距离较近的居群往往聚为一类。

3.2 茶条槭表型性状与环境之间的关系

首先,在叶片形态特征方面,与经度相关的指标主要包括叶柄长度和叶柄长宽比,两者均与经度呈正相关;叶柄宽度、叶片长比叶柄长和叶脉数与经度呈负相关。纬度相关的指标中,叶柄宽、叶片长比叶柄长和叶柄基部宽均与纬度呈正相关;叶片长、叶片宽、叶柄长宽比、左侧角和叶脉数与纬度呈负相关。海拔增加使得叶长、叶片长、叶柄长、叶柄长宽比、左侧角和叶脉数显著增加,而叶片长比叶柄长与海拔呈负相关。这一结论与王丹等^[21]对山西七里峪不同海拔茶条槭居群的表型多样性研究结果大致相同。年均气温与叶片宽、叶柄长、左侧角和叶脉数呈正相关,这些特征在年均气温较高的地区更为明显。年降水量与叶柄宽、叶柄基部宽、叶片长比叶柄长和左侧角呈正相关,而与叶长、叶片长、叶柄长、叶柄长宽比和叶脉数呈负相关。

其次,在果实形态特征方面,果宽与经度呈负相关;翅果宽和果厚与经度呈正相关,随经度增加显著增大。翅果宽、翅果连接角、着生痕和果宽均与纬度呈正相关。这一研究结果与韩旻昊等^[13]对山东元宝枫天然居群种实的研究结果相似。翅果连接角与海拔呈正相关,而翅果宽、果长和果厚与海拔呈负相关,海拔较低的地区果实尺寸更大。气候因子中,翅果长、翅果长宽比、翅果连接角、着生痕和果宽与年均气温呈负相关,而果厚与年降水量呈正相关,翅果宽、翅果连接角和着生痕与年降水量呈负相关。

此外,茶条槭的表型特征与地理位置密切相关。随着纬度的升高,叶片长、叶片宽和叶脉数减少,而叶片长宽比、叶柄宽度、翅果宽度以及种子

宽度和种子厚则有所增加。经度的增加导致叶柄长度、翅果宽度和果厚、种子长增加,但叶柄宽、叶片长比叶柄长、叶脉数和果宽减少。在较高海拔地区,叶长、叶片长、叶柄长、左侧角、叶脉数及翅果连接角增加,而叶柄宽、翅果宽和种子尺寸则减少。在年均气温较高的地区,叶片宽、叶柄长、左侧角、叶脉数和种子长增加,而叶片长宽比、叶柄宽和翅果长等特征减少。降水量较高的地区,叶柄宽、叶柄基部宽、左侧角和种子尺寸增加,而叶长、翅果宽及翅果连接角减小。

高纬度地区的茶条槭居群表现出较高的变异系数,表明这些居群的基因型具有较强的可塑性,使它们能够更好地适应多变和严苛的环境条件。高纬度地区的生态环境相对恶劣,茶条槭的分布范围较小,数量相对稀少。因此,保护这些高纬度地区的茶条槭居群显得尤为重要。需关注这些种群的生态完整性,应加强对其生长环境的保护和监管,防止人类活动导致的种群片段化,避免其遗传多样性受到损害,从而维持其种群的适应能力和长期生存潜力。同时,在不破坏自然种群结构的前提下,应从表型特征优良的个体中选择种质资源进行人工繁育和品种改良。利用现代生物技术,如组织培养和分子标记辅助的育种技术,可以提高种质资源的利用效率,并培育出更能适应环境变化的新品种。

4 结论

本研究通过对黑龙江省 20 个茶条槭居群的 22 个表型多样性进行分析,发现了显著的居群间差异以及部分性状的显著居群内差异,而大多数性状在居群内表现出相对稳定。这种差异可能是长期自然选择在不同生态环境下的结果,反映了茶条槭在适应多样化生境中形成的独特特征。茶条槭的叶片性状变异幅度较大,如叶片长、叶长和叶片长宽比的平均变异系数较高。其中孙吴居群、嫩江居群、沾河居群平均变异系数较高,分别为 16.91%、16.31% 和 15.83%。各居群之间丰富的表型多样性和显著的分化程度,为种质资源保护和开发提供了重要的基础信息,也为理解植物居群如何通过表型特征适应特定环境提供了珍贵的视角。

参考文献:

[1] 李雷鹏,马晓倩,孙亮,等. 茶条槭在东北地区的研究现状及展望[J]. 东北林业大学学报,2007,35(10):81-82.

[2] DONG J, ZHAN Y G. Effects of several physiochemical factors on cell growth and Gallic acid accumulation of *Acer ginnala* Maxim cell suspension culture[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(40): 7831-7839.

[3] QI F H, JING T Z, WANG Z X, et al. Fungal endophytes from *Acer ginnala* maxim: isolation, identification and their yield of Gallic acid [J]. Letters in Applied Microbiology, 2009, 49(1): 98-104.

[4] LIAO C Y, WU T C, YANG S F, et al. Effects of NAC and Gallic acid on the proliferation inhibition and induced death of lung cancer cells with different antioxidant capacities[J]. Molecules, 2021, 27(1): 75.

[5] YANG J X, JI Y T, SUI J J, et al. Hypoglycemic action of polyphenols from *Toona sinensis* [J]. Current Topics in Nutraceutical Research, 2020, 18(2): 183-190.

[6] JIANG Y, PEI J, ZHENG Y, et al. Gallic acid: a potential anti-cancer agent [J]. Chinese Journal of Integrative Medicine, 2022, 28(7): 661-671.

[7] 马忠华,张茂松,马传恩,等. 茶条槭专用经济林培育技术要点[J]. 特种经济动植物, 2005, 8(5): 22.

[8] POORTER L, BONGERS F. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species [J]. Ecology, 2006, 87(7): 1733-1743.

[9] VALLADARES F, WRIGHT S J, LASSO E, et al. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest[J]. Ecology, 2000, 81(7): 1925.

[10] MOREIRA A S F P, de LEMOS FILHO J P, ZOTZ G, et al. Anatomy and photosynthetic parameters of roots and leaves of two shade-adapted orchids, *Dichaea cogniauxiana* Shltr. and *Epidendrum secundum* Jacq. [J]. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2009, 204(8): 604-611.

[11] 王雪洁,周鹏,侯思璇,等. 冬青种质资源叶表型多样性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2024, 48(5): 90-96.

[12] 陈文星,杨琳璐,唐军荣,等. 10 个新樟属植物叶片表型性状多样性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(12): 83-93.

[13] 韩旻昊,任飞,燕丽萍,等. 山东元宝枫天然种群种实的表型多样性[J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(11): 173-184, 192.

[14] 姬志峰. 山西五角枫天然种群表型多样性研究[D]. 临汾: 山西师范大学, 2013.

[15] 徐廷志. 槭属的一个系统[J]. 云南植物研究, 1996, 18(3): 277-292.

[16] 罗建勋,李晓清,孙鹏,等. 云杉天然群体的表型变异[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(1): 9-11.

[17] LARIONOVA A Y, SEMERIKOVA S A, EKART A K, et al. Genetic diversity, structure, and differentiation of *Picea abies*-*Picea obovata*-*Picea koraiensis* species complex according to data of chloroplast DNA microsatellite analysis [J]. Russian Journal of Genetics, 2024, 60(11): 1485-1495.

[18] ROHLF F J. NTSYS-pc: numerical taxonomy and multivariate analysis system. Version 2. 2. [Z]Setauket, NY: Exeter Software, 1998.

[19] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法: 生物多样性研究系列专著[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.

[20] 武艳虹, 樊泽路, 李佳, 等. 茶条槭自然种群种子和果实表型多样性研究[J]. 广西植物, 2018, 38(6): 795-803.

[21] 王丹, 庞春华, 高亚卉, 等. 茶条槭不同海拔种群的表型多样性[J]. 云南植物研究, 2010, 32(2): 117-125.

[22] ZAYNAB M, PAN D Z, FATIMA M, et al. Proteomics analysis of *Cyclobalanopsis gilva* provides new insights of low seed germination[J]. Biochimie, 2021, 180: 68-78.

[23] LU Y Z, LI W Q, XIE X M, et al. The complete chloroplast genome sequence of *Sophora Japonica* var. violacea: gene organization and genomic resources [J]. Conservation Genetics Resources, 2018, 10(1): 1-4.

[24] 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.

[25] 孟超, 郑昕, 姬志峰, 等. 山西葛萝槭天然种群表型多样性研究[J]. 西北植物学报, 2013, 33(11): 2232-2240.

[26] DUAN H J, CAO S, ZHENG H Q, et al. Genetic characterization of Chinese fir from six provinces in Southern China and construction of a core collection[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 13814.

[27] 曾斌, 罗淑萍, 李疆, 等. 新疆野扁桃天然居群形态变异的研究[J]. 生物多样性, 2008(5): 484-491.

[28] 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.

[29] 陈天翌, 刘增辉, 娄安如. 刺萼龙葵居群在中国不同分布地区的表型变异[J]. 植物生态学报, 2013, 37(4): 344-353.

Phenotypic Diversity Analysis of Germplasm Resources of *Acer ginnala* in Heilongjiang Province

SHU Yu^{1,2,3}, KONG Wenhui³, WANG Yuting⁴

(1. School of Continuing Education, Heilongjiang Open University, Harbin 150080, China; 2. College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 3. Heilongjiang Forestry Sciences Research Institute, Harbin 150081, China; 4. Heilongjiang Academy of Forestry Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract: In order to promote the breeding, germplasm innovation, genetic improvement, and protection of germplasm resources of *Acer ginnala* in Heilongjiang Province, based on the distribution of *A. ginnala* in Heilongjiang Province, 20 populations were selected for research on their phenotypic variation amplitude, phenotypic trait differentiation, epigenetic genetic diversity, and the interrelationships between various traits. The results showed that the mean coefficients of variation for the phenotypic traits in descending order was petiole length/width (38.73%), petiole width (29.49%), leaf length/petiole length (21.62%), left side angle (20.55%), petiole base width (19.99%), number of leaf veins (19.29%), petiole length (17.83%), fruit thickness (15.74%), leaf length/width (15.63%), samara length/width (15.14%), leaf width (12.98%), leaf length (12.42%), leaf blade length (10.37%), samara length (10.25%), samara width (9.65%), fruit width (8.83%), seed length (7.32%), fruit length (7.15%), seed width (6.67%), hilum (6.49%), seed thickness (6.43%), and samara connection angle (6.35%). The average coefficient of variation for leaf traits was 19.90%, for samara traits was 9.95%, and for seed traits was 6.81%. The results indicated that phenotypic traits were closely related to geographic location. Significant geographic gradient effects on leaf morphological traits were observed with changes in latitude, longitude, and altitude. Most of the phenotypic diversity occurred between populations, with populations exhibiting higher phenotypic diversity found in higher latitudes. The populations from Sunwu, Nenjiang, and Zhanhe showed the largest coefficient of variation, at 16.91%, 16.31%, and 15.83%, respectively. It is recommended that the Sunwu, Nenjiang, and Zhanhe populations be prioritized for conservation.

Keywords: *Acer ginnala*; phenotypic traits; genetic diversity; geographic gradient effect; Heilongjiang Province