

寒地野生大豆表型性状的评价和聚类分析

李 炜 毕影东 刘 森 王 玲 邱树峰 刘建新 樊 超 杨 光 梁文卫 来永才

(黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所, 哈尔滨 150086)

摘要: 为了有效利用野生大豆资源, 为大豆的品种创新和生产利用提供材料基础, 对 204 份野生大豆资源的表型性状(质量性状、产量性状、品质性状)进行评价和聚类分析。结果表明, 质量性状的多样性指数变幅为 0.31~1.13; 产量性状和品质性状的多样性指数变幅为 1.46~2.09, 变异系数变幅为 1.74%~71.39%。北部地区的资源表现为紫花、披针叶、黑色种皮、褐脐、种子有泥膜; 西部地区资源表现为紫花、披针叶、黑色种皮、黑脐、种子有泥膜, 分枝数、单株粒数、节数、有效荚数、节间长、粗蛋白含量、不饱和脂肪酸含量、蛋脂总和均值最高; 东部和中南部地区的资源表现为紫花、卵圆叶、黑色种皮、黑脐、种子有泥膜, 百粒重、无效荚数、单株粒重、粗脂肪含量、异黄酮含量、油酸含量、饱和脂肪酸均值最高。聚类分析将叶宽大、百粒重高的材料聚为第 I 类, 这一类材料特性表现为高油、高油酸; 将叶细长、产量偏高的材料聚为第 II 类, 这一类材料特性表现为蛋白、异黄酮、饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量高。

关键词: 野生大豆; 表型性状; 评价; 聚类分析

种质资源也称为遗传资源, 是指决定生物各种性状特征的核内和核外的基因资源, 是作物育种及基础研究的原始材料。提高大豆产量、品质和抗性一直是大豆育种的主要目标, 但大豆育种亲本材料遗传基础狭窄, 急需寻找性状优异的种质资源拓宽其遗传基础。野生大豆和栽培大豆的染色体数相同, 二者同为大豆属的两个种, 试验证明二者杂交容易且能结实, 后代的遗传方式也相似, 因此野生大豆可以作为扩宽大豆遗传基础的一个重要种质资源。在长期自然环境及人为选择双重作用下, 野生大豆形成了许多可以为人类所利用的优良性状, 如丰产、优质^[1]、抗病^[2-3]、抗虫^[4]、耐逆^[5-7]、耐重金属污染等^[8], 是大豆育种工作不可多得的重要种质资源材料。

寒地野生大豆是指分布于我国 45°N 以北高寒地区的野生大豆, 这一地区的特点是冬季严寒时间较长, 夏季短暂、温度较低, 无霜期 90~145d。黑龙江省位于中国的东北部, 地处温带与寒温带交界处, 属于我国高寒地区, 农业地域的主要特征是东西两大平原(三江平原和松嫩平原)、南北两大山地

(大小兴安岭和张广才岭、老爷岭、完达山), 属于温带大陆性气候, 地形地貌复杂, 形成了多样的生态类型, 为该地区类型丰富的野生大豆分布奠定了良好的环境基础。为了科学合理地利用野生大豆资源, 为大豆的品种创新和生产利用提供基础, 对野生大豆资源的性状进行评价, 挖掘优异遗传变异并鉴定特异材料是非常必要的。本研究对来自于黑龙江省不同农业分区^[9]的 204 份野生大豆的表型性状(6 个质量性状、9 个产量性状、7 个品质性状)进行评价和聚类分析, 从中发掘可供利用的优良种质, 为后续开展育种和遗传研究提供重要的基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 根据代表性和均衡性的取样原则, 供试的 204 份野生大豆材料来自于黑龙江省 13 个市(地区), 已经过自交繁殖(表 1)。

表 1 材料来源所属生态区

所属生态区	采集城市	采集县(市)数	份数
西部地区	齐齐哈尔、大庆	11	35
东部地区	佳木斯、双鸭山、七台河、鸡西、牡丹江、鹤岗	24	50
北部地区	伊春、黑河、大兴安岭	19	69
中南部地区	绥化、哈尔滨	17	50

所属生态区参考《黑龙江省综合农业区划》^[9]

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(LH2019C083); 黑龙江省农业科学院院级科研项目(2018KYJL003); 黑龙江省农业科学院农业科技创新跨越工程(HNK2019CX12)

通信作者: 来永才

1.2 试验方法 田间试验于2018年在黑龙江省农业科学院国家农业示范园区进行。采用随机区组设计,穴播,3次重复,每个小区0.65m×1m,每小区种植4穴,出苗后每穴定苗1株,插竹竿辅助试验材料的茎缠绕生长,防止单株间互相缠绕。

1.3 表型数据测定与数据分析

1.3.1 性状调查方法 试验材料自出苗至成熟后调查如下表型性状:花色、叶形、进化类型、种皮色、脐色、泥膜6个质量性状;节数、节间长(cm)、分枝数、单株粒重(g)、百粒重(g)、单株粒数、有效荚数、无效荚数、叶形指数9个产量性状;粗蛋白含量(%),粗脂肪含量(%),蛋脂总和(%),异黄酮含量($\mu\text{g/mL}$),油酸含量(%),不饱和脂肪酸含量(%),饱和脂肪酸含量(%)7个品质性状,测定标准参考《大豆种质资源描述规范和数据标准》^[10]。

1.3.2 数据处理与统计 用Excel软件计算各性状的变异系数、最小值、最大值、平均值和遗传多样性指数。遗传多样性指数采用Shannon-Weave指数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ 计算^[11],用SPSS软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 寒地野生大豆资源表型性状的描述性评价分析 由表2可知,6个质量性状的多样性指数变幅为0.31~1.13,平均为0.59,其中多样性指数最低的是花色,为0.31,最高的是叶形,为1.13。在所调查的资源中,花色分为紫花和白花2种,以紫花为主,占资源的90.69%,其余的为白花,占9.31%;从进化类型看,野生大豆占79.41%,半野生大豆占20.59%;叶形分为卵圆、椭圆、披针和线形4种,以披针叶所占比例最高,占资源总数的38.24%,其次为卵圆叶(34.31%)和椭圆叶(26.47%),线形叶最少(0.98%);种皮色以黑色居多,占资源总数的85.79%,其次为褐色(6.86%)、双

色(5.88%)、绿色(0.98%)和黄色(0.49%);脐色分为黑色和褐色,分别占资源总数的51.47%和48.53%;89.71%的资源表现为种子有泥膜,其余的表现有光泽(9.31%)和无泥膜(0.98%)。

表2 野生大豆资源质量性状统计分析

性状	份数	占资源总数的百分比(%)	多样性指数 H'	
进化类型	野生	162	79.41	0.51
	半野生	42	20.59	
花色	紫花	185	90.69	0.31
	白花	19	9.31	
叶形	卵圆	70	34.31	1.13
	披针	78	38.24	
	椭圆	54	26.47	
	线形	2	0.98	
种皮色	黑色	175	85.79	0.55
	褐色	14	6.86	
	黄色	1	0.49	
	绿色	2	0.98	
	双色	12	5.88	
脐色	黑色	105	51.47	0.69
	褐色	99	48.53	
泥膜	有泥膜	183	89.71	0.36
	无泥膜	2	0.98	
	有光泽	19	9.31	

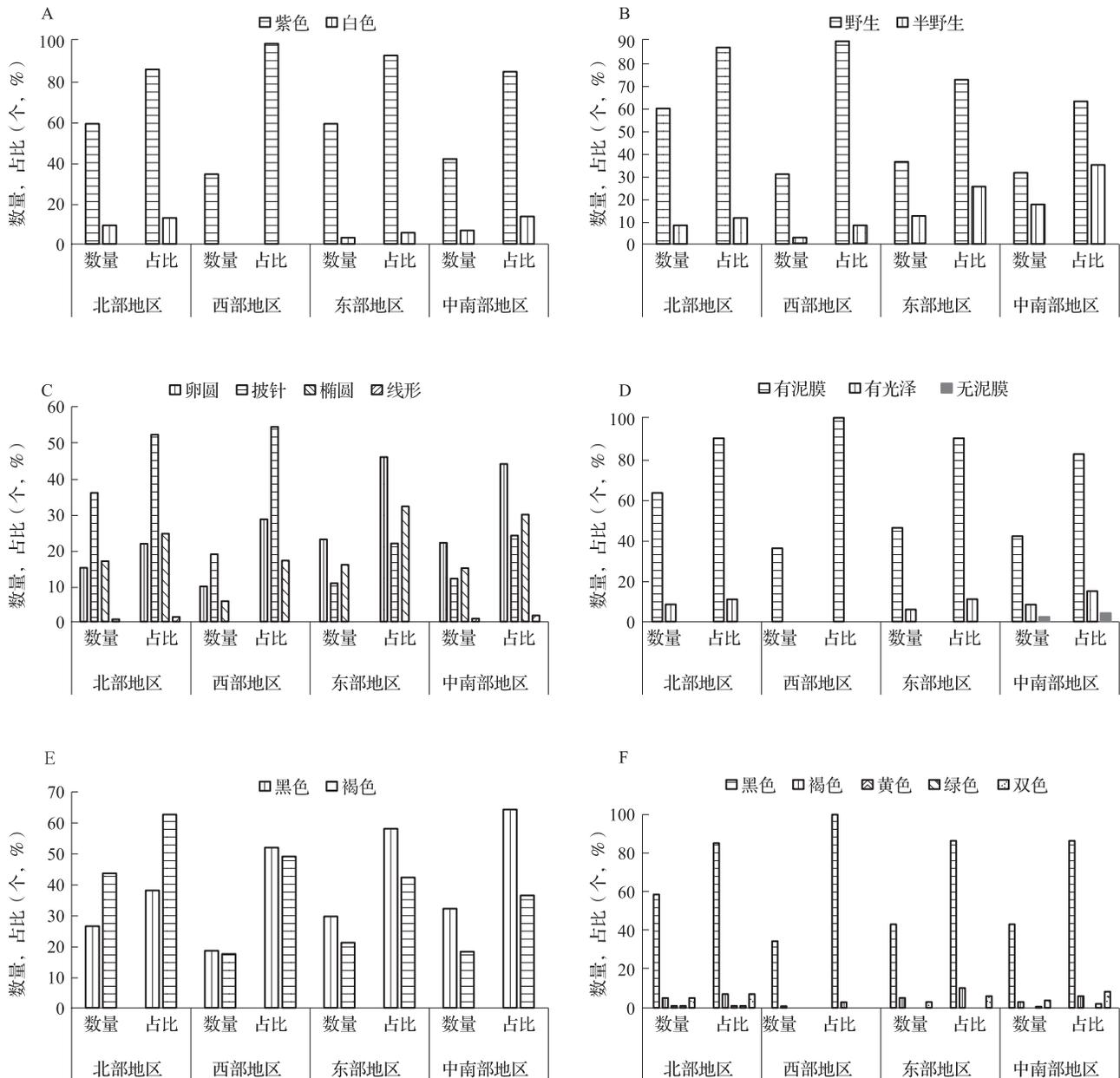
对野生大豆资源产量性状和品质性状进行统计分析,由表3可知,各资源在表型上表现出不同程度的变异,变异系数介于1.74%(不饱和脂肪酸含量)~71.39%(无效荚数)之间,平均为28.37%;多样性指数介于1.46(百粒重)~2.09(饱和脂肪酸含量)之间,平均为1.89。

表3 野生大豆资源产量性状和品质性状的统计分析

性状	变异系数(%)	多样性指数 H'	性状	变异系数(%)	多样性指数 H'
百粒重	71.12	1.46	叶形指数	37.04	1.86
单株粒重	54.84	1.65	粗蛋白含量	6.32	2.06
单株粒数	36.22	2.06	粗脂肪含量	17.94	1.87
有效荚数	36.22	2.06	蛋脂总和	4.37	1.84
无效荚数	71.39	1.61	异黄酮含量	40.67	1.94
分枝数	23.97	2.00	油酸含量	12.22	1.85
节数	21.44	2.04	不饱和脂肪酸含量	1.74	1.79
节间长	13.95	2.03	饱和脂肪酸含量	4.40	2.09

2.2 不同生态区寒地野生大豆资源表型性状的统计分析 综合分析来自于4个地区的野生大豆资源的质量性状,由图1可知,北部地区资源以紫花(占资源总数的86.96%)、披针叶(占资源总数的52.17%)为主,种皮颜色以黑色(占资源总数的82.61%)为主,脐色以褐色(占资源总数的62.32%)为主,89.86%的资源表现为种子有泥膜。西部地区资源以紫花(占资源总数的100%)、披针叶(占资源总数的54.29%)为主,种皮颜色以黑色(占资源总数的97.14%)为主,脐色以黑色(占资源总数的

51.43%)为主,100%的资源表现为种子有泥膜。东部地区的资源以紫花(占资源总数的94.00%)、卵圆叶(占资源总数的46.00%)为主,种皮颜色以黑色(占资源总数的84.00%)为主,脐色以黑色(占资源总数的58.00%)为主,90.00%的资源表现为种子有泥膜。中南部地区的资源以紫花(占资源总数的86.00%)、卵圆叶(占资源总数的44.00%)为主,种皮颜色以黑色(占资源总数的84.00%)为主,脐色以黑色(占资源总数的64.00%)为主,82.00%的资源表现为种子有泥膜。



A :花色; B :进化类型; C :叶形; D :泥膜; E :脐色; F :种皮色
 图1 寒地野生大豆资源质量性状在各生态区统计分析

根据野生大豆资源的采集地,按照北部、西部、东部和中南部地区4个生态区统计分析各性状的表型数据。由表4可知,北部地区材料的叶形指数平均值表现最高,叶形指数、异黄酮含量变异系数最高,百粒重、分枝数、节数、节间长、粗蛋白含量、蛋脂总和、饱和脂肪酸多样性指数最高。西部地区材料的分枝数、单株粒数、节数、有效荚数、节间长、粗蛋白含量、不饱和脂肪酸含量、蛋脂总和平均值最高,节间长、粗蛋白含量、不饱和脂肪酸含量变异系数最

高,单株粒重、叶形指数、异黄酮含量多样性指数最高。东部地区材料的异黄酮含量、油酸含量平均值最高,百粒重、单株粒重、单株粒数、有效荚数、分枝数、蛋脂总和、饱和脂肪酸含量变异系数最高,油酸含量、不饱和脂肪酸含量多样性指数最高。中南部地区材料的百粒重、无效荚数、单株粒重、粗脂肪含量、饱和脂肪酸含量平均值最高,无效荚数、节数、粗脂肪含量、油酸含量变异系数最高,单株粒数、有效荚数、粗脂肪含量多样性指数最高。

表4 各生态区试验材料产量性状和品质性状的统计分析

生态区	性状	平均值 ± 标准差	变幅	变异系数(%)	多样性指数 H'
北部地区	百粒重 (g)	1.73 ± 0.63	1.08~4.56	36.42	1.58
西部地区		1.67 ± 1.02	1.07~5.90	61.08	0.70
东部地区		2.90 ± 1.84	1.13~7.72	63.45	1.32
中南部地区		3.63 ± 2.28	1.23~9.43	62.81	1.50
北部地区	单株粒重 (g)	18.67 ± 7.24	9.45~50.69	38.78	1.66
西部地区		17.44 ± 5.85	6.24~33.98	33.54	1.96
东部地区		24.09 ± 14.58	7.03~87.10	60.52	1.62
中南部地区		27.72 ± 14.77	7.03~80.28	53.28	1.83
北部地区	单株粒数	1118.26 ± 305.49	394.89~1862.22	27.32	1.82
西部地区		1151.16 ± 369.01	436.00~1609.33	32.06	1.88
东部地区		985.53 ± 416.56	242.67~1775.33	42.27	1.82
中南部地区		924.76 ± 390.24	282.00~1742.22	42.20	2.01
北部地区	有效荚数	559.13 ± 152.74	197.44~931.11	27.32	1.99
西部地区		575.58 ± 184.50	218.00~804.67	32.05	1.88
东部地区		492.77 ± 208.28	121.33~887.67	42.27	1.99
中南部地区		462.38 ± 195.12	141.00~871.11	42.20	2.01
北部地区	无效荚数	17.55 ± 10.01	4.67~69.58	57.04	1.63
西部地区		17.72 ± 12.04	8.61~79.72	67.95	1.50
东部地区		20.76 ± 13.25	4.67~68.33	63.82	1.81
中南部地区		21.32 ± 18.61	3.00~120.83	87.29	1.43
北部地区	分枝数	4.18 ± 0.91	2.31~6.14	21.77	2.05
西部地区		4.48 ± 0.85	3.00~6.39	18.97	2.02
东部地区		4.46 ± 1.29	1.85~7.94	28.92	1.88
中南部地区		4.38 ± 1.02	2.60~7.00	23.29	1.86
北部地区	节数	32.66 ± 4.99	19.33~42.72	15.28	2.07
西部地区		32.73 ± 6.92	18.78~48.00	21.14	2.02
东部地区		30.28 ± 7.16	18.33~43.75	23.65	1.94
中南部地区		29.32 ± 7.44	18.28~47.67	25.38	1.84

表4(续)

生态区	性状	平均值 ± 标准差	变幅	变异系数(%)	多样性指数 H'
北部地区	节间长 (cm)	8.67 ± 0.93	6.70~10.47	10.73	2.02
西部地区		8.91 ± 1.47	5.78~13.66	16.50	1.92
东部地区		8.11 ± 1.03	5.84~10.70	12.70	1.98
中南部地区		8.35 ± 1.28	6.00~12.20	15.33	1.94
北部地区	叶形指数	2.88 ± 1.01	1.45~5.87	35.07	1.69
西部地区		2.41 ± 0.60	1.15~3.68	24.90	2.04
东部地区		1.90 ± 0.45	1.07~2.68	23.68	1.79
中南部地区		1.87 ± 0.55	1.03~3.48	29.41	1.90
北部地区	粗蛋白含量 (%)	49.27 ± 2.46	43.20~54.20	4.99	2.07
西部地区		50.85 ± 3.18	42.28~56.10	6.25	1.82
东部地区		47.20 ± 2.87	41.79~54.00	6.08	1.86
中南部地区		47.42 ± 2.71	42.63~53.00	5.71	2.06
北部地区	粗脂肪含量 (%)	12.32 ± 1.38	8.69~15.60	11.20	1.87
西部地区		12.16 ± 1.77	10.10~17.20	14.56	1.22
东部地区		13.63 ± 2.60	8.87~18.70	19.08	1.77
中南部地区		14.15 ± 2.82	8.02~18.50	19.93	1.96
北部地区	蛋脂总和 (%)	61.59 ± 2.70	54.14~65.80	4.38	1.94
西部地区		63.00 ± 2.29	54.23~66.60	3.63	1.85
东部地区		60.83 ± 2.83	54.01~65.00	4.65	1.65
中南部地区		61.56 ± 2.42	53.51~65.00	3.93	1.76
北部地区	异黄酮含量 ($\mu\text{g/mL}$)	3064.49 ± 1421.89	1372.05~9372.35	46.40	1.65
西部地区		2985.00 ± 855.53	1543.20~5049.50	28.66	2.03
东部地区		4268.80 ± 1515.42	697.60~9159.81	35.50	1.75
中南部地区		3947.36 ± 1319.69	1536.70~7218.06	33.43	2.02
北部地区	油酸含量 (%)	9.03 ± 1.13	7.40~14.34	12.51	1.83
西部地区		9.22 ± 1.13	7.63~14.71	12.26	1.53
东部地区		9.40 ± 0.97	7.40~12.49	10.32	1.95
中南部地区		9.18 ± 1.24	7.04~14.34	13.51	1.78
北部地区	不饱和脂肪酸含量 (%)	74.49 ± 1.21	67.93~76.28	1.62	1.65
西部地区		74.56 ± 1.49	68.29~77.01	2.00	1.80
东部地区		74.13 ± 1.16	70.32~75.97	1.56	1.81
中南部地区		74.23 ± 1.39	67.93~76.57	1.87	1.75
北部地区	饱和脂肪酸含量 (%)	16.48 ± 0.72	15.06~18.34	4.37	2.08
西部地区		16.22 ± 0.72	15.10~18.03	4.44	1.82
东部地区		16.47 ± 0.78	15.00~18.49	4.74	2.00
中南部地区		16.59 ± 0.66	15.15~17.98	3.98	2.07

2.3 寒地野生大豆资源的聚类分析 利用各性状的统计数据进行分析,将204份试验材料分为2个类群,第Ⅰ类群有90份材料,第Ⅱ类群有114份材料。从材料的地理来源分析看,第Ⅰ类群材料主要来自东部和中南部地区,第Ⅱ类群材料主要来自西部和北部地区;从材料的性状分析结果看,第Ⅰ类群中的野生大豆资源以紫花、椭圆叶、黑色种皮、有泥膜为主,进化程度高,农艺性状特点是百粒重高,节数、

节间长、单株粒数、单株粒重、有效荚数、叶形指数较低;第Ⅱ类群的野生大豆资源以紫花、披针叶、黑色种皮、有泥膜为主,进化程度低,农艺性状特点是单株粒数、单株粒重、叶形指数较高(表5、表6)。聚类分析将叶宽大、百粒重高的材料聚为第Ⅰ类,这一类材料特性表现为高油、高油酸;将叶细长、产量偏高的材料聚为第Ⅱ类,这一类材料特性表现为高蛋白、高异黄酮、饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量高。

表5 各类型资源在两个类群中占资源总数的比例

(%)

性状		第Ⅰ类群	第Ⅱ类群	性状		第Ⅰ类群	第Ⅱ类群
进化类型	野生	60.00	94.74	叶形	卵圆	35.56	33.33
	半野生	40.00	5.26		披针	25.56	48.25
花色	紫花	84.44	95.61	椭圆	37.78	17.54	
	白花	15.56	4.39	线形	1.11	0.88	
种皮色	褐色	10.00	4.39	脐色	黑色	54.44	49.12
	黑色	76.67	92.98		褐色	45.56	50.88
	黄色	1.11	0	泥膜	有泥膜	82.22	95.61
	双色	11.11	1.75		无泥膜	1.11	0.88
绿色	1.11	0.88	有光泽	16.67	3.51		

表6 各类群材料产量性状和品质性状的统计分析

性状	第Ⅰ类群		第Ⅱ类群	
	平均值 ± 标准差	变异系数(%)	平均值 ± 标准差	变异系数(%)
分枝数	4.36 ± 1.14	26.25	4.33 ± 0.96	22.21
有效荚数	340.87 ± 96.48	28.30	664.95 ± 102.15	15.36
百粒重(g)	3.37 ± 2.06	61.14	1.76 ± 1.04	58.96
单株粒重(g)	20.67 ± 10.93	52.87	23.06 ± 12.89	55.92
单株粒数	681.74 ± 192.96	28.30	1329.90 ± 204.31	15.36
节数	25.70 ± 4.52	17.59	35.67 ± 4.56	12.79
节间长(cm)	7.90 ± 1.14	14.47	8.96 ± 1.00	11.17
无效荚数	19.98 ± 17.35	86.80	18.74 ± 10.23	54.59
叶形指数	2.22 ± 1.05	47.42	2.38 ± 0.66	27.74
粗蛋白含量(%)	47.33 ± 2.75	5.80	49.56 ± 2.98	6.00
粗脂肪含量(%)	14.24 ± 2.51	17.61	12.14 ± 1.73	14.29
蛋脂总和(%)	61.56 ± 2.18	3.54	61.70 ± 3.06	4.96
异黄酮含量(μg/mL)	3535.55 ± 1261.45	35.68	3583.63 ± 1592.07	44.43
油酸含量(%)	9.31 ± 1.01	10.83	9.10 ± 1.20	13.21
饱和脂肪酸含量(%)	16.44 ± 0.68	4.11	16.47 ± 0.76	4.64
不饱和脂肪酸含量(%)	74.25 ± 1.22	1.64	74.43 ± 1.36	1.82

3 结论与讨论

从进化类型看,小粒种子和披针叶形是野生型的特征。本研究发现北部地区分布的野生大豆原始

类型比较多,资源多表现为披针叶形、小粒、百粒重小并具有高的多样性指数,与其他的农业生态区域相比,北部地区气候冷凉,地广人稀,受地形和气候

条件的限制,作物生育期短,人为因素对生态环境的影响相对较低,野生大豆在长期的适应性进化过程中产生了更多的适应性进化类型并保留下来,从而使得本地区表现出更高的多样性水平。西部地区、东部地区和中南部地区分布的野生大豆多为椭圆和卵圆叶形,大粒,出现白花,这可能是因为这些地区农业的快速发展以及人为活动干预比较多,加速了这些地区野生大豆的进化,这一结论与燕雪飞^[12]的野生大豆在叶形方面存在一个圆形叶和线形叶、白花为极端的连续进化谱,白花、大粒、种皮黄色为进化类型,小粒、有泥膜、主茎不明显为原始类型结论一致。

植物在进化过程中为了适应不断改变的环境而产生可遗传的变异,表现出特定的表型性状,因此,表型变异经常被作为遗传多样性调查和优异资源筛选的基本手段^[13]。研究人员分别对江苏、河南、山西和安徽等地的野生大豆资源的表型进行了研究^[14-16],发现我国野生大豆地区间表型差异显著且变异丰富。本研究发现试验群体的表型性状表现出丰富的变异和明显的遗传差异,即使同一地区的野生大豆材料其表型差异也很大。质量性状的多样性指数变幅为0.31(花色)~1.13(叶形),平均为0.59;产量性状和品质性状的多样性指数变幅为1.46(百粒重)~2.09(饱和脂肪酸含量),平均为1.89,变幅低于王果^[15]对305份河南野生大豆材料研究中的多样性指数的变幅0.1187~1.0903。产量性状和品质性状表现不同程度的连续性变异,平均变异系数为28.37%,变异系数的变化范围为1.74%(不饱和脂肪酸含量)~71.39%(无效荚数),高于王颖^[14]对江苏210份野生大豆材料表型研究中的平均变异26.68%、变异幅度10.00%~49.54%。

为了适应不同的生态环境,野生大豆在迁移、进化的过程中形成了不同的生态群体,这些生态群体间具有明显的遗传分化,形成了新的等位变异进而影响表型。聚类分析将本研究中的试验材料分为2个类群,第Ⅰ类群材料主要来自黑龙江省中南部和东部地区,第Ⅱ类群材料主要来自北部和西部地区。在相同的自然环境下,野生大豆经过漫长的自然选择,生物学性状具有趋同性,体现出野生大豆对不同生态环境的适应。许多研究结果显示,不同省内基本都是地区内遗传变异高于地区

间,出现个别材料来源地与聚类组地理上不一致的现象,本研究中也发现了这样的结果,这些结果暗示除了在相当近的时间内野生大豆发生过远距离迁移的可能性外,还存在物种传播史上的“基因扩散”,即使一个省内也是地区内遗传变异高于地区间^[17]。

参考文献

- [1] 来永才. 中国寒地野生大豆资源图鉴. 北京: 中国农业出版社, 2015
- [2] 刘森, 来永才, 李炜, 徐鹏飞, 毕影东, 刘明, 王玲, 邸树峰, 丁俊男. 黑龙江省野生大豆疫霉根腐病抗病性评价. 中国种业, 2017(8): 53-56
- [3] 陈云霞. 中国野生大豆中大豆花叶病毒的鉴定及演化分析. 南京: 南京大学, 2017
- [4] 吴倩, 黄志平, 蒋成功, 李智, 于伟, 李杰坤, 胡国玉, 张丽亚, 张磊. 野生大豆(*Glycine soja*)抗斜纹夜蛾资源鉴定. 植物保护, 2016, 42(2): 159-164
- [5] 崔杰印, 武婷婷, 宋雯雯, 贾鸿昌, 吴纪安, 韩天富. 黑龙江中上游地区早熟野生大豆种质资源的抗旱性鉴定. 植物遗传资源学报, 2018, 19(6): 1073-1082
- [6] 孟强. 野生大豆种质资源耐盐性评价及离子转运相关基因对其耐盐能力的影响. 济南: 山东师范大学, 2017
- [7] 杨冬爽. 基于代谢组学的野大豆耐盐机理研究. 长春: 东北师范大学, 2017
- [8] 王韞璐. 镉胁迫对栽培大豆和野生大豆幼苗碳氮代谢影响的研究. 沈阳: 沈阳师范大学, 2018
- [9] 黑龙江省农业区划办公室. 黑龙江省综合农业区划. 哈尔滨: 黑龙江朝鲜民族出版社, 1985
- [10] 邱丽娟, 常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006
- [11] 李炜, 肖佳雷, 毕影东, 刘森, 刘明, 林红, 张必弦, 来永才. 黑龙江省野生大豆资源农艺性状和品质性状的遗传多样性分析. 大豆科学, 2015, 34(1): 9-14
- [12] 燕雪飞. 中国野生大豆遗传多样性及其分化研究. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014
- [13] Barrett S C, Eckert C G. Variation and evolution of mating systems in seed plants. *Biological Approaches and Evolutionary Trends in Plants*, 2012, 14: 229-235
- [14] 王颖. 江苏省野生大豆群落特征及遗传多样性的研究. 南京: 南京农业大学, 2011
- [15] 王果. 河南省野生大豆资源遗传多样性分析. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006
- [16] 王果, 胡正, 张保缺, 王成社, 张辉. 山西省野生大豆资源遗传多样性分析. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2182-2190
- [17] 李向华, 王克晶. 野生大豆遗传多样性研究进展. 植物遗传资源学报, 2020, 21(6): 1344-1356

(修回日期: 2021-09-14)