

蓖麻 SL1×CHCH1 F₂群体的主要农艺性状分析

王 宙¹, 王宏伟², 曹 越¹, 王 亚¹, 赵宜婷¹, 张宏斌¹, 杨俊芳¹

(1. 山西农业大学 经济作物研究所, 山西 太原 030031; 2. 山西农业大学, 山西 太原 030031)

摘 要: 为了挖掘控制蓖麻产量的数量性状位点(Quantitative trait loci, QTL), 为进一步 QTL 定位研究奠定基础, 以农艺性状差异比较大的蓖麻 SL1 和 CHCH1 为亲本, 杂交获得 194 份 F₂ 群体材料, 并对该群体的 15 个主要农艺性状进行了遗传多样性分析、相关性分析、回归分析、主成分分析和聚类分析。结果显示, 该群体的 15 个农艺性状的遗传变异系数为 12.80%~56.30%, 遗传多样性指数为 1.23~2.07, 表明该群体间性状差异较大, 性状分离明显, 表型变异丰富。相关性分析发现, 单株产量和单株蒴果总数呈极显著正相关, 相关系数最高, 为 0.940。逐步回归分析发现, 影响单株产量的 2 个重要因素为有效蒴果总数和百粒质量。主成分分析获得 4 个主要因子, 累计贡献率为 73.538%。根据综合得分, 可将 194 份群体材料分为 3 大类, 第 I 类材料主要表现为植株高大、粗壮、多穗、单株产量高; 第 II 类材料主要表现为株高、单株蒴果总数、单株产量适中; 第 III 类材料主要表现为植株较矮、果穗长度较短、有效分枝穗数少、单株产量较低。最后, 在该群体里筛选到综合表现较好的 5 份材料。

关键词: 蓖麻; F₂ 群体; 变异系数; 多样性指数; 相关性分析; 回归分析; 聚类分析

中图分类号: S565.6 文献标识码: A 文章编号: 1002-2481(2024)04-0034-08

Analysis of Major Agronomic Traits of the SL1×CHCH1 F₂ Population of Castor Bean

WANG Zhou¹, WANG Hongwei², CAO Yue¹, WANG Ya¹,
ZHAO Yiting¹, ZHANG Hongbin¹, YANG Junfang¹

(1. Institute of Industrial Crops, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China;
2. Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In order to identify the quantitative trait loci(QTLs) that control the yield of castor bean, and lay a foundation for further QTL mapping study, in this study, 194 F₂ population materials were obtained by hybridization from two parental resources with significant differences in agronomic traits. Fifteen main agronomic traits of the population were investigated and analyzed for genetic diversity analysis, correlation analysis, regression analysis, principal component analysis and cluster analysis. The results showed that the genetic variation coefficients of the 15 traits ranged from 12.80% to 56.30% and genetic diversity index ranged from 1.23 to 2.07, indicating significant differences in traits in the population, significant segregation of traits, and abundant phenotypic variation. The correlation analysis revealed that the yield per plant was extremely significantly positively correlated with the total number of capsules per plant, with the highest correlation coefficient of 0.940. Two important factors affecting yield per plant were obtained through stepwise regression analysis: total number of effective capsules, 100 grain weight. Four main factors were obtained by principal component analysis, and the cumulative contribution rate was 73.538%. According to the comprehensive scores, 194 population materials were divided into three categories. Cluster I was characterized by tall, stout plants, multiple ears, and high yield per plant. Cluster II showed moderate plant height, capsule number, and yield per plant. Cluster III showed shorter plant in height, shorter ear length, fewer number of effective branching ears and lower yield per plant. At last, five materials with better comprehensive performance were selected from this population.

Key words: castor bean; F₂ population; coefficient of variation; diversity index; correlation analysis; regression analysis; cluster analysis

蓖麻(*Ricinus communis* L.)是一种重要的工业 油料作物^[1], 原产于印度、地中海盆地东南部和非洲

收稿日期: 2023-10-11

基金项目: 山西省科技厅青年科学基金项目(20210302124364); 吕梁市重点研发项目(2022NYGG18、2021NYGG-2-89); 山西农业大学校内项目(TYGC-32); 山西农业大学生物育种工程项目(YZGC050); 山西省现代农业技术体系岗位专家(2023CYJSTX05-10)

作者简介: 王 宙(1982-), 男, 山西汾阳人, 助理研究员, 硕士, 主要从事蓖麻遗传育种研究工作。

通信作者: 杨俊芳(1987-), 女, 山西运城人, 副研究员, 主要从事蓖麻遗传育种研究工作。

东部。目前,印度、巴西、中国、俄罗斯、泰国和菲律宾是最重要的蓖麻种植国^[2]。蓖麻油富含一种特殊的羟基脂肪酸,因此,被作为许多工业产品的原料^[3-4]。我国蓖麻种质资源较为丰富,但多数的野生资源经济性状较差,不能被很好的利用^[5]。现有的国内蓖麻栽培品种及地方品种遗传多样性较低^[6],种质创新仍然是当前育种研究的首要任务。

国内外不少研究者已经对不同地区、不同群体的蓖麻种质资源进行了多样性分析和评价。张丹^[7]对258份华南野生蓖麻材料进行了表型标准化数据分析和SRAP、SSR分子标记遗传多样性研究,构建了华南野生蓖麻核心种质。杨婷等^[8]对302份华南地区野生蓖麻种质资源的6个质量性状、7个数量性状进行遗传多样性分析。崔宏亮等^[9]对104份新疆蓖麻种质资源的8个主要农艺性状进行了变异性、相关性以及聚类分析。BALDANZI等^[10]对意大利中西部90个蓖麻自交系的选育和野生种质进行了形态描述分析。郭丽芬等^[11]对40份国内外蓖麻种质资源的20个性状进行了聚类分析及主成分分析。陆建军^[12]调查了405份国内外蓖麻种质资源的18个产量和品质性状,并建立了表型数据库。李金琴等^[13]对15个矮秆蓖麻杂交组合的产量与主要农艺性状进行了相关性及多元回归分析。李靖霞等^[14]基于F₃代分析了7个品系蓖麻的7个主要农艺性状的变异系数、遗传力、相关系数及通径系数。王芳等^[15]对25个蓖麻杂交种的14个主要农艺性状与单株产量进行了相关分析和通径分析。

山西省是国内蓖麻主产区之一,且种植区域多集中于吕梁山一带。目前已培育的蓖麻品种产量普遍比较低,难以适应市场的需求。筛选优异亲本材料,是培育性状优良的高产蓖麻新品种的主要途径。本研究利用2份农艺性状差异较大的蓖麻SL1和CHCH1为亲本,创制F₂代遗传材料,并调查该群体的15个主要农艺性状,结合群体性状表型值进行遗传变异分析、遗传多样性分析、回归分析、主成分分析、聚类分析和综合评价,以期获得丰富的遗传变异材料,为蓖麻农艺性状QTL定位及培育适宜山西省吕梁市和我国华北、西北等地种植的高产蓖麻品种提供材料保障。

1 材料和方法

1.1 试验材料

选择由山西农业大学经济作物研究所多年连续自交获得的纯合自交系SL1和CHCH1作为亲本。

SL1为父本(绿秆、密刺、早熟、花籽的正常两性株),HCH1为母本(红秆、密刺、晚熟、小黑籽,有少量镶嵌雄花的雌性系),构建F₂群体,种植于山西农业大学(山西省农业科学院)经济作物研究所试验田,单粒播种,正常田间管理。

1.2 表型调查

参照《蓖麻种质资源描述规范和数据标准》^[16],测量蓖麻亲本及F₂群体的株高、茎粗、主茎节数、主穗位高、主穗雌雄比、主穗果穗长、主穗有效果数、一级分枝茎节数、一级分枝穗位高、一级分枝果穗长、有效分枝穗数、单株雌雄比、百粒质量、单株蒴果总数、单株产量共计15个农艺性状。除百粒质量、茎粗、雌雄比的数值保留2位小数外,其余性状的测量值则根据实际情况略微调整,均保留整数位。

1.3 统计分析

采用Excel 2007对农艺性状值进行整理,并计算变异系数、遗传多样性指数。通过IBM SPSS statistics 24.0软件进行表型统计、相关性、回归、主成分分析,利用Rstudio软件进行聚类分析。

香农-威纳(Shannon-Wiener)遗传多样性指数H'公式计算^[17]。

$$H' = - \sum P_i (\ln P_i) (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

式中,P_i是某性状第i个级别的材料数占总材料数的比例。

主成分综合得分(F)利用隶属函数模型计算^[18]。

$$F = a_1 f_1 + a_2 f_2 + \dots + a_n f_n \quad (2)$$

式中,a_n为第n个主成分对应的权重,f_n为第n个主成分的得分。

2 结果与分析

2.1 蓖麻农艺性状的变异分析

2个亲本及其194份F₂单株各性状描述统计分析结果见表1。该群体15个农艺性状表型值的峰度绝对值小于10,偏度绝对值小于3,均呈现正态分布,符合数量性状的特征。F₂群体15个数量性状的变异系数为12.80%~56.30%,其中,有效分枝穗数变异系数最大,为56.30%,变异幅度为1~24个。主茎节数变异系数最小,为12.80%,变异幅度为4~11节。这些性状的变异系数均大于10%,并且群体内除了主穗雌雄比和单株雌雄比,其他13个性状均出现了双向超亲分离现象。15个农艺性状的遗传多样性指数均大于1.00。茎粗的遗传多样性指数最高,为2.07。遗传多样性指数的范围为1.23~2.07。遗传多样性指数从大到小依次为茎粗、株高、一级分枝果

穗长、百粒质量、单株雌雄比、主穗有效果数、主穗果穗长、主穗位高、主穗雌雄比、单株总蒴果数、单株产量、有效分枝穗数、一级分枝穗位高、主茎节

数、一级分枝茎节数。该群体样本间性状差异较大,性状分离明显,表型变异丰富,存在可利用的新种质材料,这对蓖麻新品种选育具有参考价值。

表 1 亲本及 F₂ 群体表型变异分析
Tab.1 Analysis of phenotypic variation in parents and F₂ population

性状 Trait	父本 Male parent	母本 Fe- male parent	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	偏度 Skew- ness	峰度 Kurto- sis	变异系数/ %	遗传多样 性指数 Genetic di- versity index
株高/cm Plant height	165.00	200.00	69.00	284.00	162.16	31.67	0.14	0.65	19.53	2.06
茎粗/cm Stem diameter	3.71	3.84	1.60	6.30	3.54	0.93	0.34	-0.33	26.38	2.07
主茎节数/节 Number of main stem segments	6	8.5	4	11	7.18	0.92	0.80	2.42	12.80	1.26
主穗位高/cm Height of the main ear position	29.00	33.75	12.00	65.00	31.76	8.04	0.86	1.61	25.30	2.00
主穗雌雄比 Female-male ratio of main ear	0.13	1.00	0	1.00	0.42	0.17	0.37	1.51	39.93	2.00
主穗果穗长/cm Main ear length	5.00	22.00	2.00	30.00	11.30	5.64	0.74	0.30	49.91	2.01
主穗有效蒴果/个 Number of effective capsules of main ear	9	48	1	80	26.01	12.71	0.69	0.86	48.86	2.01
一级分枝茎节数/节 Number of first order branches	3	4	1	7	3.49	0.91	0.72	2.15	26.16	1.23
一级分枝穗位高/cm First branch ear height	31.00	33.75	10.00	90.00	35.05	10.41	1.49	5.10	29.70	1.88
一级分枝果穗长/cm First branch ear length	6	19	2	32	13.00	5.65	0.47	0.13	43.42	2.02
单株雌雄比 Female-male ratio per plant	0.13	1	0.09	1	0.47	0.13	0.48	1.80	28.13	2.01
百粒质量/g 100 grain weight	47.20	29.60	15.70	52.60	40.15	5.86	-0.79	1.52	14.60	2.02
有效分枝穗数/个 Number of effective branching ears	13	7	1	24	7.87	4.43	1.20	1.52	56.30	1.89
单株蒴果总数/个 Total number of capsules per plant	154	359	18	466	158.71	72.96	0.96	1.43	45.97	1.97
单株产量/g Yield per plant	218.06	318.79	21.20	572.93	193.56	90.08	1.03	1.84	46.54	1.96

2.2 各农艺性状相关性分析

通过各农艺性状间的皮尔逊相关性检验,结果见表 2。单株产量和单株蒴果总数、茎粗、主穗果穗长、主穗有效果数、一级果穗长、单株雌雄比、百粒质量、有效分枝穗数、单株蒴果总数呈极显著正相关($P < 0.01$),其中,与单株蒴果总数相关系数最高,为 0.940。单株雌雄比和主穗雌雄比呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数为 0.831。主穗果穗长和主穗总蒴果数呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数为 0.813。株高和茎粗呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数为 0.772。有效分枝穗数分别和主茎节数、主穗位高、主穗雌雄比、主穗果穗长、一级分枝茎节数、一级分枝穗位高、单株雌雄比呈极显著负相关($P < 0.01$)。百粒质量和一级果穗长呈极显著负相关($P < 0.01$),和株高、茎粗、主茎节数分别呈显著负相关($P < 0.05$)。

从相关性分析结果看出,各性状间的相关性存在互相影响的现象。利用这些指标对新材料进行评价会产生信息重叠,因此,有必要对这 15 个农艺

性状评价指标进行降维处理。

2.3 单株产量的逐步回归分析

以单株产量为因变量 Y,以株高、茎粗、主茎节数、主穗位高、主穗雌雄比、主穗果穗长、主穗有效蒴果数、一级分枝茎节数、一级分枝穗位高、一级分枝果穗长、单株雌雄比、百粒质量、有效分枝穗数、单株蒴果总数分别为自变量 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{11} 、 X_{12} 、 X_{13} 、 X_{14} ,利用后退法进行逐步回归,得到线性回归方程: $Y = -0.134X_1 + 4.974X_{12} + 1.205X_{14}$ 。

从表 3 可以看出,单株蒴果总数与单株产量的相关系数和直接通径系数均为正值,而且数值最大,直接通径系数大于间接通径系数,说明单株蒴果总数是决定产量的重要因素,可以作为蓖麻育种栽培及产量增加的首要评价指标。百粒质量与单株产量的相关系数及直接通径系数也均为正值,且直接通径系数大于间接通径系数,说明百粒质量是影响单株产量的第 2 大因素。因此,提高百粒质量也可以作为提高产量的重要育种评价指标。

表2 各农艺性状间的相关性分析
Tab.2 Correlation among agronomic traits

性状 Trait	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	主茎节数 Number of main stem segments	主穗位高 High of the main ear position	主穗雌雄比 Female-male ratio of main ear	主穗果穗长 Main ear length	主穗有效蒴果数 Number of effective capsules of main ear	一级分枝茎节数 Number of first order branches	一级分枝穗位高 First branch ear height	一级分枝果穗长 First branch ear length	单株雌雄比 Female-male ratio per plant	百粒质量 100 gram weight	有效分枝穗数 Number of effective branching ears	单株蒴果总数 Total number of capsules per plant
茎粗 Stem diameter	0.772**													
主茎节数 Number of main stem segments	0.244**	0.168*												
主穗位高 High of the main ear position	0.354**	0.283**	0.557**											
主穗雌雄比 Female-male ratio of main ear	-0.096	-0.0810	0.213**	0.216**										
主穗果穗长 Main ear length	0.104	0.140*	0.266**	0.487**	0.643**									
主穗有效蒴果数 Number of effective capsules of main ear	0.038	0.080	0.322**	0.492**	0.610**	0.813**								
一级分枝茎节数 Number of first order branches	0.273**	0.167*	0.255**	0.202**	0.027	0.147*	0.154*							
一级分枝穗位高 First branch ear height	0.288**	0.153*	0.233**	0.302**	-0.014	0.189**	0.174**	0.810**						
一级分枝果穗长 First branch ear length	0.148*	0.169*	0.286**	0.437**	0.412**	0.641**	0.523**	0.344**	0.388**					
单株雌雄比 Female-male ratio per plant	-0.108	-0.074	0.132	0.272**	0.831**	0.695**	0.663**	-0.012	-0.002	0.571**				
百粒质量 100 gram weight	-0.138*	-0.156*	-0.138*	-0.087	-0.122	-0.087	-0.050	-0.047	-0.047	-0.204**	-0.077			
有效分枝穗数 Number of effective branching ears	0.055	0.278**	-0.252**	-0.260**	-0.214**	-0.195**	-0.169*	-0.303**	-0.271**	-0.166*	-0.174**	0.034		
单株蒴果总数 Total number of capsules per plant	0.198**	0.457**	-0.047	0.057	0.173*	0.259**	0.336**	-0.109	-0.095	0.296**	0.254**	-0.065	0.696**	
单株产量 Yield per plant	0.099	0.364**	-0.107	0.017	0.091	0.203**	0.279**	-0.114	-0.080	0.239**	0.181**	0.243**	0.677**	0.940**

注:**表示在0.01级别(双尾)相关性极显著; *表示在0.05级别(双尾)相关性显著。

Note: ** indicated the correlation was extremely significant at the 0.01 level(two-tailed); * indicated the correlation was significant at the 0.05 level(two-tailed).

表 3 单株产量的通径分析
Tab.3 Path analysis of yield per plant

自变量 Independent variable	简单相关系数 Simple correlation coefficient	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient			总计 Total
			株高 Plant height	百粒质量 100 grain weight	单株总蒴果数 Total number of capsules per plant	
株高 Plant height	-0.044	-0.046		0.006	-0.004	0.002
百粒质量 100 grain weight	0.359	0.319	0.060		-0.021	0.040
单株总蒴果数 Total number of capsules per plant	1.086	0.966	0.183	-0.063		0.120

2.4 主成分分析

对蓖麻 F₂ 群体的 15 个农艺性状进行了主成分分析,提取初始特征值大于 1 的因子,得到了 4 个主要因子,累计贡献率 73.538%(表 4)。因子 1 中的主穗果穗长、主穗有效蒴果数、一级分枝果穗长 3 个的特征向量值较大,分别为 0.855、0.818、0.810,因此把因子 1 称为果穗长因子。因子 2 中单株蒴果总数、单株产量、有效分枝穗数的特征向量值较大分

别为 0.813、0.807、0.806,因此,将因子 2 称为单株蒴果总数因子。因子 3 中株高的特征向量值最大为 0.611,其次为一级分枝穗位高和一级分枝茎节数,其特征向量值分别为 0.545、0.541,因此,将因子 3 称为株高因子。因子 4 中的百粒质量特征向量值最大为 0.581,其次为一级分枝穗位高和一级分枝茎节数,其特征向量值分别为 0.567 和 0.557,因此,因子 4 称为百粒质量因子。

表 4 15 个农艺性状主成分分析
Tab.4 Principal component analysis of 15 agronomic traits

性状 Trait	成分 Component				成分得分系数 Scoring coefficient			
	1	2	3	4	1	2	3	4
株高 Plant height	0.243	0.498	0.611	-0.221	0.054	0.168	0.279	-0.157
茎粗 Stem diameter	0.265	0.707	0.371	-0.297	0.059	0.239	0.169	-0.210
主茎节数 Number of main stem segments	0.412	-0.113	0.318	-0.447	0.092	-0.038	0.145	-0.316
主穗位高 Height of the main ear position	0.609	-0.050	0.412	-0.229	0.136	-0.017	0.188	-0.162
主穗雌雄比 Female-male ratio of main ear	0.657	-0.341	-0.421	-0.075	0.147	-0.115	-0.192	-0.053
主穗果穗长 Main ear length	0.855	-0.138	-0.235	0.001	0.192	-0.047	-0.107	0.001
主穗有效蒴果数 Number of effective capsules of main ear	0.818	-0.109	-0.229	0.058	0.183	-0.037	-0.105	0.041
一级分枝茎节数 Number of first order branches	0.402	0.010	0.541	0.557	0.090	0.004	0.246	0.394
一级分枝穗位高 First branch ear height	0.478	0.054	0.545	0.567	0.107	0.018	0.248	0.402
一级分枝果穗长 First branch ear length	0.810	0.051	0.029	0.034	0.181	0.017	0.013	0.024
单株雌雄比 Female-male ratio per plant	0.764	-0.283	-0.392	0.042	0.171	-0.096	-0.179	0.029
百粒质量 100 grain weight	-0.253	0.024	-0.067	0.581	-0.057	0.008	-0.031	0.411
有效分枝穗数 Number of effective branching ears	-0.223	0.806	-0.298	0.039	-0.050	0.272	-0.136	0.028
单株蒴果总数 Total number of capsules per plant	0.381	0.813	-0.372	0.007	0.085	0.275	-0.169	0.005
单株产量 Yield per plant	0.275	0.807	-0.390	0.200	0.061	0.273	-0.178	0.142
初始特征值 Initial eigenvalue	4.466	2.959	2.194	1.412				
方差贡献率 Variance contribution rate	29.772	19.724	14.626	9.416				
累计贡献率 Cumulative contribution rate	29.772	49.496	64.122	73.538				

2.5 系统聚类分析

利用 Rstudio 软件,采用类平均法(组间连接法)、欧氏距离法,根据主成分综合得分进行聚类分析。由图 1 可知,将 194 份材料划分为 3 类,第 I 类包含 4 份材料,第 II 类有 76 份材料,第 III 类有 114 份材料。第 I 类表现为植株高大、粗壮,果穗较长(主

穗和一级分枝穗),有效分枝穗数、单株蒴果数、单株产量均较高,可以通过适当降低株高对该类材料加以利用。其中,材料 B222 产量最高,为两性株(单株雌雄比为 0.42),株高 202 cm,主穗果穗长为 10 cm,主穗有效蒴果数为 18 个,有效分枝穗数 17 个,百粒质量 47.9 g,单株蒴果总数 398 个,单株

产量572.93 g。第Ⅱ类表现为株高、主穗位高、单株蒴果数、单株产量适中,仅百粒质量偏低。育种中可以通过提高百粒质量的方法,对该类材料进行改善利用。其中,材料B209产量较高,株型也较好,为两性株(单株雌雄比为0.38),株高188 cm,主穗果穗长15 cm,主穗有效果数39个,一级分枝果穗长19 cm,有效分枝穗数19个,单株蒴果总数466个,百粒质量为36.7 g,单株产量513.07 g。B040为雌性株(单株雌雄比为1),株高172 cm,主穗果穗长为20 cm,主穗有效蒴果数41个,一级分枝果穗长22 cm,百粒质量27.7 cm,有效分枝穗数为9个,单株产量279.22 g。第Ⅲ类材料表现为株高、果穗长

度(主穗和一级分枝穗)、有效分枝穗数、单株产量均较低,百粒质量最高。株高最低仅为69 cm,为适应机械化培育矮秆株系提供了新的可利用材料。其中,材料B210产量较高,为两性株(单株雌雄比为0.31),株高为151 cm,主穗果穗长为7 cm,主穗有效蒴果数为16个,一级分枝果穗长为5 cm,有效分枝穗数为19个,百粒质量43.6 g,单株产量314 g。B084为雌性株,株高124 cm,主穗穗长24 cm,主穗有效蒴果数47个,一级分枝果穗长17 cm,百粒质量38.6 g,有效分枝穗数8个,单株蒴果总数303个,单株产量350.87 g。

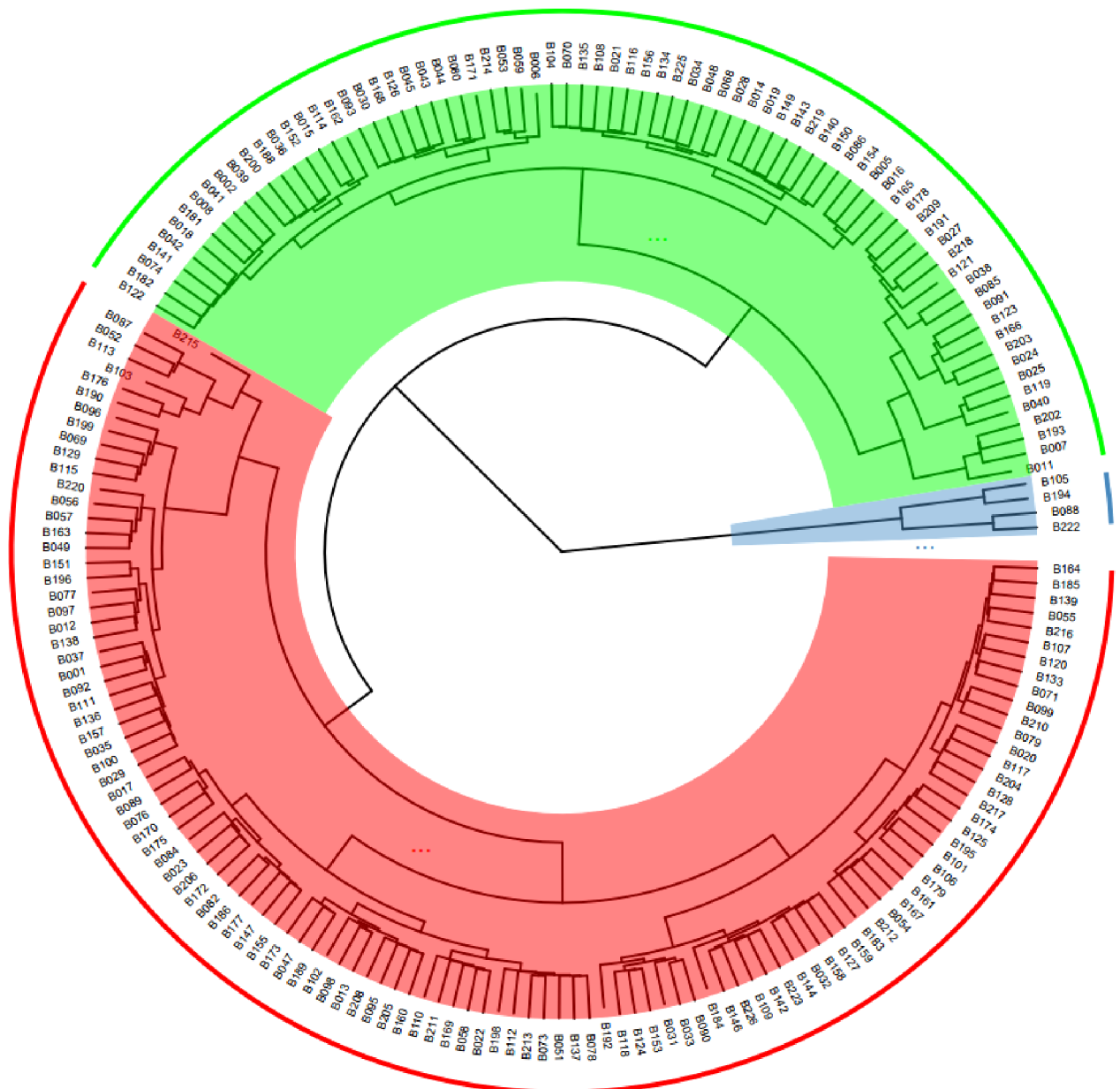


图1 194份材料聚类分析
Fig.1 Cluster analysis of 194 materials

3 结论与讨论

对种质资源群体材料进行表型性状的遗传多样性分析可直观的反映物种群体的多样性丰富程度^[19]。遗传变异系数和多样性指数是 2 个衡量群体多样性程度的 2 个重要指标,遗传变异系数反映性状指标数值的离散程度,而多样性指数反映性状类型的丰富程度^[20]。本研究创制了 194 份蓖麻 F₂ 群体遗传材料,调查的 15 个性状主要是和蓖麻株型及产量相关的性状,均为数量性状。15 个数量性状的变异系数均大于 10%,变幅为 12.80%~56.30%,该群体样本间性状差异较大,性状分离明显,表型变异丰富。其中,7 个性状的变异系数与杨婷等^[8]获得的变异系数范围(22.671%~75.422%)相似,均获得了较高的变异系数值,而对应的遗传多样性指数远小于他们的报道(5.967~10.020)。本研究调查的 11 个农艺性状变异系数值、遗传多样性指数与郭丽芬等^[11]的结果相似。15 个性状间的相关性分析表明,性状与性状之间的相关性存在相互影响的现象^[21]。通过逐步回归分析,得到了影响植株产量的 2 个重要因素:有效蒴果总数、百粒质量。王芳等^[15]通过通径分析得出的结论认为一级分枝百粒质量、单株粒数、茎粗是蓖麻增产的重要因素。李金琴等^[13]通过对 15 个矮秆蓖麻杂交组合的产量与主要农艺性状多元回归分析表明,一级分枝穗长、一级分枝有效穗数、株高对产量具有正向效应,主茎穗位高、生育期对产量具有负向效应。本研究的多元回归分析结果与他们的结果有不同的地方,可能跟调查的群体类型、数目及性状类型不同有关。

科学系统的评价蓖麻资源群体的表型,对于筛选优良的蓖麻亲本具有重要的意义。本研究利用主成分分析获得了 4 个初始特征值大于 1 的主要因子,并首次利用隶属函数将 4 个主要因子得分转化为综合得分,之后利用综合得分对这新创制的 194 份遗传材料进行了聚类分析,并筛选到 5 份综合表现较好的材料。B222 主要表现为两性株、高秆、多穗、高产(Ⅰ)。B209 主要表现为两性株、中高秆、多穗、高产(Ⅱ);B040 表现为全雌株、中秆、果穗较长、产量居中(Ⅱ)。B210 主要表现为两性株、矮秆、百粒质量较高、产量较低(Ⅲ);B084 表现为全雌株、矮秆、主穗果穗较长、有效分枝穗数较少、产量较低(Ⅲ)。B222、B209 的单株产量是汾蓖 10 号(252 g)^[22]的 2 倍多。B040、B210、B084 的单株产量

也明显高于汾蓖 10 号。

本研究获得了 194 份变异丰富的遗传材料,通过相关性分析和逐步回归分析得到了影响单株产量的 2 个重要因素:有效蒴果总数、百粒质量。根据综合得分,将 194 份材料分为 3 大类:第Ⅰ类表现为植株高大、粗壮、多穗、单株产量高。第Ⅱ类材料表现为植株高度适中,单株蒴果数、单株产量适中。第Ⅲ类材料表现为植株较矮、果穗长度较短、有效分枝穗数少、单株产量较低。在该群体中,筛选到了 5 份综合性状较好的遗传材料。本研究获得了丰富的遗传变异材料,为进一步筛选亲本材料及开展农艺性状的 QTL 定位研究奠定了基础。

参考文献:

- [1] 杨俊芳,王亚,曹越,等. 蓖麻性别决定基因研究进展[J]. 山西农业科学,2020,48(7):1164-1167.
YANG J F, WANG Y, CAO Y, et al. Research progress of sex determination genes in castor[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(7): 1164-1167.
- [2] PUNEWAR A A, PATIL A S, NANDANWAR H R, et al. Genetic dissection of heterosis and combining ability in castor (*Ricinus communis* L.) with line×tester analysis[J]. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 2017, 5(1): 77-86.
- [3] XU W, WU D, YANG T Q, et al. Genomic insights into the origin, domestication and genetic basis of agronomic traits of castor bean[J]. Genome Biology, 2021, 22(1): 113.
- [4] 齐金全,李晓娜,朱雪倩,等. 浅埋滴灌深度和种植密度对蓖麻产量的影响[J]. 山西农业科学,2022,50(3):371-377.
QI J Q, LI X N, ZHU X Q, et al. Effects of shallow drip irrigation depth and planting density on castor yield[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2022, 50(3): 371-377.
- [5] 李敬忠,张宝贤,王伟男,等. 我国蓖麻育种与栽培技术研究进展[J]. 农业科技通讯,2018(10):198-200,2.
LI J Z, ZHANG B X, WANG W N, et al. Research progress of castor breeding and cultivation techniques in China[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2018(10): 198-200, 2.
- [6] FOSTER J T, ALLAN G J, CHAN A P, et al. Single nucleotide polymorphisms for assessing genetic diversity in castor bean (*Ricinus communis*) [J]. BMC Plant Biology, 2010, 10: 13.
- [7] 张丹. 华南野生蓖麻遗传多样性分析与核心种质构建[D]. 湛江:广东海洋大学,2010.
ZHANG D. Genetic diversity and core collection of wild castor-oil plant in south China[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010.
- [8] 杨婷,陆建农,张丹,等. 华南野生蓖麻种质资源的分类与评价[J]. 中国油料作物学报,2020,42(3):420-431.
YANG T, LU J N, ZHANG D, et al. Evaluation and classification of germplasm resources of wild castor in southern China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2020, 42(3): 420-431.
- [9] 崔宏亮,姚庆,王瑞,等. 新疆蓖麻地方种质主要农艺性状相关性聚类分析[J]. 分子植物育种,2019,17(3):986-994.

- CUI H L, YAO Q, WANG R, et al. The correlation and cluster analysis of main agronomic traits of castor germplasm in Xinjiang [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(3):986-994.
- [10] BALDANZI M, MYCZKOWSKI M L, SALVINI M, et al. Description of 90 inbred lines of castor plant (*Ricinus communis* L.) [J]. *Euphytica*, 2015, 202(1):13-33.
- [11] 郭丽芬, 代梦媛, 高梅, 等. 蓖麻种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. *华南农业大学学报*, 2017, 38(3):32-38.
- GUO L F, DAI M Y, GAO M, et al. Genetic diversity analysis of main agronomic traits in *Ricinus communis* germplasm resources [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2017, 38(3):32-38.
- [12] 陆建军. 蓖麻重要农艺性状关联分析及野生种基因组组装 [D]. 武汉: 中国科学院大学(中国科学院武汉植物园), 2021.
- LU J J. Genome-wide association analysis of important agronomic traits in castor and wild castor genome assembly [D]. Wuhan: Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, 2021.
- [13] 李金琴, 张智勇, 何智彪, 等. 矮秆蓖麻杂交种产量与主要农艺性状的相关及多元回归分析[J]. *内蒙古民族大学学报(自然科学版)*, 2010, 25(1):40-43.
- LI J Q, ZHANG Z Y, HE Z B, et al. Dwarf castor-oil plant hybrids yield and the main agronomic characters of correlation and multiple regression analysis [J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences)*, 2010, 25(1):40-43.
- [14] 李靖霞, 张春华, 田福东, 等. 蓖麻主要农艺性状在育种中的作用分析[J]. *吉林农业科学*, 2000, 25(4):16-17, 25.
- LI J X, ZHANG C H, TIAN F D, et al. Study on action of main agronomic character of castor-oil plant in breeding [J]. *Jilin Agricultural Sciences*, 2000, 25(4):16-17, 25.
- [15] 王芳, 王云, 朱国立, 等. 蓖麻主要农艺性状及单株产量途径分析[J]. *内蒙古民族大学学报(自然科学版)*, 2002, 17(1):29-32.
- WANG F, WANG Y, ZHU G L, et al. The path analysis between the agricultural characters and kernels yield of per plant in castor [J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences)*, 2002, 17(1):29-32.
- [16] 严兴初. 蓖麻种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- YAN X C. Descriptors and data standard for castor [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [17] 刘思辰, 曹晓宁, 温琪汾, 等. 山西谷子地方品种农艺性状和品质性状的综合评价[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(11):2137-2148.
- LIU S C, CAO X N, WEN Q F, et al. Comprehensive evaluation of agronomic traits and quality traits of foxtail millet landrace in Shanxi [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(11):2137-2148.
- [18] 吴昊, 苏万龙, 石美娟, 等. 枣种果实性状多样性分析与综合评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(6):1613-1625.
- WU H, SU W L, SHI M J, et al. Diversity analysis and comprehensive evaluation of jujube fruit traits [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(6):1613-1625.
- [19] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 等. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选[J]. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(5):865-874.
- SUN D L, BIAN N F, CHEN Z D, et al. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(5):865-874.
- [20] 王鹏, 侯思宇, 武艳杏, 等. 基于农艺性状的大豆种质资源多样性分析及评价[J]. *山西农业科学*, 2021, 49(9):1025-1030.
- WANG P, HOU S Y, WU Y X, et al. Diversity analysis and comprehensive evaluation of soybean germplasm resources based on agronomic traits [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2021, 49(9):1025-1030.
- [21] 王晓洁, 黎美霞, 陶蕾, 等. 48份黑果枸杞种质主要表型和品质性状的遗传多样性研究[J]. *河南农业科学*, 2023, 52(9):78-90.
- WANG X J, LI M X, TAO L, et al. Study on the genetic diversity of phenotypic and quality traits of 48 germplasm resources of *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2023, 52(9):78-90.
- [22] 曹越, 郭志强, 王宏伟, 等. 蓖麻杂交种汾蓖10号的选育及栽培技术[J]. *作物杂志*, 2014(2):154-155, 3.
- CAO Y, GUO Z Q, WANG H W, et al. Breeding and cultivation techniques of castor hybrid Fenbi 10 [J]. *Crops*, 2014(2):154-155, 3.