

大麻种质资源表型性状及主要大麻素含量的遗传多样性分析及评价

张晓艳, 曹焜, 李学海, 韩承伟, 肖湘*, 边境, 田媛*

(黑龙江省科学院大庆分院, 黑龙江 大庆 163319)

摘要: 为了明确花叶用大麻种质资源表型性状及主要大麻素含量的遗传多样性, 并筛选综合性状优异的大麻种质资源, 为大麻资源遗传改良与新品种选育提供基础材料和理论依据, 采用 Shannon-Wiener's 和描述性统计, 对 33 份花叶用大麻种质资源的 2 个质量性状和 9 个数量性状进行遗传多样性分析。利用相关性分析明确各性状间的相关关系, 使用主成分分析、隶属函数值等对花叶用大麻种质资源进行评价。供试 33 份花叶用大麻种质资源 2 个质量性状的遗传多样性指数为 0.68 和 0.90, 9 个数量性状呈现较好的正态分布, 变异系数的变化范围为 13.80%~144.41%, 其中分枝数的变异系数最小, THC 含量的变异系数最大。通过隶属函数值对花叶用大麻种质资源进行评价, 筛选出 5 份综合性状优良的种质。供试 33 份大麻种质资源均可以在大庆地区正常生长发育, 33 份花叶用大麻资源间差异较大, 具有丰富的遗传多样性。

关键词: 大麻; 种质资源; 表型性状; 大麻素含量; 遗传多样性; 评价

中图分类号: S563.3

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)05-0025-07

Genetic Diversity Analysis and Comprehensive Evaluation of Phenotypic Traits and Major Cannabinoids Content in Hemp Germplasm Resources

ZHANG Xiaoyan, CAO Kun, LI Xuehai, HAN Chengwei, XIAO Xiang*, BIAN Jing, TIAN Yuan*

(Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Sciences, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to clarify the genetic diversity of phenotypic traits and major cannabinoids content in hemp germplasm resources for flower and leaf use, and to screen for hemp germplasm resources with excellent comprehensive traits, providing basic materials and theoretical basis for genetic improvement and new variety breeding of hemp resources. Using Shannon-Wiener's and descriptive statistics, genetic diversity analysis was conducted on 2 quality traits and 9 quantitative traits of 33 germplasm resources of Shannon-Wiener's hemp for flower and leaf use. Use correlation analysis to clarify the correlation between various traits, and use principal component analysis, membership function values, etc. to evaluate the germplasm resources of cannabis for flower and leaf use. Genetic diversity indices for two quality traits of 33 hemp germplasm resources tested were 0.68 and 0.90, and the 9 quantitative traits showed a good normal distribution with a coefficient of variation range from 13.80% to 144.41%. Among them, the coefficient of variation for branch number was the smallest, and the coefficient of variation for THC content was the largest. Evaluate the germplasm resources of hemp for flower and leaf use through membership function values, and Select 5 germplasm with excellent comprehensive traits. 33 tested hemp germplasm resources can all grow and develop normally in the Daqing area, with significant differences among them and rich genetic diversity.

Key words: Hemp; Germplasm resources; Phenotypic traits; Cannabinoids content; Genetic diversity; Evaluation

收稿日期: 2024-03-09

基金项目: 黑龙江省科学院创新基金项目(CXJQ2024DQ01); 黑龙江省科学院对外合作平台建设类项目(DWHZ2023DQ01); 黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF2022-1-A004)

作者简介: 张晓艳(1980-), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事汉麻栽培育种研究。

通信作者: 肖湘, 女, 副研究员, E-mail: 786809848@qq.com

田媛, 女, 副研究员, E-mail: 295360101@qq.com

大麻(*Cannabis sativa* L.) 属木兰纲、荨麻目、大麻科、大麻属、大麻种, 是人类最早种植的作物之一, 一般为雌雄异株, 偶尔有雌雄同株, 几千年一直是人类纤维、食品和医药的重要来源^[1-2]。工业大麻是指其致幻成分四氢大麻酚(THC)含量<0.3%、无毒品利用价值的一个品种类型^[3-4]。工业大麻的根、茎、叶、花、籽粒等均可利用, 已开发出 25 000 多种相关产品^[5-6], 同时工业大麻也是我国

种植业结构调整的理想作物之一。我国工业大麻种植主要集中在黑龙江省和云南省,其中黑龙江省工业大麻种植面积占全国的60%以上^[7]。

大麻种质资源是培育高产优质工业大麻新品种及基因挖掘与利用的基础。大麻在不同基因型之间的表型性状具有明显的遗传多样性,例如,Meijer等^[8-10]描述了20个大麻不同基因型的株高、茎粗和茎产量的多样性,其中有株高达4 m的材料,也有高度小于1 m的矮化材料,并且大麻素含量也存在广泛的多样性,特别是THC和CBD等主要的大麻素含量。据统计,我国麻类种质资源中期库拥有大麻种质资源约1 300份。为了充分利用大麻种质资源,了解性状表现,须对其进行综合性鉴定。于跃等^[11]对198份大麻种质资源的农艺性状及品质性状进行综合鉴评,结果表明,参试大麻种质资源间的差异较大,遗传多样性丰富,14个性状的变异系数为4.79%~64.45%。王庆峰等^[12]以22份工业大麻种质资源为试验材料,对6种农艺性状进行综合评价,其中4份材料种子成熟早、籽粒产量较高,适宜作为籽用型工业大麻品种在吉林省种植。Petit等^[13]对123份大麻材料与纤维质量相关的性状进行分析,结果表明,28个性状间存在较大变异性,受环境影响较大。汤志成^[14]将12份野生大麻种质材料及4个栽培品种进行表现型和RAPD标记位点的多态性分析,结果表明,野生大麻表现型遗传变异非常丰富,多态性比率为74.52%,品种间差异较大。我国的工业大麻产业才刚刚兴起,育种工作与国外相比起步较晚,收集的种质资源大多数为农家品种或品系,其遗传基础较狭窄,导致工业大麻在选育新品种过程中优异亲本数量有限,严重制约工业大麻高产优质新品种的选育。为了使工业大麻育种上一个新台阶,进一步提高育成工业大麻新品种的产量、品质、抗性及其适应性,需收集更多种质资源并进行综合评价。目前,关于大麻表型性状和主要大麻素含量综合评价的研究极少,且适用于大麻优质、特异种质资源综合评价体系尚不完善。本研究将33份大麻种质资源的2个质量性状和9个数量性状通过描述性统计及相关性分析、隶属函数等方法进行了综合评价,以期为大麻资源遗传改良与新品种选育提供基础材料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2022年在黑龙江省科学院大庆分院

高台子试验基地进行,试验地平整,肥力均匀,土壤类型为草甸黑钙土。试验地0~20 cm土层碱解氮含量136.37 mg/kg、有效磷含量30.21 mg/kg、速效钾含量168.78 mg/kg、有机质含量2.24%、pH值7.89。供试的33份花叶用大麻种质资源来源于黑龙江省科学院大庆分院种质资源库,详见表1。

表1 花叶用大麻种质资源

序号	资源编号	来源地
1	DQFY16	黑龙江
2	DQFY17	黑龙江
3	DQFY18	黑龙江
4	DQFY19	黑龙江
5	DQFY20	黑龙江
6	DQFY21	加拿大
7	DQFY22	加拿大
8	DQFY23	加拿大
9	DQFY24	加拿大
10	DQFY25	加拿大
11	DQFY26	以色列
12	DQFY27	以色列
13	DQFY28	以色列
14	DQFY29	加拿大
15	DQFY30	美国
16	DQFY31	美国
17	DQFY32	不详
18	DQFY33	不详
19	DQFY34	不详
20	DQFY35	不详
21	DQFY36	不详
22	DQFY37	不详
23	DQFY38	不详
24	DQFY39	不详
25	DQFY40	不详
26	DQFY41	不详
27	DQFY42	不详
28	DQFY43	不详
29	DQFY44	不详
30	DQFY45	不详
31	DQFY65	美国
32	DQFY66	不详
33	DQFY68	黑龙江

1.2 试验设计

试验采用大田育苗移栽的方式,行距1.3 m,株距1.0 m,顺序排列,不设重复,每个材料移栽20株。5月10日移栽(株高20 cm左右),移栽前机械统一施肥,移栽后常规田间管理。当花丝完全变为红褐色时开始收获(10月1日左右)。

1.3 测定指标及方法

收获期每份材料选取有代表性的5株,考察株高、茎粗、分枝高、分枝数和节数等。

THC、CBD、CBG含量采用液相色谱法测定,每份材料连续取10株雌株分枝顶部15 cm长的部分,40℃烘箱烘干后,磨碎混匀备用。

叶片颜色、茎秆颜色的描述标准如表2所示。

表2 质量性状的标准

性状	描述标准
叶片颜色	1.浅绿,2.绿
茎秆颜色	1.浅绿,2.绿,3.深绿,4.浅紫

1.4 数据分析

利用Excel 2010软件进行数据处理及图表的绘制,采用SPSS 20.0软件进行遗传多样性分析、正态性检验、相关性分析、主成分分析(PCA)。相关指标的计算公式如下。

(1)主成分得分= $W_1 \times PC1$ 得分+ $W_2 \times PC2$ 得分+ $W_3 \times PC3$ 得分+... $W_n \times PCn$ 得分, W_1 、 W_2 、 W_3 ... W_n 分

别表示各PC的权重,PC为方差解释率除以累积方差解释率。

(2)隶属函数值= $(X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, X_i 为各指标测定值, X_{\min} 、 X_{\max} 为各测定指标的最小值和最大值^[14]。

(3)遗传多样性指数(H')= $-\sum P_i \times \ln P_i$, P_i 代表某性状第*i*个级别的频率^[15]。

2 结果与分析

2.1 遗传多样性分析

2.1.1 质量性状遗传多样性

由表3可知,33份花叶用大麻种质资源的叶片颜色和茎秆颜色具有较广泛的遗传多样性。叶片颜色和茎秆颜色的遗传多样性指数为0.68、0.90,变异系数为31.46%、38.55%;叶片颜色以浅绿、绿为主,频率分别为0.424和0.576;茎秆颜色以绿为主,频率为0.576。由此说明供试种质资源的质量性状变异较丰富。

表3 质量性状的遗传多样性分析

性状	遗传多样性指数 H'	变异系数 CV/%	频率分布			
			1	2	3	4
叶片颜色	0.68	31.46	0.424	0.576		
茎秆颜色	0.90	38.55	0.364	0.576	0.030	0.030

2.1.2 数量性状遗传多样性

花叶用大麻种质资源9个数量性状的矩形频

率分布直方图如图1所示。9个数量性状呈现较好的正态分布,数据的分布范围较广泛,表明33

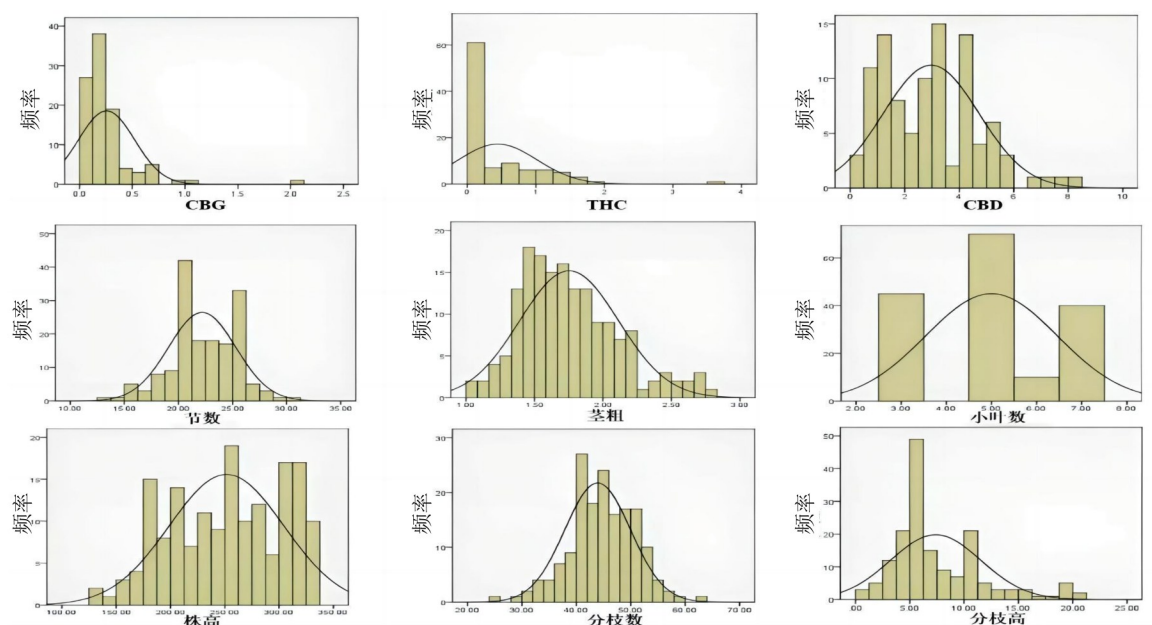


图1 数量性状的正态性检验

份花叶用大麻种质资源具有广泛的遗传多样性。

将9个数量性状进行描述性统计分析(表4),变异系数的变化范围为13.80%~144.41%,平均值为51.38%。分枝数的变异系数最小,变化幅度为25.00~62.00个,THC含量的变异系数最大,变化幅度为0.02%~3.81%,其中主要大麻素CBG含

量和THC含量的变异系数大于100%,具有强变异性,CBD含量和分枝高的变异系数>50%具有较强变异性,说明主要大麻素含量和分枝高的变异性好;节数、茎粗、小叶数、株高和分枝数的变异系数在10%~30%,说明这几个性状的变异性适中,稳定性较为一般。

表4 数量性状的遗传多样性分析

性状	极小值	极大值	均值	标准差	偏度	峰度	变异系数/%
CBD含量/%	0.09	8.16	2.97	1.76	0.63	0.13	59.27
CBG含量/%	0.04	2.09	0.26	0.27	4.06	23.24	103.72
THC含量/%	0.02	3.81	0.47	0.67	2.83	10.16	144.41
节数/个	13.00	31.00	22.19	3.11	-0.20	0.06	14.01
茎粗/cm	1.04	2.78	1.75	0.36	0.66	0.17	20.62
小叶数/个	3.00	7.00	5.00	1.46	-0.06	-1.15	29.22
株高/cm	130.00	335.00	251.63	52.82	-0.21	-1.05	20.99
分枝数/个	25.00	62.00	43.92	6.06	-0.17	0.36	13.80
分枝高/cm	1.00	21.00	7.38	4.16	1.26	1.47	56.34

由以上分析可知,33份花叶用大麻种质资源之间性状存在较大差异,具有丰富的遗传多样性。

2.2 相关性分析

由表5可知,CBD含量与CBG含量、小叶数呈显著正相关;CBG含量与THC含量呈显著正相关;THC含量与茎粗呈极显著负相关,与小叶数

呈显著负相关;节数与茎粗、小叶数、株高、分枝数呈极显著正相关;茎粗与小叶数、株高、分枝数、叶片颜色呈极显著正相关,与茎秆颜色呈显著正相关;小叶数与株高、分枝数呈极显著正相关,与叶片颜色、茎秆颜色呈显著正相关;株高与分枝数、分枝高、叶片颜色呈极显著正相关,与茎秆颜色呈显

表5 各性状的相关性分析

性状	CBD	CBG	THC	节数	茎粗	小叶数	株高	分枝数	分枝高	叶片颜色
CBG	0.368*									
THC	-0.277	0.373*								
节数	0.061	-0.179	-0.179							
茎粗	0.256	-0.067	-0.448**	0.453**						
小叶数	0.378*	-0.133	-0.378*	0.561**	0.547**					
株高	0.065	-0.214	-0.269	0.545**	0.736**	0.659**				
分枝数	0.066	-0.217	-0.161	0.939**	0.536**	0.605**	0.619**			
分枝高	-0.260	-0.148	0.143	0.054	0.175	0.230	0.548**	0.115		
叶片颜色	0.150	0.090	-0.201	0.321	0.468**	0.379*	0.504**	0.294	-0.041	
茎秆颜色	0.209	0.213	-0.078	0.237	0.352*	0.345*	0.364*	0.202	0.116	0.663**

注:“*”表示显著相关;“**”表示极显著相关

显著正相关;叶片颜色与茎秆颜色呈极显著正相关。

2.3 主成分分析

以2个质量性状和9个数量性状为基础数据进行主成分分析,结果表明(表6),11个性状可以简化成4个主成分(PC),其特征值均大于1,累计贡献率达到了78.173%,能够反映33个花叶用大麻种质资源性状的绝大部分信息。PC1的特征值

为4.293,方差贡献率为39.030%,其中小叶数、株高的特征向量绝对值最大,分别为0.867、0.815,可作为PC1的决定因子;PC2的特征值为1.796,方差贡献率为16.331%,CBG含量和CBD含量的特征向量绝对值最大,分别为0.727、0.698,可作为PC2的决定因子;PC3的特征值为1.407,方差贡献率为12.789%,THC含量的特征向量绝对值最大,

表6 主成分的特征根值、贡献率及各因子载荷矩阵

性状	PC			
	1	2	3	4
小叶数	0.867	-0.212	0.238	-0.185
株高	0.815	0.037	-0.107	-0.006
茎粗	0.805	0.077	-0.062	-0.196
分枝数	0.796	-0.248	-0.083	0.516
节数	0.761	-0.196	-0.098	0.557
叶片颜色	0.621	0.404	0.233	-0.146
茎秆颜色	0.521	0.479	0.42	-0.152
CBG	-0.18	0.727	0.379	0.269
CBD	0.261	0.698	-0.334	0.01
THC	-0.436	-0.033	0.680	0.48
分枝高	0.263	-0.486	0.608	-0.326
特征值	4.293	1.796	1.407	1.102
贡献率/%	39.030	16.331	12.789	10.022
累计贡献率/%	39.030	55.361	68.15	78.173

为0.680,可作为PC3的决定因子;PC4的特征值为1.102,方差贡献率为10.022%,节数的特征向量绝对值最大,为0.557,可作为PC4的决定因子。

2.4 隶属函数分析

由表7可知,33份花叶用大麻种质资源隶属函数值平均值的变化范围为0.082~0.690,该值越大,表明该品种的综合性状越好;排名前5的种质资源分别是DQFY68、DQFY21、DQFY30、DQFY31和DQFY20,隶属函数值平均值的变化范围为0.552~0.690;排名后5的种质资源分别是DQFY38、DQFY40、DQFY34、DQFY37和DQFY35,隶属函数值平均值的变化范围为0.082~0.187。

3 讨论

作物种质资源是保障我国粮食安全及绿色发展的基础资源,也是农业科技创新与现代种业快速发展的物质基础。而遗传多样性分析是了解作

表7 隶属函数及排序

种质资源	CBD	CBG	THC	茎节数	茎粗	单叶小叶	株高	分枝	分枝高度	叶片颜色	茎秆颜色	均值	排序
DQFY16	0.128	0.077	0.176	0.313	0.423	0.500	0.811	0.316	0.914	1.000	0.333	0.454	17
DQFY17	0.000	0.063	0.293	0.583	0.351	0.500	0.796	0.611	0.657	1.000	0.333	0.472	15
DQFY18	0.169	0.051	0.371	0.458	0.523	0.500	0.554	0.463	1.000	0.000	0.667	0.432	20
DQFY19	0.639	0.225	0.254	0.438	0.514	0.500	0.741	0.442	0.643	1.000	0.333	0.521	9
DQFY20	0.563	0.194	0.264	0.458	0.802	0.500	0.899	0.463	0.600	1.000	0.333	0.552	5
DQFY21	0.442	0.462	0.002	0.438	0.802	0.750	0.966	0.442	0.786	1.000	0.333	0.584	2
DQFY22	0.246	0.024	0.067	0.594	0.829	0.500	0.822	0.589	0.243	1.000	0.333	0.477	13
DQFY23	0.469	0.253	0.017	0.875	0.279	0.500	0.408	0.400	0.286	1.000	0.333	0.438	19
DQFY24	0.328	0.129	0.009	0.375	0.459	1.000	0.567	0.332	0.200	1.000	0.333	0.430	21
DQFY25	0.487	0.103	0.019	0.646	0.946	0.500	0.788	0.684	0.214	1.000	0.333	0.520	10
DQFY26	0.465	0.043	0.030	0.813	0.117	1.000	0.587	0.821	0.329	1.000	0.333	0.503	11
DQFY27	0.596	0.124	0.028	0.729	0.450	0.500	0.370	0.716	0.171	1.000	0.333	0.456	16
DQFY28	0.244	0.109	0.584	0.729	0.351	1.000	0.558	0.737	0.614	0.000	0.000	0.448	18
DQFY29	0.394	0.313	0.012	0.938	0.694	0.500	0.619	0.947	0.186	1.000	0.333	0.540	6
DQFY30	0.493	0.161	0.636	0.781	0.414	0.500	0.785	0.789	0.457	1.000	0.333	0.577	3
DQFY31	0.131	0.069	0.121	0.708	0.613	1.000	1.000	0.716	0.414	1.000	0.333	0.555	4
DQFY32	0.825	0.786	0.302	0.354	0.288	0.500	0.398	0.253	0.171	1.000	1.000	0.534	7
DQFY33	1.000	0.520	0.051	0.479	0.595	1.000	0.274	0.484	0.086	1.000	0.333	0.529	8
DQFY34	0.127	0.212	0.048	0.313	0.378	0.000	0.193	0.316	0.229	0.000	0.000	0.165	31
DQFY35	0.373	0.152	0.380	0.417	0.099	0.000	0.105	0.337	0.193	0.000	0.000	0.187	29
DQFY36	0.228	0.180	0.234	0.417	0.189	0.000	0.384	0.432	0.374	0.000	0.000	0.222	27
DQFY37	0.747	0.173	0.028	0.188	0.207	0.000	0.218	0.179	0.157	0.000	0.000	0.172	30
DQFY38	0.286	0.112	-0.002	0.021	0.252	0.000	0.000	0.021	0.214	0.000	0.000	0.082	33

续表 7

种质资源	CBD	CBG	THC	茎节数	茎粗	单叶小叶	株高	分枝	分枝高度	叶片颜色	茎秆颜色	均值	排序
DQFY39	0.409	1.004	1.001	0.271	0.099	0.000	0.066	0.274	0.400	0.000	0.000	0.320	23
DQFY40	0.085	0.104	0.373	0.333	0.000	0.000	0.167	0.347	0.254	0.000	0.000	0.151	32
DQFY41	0.007	0.061	0.409	0.583	0.144	0.000	0.223	0.426	0.271	0.000	0.000	0.193	28
DQFY42	0.356	0.215	0.685	0.000	0.054	0.000	0.020	0.000	0.000	1.000	0.333	0.242	25
DQFY43	0.793	0.267	0.041	0.042	0.306	0.500	0.392	0.037	0.263	0.000	0.000	0.240	26
DQFY44	0.560	0.114	0.025	0.281	0.378	0.500	0.368	0.289	0.343	1.000	0.333	0.381	22
DQFY45	0.790	0.096	0.075	0.563	0.468	1.000	0.963	0.589	0.786	0.000	0.000	0.485	12
DQFY65	0.736	0.026	0.039	0.854	0.523	1.000	0.582	0.863	0.286	0.000	0.333	0.476	14
DQFY66	0.482	-0.001	0.028	0.458	0.468	0.750	0.299	0.463	0.300	0.000	0.000	0.295	24
DQFY68	0.785	0.315	0.052	1.000	1.000	1.000	0.938	1.000	0.171	1.000	0.333	0.690	1

物种质资源特性的主要手段,其遗传多样性越丰富,对环境的适应能力越强,通过遗传多样性分析可以全面地了解作物种质资源,为品种改良及选育提供重要信息^[16-17]。本研究通过对33份花叶用大麻种质资源的表型性状进行变异分析,2个质量性状的遗传多样性指数为0.68、0.90,9个数量性状呈现较好的正态分布,变异系数的变化范围为13.80%~144.41%,其中分枝数的变异系数最小,THC含量的变异系数最大,平均变异系数为51.38%,说明参试材料的遗传多样性丰富,材料间差异较大。

种质资源农艺性状鉴定、新基因发掘是种质资源利用的前提,而评价是作物品种选育和综合利用的重要依据^[18-19]。一般利用描述性统计及相关性分析、主成分分析、聚类分析等评价种质资源,已在大多数作物上得到广泛应用,例如在高粱^[20]、大豆^[21]、谷子^[22]、陆地棉^[23]等作物种质资源的评价,其结果既客观又可靠。主成分分析是一种浓缩数据信息的方法,可以将很多个变量浓缩成少数几个可以代表绝大部分性状的变量,并且彼此之间互不相关。白羿雄等^[24]将15个性状简化成7个主成分,代表青稞种质资源表型性状85.02%的遗传信息量。于跃等^[11]将14种性状简化为6个主成分,代表大麻种质资源表型性状69.204%的遗传信息量。而本试验利用主成分分析,将11个性状简化成4个主成分,其特征值均大于1,累计贡献率达到了78.173%,能够反映33个花叶用大麻种质资源性状的绝大部分信息。利用隶属函数进行评价,不仅提高了种质资源评价的准确性,而且使试验结果更具可靠性^[25]。

4 结 论

本研究通过对33份花叶用大麻种质资源表型性状和主要大麻素含量的遗传多样性分析和综合评价,明确参试的33份花叶用大麻种质资源均可以在大庆地区正常生长发育,各资源间差异较大,具有丰富的遗传多样性。通过主成分分析和隶属函数分析法筛选出5份综合性状优良的种质。

参考文献:

- [1] 刘飞虎. 工业大麻的基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 2.
- [2] 张晓艳, 曹焜, 韩承伟, 等. 3个国外引进工业大麻品种在轻、中度盐碱土生长发育特性的研究[J]. 东北农业科学, 2021, 46(6): 35-39.
- [3] 张建春, 关华, 刘雪强. 汉麻种植与初加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 1-2.
- [4] 孙宇峰, 张晓艳, 王晓楠, 等. 汉麻籽油的特性及利用现状[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(3): 9-11.
- [5] 张建春. 汉麻综合利用技术[M]. 北京: 长城出版社, 2006: 17-37.
- [6] 张晓艳, 孙宇峰, 曹焜, 等. 黑龙江省工业大麻育种现状及展望[J]. 作物杂志, 2019(3): 15-19.
- [7] 刘翠翠, 果实. 黑龙江省汉麻产业情况概述[J]. 农场经济管理, 2018(6): 43-44.
- [8] Meijer E P M D, Kamp H J V D, Eeuwijk F A V. Characterisation of Cannabis accessions with regard to cannabinoid content in relation to other plant characters[J]. Euphytica, 1992, 62: 187-200.
- [9] Meijer E P M D. Diversity in cannabis[D]. Holland: Wageningen University & Research, 1994.
- [10] Meijer E P M D, Keizer L C P. Patterns of diversity in Cannabis

- [J]. Genetic Resources & Crop Evolution, 1996, 43(1): 41-52.
- [11] 于跃,孙健,张静,等. 198份大麻种质资源农艺及品质性状综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(4): 1021-1030.
- [12] 王庆峰,张雪,李庆鹏,等. 工业大麻种质资源农艺性状初步评价[J]. 农业与技术, 2020, 40(10): 34-38.
- [13] Petit J, Salentijn E M J, Paulo M, et al. Genetic variability of morphological, flowering, and biomass quality traits in hemp(*Cannabis sativa* L.)[J]. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 102.
- [14] 汤志成. 野生大麻种质资源遗传多样性分析[D]. 昆明: 云南农业大学, 2013.
- [15] Strong W L. Biased richness and evenness relationships within Shannon-Wiener index values[J]. Ecological Indicators, 2016, 67: 703-713.
- [16] 丁明亮,林丽萍,李明菊,等. 云南育成小麦品种(系)品质性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 南方农业学报, 2020, 51(2): 255-266.
- [17] 赵香娜,李桂英,刘洋,等. 国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9(3): 302-307.
- [18] Upadhyaya H D, Yadav D, Dronavalli N, et al. Mini core germplasm collections for infusing genetic diversity in plant breeding programs[J]. Electronic Journal of Plant Breeding, 2010, 1(4): 1294-1309.
- [19] Geleta N, Labuschagne M T, Viljoen C D. Genetic diversity analysis in sorghum germplasm as estimated by AFLP, SSR and morpho-agronomical markers[J]. Biodiversity and Conservation, 2006, 15(10): 3251-3265.
- [20] Upadhyaya H D, Sharma S, Ramulu B, et al. Variation for qualitative and quantitative traits and identification of trait specific sources in new sorghum germplasm[J]. Crop and Pasture Science, 2010, 61: 609-618.
- [21] 黎松松,许文静,张威,等. 大豆种质资源主要农艺性状的评价与分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(19): 35-38.
- [22] 赵小琴,贾瑞玲,刘军秀,等. 120份谷子种质资源的农艺性状表现和遗传多样性分析[J]. 作物杂志, 2022(6): 61-69.
- [23] 王秀秀,邢爱双,杨茹,等. 陆地棉种质资源表型性状综合评价[J]. 中国农业科学, 2022, 55(6): 1082-1094.
- [24] 白羿雄,郑雪晴,姚有华,等. 青稞种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2019, 52(23): 4201-4214.
- [25] 韩永亮,李世云,路正营,等. 62份陆地棉种质资源苗期抗旱性综合评价及耐旱种质筛选[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(6): 28-38.

(责任编辑:范杰英)