

# 198 份大麻种质资源农艺及品质性状综合评价

于跃<sup>1</sup>, 孙健<sup>1</sup>, 张静<sup>1</sup>, 杨泽茂<sup>1</sup>, 张利国<sup>2</sup>, 邓灿辉<sup>1</sup>, 程超华<sup>1</sup>, 唐靖<sup>1</sup>,  
许英<sup>1</sup>, 陈小军<sup>1</sup>, 张小雨<sup>1</sup>, 戴志刚<sup>1</sup>, 粟建光<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院麻类研究所 / 农业部麻类生物学与加工重点实验室, 长沙 410205;

<sup>2</sup>黑龙江省农业科学院经济作物研究所, 哈尔滨 150086)

**摘要:** 本研究以 198 份国内外大麻种质资源为材料, 开展了 14 个农艺和品质性状多样性鉴定, 并进行变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析, 为我国大麻种质资源创新和资源高效利用提供基础材料和技术参考。变异分析结果表明, 198 份国内外大麻种质资源具有较为丰富的遗传多样性, 14 个性状的变异系数范围为 4.79%~64.45%, 变异系数最大的是大麻二酚含量, 最小的是雌花开花日数, 平均值为 27.78%。其中, 大麻酚(CBN)、大麻二酚(CBD)、大麻二酚酸(CBDA)、次大麻二酚(CBDV) 4 种大麻素含量的变异系数均大于 40.0%, 品质性状表现出更好的变异性。相关性分析表明, CBD 含量与 CBDA、CBDV 和 CBN 的含量均为极显著正相关, CBDA 含量与 CBN 含量极显著正相关, 株高与茎粗极显著正相关, CBDA 含量与多个农艺性状呈现显著的相关性, 株高、茎粗的改良有利于大麻素 CBDA 含量的提高; 主成分分析把 14 个性状综合为 6 个主成分, 累计贡献率达到 69.204%, 表明 6 个主成分反映了大麻种质资源大部分的性状信息。聚类分析得到 3 个类群, 其中第 I 类群的 69 份资源在大麻素含量、株高和茎粗上表现较好, 可以进一步筛选作为育种研究的亲本材料。

**关键词:** 大麻; 种质资源; 农艺性状; 品质性状; 评价

## Comprehensive Evaluation on Agronomic and Quality Traits of 198 Hemp Germplasm Resources

YU Yue<sup>1</sup>, SUN Jian<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, YANG Ze-mao<sup>1</sup>, ZHANG Li-guo<sup>2</sup>, DENG Can-hui<sup>1</sup>,  
CHENG Chao-hua<sup>1</sup>, TANG Qing<sup>1</sup>, XU Ying<sup>1</sup>, CHEN Xiao-jun<sup>1</sup>,  
ZHANG Xiao-yu<sup>1</sup>, DAI Zhi-gang<sup>1</sup>, SU Jian-guang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Biology and Processing of Hemp, Ministry of Agriculture, Changsha 410205; <sup>2</sup>Institute of Cash Crops, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086)

**Abstract:** In order to provide germplasm resource and technical reference for the innovation and efficient utilization of cannabis germplasm resources in China, this study analyzed phenotypic variations on 14 agronomic and quality related traits in 198 cannabis germplasm accessions collected from China, Morocco and European countries. The results showed that either domestic or exotic cannabis germplasm accessions represented relatively

收稿日期: 2021-02-08 修回日期: 2021-03-01 网络出版日期: 2021-03-22

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210208002>

第一作者研究方向为麻类种质资源挖掘与创新, E-mail: yuyue1301080207@163.com

通信作者: 戴志刚, 研究方向为麻类等特色作物种质资源保护与利用, E-mail: dzgmonkey@126.com

粟建光, 研究方向为麻类等南方经济作物种质资源保护与利用, E-mail: jgsu@vip.163.com

**基金项目:** 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-16-E01); 农作物种质资源保护与利用专项 (2016NWB044); 国家科技资源共享服务平台项目 (NCGRC-2020-15)

**Foundation projects:** Special Construction of Modern Agricultural Industrial Technology System (CARS-16-E01), Protection and Utilization of Crop Germplasm Resources (2016NWB044), National Science and Technology Resource Sharing Service Platform Project (NCGRC-2020-15)

abundant genetic diversity, with variation coefficients on 14 traits ranged from 4.79%-64.45%. The highest variation coefficient was CBD content and the lowest was female flowering date, with an average value of 27.78%. The variation coefficient regarding to four cannabinoids (CBN, CBD, CBDA and CBDV) is all higher than 40.0%, suggesting better variability at quality traits. The CBD content was found to significantly positively correlate with the content of CBDA, CBDV and CBN, the CBDA content was significantly positively correlated with the CBN content, the plant height was significantly positively correlated with the stem diameter. The CBDA content was significantly correlated with multiple agronomic traits, such as plant height and stem diameter. Principal component analysis revealed six principal components with a cumulative contribution rate of 69.204%, indicating that six principal components are able to represent large proportion of these phenotypic variations. Cluster analysis suggested three groups, in which 69 accessions of the first group showed better performance in terms of cannabinoid content, plant height and stem diameter, and they might be further tested for obtaining elite parental lines in breeding.

**Key words:** cannabis; germplasm resources; agronomic characters; quality character; evaluation

大麻 (*Cannabis sativa* L.) 是大麻科 (*Cannabaceae*) 大麻属 (*Cannabis* L.) 一年生草本植物, 俗称火麻、线麻等<sup>[1]</sup>, 广泛应用于纺织、医药、食品、化妆品、建筑、造纸等领域<sup>[2-3]</sup>。大麻起源于中亚、喜马拉雅山麓和西伯利亚中部, 我国也是重要的起源中心之一<sup>[1-4]</sup>, 最早在亚洲和欧洲种植, 是最古老的栽培作物之一<sup>[5]</sup>。考古挖掘表明, 我国早在 5000 多年前就开始利用大麻<sup>[6-7]</sup>, 20 多个省市均有种植历史, 种质资源丰富多样<sup>[8-9]</sup>。国际上把四氢大麻酚 (THC, tetrahydrocannabinol) 含量低于 0.3% 的大麻叫做工业大麻, 不具备成瘾性且有极高的经济价值<sup>[7, 10]</sup>。我国是最重要的工业大麻生产国<sup>[11]</sup>, 2018 年我国大麻的播种面积为 18560 hm<sup>2</sup>, 产量为 106200 t<sup>[12]</sup>, 增长较为稳定。

大麻雌雄异株, 偶有雌雄同株现象<sup>[13]</sup>, 雄花为圆锥花序, 雌花团聚于叶腋内, 雄株比雌株早成熟<sup>[14-15]</sup>。近年来, 工业大麻的研究聚焦在其重要的次生代谢产物大麻素上。大麻素是大麻生长发育过程中产生的萜酚类化合物, 在开花期前后于大麻雌花腺毛中富集<sup>[16]</sup>。当前已经鉴定和解析超过 100 种大麻素<sup>[17]</sup>, 其中酚类化合物是主要的研究对象, 包括大麻酚 (CBN, cannabinol)、大麻二酚 (CBD, cannabidiol)、次大麻二酚 (CBDV, cannabidivarin) 等。以大麻二酚 (CBD) 为代表的酚类物质具有丰富的药理学作用<sup>[18]</sup>。大麻二酚酸 (CBDA, cannabidiolic acid) 是植株体内最丰富的大麻素之一, 通过加热脱羧可以转化为 CBD 和

CBDV<sup>[13, 19]</sup>。大麻种质资源是培育高产优质工业大麻品种的物质基础, 截止 2020 年 12 月, 国家麻类种质资源中期库保存了大麻种质资源 1300 余份。国内少数学者对大麻的农艺性状和纤维品质性状进行了分析。王庆峰等<sup>[20]</sup>对 22 份大麻材料的 6 种农艺性状进行评价, 筛选出 4 种适宜在中国吉林省种植的籽用品种。房郁妍等<sup>[21]</sup>对 13 份大麻材料的 18 个农艺性状进行聚类分析, 将品种分成 3 个类群。唐慧娟等<sup>[22]</sup>对 4 份大麻材料的 12 个性状进行分析, 表明影响大麻纤维品质的主要性状为纤维支数。Petit 等<sup>[23]</sup>对 123 份大麻材料的 28 个与纤维质量相关的性状进行分析, 结果表明, 这些性状间存在较大变异性, 纤维性状受环境影响较大。有关大麻素含量与农艺性状的综合评价未见报道。

本研究通过对 198 份大麻种质资源 14 个农艺性状和品质性状的综合鉴评, 探究其遗传多样性, 以及 CBD 含量等大麻素品质性状与农艺性状之间的关系, 以期为我国大麻优异种质筛选、创新和资源高效利用提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试工业大麻材料 198 份, 其中中国 20 个省 (区) 172 份、国外 7 个国家 26 份。由国家麻类作物种质资源中期库和黑龙江省农业科学院经济作物研究所提供 (表 1)。

表 1 供试大麻品种(系)

Table 1 The varieties ( lines ) of cannabis

序号 No.	品种(系) Varieties ( Lines )	来源地 Origin	序号 No.	品种(系) Varieties ( Lines )	来源地 Origin	序号 No.	品种(系) Varieties ( Lines )	来源地 Origin
1	沧源	中国云南	37	永宁	中国宁夏	73	通榆三家子	中国吉林
2	楚雄	中国云南	38	平罗	中国宁夏	74	奈曼	中国内蒙古
3	永仁	中国云南	39	湟中	中国青海	75	松原韩家店	中国吉林
4	湖州	中国浙江	40	互助	中国青海	76	通辽	中国内蒙古
5	淮阴	中国江苏	41	焉耆	中国新疆	77	松原韩家店南郊	中国吉林
6	睢宁	中国江苏	42	哈密	中国新疆	78	八仙筒	中国内蒙古
7	沭阳	中国江苏	43	奇台	中国新疆	79	科尔沁右旗	中国内蒙古
8	温江	中国四川	44	Юсо-31	俄罗斯	80	乾安	中国吉林
9	灌县	中国四川	45	Юсо-11	俄罗斯	81	新惠	中国内蒙古
10	火麻	中国安徽	46	Венико	波兰	82	永吉	中国吉林
11	寒麻	中国安徽	47	Виалоб	波兰	83	鄄城	中国山东
12	叶集	中国安徽	48	德国	德国	84	辐 06-1	中国黑龙江
13	信阳	中国河南	49	法国	法国	85	辐 06-35	中国黑龙江
14	线麻	中国河南	50	永源 -1	中国云南	86	辐 07-21	中国黑龙江
15	方城	中国河南	51	大连	中国辽宁	87	辐 07-40	中国黑龙江
16	西峡	中国河南	52	托克托	中国内蒙古	88	饶河	中国黑龙江
17	栾川	中国河南	53	丘北	中国云南	89	嘉荫	中国黑龙江
18	平邑	中国山东	54	新源	中国新疆	90	塔河	中国黑龙江
19	莒县	中国山东	55	Золотоножский-15	乌克兰	91	汤原	中国黑龙江
20	莱芜	中国山东	56	Юсо-11	乌克兰	92	宁安	中国黑龙江
21	肥城	中国山东	57	Глуховский-33-1	乌克兰	93	桦甸	中国吉林
22	邢台	中国河北	58	Глуховский-33-2	乌克兰	94	望天鹅	中国吉林
23	平山	中国河北	59	Юсо-14	乌克兰	95	和龙	中国吉林
24	大白皮	中国河北	60	Днепский-6	乌克兰	96	向阳	中国辽宁
25	阳原	中国河北	61	Днепский-14	乌克兰	97	八面城	中国辽宁
26	阳城	中国山西	62	Юсо31-1	乌克兰	98	偏岭	中国辽宁
27	新绛	中国山西	63	Юсо31-2	乌克兰	99	大柳屯	中国辽宁
28	河曲	中国山西	64	Юсо31-3	乌克兰	100	八道壕	中国辽宁
29	蒲城	中国陕西	65	波引 1 号	波兰	101	宝国老	中国辽宁
30	康县	中国甘肃	66	波引 2 号	波兰	102	刀尔登	中国辽宁
31	清水	中国甘肃	67	波引 3 号	波兰	103	老官地	中国辽宁
32	康乐	中国甘肃	68	波引 4 号	波兰	104	腰屯 -1	中国黑龙江
33	靖远	中国甘肃	69	波引 5 号	波兰	105	Y-12-01	中国黑龙江
34	固原	中国宁夏	70	鲁麻 1 号	中国山东	106	Y-12-37	中国黑龙江
35	中宁	中国宁夏	71	Юсо-31	波兰	107	HG003	中国吉林
36	盐池	中国宁夏	72	Глуховский-33	波兰	108	HG006	中国内蒙古

表 1(续)

序号 No.	品种(系) Varieties (Lines)	来源地 Origin	序号 No.	品种(系) Varieties (Lines)	来源地 Origin	序号 No.	品种(系) Varieties (Lines)	来源地 Origin
109	HG008	中国黑龙江	139	HG025	中国黑龙江	169	13L105 大麻	中国黑龙江
110	HG011	中国内蒙古	140	HG026	中国陕西	170	巴马火麻	中国广西
111	HG028	中国黑龙江	141	HG027	中国黑龙江	171	内蒙籽用大麻	中国甘肃
112	HG036	中国吉林	142	HG029	中国江苏	172	火麻 1 号(伪)	中国云南
113	HG037	中国吉林	143	HG030	中国黑龙江	173	公主岭	中国吉林
114	HG038	中国吉林	144	HG031	中国新疆	174	荷兰大麻	荷兰
115	HG039	中国辽宁	145	HG032	中国河南	175	五常 40	中国黑龙江
116	庆大麻 1 号	中国黑龙江	146	HG033	中国黑龙江	176	会宁头寨子麻籽	中国甘肃
117	DMG219	中国山西	147	HG034	中国河北	177	会宁中川大麻子	中国甘肃
118	龙大麻 3 号	中国黑龙江	148	HG040	中国黑龙江	178	五台门限石砖庙麻子	中国山西
119	2011142034	中国山西	149	HG041	中国黑龙江	179	盐池县花马池冒寨子麻子	中国宁夏
120	HG001	中国山西	150	HG042	中国河南	180	彭阳孟塬椿树岔大麻子	中国宁夏
121	HG002	中国黑龙江	151	HG043	中国甘肃	181	民勤西渠麻籽	中国甘肃
122	HG004	中国吉林	152	HG044	中国黑龙江	182	民勤西渠麻籽 1	中国甘肃
123	HG005	中国甘肃	153	HG046	中国甘肃	183	古浪古浪小麻籽	中国甘肃
124	HG007	中国黑龙江	154	HG047	中国浙江	184	古浪古浪大麻籽	中国甘肃
125	HG009	中国浙江	155	HG048	中国黑龙江	185	兴县孟家坪小善麻子	中国山西
126	HG010	中国内蒙古	156	HG049	中国陕西	186	武乡洪水小麻子	中国山西
127	HG012	中国山东	157	天之草 1	中国黑龙江	187	敦煌肃州麻籽	中国甘肃
128	HG013	中国重庆	158	天之草 4	中国吉林	188	定边小麻子	中国陕西
129	HG014	摩洛哥	159	天之草 5	中国黑龙江	189	安塞坪桥柳湾小麻子	中国陕西
130	HG015	中国黑龙江	160	天之草 6	中国黑龙江	190	安塞王窑水打磨麻子	中国陕西
131	HG016	中国河北	161	天之草 7	中国吉林	191	乌拉特前旗明安营盘湾 大麻	中国内蒙古
132	HG017	中国甘肃	162	DMG009	中国安徽	192	鄂托克前旗敖勒召其大 沙头麻子	中国内蒙古
133	HG019	中国宁夏	163	皖大麻 1 号	中国河南	193	中国内蒙古农牧业科学院	中国内蒙古
134	HG020	中国黑龙江	164	洮安大麻	中国吉林	194	尤纱 -31	乌克兰
135	HG021	中国黑龙江	165	五常大麻	中国黑龙江	195	长白山	中国吉林
136	HG022	中国河南	166	明水 126 大麻	中国黑龙江	196	龙大麻 5 号	中国黑龙江
137	HG023	中国内蒙古	167	13L1 大麻	中国黑龙江	197	张掖	中国甘肃
138	HG024	中国吉林	168	13L101 大麻	中国黑龙江	198	汾大麻 2 号	中国山西

## 1.2 仪器与设备

送风定温恒温箱 (DKN412C): 雅马拓科技贸易有限公司; 数控超声波清洗器 (KQ-500DE): 昆山市超声仪器有限公司; 超高效液相色谱 (LC-20A): 日本岛津公司; 分析天平 (PX124ZH/E): 奥豪斯仪器有限公司; 高速离心机 (TGL16B): 长沙英泰仪器有限公司。

## 1.3 试验设计

本试验于 2020 年 4 月 26 日种子直播播种, 采用随机区组排列, 2 次重复, 行长 5 m, 2 行区, 行距 50 cm、株距 10 cm, 每行定苗 50 株。试验地点位于黑龙江省农业科学院哈尔滨呼兰康金试验基地。该基地属于中温带大陆性季风气候, 地势开阔平坦, 田间排灌良好, 无树木、建筑物等遮荫, 前茬作物为玉米。肥水管理及病虫害防治根据当地大田生产习惯实施。

**1.3.1 大麻素的提取与测定** 雌花盛花期时, 每份材料挑选长势均匀一致的大麻雌株 5~6 株, 取顶端 15 cm 左右的花叶, 自然风干 3 d 后, 置于定温鼓风干燥箱 60 °C 烘至恒重, 全部磨细 (细度  $\leq 0.425$  mm) 混匀; 平行称取 0.2000 g 样品 3 份于玻璃离心管中, 冷却后加入 4 mL 甲醇溶液, 超声 10 min, 静置 60 min, 4000 r/min 离心 5 min, 收集上清液至容量瓶中, 保留残渣, 重复上述操作, 收集上清液后定容至 50 mL, 充分摇匀; 用注射器从容量瓶中抽取 0.5~1.5 mL 溶液, 用 0.45  $\mu$ m 有机滤膜过滤后注入液相瓶中, 通过超高效液相色谱法 (UPLC, ultra-performance liquid chromatography) 测定雌花花叶中大麻素 CBD、CBDV、CBDA、CBN 的含量。

**1.3.2 农艺性状采集** 在工业大麻出苗期至开花盛期分别对雄花开放日数、雌花开放日数、子叶形状、子叶色、下胚轴色、心叶色、雄花色、雌花色共 8 个农艺性状进行田间调查和观测, 成熟后每个品种在小区非边缘区域随机选取 10 株大麻植株, 对株高、茎粗进行考种。数据采集按照《大麻种质资源描述规范和数据标准》《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 大麻》执行 (表 2)。

## 1.4 数据分析

利用 Excel 2016 整理各性状数据, 利用 SPSS Statistics 19.0 进行表型变异分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析。

表 2 大麻描述型性状的记载标准

Table 2 Criteria for the recording of descriptive traits in cannabis

性状 Trait	记载标准 Criteria for recording
雄花开花日数 MFD	出苗至 50% 雄花开放的日数
雌花开花日数 FFD	出苗至 50% 雌花具有苞叶的日数
子叶形状 CS	第一对真叶展开时, 1= 卵圆, 2= 椭圆, 3= 长椭圆
子叶色 CC	第一对真叶展开时, 1= 浅绿, 2= 黄绿, 3= 绿, 4= 深绿
下胚轴色 HC	第一对真叶展开时, 1= 绿, 2= 浅紫, 3= 紫
心叶色 HLC	第一对完全展开真叶色, 1= 黄绿, 2= 绿, 3= 浅紫, 4= 紫
雄花色 MFC	开花期, 1= 绿, 2= 白, 3= 紫
雌花色 FFC	开花盛期, 1= 黄绿, 2= 绿
株高 PH	工艺成熟期, 主茎基部到生长点的距离
茎粗 SD	工艺成熟期, 主茎基部以上全株高度 1/3 处的茎秆直径

MFD: Male flowering date, FFD: Female flowering date, CS: Cotyledon shape, CC: Cotyledon color, HC: Hypocotyl color, HLC: Heart leaf color, MFC: Male flower color, FFC: Female flower color, PH: Plant height, SD: Stem diameter, the same as below

## 2 结果与分析

### 2.1 大麻种质资源品质与农艺性状多样性分析

198 份大麻种质资源 14 个性状的变异系数范围为 4.79%~64.45%, 变异系数最大的是 CBD 含量, 最小的是雌花开放日数, 均值为 27.78% (表 3)。其中, 品质性状 CBD、CBDV、CBDA、CBN 含量的变异系数均高于 40%, 说明品质性状表现出更好的变异性; 下胚轴色、雌花色、茎粗的变异系数在 20%~30% 之间, 子叶形状、子叶色、心叶色、雄花色、株高的变异系数在 10%~20% 之间, 雄花开放日数和雌花开放日数的变异系数低于 10%。以上分析表明 198 份大麻种质资源具有较为丰富的遗传多样性, 品种间性状的差异较大, 适宜进行品种鉴定评价和比较分析。

### 2.2 大麻种质资源品质与农艺性状相关性分析

198 份大麻种质资源 10 个农艺性状和 4 个品

表3 品质及农艺性状变异特征

Table 3 Variation characteristics of quality and agronomic traits

性状 Trait	均值 Mean	标准差 SD	方差 DX	极小值 Min.	极大值 Max.	变异系数(%) CV
大麻二酚含量(%) CBDC	0.55	0.35	0.13	0.06	2.87	64.45
次大麻二酚含量(%) CBDVC	0.14	0.08	0.01	0	0.62	56.46
大麻二酚酸含量(%) CBDAC	0.26	0.11	0.01	0	0.65	40.92
大麻酚含量(%) CBNC	0.35	0.20	0.04	0	0.73	57.98
雄花开花日数(d) MFD	87.30	6.57	43.15	63.00	112.00	7.53
雌花开花日数(d) FFD	111.98	5.36	28.77	80.00	129.00	4.79
子叶形状 CS	2.05	0.39	0.16	1.00	3.00	19.27
子叶色 CC	3.84	0.60	0.36	1.00	4.00	15.62
下胚轴色 HC	1.72	0.45	0.20	1.00	2.00	26.07
心叶色 HLC	2.02	0.26	0.07	1.00	3.00	12.73
雄花色 MFC	1.89	0.32	0.10	1.00	2.00	16.68
雌花色 FFC	1.09	0.28	0.08	1.00	2.00	25.87
株高(cm) PH	214.36	28.36	804.25	150.60	274.10	13.23
茎粗(cm) SD	0.71	0.19	0.04	0.34	1.38	27.30

CBDC: Cannabidiol content, CBDVC: Cannabidivarin content, CBDAC: Cannabidiolic acid content, CBNC: Cannabinol content, the same as below

质性性状相关性分析结果表明(表4), CBD含量与 CBDV、CBDA、CBN含量呈极显著正相关,与心叶色极显著正相关,与株高显著正相关; CBDA含量与 CBN含量、下胚轴色、株高、茎粗极显著正相关,与 CBDV含量显著正相关,与雌花色显著负相关; CBN含量与下胚轴色极显著正相关,与株高显著正相关。雄花开放日数与雌花开放日数极显著正相关; 株高与茎粗极显著正相关。与其他大麻素相比, CBDA与更多的农艺性状呈现相关性,即下胚轴色、株高、茎粗、雌花色的变化会直接影响大麻素 CBDA的含量。CBDA与其脱羧产物 CBD、CBDV呈正相关,表明不同品种间 CBDA脱羧产率可能存在一定的规律。

### 2.3 大麻种质资源农艺性状对大麻素含量的主成分分析

对14个品质和农艺性状进行主成分分析(表5),结果表明,前6个主成分的累计贡献率达到69.204%,它们的特征值均大于1,可以作为大麻农艺性状评价的综合指标。第1主成分特征值为2.556,贡献率为18.255%,CBDA含量的特征向量值为0.813,主要反映大麻种质大麻素酸的含量,因

此第1主成分可称为CBDA因子;第2主成分特征值为2.329,贡献率为16.634%,雄花开放日数与雌花开放日数的特征向量值分别为0.894、0.895,主要反映大麻花期,称为花期因子;第3~6主成分特征值范围为1.030~1.345,贡献率均小于10%,可分别称作子叶颜色因子、CBDA脱羧产物因子、雌花颜色因子和叶形因子。

### 2.4 聚类分析

对供试品种14个性状进行聚类分析,在欧几里得距离为12.5处将198份大麻种质资源划分成3类(图1)。第I类群包含69份大麻种质资源,其特征为CBD、CBDV、CBDA、CBN4种大麻素含量最高,株高(244.90 cm)最高,茎粗(0.79 cm)最粗。第II类群包含104份种质资源,各性状均值在划分的3个类群里均处于中间位置,即第II类群为中间类型。第III类群包含25份种质资源,雄花开放日数(88.24 d)和雌花开放日数(113.20 d)最长,株高(166.42 cm)最矮,茎粗(0.63 cm)最细。由图1可知,各类群间种质资源来源地较为混乱,其原因可能是种质资源在国与国之间、地区与地区之间频繁交流所致,导致部分品种的来源地并不是其原产

表 4 品质及农艺性状相关性分析

Table 4 Correlation analysis of quality and agronomic traits

性状 Trait	大麻二酚 含量 CBDAC	次大麻二 酚含量 CBDVC	大麻二酚 酸含量 CBDAC	大麻酚 含量 CBNC	雄花开花 日数 MFD	雌花开花 日数 FFD	子叶形状 CS	子叶色 CC	下胚轴色 HC	心叶色 HLC	雄花色 MFC	雌花色 FFC	株高 PH	茎粗 SD
大麻二酚含量 CBDAC	1.000													
次大麻二酚含量 CBDVC	0.474**	1.000												
大麻二酚酸含量 CBDAC	0.414**	0.159*	1.000											
大麻酚含量 CBNC	0.289**	0.042	0.642**	1.000										
雄花开花日数 MFD	0.021	0.082	-0.012	0.034	1.000									
雌花开花日数 FFD	-0.029	0.044	0.002	0.089	0.863**	1.000								
子叶形状 CS	0.013	0.076	0.062	-0.002	0.105	0.130	1.000							
子叶色 CC	0.033	0.071	-0.138	-0.138	0.163*	0.210**	-0.076	1.000						
下胚轴色 HC	0.127	0.137	0.338**	0.231**	0.094	0.145*	0.014	-0.073	1.000					
心叶色 HLC	0.225**	0.053	-0.030	0.012	0.392**	0.358**	0.194**	-0.050	0.081	1.000				
雄花色 MFC	0.061	0.021	-0.068	-0.016	0.161*	0.194**	0.000	0.173*	-0.004	0.021	1.000			
雌花色 FFC	-0.069	0.072	-0.168*	-0.127	0.019	0.025	-0.035	-0.008	0.029	0.052	-0.006	1.000		
株高 PH	0.168*	0.137	0.381**	0.168*	-0.029	-0.065	0.093	0.057	0.218**	-0.005	-0.008	-0.061	1.000	
茎粗 SD	0.113	0.077	0.227**	0.030	-0.195**	-0.180*	-0.022	-0.018	0.379**	-0.075	0.050	0.041	0.310**	1.000

\*\*和\* 分别表示在  $P<0.01$  和  $P<0.05$  水平下极显著和显著相关\*\* and \* denote extremely significant and significant at  $P<0.01$  and  $P<0.05$  levels respectively

表 5 大麻主要品质性状和农艺性状的主成分分析  
Table 5 Principal component analysis of main quality characters and agronomic characters of cannabis

性状 Trait	主成分 Composition					
	1	2	3	4	5	6
大麻二酚含量 CBDC	0.633	0.013	0.151	-0.587	-0.075	-0.082
次大麻二酚含量 CBDVC	0.426	0.085	0.408	-0.586	0.110	-0.062
大麻二酚酸含量 CBDAC	0.813	-0.190	-0.257	0.053	-0.167	-0.047
大麻酚含量 CBNC	0.646	-0.069	-0.447	0.052	-0.275	-0.232
雄花开花日数 MFD	0.149	0.894	-0.054	0.144	-0.033	-0.074
雌花开花日数 FFD	0.153	0.895	-0.059	0.220	-0.069	-0.081
子叶形状 CS	0.144	0.211	-0.176	-0.090	0.409	0.703
子叶色 CC	-0.082	0.284	0.544	0.004	-0.477	0.140
下胚轴色 HC	0.568	0.004	0.141	0.456	0.251	-0.199
心叶色 HLC	0.193	0.563	-0.127	-0.167	0.400	0.053
雄花色 MFC	0.025	0.285	0.382	0.118	-0.368	0.113
雌花色 FFC	-0.141	0.075	0.343	0.009	0.517	-0.485
株高 PH	0.534	-0.177	0.223	0.212	0.012	0.376
茎粗 SD	0.394	-0.345	0.455	0.408	0.223	0.078
特征值 Eigenvalue	2.556	2.329	1.345	1.232	1.197	1.030
贡献率 Contribution rate	18.255	16.634	9.608	8.802	8.551	7.355
累计贡献率 Cumulative contribution rate	18.255	34.888	44.496	53.298	61.849	69.204

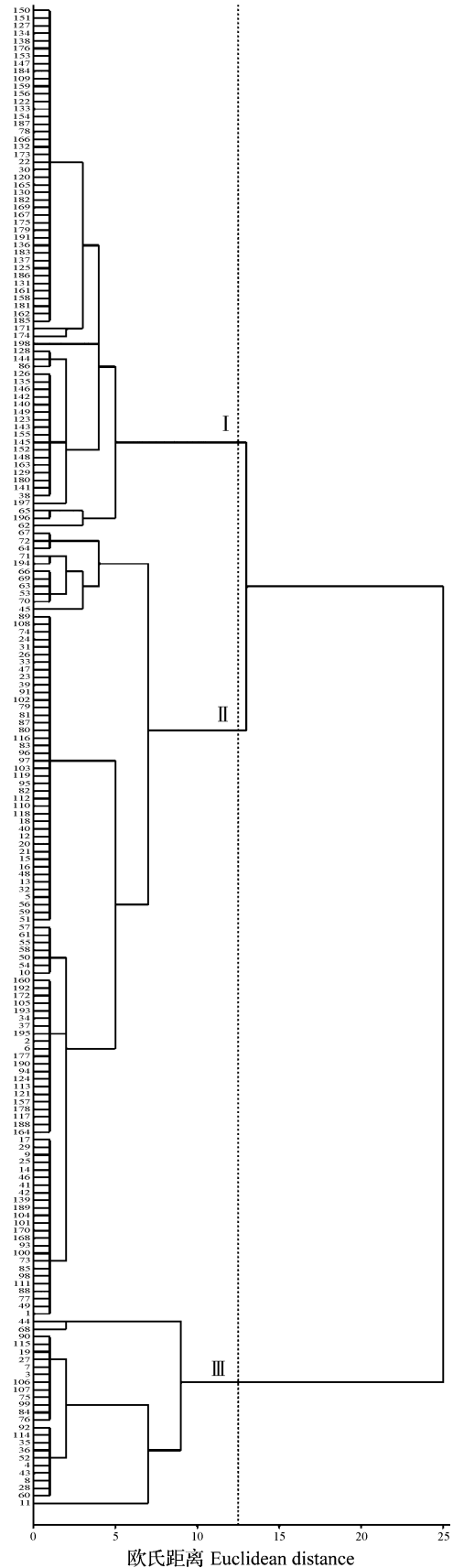


图 1 198 份大麻种质资源聚类分析  
Fig.1 Cluster analysis of 198 cannabis germplasm resources



地。大麻是雌雄异株、异花授粉作物,品种间极易杂交<sup>[24]</sup>,这也有可能导致部分品种在某一地区长时间种植,而生物学混杂造成聚类结果更加接近当地的品种。

### 3 结果与讨论

本研究通过对 198 份大麻种质资源 10 个农艺性状和 4 个品质性状的变异分析,14 个性状的变异系数范围为 4.79%~64.45%,表明参试品种的遗传多样性丰富,品种间差异较大。10 个农艺性状的变异系数范围为 4.79% (雌花开放时间)~27.30% (茎粗),反映了参试品种具有较高的多样性水平;品质性状的变异系数依次为 CBD 含量 > CBN 含量 > CBDV 含量 > CBDA 含量,且均高于 40%,表现出更好的变异性。相关性分析表明,大麻株高和茎粗极显著正相关,与房郁妍等<sup>[21]</sup>、曹焜等<sup>[25]</sup>研究的结果一致; CBD 含量与 CBDA 含量、CBDV 含量、CBN 含量和心叶色均为极显著正相关,与株高显著正相关; CBDA 含量与 CBN 含量、下胚轴色、株高、茎粗极显著正相关,与 CBDV 含量显著正相关,与雌花色显著负相关,表明 CBDA 与多个农艺性状呈现显著的相关性,株高、茎粗可以作为挖掘高大麻素优异种质和品种的筛选指标。

主成分分析将 14 种性状简化为 6 个主要成分,累计贡献率达到 69.204%,反映了大麻种质资源大部分的性状信息,表明 CBDA 含量、CBD 含量、花期、子叶形态可以作为大麻评价的综合指标。聚类分析将试验品种分成 3 类,第 I 类群为大麻素含量高、株高茎粗较大的品种,包含 69 份资源,其中种质名称为 HG019 的地方品种 CBD 含量最高;第 II 类群的性状均值处于 3 个类群的中间位置,为中间类型;第 III 类群花期最长,株高、茎粗最矮,与第 I 类群相比,株高和茎粗分别低 32.04% 和 20.25%。聚类结果可以为大麻杂交育种的亲本选择提供参考。

近年来,以提取主要药用成分大麻二酚进行新药研发,逐渐成为工业大麻产业发展的重要新方向。大麻二酚具有抗痉挛、消炎镇痛、抗焦虑、抗肿瘤等多种药理功能<sup>[18,26]</sup>,具有广泛的应用前景。当前,中国工业大麻种质资源的 CBD 含量与国外比较存在普遍偏低的问题<sup>[27]</sup>,现有工业大麻品种难以满足产业发展需求。本研究分析了大麻种质资源的遗传多样性,探究了大麻农艺性状与 CBD 含量等大麻素品质性状之间的关系,筛选出株高、茎粗等农艺性状可作为高大麻素性状的参考指标,可为我国大麻

优异种质挖掘、创新和高大麻素品种选育提供技术依据。同时,聚类分析中各类群来源地混乱,表明大麻种质资源在收集引种和保存中存在来源地与原产地不一致现象,拟开展资源原产地的深入调查或基于基因组层面进行后续的分子鉴定和评价。

### 参考文献

- [1] 粟建光,戴志刚. 大麻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006  
Su J G, Dai Z G. Descriptors and data standard for hemp (*Cannabis sativa* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [2] 张晓艳,孙宇峰,曹焜,姜颖,韩承伟,赵越,韩喜财,王晓楠. 黑龙江省工业大麻育种现状及展望. 作物杂志, 2019 (3): 15-19  
Zhang X Y, Sun Y F, Cao K, Jiang Y, Han C W, Zhao Y, Han X C, Wang X N. Status and prospect of industrial hemp breeding in Heilongjiang province. Crops, 2019 (3): 15-19
- [3] 刘雪强,刘阳,粟建光,孙宇峰. 中国汉麻综合利用技术与产业化进展. 中国麻业科学, 2019, 41 (6): 283-288  
Liu X Q, Liu Y, Su J G, Sun Y F. Progress in comprehensive utilization technology and industrialization of hemp in China. Plant Fiber Sciences in China, 2019, 41 (6): 283-288
- [4] Charles E B. De Candolle's origin of cultivated plants. The American Naturalist, 1885, 19 (8): 778-780
- [5] Gao S, Wang B S, Xie S S, Xu X Y, Zhang J, Pei L, Yu Y Y, Yang W F, Zhang Y. A high-quality reference genome of wild *Cannabis sativa*. Horticulture Research, 2020, 7: 73
- [6] 胡尊红,郭鸿彦,胡学礼,陈璇,刘旭云,郭孟壁,张庆滢,许艳萍,郭丽芬,杨明. 大麻品种遗传多样性的 AFLP 分析. 植物遗传资源学报, 2012, 13 (4): 555-561  
Hu Z H, Guo H Y, Hu X L, Chen X, Liu X Y, Guo M B, Zhang Q Y, Xu Y P, Guo L F, Yang M. Genetic diversity of *Cannabis sativa* L. based on AFLP analysis. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13 (4): 555-561
- [7] 孙永刚. 大麻栽培起源与利用方式的考古学探索. 农业考古, 2016 (1): 16-20  
Sun Y G. Archaeological exploration of the origin and utilization of cannabis cultivation. Agricultural Archaeology, 2016 (1): 16-20
- [8] 陈璇,杨明,郭鸿彦. 大麻植物中大麻素成分研究进展. 植物学报, 2011, 46 (2): 197-205  
Chen X, Yang M, Guo H Y. Research advances in cannabinoids of *Cannabis sativa*. Chinese Bulletin of Botany, 2011, 46 (2): 197-205
- [9] 颜红宇. 中国大麻育种历史进程、现状与未来发展方向. 现代园艺, 2014 (15): 45-46  
Yan H Y. The historical process, current situation and future development direction of cannabis breeding in China. Modern Horticulture, 2014 (15): 45-46
- [10] 赵浩含,陈继康,熊和平. 中国工业大麻种业创新发展策略研究. 农业现代化研究, 2020, 41 (5): 765-771  
Zhao H H, Chen J K, Xiong H P. Research on the innovative development strategies of industrial hemp seed industry in China. Research of Agricultural Modernization, 2020, 41 (5): 765-771

- [ 11 ] 吕咏梅, 杨龙, 胡万群. 大麻产业研究进展 I . 大麻产业概述. 中国麻业科学, 2011, 33 ( 6 ): 307-312  
Lv Y M, Yang L, Hu W Q. Research progress of hemp industry hemp industry overview I . Plant Fiber Sciences in China, 2011, 33 ( 6 ): 307-312
- [ 12 ] 中华人民共和国国家统计局. 年度数据. ( 2019 ) [ 2021-02-08 ]. <https://data.stats.gov.cn/adv.htm?m=advquery&cn=C01>  
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Annual Data. ( 2019 ) [ 2021-02-08 ]. <https://data.stats.gov.cn/adv.htm?m=advquery&cn=C01>
- [ 13 ] Kovalchuk I, Pellino M, Rigault P, van Velzen R, Ebersbach J, Ashnest J R, Mau M, Schranz M E, Alcorn J, Laprairie R B, McKay J K, Burbridge C, Schneider D, Vergara D, Kane N C, Sharbel T F. The genomics of cannabis and its close relatives. Annual review of plant biology, 2020, 71 : 713-739
- [ 14 ] 高志勇, 张万海. 大麻的生物学特征及应用研究概况. 毛纺科技, 2006 ( 6 ): 37-39  
Gao Z Y, Zhang W H. Study of the biological characteristic of hemp and its applications. Wool Textile Journal, 2006 ( 6 ): 37-39
- [ 15 ] 强晓霞. 大麻性别分化的生理学研究. 南京: 南京农业大学, 2012  
Qiang X X. Physiology study on sex differentiation of hemp ( *Cannabis sativa* L. ). Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012
- [ 16 ] Pawel R, Stefan L, Łukasz M, Albert S, Oliver K. Cannabinoid synthases and osmoprotective metabolites accumulate in the exudates of *Cannabis sativa* L. glandular trichomes. Plant Science, 2019, 284 : 108-116
- [ 17 ] Nizar H, Sara A, Remco M, Annie V D, Bernd S, Oliver K. Analysis of cannabinoids in laser-microdissected trichomes of medicinal *Cannabis sativa* using LCMS and cryogenic NMR. Phytochemistry, 2013, 87 : 51-59
- [ 18 ] 史文强, 公绪栋, 吴春晖, 沈敬山. 大麻二酚及其类似物研究进展. 药学进展, 2020, 44 ( 9 ): 710-720  
Shi W Q, Gong X D, Wu C H, Shen J S. Advances in research on cannabidiol and its derivatives. Progress in Pharmaceutical Sciences, 2020, 44 ( 9 ): 710-720
- [ 19 ] Futoshi T, Supaart S, Yoshinari S, Kazuyoshi Y, Yukihiro S, Satoshi M. Cannabidiolic-acid synthase, the chemotype-determining enzyme in the fiber-type *Cannabis sativa*. FEBS Letters, 2007, 581 ( 16 ): 2929-2934
- [ 20 ] 王庆峰, 张雪, 李庆鹏, 解林昊, 凤桐, 王世发. 工业大麻种质资源农艺性状初步评价. 农业与技术, 2020, 40 ( 10 ): 34-38  
Wang Q F, Zhang X, Li Q P, Xie L H, Feng T, Wang S F. Preliminary evaluation of agronomic characters of industrial hemp germplasm resources. Agriculture and Technology, 2020, 40 ( 10 ): 34-38
- [ 21 ] 房郁妍, 张利国, 郑楠, 李佩林. 大麻种质资源农艺性状的聚类分析、相关性分析及主成分分析. 黑龙江农业科学, 2018 ( 10 ): 18-21  
Fang Y Y, Zhang L G, Zheng N, Li P L. Agronomic characteristics and correlation analysis of cannabis germplasm resources. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2018 ( 10 ): 18-21
- [ 22 ] 唐慧娟, 臧巩固, 程超华, 唐靖, 李育君, 赵立宁. 工业大麻产量和品质性状的对应分析. 作物杂志, 2018 ( 2 ): 52-55  
Tang H J, Zang G G, Cheng C H, Tang Q, Li Y J, Zhao L N. Correspondence analysis of yield and quality characters of industrial hemp. Crops, 2018 ( 2 ): 52-55
- [ 23 ] Petit J, Salentijn E M J, Paulo M, Thouminot C, van Dinter B J, Magagnini G, Gusovius H J, Tang K, Amaducci S, Wang S L, Uhrlaub B, Müssig J, Trindade L M. Genetic variability of morphological, flowering, and biomass quality traits in hemp ( *Cannabis sativa* L. ). Frontiers in Plant Science, 2020, 11 : 102
- [ 24 ] 李宗道. 麻作的理论与技术. 上海: 上海科学技术出版社, 1980: 332-368  
Li Z D. Theory and technology of bast fiber crops. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980: 332-368
- [ 25 ] 曹焜, 王晓楠, 孙宇峰, 韩承伟, 潘冬梅, 姜颖, 赵越, 张晓艳, 郭永霞, 韩喜财. 播种期对两个工业大麻品种生长发育、农艺性状和产量的影响. 中国麻业科学, 2019, 41 ( 1 ): 6-12  
Cao K, Wang X N, Sun Y F, Han C W, Pan D M, Jiang Y, Zhao Y, Zhang X Y, Guo Y X, Han X C. Effects of sowing date on growth and development, agronomic traits and yield of two industrial hemp cultivars. Plant Fiber Sciences in China, 2019, 41 ( 1 ): 6-12
- [ 26 ] 常丽, 唐慧娟, 李建军, 黄思齐, 陈安国, 赵立宁, 李德芳. 大麻 CBDA1 基因的生物信息学分析. 安徽农业科学, 2017, 45 ( 29 ): 144-148  
Chang L, Tang H J, Li J J, Huang S Q, Chen A G, Zhao L N, Li D F. Bioinformatic analysis of CBDA1 gene in *Cannabis sativa*. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45 ( 29 ): 144-148
- [ 27 ] 李秋实, 孟莹, 陈士林. 药用大麻种质资源分类与研究策略. 中国中药杂志, 2019, 44 ( 20 ): 4309-4316  
Li Q S, Meng Y, Chen S L. A new cannabis germplasm classification system and research strategies of non-psychoactive medicinal cannabis. China Journal of Chinese Materia Medica, 2019, 44 ( 20 ): 4309-4316