

重庆绿豆新收集种质资源的遗传多样性分析及抗枯萎病鉴定

龙珏臣, 张继君, 张晓春, 刘剑飞, 陈红, 王萍, 王强, 杜成章

(重庆市农业科学院, 重庆 401329)

摘要:“第三次全国农作物种质资源调查与收集”项目组历时2年从重庆地区收集到49份绿豆种质资源,供发掘优异基因及育种利用,我们评估这些资源的表型遗传多样性和枯萎病抗性水平。结果表明:这些新收集绿豆种质资源遗传多样性丰富,数量性状遗传多样性指数排序为:单株荚数>株高>主茎节数>分枝数>底荚高度>荚宽>荚长>百粒重>开花期>单荚粒数>成熟期>出苗期;各质量性状遗传多样性指数排序为:荚形>分枝性>复叶叶形>粒形>种皮光泽度>生长习性>结荚习性>熟荚色>对生单叶形>花色>主茎茸毛色>子叶色>粒色>幼茎色。聚类分析将49份种质资源划分为5个类群,第Ⅰ类群主要表现为矮秆、宜机收,第Ⅱ类群主要是大籽粒材料,第Ⅲ类群可作黄籽粒特色材料加以利用。三维散点图中,前3个主成分将49份种质资源大致分布在2个区域,分布在区域Ⅰ的材料多为直立型材料,而分布在区域Ⅱ的材料多为半蔓生型材料。经枯萎病抗性鉴定,从49份种质资源中筛选出中抗资源9份,抗病资源3份,高抗资源1份。本研究为后续优良种质的开发利用和抗绿豆枯萎病基因发掘提供了理论和种质基础。

关键词: 绿豆; 种质资源; 遗传多样性; 枯萎病抗性

Genetic Diversity Analysis and Fusarium Wilt Resistance Identification of Mung Bean Germplasm Resources Recently Collected in Chongqing

LONG Jue-chen, ZHANG Ji-jun, ZHANG Xiao-chun, LIU Jian-fei,

CHEN Hong, WANG Ping, WANG Qiang, DU Cheng-zhang

(Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329)

Abstract: Forty-nine mung bean germplasms newly collected from Chongqing in the recent two years were analyzed based on their phenotypic data and evaluated on the resistance to fusarium wilt, which is a most serious disease in Chongqing and surrounding areas. The results showed that the genotypes of mung bean collected in Chongqing were rich in genetic diversity. The genetic diversities index of quantitative characters were ranked as: Number of pods per plant>Plant height>Node number of main stem>Number of branches>Bottom pod height>Pod width>Pod length>100-seed weight>Flowering days>Number of seeds per pod>Maturing days>Emergence days, and the genetic diversities index of qualitative characters were ranked as: Pod shape>Branching>Trilobate leaf shape>Seed shape>Seed coat glossiness>Growth habit and Podding habit>Mature pod color>Simple leaf shape>Flower color and Main stem hair color>Cotyledon color at emergence>Seed coat color>Young stem color. According to cluster analysis, the 49 genotypes were divided into 5 Groups: Group I of dwarf materials suitable for mechanization, Group II of large-seeded materials, Group III of yellow seed materials. In the three-

收稿日期: 2020-05-13 修回日期: 2020-05-24 网络出版日期: 2020-06-17

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200513002>

第一作者研究方向为食用豆类遗传育种相关工作, E-mail: longjuechen@163.com; 张继君为共同第一作者

通信作者: 杜成章, 研究方向为食用豆类遗传育种及栽培生理相关研究, E-mail: 10695299@qq.com

基金项目: 重庆市科研院所绩效激励引导专项 (cstc2018jxjl80041)

Foundation project: Chongqing Science and Technology Bureau Project (cstc2018jxjl80041)

dimensional scatter diagram, the first three principal components have the 49 genotypes distributed roughly in two regions. The genotypes distributed in Region I were mostly of the erect type, while those distributed in Region II were mostly of the half sprawling type. Among the 49 genotypes, 9 mediumly resistant genotypes, 3 resistant genotypes and 1 highly resistant genotype were identified. This study provides a theoretical and germplasm basis for the development and better utilization of mung bean genetic resources and genes of resistance to fusarium wilt.

Key words: mung bean; germplasm resources; genetic diversity; resistance to fusarium wilt

绿豆 (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) 是我国的主要食用豆类之一^[1]。在东亚各国普遍种植, 非洲、欧洲、澳大利亚、加拿大、美国也有少量种植^[2-4]。绿豆在中国已有 2000 多年的栽培历史^[5], 是广受欢迎的药食同源作物。绿豆的种植面积在中国常年维持在 75 万 hm^2 左右, 而在重庆也有大约 1.12 万 hm^2 ^[6]。

种质资源是作物遗传改良的物质基础, 对种业发展和优良品种的选育有重要意义^[7], 然而, 目前我国收集的国内外绿豆种质资源在开发利用过程中仍存在遗传基础狭窄、缺少优良育种亲本等问题^[8], 因此开展绿豆种质资源的多样性分析, 挖掘优异基因并加以利用, 是解决生产实际问题的最好途径。绿豆生产中, 常有枯萎病发生。该病是一种严重的土传病害, 病原菌从根部侵入, 造成植株矮化、叶片黄化枯萎、维管束变褐, 甚至整个植株死亡, 田间发病可导致减产 30% 以上甚至绝收^[9-10]。近年来的研究主要集中在产量相关因子等数量性状、抗虫象及抗白粉病、抗花叶病毒病等的遗传分析^[11], 针对抗枯萎病种质资源的筛选研究相对较少。

重庆地处长江中上游, 四川盆地东部边缘, 山地丘陵地形居多, 海拔落差大, 立体气候明显, 4 个自然生态区局部气候差异显著^[12]。“第三次全国农作物种质资源调查与收集”历时 2 年 (2015-2016 年) 在重庆地区共收集到 49 份绿豆种质资源, 为充分发掘这些资源中的优异基因, 本研究分析了这些资源的 26 个形态性状多样性, 并通过田间试验, 对枯萎病抗性进行鉴定, 旨在为后续优良种质的开发和利用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试材料为重庆地方种质资源, 共 49 份 (表 1)。

1.2 试验设计

性状调查于 2017-2018 年开展, 每份材料种植

8 行, 行长 2.5 m, 行距 50 cm, 株距 10 cm, 3 次重复。性状调查项目严格按照《绿豆种质资源描述规范与数据标准》记载^[13], 先后调查出苗期、子叶色、幼茎色、对生单叶形、花色、生长习性、结荚习性、复叶叶形、主茎茸毛色、成熟期。成熟后考种记载株高、分枝数、分枝性、主茎节数、底荚高度、熟荚色、荚形、单株荚数、荚长、荚宽、单荚粒数、粒色、粒形、种皮光泽度、百粒重等。

于 2018 年在重庆农科院五间基地常年有绿豆枯萎病发生的田块, 开展抗枯萎病田间鉴定。每份材料种植 8 行, 行长 2.5 m, 行距 50 cm, 株距 10 cm, 3 次重复。于苗期、初花期、盛花期、成熟期统计各级发病株数。统计方法参照朱琳等^[14], 0 级: 叶片无症状; 1 级: 叶片边缘或叶尖轻微褪绿变黄, 黄化面积 $\leq 25\%$; 2 级: 叶片黄化面积 $25\% < A \leq 50\%$; 3 级: 叶片重度黄化或萎蔫面积 $50\% < A \leq 75\%$; 4 级: 叶片完全枯萎。

1.3 数据处理

分别对子叶色等 14 个质量性状予以赋值, 对出苗期等 12 个数量性状进行 10 级分类处理, 第 1 级 $[X_i < X - 2\sigma]$ 至第 10 级 $[X_i \geq X + 2\sigma]$, 每 0.5 σ 划分为 1 级, X 为平均值, σ 为标准差, X_i 为第 i 级中的数据^[15]。利用 SPSS 16.0 计算数量性状的平均值、标准差、变异系数^[16-17], 并统计每一级的相对频次, 用于计算遗传多样性指数 (Shannon-Wiener index), 计算公式: $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$ 。式中 P_i 为某性状第 i 级别内材料份数占总份数的百分比^[18]。主成分分析和聚类分析在 NTSYS-pc2.11 软件中进行, 主成分分析参照 Rohlf^[19] 的方法, 聚类分析参照刘洪等^[20] 采用 UPMGA 法进行聚类。

利用 Excel 软件计算病情指数 (DI) 和病情进展曲线下面积 (AUDPC)^[21], 病情指数 (DI) = $\sum$ (各级病株数 $\times$ 各级代表值) / (调查总株数 $\times$ 最高级代表值); 病情进展曲线下面积 (AUDPC) =

$$\sum_i^n \left[\left(\frac{X_i + X_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) \right]。抗性评价标准: 抗性$$

表 1 49 份绿豆种质资源收集信息
Table 1 Information of 49 mung bean genotypes

序号 No.	名称 Name	东经 E	北纬 N	海拔 (m) Altitude	收集地 Location	序号 No.	名称 Name	东经 E	北纬 N	海拔 (m) Altitude	收集地 Location
ZY-1	针荚子绿豆	106.0587	30.1288	324	合川	ZY-26	黑绿豆	108.9878	30.7270	767	云阳
ZY-2	绿豆	106.5572	30.2318	217	合川	ZY-27	本地绿豆	108.7101	31.3490	773	云阳
ZY-3	绿豆	106.5348	30.2430	257	合川	ZY-28	毛绿豆	109.9508	30.7029	598	云阳
ZY-4	老品种绿豆	106.6170	30.2459	341	合川	ZY-29	绿豆	108.7895	31.3599	929	云阳
ZY-5	绿豆	106.0751	30.3422	282	合川	ZY-30	小绿豆	106.8813	28.8405	629	万盛
ZY-6	绿豆	106.5761	30.2183	324	合川	ZY-31	绿豆	106.8875	29.0596	740	万盛
ZY-7	大豆子	106.0783	30.3080	297	合川	ZY-32	本地绿豆	106.7854	28.7680	432	万盛
ZY-8	绿豆	106.5235	30.3047	296	合川	ZY-33	绿豆	106.9004	29.0180	655	万盛
ZY-9	本地绿豆	107.8305	29.0856	838	合川	ZY-34	绿豆	108.2327	28.5310	440	酉阳
ZY-10	绿豆	106.6033	30.2245	366	合川	ZY-35	灰绿豆	108.9743	29.2303	467	酉阳
ZY-11	老绿豆	106.4751	30.1506	298	合川	ZY-36	亮绿豆	109.2380	28.9225	799	酉阳
ZY-12	绿豆	106.4046	28.7285	990	江津	ZY-37	灰绿豆	108.5878	28.5095	640	酉阳
ZY-13	老绿豆	106.4831	29.3039	490	江津	ZY-38	绿豆	108.6520	28.5400	651	酉阳
ZY-14	绿豆	106.4608	29.0872	585	江津	ZY-39	本地绿豆	109.0876	28.2043	566	秀山
ZY-15	老绿豆	106.4623	29.0862	593	江津	ZY-40	绿豆	109.2205	28.5755	352	秀山
ZY-16	老绿豆	106.5677	29.0977	559	江津	ZY-41	灰绿豆	109.2807	28.5828	337	秀山
ZY-17	灰绿豆	105.8914	30.2743	258	潼南	ZY-42	本地绿豆	107.8172	29.0867	517	武隆
ZY-18	针荚子绿豆	105.9007	30.2782	249	潼南	ZY-43	绿豆	107.8335	29.1195	590	彭水
ZY-19	绿豆	105.7172	30.8062	445	潼南	ZY-44	绿豆	108.2512	29.5345	730	彭水
ZY-20	黄绿豆	105.9750	30.2630	383	潼南	ZY-45	本地绿豆	108.2567	29.2537	730	彭水
ZY-21	灰绿豆	105.4972	35.3404	592	潼南	ZY-46	绿豆	108.2369	29.4435	730	彭水
ZY-22	黄绿豆	105.9910	30.2597	319	潼南	ZY-47	老品种绿豆	107.4766	30.4183	851	垫江
ZY-23	针荚子绿豆	105.9134	30.2719	255	潼南	ZY-48	本地绿豆	107.6479	30.4676	851	垫江
ZY-24	本地绿豆	105.9146	30.2736	250	潼南	ZY-49	本地绿豆	107.6416	30.8674	851	垫江
ZY-25	针荚子绿豆	105.7730	30.4013	237	潼南						

评价按病情指数划分,高抗(HR): $0<DI\leq 15$;抗(R): $15<DI\leq 35$;中抗(MR): $35<DI\leq 55$;感(S): $55<DI\leq 75$;高感(HS): $75<DI$ ^[20]。

2 结果与分析

2.1 遗传多样性分析

14 个质量性状的多样性分析结果显示,平均遗传多样性指数为 0.618。其中,荚形的遗传多样性指数最高,为 1.073;幼茎色只有 2 份种质为绿色,故

遗传多样性指数最低,仅为 0.170。参试材料的株型以直立型为主,占 53%。多数材料的分枝性处于中间水平,有 24 份,占 48.9%。有 1 份黄种皮材料和 2 份黑种皮材料,其余均为绿色。粒形以短圆柱形籽粒为主。成熟荚以黑色为主,占 63.2%,其余均为黄白。总体来说,遗传多样性指数排序依次是:荚形>分枝性>复叶叶形>粒形>种皮光泽度>生长习性、结荚习性>熟荚色>对生单叶形>花色、主茎茸毛色>子叶色>粒色>幼茎色(表 2)。

表 2 14 个质量性状变异参数

Table 2 Variation parameters of 14 qualitative characters

性状 Character	频次 Ratio				遗传多样性指数 H'
	1	2	3	4	
子叶色 CAE	45	4	—	—	0.283
幼茎色 YSC	47	2	—	—	0.170
对生单叶形 SLS	10	39	—	—	0.506
花色 FC	43	6	—	—	0.372
生长习性 GH	26	23	—	—	0.691
结荚习性 PHA	23	26	—	—	0.691
复叶叶形 TLS	6	27	16	—	0.951
主茎茸毛色 MHC	43	6	—	—	0.372
分枝性 BR	8	24	17	—	1.013
熟荚色 MPC	31	18	—	—	0.658
荚形 PS	30	6	9	4	1.073
粒色 SCC	46	2	1	—	0.269
粒形 SS	25	20	4	—	0.914
种皮光泽度 SCG	25	24	—	—	0.693
平均 Mean	—	—	—	—	0.618

—: 未分布

—: free. CAE: Cotyledon color at emergence, YSC: Young stem color, SLS: Simple leaf shape, FC: Flower color, GH: Growth habit, PHA: Podding habit, TLS: Trilobate leaf shape, MHC: Main stem hair color, BR: Branching, MPC: Mature pod color, PS: Pod shape, SCC: Seed coat color, SS: Seed shape, SCG: Seed coat glossiness, the same as below

表 3 12 个数量性状的变异参数

Table 3 Variation distribution of 12 quantitative characters

性状 Character	平均值 Mean	极小值 Min.	极大值 Max.	标准差 SD	变异系数 (%) CV	多样性指数 H'
出苗期 (d) ED	8.16	6.00	11.00	1.09	13.31	1.083
开花期 (d) FD	50.49	46.00	55.00	2.68	5.30	1.731
成熟期 (d) MD	66.37	63.00	69.00	1.55	2.34	1.634
株高 (cm) PH	90.67	73.00	107.20	8.47	9.35	2.203
分枝数 NOB	2.74	1.00	4.40	0.79	28.74	2.182
主茎节数 NOM	10.10	5.60	13.00	1.65	16.33	2.194
底荚高度 (cm) BPH	13.31	5.00	20.75	4.18	31.43	2.090
单株荚数 NP	30.66	13.00	49.80	8.60	28.04	2.207
荚长 (cm) PL	10.24	7.82	15.83	1.97	19.20	1.990
荚宽 (cm) PW	0.52	0.41	0.87	0.08	15.62	2.042
单荚粒数 NSP	11.93	8.80	15.40	1.45	12.13	1.723
百粒重 (g) 100-SW	5.76	3.70	8.80	1.00	17.32	1.805
平均 Mean	—	—	—	—	16.59	1.907

ED: Emergence days, FD: Flowering days, MD: Maturing days, PH: Plant height, NOB: Number of branches, NOM: Node number of main stem, BPH: Bottom pod height, NP: Number of pods per plant, PL: Pod length, PW: Pod width, NSP: Number of seeds per pod, 100-SW: 100-seed weight, the same as below

数量性状遗传多样性分析结果显示,平均变异系数为 16.59%,平均遗传多样性指数为 1.907。其中,单株荚数的遗传多样性最丰富,多样性指数为 2.207,变异系数为 28.04%。底荚高度的变异系数最大,为 31.43%,多样性指数为 2.090。出苗期的多样性最差,多样性指数为 1.083,变异系数也较低,为 13.31%。成熟期的变异系数最小,为 2.34%,多样性指数为 1.634。此外参试材料的株高平均为 90.67 cm;主茎分枝多,平均为 2.74 个;单株荚数多,平均为 30.66 个;荚较长,单荚粒数多。各性状遗传多样性排序为:单株荚数>株高>主茎节数>分枝数>底荚高度>荚宽>荚长>百粒重>开花期>单荚粒数>成熟期>出苗期(表 3)。

2.2 聚类分析

基于 26 个性状的聚类分析表明,参试材料可分为 5 个类群(图 1、表 4)。其中,第 I 类群包含 15 份材料,株型多为直立,株高在 5 个类群中最低,平均为 85.0 cm,底荚高度也最低(12.1 cm),熟荚色以黑色为主,荚形以羊角形为主,单株荚数平均为 30.8 个,粒形以短圆柱形为主,种皮光,百粒重 5.9 g。

第 II 类群共包含 8 份材料,株型多为直立型,株高平均为 88.5 cm,熟荚色以黄白色为主,多数材料的荚形为圆筒形,单株荚数中等,平均为 32.3 个,粒色均为绿色,粒形短圆柱形,种皮光,百粒重 6.4 g,是 5 个类群中最大的。

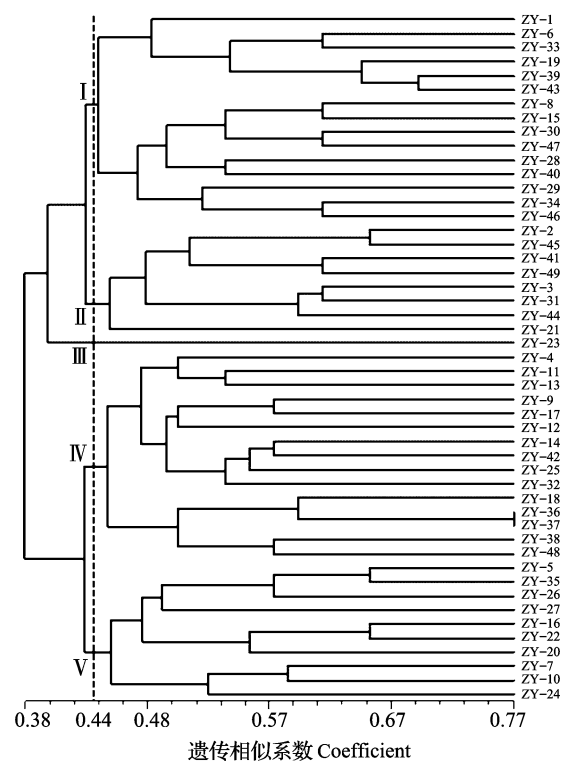


图1 49份种质资源基于表型数据的UPGMA聚类图
Fig. 1 UPGMA dendrogram based on phenotypic characters of the 49 mung bean genotypes

表4 各类群部分性状主要表现
Table 4 Average expression of part of the characters of the Groups

类群 Group	生长 习性 GH	株高 (cm) PH	主茎 节数 NOM	底荚高度 (cm) BPH	熟荚色 MPC	荚形 PS	单株 荚数 NP	荚长 (cm) PL	单荚 粒数 NSP	粒色 SCC	粒形 SS	种皮 光泽度 SCG	百粒重 (g) 100-SW
I	直立	85.0	9.9	12.1	黑	羊角形	30.8	10.0	12.1	绿	短圆柱形	光	5.9
II	直立	88.5	10.6	15.2	黄白	圆筒形	32.3	10.6	10.9	绿	短圆柱形	光	6.4
III	直立	87.0	8.5	15.5	黑	扁圆形	35.0	11.3	12.4	黄	球形	光	4.2
IV	半蔓生	96.7	10.2	13.5	黑	羊角形	29.1	10.5	12.4	绿	短圆柱形	毛	5.4
V	半蔓生	92.7	10.1	13.5	黄白	羊角形	31.1	10.0	11.7	绿	短圆柱形	光	5.7

和结荚习性的载荷较高,分别为-0.410和-0.402,基本上代表了植株生长习性的相关性状。第2主成分中单株荚数和荚长的载荷较高,分别为0.374和-0.355,基本上代表的是形成产量相关的性状。第3主成分中分枝数和分枝性的载荷较高,分别是0.348和0.372,代表的是分枝特性相关的性状。第4主成分中荚形和粒形的载荷较高,分别是

第Ⅲ类群仅有1份材料,是收集自垫江的针荚子绿豆,株高87.0 cm,底荚高度是5个类群中最高的,为15.5 cm,熟荚色为黑色,荚形为扁圆形,单株荚数多,为35.0个,是49份材料中唯一的黄色籽粒材料,粒形为球形,百粒重最小,为4.2 g,属小籽粒材料。

第Ⅳ类群包含15份材料,株高是5个类群中最高的,平均为96.7 cm,株型以半蔓生为主,底荚高度中等,熟荚色多为黑色,荚形以羊角形为主,单株荚数最少,平均为29.1个,粒色均为绿色,粒形以短圆柱形为主,种皮光泽多为毛,百粒重5.4 g,籽粒大小中等。

第Ⅴ类群包含10份材料,株高较高,平均为92.7 cm,株型以半蔓生为主,底荚高度中等,熟荚色以黄白色为主,荚形多为羊角形,粒形以短圆柱形为主,种皮光,百粒重5.7 g,籽粒大小中等。

2.3 主成分分析

对49份参试材料的26个性状进行主成分分析,结果显示(表5),前4个主成分的贡献率分别为15.736%、10.148%、8.620%、8.252%,累计贡献率为42.756%,第1主成分的特征向量中,生长习性

-0.497和-0.399,基本上代表的是荚和籽粒生长相关的性状。

根据主成分分析结果,利用26个性状的前3个主成分得分绘制了三维主成分散点图(图2),图像显示49份参试材料大致分布在2个区域,分布在区域Ⅰ的材料多为直立型材料,而分布在区域Ⅱ的材料多为半蔓生型材料。

表 5 前 4 个主成分的特征值及特征向量

Table 5 Eigenvalues and eigenvectors of the first four principal components

性状 Trait	主成分因子 Principal components factor			
	PC1	PC2	PC3	PC4
出苗期 ED	0.158	-0.082	0.154	0.364
开花期 FD	-0.195	0.048	0.133	0.120
成熟期 MD	0.006	-0.094	-0.106	0.128
子叶色 CAE	0.021	-0.025	0.132	0.115
幼茎色 YSC	0.075	0.003	-0.069	0.170
对生单叶形 SLS	-0.185	0.012	0.158	0.276
花色 FC	0.008	-0.057	0.198	0.032
生长习性 GH	-0.410	0.111	0.164	-0.010
结荚习性 PHA	-0.402	0.086	0.177	-0.066
复叶叶形 TLS	0.037	0.201	0.224	0.265
主茎茸毛色 MHC	-0.012	0.157	-0.294	0.055
株高 PH	-0.363	0.166	0.083	-0.249
分枝数 NOB	0.331	0.218	0.348	-0.006
分枝性 BR	0.310	0.301	0.372	0.003
主茎节数 NOM	0.041	0.267	0.077	-0.052
底荚高度 BPH	0.034	0.161	0.019	0.203
熟荚色 MPC	0.142	-0.233	0.010	0.141
荚形 PS	0.044	0.023	-0.289	-0.497
单株荚数 NP	0.232	0.374	0.185	0.049
荚长 PL	0.040	-0.355	0.342	-0.073
荚宽 PW	-0.168	-0.214	0.251	0.100
单荚粒数 NSP	-0.021	-0.361	0.279	0.232
粒色 SCC	0.064	0.090	-0.184	-0.140
粒形 SS	0.058	-0.039	-0.179	-0.399
种皮光泽 SCG	0.285	-0.199	-0.109	0.125
百粒重 100-SW	0.176	-0.299	0.157	-0.123
贡献率 (%) Contributive ratio	15.736	10.148	8.620	8.252
累计贡献率 (%) Cumulative contributive ratio	15.736	25.884	34.504	42.756

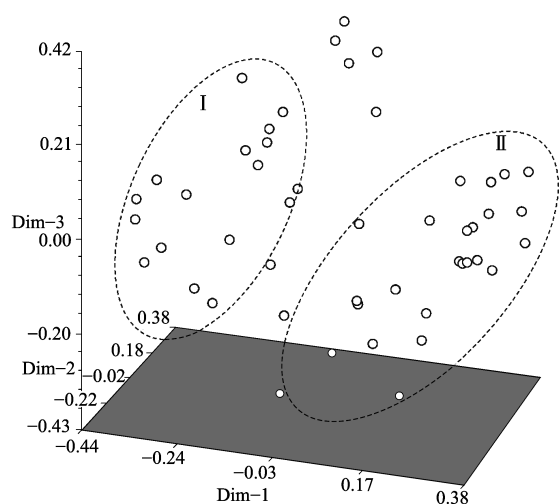


图 2 49 份种质资源三维主成分 (PCA) 散点图

Fig. 2 Three-dimensional PCA scatter plot of the 49 genotypes

2.4 抗枯萎病种质的筛选

田间自然发病鉴定结果显示(表 6),参试材料的枯萎病抗性较差,病情指数(DI)平均为 61.64%,处于感病水平。其中筛选出 9 份中抗材料,3 份抗病材料(ZY-14、ZY-27、ZY-32),1 份高抗材料(ZY-43)。其中高抗材料收集自彭水,病情指数仅为 15%,病情进展曲线下面积(AUDPC)为 3.017。这表明 ZY-43 的枯萎病抗性是 49 份材料中最高的,但 ZY-27 的病情进展曲线下面积(AUDPC)最小,为 3.013,即在感病后的病情发展趋势较缓。

3 讨论

遗传多样性是育种研究的基础,可以充分了解育种材料的遗传变异和遗传背景,为绿豆新品种的选育提供参考^[22]。重庆地区绿豆种质资源的遗传变异较丰富。与国外相比,乔玲等^[15]在 7 个地区收集的绿豆种质资源的数量性状平均遗传多样性指数为 1.51,而重庆地区为 1.907,较国外的平均水平高,此外,国外材料的荚长、荚宽和百粒重的遗传多样性最丰富,这与本研究中的结果不一致。与国内相比,重庆地区的绿豆种质资源的株高和单株荚数高于国内平均水平,而单荚粒数和百粒重低于国内平均水平^[23],国内资源的结荚习性无限较有限的多,而重庆地区的则相反。以上结果表明重庆地区的绿豆种质资源在长期的种植和驯化过程中,形成了独特的遗传变异特性。

本研究中 49 份种质资源经聚类分析被划分为 5 个类群,这 5 个类群的种质资源地理来源与聚类结果并无一定的对应关系,这表明参试材料并没有在地理上形成较大的种内遗传变异。第 I 类群的种质资源的株高低,可从中筛选矮秆、宜机收材料并加以利用,第 II 类群的种质资源百粒重大,可从中筛选大籽粒材料,第 III 类群的材料皮色黄,百粒重小,可作黄籽粒特色材料加以利用。主成分分析结果显示,前 3 个主成分将参试材料大致划分为 2 个区域,且这 2 个区域的种质在地理分布上并无明显聚集现象,这与聚类分析的结果相符合。综上所述,重庆各区县的绿豆种质资源在长期本土的驯化过程中,既发生着遗传变异,又发生着种内基因交流。

有学者利用土壤接菌法^[24-25]对植株的枯萎病抗性进行鉴定,土壤接菌法最接近于自然发病条件,但实际操作中易导致出苗不均匀,苗期发病过重等问题,本研究中采用的自然发病田块常年有绿豆枯萎病发生,试验中发现该田块出苗均匀,植株从苗期到成

表 6 49 份种质资源的枯萎病抗性
Table 6 Resistance to fusarium wilt of the 49 genotypes

序号 No.	名称 Name	病情指数 (%) DI	病情进展曲 线下面积 AUDPC	抗性 Resistance	序号 No.	名称 Name	病情指数 (%) DI	病情进展曲 线下面积 AUDPC	抗性 Resistance
ZY-1	针荚子绿豆	56.58	10.500	感	ZY-26	黑绿豆	77.08	15.925	高感
ZY-2	绿豆	72.92	15.225	感	ZY-27	本地绿豆	18.75	3.013	抗
ZY-3	绿豆	72.08	13.925	感	ZY-28	毛绿豆	70.83	14.267	感
ZY-4	老品种绿豆	69.17	12.167	感	ZY-29	绿豆	61.25	13.258	感
ZY-5	绿豆	61.25	11.683	感	ZY-30	小绿豆	67.92	16.192	感
ZY-6	绿豆	70.00	14.417	感	ZY-31	绿豆	75.42	15.350	高感
ZY-7	大豆子	71.25	15.873	感	ZY-32	本地绿豆	20.50	3.417	抗
ZY-8	绿豆	69.58	13.675	感	ZY-33	绿豆	69.17	14.940	感
ZY-9	本地绿豆	47.50	9.392	中抗	ZY-34	绿豆	71.25	16.817	感
ZY-10	绿豆	75.42	14.467	高感	ZY-35	灰绿豆	46.08	10.058	中抗
ZY-11	老绿豆	72.50	15.267	感	ZY-36	亮绿豆	49.58	8.958	中抗
ZY-12	绿豆	67.08	14.017	感	ZY-37	灰绿豆	68.33	14.308	感
ZY-13	老绿豆	50.08	9.417	中抗	ZY-38	绿豆	67.08	16.995	感
ZY-14	绿豆	20.42	3.200	抗	ZY-39	本地绿豆	50.67	12.133	中抗
ZY-15	老绿豆	66.67	12.942	感	ZY-40	绿豆	71.25	14.925	感
ZY-16	老绿豆	69.17	14.067	感	ZY-41	灰绿豆	71.67	14.483	感
ZY-17	灰绿豆	68.33	13.450	感	ZY-42	本地绿豆	52.50	9.100	中抗
ZY-18	针荚子绿豆	73.33	13.325	感	ZY-43	绿豆	15.00	3.017	高抗
ZY-19	绿豆	64.58	12.483	感	ZY-44	绿豆	73.33	15.942	感
ZY-20	黄绿豆	73.33	14.392	感	ZY-45	本地绿豆	54.17	11.025	中抗
ZY-21	灰绿豆	70.83	13.517	感	ZY-46	绿豆	74.17	15.225	感
ZY-22	黄绿豆	60.00	10.950	感	ZY-47	老品种绿豆	49.58	10.783	中抗
ZY-23	针荚子绿豆	49.17	11.625	中抗	ZY-48	本地绿豆	69.17	15.333	感
ZY-24	本地绿豆	68.75	14.492	感	ZY-49	本地绿豆	68.75	15.867	感
ZY-25	针荚子绿豆	66.67	12.443	感	平均 Mean		61.64	12.617	

熟期病害发展连续性好。有学者强调环境影响着病原菌孢子的萌发和侵染,且对植物的生长发育、抗性表达也具有较大影响^[26]。在田间自然发病鉴定的基础之上,还应当结合室内接种鉴定结果,来对绿豆种质资源的枯萎病抗性进行筛选和利用。因此,探索一套室内接种鉴定方法将成为筛选抗病种质资源的重点工作。田间抗性鉴定结果显示,本研究中,高抗材料 ZY-43,属于第Ⅰ类群,抗病材料 ZY-14 和 ZY-32 属于第Ⅳ类群,抗病材料 ZY-27 属于第Ⅴ类群。

参考文献

[1] 林汝法,柴岩,廖琴. 中国小杂粮. 北京:中国农业科学技术出版社,2002:192-209
Lin R F, Chai Y, Liao Q. Small grain of China. Beijing: China

Agricultural Science and Technology Press, 2002: 192-209
[2] Nair R M, Yang R Y, Easdown W J, Thavarajah D, Thavarajah P, Hughes J D. Biofortification of mung bean (*Vigna radiata*) as a whole food to enhance human health. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(8): 1805-1813
[3] Schafleitner R, Nair R M, Rathore A. The AVRDC – the world vegetable center mung bean (*Vigna radiata*) core and minicore collections. BMC Genomics, 2015, 16(1): 344
[4] Dos A, Biswas M, Dastidar K K G. Genetic divergence in green gram (*Vigna radiata* Wilczek). Agronomy Journal, 2010, 9: 126-130
[5] 高小丽,孙健敏,高金锋,冯佰利,柴岩,贾志宽. 不同基因型绿豆叶片衰老与活性氧代谢研究. 中国农业科学, 2008, 41(9): 2873-2880
Gao X L, Sun J M, Gao J F, Feng B L, Chai Y, Jia Z K. Leaf aging and reactive oxygen metabolism in different genotypes of mung bean. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(9): 2873-

- 2880
- [6] 国家统计局. 重庆市绿豆种植面积. (2018) [2020-05-13]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103>
State Statistics Bureau. Planting area of mung bean in Chongqing. (2018) [2020-05-13]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103>
- [7] 黎裕, 李英慧, 杨庆文, 张锦鹏, 张金梅, 邱丽娟, 王天宇. 基于基因组学的作物种质资源研究: 现状与展望. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3333-3353
Li Y, Li Y H, Yang Q W, Zhang J P, Zhang J M, Qiu L J, Wang T Y. Genomics-based crop germplasm research: Advances and perspectives. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(17): 3333-3353
- [8] 赵雪英, 王宏民, 李赫, 张耀文. 绿豆种质资源的 ISSR 遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16(6): 147-152
Zhao X Y, Wang H M, Li H, Zhang Y W. Genetic diversity of *Vigna radiata* germplasm resources by ISSR. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(6): 147-152
- [9] 朱振东, 段灿星. 绿豆病虫害鉴定与防治手册. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012: 17-19
Zhu Z D, Duan C X. Identification and control of mungbean pests and diseases. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2012: 17-19
- [10] Hall C, Heath R, Guest D. The infection process of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* in Australian cotton. Australasian Plant Pathology, 2013, 42(1): 1-8
- [11] 王丽侠, 程须珍, 王素华, 刘岩. 绿豆几个表型性状的遗传特性. 作物学报, 2013, 39(7): 1172-1178
Wang L X, Cheng X Z, Wang S H, Liu Y. Inheritance of several traits in mungbean (*Vigna radiata*). Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(7): 1172-1178
- [12] 罗怀良, 朱波, 刘德绍, 贺秀斌. 重庆市生态功能区的划分. 生态学报, 2006, 26(9): 3144-3151
Luo H L, Zhu B, Liu D S, He X B. Regionalization of ecological function in Chongqing City, China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3144-3151
- [13] 程须珍, 王素华, 王丽侠. 绿豆种质资源描述规范与数据标准. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 1-2
Cheng X Z, Wang S H, Wang L X. Description specifications and data standards for germplasm resources of mungbean. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2006: 1-2
- [14] 朱琳, 孙素丽, 孙菲菲, 段灿星, 朱振东. 绿豆尖镰孢枯萎病抗性鉴定方法. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 696-703
Zhu L, Sun S L, Sun F F, Duan C X, Zhu Z D. The method for evaluation of mung bean resistance to fusarium wilt. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(4): 696-703
- [15] 乔玲, 陈红霖, 王丽侠, 王素华, 程须珍, 张耀文. 国外绿豆种质资源农艺性状的遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16(5): 986-993
Qiao L, Chen H L, Wang L X, Wang S H, Cheng X Z, Zhang Y W. Genetic diversity of foreign mungbean germplasm resources by agronomic characters. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(5): 986-993
- [16] 马育华. 植物育种的数量遗传学基础. 南京: 江苏科技出版社, 1996: 98-107
Ma Y H. Quantitative genetic basis of plant breeding. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1996: 98-107
- [17] 刘来福, 毛盛贤, 黄远樟. 作物数量遗传. 北京: 农业出版社, 1984: 39-43
Liu L F, Mao S X, Huang Y Z. Crop quantitative inheritance. Beijing: Agricultural Publishing House, 1984: 39-43
- [18] 聂石辉, 彭琳, 王仙, 季良. 鹰嘴豆种质资源农艺性状遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16(1): 64-70
Nie S H, Peng L, Wang X, Ji L. Genetic diversity of agronomic traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(1): 64-70
- [19] Rohlf F J. NTSYS-pc: numerical taxonomy and multivariate analysis system version 2.2. New York: Applied Biostatistics, 2004
- [20] 刘洪, 徐振江, 饶得花, 鲁清, 李少雄, 刘海燕, 陈小平, 梁炫强, 洪彦彬. 基于形态学性状和 SSR 标记的花生品种遗传多样性分析和特异性鉴定. 作物学报, 2019, 45(1): 26-36
Liu H, Xu Z J, Rao D H, Lu Q, Li S X, Liu H Y, Chen X P, Liang X Q, Hong Y B. Genetic diversity analysis and distinctness identification of peanut cultivars based on morphological traits and SSR markers. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(1): 26-36
- [21] 谷医林. 甘肃省甘谷地区小麦条锈菌和白粉菌周年动态及传播路径的分析. 北京: 中国农业大学, 2018
Gu Y L. Annual dynamic and dispersal of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* and *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* in Gangu, Gansu Province. Beijing: China Agricultural University, 2018
- [22] 李莉, 万正煌, 黄益勤, 贺正华. 湖北绿豆地方种质资源鉴定和主要农艺性状评价. 现代农业科学, 2009, 16(1): 30-36
Li L, Wan Z H, Huang Y Q, He Z H. Identification of local germplasm resources and evaluation of main characteristics of mungbean in Hubei Province. Modern Agricultural Sciences, 2009, 16(1): 30-36
- [23] 刘长友, 程须珍, 王素华, 王丽侠, 孙蕾, 梅丽, 徐宁. 中国绿豆种质资源遗传多样性研究. 植物遗传资源学报, 2006, 7(4): 459-463
Liu C Y, Cheng X Z, Wang S H, Wang L X, Sun L, Mei L, Xu N. The genetic diversity of mungbean germplasm in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(4): 459-463
- [24] 杨宇红, 吕红豪, 杨翠荣, 龚慧芝, 杨丽梅, 谢丙炎. 甘蓝枯萎病苗期抗性鉴定技术及抗源筛选. 植物保护学报, 2011, 38(5): 425-431
Yang Y H, Lv H H, Yang C R, Gong H Z, Yang L M, Xie B Y. The method for evaluation of cabbage resistance to fusarium wilt and screen the sources at the seedling stage. Acta Phytologica Sinica, 2011, 38(5): 425-431
- [25] 周红梅, 毛爱军, 张丽蓉, 张峰, 王永健, 杨文才. 黄瓜枯萎病接种方法及抗性遗传的研究. 华北农学报, 2010, 25(4): 186-190
Zhou H M, Mao A J, Zhang L R, Zhang F, Wang Y J, Yang W C. Research on inoculation method and the inheritance of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* on cucumber. Acta Agriculture Boreali-Sinica, 2010, 25(4): 186-190
- [26] 蓝江林, 刘波, 肖荣凤, 朱育菁, 车建美. 温度对几种作物尖孢镰刀菌菌株生长的影响. 厦门大学学报: 自然科学版, 2004, 43(S1): 67-70
Lan J L, Liu B, Xiao R F, Zhu Y Q, Che J M. Effect of temperature on growth of wilt pathogen *Fusarium oxysporum* isolated from different host crops. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2004, 43(S1): 67-70