

# 薏苡种子形态性状多样性评价

金关荣<sup>1</sup>, 奚秀洁<sup>2</sup>, 程舟<sup>2</sup>, 陈常理<sup>1</sup>, 骆霞虹<sup>1</sup>, 李珊<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>浙江省萧山棉麻研究所, 杭州 311202; <sup>2</sup>同济大学生命科学与技术学院, 上海 200092)

**摘要:** 薏苡是优质的药食兼用作物。本研究对我国 36 份薏苡种质的种子形态性状进行了主成分分析和聚类分析。结果表明, 36 份薏苡种质具有较高的形态性状多样性。不同薏苡种质的 4 个种子质量性状间存在差异。单因素方差分析显示 11 个种子数量性状在不同薏苡种质间呈极显著差异。数量性状的变异系数在 8.43% ~ 68.01% 之间, 种壳与外种皮重量的变异系数最大而种仁长度的变异系数最小。主成分分析将 36 份薏苡种质分为中部及南部栽培种质、北部栽培种质和野生种质 3 大类, 3 类种质的形态特征存在明显差异。聚类分析将 36 份薏苡种质分为 5 大类群, 即中部及南部栽培种质、北部栽培种质和 3 个类群野生种质。初步筛选出 6 份可能具有较高抗肿瘤活性的薏苡种质 FJNJ、TJ-BK-1、TJ-BK-2、MY-BK-1、MY-BK-2 和 JYSD。

**关键词:** 薏苡; 形态性状; 多样性; 主成分分析; 聚类分析

## Evaluation of Seed Morphological Characteristics Diversity of Job's tears (*Coix lacryma-jobi*) Germplasm

JIN Guan-rong<sup>1</sup>, XI Xiu-jie<sup>2</sup>, CHENG Zhou<sup>2</sup>, CHEN Chang-li<sup>1</sup>, LUO Xia-hong<sup>1</sup>, LI Shan<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Cotton and Bast Fiber Crops Research Institute of Zhejiang Xiaoshan, Hangzhou 311202;

<sup>2</sup>School of Life Science and Technology, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract:** Job's tears (*Coix lacryma-jobi* L.) is a superior crop used as food and herbal medicine. For the better utilization and conservation of Chinese Job's tears germplasm, principal component analysis and cluster analysis were used to analyze the 15 seed morphological characteristics of 36 Job's tears accessions. The results indicated that the 36 Job's tears accessions possess high morphological characteristics diversities. Variations were observed for the 4 qualitative seed morphological characteristics. One-way ANOVA showed very significant differences among accessions for the 11 quantitative seed morphological characteristics. Coefficient of variation ranged from 8.43% to 68.01% with the maximum value recorded for weight of the hull and the testa, and the minimum value recorded for seed length. Principal component analysis (PCA) divided the 36 Job's tears accessions into 3 groups, which corresponded to the central and south, north, and wild groups, respectively. The morphological characteristics of the 3 groups were significantly different. Cluster analysis divided the 36 Job's tears accessions into 5 clusters, i. e. the central and south cluster, the north cluster and 3 wild clusters. Six Job's tears accessions FJNJ, TJ-BK-1, TJ-BK-2, MY-BK-1, MY-BK-2 and JYSD were preliminary selected as accessions with high anticancer activity.

**Key words:** *Coix lacryma-jobi* L.; morphological characteristics; diversity; PCA (principal component analysis); cluster analysis

收稿日期: 2016-07-18 修回日期: 2016-08-31 网络出版日期: 2017-04-17

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170417.0833.004.html>

基金项目: 浙江省现代种业工程项目 (2014004); 国家自然科学基金 (31670327)

第一作者主要从事经济作物育种、栽培及利用研究。E-mail: jingr0@163.com

通信作者: 李珊, 研究方向为植物种质资源遗传多样性评价、挖掘及利用。E-mail: lishanbio@tongji.edu.cn

薏苡(*Coix lacryma-jobi* L.) 是优质的药食兼用作物<sup>[1]</sup>。我国薏苡种质资源相当丰富,来自不同地区的薏苡在株高、分蘖数、茎粗、柱头颜色、叶鞘颜色、芽鞘颜色、种子颜色、种子硬度、种子表面条纹、种子形状、种子重量等性状上均表现出相当大的多样性<sup>[2-6]</sup>,但同时也面临种质资源大量流失、资源的开发利用及收集保护工作滞后等问题<sup>[7-9]</sup>,丰富的资源没有得到充分的利用和保护,严重阻碍了薏苡产业的可持续发展。目前薏苡的研究主要集中在药理活性<sup>[10-15]</sup>、作用机制<sup>[16-19]</sup>和栽培方法<sup>[20-23]</sup>等方面,虽然已有根据形态性状<sup>[24-26]</sup>和分子标记<sup>[27-31]</sup>分析我国薏苡种质资源遗传多样性的报道,但样品基本都来自广西、云南、贵州等南部地区,缺少对我国北部及中部薏苡种质资源的遗传多样性研究。

形态性状虽然容易受环境的影响而发生变化,但由于其直观且操作简便的特点仍被广泛应用于植物的遗传多样性研究<sup>[32-34]</sup>。种子的形状、大小、颜色和质地对于薏苡属植物及种下变种的分类有相当重要的意义<sup>[35-37]</sup>。有研究表明薏苡种子的形态性状可作为初步筛选优质薏苡种质的依据<sup>[38]</sup>。因此,

本研究选取薏苡种子的 15 个形态性状,即种子颜色、种子硬度、种子表面条纹、种仁颜色、种子重量、种子宽度、种子长度、种子厚度、种子长宽比、种仁重量、种壳与外种皮重量、种仁厚度、种仁长度、种仁宽度及种仁长宽比,通过系统聚类和主成分分析探讨我国不同产地栽培薏苡种质及野生薏苡种质的种子形态性状多样性及遗传关系,以期对薏苡种质资源的合理利用及保护策略的制定提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为来自我国 12 个省市的 36 份薏苡种质,包括四川的 18 份种质,浙江的 4 份种质,贵州的 3 份种质,福建的 2 份种质,云南的 2 份种质及广西、山东、辽宁、安徽、江苏、广东和重庆的薏苡种质各 1 份。其中 19 份种质由四川省农业科学院作物研究所提供,包括除四川成都外的 17 份来自四川的种质以及来自重庆城口和贵州的各 1 份种质。36 份薏苡种质中包括 15 份栽培种质和 21 份野生种质。各种质的名称及信息见表 1。

表 1 不同薏苡种质的名称、来源地与种子质量性状

Table 1 Name, origin and qualitative seed characteristics of different Job's tears accessions

种质名称 Accession name	种质缩写 Accession code	来源地 Origin	种子颜色 Seed color	种子硬度 Seed hardness	种子表面条纹 Surface stripe of seed	种仁颜色 Color of seed kernel
福建南靖	FJNJ	福建南靖	黄白色	低	有	黄色
通江薄壳-1	TJ-BK-1	四川省巴中市通江县(薄壳)	黄白色	低	有	黄色
广西西林	GXXL	广西西林	黄白色	低	有	黄色
浙江泰顺	ZJTS	浙江泰顺	黄白色	低	有	黄色
米易薄壳-2	MY-BK-2	四川省攀枝花市米易县(薄壳)	黄白色	低	有	黄色
通江薄壳-2	TJ-BK-2	四川省巴中市通江县(薄壳)	黄白色	低	有	黄色
福建浦城	FJPC	福建浦城	黄白色	低	有	黄色
缙云水地	JYSD	浙江缙云(水地)	黄白色	低	有	黄色
贵州兴仁	GZXR	贵州兴仁	黄白色	低	有	黄色
浙江缙云	ZJJY	浙江缙云	黄白色	低	有	黄色
米易薄壳-1	MY-BK-1	四川省攀枝花市米易县(薄壳)	棕色	中	有	黄色
云南师宗	YNSZ	云南师宗	棕色	中	有	黄色
山东菏泽	SDHZ	山东菏泽	棕色	中	有	棕红色
辽宁义县	LNXY	辽宁义县	棕色	中	有	棕红色
安徽亳州	AHBZ	安徽亳州	棕色	中	有	棕红色
通江-1	TJ-1	四川省巴中市通江县	棕色	高	无	黄色
通江-2	TJ-2	四川省巴中市通江县	棕色	高	无	黄色
四川-1	SC-1	四川(野生)	棕色	高	无	棕红色

表 1(续)

种质名称	种质缩写	来源地	种子颜色	种子硬度	种子表面条纹	种仁颜色
Accession name	Accession code	Origin	Seed color	Seed hardness	Surface stripe of seed	Color of seed kernel
旺苍-A	WC-A	四川省广元市旺苍县(矮株)	棕色	高	无	棕红色
米易-1	MY-1	四川省攀枝花市米易县	棕色	高	无	棕红色
米易-2	MY-2	四川省攀枝花市米易县	棕色	高	无	棕红色
德昌	DC	四川省彝族自治州德昌县	棕色	高	无	棕红色
四川成都	SCCD	四川成都	棕色	高	无	棕红色
青川	QC	四川省广元市青川县	棕色	高	无	棕红色
郫县	PX	四川省成都市郫县	棕色	高	无	棕红色
旺苍-1	WC-1	四川省广元市旺苍县	棕色	高	无	棕红色
贵州	GZ	贵州	棕色	高	无	棕红色
川粮 933431	SC-2	四川成都	棕色	高	无	棕红色
旺苍-2	WC-2	四川省广元市旺苍县	棕色	高	无	棕红色
万源	WY	四川省达州市万源市	棕色	高	无	棕红色
贵州贵阳	GZGY	贵州贵阳	棕色	高	无	棕红色
浙江莲都	ZJLD	浙江莲都	棕色	高	无	棕红色
江苏盐城	JSYC	江苏盐城	棕色	高	无	棕红色
云南阳宗海	YNYZH	云南省昆明市阳宗海	灰白色	高	无	棕红色
广东高州	GDGZ	广东省高州市沙田镇	灰白色	高	无	棕红色
重庆城口	CQCK	重庆市城口县	灰白色	高	无	棕红色

## 1.2 形态性状的测定

每份种质随机选取 15 粒种子,参照中华人民共和国农业行业标准《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南—薏苡》(NY/T 2572—2014)及指南研制报告<sup>[39]</sup>,记录种子颜色、种子硬度、种子表面条纹和种仁颜色这 4 个质量性状。用万分之一电子天平测量每粒种子及脱壳薏苡种仁的重量,采用游标卡尺测量每粒种子及对应种仁的厚度、长度及宽度。不同种质的薏苡在观测的 4 个种子质量性状上存在差异,按种子颜色可分为黄白色、棕色及灰白色 3 大类,按种子硬度可分为硬度低、硬度中等及硬度高 3 大类,按种子表面条纹情况可分为有条纹、无条纹 2 大类,按种仁颜色可分为黄色、棕红色 2 大类。栽培薏苡种质的种子表面均有条纹,且种子硬度较野生薏苡种质低。

## 1.3 数据处理

采用 Excel 计算种子长宽比、种壳与外种皮重量和种仁长宽比,获得各数量性状的均值、标准差、最大值、最小值和变异系数。采用 SPSS 19.0 对薏苡种子的 11 个数量性状进行单因素方差分析及性状间相关性分析,以 15 个种子形态性状对 36 份薏苡种质进行系统聚类 and 主成分分析,系统聚类采用

组间联接欧氏距离法。

## 2 结果与分析

### 2.1 薏苡种子的质量性状

根据 4 个种子形态质量性状可将 36 份薏苡种质分为 6 大类(表 1),第 1 类为种子黄白色、硬度低、表面有条纹、种仁黄色的 10 份中部及南部栽培种质;第 2 类为种子棕色、硬度中等、表面有条纹、种仁黄色的 2 份中部及南部栽培种质;第 3 类为种子棕色、硬度中等、表面有条纹、种仁棕红色的 3 份北部栽培种质;第 4 类为种子棕色、硬度高、表面无条纹、种仁黄色的 2 份野生种质;第 5 类为种子棕色、硬度高、表面无条纹、种仁棕红色的 16 份野生种质;第 6 类为种子灰白色、硬度高、表面无条纹、种仁棕红色的 3 份野生种质。

### 2.2 薏苡种子的数量性状

单因素方差分析表明,测定的 11 个种子形态数量性状在薏苡种质间均有极显著差异(表 2)。36 份薏苡种质的种子形态数量性状变异系数在 8.43%~68.01% 之间。种壳与外种皮重量的变异系数最大为 68.01%,变幅在 0.020~0.205 g 之间。其次为种子重量(44.67%)和种仁重量(22.94%),

变幅分别在 0.078 ~ 0.300 g 和 0.051 ~ 0.100 g 之间。变异系数最小的是种子长度和种仁长度,分别为 8.70% 和 8.43%,变幅分别在 0.818 ~ 1.021 cm 和 0.459 ~ 0.536 cm 之间。

其余 6 个种子形态数量性状的变异系数均在 10% ~ 15% 之间,其中,种子宽度的变异系数为 13.89%,变幅在 0.538 ~ 0.849 cm 之间;种子长宽

比的变异系数为 13.65%,变幅在 1.033 ~ 1.561 之间;种子厚度的变异系数为 13.52%,变幅在 0.473 ~ 0.724 cm 之间;种仁长宽比的变异系数为 13.21%,变幅在 0.776 ~ 1.151 之间;种仁宽度的变异系数为 10.79%,变幅在 0.434 ~ 0.622 cm 之间;种仁厚度的变异系数为 10.48%,变幅在 0.326 ~ 0.452 cm 之间。

表 2 薏苡种质的种子数量性状

Table 2 Quantitative seed morphological characteristics of Job's tears accessions

性状 Characteristic	均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min.	最大值 Max.	变异系数(%) CV	F 值 F value
种子重量(g)SW	0.180	0.080	0.078	0.300	44.67	69.671**
种子厚度(cm)ST	0.596	0.081	0.473	0.724	13.52	45.554**
种子长度(cm)SL	0.887	0.077	0.818	1.021	8.70	7.549**
种子宽度(cm)SWD	0.698	0.097	0.538	0.849	13.89	49.684**
种子长宽比LWS	1.291	0.176	1.033	1.561	13.65	30.730**
种仁重量(g)WK	0.076	0.017	0.051	0.100	22.94	13.714**
种壳与外种皮重量(g)WHT	0.104	0.071	0.020	0.205	68.01	104.077**
种仁厚度(cm)TK	0.400	0.042	0.326	0.452	10.48	17.077**
种仁长度(cm)LK	0.498	0.042	0.459	0.536	8.43	7.001**
种仁宽度(cm)WDK	0.537	0.058	0.434	0.622	10.79	24.538**
种仁长宽比LWK	0.936	0.124	0.776	1.151	13.21	27.814**

\*\* : 差异极显著 ( $P < 0.01$ )

\*\* : Significant difference at 0.01 level. SW: Seed weight, ST: Seed thickness, SL: Seed length, SWD: Seed width, LWS: Length-width ratio of seed, WK: Weight of seed kernel, WHT: Weight of hull and testa, TK: Thickness of seed kernel, LK: Length of seed kernel, WDK: Width of seed kernel, LWK: Length-width ratio of seed kernel. The same as below

### 2.3 数量性状间的相关性

对 36 份薏苡种质的 11 个种子形态数量性状进行相关性分析(表 3)。种子重量、种子厚度、种子宽度、种仁重量、种壳与外种皮重量、种仁厚度和种仁宽度这 7 个数量性状间均呈极显著正相关,其中相关系数最低的是种壳与外种皮重量和种仁厚度,相关系数为 0.433\*\*,相关系数最高的是种壳与外种皮重量和种子重量( $r = 0.989$ \*\*)及种子厚度和种子宽度( $r = 0.988$ \*\*)。种子长宽比和种仁长宽比之间呈极显著正相关,相关系数为 0.956\*\*,且这 2 个性状均与种仁长度呈极显著正相关( $r = 0.568$ \*\*,  $r = 0.585$ \*\*),与种子长度相关性不显著,与其他 7 个性状呈极显著负相关。

种子长度和种仁长度之间相关性不显著,且均与种仁厚度无显著的相关性。种仁长度与种仁厚度及种仁宽度无显著相关性。种子长度与种子重量、种子厚度、种子宽度、种仁重量、种壳与外种皮重量

和种仁宽度呈显著正相关,种仁长度与种子重量、种子厚度、种子宽度和种壳与外种皮重量间呈极显著负相关,与种子长宽比和种仁长宽比呈极显著正相关,但相关系数较低。由此可见,厚度及宽度对于种子及种仁的重量和形状影响较大,对长度的影响较小。

### 2.4 主成分分析

对薏苡种子的 15 个形态性状进行 PCA 分析,提取的 3 个主成分,累计贡献率为 92.84% (表 4)。其中第 1 主成分在种子颜色、种子硬度、种子表面条纹、种子重量、种子厚度、种子宽度、种子长宽比、种仁重量、种壳与外种皮重量、种仁宽度及种仁长宽比上有较大荷载,即反映几乎全部的种子性状及部分的种仁性状,贡献率为 65.56%;第 2 主成分在种仁颜色、种仁重量、种仁厚度及种仁长度上有较大荷载,即主要反映种仁的性状,贡献率为 19.57%;第 3 主成分在种子长度上有较大荷载,贡献率为 7.71% (表 4)。

表 3 薏苡种子数量性状间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients among quantitative seed morphological characteristics of Job's tears

性状 Characteristic	种子 重量 SW	种子 厚度 ST	种子 长度 SL	种子 宽度 SWD	种子 长宽比 LWS	种仁 重量 WK	种壳与 外种 皮重量 WHT	种仁 厚度 TK	种仁 长度 LK	种仁 宽度 WDK	种仁 长宽比 LWK
种子重量 SW	1										
种子厚度 ST	0.965 **	1									
种子长度 SL	0.402 *	0.408 *	1								
种子宽度 SWD	0.962 **	0.988 **	0.397 *	1							
种子长宽比 LWS	-0.873 **	-0.898 **	-0.010	-0.916 **	1						
种仁重量 WK	0.631 **	0.720 **	0.418 *	0.744 **	-0.624 **	1					
种壳与外种皮重量 WHT	0.989 **	0.933 **	0.367 *	0.926 **	-0.849 **	0.513 **	1				
种仁厚度 TK	0.549 **	0.684 **	0.282	0.696 **	-0.627 **	0.938 **	0.433 **	1			
种仁长度 LK	-0.482 **	-0.438 **	0.277	-0.403 *	0.568 **	0.146	-0.561 **	0.116	1		
种仁宽度 WDK	0.856 **	0.924 **	0.400 *	0.947 **	-0.857 **	0.895 **	0.781 **	0.858 **	-0.176	1	
种仁长宽比 LWK	-0.909 **	-0.946 **	-0.211	-0.950 **	0.956 **	-0.665 **	-0.881 **	-0.647 **	0.585 **	-0.895 **	1

\* :相关性在 0.05 水平上显著; \*\* :相关性在 0.01 水平上显著

\* :Significant correlation at 0.05 level; \*\* :Significant correlation at 0.01 level

表 4 薏苡种子形态性状的主成分分析

Table 4 Principal component analysis (PCA) of Job's tears seed morphological characteristics

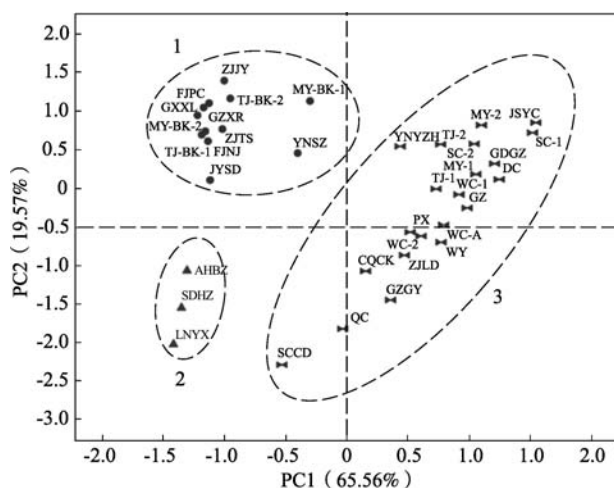
性状 Characteristics	主成分 Principal components		
	1	2	3
种子颜色 Seed color	-0.644	0.540	-0.090
种子硬度 Seed hardness	0.863	-0.455	0.133
种子表面条纹 Surface stripe of seed	-0.903	0.317	-0.058
种仁颜色 Color of seed kernel	-0.591	0.622	-0.267
种子重量 SW	0.983	0.008	0.109
种子厚度 ST	0.973	0.166	0.015
种子长度 SL	0.327	0.370	0.832
种子宽度 SWD	0.977	0.184	0.006
种子长宽比 LWS	-0.922	-0.043	0.357
种仁重量 WK	0.645	0.719	-0.035
种壳与外种皮重量 WHT	0.969	-0.126	0.128
种仁厚度 TK	0.588	0.738	-0.205
种仁长度 LK	-0.546	0.679	0.343
种仁宽度 WDK	0.880	0.452	-0.056
种仁长宽比 LWK	-0.956	-0.084	0.208
累计贡献率 (%) Cumulative	65.56	85.13	92.84

在以第 1 主成分与第 2 主成分构建散点图中, 36 份薏苡种质可分为 3 大类。第 1 类由来自中部及南部的 12 份栽培种质组成, 包括来自浙江的

JYSD、ZJJY、ZJTS, 来自四川的 MY-BK-1、MY-BK-2、TJ-BK-1、TJ-BK-2, 来自福建的 FJPC、FJNJ 及来自贵州、云南和广西的 GZXR、YNSZ 和 GXXL。第 2 类由



来自北部的 LNYX、SDHZ 和 AHBZ 这 3 份栽培种质组成,第 3 类由 21 份野生种质组成,包括来自四川的 14 份种质,来自贵州的 2 份种质及来自云南、江苏、广东、重庆和浙江的 YNYZH、JSYC、GDGZ、CQCK 和 ZJLD(图 1)。



种质缩写同表 1

Accession codes were defined in table 1

图 1 基于种子形态性状构建的 36 份薏苡种质的 PCA 散点图

Fig. 1 PCA scatter plot of 36 Job's tears accessions constructed by seed morphological characteristics

在这 3 大类中,野生种质的种子厚度、种子宽度和种仁宽度最大而种子长宽比及种仁长宽比最小;北部栽培种质则与野生种质相反,种子厚度、种子宽

表 5 各组薏苡种子数量性状均值

Table 5 Mean values of quantitative seed morphological characteristics among the divided Job's tears groups

性状 Characteristics	野生种质 Wild group	北部栽培种质 North group	中部及南部栽培种质 Central & South group	F 值 F value
种子重量(g)SW	0.236 ± 0.039 a	0.083 ± 0.005 b	0.106 ± 0.016 b	79.347 **
种子厚度(cm)ST	0.644 ± 0.048 a	0.483 ± 0.014 c	0.538 ± 0.020 b	41.648 **
种子长度(cm)SL	0.896 ± 0.050 a	0.852 ± 0.042 a	0.880 ± 0.037 a	1.388
种子宽度(cm)SWD	0.757 ± 0.057 a	0.558 ± 0.021 c	0.629 ± 0.025 b	43.002 **
种子长宽比LWS	1.191 ± 0.096 c	1.533 ± 0.024 a	1.404 ± 0.056 b	40.650 **
种仁重量(g)WK	0.080 ± 0.013 a	0.054 ± 0.003 b	0.076 ± 0.006 a	8.104 **
种壳与外种皮重量(g)WHT	0.157 ± 0.029 a	0.029 ± 0.002 b	0.031 ± 0.013 b	122.377 **
种仁厚度(cm)TK	0.406 ± 0.034 a	0.348 ± 0.010 b	0.402 ± 0.016 a	5.746 **
种仁长度(cm)LK	0.484 ± 0.019 b	0.501 ± 0.020 ab	0.521 ± 0.014 a	17.440 **
种仁宽度(cm)WDK	0.562 ± 0.040 a	0.449 ± 0.012 c	0.516 ± 0.014 b	20.404 **
种仁长宽比LWK	0.866 ± 0.058 c	1.124 ± 0.024 a	1.012 ± 0.035 b	56.511 **

不同小写字母表示在 LSD 检验 0.05 水平上差异显著

Different lowercases indicated significant difference at level of 0.05 by Least-Significant Difference Test(LSD)

度和种仁宽度最小而种子长宽比及种仁长宽比最大;中部及南部栽培种质在这 5 个性状上介于野生种质与北部栽培种质之间。此外,野生种质的种子重量和种壳与外种皮重量最大,北部栽培种质的种仁重量和种仁厚度最小(表 5)。

## 2.5 聚类分析

对 36 份薏苡种质的 15 个种子形态性状进行数据标准化后,采用组间联接欧氏距离法进行系统聚类,结果如图 2 所示。在欧氏距离为 15 时,可将 36 份薏苡种质分为 5 大类群。第 I 类群与 PCA 所分出的第 1 类一致,共 12 份中部及南部栽培种质,包括来自浙江的 JYSD、ZJY、ZJTS,来自四川的 MY-BK-1、MY-BK-2、TJ-BK-1、TJ-BK-2,来自福建的 FJPC、FJNJ 及来自贵州、云南和广西的 GZXR、YNSZ 和 GXXL。

第 II 类群与 PCA 所分出的第 2 类一致,由来自北部的 LNYX、SDHZ 和 AHBZ 3 份栽培种质组成。PCA 分析中的第 3 类在聚类分析中又可被细分成 3 个类群(第 III、IV 和 V 类群),第 III 类群包括 QC、GZGY 及 SCCD3 份野生种质,第 IV 类群包括来自四川的 12 份种质及来自贵州、江苏、广东、重庆和浙江的 GZ、JSYC、GDGZ、CQCK 和 ZJLD,共 17 份种质,第 V 类群仅包括 YNYZH 种质(图 2)。这 3 个类群野生种质没有明显的地域性,其中第 III 类群和第 V 类群的种质与第 IV 类群的种质在 PCA 散点图中也略有分开。

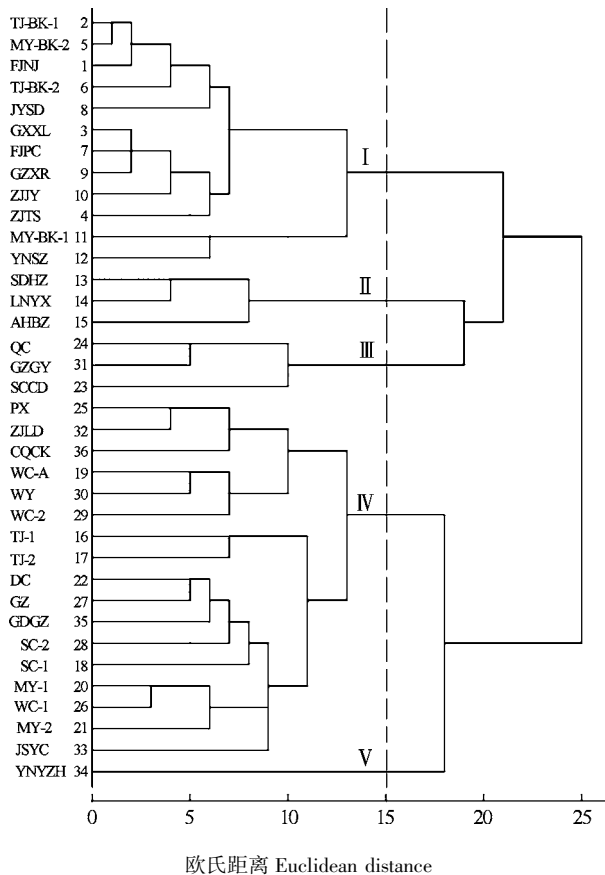


图2 基于种子形态性状构建的薏苡种质系统聚类图

Fig.2 Dendrogram of Job's tears accessions constructed by seed morphological characteristics

### 3 讨论

本研究中的 36 份薏苡种质的种子形态质量性状间存在差异,且数量性状间差异极显著,表明这 36 份薏苡种质的种子形态性状多样性较高。在 11 个数量性状中种壳与外种皮重量、种子重量、种仁重量的变异系数较高,分别为 68.01%、44.67% 和 22.94%,有较大的改良潜力。我国薏苡种质资源有黄白、棕、灰白、蓝白、灰蓝等多种颜色,在形态(卵形、扁球形、圆球形等)和大小上也有很大的变异<sup>[2-6]</sup>。本研究收集到的薏苡种子颜色仅黄白色、棕色及灰白色 3 种,形态均为卵形。可见本研究虽然从一定程度上显示了薏苡种质间的遗传差异,但尚不能充分体现我国薏苡种质的种子形态性状多样性水平,有必要加大样本量进行更进一步的分析。

根据薏苡种子的形状、大小、颜色和质地进行的 PCA 分析可将 36 份薏苡种质分为 3 大类,第 1 类包括来自中部及南部的 12 份栽培种质,第 2 类包括来自北部的 3 份栽培种质,第 3 类则包括所有 21 份野

生种质。聚类分析将 36 份薏苡种质分为 5 大类群,即中部及南部栽培种质(I支)、北部栽培种质(II支)和野生种质(III支、IV支、V支)。PCA 和聚类分析均能将野生种质与栽培种质明显区分开,表明野生种质与栽培种质之间有较强的遗传差异。根据种子形态性状比较显示本研究中采集的栽培薏苡种质为 *C. lacryma-jobi* var. *ma-yuen* L.,野生薏苡种质为 *C. lacryma-jobi* var. *lacryma-jobi* L.<sup>[36-37]</sup>,是薏苡种下的 2 个变种。亲缘关系较远的亲本间进行杂交有利于创造遗传变异丰富的后代<sup>[40]</sup>。已有研究表明,薏苡与川谷杂交后代  $F_2 \sim F_7$  在株高、生育期、果实颜色、果实形状和果实重量等许多性状上均表现出广泛的性状分离,为优良种质的选择提供了广阔的空间<sup>[41-46]</sup>。薏苡的野生种质与栽培种质间的遗传差异较大,并且野生种质在抗病性、抗逆性及分蘖能力上均优于栽培种质,因此野生种质可作为栽培薏苡种质改良的重要材料。

薏苡种子的形态性状可作为初步筛选抗肿瘤活性高的薏苡种质的指标<sup>[38]</sup>。基于薏苡种子的形态性状,12 份中部及南部栽培种质无论在 PCA 分析还是聚类分析中均聚为一类,即 FJNJ、TJ-BK-1、TJ-BK-2、MY-BK-1、MY-BK-2 和 JYSD 这 6 份种质与 ZJJY、FJPC、ZJTS、GZXR、YNSZ 和 GXXL 在种子形态上很相似。本课题组先前的研究表明种子形态性状相近的薏苡种质在抗肿瘤活性成分组成和遗传上也较为相近,而且中部及南部栽培种质 ZJJY、FJPC、ZJTS、GZXR、YNSZ 和 GXXL 在薏苡仁油浓度为 5% 时抗肿瘤活性基本都较高<sup>[38]</sup>。因此,推测 FJNJ、TJ-BK-1、TJ-BK-2、MY-BK-1、MY-BK-2 和 JYSD 这 6 份种质的薏苡仁油抗肿瘤活性可能也较高,它们的抗肿瘤活性有待进一步验证。

**致谢:**感谢四川省农业科学院作物研究所余毅老师提供本研究中的 19 份薏苡种质资源。

#### 参考文献

- [1] Zhou L, Huang B, Meng Z, et al. The amplification and evolution of orthologous 22-kDa  $\alpha$ -prolamin tandemly arrayed genes in coix, sorghum and maize genomes[J]. *Plant Mol Biol*, 2010, 74: 631-643
- [2] 庄体德, 潘泽惠, 姚欣梅. 薏苡属的遗传变异性及核型演化[J]. *植物资源与环境*, 1994, 3(2): 16-21
- [3] 黄亨履, 陆平, 朱玉兴, 等. 中国薏苡的生态型、多样性及利用价值[J]. *作物品种资源*, 1995(4): 4-8
- [4] 李英材, 覃祖贤. 广西薏苡资源性状分析与分类[J]. *西南农业学报*, 1995, 8(4): 109-113
- [5] 陆平, 左志明. 广西薏苡资源的分类研究[J]. *广西农业科学*, 1996(2): 81-84
- [6] 彭建明, 高微微, 彭朝忠, 等. 西双版纳野生薏苡种质资源的

- 性状比较[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(4): 415-418
- [7] 陈成斌. 广西薏苡资源的保护、收集、整理与利用[J]. 广西农业科学, 2003(3): 10-13
- [8] 高微微, 赵杨景, 何春年. 我国薏苡属植物种质资源研究概况[J]. 中草药, 2006, 37(2): 293-295
- [9] 陈成斌, 梁云涛, 徐志健, 等. 广西薏苡种质资源考察报告[J]. 西南农业学报, 2008, 21(3): 792-797
- [10] Lee M Y, Lin H Y, Cheng F, et al. Isolation and characterization of new lactam compounds that inhibit lung and colon cancer cells from adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) bran[J]. Food Chem Toxicol, 2008, 46: 1933-1939
- [11] Chung C P, Hsu C Y, Lin J H, et al. Antiproliferative lactams and spiroenone from adlay bran in human breast cancer cell lines[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59: 1185-1194
- [12] Kuo C C, Shih M C, Kuo Y H, et al. Antagonism of free-radical-induced damage of adlay seed and its antiproliferative effect in human histolytic lymphoma U937 monocytic cells[J]. J Agric Food Chem, 2001, 49: 1564-1570
- [13] Wang L, Sun J, Yi Q, et al. Protective effect of polyphenols extract of adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) on hypercholesterolemia-induced oxidative stress in rats[J]. Molecules, 2012, 17: 8886-8897
- [14] Kim S O, Yun S J, Jung B, et al. Hypolipidemic effects of crude extract of adlay seed (*Coix lachrymajobi* var. *mayuen*) in obesity rat fed high fat diet; relations of TNF- $\alpha$  and leptin mRNA expressions and serum lipid levels[J]. Life Sci, 2004, 75: 1391-1404
- [15] Seo W G, Pae H O, Chai K Y, et al. Inhibitory effects of methanol extract of seeds of Job's tears (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen*) on nitric oxide and superoxide production in raw 264.7 macrophages[J]. Immunopharmacol Immunotoxicol, 2000, 22: 545-554
- [16] Chang H C, Huang Y C, Hung W C. Antiproliferative and chemopreventive effects of adlay seed on lung cancer in vitro and in vivo[J]. J Agric Food Chem, 2003, 51: 3656-3660
- [17] Lu X, Liu W, Wu J, et al. A polysaccharide fraction of adlay seed (*Coix lachryma-jobi* L.) induces apoptosis in human non-small cell lung cancer A549 cells[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2013, 430: 846-851
- [18] Kim S O, Yun S J, Lee E. The water extract of adlay seed (*Coix lachrymajobi* var. *mayuen*) exhibits anti-obesity effects through neuroendocrine modulation[J]. Am J Chin Med, 2007, 35: 297-308
- [19] Hsia S M, Chiang W, Kuo Y H, et al. Downregulation of progesterone biosynthesis in rat granulosa cells by adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf.) bran extracts[J]. Int J Impot Res, 2006, 18: 264-274
- [20] 杨念婉, 李艾莲, 陈彩霞. 种植密度和播期对薏苡产量的影响及相关性分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(13): 149-152
- [21] 李松克, 李克勤, 张春林, 等. 播种期对薏苡生长及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(8): 3384-3385
- [22] 陈文现. 兴仁薏苡不同播期和种植密度的产量表现[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 72-75
- [23] 林炎照. 不同种植密度和施肥水平对薏苡产量及构成因素的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 217-221
- [24] 梁云涛, 陈成斌, 梁世春, 等. 中日韩三国薏苡种质资源遗传多样性研究[J]. 广西农业科学, 2006, 37(4): 341-344
- [25] 王硕, 张世鲍, 何金宝, 等. 薏苡资源性状的主成分和聚类分析[J]. 云南农业大学学报, 2013, 28(2): 157-162
- [26] 李春花, 王艳青, 卢文洁, 等. 云南薏苡种质资源农艺性状的主成分和聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 277-281
- [27] Ma K H, Kim K H, Dixit A, et al. Assessment of genetic diversity and relationships among *Coix lachryma-jobi* accessions using microsatellite markers[J]. Biol Plant, 2010, 54: 271-278
- [28] Li X, Huang Y, Li J, et al. Characterization of genetic variation and relationships among *Coix* germplasm accessions using RAPD markers[J]. Genet Resour Crop Evol, 2001, 48: 189-194
- [29] 梁云涛, 陈成斌, 徐志健, 等. 东亚薏苡遗传资源研究[J]. 广西农业科学, 2008, 39(4): 413-418
- [30] 郭银萍, 彭忠华, 赵致, 等. 基于 SSR 标记的贵州薏苡种质资源遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(2): 317-320
- [31] 王硕, 何金宝, 农民英, 等. 薏苡种质资源的 SRAP 分子标记研究[J]. 中草药, 2015, 46(1): 112-117
- [32] Aljane F, Ferchichi A. Assessment of genetic diversity of Tunisian fig (*Ficus carica* L.) cultivars using morphological and chemical characters[J]. Acta Bot Gallica, 2010, 157: 171-182
- [33] Malav P, Pandey A, Bhatt K C, et al. Morphological variability in holy basil (*Ocimum tenuiflorum* L.) from India[J]. Genet Resour Crop Evol, 2015, 62: 1245-1256
- [34] Méndez-Tovar I, Martín H, Santiago Y, et al. Variation in morphological traits among *Thymus mastichina* (L.) L. populations[J]. Genet Resour Crop Evol, 2015, 62: 1257-1267
- [35] Schaaffhausen R V. Adlay or Job's tears—a cereal of potentially greater economic importance[J]. Econ Bot, 1952, 6: 216-227
- [36] Banerjee D K, Jain S K. Preliminary observations on the ethnobotany of the genus *Coix*[J]. Econ Bot, 1974, 28: 38-42
- [37] Rao P N, Nirmala A. Chromosomal basis of evolution in the genus *Coix* L. (Maydeae): a critical appraisal[J]. Nucleus, 2010, 53: 13-24
- [38] Xi X J, Zhu Y G, Tong Y P, et al. Assessment of the genetic diversity of different Job's tears (*Coix lachryma-jobi* L.) accessions and the active composition and anticancer effect of its seed oil[J]. PLoS ONE, 2016, 11: e0153269
- [39] 赖运平, 张浙峰, 王丽容, 等. 薏苡新品种特异性、一致性和稳定性测试指南研制[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(4): 692-697
- [40] 胡标林, 万勇, 李霞, 等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839
- [41] 乔亚科, 李桂兰, 高书国, 等. 薏苡类型间杂交 F<sub>2</sub> 代的性状分离[J]. 河北农业技术师范学院学报, 1993, 7(4): 48-51
- [42] 宋秀英, 赵晓明, 李明山, 等. 薏苡属种间杂种形态的观察和比较[J]. 山西农业大学学报, 1993, 13(3): 199-202
- [43] 乔亚科, 李桂兰, 高书国, 等. 两种薏苡及其 F<sub>1</sub> 性状表现[J]. 中草药, 1995, 26(2): 88-91
- [44] 李贵全, 赵晓明, 宋秀英. 薏苡 × 川谷远缘杂交的研究[J]. 作物学报, 1997, 23(1): 118-122
- [45] 李桂兰. 薏苡和川谷杂交后代几种性状表现[J]. 中国中药杂志, 1998, 23(3): 147-149
- [46] 杜维俊, 赵晓明, 李贵全. 薏苡属种间杂种 F<sub>1</sub> 性状遗传的研究[J]. 山西农业大学学报, 1998, 18(1): 20-23