植物遗传资源学报 2019，20（1）：229-238
Journal of Plant Genetic Resources DOI：10.13430/j.cnki.jpgr.20180604003

薏苡属种质资源的主要表型性状多样性研究

李祥栋[1,2]，潘　虹[1,2]，陆秀娟[1,2]，魏心元[1,2]，陆　平[3]，石　明[1]，练启仙[4]
（[1]贵州省薏苡工程技术研究中心，兴义 562400；[2]贵州黔西南喀斯特区域发展研究院，兴义 562400；
[3]中国农业科学院作物科学研究所，北京 100081；[4]兴义民族师范学院生物与化学学院，兴义 562400）

摘要：对 108 份薏苡属种质资源的 22 个表型性状进行了多样性分析和分类。结果表明，全部材料涵盖了薏苡属的 2 个种和 4 个变种，除了花药色表现一致外，其他 9 个描述型性状（芽鞘色、叶鞘色、幼苗叶色、柱头色、幼果颜色、果壳色、喙的有无、总苞形状、总苞质地）的多样性指数在 0.5519~1.6475 之间，12 个数值型性状（株高、着粒层、主茎粗、叶长、叶宽、总分蘖数、有效分蘖数、主茎节数、分枝节位、百粒重、粒长、粒宽）的变异系数范围为 13.01%~60.09%。相关分析发现，大部分数值型性状间存在显著相关性，而主成分分析将表型性状分为 5 个主成分，累积贡献率为 77.363%。聚类分析将 108 份资源划分为 3 个类群，类群Ⅰ主要分布在较高纬度地区，表现为植株矮小、叶片小、节数少和分枝节位低等特点；类群Ⅱ主要分布在中国的长江中下游、西南和南方地区及东南亚的较低纬度地区，表现为植株高度、茎粗、节数及叶片大小等表现中等、分蘖数偏低等特点；类群Ⅲ分布在中国西南地区，主要表现为植株茎秆高大粗壮、叶片大、节数多和分枝节位高、分蘖多、生物量大等特征。大部分材料均表现出比较明显的地域性和不同的表型特征，可以作为薏苡新品种选育和改良的优异亲本材料。

关键词：表型；种质资源；多样性；薏苡

Analysis of Main Phenotypic Characteristics in *Coix* L. Germplasm Resources

LI Xiang-dong[1,2], PAN Hong[1,2], LU Xiu-juan[1,2], WEI Xin-yuan[1,2], LU Ping[3], SHI Ming[1], LIAN Qi-xian[4]
([1]*Adlay of Engineering Technical Research Centre in Guizhou*, *Xingyi 562400*;
[2]*Southwest Guizhou Institue of Karst Regional Development*, *Xingyi 562400*;
[3]*Institute of Crop Sciences*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing 100081*;
[4]*Department of Biology and Chemistry*, *Xingyi Normal University for Nationalities*, *Xingyi 562400*)

Abstract: The objective of this study attempts to evaluate the diversity of *Coix* germplasm resources by phenotypic chracters and thus provide basis for parent selection and variety improvement.A total of 22 phenotypic traits were investigated on 108 *Coix* L.germplasm accessions, which contained two species and four varieties of *Coix* L.The genetic diversity of 9 descriptive traits (colour of coleoptile, seaf sheath, seeding leaf, stigma, young fruit, involucre, presence of involucre, involucre shape and texture) ranged from 0.5519 to 1.6475.The variation coefficients of 12 numerical characters (plant height, grain layer, stem diameter, length of leaf, width of leaf, total tillers per plant, productive tillers per plant, nodes on main stem, branching node, 100-fruit weight,

收稿日期：2018-06-04　**修回日期：**2018-06-11　**网络出版日期：**2018-10-08
URL：http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20181003.1506.001.html
第一作者主要从事植物生理与分子调控研究，E-mail：lixiangdongsiji@163.com
通信作者：石明，主要从事作物遗传育种方向的研究，E-mail：shiming1616@126.com
潘虹，主要从事作物栽培技术研究，E-mail：ph121014@126.com
基金项目：贵州省科技计划项目（黔科合重大专项字［2014］6023）；贵州省科技支撑计划项目（黔科合支撑［2016］2608 号）；贵州省高层次创新型人才培养（黔科合人才［2015］4016 号）；黔西南州科技计划项目（2017-1-2）
Foundation project: Science and Technology Program in Guizhou Province (No.20146023), Science and Technology Support Program Projec in Guizhou Province (No.20162608), High-level Innovative Talents Training Rroject in Guizhou Province (No.20154016), Southwest Guizhou of Science and Technology Program (No.2017-1-2)

involucre length and involucre width）ranged from 13.01% to 60.09%.Moreover, most of numerical traits related significantly to each other, and five principle componence were extracted and simplified from the phenotypic traits with a cumulative percentage of 77.363% by principle componence analysis.By cluster analysis, these acceccsions were clarified into three groups, including: group-I, in which these accessions showed dwarf plants, smaller leaf, fewer nodes and lower branching nodes, and in which they were distributed in the higher latitude areas; group-II, in which these accessions were distributed in the lower latitude areas of the middle and lower reaches of Yangtze river, south and southwesr of China and southeast Asia, showing medium plant height, fewer tillers, stem diameters, nodes and branching nodes, leaf sizes there; group-III, in which the accessions were distributed in southwest of China, with the higher plants and thicker stem diameter, larger leaf size, more nodes and higher branching nodes, more tillers and higher biomass.Thus, by taking use of this collection with regional peculiarity and distinct phenotypic variation, this work might provide insight for selecting parental materials being valuable in breeding for elite adlay.

Key words: phenotype; germplasm resources; diversity; *Coix* L.

种质资源是遗传研究与育种应用的基础，如何科学有效地评价种质资源的遗传多样性和遗传关系也是资源鉴定、保护、品种改良等工作的重要内容。薏苡作为一种药食兼用植物，具有抗肿瘤、降血糖、抑制肿瘤血管生成及提高免疫力等多种药理作用[1-2]，在医药保健方面具有极高的开发价值。虽然薏苡在中国种植历史悠久、分布广泛，存在着丰富的变异类型，但是由于环境变化等原因，薏苡种质资源也面临着野生资源减少、利用率低等问题。迄今为止，有关薏苡的形态学描述已有较多报道。黄亨履等[3]鉴定了我国 17 个省、市、区的 102 份薏苡资源，将中国的薏苡种质资源划分为 3 个生态型，即南方晚熟生态型、长江中下游中熟生态型和北方早熟生态型；梁云涛等[4-5]考察和收集了来自中国广西、日本、韩国薏苡栽培和野生资源，并比较分析了其在株高、叶面积、有效分蘖、主茎直径、生育期等形态和农艺性状差异；王硕等[6]分析了来自中国云南、中国贵州、中国广西、老挝和越南等地的 25 份薏苡种质的主要农艺性状；李春花等[7]也比较系统地对 65 份来自云南的薏苡种质资源的农艺性状进行多样性评价，并将其划分为 5 个类群；金关荣等[8]则对中国 36 份薏苡种质的种子形态特征进行了多样性评价，并对优异种质进行了初步筛选。虽然目前在薏苡的农艺性状、生长形态等已经有所报道，但是由于表型数据采集缺乏一套通用的种质资源描述规范和数据标准体系，不同研究结果的数据可比性差。在前期工作中，本课题组在总结前人研究和多年薏苡资源种植观察的基础上制定了《薏苡种质资源描述规范和数据标准》[9]，规定了薏苡属种质资源的描述规范、数据规范和数据质量控制及其数据标准制定的原则与方法，有效规范了薏苡种质资源的收集、整理和保存工作。因此，本研究通过规范化的调查薏苡属种质资源的描述型性状和数量性状，采用同质园试验方法考查不同薏苡属种质资源表型多样性和变异特点，以期为薏苡的品种改良、新品种选育及优异种质材料挖掘提供数据支撑，也为薏苡种质资源的有效整理和规范入库提供参考样板。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料由中国农业科学院作物科学研究所提供的中期库资源和个别新采集资源组成，共 108 份，来源于中国的 14 个省份、老挝、韩国及其他地区（表 1）。薏苡种质材料均为种子，于 2016-2017 年种植季，在贵州省兴义市黔西南州农业科学研究所实验基地按小区直播种植，小区面积长 × 宽 = 5 m × 2 m，每小区种植 5 行，每行 10 窝，单株留苗；基肥每 667 m^2 施用硫酸钾复合肥 40 kg，拔节期追施尿素 20 kg，追肥施用结合中耕除草统一进行。试验材料的描述型和数值型性状分别于 2016-2017 年进行观测和测定，数值型性状每份资源调查 10 株并取 2 年数据的平均值。

1.2 试验方法

在出苗期至成熟期的整个生育期中，进行主要表型数据调查和观测，表型性状的调查主要包括芽鞘色、叶鞘色、幼苗叶色、花药色、柱头色、幼果颜色、果壳色（总苞颜色）、喙的有无、总苞形状、总苞质地 10 个形态描述型性状指标及株高、着粒层、主茎粗、叶长、叶宽、总分蘖数、有效分蘖数、主茎节数、分枝

表 1　108 份薏苡属种质资源信息表

Table 1　Details of 108 germplasm resources of *Coix* L.

编号 No.	种质库编号 [a] Accession number	名称 Name	来源 Origin	编号 No.	种质库编号 [a] Accession number	名称 Name	来源 Origin
1	ZI000285	嘎洒野生薏苡	中国云南	55	ZI000340	黑糯六谷	中国云南
2	ZI000286	嘎洒野生薏苡	中国云南	56	ZI000343	富薏 1 号	中国云南
3	ZI000287	巴达野生薏苡	中国云南	57	ZI000344	引韩 1 号	韩国
4	ZI000288	野生薏苡	中国云南	58	ZI000348	贞丰五谷	中国贵州
5	ZI000289	象明薏苡	中国云南	59	ZI000349	贵州薏苡	中国贵州
6	ZI000290	嘎洒野生薏苡 2 号	中国云南	60	ZI000350	石英薏苡	中国贵州
7	ZI000291	嘎洒野生薏苡 3 号	中国云南	61	ZI000351	平定五谷	中国山西
8	ZI000292	嘎洒野生薏苡 4 号	中国云南	62	ZI000352	盘县五谷	中国贵州
9	ZI000293	兰壳薏苡	中国云南	63	ZI000353	台安农家种	中国辽宁
10	ZI000294	佛鑫 3 号	中国云南	64	ZI000354	义县农家种	中国辽宁
11	ZI000295	巴达栽培薏苡	中国云南	65	ZI000355	广西白薏苡	中国广西
12	ZI000296	浙江小粒	中国浙江	66	ZI000356	南河村薏苡	中国辽宁
13	ZI000297	浙江大粒	中国浙江	67	ZI000357	安国五谷	中国河北
14	ZI000298	太谷 2-4	中国山西	68	ZI000358	吉林小黑壳	中国吉林
15	ZI000299	太谷 2-14	中国山西	69	ZI000359	盘县五谷	中国贵州
16	ZI000300	安国薏苡	中国河北	70	ZI000360	草选 4 号	其他
17	ZI000301	承德薏苡	中国河北	71	ZI000361	隘上五谷	中国湖南
18	ZI000302	川紫薏苡	中国四川	72	ZI000362	慈利川谷	中国湖南
19	ZI000303	澧县圆粒薏苡	中国湖南	73	ZI000363	昌黎浅褐薏米	中国河北
20	ZI000304	澧县长粒薏苡	中国湖南	74	ZI000364	锦屏白薏米	中国贵州
21	ZI000305	苡仁	中国贵州	75	ZI000365	昌黎黑川谷	中国河北
22	ZI000306	六合薏苡	中国贵州	76	ZI000366	绿花川谷	中国北京
23	ZI000307	本地六谷	中国贵州	77	ZI000367	赣南薏米	中国江西
24	ZI000308	本地六谷	中国贵州	78	ZI000007	昌平草珠子	中国北京
25	ZI000309	本地六谷	中国贵州	79	ZI000368	铁哲大碗	其他
26	ZI000310	六谷	中国贵州	80	ZI000369	通江薏苡	中国四川
27	ZI000311	薏苡	中国贵州	81	ZI000370	江苏川谷	中国江苏
28	ZI000312	野生薏苡	中国贵州	82	ZI000371	昌黎大薏米	中国河北
29	ZI000313	野生薏苡	中国贵州	83	ZI000374	滇二选谷	中国云南
30	ZI000314	野生薏苡	中国贵州	84	ZI000375	仙薏 1 号	中国福建
31	ZI000315	野生薏苡	中国贵州	85	ZI000376	仙薏 2 号	中国福建
32	ZI000316	薏 11	中国贵州	86	ZI000377	仙薏 3 号	中国福建
33	ZI000317	薏 12	中国贵州	87	ZI000378	仙薏 4 号	中国福建
34	ZI000318	薏 6	中国贵州	88	ZI000379	仙薏 5 号	中国福建
35	ZI000319	薏苡	中国贵州	89	ZI000380	仙薏 6 号	中国福建
36	ZI000320	薏 13	中国贵州	90	ZI000381	仙薏 7 号	中国福建
37	ZI000321	薏 14	中国贵州	91	ZI000382	仙薏 8 号	中国福建
38	ZI000322	罗平薏苡	中国贵州	92	ZI000383	福建浦城薏苡	中国福建
39	ZI000323	六谷	中国云南	93	ZI000384	盘薏黑壳	中国贵州
40	ZI000324	糯六谷	中国云南	94	ZI000385	盘薏白壳	中国贵州
41	ZI000325	六谷	中国云南	95	ZI000387	黔选 L13	中国贵州
42	ZI000326	桥头六谷	中国云南	96	ZI000388	师薏 1 号	中国云南
43	ZI000327	糯六谷	中国云南	97	ZI000389	本地种薏谷	中国广西
44	ZI000328	六谷	中国云南	98	ZI000394	老挝薏苡	老挝
45	ZI000329	铁六谷	中国云南	99	ZI000396	老挝黑壳薏苡	老挝
46	ZI000330	数珠谷	中国云南	100	ZI000398	福建宁化薏苡	中国福建
47	ZI000331	六谷	中国云南	101	ZI000399	福建浦城薏仁	中国福建
48	ZI000332	六谷	中国云南	102	ZI000400	白薏米	中国湖南
49	ZI000333	饭六谷	中国云南	103	ZI000401	黑薏米	中国湖南
50	ZI000334	糯六谷	中国云南	104	N	薏苡 C113	中国贵州
51	ZI000335	糯六谷	中国云南	105	N	薏苡 C114	中国贵州
52	ZI000336	旧腮六谷	中国云南	106	N	薏苡 C126	中国贵州
53	ZI000337	花甲六谷	中国云南	107	N	薏苡 C129	中国辽宁
54	ZI000338	花甲六谷	中国云南	108	N	薏苡 C136	中国四川

[a] 表示种质的全国统一编号；N 表示尚未进行统一编号种质

[a] represent accession number in genebank, N represent no coded in genebank

节位、百粒重、粒长、粒宽 12 个数值型性状指标。描述型指标按照标准要求进行分级赋值，数值型性状则无需赋值，对实际测得的数值直接进行数学运算。所有表型数据采集和分级均按照《薏苡种质资源描述规范和数据标准》[9]进行。

1.3 数据统计和分析

采用 Excel 2003 处理各性状的数据，并计算各数值型性状的最大值、最小值、平均值和变异系数。描述型性状的遗传多样性，根据其分级和赋值采用 Shannon's 信息指数（H'）进行描述和评价，计算公式：$H'= -\sum P_i \times \ln P_i$，其中，$P_i$ 表示第 i 种变异类型出现的频率，用所有相应性状 H' 的平均值表示一组或所有种质的遗传多样性程度。表型性状数据采用 SPSS 19.0 进行主成分和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 薏苡属种质资源的描述型性状多样性

在供试鉴定的 108 份薏苡属资源中，不同描述型性状在不同材料中也表现出了不同的多样性（表 2）。所有供试材料幼苗期的芽鞘色和叶鞘色有绿色、紫色 2 种颜色，幼苗叶色有绿色、红色和紫色 3 种颜色，而且芽鞘色、叶鞘色和幼苗叶色以紫色居多；在开花期至灌浆期，花药色均为黄色，柱头色有白色、浅红色、紫红色和紫色 4 种颜色，而且大部分材料的柱头色表现为紫红色或紫色，白色或浅红色柱头颜色较为少见；幼果颜色则多表现为绿色。成熟期果壳色变异较大，供试材料表现出白色、黄白色、灰色、棕色、深棕色、褐色、深褐色和黑色共 8 种颜色，以棕色总苞的出现频率最高；具喙和甲壳质总苞的材料居多，总苞形状也具有卵圆形、近圆柱形、椭圆形和近圆形 4 种形状，椭圆形的分布频率较高。相比之下，除了花药色表现一致，其他 9 个描述型性状的遗传多样性指数在 0.5519~1.6475 之间，以果壳色的多样性指数最高，其多样性大小顺序为果壳色 > 柱头色 > 总苞形状 > 幼果颜色 > 幼苗叶色 > 喙的有无 > 总苞质地 > 芽鞘色（叶鞘色）> 花药色。

表 2 薏苡种质的描述型性状的频率分布及多样性指数

Table 2 Diversity index and frequency distribution of descriptive characters in *Coix* L. germplasms

性状 Trait	性状描述（频率分布） Characters description（Ratio of distribution）								多样性指数 H'
芽鞘色 CC	绿色（0.2407）	紫色（0.7593）							0.5519
叶鞘色 LSC	绿色（0.2407）	紫色（0.7593）							0.5519
幼苗叶色 LCS	绿色（0.2870）	红色（0.0185）	紫色（0.6499）						0.7121
花药色 AC	黄色（1.0000）								0
柱头色 SC	白色（0.0926）	浅红色（0.1111）	紫红色（0.5556）	紫色（0.2407）					1.1338
幼果颜色 YFC	绿色（0.7222）	浅红色（0.0648）	紫红色（0.2037）	紫色（0.0093）					0.7800
果壳色 IC	白色（0.5556）	黄白色（0.2500）	灰色（0.1481）	棕色（0.8333）	深棕色（0.0648）	褐色（0.0926）	深褐色（0.0926）	黑色（0.2130）	1.6475
喙的有无 BEN	无（0.3611）	有（0.6389）							0.6540
总苞形状 IS	卵圆形（0.2130）	近圆柱形（0.0185）	椭圆形（0.6667）	近圆形（0.1019）					0.9062
总苞质地 IT	珐琅质（0.2963）	甲壳质（0.7037）							0.6077

CC：Coleoptile colour，LSC：Leaf sheath colour，LCS：Leaf colour of seeding，AC：Anther colour，SC：Stigma colour，YFC：Yong fruit colour，IC：Involucre colour，BEN：Beak exist or not，IS：Involucre shape，IT：Involucre texture，the same as below

2.2　不同薏苡属种质资源的总苞特征

根据不同种质资源总苞特征（总苞形状、总苞质地、喙的有无、粒长、粒宽），对照《中国植物志》[10]的分类检索表对全部资源进行了分类。在 108 份资源中，可分为 2 个种和 4 个变种（图 1），包含了小珠薏苡种 3 份，长宽比值为 0.82~1.34；薏米变种 65 份，长宽比值为 1.01~1.97；台湾薏苡变种 6 份，长宽比值为 0.91~1.28；薏苡变种 28 份，长宽比值为 0.81~1.74；念珠薏苡变种 5 份，长宽比值为 0.97~1.18；窄果薏苡种 1 份，粒长是粒宽的 3.87 倍（表 3）。分析表明小珠薏苡种、窄果薏苡种、薏苡变种和念珠薏苡变种均是珐琅质总苞的野生类群，小珠薏苡种、念珠薏苡变种粒长和粒宽比值比较一致，均表现为近圆形，但是籽粒直径相差较大，相比之下念珠薏苡变种更趋于籽粒膨大的演化方向；窄果薏苡种具有籽粒细长的特点，其粒长与粒宽比值最大，趋于粒宽变小、粒长变大的演化方向；薏苡变种材料丰富，籽粒大小也存在诸多变化。台湾薏苡变种和薏米变种均属于甲壳质总苞的食用栽培类型，但是台湾薏苡变种籽粒变宽、变大，形状近圆形，地理分布范围比较局限；薏米变种材料的籽粒大小较为多变，分布范围广泛。

图 1　不同薏苡种（变种）的总苞特征

Fig. 1　Involucre characteristics in *Coix* L. germplasm accessions

2.3　不同薏苡属种质资源数值型性状的变异

不同薏苡属种质的数值型性状也表现出一系列差异（表 4）。12 个数值型性状的变异系数在 13.01%~60.09% 之间，性状变异以分枝节位最大、粒长最小，排列顺序为分枝节位 > 总分蘖数 > 有效分蘖数 > 百粒重 > 株高 > 着粒层 > 叶长 > 主茎节数 > 主茎粗 > 粒宽 > 叶宽 > 粒长。统计分析表明，供试薏苡材料的数值型性状变异程度较高，多样性丰富。

2.4　薏苡属种质资源数值型性状的相关分析

对薏苡属 108 份材料的 12 个数值型性状进行相关分析（表 5），结果表明，大部分性状之间均存在极显著（$P< 0.01$）或显著（$P< 0.05$）的相关性。株高与着粒层、主茎粗、叶长、叶宽、主茎节数、分枝节位呈极显著正相关，着粒层与主茎粗、叶长、叶宽、主茎节数呈极显著正相关，主茎粗与叶长、叶宽、有效分蘖数、主茎节数和分枝节位呈显著或极显著正相关，叶长与叶宽、总分蘖数、有效分蘖数、主茎节数和分枝节位呈显著或极显著正相关，叶宽与主茎节数和分枝节位呈极显著正相关，总分蘖数、有效分蘖数与主茎节数、分枝节位、百粒重呈显著或极显著正相关，百粒重与粒长、粒宽呈极显著正相关。另外，百粒重与株高呈显著负相关，粒长与株高、着粒层、主茎粗、叶长、叶宽、

表 3 108 份资源的种子性状及数量统计

Table 3 Numberical statistics and involucre characteristics in108 *Coix* L. germplasm accesions

中文名 Chinese name	拉丁名 Latin name	份数 Count number	粒长变异（mm） Range of involucre length	粒宽变异（mm） Involucre width	粒长 / 粒宽变异 Range of ength/ width ratio in involucre
小珠薏苡（种） Xiaozhuyiyi（species）	C.*puellarum* Balansa	3	4.84~6.91	5.16~6.92	0.82~1.34
薏米（变种） Yimi（varieties）	C.*chinensis* var.*chinesis* Tod.	65	7.64~12.53	5.63~9.04	1.01~1.97
台湾薏苡（变种） Taiwanyiyi（varieties）	C.*chinensis* var.*formosana*（Ohwi）L.Liu	6	7.22~9.61	7.36~9.05	0.91~1.28
薏苡（变种） Yiyi（varieties）	C.*lacryma-jobi* var.*lacryma-jobi*	28	7.15~12.18	5.26~12.62	0.81~1.74
念珠薏苡（变种） Nianzhuyiyi（varieties）	C.*lacryma-jobi* var.*maxima* Makino	5	7.73~10.29	8.52~8.61	0.97~1.18
窄果薏苡（种） Zhaiguoyiyi（species）	C.*stenocarpa* Balansa	1	11.68	3.02	3.87

表 4 薏苡属资源数值型性状的统计分析

Table 4 Statistical analysis of numerical characters in *Coix* L. germplasm accessions

项目 Items	株高（cm） PH	着粒层（cm） GL	主茎粗（mm） SD	叶长（cm） LL	叶宽（cm） WL	总分蘖数 TTP	有效分蘖数 PTP	主茎节数 NMS	分枝节位 BN	百粒重（g）HFW	粒长（mm） IL	粒宽（mm） IW
最大值 Max.	380.0	290.0	19.7	92.0	6.0	20.2	20.2	19.0	9.0	47.52	12.53	12.62
最小值 Min.	46.4	46.4	5.4	24.4	2.6	2.0	2.0	5.0	2.0	4.15	4.84	3.02
平均值 Mean	215.1	153.7	12.4	57.8	4.2	7.1	7.1	11.9	4.2	12.47	9.67	7.10
标准差 *SD*	76.89	47.81	3.23	17.91	0.76	3.69	3.69	3.59	2.51	6.00	1.26	1.28
变异系数（%） *CV*	35.75	31.10	26.07	30.99	17.93	52.05	51.84	30.15	60.09	48.13	13.01	18.04

PH：Plant height，GL：Grain layer，SD：Stem diameter，LL：Length of leaf，WL：Width of leaf，TTP：Total tillers per plant，PTP：Productive tillers per plant，NMS：Nodes on main stem，BN：Branching node，HFW：100-fruit weight，IL：Involucre length，IW：Involucre width.The same as below

总分蘖数、有效分蘖数、主茎节数、分枝节位均呈显著或极显著负相关。表型性状间的相关关系一方面反映了薏苡属作物发育过程中各部位差异化协调发育的特点，另一方面也反映了薏苡属不同表型性状间既相互独立又错综复杂的相关性。

2.5 薏苡属种质资源表型性状的主成分分析

以除花药色外的 9 个描述型性状的赋值和 12 个数值型性状的数据为基础，计算各主成分的因子载荷和贡献率（表 6）。结果表明，主成分分析将 21 个性状简化为 5 个主成分。前 5 个主成分的贡献率分别为 31.223%、16.520%、14.777%、9.501% 和 5.342%，累积贡献率为 77.363%，可代表被考查性状的原始数据信息。幼果颜色、喙的有无、株高、着粒层、主茎粗、叶长、叶宽、主茎节数、分枝节位、粒长为第 1 主成分的决定因子，第 1 主成分主要反映植株生长、部分果实特征；芽鞘色、叶鞘色、幼苗叶色、柱头色、总分蘖数、有效分蘖数为第 2 主成分的决定因子，主要反映苗期植株、柱头的颜色及分蘖特征；总苞形状、总苞质地为第 3 主成分的决定因子；百粒重、粒宽为第 4 主成分的决定因子；果壳色为第 5 主成分的决定因子。因此，第 3、4、5 主成分主要反映薏苡总苞的特征。

表 5　薏苡属资源主要数值型性状的相关性

Table 5　Correlation analysis of principal numerical characters in *Coix* L. germplasm accessions

项目 Items	株高 PH	着粒层 GL	主茎粗 SD	叶长 LL	叶宽 WL	总分蘖数 TTP	有效分蘖数 PTP	主茎节数 NMS	分枝节位 BN	百粒重 HFW	粒长 IL	粒宽 IW
株高	1.000											
着粒层	0.642**	1.000										
主茎粗	0.858**	0.690**	1.000									
叶长	0.941**	0.583**	0.877**	1.000								
叶宽	0.783**	0.679**	0.817**	0.826**	1.000							
总分蘖数	0.152	−0.146	0.182	0.233*	0.075	1.000						
有效分蘖数	0.166	−0.147	0.189*	0.246**	0.087	0.994**	1.000					
主茎节数	0.867**	0.405**	0.731**	0.845**	0.652**	0.363**	0.384**	1.000				
分枝节位	0.684**	−0.008	0.452**	0.655**	0.378**	0.354**	0.375**	0.803**	1.000			
百粒重	−0.219*	−0.128	−0.115	−0.119	0.000	0.193*	0.194**	−0.100	−0.130	1.000		
粒长	−0.580**	−0.302**	−0.569**	−0.523**	−0.427**	−0.203*	−0.219*	−0.557**	−0.463**	0.274**	1.000	
粒宽	−0.055	0.011	0.013	0.003	0.163	−0.109	−0.111	−0.086	−0.054	0.682**	0.191*	1.000

** 表示在 *P*=0.01 水平显著；* 表示在 *P*=0.05 水平显著

** represent significant at 0.01 level, * represent significant at 0.05 level

表 6　各主要性状的主成分载荷和贡献率

Table 6　Factor loading matrix and contribution percentages of principal components

性状 Trait	主成分 Principle factor				
	1	2	3	4	5
芽鞘色 CC	0.246	0.671[1)]	0.625	−0.051	0.192
叶鞘色 LSC	0.246	0.671[1)]	0.625	−0.051	0.192
幼苗叶色 LCS	0.260	0.659[1)]	0.532	−0.021	0.112
柱头色 SC	0.203	0.535[1)]	0.284	−0.198	−0.061
幼果颜色 YFC	−0.431[1)]	0.332	0.397	−0.194	−0.262
果壳色 IC	−0.273	0.288	0.260	0.103	−0.338[1)]
喙的有无 BEN	−0.585[1)]	0.337	−0.451	−0.187	0.147
总苞形状 IS	−0.224	0.472	−0.473[1)]	0.039	0.369
总苞质地 IT	−0.466	0.475	−0.569[1)]	−0.162	0.091
株高 PH	0.915[1)]	0.155	−0.273	0.039	0.004
着粒层 GL	0.560[1)]	0.330	−0.203	0.395	−0.484
主茎粗 SD	0.867[1)]	0.178	−0.185	0.147	−0.169
叶长 LL	0.932[1)]	0.121	−0.161	0.067	0.020
叶宽 WL	0.800[1)]	0.165	−0.174	0.327	−0.089
总分蘖数 TTP	0.418	−0.534[1)]	0.411	−0.488	−0.046
有效分蘖数 PTP	0.434	−0.531[1)]	0.410	−0.489	−0.031
主茎节数 NMS	0.901[1)]	−0.067	−0.162	−0.121	0.138
分枝节位 BN	0.692[1)]	−0.144	−0.152	−0.298	0.471
百粒重 HFW	−0.024	−0.503	0.494	0.576[1)]	0.129
粒长 IL	−0.625[1)]	−0.023	0.279	0.216	0.091
粒宽 IW	0.014	−0.204	0.259	0.768[1)]	0.378
特征值 Eigenvalue	6.557	3.469	3.103	1.995	1.122
贡献率（%）Contribution rate	31.223	16.520	14.777	9.501	5.342
累积贡献率（%）Cumulative percentage	31.223	47.743	62.520	72.021	77.363

[1)] 表示某指标在各因子中的最大绝对值

[1)] means the biggest absolute value of an index in all factors

2.6 薏苡属种质资源表型性状的聚类分析

根据 108 份薏苡属种质的 22 个表型性状表现进行系统聚类，在欧氏距离为 17.0 处，可将全部资源划分为 3 个类群（图 2、表 7）。

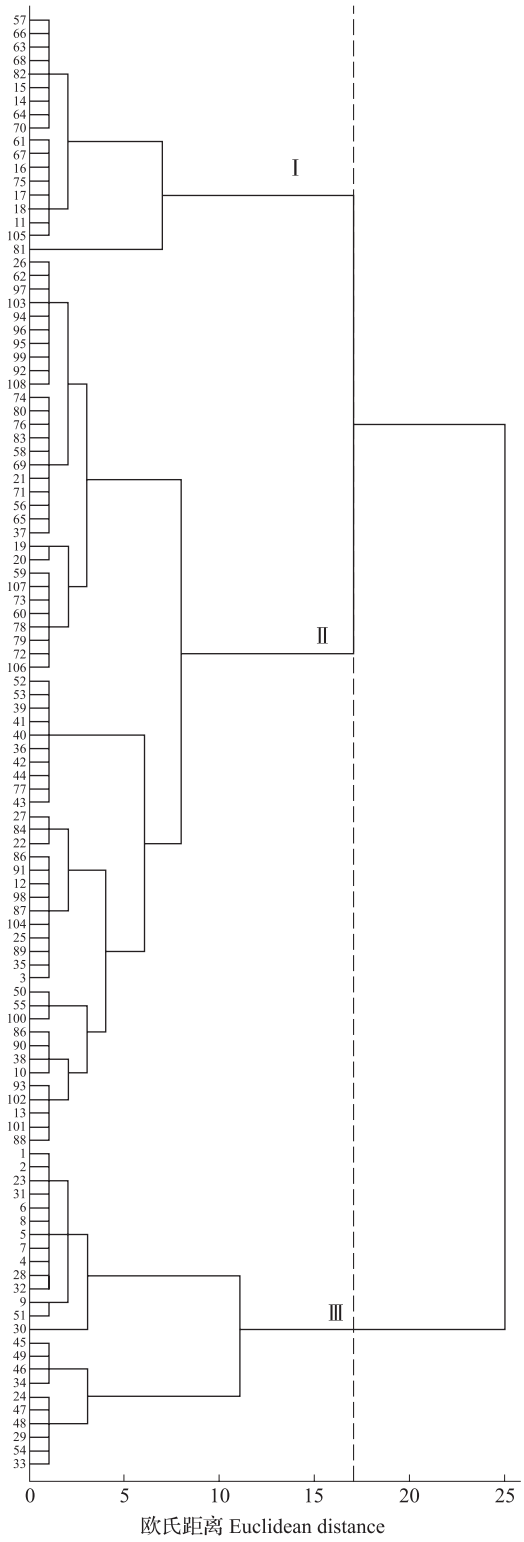

图 2 薏苡属种质表型性状聚类图

Fig. 2 Clustering of 108 *Coix* L. germplasm accessions using phenotypic dataset

表 7 3 个类群 12 个数值型性状的平均值

Table 7 The mean values of 12 numerical characters in 3 groups

性状 Trait	类群 Groups		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
株高（cm）PH	100.3	208.3	323.4
着粒层（cm）GL	92.2	154.3	184.4
主茎粗（mm）SD	7.7	12.3	16.3
叶长（cm）LL	33.1	55.6	83.8
叶宽叶宽（cm）WL	3.3	4.2	5.0
总分蘖数 TTP	7.0	6.4	9.7
有效分蘖数 PTP	7.0	6.4	9.7
主茎节数 NMS	7.2	11.6	17.0
分枝节位 BN	2.0	4.1	6.8
百粒重（g）HFW	14.20	11.94	13.03
粒长（mm）IL	10.73	9.65	8.76
粒宽（mm）IW	6.96	7.12	6.99

第Ⅰ类群包含 18 份种质。除了个别来源中国的云南、贵州、江苏外，大部分种质来自中国山西、河北、辽宁、吉林等较高纬度地区，此类群主要表现为植株矮秆、茎细、叶片较小、节数少和分枝节位低、中等分蘖、籽粒形状相对细长等特点，可作为矮秆育种材料的重要来源。

第Ⅱ类群包含 66 份种质。主要来源于中国的云南、贵州、广西、四川、湖南、浙江、福建，主要集中在中国的长江中下游、西南和南方地区及东南亚等较低纬度地区。此类群变异最为丰富，具有植株茎秆高度、粗细、节数和分枝节位及叶片大小等表现中等，分蘖数偏低等特征。

第Ⅲ类群包含 24 份种质。均来自中国的云南、贵州。此类群主要表现为植株茎秆粗壮、叶片较大、节数多和分枝节位高、分蘖多、整体生物量大等特征，该类材料在青贮饲料用途的种质创新及开发利用方面具有较高潜力。

3 讨论

3.1 种质资源多样性评价

种质资源遗传多样性的丰富程度对品种改良、新品种选育有着直接的作用。表型性状是植物生长的最直观表现，受植物本身基因型和环境因素的综合作用，表现出稳定性和变异性共存的特点[11]。因此，如何有效地对种质资源表型多样性评价是种质资源创新利用的基础。本研究通过对 108 份薏苡属种质资源的 22 个表型性状进行分析，揭示了薏苡

属资源丰富的多样性，从分类学角度将全部资源分为 6 个种或变种，而且大部分数值型表型性状之间普遍存在显著或极显著相关性。聚类分析将 108 份种质资源分为 3 个类群，除了个别种质表现例外，这 3 个类群的大部分均表现出比较明显的地域性特征和独特的表型特征，不同类群在多个性状（如：株高、分蘖、分枝等）均表现出比较明显的差异性和互补性。因此，通过不同种质类型的划分，可以针对不同的育种目标进行定向选育，在遗传改良过程中实现优势互补，有效指导薏苡的遗传育种。近年来，薏苡在 DNA 分子标记的开发筛选[12]、遗传多样性的分析[13-15]和指纹鉴定[16]等方面的研究也时有报道。因此，在表型多样性分析的基础上结合分子标记技术进行遗传多样性评价也是今后研究的重要方向。

3.2　薏苡属的植物学分类探讨

薏苡属经历了多种分类系统的演变，从“1 种 1 变种[17-18]”“3 种 4 变种[19]”“4 种 8 变种[20]”到“4 种 9 变种[21]”，至今依然有分歧。1977 年出版的《中国植物志》将中国薏苡属定为“5 种 4 变种[10]”，2006 年出版的英文版《*Flora* of China》则将中国薏苡属划分为“2 种 4 变种”，药典中的薏苡拉丁名也与上述两版《中国植物志》的记载不一致。相比之下，“5 种 4 变种”“2 种 4 变种”分类系统均是考虑到是否是多年生状态，总苞的质地、大小和形状等特征，但是“2 种 4 变种”剔除了台湾薏苡（*C.chinensis* var.*formosana*（*Ohwi*）L.Liu）和念珠薏苡（*C .lacryma-jobi* var.*maxima* Makino）2 个变种，并将薏苡（*C.lacryma-jobi* var.*Lacryma-jobi*）、薏米（*C.chinensis* var.*chinesis* Tod.）、小珠薏苡（*C.puellarum* Balansa）和窄果薏苡（*C.stenocarpa* Balansa）统一划分为薏苡种（*C .lacryma-jobi*）下的 4 个变种，似乎过于简化。本研究以“5 种 4 变种”的分类检索表为参照，以 108 份薏苡属资源总苞性状（形状、大小和质地）为数据基础进行分类，全部资源涵盖了该分类系统 2 个种 4 个变种，也从另一层面揭示出了种质资源丰富的多样性。本课题组在此研究的基础上，也正致力于基于叶绿体基因组遗传信息的解析和薏苡属的系统进化研究，或许能从中找到相关序列或特定的基因片段，以用于指导薏苡属的分类鉴定。

3.3　薏苡种质资源保护、研究及应用展望

中国薏苡属种质资源的考察与收集，起始于“八五”期间的国家种质资源战略普查，中国农业科学院作物品种资源研究所在 1985-1995 年期间对中国的薏苡种质资源进行了比较广泛的收集和整理，但是由于环境变迁、人为干扰和选择等原因，薏苡种质资源也面临着种质资源大量流失、资源的开发利用及收集保护工作滞后等问题[22-23]。核心种质作为保存的种质资源的一个核心子集，它以最小样本数代表一个物种的基础收集样品最大量或全部的遗传变异，是种质资源群体研究和利用的切入点，有助于简化种质资源的评价、保存和提高重要性状的发掘。目前，基于表型性状的核心种质库的建立和评价在水稻[24]、黍稷[25]、陆地棉[26]等多种作物中均已实现，在为其种质资源的准确评价、优异基因发掘和开发利用提供了重要的前期基础。本研究通过对 108 份薏苡属种质资源的 22 个性状进行系统分类和描述，通过主成分分析将 21 个表型指标（花药色除外）简化为 5 个主成分，并从不同角度和层面反映出薏苡的主要性状特征，也可为其今后核心种质的构建和评价提供重要样板。此外，本研究中所涉及的描述型性状，如芽鞘色、叶鞘色、幼苗叶色、柱头颜色、幼果颜色等颜色性状特征，容易分级和识别，可作为重要标记性状用于田间品种鉴别、杂种区分和纯度鉴定。

参考文献

[1] 黄锁义，李容，潘勇，朱晓莹 . 薏苡研究的新进展 . 食品研究与开发，2012，33（11）：223-227
Huang S Y，Li R，Pan Y，Zhu X Y.Study new progress of *Coix lachryma-jobi* L.Food Research and Development，2012，33（11）：223-227

[2] 杨爽，王李梅，王姝麒，郭晓江，任冬梅 . 薏苡化学成分及其活性综述 . 中草药，2011，34（8）：1036-1312
Yang S，Wang L M，Wang S L，Guo X J，Ren D M.Review of chemical components and its medicinal activity in Job′s Tears. Journal of Chinese Medicinal Materials，2011，34（8）：1036-1312

[3] 黄亨履，陆平，朱玉兴，李英材 . 中国薏苡的生态型、多样性及利用价值 . 作物品种资源，1995（4）：4-8
Huang H L，Lu P，Zhu Y X，Li Y C.Ecotype diversity and utility value in Chinese Job′s Tears.Journal of Crop Variety Resources，1995（4）：4-8

[4] 梁云涛，陈成斌，徐志健，黄娟，曾华忠，赖群珍，梁世春，罗毓喜，黄仁建 . 东亚薏苡遗传资源研究 . 广西农业科学，2008，39（4）：413-418
Liang Y T，Chen C B，Xu Z J，Huang J，Zeng H Z，Lai Q Z，Liang S C，Luo Y X，Huang R J.Studies on Job′s Tears genetic resources in East Asia.Guangxi Agricultural Sciences，2008，39（4）：413-418

[5] 梁云涛，陈成斌，梁世春，赖群珍，黄娟，徐志健 . 中、日、韩三国薏苡种质资源遗传多样性研究 . 广西农业科学，2006，37

(4): 341-344
Liang Y T, Chen C B, Liang S C, Lai Q Z, Huang J, Xu Z J.Research on genetic diversity of Job′s Tears (*Coix lacryma-jobi* L.) germplasm from China Japan and Korea .Journal of Guangxi Agricultural Sciences, 2006, 37(4): 341-344

[6] 王硕,张世鲍,何金宝,陆光著,杨志清 . 薏苡资源性状的主成分和聚类分析 . 云南农业大学学报, 2013, 28(2): 157-162
Wang S, Zhang S B, He J B, Lu G Z, Yang Z Q.The principal component analysis and cluster analysis of *Coix* resource characteristics.Journal of Yunnan Agricultural University, 2013, 28(2): 157-162

[7] 李春花,王艳青,卢文洁,王梨花 . 云南薏苡种质资源农艺性状的主成分和聚类分析 . 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 277-281
Li C H, Wang Y Q, Lu W J, Wang L H.The principal component and cluster analysis of agronomic traits of *Coix* germplasm resources in Yunnan.Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(2): 277-281

[8] 金关荣,奚秀洁,程舟,陈常理,洛霞虹,李珊 . 薏苡种子形态性状多样性评价 . 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 421-428
Jin G R, Xi X J, Cheng Z, Chen C L, Luo X H, Li S.Evaluation of seed morphological characteristics diversity of Job′s Tears (*Coix lacryma-jobi*) germplasm.Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(3): 421-428

[9] 石明,李祥栋,秦礼康 . 薏苡种质资源描述规范和数据标准 . 北京:中国农业出版社, 2017: 8
Shi M, Li X D, Qin L K.Descriptors and data standard for Job′s Tears (*Coix lacryma-jobi* L.) .Beijing: China Agriculture Press, 2017: 8

[10] 中国科学院中国植物志编辑委员会 . 中国植物志 . 北京:科学出版社, 1997: 289
Chinese Flora Editorial Committee, Chinese Academy of Sciences .Flora of China.Beijng: Science Press, 1997: 289

[11] 兴旺,崔平,潘荣,苏宝忠 . 不同国家甜菜种质资源遗传多样性研究 . 植物遗传资源学报, 2018, 19(1): 76-86
Xing W, Cui P, Pan R, Su B Z.Genetic diversity of sugar beet from different countries.Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(1): 76-86

[12] Ma K H, Kim K H, Dixi A, Yu J W, Chung J W, Lee J H, Cho E G, Kim T S, Park Y J.Newly developed polymorphic microsatellite markers in Job′s Tears (*Coix lacryma-jobi* L.) .Molecular Ecology Notes, 2006, 6(3): 689-691

[13] Ma K H, Kim K H, Dixit A, Chung I M, Gwag J K, Kim T S, Park Y J.Assessment of genetic diversity and relationships among *Coix lacryma-jobi* accessions using microsatellite markers.Biologia Plantarum, 2006, 54: 272-278

[14] 王硕,何金宝,农民英,赵继训,杨志清 . 薏苡种质资源的SRAP分子标记研究 . 中草药, 2015, 46(1): 112-117
Wang S, He J B, Nong M Y, Zhao J X, Yang Z Q.Research on SRAP molecular markers in germplasm resources of *Coix lacryma-jobi*.Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2015, 46(1): 112-117

[15] 郭银萍,彭忠华,赵致,陈志兴,高翔,刘胜传,谢云 . 基于SSR标记的贵州薏苡种质资源遗传多样性分析 . 植物遗传资源学报, 2012, 13(2): 317-320
Guo Y P, Peng Z H, Zhao Z, Chen Z X, Gao X, Liu S C, Xie Y.Genetic diversity analysis of Jobs Tears germplasm resources by SSR markers in Guizhou provience.Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(2): 317-320

[16] 夏法刚,黄金星,季彪俊,詹福杨,谢萍萍,邓邦柱,林宏,郑金贵 . 基于SRAP标记的薏苡种质资源遗传多样性及DNA指纹图谱构建 . 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 413-420
Xia F G, Huang J X, Ji B J, Zhan F Y, Xie P P, Deng B Z, Lin H, Zheng J G.Genetic diversity analysis and DNA fingerprint construction of *Coix lacryma-jobi* germplasm resources by SRAP Marker.Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(3): 413-420

[17] 华东师范大学,上海师范学院 . 种子植物属种检索表 . 北京:人民教育出版社, 1981: 235
East China Normal University, Shanghai Normal University college.Seed plant species retrieval form.Beijing: People′s Education Press, 1981: 235

[18] 乔亚科 . 我国薏苡属植物学名及中名的应用现状及分析 . 河北农业技术师范学院学报, 1996, 10(3): 67-71
Qiao Y K.The present application and the analysis of Chinese name and the scientific name of *Coix* L.in China.Journal of Heibei Agrotecnical Teachers College, 1996, 10(3): 67-71

[19] 庄体德,潘泽惠,姚欣梅 . 薏苡属的遗传变异性及核型演化 . 植物资源与环境, 1994, 3(3): 16-21
Zhuang T D, Pan Z H, Yao X M.Genetic variation and karyotypic evolution of *Coix* L.in China.Journal of Plant Resources and Environment, 1994, 3(3): 16-21

[20] 陆平,左志明 . 广西薏苡资源的分类研究 . 广西农业科学, 1996(2): 81-84
Lu P, Zuo Z M.Study on the toxmomy of *Coix* L.resources in Guangxi.Journal of Guangxi Agricultural Sciences, 1996(2): 81-84

[21] 李英材,覃祖贤 . 广西薏苡资源形状分析与分类 . 西南农业学报, 1995, 8(4): 109-113
Li Y C, Qin Z X.Character analysis of Guangxi Job′s Tears resources and their toxmomy.Southwest China Journa Agricultural Sciences, 1995, 8(4): 109-113

[22] 高微微,赵杨景,何春年 . 我国薏苡属植物种质资源研究概况 . 中草药, 2006, 37(2): 293-295
Gao W W, Zhao Y J, He C N.Survey of research on germplasm resources of *Coix* L.in China.Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2006, 37(2): 293-295

[23] 陈成斌,梁云涛,徐志健,陆宇明,曾华忠,赖群珍,梁世春,罗毓喜 . 广西薏苡种质资源考察报告 . 西南农业学报, 2008, 21(3): 792-797
Chen C B, Liang Y T, Xu Z J, Lu Y M, Zeng H Z, Lai Q Z, Liang S C, Luo Y X.Investigation report on Job′s Tears (*Coix lacryma-jobi* L.) germplasm resources in Guangxi.Southwest China Journal of Agriculture Science, 2008, 21(3): 792-797

[24] 胡标林,万勇,李霞,雷建国,罗向东,严文贵,谢建坤 . 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价 . 作物学报, 2012, 38(5): 829-839
Hu B L, Wan Y, Li X, Lei J G, Luo X D, Yan W G, Xie J K.Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment.Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(5): 829-839

[25] 胡兴雨,王纶,张宗文,陆平,张红生 . 中国黍稷核心种质的构建 . 中国农业科学, 2008, 41(11): 3489-3502
Hu X Y, Wang L, Zhang Z W, Lu P, Zhang H S.Establishment of broomcorn millet core collection in China.Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(11): 3489-3502

[26] 刘艳阳,梅鸿献,杜振伟,王立如,贾银华,潘兆娥,庞保印,杜雄明,王谧 . 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价 . 中国农业科学, 2016, 49(19): 3694-3708
Liu Y Y, Mei H X, Du Z W, Wang L R, Jia Y H, Pan Z E, Pang B Y, Du X M, Wang M.Comprehensive evaluation and genetic diversity analysis of phenotypic traits of core collection in upland cotton.Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(19): 3694-3708