

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2017.01381

## 薏苡种质资源成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选

汪 灿<sup>1,2,\*\*</sup> 周棱波<sup>1,2,\*\*</sup> 张国兵<sup>1,2</sup> 张立异<sup>1</sup> 徐 燕<sup>1</sup> 高 旭<sup>1</sup>  
姜 讷<sup>1</sup> 邵明波<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> 贵州省农业科学院旱粮研究所, 贵州贵阳 550006; <sup>2</sup> 贵州梁丰农业科技有限公司, 贵州贵阳 550006

**摘要:** 以 50 份薏苡种质为材料, 设置正常灌水和干旱胁迫 2 个处理, 测定株高、茎粗、分枝数、主茎节数、分蘖数、单株粒数、单株粒重、千粒重和产量, 采用抗旱性度量值(D 值)、综合抗旱系数(CDC 值)、加权抗旱系数(WDC)、相关分析、频次分析、主成分分析、灰色关联度分析、隶属函数分析、聚类分析和逐步回归分析相结合的方法, 对其进行成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选。结果表明, 各指标对干旱胁迫的反应及关联程度各异。6 个公因子可代表薏苡抗旱性 90.80% 的原始数据信息量。基于 D 值、CDC 值和 WDC 值的供试薏苡种质抗旱性排序相近。供试薏苡种质产量抗旱系数(Y 值)与 D 值、CDC 值和 WDC 值均呈极显著正相关。筛选出成株期抗旱性强的薏苡种质有 yy18-1、yy03-8 和梁丰薏 14-2。分蘖数、单株粒重和千粒重可作为薏苡种质资源成株期抗旱性评价的直观指标。

**关键词:** 薏苡; 成株期; 抗旱性; 抗旱指标; 综合评价

## Identification and Indices Screening of Drought Resistance at Adult Plant Stage in Job's Tears Germplasm Resources

WANG Can<sup>1,2,\*\*</sup>, ZHOU Ling-Bo<sup>1,2,\*\*</sup>, ZHANG Guo-Bing<sup>1,2</sup>, ZHANG Li-Yi<sup>1</sup>, XU Yan<sup>1</sup>, GAO Xu<sup>1</sup>, JIANG Ne<sup>1</sup>, and SHAO Ming-Bo<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Upland Food Crops, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 55006, China; <sup>2</sup> Guizhou Liangfeng Agricultural Science and Technology Co., Ltd., Guiyang 550006, China

**Abstract:** Drought is one of the major problems for Job's tears production. The plant height, culm diameter, branch number, culm node number, tiller number, grain number per plant, grain weight per plant, 1000-grain weight, and yield of 50 accessions of Job's tears germplasm were measured in normal irrigation and drought stress treatments. Drought resistance comprehensive evaluation value (D value), comprehensive drought resistance coefficient (CDC value), and weight drought resistance coefficient (WDC value) were used in correlation analysis, frequency analysis, principal component analysis, grey relational analysis, subordinate function analysis, clustering analysis, and stepwise regression analysis to identify and screen drought resistance indices at adult plant stage of tested Job's tears germplasm. There were differences in response to drought stress and correlations between all indices. Six common factors could represent 90.80% of the original information of Job's tears drought resistance data. The ranks of drought resistance of tested Job's tears germplasm based on D value, CDC value, and WDC value were similar. The yield drought resistance coefficient (Y value) of tested Job's tears germplasm had significant and positive correlation with D value, CDC value, and WDC value. Liangfengyi 14-2, yy03-8, and yy18-1 were identified as drought resistant Job's tears germplasm at adult plant stage. Tiller number, grain weight per plant, and 1000-grain weight could be used as the intuitive identification indices for drought resistance in Job's tears germplasm resources at adult plant stage.

**Keywords:** Job's tears; Adult plant stage; Drought resistance; Drought resistance indices; Comprehensive evaluation

薏苡(*Coix lacryma-jobi* L.)是禾本科(Gramineae) 薏苡属(*Coix*)一年生草本植物, 是传统药食兼用经

本研究由贵州省农业攻关计划项目(黔科合机农字[2013]4025 号)和贵州省农业动植物育种专项资金项目(黔农育专字[2012]023 号)资助。  
This study was supported by the Guizhou Agricultural Research Plan Project (QKHNZ[2013]4025) and the Special Funds for Guizhou Agricultural Animal and Plant Breeding (QNYZZ[2012]023).

\* 通讯作者(Corresponding author): 邵明波, E-mail: 563189433@qq.com    \*\* 同等贡献(Contributed equally to the work)

第一作者联系方式: 汪灿, E-mail: wangc.1989@163.com; 周棱波, E-mail: 81977709@qq.com

Received(收稿日期): 2017-01-14; Accepted(接受日期): 2017-04-20; Published online(网络出版日期): 2017-04-27.

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20170427.0948.004.html>

济作物，因其具有极高的营养价值和重要的药用价值，越来越受到人们的喜爱<sup>[1-2]</sup>。薏苡主要食用和药用部位为种仁，是一种高蛋白质、中脂肪、中糖的绿色食品，具有健脾利湿、除脾止泻、清热解毒等功效，其营养堪称“禾本科植物之王”<sup>[3-4]</sup>。我国是薏苡的生产大国，主产区集中在西南和华南地区，其中以贵州省兴仁县种植面积最大，是全国乃至东南亚地区的薏苡加工销售集散地<sup>[5-6]</sup>。随着全球气候的变暖和生态平衡的破坏，干旱已成为我国乃至世界广大粮食产区农业生产长期面临的主要制约因素<sup>[7]</sup>。在我国的大多数薏苡产区，虽然雨量充沛，但雨量不均，土壤保水能力较差，具不同程度春旱和伏旱的威胁，干旱已成为制约薏苡生产的主要限制条件<sup>[8]</sup>。因此，对薏苡种质资源进行成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选，对薏苡抗旱育种、抗旱资源利用及品种的生产应用与合理布局具有重要意义。作物抗旱性属于复杂的数量性状，由多基因遗传控制，受环境条件影响较大<sup>[9]</sup>。作物抗旱性鉴定及抗旱指标筛选需要将形态、生理、产量等指标相结合，对各个时期进行综合评价<sup>[10]</sup>。因此，简单有效的鉴定指标及其评价方法的合理选择是作物抗旱性鉴定的关键<sup>[11-12]</sup>。长期以来，国内外学者在作物抗旱性方面开展了大量研究工作，提出了多种抗旱性鉴定方法和评价指标<sup>[13-16]</sup>。近年来，随着作物抗旱性研究的发展，采用相关分析、频次分析、主成分分析、隶属函数分析、聚类分析、灰色关联度分析和逐步回归分析等相结合的方法综合评价，可以避免单一指标的片面性和不稳定性，已在绿豆<sup>[17-19]</sup>、大豆<sup>[20-21]</sup>、胡麻<sup>[22-24]</sup>、谷子<sup>[25-26]</sup>、高粱<sup>[27-28]</sup>、油菜<sup>[29-30]</sup>、棉花<sup>[31]</sup>等作物抗旱性鉴定及抗旱指标筛选上被广泛应用。目前，关于薏苡种质资源抗旱性鉴定及抗旱指标筛选的研究鲜见报道，仅有陈宁和钱晓刚<sup>[8]</sup>对 9 份薏苡种质萌发期抗旱性能的初步探索。为此，本研究在旱棚条件下研究了 50 份薏苡种质的株高、茎粗、分枝数、主茎节数、分蘖数、单株粒数、单株粒重、千粒重和产量的变化，以期为薏苡抗旱育种、抗旱机制及干旱调控缓解机制的研究提供基础材料与评价指标。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

薏苡种质 50 份，包括野生种 3 份、国审品种 2 份、黔薏苡 1 号选系 3 份、黔薏苡 2 号选系 3 份、云南地方品种 3 份、广西地方品种 5 份、四川地方

品种 3 份、盘县地方品种 10 份、晴隆地方品种 5 份、兴仁地方品种 5 份、正安地方品种 4 份、安龙地方品种 4 份(表 1)。

### 1.2 试验设计

2015—2016 连续 2 年在贵州省旱粮研究所旱棚内进行田间试验。试验地土壤为黄壤土，含有机质 27.93 g kg<sup>-1</sup>、全氮 1.45 g kg<sup>-1</sup>、全磷 1.01 g kg<sup>-1</sup>、全钾 14.23 g kg<sup>-1</sup>、碱解氮 93.1 mg kg<sup>-1</sup>、有效磷 31.33 mg kg<sup>-1</sup>、速效钾 656.67 mg kg<sup>-1</sup>, pH 7.6。

设正常灌水(CK)和干旱胁迫(T) 2 个处理，3 次重复，对各处理供试材料采用随机区组排列，小区面积 10 m<sup>2</sup> (2.5 m × 4.0 m)，行距 50 cm，穴距 20 cm，每穴留苗 2 株，种植 5 行，小区之间留一空行，区组间隔 60 cm，播种行与区组走向垂直，试验地四周播种 3 行保护行，分别于 2015 年 4 月 15 日和 2016 年 4 月 12 日人工直播。播种前施总养分 45% 的高效复合肥(含 N 14%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16%、K<sub>2</sub>O 15%) 300 kg hm<sup>-2</sup> 作为种肥。小区之间埋 40 cm 深的透明塑料薄膜防水。干旱胁迫处理分别于播种前和苗期灌水至田间持水量的 80.0% (16.5% 绝对含水量)，之后不再灌水，使其充分受旱。对照处理按当地大田生产管理，分别于播种前、苗期、孕穗期、抽穗期和灌浆期灌水至田间持水量的 80.0% (16.5% 绝对含水量)，以满足正常生长发育的水分需求。

### 1.3 测定项目与方法

于成熟期收获前 3 d，从每小区随机选择 10 株植株，量取主茎自地面至植株顶端总苞的距离，即为株高(plant height, PH); 用游标卡尺量取主茎中部最长节间中部的直径(不包括叶鞘)，即为茎粗(culm diameter, CD); 调查植株地上部节位叶芽萌生的能够结实的一级分枝数目，即为分枝数(branch number, BN); 调查主茎具有的可见实际节数，即为主茎节数(culm node number, CNN); 调查单株一级分蘖总数(包括有效分蘖和无效分蘖)，即为分蘖数(tiller number, TN)。人工脱粒后调查单株粒数(grain number per plant, GNPP)，待自然充分干燥后测定单株粒重(grain weight per plant, GWPP)、千粒重(1000-grain weight, TGW)和产量(yield, Y)。

### 1.4 数据处理与分析

用 Microsoft Excel 2013 整理数据，用 SPSS 19 统计分析。以 2015 和 2016 两年的平均值作为基础数据，参照兰巨生<sup>[32]</sup>、尹利等<sup>[33]</sup>、祁旭升等<sup>[22]</sup>、张彦军等<sup>[23]</sup>、罗俊杰等<sup>[24]</sup>的方法，采用配对处理 t 检

表1 50份薏苡种质信息

Table 1 Information of 50 accessions of Job's tears germplasm

编号 Number	名称 Name	来源 Origin
YG01	yy13-1	野生种 Wild species
YG02	yy13-2	野生种 Wild species
YG03	yy13-3	野生种 Wild species
YG04	梁丰薏 16-2 Liangfengyi 16-2	黔薏苡 2 号选系 Derived from Qianyiyi 2
YG05	黔薏苡 1 号 Qianyiyi 1	国审品种 National authorized cultivar
YG06	黔薏苡 16-1 Qianyiyi 16-1	黔薏苡 1 号选系 Derived from Qianyiyi 1
YG07	梁丰薏 16-1 Liangfengyi 16-1	黔薏苡 1 号选系 Derived from Qianyiyi 1
YG08	黔薏苡 16-2 Qianyiyi 16-2	黔薏苡 2 号选系 Derived from Qianyiyi 2
YG09	梁丰薏 14-1 Liangfengyi 14-1	黔薏苡 1 号选系 Derived from Qianyiyi 1
YG10	梁丰薏 14-2 Liangfengyi 14-2	黔薏苡 2 号选系 Derived from Qianyiyi 2
YG11	yy07-8	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG12	yy12-1	正安地方品种 Landrace in Zheng'an
YG13	yy04-2	云南地方品种 Landrace in Yunnan
YG14	yy07-2	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG15	yy04-7	云南地方品种 Landrace in Yunnan
YG16	yy07-3	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG17	yy03-6	晴隆地方品种 Landrace in Qinglong
YG18	yy07-5	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG19	yy11-2	广西地方品种 Landrace in Guangxi
YG20	yy07-1	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG21	黔薏苡 2 号 Qianyiyi 2	国审品种 National authorized cultivar
YG22	yy11-8	广西地方品种 Landrace in Guangxi
YG23	yy08-9	安龙地方品种 Landrace in Anlong
YG24	yy18-2	兴仁地方品种 Landrace in Xingren
YG25	yy07-4	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG26	yy03-4	晴隆地方品种 Landrace in Qinglong
YG27	yy18-1	兴仁地方品种 Landrace in Xingren
YG28	yy12-2	正安地方品种 Landrace in Zheng'an
YG29	yy14-5	广西地方品种 Landrace in Guangxi
YG30	yy08-4	安龙地方品种 Landrace in Anlong
YG31	yy14-2	广西地方品种 Landrace in Guangxi
YG32	yy16-3	兴仁地方品种 Landrace in Xingren
YG33	yy07-6	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG34	yy14-6	广西地方品种 Landrace in Guangxi
YG35	yy03-2	晴隆地方品种 Landrace in Qinglong
YG36	yy03-8	晴隆地方品种 Landrace in Qinglong
YG37	yy14-3	四川地方品种 Landrace in Sichuan
YG38	yy14-10	四川地方品种 Landrace in Sichuan
YG39	yy03-7	晴隆地方品种 Landrace in Qinglong
YG40	yy14-7	四川地方品种 Landrace in Sichuan
YG41	yy07-7	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG42	yy06-1	兴仁地方品种 Landrace in Xingren
YG43	yy07-10	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG44	yy12-3	正安地方品种 Landrace in Zheng'an
YG45	yy04-6	云南地方品种 Landrace in Yunnan
YG46	yy19-8	安龙地方品种 Landrace in Anlong
YG47	yy18-4	兴仁地方品种 Landrace in Xingren
YG48	yy08-5	安龙地方品种 Landrace in Anlong
YG49	yy07-9	盘县地方品种 Landrace in Panxian
YG50	yy12-7	正安地方品种 Landrace in Zheng'an

验对各指标测定值进行平均数差异显著性检测。按公式(1)和(2)分别计算单项抗旱系数(drought resistance coefficient, DC)和综合抗旱系数(comprehensive drought resistance coefficient, CDC)。式中  $x_i$  和  $CK_i$  分别表示干旱胁迫和正常灌水处理的指标测定值。

$$DC = \frac{x_i}{CK_i} \quad (1)$$

$$CDC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n DC \quad (2)$$

针对各指标 DC 值, 进行简单相关分析、连续变数次数分布统计分析和主成分分析。按公式(3)、(4)和(5)分别计算因子权重系数( $\omega_i$ )、各基因型各综合指标的隶属函数值 [ $\mu(x_i)$ ] 和抗旱性度量值(drought resistance comprehensive evaluation value, D)。式中  $P_i$  为第  $i$  个综合指标贡献率, 表示第  $i$  个指标在所有指标中的重要程度,  $x_i$ 、 $x_{imax}$  和  $x_{imin}$  分别表示第  $i$  个综合指标及第  $i$  个综合指标的最大值和最小值。

$$\omega_i = P_i \div \sum_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

$$\mu(x_i) = \frac{x_i - x_{imin}}{x_{imax} - x_{imin}} \quad (4)$$

$$D = \sum_{i=1}^n \left[ \mu(x_i) \times \left( P_i \div \sum_{i=1}^n P_i \right) \right] \quad (5)$$

以各指标 DC 值为比较序列, D 值为参考序列进行灰色关联度分析, 获得各指标 DC 值与 D 值间的关联度( $\gamma_D$ ), 按公式(6)和(7)分别计算各指标权重系数 [ $\omega_{i(\gamma)}$ ] 和加权抗旱系数(weight drought resistance coefficient, WDC)。式中  $\gamma_i$  为各指标关联度。

$$\omega_{i(\gamma)} = \gamma_i \div \sum_{i=1}^n \gamma_i \quad (6)$$

$$WDC = \sum_{i=1}^n \left[ DC \times \left( \gamma_i \div \sum_{i=1}^n \gamma_i \right) \right] \quad (7)$$

以各指标 DC 值为比较序列, WDC 值为参考序列进行灰色关联度分析, 获得各指标 DC 值与 WDC 值间的关联度( $\gamma_{WDC}$ )。最后针对供试薏苡种质 D 值, 采用欧式距离和加权配对算术平均法(weighted pair group method average, WPGMA)进行聚类分析, 划分抗旱级别, 并分别以 D 值、CDC 值和 WDC 值为参考序列, 对各指标 DC 值进行逐步回归分析, 求取回归方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 供试种质的代表性及其指标测定值分析

干旱胁迫对供试种质各指标测定值均有显著影

响, 处理间和种质间的差异均达显著水平(表 2)。种质间变异系数介于 0.071~0.478 之间, 说明本试验所选薏苡种质类型丰富, 所选指标对干旱胁迫反应较敏感, 干旱胁迫处理效果好, 具有较好的代表性。此外, 供试种质各指标在干旱胁迫和正常灌水处理下测定值的相关系数介于 0.174~0.848 之间, 进一步说明各指标对干旱胁迫反应的敏感性存在差异, 采用各指标测定值难以直接考察其抗旱性。

### 2.2 单项指标分析

与正常灌水处理相比, 供试种质在干旱胁迫处理后, 各指标均发生不同程度变化(表 3)。同一指标各种质的 DC 值差异明显, 变异系数介于 0.216~0.372 之间, 但不同种质间 DC 值所反映的抗旱性不同, 且同一种质各指标的 DC 值存在较大差异, 说明各指标对干旱胁迫反应的敏感性各异。

相关分析表明(表 4), 各指标都至少与一个其他指标呈显著或极显著相关。其中, 产量与主茎节数、分蘖数、单株粒数、单株粒重和千粒重呈极显著正相关, 与茎粗呈显著正相关, 与株高和分枝数不相关。此外, 同一区间各指标 DC 值分布次数和频率相差较大(表 5)。DC > 0.6 的株高、茎粗、分枝数、主茎节数、分蘖数、单株粒数、单株粒重、千粒重和产量的分布频率分别为 62%、62%、72%、70%、60%、66%、48%、44% 和 72%, 各指标对干旱胁迫的敏感性由强至弱依次为千粒重、单株粒重、分蘖数、茎粗、株高、单株粒数、主茎节数、产量和分枝数。因此, 直接采用这些指标会由于指标间信息重叠, 很难客观、准确地评价各种质的抗旱性, 从而影响抗旱鉴定结果。

### 2.3 主成分分析

各因子特征值中前 6 个因子的累计贡献率达 90.80%, 其特征根  $\lambda > 0.530$  (表 6)。因此, 抽取前 6 个因子, 将具有相同本质的变量归为一类, 可将原来各单项指标转换成 6 个新的相互独立的综合指标(分别用 F1、F2、F3、F4、F5 和 F6 表示)。F1 在单株粒数上有较高载荷量, F2 在分枝数、分蘖数和产量上有较高载荷量, F3 在株高和单株粒重上有较高载荷量, F4 在千粒重上有较高载荷量, F5 在茎粗上有较高载荷量, F6 在主茎节数上有较高载荷量。

### 2.4 供试种质抗旱性的综合评价

供试种质 CDC 值和 WDC 值分别介于 0.246~0.957 之间和 0.244~0.956 之间, 平均值分别为 0.644 和 0.640, 变异系数分别为 0.179 和 0.182,

表2 干旱胁迫和正常灌水条件下供试蕙草种质各指标测定值及其均值差异性分析

Table 2 Measured values of all indices in tested Job's tears germplasm under drought stress and normal irrigation and its mean variance analysis

编号 Code	株高 PH		茎粗 CD		分枝数 BN		主茎节数 CNN		分蘖数 TN		单株粒数 GNPP		单株粒重 GWPP		千粒重 TGW		产量 Y	
	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T
YG01	194.68	124.68	8.68	3.39	6.67	5.27	10.57	8.07	4.77	4.19	103.19	59.72	96.23	78.15	89.83	75.24	4975.28	3694.67
YG02	212.36	167.13	9.23	7.67	7.15	5.06	12.58	11.23	5.85	4.28	97.46	69.22	89.83	75.24	85.60	47.35	4840.28	3346.82
YG03	224.78	196.23	9.03	6.75	4.94	2.43	6.58	4.49	6.27	4.12	95.32	66.22	85.60	47.35	101.50	49.04	4625.36	3879.40
YG04	209.87	183.22	10.11	4.33	4.64	2.23	7.03	4.13	4.07	1.81	126.03	97.07	106.58	69.25	81.13	24.80	4524.11	3209.25
YG05	235.09	210.88	6.81	3.38	4.94	2.66	6.97	3.13	3.26	1.31	106.40	64.83	81.13	24.80	111.65	24.33	5920.06	4533.46
YG06	183.64	109.27	7.70	5.50	4.70	3.17	7.79	4.03	4.12	2.57	127.10	56.49	107.33	60.48	99.81	47.91	4353.59	3093.30
YG07	193.22	84.24	7.10	2.42	4.19	2.40	6.61	4.53	3.67	1.95	120.25	61.23	111.46	76.74	91.35	35.19	5200.86	2737.59
YG08	211.49	151.00	8.44	5.91	2.61	1.93	8.68	3.98	2.29	1.57	112.95	62.74	96.09	77.27	72.74	53.16	4920.21	2967.53
YG09	209.71	169.03	10.55	9.62	2.02	1.54	6.22	3.54	2.78	1.26	110.48	75.91	113.34	91.71	104.55	73.37	4621.80	3040.24
YG10	212.36	191.55	10.49	8.71	3.32	2.00	9.92	6.45	2.91	1.63	99.23	77.75	89.47	82.35	111.65	56.52	4520.56	3678.95
YG11	198.75	142.11	10.32	9.34	3.71	3.10	7.11	5.15	3.26	2.52	99.86	88.02	108.53	51.49	110.97	93.21	4378.46	3450.98
YG12	193.24	103.96	9.91	8.90	2.83	1.92	8.46	5.54	2.48	1.56	115.74	94.09	87.78	69.25	116.05	53.53	5106.72	4176.16
YG13	180.38	76.66	10.42	9.00	3.94	2.72	9.02	4.92	3.46	2.21	103.90	86.96	99.45	45.16	82.89	62.51	4584.50	3859.75
YG14	209.44	164.62	9.58	8.58	4.31	3.04	8.33	7.28	3.78	2.46	123.74	87.13	104.55	69.65	104.55	69.65	5459.97	3867.11
YG15	210.56	169.29	7.39	3.74	3.05	2.42	10.13	9.56	2.68	1.97	114.80	49.85	114.10	39.47	114.10	39.47	5065.30	2212.73
YG16	201.49	144.87	9.80	7.88	3.47	2.33	11.79	10.04	3.04	1.89	106.66	84.44	93.25	36.17	93.25	26.17	5062.31	3835.72
YG17	198.76	106.93	8.95	6.54	7.63	4.77	9.49	7.58	5.32	2.14	108.44	83.15	109.59	79.80	109.59	79.80	4639.69	3776.92
YG18	223.47	188.83	10.52	9.97	7.50	4.33	6.70	5.46	6.69	3.88	109.96	59.29	109.24	42.39	109.24	42.39	4851.61	2768.79
YG19	235.86	190.81	7.82	6.29	4.36	3.14	7.65	3.98	6.58	3.52	125.84	55.20	109.34	37.58	109.59	33.99	5972.39	2578.08
YG20	215.77	161.61	9.86	8.15	4.82	3.54	6.16	5.01	3.82	2.56	102.75	70.48	109.59	33.99	112.28	93.61	4876.87	3035.42
YG21	205.78	171.00	9.26	7.38	4.83	3.51	6.16	5.14	4.22	2.88	99.41	75.59	112.28	93.61	101.40	53.89	4717.94	3255.48
YG22	214.59	135.62	10.48	5.69	4.76	3.18	6.66	6.01	4.24	2.85	127.03	105.04	101.40	53.89	97.58	63.92	6029.08	4905.70
YG23	209.87	149.85	9.44	4.47	4.09	1.66	7.04	3.22	4.18	2.58	104.45	79.08	97.58	63.92	87.58	47.20	4957.51	3832.24
YG24	224.68	136.83	8.84	7.82	5.69	5.27	11.46	10.62	3.58	1.35	121.46	80.49	87.58	47.20	100.57	52.63	5911.34	3759.12
YG25	198.76	136.55	7.85	5.44	5.01	3.96	8.41	6.04	4.39	3.22	96.20	50.92	100.57	52.63	85.24	28.89	4523.90	2390.96
YG26	204.43	151.69	10.06	8.24	4.36	3.22	10.40	7.04	3.83	2.61	93.83	66.31	85.24	28.89	99.93	66.67	4693.92	2644.20
YG27	224.89	219.94	10.73	10.59	5.44	5.28	8.10	8.09	4.99	4.62	118.37	108.61	93.29	87.39	100.15	97.50	6133.96	5680.05
YG28	213.54	115.10	9.59	3.72	3.40	1.75	10.29	7.98	2.98	1.42	87.04	35.89	99.93	66.67	113.16	50.28	4370.52	1795.40
YG29	224.98	111.82	7.85	3.10	3.81	1.98	10.55	6.68	3.34	1.61	88.38	38.24	113.16	50.28	88.18	68.06	4882.42	3032.97
YG30	209.87	83.74	7.31	5.02	2.69	1.86	12.20	8.12	2.36	1.13	102.87	64.59	88.18	68.06	92.29	50.28	4590.43	2825.84
YG31	214.33	114.88	8.45	4.84	5.43	3.57	11.25	6.51	4.77	2.90	96.72	65.61	92.29	50.28	85.82	57.78	5396.74	2578.08
YG32	178.43	117.41	7.87	4.30	6.07	3.16	9.26	8.10	5.33	2.57	113.71	55.20	85.82	57.78	109.90	34.10	5780.51	4027.96
YG33	209.89	126.14	9.54	8.93	4.19	2.05	9.02	6.97	3.68	1.67	121.79	86.25	109.90	34.10	105.10	82.89	5096.60	3784.14
YG34	215.76	129.24	10.06	4.07	6.72	5.40	7.85	6.18	5.89	4.39	107.38	87.86	105.10	82.89	94.35	53.06	4967.42	3608.27
YG35	223.46	186.14	8.30	5.24	7.73	6.48	9.79	7.79	7.07	5.57	114.66	83.78	94.35	53.06	92.58	75.00	4523.90	3285.17
YG36	249.31	227.87	9.94	9.43	6.40	6.14	9.50	8.99	6.52	5.93	94.50	83.37	110.25	102.19	93.29	88.39	4463.72	3906.92
YG37	214.59	150.43	8.16	5.53	2.63	1.42	10.61	7.99	2.31	1.16	99.97	76.28	92.58	75.00	95.50	56.13	4668.05	2988.26
YG38	234.07	203.87	8.30	6.47	3.73	2.86	7.64	6.14	3.27	2.32	82.31	69.38	103.17	29.17	116.18	93.19	5091.24	3690.35
YG39	215.87	127.15	10.10	5.51	7.02	4.42	8.64	5.15	6.16	3.59	109.53	82.62	108.13	68.58	93.75	69.60	4988.81	3149.72
YG40	205.78	105.36	8.32	3.37	4.21	3.71	9.26	7.80	3.69	3.01	106.55	65.75	95.50	56.13	97.00	71.30	4927.99	3054.27
YG41	214.96	114.57	10.56	4.72	2.77	2.03	8.20	6.72	2.43	1.22	103.83	67.24	116.18	93.19	105.21	36.52	5261.55	2897.46

(续表2)

编号 Code	株高 PH		茎粗 CD		分枝数 BN		主茎节数 CNN		分蘖数 TN		单株粒数 GNPP		单株粒重 GWPP		千粒重 TGW		产量 Y	
	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T
YG42	211.41	139.11	9.25	4.74	4.85	3.26	7.07	5.18	4.26	2.65	119.25	65.28	93.75	69.60	128.59	96.95	5374.93	4193.39
YG43	187.75	74.72	8.54	6.78	5.68	4.97	8.13	6.40	4.98	4.04	121.82	94.48	97.00	71.30	107.29	89.28	4873.05	3261.44
YG44	208.51	86.53	7.49	4.96	8.01	7.35	9.49	4.89	5.54	4.53	102.67	71.80	105.21	46.52	85.95	51.13	4643.18	1957.45
YG45	214.98	116.52	8.09	6.51	3.84	1.61	10.21	5.64	3.95	1.30	97.83	43.09	108.59	56.95	97.03	43.87	4817.93	3825.92
YG46	179.49	70.18	9.35	2.24	5.35	1.87	12.40	4.15	2.93	0.93	120.88	46.35	117.57	32.32	94.94	20.00	4303.99	1685.37
YG47	223.49	166.50	9.35	3.97	7.13	5.90	11.13	7.47	6.26	4.79	101.51	69.68	85.95	51.13	103.17	29.17	4332.83	1983.52
YG48	211.67	133.14	8.83	7.18	6.62	6.13	12.91	8.59	5.81	4.98	91.29	36.13	97.03	43.87	117.57	32.32	4950.23	3110.52
YG49	193.27	88.71	7.82	6.22	5.76	4.30	10.98	5.35	5.06	3.49	104.30	56.65	107.29	89.28	108.13	68.58	4571.70	1886.11
YG50	198.88	59.47	7.11	1.27	4.82	0.98	12.72	2.82	4.97	0.97	96.32	34.35	94.94	20.00	109.24	19.20	5736.90	2164.48
Ave.	209.84	139.74	8.99	6.08	4.88	3.38	9.10	6.32	4.28	2.71	107.12	69.91	100.45	59.68	100.38	56.58	4961.64	3258.07
CV	0.071	0.297	0.123	0.372	0.313	0.457	0.212	0.314	0.309	0.478	0.106	0.253	0.097	0.341	0.113	0.387	0.098	0.248
SE	4.568		0.258		0.121		0.264		0.106		2.347		2.963		3.202		1.929	
t	15.35		11.30		12.28		10.54		14.81		15.85		13.76		13.68		16.83	
P	0.0001**		0.0001**		0.0001**		0.0001**		0.0001**		0.0001**		0.0001**		0.0001**		0.0001	
r	0.727		0.600		0.848		0.544		0.837		0.415		0.174		0.191		0.478	

数据为 2015 和 2016 两年的平均值。CK: 正常供水处理; T: 反复干旱处理。\*\*表示在  $P < 0.01$  水平差异显著。

PH: plant height; CD: culm diameter; BN: branch number; CNN: culm node number; TN: tiller number; GNPP: grain number per plant; GWPP: grain weight per plant; Data are the mean across 2015 and 2016. CK: normal water supply treatments; T: repeated drought treatments.  
\*\*: significantly different at  $P < 0.01$ .

表 3 供试薏苡种质各指标的抗旱系数  
Table 3 Drought resistance coefficients of all indices in tested Job's tears germplasm

编号 Code	株高 PH	茎粗 CD	分枝数 BN	主茎节数 CNN	分蘖数 TN	单株粒数 GNPP	单株粒重 GWPP	千粒重 TGW	产量 Y
YG01	0.640	0.391	0.790	0.764	0.879	0.579	0.812	0.838	0.743
YG02	0.787	0.831	0.709	0.893	0.732	0.710	0.838	0.553	0.691
YG03	0.873	0.748	0.492	0.682	0.657	0.695	0.553	0.483	0.839
YG04	0.873	0.428	0.480	0.587	0.445	0.770	0.650	0.306	0.709
YG05	0.897	0.496	0.537	0.449	0.402	0.609	0.306	0.218	0.766
YG06	0.595	0.714	0.674	0.517	0.625	0.444	0.563	0.480	0.711
YG07	0.436	0.342	0.573	0.685	0.531	0.509	0.688	0.385	0.526
YG08	0.714	0.701	0.737	0.459	0.683	0.555	0.804	0.731	0.603
YG09	0.806	0.912	0.763	0.570	0.452	0.687	0.809	0.702	0.658
YG10	0.902	0.831	0.602	0.651	0.558	0.784	0.920	0.506	0.814
YG11	0.715	0.905	0.834	0.725	0.773	0.881	0.474	0.840	0.788
YG12	0.538	0.898	0.678	0.654	0.629	0.813	0.789	0.461	0.818
YG13	0.425	0.864	0.689	0.545	0.639	0.837	0.454	0.754	0.842
YG14	0.786	0.896	0.705	0.874	0.649	0.704	0.666	0.666	0.708
YG15	0.804	0.506	0.793	0.944	0.735	0.434	0.346	0.346	0.437
YG16	0.719	0.805	0.671	0.851	0.622	0.792	0.388	0.281	0.758

(续表 3)

编号 Code	株高 PH	茎粗 CD	分枝数 BN	主茎节数 CNN	分蘖数 TN	单株粒数 GNPP	单株粒重 GWPP	千粒重 TGW	产量 Y
YG17	0.538	0.731	0.625	0.799	0.401	0.767	0.728	0.728	0.814
YG18	0.845	0.948	0.577	0.814	0.580	0.539	0.388	0.388	0.571
YG19	0.809	0.805	0.722	0.521	0.535	0.439	0.344	0.310	0.432
YG20	0.749	0.826	0.736	0.812	0.669	0.686	0.310	0.834	0.622
YG21	0.831	0.797	0.726	0.834	0.682	0.760	0.834	0.531	0.690
YG22	0.632	0.543	0.668	0.903	0.673	0.827	0.531	0.655	0.814
YG23	0.714	0.474	0.406	0.458	0.619	0.757	0.655	0.539	0.773
YG24	0.609	0.885	0.926	0.926	0.377	0.663	0.539	0.523	0.636
YG25	0.687	0.694	0.792	0.719	0.734	0.529	0.523	0.339	0.529
YG26	0.742	0.819	0.737	0.677	0.683	0.707	0.339	0.667	0.563
YG27	0.978	0.987	0.971	0.998	0.926	0.918	0.937	0.974	0.926
YG28	0.539	0.388	0.515	0.776	0.477	0.412	0.667	0.444	0.411
YG29	0.497	0.396	0.520	0.633	0.482	0.433	0.444	0.772	0.621
YG30	0.399	0.687	0.691	0.666	0.477	0.628	0.772	0.545	0.616
YG31	0.536	0.572	0.657	0.579	0.609	0.678	0.545	0.673	0.478
YG32	0.658	0.547	0.520	0.875	0.482	0.485	0.673	0.310	0.697
YG33	0.601	0.936	0.489	0.772	0.453	0.708	0.310	0.789	0.742
YG34	0.599	0.405	0.805	0.786	0.746	0.818	0.789	0.562	0.726
YG35	0.833	0.631	0.838	0.796	0.788	0.731	0.562	0.810	0.726
YG36	0.914	0.949	0.960	0.947	0.909	0.882	0.927	0.947	0.875
YG37	0.701	0.678	0.541	0.753	0.501	0.763	0.810	0.588	0.640
YG38	0.871	0.779	0.767	0.804	0.711	0.843	0.283	0.802	0.725
YG39	0.589	0.545	0.629	0.596	0.583	0.754	0.634	0.742	0.631
YG40	0.512	0.406	0.880	0.842	0.816	0.617	0.588	0.735	0.620
YG41	0.533	0.447	0.733	0.819	0.502	0.648	0.802	0.347	0.551
YG42	0.658	0.513	0.671	0.733	0.622	0.547	0.742	0.754	0.780
YG43	0.398	0.794	0.876	0.787	0.812	0.776	0.735	0.832	0.669
YG44	0.415	0.662	0.918	0.515	0.818	0.699	0.442	0.595	0.422
YG45	0.542	0.805	0.418	0.552	0.328	0.440	0.524	0.452	0.794
YG46	0.391	0.239	0.350	0.335	0.318	0.383	0.275	0.211	0.392
YG47	0.745	0.425	0.826	0.671	0.766	0.686	0.595	0.283	0.458
YG48	0.629	0.813	0.925	0.665	0.858	0.396	0.452	0.275	0.628
YG49	0.459	0.796	0.745	0.487	0.691	0.543	0.832	0.634	0.413
YG50	0.299	0.178	0.203	0.222	0.195	0.357	0.211	0.176	0.377
平均值 Ave.	0.659	0.667	0.682	0.698	0.617	0.652	0.596	0.566	0.655
变异系数 CV	0.251	0.312	0.241	0.239	0.264	0.231	0.332	0.372	0.216

PH: plant height; SD: culm diameter; BN: branch number; CNN: culm node number; TN: tiller number; GNPP: grain number per plant;  
GWPP: grain weight per plant.

表4 供试薏苡种质各指标抗旱系数的相关性

Table 4 Correlation coefficients between drought resistance coefficients of all indices in tested Job's tears germplasm

指标 Index	株高 PH	茎粗 CD	分枝数 BN	主茎节数 CNN	分蘖数 TN	单株粒数 GNPP	单株粒重 GWPP	千粒重 TGW
茎粗 CD	0.409**							
分枝数 BN	0.235	0.431**						
主茎节数 CNN	0.396**	0.347*	0.531**					
分蘖数 TN	0.317*	0.286	0.481**	0.452**				
单株粒数 GNPP	0.365**	0.446**	0.378**	0.408**	0.401**			
单株粒重 GWPP	0.130	0.144	0.290*	0.298*	0.282*	0.348*		
千粒重 TGW	0.110	0.390**	0.450**	0.358**	0.481**	0.445**	0.316*	
产量 Y	0.212	0.341*	0.122	0.372**	0.417**	0.433**	0.442**	0.452**

\*和\*\*分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平显著相关。

\* and \*\* are significant correlation at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively. PH: plant height; SD: culm diameter; BN: branch number; CNN: culm node number; TN: tiller number; GNPP: grain number per plant; GWPP: grain weight per plant.

表5 供试薏苡种质各指标抗旱系数在不同区间的分布

Table 5 Distributions in different DC intervals for drought resistance coefficients of all indices in tested Job's tears germplasm

指标 Index	0 < DC < 0.2		0.2 < DC < 0.4		0.4 < DC < 0.6		0.6 < DC < 0.8		0.8 < DC < 1	
	次数 Times	频率 Freq. (%)	次数 Times	频率 Freq. (%)	次数 Times	频率 Freq. (%)	次数 Times	频率 Freq. (%)	次数 Times	频率 Freq. (%)
株高 PH	0	0	4	8	15	30	18	36	13	26
茎粗 CD	1	2	5	10	13	26	13	26	18	36
分枝数 BN	0	0	2	4	12	24	25	50	11	22
主茎节数 CNN	0	0	2	4	13	26	20	40	15	30
分蘖数 TN	1	2	3	6	16	32	23	46	7	14
单株粒数 GNPP	0	0	3	6	14	28	25	50	8	16
单株粒重 GWPP	0	0	11	22	15	30	13	26	11	22
千粒重 TGW	1	2	13	26	14	28	14	28	8	16
产量 Y	0	0	2	4	12	24	28	56	8	16

Freq.: frequency. PH: plant height; CD: culm diameter; BN: branch number; CNN: culm node number; TN: tiller number; GNPP: grain number per plant; GWPP: grain weight per plant.

表6 供试薏苡种质各指标主成分的特征向量及贡献率

Table 6 Eigenvectors and contribution rates of principal components of all indices in tested Job's tears germplasm

指标 Index	因子载荷 Factor loading					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
株高 PH	0.272	0.289	-0.589	0.351	-0.076	0.381
茎粗 CD	0.325	0.190	-0.295	-0.403	0.713	-0.164
分枝数 BN	0.360	-0.534	-0.119	-0.057	0.156	0.028
主茎节数 CNN	0.349	-0.109	-0.184	0.329	-0.263	-0.789
分蘖数 TN	0.360	-0.473	-0.075	0.010	-0.199	0.408
单株粒数 GNPP	0.383	0.261	0.176	-0.144	-0.249	0.163
单株粒重 GWPP	0.248	0.006	0.557	0.617	0.472	0.098
千粒重 TGW	0.350	-0.054	0.388	-0.450	-0.183	-0.047
产量 Y	0.331	0.537	0.147	-0.009	-0.187	-0.005
特征根 Characteristic root	4.012	1.255	1.008	0.800	0.566	0.530
贡献率 Contribution rate (%)	44.58	13.94	11.20	8.89	6.29	5.89
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	44.58	58.52	69.72	78.61	84.90	90.80
因子权重 Factor weight	0.491	0.154	0.123	0.098	0.069	0.065

PH: plant height; CD: culm diameter; BN: branch number; CNN: culm node number; TN: tiller number; GNPP: grain number per plant; GWPP: grain weight per plant.

根据 CDC 值和 WDC 值的大小对供试种质进行抗旱性排序, 其结果基本相同(表 7)。其中, 抗旱性强的种质有 yy18-1、yy03-8 和梁丰薏 14-2, 抗旱性弱的种质有 yy19-8 和 yy12-7, 其余种质介于两者之间。

供试种质 D 值介于 0.304~0.804 之间, 平均值为

0.562, 变异系数为 0.178, 根据 D 值的大小对供试种质进行抗旱性排序, 其抗旱性强的种质有 yy18-1、yy03-8 和梁丰薏 14-2, 抗旱性弱的种质有 yy19-8 和 yy12-7, 其余种质介于两者之间(表 7)。这与基于 CDC 值和 WDC 值的供试种质抗旱性评价结果基本吻合。

表 7 供试薏苡种质抗旱性评价的 CDC 值、WDC 值及 D 值  
Table 7 CDC value, WDC value, and D value of drought resistance evaluation in tested Job's tears germplasm

编号 Code	隶属函数 Subordinate function value						CDC 值 CDC value	排序 Rank	D 值 D value	排序 Rank	WDC 值 WDC value	排序 Rank
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	$\mu_5$	$\mu_6$						
YG01	0.661	0.267	0.958	0.785	0.170	0.705	0.715	11	0.618	15	0.716	11
YG02	0.699	0.576	0.553	0.865	0.612	0.479	0.749	4	0.658	7	0.746	5
YG03	0.598	0.956	0.404	0.670	0.348	0.737	0.669	20	0.628	12	0.662	24
YG04	0.478	0.981	0.554	0.945	0.269	0.836	0.583	41	0.619	14	0.578	40
YG05	0.399	1.000	0.204	0.652	0.267	0.902	0.520	46	0.515	34	0.506	48
YG06	0.479	0.543	0.590	0.505	0.671	0.695	0.591	40	0.533	31	0.586	39
YG07	0.382	0.388	0.880	0.844	0.397	0.417	0.519	47	0.493	40	0.517	46
YG08	0.567	0.449	0.789	0.573	0.759	0.957	0.665	23	0.615	17	0.670	19
YG09	0.622	0.746	0.659	0.555	0.923	0.695	0.706	12	0.665	6	0.708	12
YG10	0.664	0.988	0.653	0.883	0.727	0.792	0.771	3	0.747	3	0.769	3
YG11	0.756	0.601	0.562	0.182	0.344	0.663	0.730	10	0.617	16	0.729	9
YG12	0.638	0.772	0.838	0.551	0.742	0.579	0.698	13	0.678	4	0.697	13
YG13	0.618	0.733	0.894	0.000	0.442	0.609	0.672	19	0.597	20	0.674	18
YG14	0.688	0.654	0.475	0.616	0.562	0.395	0.740	8	0.622	13	0.735	8
YG15	0.500	0.127	0.000	0.845	0.221	0.359	0.594	38	0.386	48	0.577	41
YG16	0.600	0.753	0.233	0.581	0.330	0.393	0.654	26	0.544	30	0.641	27
YG17	0.610	0.868	0.967	0.524	0.486	0.209	0.681	17	0.651	8	0.682	17
YG18	0.531	0.668	0.015	0.574	0.633	0.376	0.628	29	0.489	41	0.616	30
YG19	0.413	0.436	0.026	0.496	0.779	0.730	0.546	43	0.423	47	0.535	43
YG20	0.639	0.505	0.332	0.214	0.275	0.421	0.694	15	0.500	38	0.689	16
YG21	0.692	0.636	0.546	0.870	0.601	0.578	0.743	6	0.669	5	0.740	7
YG22	0.656	0.667	0.712	0.591	0.000	0.367	0.694	14	0.594	22	0.689	15
YG23	0.500	0.924	0.851	0.650	0.239	1.000	0.599	36	0.637	10	0.602	35
YG24	0.608	0.520	0.424	0.513	0.706	0.000	0.676	18	0.530	33	0.665	23
YG25	0.524	0.272	0.291	0.691	0.576	0.601	0.616	32	0.482	42	0.607	34
YG26	0.590	0.478	0.309	0.258	0.403	0.635	0.659	25	0.496	39	0.655	25
YG27	1.000	0.608	0.619	0.713	0.467	0.630	0.957	1	0.804	1	0.956	1
YG28	0.361	0.362	0.707	0.906	0.453	0.272	0.514	48	0.458	45	0.511	47
YG29	0.400	0.529	0.843	0.426	0.199	0.393	0.533	45	0.463	43	0.532	45
YG30	0.502	0.511	0.978	0.573	0.737	0.344	0.609	34	0.575	24	0.611	33
YG31	0.486	0.385	0.777	0.399	0.422	0.652	0.592	39	0.504	36	0.595	37
YG32	0.468	0.702	0.543	1.000	0.442	0.212	0.583	42	0.547	28	0.572	42
YG33	0.565	0.913	0.535	0.092	0.388	0.191	0.644	27	0.532	32	0.641	26
YG34	0.647	0.422	0.915	0.840	0.176	0.638	0.693	16	0.631	11	0.692	14
YG35	0.714	0.457	0.517	0.553	0.181	0.685	0.746	5	0.596	21	0.742	6
YG36	0.951	0.545	0.667	0.688	0.502	0.643	0.923	2	0.777	2	0.923	2
YG37	0.576	0.781	0.793	0.778	0.536	0.483	0.664	24	0.645	9	0.666	21

(续表 7)

编号 Code	隶属函数 Subordinate function value						CDC 值 CDC value	排序 Rank	D 值 D value	排序 Rank	WDC 值 WDC value	排序 Rank
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	$\mu_5$	$\mu_6$						
YG38	0.706	0.646	0.267	0.255	0.081	0.602	0.732	9	0.549	27	0.725	10
YG39	0.547	0.593	0.907	0.466	0.329	0.680	0.634	28	0.584	23	0.638	28
YG40	0.612	0.097	0.800	0.603	0.112	0.456	0.668	22	0.510	35	0.665	22
YG41	0.495	0.408	0.798	0.979	0.495	0.323	0.598	37	0.556	25	0.594	38
YG42	0.588	0.584	0.864	0.721	0.338	0.524	0.669	21	0.613	18	0.667	20
YG43	0.706	0.246	1.000	0.338	0.527	0.428	0.742	7	0.605	19	0.747	4
YG44	0.528	0.000	0.676	0.186	0.516	0.801	0.610	33	0.448	46	0.612	32
YG45	0.398	0.990	0.660	0.449	0.738	0.357	0.540	44	0.547	29	0.533	44
YG46	0.107	0.547	0.661	0.499	0.344	0.639	0.322	49	0.332	49	0.318	49
YG47	0.520	0.205	0.398	0.885	0.332	0.856	0.606	35	0.501	37	0.600	36
YG48	0.544	0.139	0.177	0.569	0.714	0.657	0.627	30	0.458	44	0.612	31
YG49	0.503	0.191	0.902	0.480	1.000	0.742	0.622	31	0.552	26	0.630	29
YG50	0.000	0.682	0.771	0.405	0.332	0.635	0.246	50	0.304	50	0.244	50
平均值 Ave.	—	—	—	—	—	—	0.644	—	0.562	—	0.640	—
变异系数 CV	—	—	—	—	—	—	0.179	—	0.178	—	0.182	—

 $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_3$ 、 $\mu_4$ 、 $\mu_5$  和  $\mu_6$  分别表示 6 个因子的隶属函数值。 $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$ , and  $\mu_6$  are subordinate function values of six factors, respectively.

## 2.5 灰色关联度分析

各指标 DC 值与 D 值间的关联度大小依次为千粒重、单株粒重、单株粒数、分蘖数、茎粗、株高、分枝数、主茎节数和产量(表 8)。说明各指标 DC 值与 D 值的密切程度依次为千粒重、单株粒重、单株粒数、分蘖数、茎粗、株高、分枝数、主茎节数和产量。这与各指标对干旱胁迫反应的敏感性基本吻合。

各指标 DC 值与 WDC 值间的关联度大小依次为千粒重、单株粒数、单株粒重、茎粗、分蘖数、分

枝数、株高、主茎节数和产量(表 8)。说明各指标 DC 值与 WDC 值的密切程度依次为千粒重、单株粒数、单株粒重、茎粗、分蘖数、分枝数、株高、主茎节数和产量。这与各指标 DC 值与 D 值的密切程度基本吻合。

## 2.6 聚类分析及抗旱级别的划分

在  $\lambda = 10$  处将 50 份供试种质分为 5 类(图 1)。其中第 I 类为高度抗旱型种质, 有 yy18-1、yy03-8 和梁丰薏 14-2 共 3 份, 占总数的 6%; 第 II 类为抗旱型种质, 共 20 份, 占总数的 40%; 第 III 类为中等抗

表 8 供试薏苡种质各指标 DC 值与 D 值和 WDC 值的关联度及各指标权重

Table 8 Correlation degree between DC value of all indices and D value together with WDC value and indices weight in tested Job's tears germplasm

指标 Index	关联度		排序 Rank	权重系数 Weight	关联度		排序 Rank
	$\gamma_D$	Rank			$\gamma_{WDC}$		
株高 PH	0.499	6	0.101	0.471			7
茎粗 CD	0.554	5	0.112	0.560			4
分枝数 BN	0.493	7	0.100	0.509			6
主茎节数 CNN	0.479	8	0.097	0.444			8
分蘖数 TN	0.567	4	0.115	0.514			5
单株粒数 GNPP	0.620	3	0.125	0.598			2
单株粒重 GWPP	0.624	2	0.126	0.584			3
千粒重 TGW	0.629	1	0.127	0.695			1
产量 Y	0.475	9	0.096	0.410			9

PH: plant height; CD: culm diameter; BN: branch number; CNN: culm node number; TN: tiller number; GNPP: grain number per plant; GWPP: grain weight per plant.

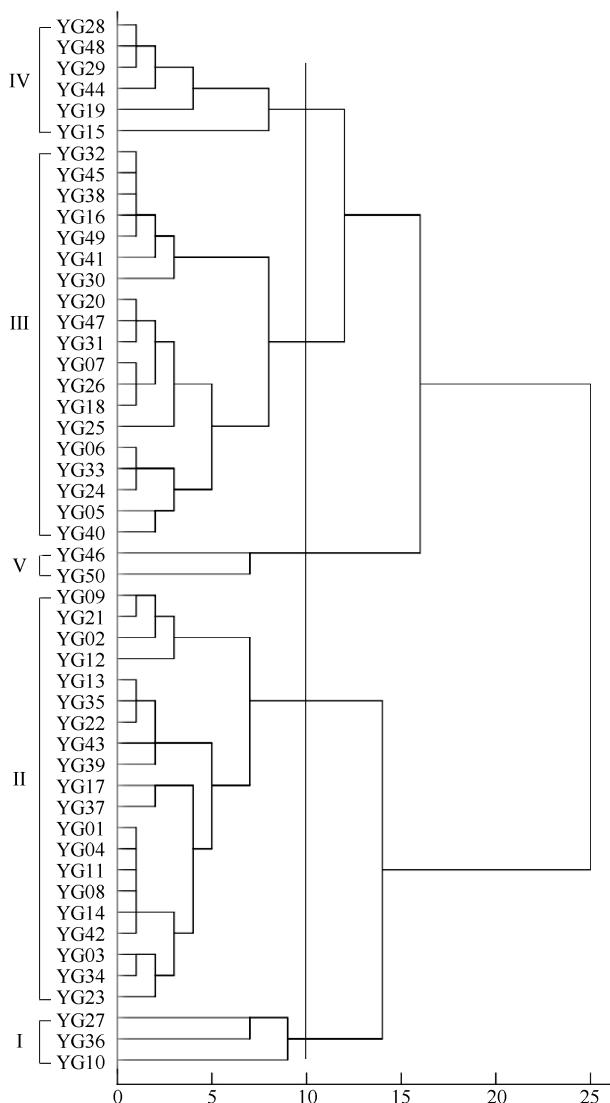


图 1 基于 D 值的供试薏苡种质抗旱性系统聚类图

Fig. 1 Fuzzy clustering dendrogram of drought resistance in tested Job's tears germplasm based on D value

I、II、III、IV、V 表示不同抗旱级别。代码同表 1。  
I, II, III, IV, and V represent different drought resistance levels.  
Codes correspond with those given in Table 1.

旱型种质, 共 19 份, 占总数的 38%; 第 IV 类为敏感型种质, 共 6 份, 占总数的 12%; 第 V 类为高度敏感型种质, 有 yy19-8 和 yy12-7 共 2 份, 占总数的 4%。

根据供试种质的抗旱性聚类分析及抗旱级别划分结果, 对供试种质抗旱性评价指标进行分级统计, 结果表明(表9), 除分枝数和主茎节数外, 其余指标的隶属函数值、CDC 值、D 值和 WDC 值均随抗旱级别的升高而增大。此外, CDC 值、D 值和 WDC 值在不同抗旱级别的差异较大, 可为其他薏苡种质抗旱级别的划分提供依据。

## 2.7 抗旱指标的筛选

分别以 D 值、CDC 值和 WDC 值为参考序列, 对

各指标 DC 值进行逐步回归分析, 得到的 3 个回归方程的决定系数  $R^2 \approx 1$ ,  $F$  检验均达极显著水平(表 10)。说明模型拟合度好, 回归方程最优, 其解释能力强, 预测精度高, 用这 3 个方程进行薏苡种质资源成株期抗旱性评价效果好。

根据 D 值与各指标 DC 值的回归方程可知(表 10), 在薏苡种质资源成株期抗旱性鉴定中, 有选择性地测定与 D 值密切相关的指标, 如分蘖数、单株粒重和千粒重, 可有效鉴定薏苡种质资源的抗旱性, 从而使鉴定工作简化。此外, 相关分析还表明, 供试种质产量、D 值、CDC 值和 WDC 值两两之间均呈极显著正相关。

## 3 讨论

### 3.1 蕺苡种质资源成株期抗旱性评价方法的选择

作物抗旱性的综合评价需要选择适宜的评价指标, 多指标多方法相结合的综合评价比较可靠<sup>[34-37]</sup>。对于作物抗旱性评价的方法, 大多数采用等权重的评价方法, 却忽视了各项指标的不同重要程度。本研究采用 D 值、CDC 值和 WDC 值等综合评价指标, 结合单项指标抗旱系数、相关分析、频次分析、主成分分析、灰色关联度分析、隶属函数分析、聚类分析及逐步回归分析, 对薏苡种质资源成株期的抗旱性综合评价作出评判, 消除因各指标单位不同带来的差异, 同时结合指标变异系数来确定每一个指标在抗旱性评价体系中的权重, 对与抗旱性相关密切的指标分配较高的比重, 以 D 值为评价指标的评价方法, 既考虑了各指标的重要性, 又考虑到各指标间的相互关系, 评价结果客观、可靠。

### 3.2 蕺苡种质资源成株期抗旱性的鉴定

作物抗旱性鉴定的最终结果是要划分供试种质的抗旱等级, 以此来判定其抗旱能力<sup>[29]</sup>。目前, 关于薏苡种质资源成株期抗旱性鉴定的研究还未见报道。在本研究中, 针对 D 值, 将供试薏苡种质划分为高度抗旱型种质、抗旱型种质、中等抗旱型种质、敏感型种质和高度敏感型种质 5 类, 这与赵美令<sup>[38]</sup>在玉米上的研究结果基本一致。此外, 在本研究中, 鉴定出抗旱性强的种质有 yy18-1、yy03-8 和梁丰薏 14-2, 抗旱性弱的种质有 yy19-8 和 yy12-7, 其余种质介于两者之间。这些成株期抗旱性强的薏苡种质可为薏苡抗旱育种、抗旱机理及干旱调控缓解机制的研究提供基础材料。

表9 供试薏苡种质抗旱性评价指标的分级  
Table 9 Classification of drought resistance evaluation indices in tested Job's tears germplasm

指标 Index	隶属函数 Subordinate function value				
	I	II	III	IV	V
株高 PH	0.931	0.563	0.500	0.466	0.243
茎粗 CD	0.920	0.626	0.621	0.515	0.231
分枝数 BN	0.835	0.635	0.623	0.689	0.210
主茎节数 CNN	0.829	0.626	0.631	0.584	0.277
分蘖数 TN	0.825	0.631	0.624	0.529	0.196
单株粒数 GNPP	0.899	0.675	0.467	0.257	0.200
单株粒重 GWPP	0.988	0.657	0.432	0.329	0.305
千粒重 TGW	0.794	0.604	0.419	0.352	0.187
产量 Y	0.901	0.658	0.442	0.209	0.168
CDC 值 CDC value	0.870	0.693	0.619	0.571	0.411
D 值 D value	0.776	0.626	0.524	0.439	0.427
WDC 值 WDC value	0.869	0.692	0.613	0.563	0.409

I、II、III、IV、V 表示不同抗旱级别。

I, II, III, IV, and V represent different drought resistance levels. PH: plant height; CD: culm diameter; BN: branch number; CNN: culm node number; TN: tiller number; GNPP: grain number per plant; GWPP: grain weight per plant.

表10 供试薏苡种质抗旱性模型预测  
Table 10 Model predict of drought resistance in tested Job's tears germplasm

因变量 Dependent variable	多元逐步回归方程 Multiple stepwise regression equation	$R^2$	决定系数 F 值 F value	统计量 P 值 Statistic P value	相关系数 R		
					CDC 值 CDC value CDC value	WDC 值 WDC value WDC value	产量 Y Y
D 值 D value	$y=0.05+0.25x_5+0.16x_7+0.27x_8$	0.995	837.73**	1.94	0.0001	0.813**	0.796**
CDC 值 CDC value	$y=0.03+0.14x_5+0.15x_7+0.12x_8+0.13x_9$	0.995	542.08**	2.25	0.0001	0.938**	0.824**
WDC 值 WDC value	$y=0.03+0.12x_5+0.16x_7+0.14x_8+0.14x_9$	0.996	715.65**	2.24	0.0001		0.826**

$x_5$ : 分蘖数;  $x_7$ : 单株粒重;  $x_8$ : 千粒重;  $x_9$ : 产量。\*\*: 表示在  $P < 0.01$  水平显著相关。

$x_5$ : tiller number;  $x_7$ : grain weight per plant;  $x_8$ : 1000-grain weight;  $x_9$ : yield. \*\*: significant correlation at  $P < 0.01$ .

### 3.3 薏苡种质资源成株期抗旱指标的筛选

作物的抗旱性是复杂的数量性状, 是众多因素、多种机制共同作用的结果, 最终通过各种指标在不同生育时期的一系列变化表现出来<sup>[29]</sup>。因此, 指标的合理选择是作物抗旱性鉴定的关键。目前, 国内外学者在作物成株期抗旱指标筛选方面开展了大量研究工作, 并针对不同的作物筛选出了不同的抗旱指标<sup>[19,21-22,24-25]</sup>。本研究中, 由于各指标受干旱胁迫影响的程度不同, 且各指标间存在一定程度的相关性。因此, 直接利用这些指标很难客观、准确地评价各种质的抗旱性, 从而影响抗旱性鉴定结果。各指标与 D 值的密切程度与各指标对干旱胁迫反应的敏感性及各指标与 WDC 值的密切程度基本吻合。通过逐步回归分析, 得到与 D 值密切相关的指标有分蘖数、单株粒重和千粒重, 且产量与分蘖数、单株粒重和千粒重呈极显著正相关。因此, 分蘖数、单株粒重和千粒重可作为薏苡种质资源成株

期简单、直观的抗旱性评价指标。

## 4 结论

干旱胁迫对薏苡种质资源成株期各指标均有极显著影响。筛选出成株期抗旱性强的薏苡种质分别为 yy18-1、yy03-8 和梁丰薏 14-2, 可为薏苡抗旱育种、抗旱机理及干旱调控缓解机制的研究提供基础材料。分蘖数、单株粒重和千粒重可作为薏苡种质资源成株期简单、直观的抗旱性评价指标。

## References

- [1] Yao F M, Yin G H, Mo G Y, Luo Y Q, Yuan J C. *Coix lacryma-jobi L. growth and yield response to different sowing dates in Sichuan China*. *J Sci Appl Biomed*, 2013, 1: 8-14
- [2] Manosroi J, Khosituntiwong N, Manosroi A. Biological activities of fructooligosaccharide (FOS)-containing *Coix lacryma-jobi* Linn. extract. *J Food Sci Technol*, 2014, 51: 341-346
- [3] Apirattananusorn S, Tongta S, Cui S W, Wang Q. Chemical, molecular, and structural characterization of alkali extractable non-starch polysaccharides from Job's tears. *J Agric Food Chem*,

- 2008, 56: 8549–8557
- [4] Moreau R A, Singh V, Hicks K B. Comparison of oil and phytosterol levels in germplasm accessions of corn, teosinte, and Job's tears. *J Agric Food Chem*, 2001, 49: 3793–3795
- [5] 周明强, 雷朝云, 周正邦, 班秀文, 周祥. 贵州省薏苡的生产加工现状及发展潜力分析. 湖北农业科学, 2011, 50: 4660–4663  
Zhou M Q, Lei C Y, Zhou Z B, Ban X W, Zhou X. Production processing situation and development potential analysis of *Coix lacryma-jobi* in Guizhou province. *Hubei Agric Sci*, 2011, 50: 4660–4663 (in Chinese with English abstract)
- [6] 章洁琼, 朱怡. 贵州薏苡产业发展的现在及对策. 贵州农业科学, 2015, 43: 217–219  
Zhang J Q, Zhu Y. Current development situation and countermeasures of *Coix lacryma-jobi* industry in Guizhou. *Guizhou Agric Sci*, 2015, 43: 217–219 (in Chinese with English abstract)
- [7] 成福云. 干旱灾害对二十一世纪初我国农业发展的影响探讨. 水利发展研究, 2002, 2(10): 31–33  
Cheng F Y. Discuss on drought disaster for influence on the agricultural development of our country at 21st century. *Water Resourc Dev Res*, 2002, 2(10): 31–33 (in Chinese)
- [8] 陈宁, 钱晓刚. 几种薏苡种质材料萌发期的抗旱性能初步研究. 种子, 2013, 32: 90–92  
Chen N, Qian X G. Several germplasm materials of *Coix*'s embryonic drought performance be on preliminary research. *Seed*, 2013, 32: 90–92
- [9] 胡荣海. 农作物抗旱鉴定方法和指标. 作物种质资源, 1986, (4): 36–39  
Hu R H. The methods and indices drought resistance identification in crops. *Crops Germplasm Resour*, 1986, (4): 36–39 (in Chinese with English abstract)
- [10] 张木清, 陈如凯. 作物抗旱分子生理与遗传改良. 北京: 科学出版社, 2005. pp 22–23  
Zhang M Q, Chen R K. Molecular Physiological and Genetic Improvement of Crop Drought Tolerance. Beijing: Science Press, 2005. pp 22–23 (in Chinese)
- [11] 黎裕. 作物抗旱性鉴定方法与指标. 干旱地区农业研究, 1993, 11(1): 91–99  
Li Y. The methods and indices of identification drought resistance on crops. *Agric Res Arid Areas*, 1993, 11(1): 91–99 (in Chinese)
- [12] 龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价. 云南农业大学学报, 1989, 4: 73–81  
Gong M. The methods and indices of identification drought resistance and comprehensive evaluation. *J Yunnan Agric Univ*, 1989, 4: 73–81 (in Chinese)
- [13] Cabuslay G S, Ito O, Alejar A A. Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. *Plant Sci*, 2002, 163: 815–827
- [14] Upadhyaya H D. Variability for drought resistance related traits in the mini core collection of peanut. *Crop Sci*, 2005, 45: 1432–1440
- [15] Kamoshita A, Babu R C, Boopathi N M, Fukai S. Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. *Field Crops Res*, 2008, 109: 1–23.
- [16] 张正斌. 作物抗旱节水的生理遗传育种基础. 北京: 科学出版社, 2003. pp 67–209  
Zhang Z B. Fundamentals of Physiological and Genetic Breeding Basis in Crop Drought Resistance and Water Saving. Beijing: Science Press, 2003. pp 67–209 (in Chinese)
- [17] 王兰芬, 武晶, 景蕊莲, 程须珍, 王述民. 绿豆种质资源芽期抗旱性鉴定. 植物遗传资源学报, 2014, 15: 498–503  
Wang L F, Wu J, Jing R L, Cheng X Z, Wang S M. Drought resistance identification of mungbean germplasm resources at bud stage. *J Plant Genet Resour*, 2014, 15: 498–503 (in Chinese with English abstract)
- [18] 王兰芬, 武晶, 景蕊莲, 程须珍, 王述民. 绿豆种质资源苗期抗旱性鉴定. 作物学报, 2015, 41: 145–153  
Wang L F, Wu J, Jing R L, Cheng X Z, Wang S M. Drought resistance identification of mungbean germplasm resources at seedling stage. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 145–153 (in Chinese with English abstract)
- [19] 王兰芬, 武晶, 景蕊莲, 程须珍, 王述民. 绿豆种质资源成株期抗旱性鉴定. 作物学报, 2015, 41: 1287–1294  
Wang L F, Wu J, Jing R L, Cheng X Z, Wang S M. Identification of mungbean germplasm resources resistance to drought at adult stage. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 1287–1294 (in Chinese with English abstract)
- [20] 王利彬, 刘丽君, 裴宇峰, 董守坤, 孙聪姝, 祖伟, 阮英慧. 大豆种质资源芽期抗旱性鉴定. 东北农业大学学报, 2012, 43: 36–42  
Wang L B, Liu L J, Pei Y F, Dong S K, Sun C S, Zu W, Ruan Y H. Drought resistance identification of soybean germplasm resources at bud stage. *J Northeast Agric Univ*, 2012, 43: 36–42
- [21] 祁旭升, 刘章雄, 关荣霞, 王兴荣, 苟作旺, 常汝镇, 邱丽娟. 大豆成株期抗旱性鉴定评价方法研究. 作物学报, 2012, 38: 665–674  
Qi X S, Liu Z X, Guan R X, Wang X R, Gou Z W, Chang R Z, Qiu L J. Comparison of evaluation methods for drought-resistance at soybean adult stage. *Acta Agron Sin*, 2012, 38: 665–674 (in Chinese with English abstract)
- [22] 祁旭升, 王兴荣, 许军, 张建平, 米君. 胡麻种质资源成株期抗旱性鉴定. 中国农业科学, 2010, 43: 3076–3087  
Qi X S, Wang X R, Xu J, Zhang J P, Mi J. Drought-resistance evaluation of flax germplasm at adult plant stage. *Sci Agric Sin*, 2010, 43: 3076–3087 (in Chinese with English abstract)
- [23] 张彦军, 苟作旺, 王兴荣, 陈伟英, 祁旭升. 胡麻种质萌发期抗旱性综合评价. 植物遗传资源学报, 2015, 16: 520–527  
Zhang Y J, Gou Z W, Wang X R, Chen W Y, Qi X S. Comprehensive valuation of drought resistance of flax germplasm in germination. *J Plant Genet Resour*, 2015, 16: 520–527 (in Chinese with English abstract)
- [24] 罗俊杰, 欧巧明, 叶春雷, 王方, 王镛臻, 陈玉梁. 重要胡麻栽培品种的抗旱性综合评价及指标筛选. 作物学报, 2014, 40: 1259–1273  
Luo J J, Ou Q M, Ye C L, Wang F, Wang Y Z, Chen Y L. Comprehensive valuation of drought resistance and screening of indices of important flax cultivars. *Acta Agron Sin*, 2014, 40: 1259–1273 (in Chinese with English abstract)
- [25] 孟庆立, 关周博, 冯佰利, 柴岩, 胡银岗. 谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析. 中国农业科学, 2009, 42: 2667–

2675

- Meng Q L, Guan Z B, Feng B L, Chai Y, Hu Y G. Principal component analysis and fuzzy clustering on drought-tolerance related traits of foxtail millet (*Setaria italica*). *Sci Agric Sin*, 2009, 42: 2667–2675 (in Chinese with English abstract)
- [26] 秦岭, 杨延兵, 管延安, 张华文, 王海莲, 刘宾, 陈二影. 不同生态区主要育成谷子品种芽期耐旱性鉴定. 植物遗传资源学报, 2013, 14: 146–151
- Qin L, Yang Y B, Guan Y A, Zhang H W, Wang H L, Liu B, Chen E Y. Identification of drought tolerance at germination period of foxtail millet cultivars developed from different ecological regions. *J Plant Genet Resour*, 2013, 14: 146–151 (in Chinese with English abstract)
- [27] 王艺陶, 周宇飞, 李丰先, 依兵, 白薇, 闫彤, 许文娟, 高明超, 黄瑞冬. 基于主成分和 SOM 聚类分析的高粱品种萌发期抗旱性鉴定与分类. 作物学报, 2014, 40: 110–121
- Wang Y T, Zhou Y F, Li F X, Yi B, Bai W, Yan T, Xu W J, Gao M C, Huang R D. Identification and classification of sorghum cultivars for drought resistance during germination stage based on principal components analysis and self organizing map cluster analysis. *Acta Agron Sin*, 2014, 40: 110–121 (in Chinese with English abstract)
- [28] 吴奇, 周宇飞, 高悦, 张娇, 陈冰汝, 许文娟, 黄瑞冬. 不同高粱品种萌发期抗旱性筛选与鉴定. 作物学报, 2016, 42: 1233–1246
- Wu Q, Zhou Y F, Gao Y, Zhang J, Chen B R, Xu W J, Huang R D. Screening and identification for drought resistance during germination in sorghum cultivars. *Acta Agron Sin*, 2016, 42: 1233–1246 (in Chinese with English abstract)
- [29] 朱宗河, 郑文寅, 张学坤. 甘蓝型油菜耐旱相关性状的主成分分析. 中国农业科学, 2011, 44: 1775–1787
- Zhu Z H, Zheng W Y, Zhang X K. Principal component analysis and comprehensive evaluation on morphological and agronomic traits of drought tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Sci Agric Sin*, 2011, 44: 1775–1787 (in Chinese with English abstract)
- [30] 谢小玉, 张兵. 油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析. 中国农业科学, 2013, 46: 476–485
- Xie X Y, Zhang X, Zhang B. Evaluation of drought resistance and analysis of variation of relevant parameters at seedling stage of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Sci Agric Sin*, 2013, 46: 476–485 (in Chinese with English abstract)
- [31] 陈玉梁, 石有太, 罗俊杰, 王蒂, 厚毅清, 李忠旺, 张秉贤. 甘肃彩色棉抗旱性农艺性状指标的筛选鉴定. 作物学报, 2012, 38, 1680–1687
- Chen Y L, Shi Y T, Luo J J, Wang D, Hou Y Q, Li Z W, Zhang B X. Screening of drought tolerant agronomic trait indices of colored cotton varieties (lines) in Gansu province. *Acta Agron Sin*, 2012, 38, 1680–1687 (in Chinese with English abstract)
- [32] 兰巨生. 农作物综合抗旱性评价方法的研究. 西北农业学报, 1998, 7(3): 85–87
- Lan J S. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agric Boreali-Occident Sin*, 1998, 7(3): 85–87 (in Chinese with English abstract)
- [33] 尹利, 遼晓萍, 傅晓峰, 李美娜, 郭建. 高丹草杂交种灰色关联分析与评判. 中国草地学报, 2006, 28: 21–25
- Yin L, Lu X P, Fu X F, Li M N, Guo J. The grey relation analysis and evaluation of hybrid pacesetter. *Chin J Grassland*, 2006, 28: 21–25 (in Chinese with English abstract)
- [34] 黎冬华, 刘文萍, 张艳欣, 王林海, 危文亮, 高媛, 丁霞, 王蕾, 张秀荣. 芝麻耐旱性的鉴定方法及关联分析. 作物学报, 2013, 39: 1425–1433
- Li D H, Liu W P, Zhang Y X, Wang L H, Wei W L, Gao Y, Ding X, Wang L, Zhang X R. Identification method of drought tolerance and association mapping for sesame (*Sesamum indicum* L.). *Acta Agron Sin*, 2013, 39: 1425–1433 (in Chinese with English abstract)
- [35] 李国瑞, 马宏亮, 胡雯娟, 汤永禄, 荣晓椒, 樊高琼. 西南麦区小麦品种萌发期抗旱性综合鉴定. 麦类作物学报, 2015, 35: 1–9
- Li G R, Ma H L, Hu W M, Tang Y L, Rong X J, Fan G Q. Identification of wheat cultivars for drought resistance during germination in southwest area. *J Triticeae Crops*, 2015, 35: 1–9 (in Chinese with English abstract)
- [36] 田又升, 谢宗铭, 吴向东, 王志军, 叶春秀, 张国丽. 水稻种质资源萌发期抗旱性综合鉴定. 干旱地区农业研究, 2015, 33: 173–180
- Tian Y S, Xie Z M, Wu X D, Wang Z J, Ye C X, Zhang G L. Identification of drought tolerance of rice germplasm during germination period. *Agric Res Arid Areas*, 2015, 33: 173–180 (in Chinese with English abstract)
- [37] 李龙, 王兰芬, 武晶, 景蕊莲, 王述民. 普通菜豆种质资源芽期抗旱性鉴定. 植物遗传资源学报, 2013, 14: 600–605
- Li L, Wang L F, Wu J, Jing R L, Wang S M. Drought Tolerance in common bean germplasm at bud stage. *J Plant Genet Resour*, 2013, 14: 600–605 (in Chinese with English abstract)
- [38] 赵美令. 玉米各生育时期抗旱型鉴定指标的研究. 中国农学通报, 2009, 25(12): 66–68
- Zhao M L. Studies on identification indices for drought resistance in different growing periods of corn. *Chin Agric Sci Bull*, 2009, 25(12): 66–68 (in Chinese with English abstract)