

小豆种质资源苗期抗旱性评价及抗旱资源筛选

单云鹏¹, 陈新慧², 万平¹, 赵波¹, 杨凯¹, 李奕松²

(¹北京农学院植物科学技术学院 / 北京农业应用新技术北京市重点实验室, 北京 102206;

²北京农学院生物科学与工程学院 / 农业部华北都市农业重点实验室, 北京 102206)

摘要:为了探讨小豆苗期抗旱性特点,建立抗旱性鉴定指标评价体系,筛选抗旱基因型材料,本研究以苗期盆栽控水方式,对不同来源的235份小豆种质资源进行了干旱胁迫试验。在测定其根系形态、株高、生物量和冠层萎蔫等15项指标的基础上,利用隶属函数法、主成分分析和聚类分析对抗旱性进行了综合评价。结果表明,干旱胁迫条件下主根长、侧根长、总根长和根冠比值均比对照组高;主根表面积、侧根表面积、总根表面积、主根体积、侧根体积、总根体积、地上部干重、地下部干重、整株干重和株高值均低于对照组。各性状隶属函数值相关性分析表明隶属函数值平均值与总根表面积相关性最大。主成分分析将15个性状归纳成3个主成分(累积贡献率为82.8%),其中第Ⅰ主成分的载荷主要是根表面积,第Ⅱ主成分的载荷主要是干重,第Ⅲ主成分的载荷主要是主根长。聚类分析将235份小豆种质资源聚成抗旱型、中间型和敏感型3类,分别占供试材料的8%、63%、29%。根据隶属函数法和主成分分析法结合不同类型根系形态,可将总根表面积作为小豆苗期抗旱性评价的主要指标。初步筛选出15份小豆耐旱资源材料,为进一步开展小豆抗旱育种和挖掘抗旱基因提供了基础材料。

关键词: 小豆; 苗期; 抗旱指标; 综合评价

Drought Resistance Evaluation of Adzuki Bean Germplasm at Seedling Stage and Screening of the Drought-resistant Resources

SHAN Yun-peng¹, CHEN Xin-hui², WAN Ping¹, ZHAO Bo¹, YANG Kai¹, LI Yi-song²

(¹Plant Science and Technology College, Beijing University of Agriculture / Key Laboratory of New Technology in Agricultural Application, Beijing 102206; ²College of Biological Science and Engineering, Beijing University of Agriculture / Key Laboratory of Urban Agriculture (North) of Ministry of Agriculture, Beijing 102206)

Abstract: To explore drought resistance characteristics of adzuki bean at the seedling stage, 235 adzuki bean accessions from different regions were subjected for drought resistance tests upon drought stress treatment by pot cultivation assay. The root morphology, plant height, biomass and canopy wilting were measured, and the statistical analysis was conducted using the subordination function method, principal component analysis (PCA) and cluster analysis. Under drought treatment, the taproot length, lateral root length, total root length, and ratio of shoot dry mass to root dry mass were higher than those of the control groups, but taproot surface area, lateral root surface area, total root surface area, taproot volume, lateral root volume, total root volume, shoot dry mass, root dry mass, plant dry mass and plant height were lower than those of the controls. The correlation analysis on the subordination function values of each trait showed the correlation with the total root surface area. The first three principal components explained 82.8% of the phenotypic variations at 15 traits. The first, second and third

收稿日期: 2019-02-13 修回日期: 2019-03-08 网络出版日期: 2019-04-11

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190213001>

第一作者主要从事食用豆抗逆遗传育种研究, E-mail: arthurshan@163.com

通信作者: 李奕松, 研究方向为食用豆抗逆、营养生理及栽培, E-mail: liyisong8@sina.com

基金项目: 北京市自然科学基金 B 类 - 北京市教委 - 科技计划重点项目 (KZ201710020013); 北京市农村工作委员会 - 农业科技推动项目 (20180123)

Project foundation: Beijing Natural Science Foundation B-Beijing Municipal Education Commission-Science and Technology Program Key Project (KZ201710020013), Beijing Municipal Commission of Rural Affairs-Agricultural Science and Technology Promotion Project (20180123)

principal components were mainly contributed by root surface area, dry mass, and taproot length, respectively. These accessions were classified into three types, composing of drought-resistant, intermediate and drought-sensitive, which accounted for 8%, 63% and 29% of total accessions, respectively. According to the subordination function value, principal component analysis and root morphology of different types, the total root surface area served as a major index for the evaluation of drought resistance at the seedling stage. Moreover, 15 drought-tolerant accessions were identified being valuable for further drought-resistant breeding and gene mining in adzuki bean.

Key words: Adzuki bean (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & H. Ohashi); seedling; drought resistance indices; comprehensive evaluation

小豆 (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & H. Ohashi), 俗名红小豆、赤豆, 属豆科 (Leguminosae)、菜豆族 (Phaseoleae)、豇豆属 (*Vigna* (Savi))。小豆籽粒蛋白质含量高, 脂肪含量低, 铁含量丰富, 含三萜、类黄酮和皂苷等生物活性物质, 是传统的补铁、祛湿、消肿食物, 具有很好的食用和药用价值, 是我国主要的杂粮作物之一^[1-3]。干旱是影响小豆生产的重要因素, 优异的抗旱种质资源是小豆抗旱育种的基础。发掘利用抗旱节水基因资源, 提高作物的抗旱性和水分利用效率, 发展节水农业, 对于缓解水资源危机、保障国家的粮食安全、生态安全和社会可持续发展具有重要意义^[4]。

已有研究表明, 通过作物的抗旱性鉴定从现有的种质资源中筛选抗旱种质是一种行之有效的办法^[5-7]。作物的抗旱性鉴定是在观测作物形态特征、生理生化特性和产量等指标的基础上, 对作物的抗旱性进行综合评价^[8]。不同的抗旱鉴定和评价方法已应用在水稻、小麦、玉米、棉花、油菜、大豆等大宗作物上^[9-14], 如聚类分析法、隶属函数法和主成分分析法等。目前普遍认为, 多指标多方法相结合的抗旱性综合评价更加真实、有效。小豆抗旱研究报道少, 研究人员利用隶属函数法对 40 份红小豆种质资源进行萌发期抗旱性鉴定, 其鉴定指标为根长、上胚轴长、真叶数、发芽指数和活力指数^[15]; 干旱胁迫抑制了小豆的生理代谢及根系的生长发育^[16-18]。

本研究以 235 份国内外广泛收集的小豆种质资源为材料, 通过盆栽控水的方法对这些种质资源的根系、生物量、株高和冠层萎蔫等 15 个性状进行分析。综合采用隶属函数值法、相关分析法和主成分分析法对小豆种质资源进行抗旱性筛选与评价, 旨在进一步完善小豆抗旱性综合评价体系及评价指标, 筛选抗旱种质资源, 以期小豆抗旱育种及其抗旱相关基因挖掘提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 235 份来自中国 23 个省(市、自治区)和日本、韩国及缅甸的不同种质资源小豆, 由北京农学院食用豆研究团队提供。其中中国的黑龙江 9 份、吉林 10 份、辽宁 12 份、内蒙古 4 份、河北 11 份、天津 2 份、北京 11 份、山西 15 份、陕西 11 份、山东 11 份、河南 6 份、安徽 16 份、江苏 14 份、湖北 10 份、湖南 3 份、浙江 7 份、四川 10 份、贵州 4 份、云南 4 份、广东 1 份、广西 2 份、福建 2 份、台湾 2 份, 日本 41 份、韩国 15 份、缅甸 2 份。

1.2 试验方法

盆栽控水实验在北京农学院园林温室中进行(平均日/夜温度 28 °C/20 °C, 相对湿度 60%), 供试土壤为风干土壤和草炭混合土, 比例为 2:1。选取籽粒饱满、无虫害的小豆种子, 每盆播种 10 粒种子。种子播种在上直径 16 cm、下直径 11 cm、高 14 cm 的聚丙烯花盆中, 每盆装混合土 1 kg。在幼苗真叶完全展开后间苗, 每盆留 5 株健康幼苗。试验为完全随机区组设计, 每份材料设置正常供水和干旱处理, 每个处理 3 次重复。播种后等量浇 500 mL 水, 出苗后在三叶期实施干旱处理, 对照组在正常供水条件下生长。在干旱处理组材料达到 90% 冠层萎蔫^[19]时, 对处理组和对照组材料进行取样。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系测定 用清水冲洗取样材料的完整根系, 使用 ScanMaker i800 Plus 扫描仪 (MICROTEK, 中国) 获取根系影像。使用 LA-S 植物根系分析仪系统 (万深, 中国) 对根系影像进行分析, 获得包括主根长、侧根长、总根长、主根体积、侧根体积、总根体积、主根面积、侧根面积、总根面积共 9 项根系性状数据。

1.3.2 株高测量 测量从茎顶端生长点到根茎之间的距离。

1.3.3 生物量测定 供试材料幼苗地上部和地下部取样后, 105 °C 杀青 30 min, 80 °C 烘干至恒重, 测定干重。

1.3.4 冠层萎蔫 在三叶期开始控水处理,观测叶片萎蔫程度,记录不同材料达到 90% 幼苗出现萎蔫的时间。

1.4 数据处理与分析

对供试材料的所测性状进行隶属函数法^[20]分析,

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i \min}}{x_{i \max} - x_{i \min}} \quad (1), \quad X_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_{i \min}}{x_{i \max} - x_{i \min}} \quad (2)$$

式中: X_{ij} 为第 i 个材料第 j 个性状的隶属函数值; x_{ij} 为第 i 个材料第 j 个性状处理组数值与对照组数值的比值; $x_{i \min}$ 、 $x_{i \max}$ 分别为所有供试材料中 j 性状的最小、最大比值。若某指标与抗旱性呈正相关,用公式(1)计算。若呈负相关用公式(2)计算。

$$D_i = \sum_{j=1} X_{ij}$$

式中: D_i 为第 i 个材料全部性状隶属函数值平均值。

使用 IBM SPSS Statistics 23 (IBM Corp., USA) 分析数据。基于 Pearson 相关性(双尾)的双变量相关性确定不同性状之间相关性的显著性。在 R studio (Version 1.1.463) 中采用 Ward 法,对不同材

料隶属函数值平均值进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对小豆幼苗生长的影响

对各性状进行统计分析表明根系特征、株高、生物量和冠层萎蔫等性状变幅不同(表 1)。对照组中变异系数在 19.5%~63.7% 之间,说明供试的 235 份小豆种质资源各性状存在着明显差异。其中侧根长和侧根体积在各材料之间存在较明显的差异,变异系数分别是 63.7% 和 61.1%。处理组中各项变异系数在 23.4%~70.6% 之间,在经过干旱胁迫后各项指标同样表现出较明显的变异。其中侧根体积和侧根表面积差异较大,分别是 70.6% 和 65.4%。通过对处理组和对照组各项性状进行统计分析,表明处理组的根系性状中除主根长、侧根长和总根长较对照组增加外,其余根系性状均受到干旱胁迫抑制。处理组的地上部干重、地下部干重、整株干重均低于对照组,但根冠比高于对照组。处理组株高低于对照组。

2.2 抗旱性状隶属函数值的相关分析

对于干旱胁迫下各性状的隶属函数值进行相关性分析(表 2)。隶属函数值平均值和性状间相关

表 1 干旱胁迫下 235 份小豆种质资源 15 个性状变化统计

Table 1 Statistical analysis of 15 characters in 235 adzuki bean accessions under drought stress treatment

性状 Traits	处理组 Treatment group			对照组 Control group		
	均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation	均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation
主根长(cm)TL	8.472	2.402	28.3	7.088	2.429	34.3
侧根长(cm)LRL	75.441	46.507	61.6	71.702	45.697	63.7
总根长(cm)TRL	83.913	47.446	56.5	78.790	46.292	58.8
主根表面积(cm ²)TSA	1.990	0.624	31.4	2.311	0.821	35.5
侧根表面积(cm ²)LRSA	9.341	6.111	65.4	11.095	6.639	59.8
总根表面积(cm ²)TRSA	11.330	6.413	56.6	13.406	6.898	51.5
主根体积(cm ³)TV	0.042	0.016	37.4	0.069	0.030	42.8
侧根体积(cm ³)LRV	0.104	0.073	70.6	0.164	0.100	61.1
总根体积(cm ³)TRV	0.146	0.083	56.6	0.233	0.113	48.8
地上部干重(g)SDM	0.039	0.011	29.6	0.063	0.023	36.4
地下部干重(g)RDM	0.010	0.006	60.6	0.013	0.008	55.9
整株干重(g)PDM	0.049	0.016	32.2	0.076	0.028	36.7
根冠比 RSDMRDM	0.265	0.131	49.6	0.216	0.094	43.4
株高(cm)PH	7.936	1.854	23.4	11.324	2.204	19.5
90% 萎蔫时间(d)DRW	4.660	2.624	56.3			

TL: Taproot length, LRL: Lateral root length, TRL: Total root length, TSA: Taproot surface area, LRSA: Lateral root surface area, TRSA: Total root surface area, TV: Taproot volume, LRV: Lateral root volume, TRV: Total root volume, SDM: Shoot dry mass, RDM: Root dry mass, PDM: Plant dry mass, RSDMRDM: Ratio of shoot dry mass to root dry mass, PH: Plant height, DRW: The day of reaching 90% wilted degree. The same as below

表 2 干旱胁迫下 235 份小豆种质资源 15 个性状隶属函数值间的相关系数
Table 2 Pearson correlation coefficients between subordination function values of 15 traits from 235 accessions of adzuki bean under drought stress

性状 Traits	主根长 TL	侧根长 LRL	总根长 TRL	主根表面积 积 TSA	侧根表面积 积 LRSA	总根表面积 积 TRSA	主根体积 TV	侧根体积 LRV	总根体积 TRV	地上部干重 重 SDM	地下部干重 重 RDM	整株干重 PDM	根冠比 RSDMRDM	株高 PH	90% 萎蔫时间 DRW	隶属函数 值平均值 ASFV
主根长	1															
侧根长	0.372**	1														
总根长	0.432**	0.993**	1													
主根表面积	0.944**	0.383**	0.443**	1												
侧根表面积	0.340**	0.966**	0.965**	0.387**	1											
总根表面积	0.446**	0.941**	0.962**	0.503**	0.979**	1										
主根体积	0.782**	0.378**	0.433**	0.935**	0.420**	0.536**	1									
侧根体积	0.279**	0.862**	0.865**	0.363**	0.962**	0.945**	0.446**	1								
总根体积	0.429**	0.814**	0.846**	0.544**	0.912**	0.955**	0.640**	0.952**	1							
地上部干重	-0.076	-0.395**	-0.377**	-0.127	-0.383**	-0.354**	-0.186**	-0.355**	-0.328**	1						
地下部干重	0.389**	0.703**	0.734**	0.471**	0.784**	0.823**	0.541**	0.809**	0.851**	-0.516**	1					
整株干重	0.171*	0.539**	0.532**	0.236**	0.555**	0.541**	0.305**	0.537**	0.526**	-0.957**	0.730**	1				
根冠比	0.423**	0.540**	0.586**	0.480**	0.640**	0.702**	0.506**	0.690**	0.750**	0.083	0.762**	0.174**	1			
株高	0.098	0.298**	0.301**	0.108	0.276**	0.278**	0.092	0.228**	0.225**	-0.510**	0.283**	0.490**	-0.003	1		
90% 萎蔫时间	0.063	0.174**	0.188**	0.087	0.219**	0.245**	0.126	0.241**	0.273**	0.251**	0.184**	-0.126	0.375**	0.051	1	
隶属函数值平均值	0.524**	0.756**	0.784**	0.581**	0.791**	0.831**	0.599**	0.767**	0.813**	-0.415**	0.786**	0.584**	0.648**	0.612**	0.269**	1

*: 0.05 显著水平; **: 0.01 显著水平

*: Significant difference at 0.05 probability level. **: Significant difference at 0.01 probability level. ASFV: Average subordination function values

性均为极显著相关 ($P<0.01$),其中与地上部干重呈极显著负相关 ($R=-0.415, P<0.01$),与总根表面积相关性最大 ($R=0.831, P<0.01$)。大部分性状之间呈显著 ($P<0.05$) 或极显著相关 ($P<0.01$),但株高和 90% 萎蔫时间与部分性状相关不显著,如主根长、主根表面积和主根体积与这两个性状均相关不显著。说明单个抗旱性状不能有效地评价小豆抗旱性,对多种性状应用综合分析方法进行整合,才能准确评价干旱胁迫下的小豆特性。

2.3 抗旱性状主成分分析

对供试材料各性状隶属函数值进行主成分分析,结果显示前 3 个主成分贡献率分别是 55.9%、15.2%、11.7%,累积贡献率 82.8% (表 3)。故选择前 3 个主成分作为干旱胁迫下小豆抗旱性评价的主要因子,各因子载荷矩阵如表 4,第 I 主成分特征值为 8.389,贡献率为 55.9%,对应的特征向量中载荷相对较大的 5 个因子是总根长、侧根表面积、总根表面积、侧根体积和总根体积,这些性状都与侧根相

关。在干旱胁迫过程中,更多更长的侧根有利于小豆生长。第 II 主成分特征值为 2.280,对应特征向量载荷较大的是地上部干重,其值为 0.723。生物量的累积量在植物抵抗干旱时有着重要作用。第 III 主成分特征值为 1.753,对应特征向量载荷较大的 3 个指标为主根长、主根表面积和主根体积,主要由主根决定。更长的主根有利于植物吸收到更深层的水分。

表 3 3 个主成分的特征值以及贡献率

Table 3 Eigen value of three principal components analysis

主成分 Principal component	特征值 Eigen value	贡献率 (%) Contribution	累积贡献率 (%) Cumulative contribution
I	8.389	55.9	55.9
II	2.280	15.2	71.1
III	1.753	11.7	82.8

表 4 3 个主成分各因子的载荷矩阵

Table 4 Loading matrix of each component in principal components

主成分 Principal component	所测指标的特征向量载荷 Eigenvector loadings of measured traits														
	主根长 TL	侧根长 LRL	总根长 TRL	主根表 面积 TSA	侧根表 面积 LRSA	总根表 面积 TRSA	主根 体积 TV	侧根 体积 LRV	总根 体积 TRV	地上部 干重 SDM	地下部 干重 RDM	整株 干重 PDM	根冠比 RSDMRDM	株高 PH	90% 萎 蔫时间 DRW
I	0.558	0.896	0.922	0.623	0.940	0.973	0.652	0.919	0.954	-0.437	0.884	0.631	0.723	0.313	0.192
II	0.543	-0.170	-0.111	0.548	-0.140	-0.029	0.480	-0.106	0.056	0.723	-0.037	-0.608	0.410	-0.428	0.366
III	-0.528	0.188	0.158	-0.551	0.240	0.165	-0.491	0.266	0.12	0.447	0.074	-0.324	0.318	-0.274	0.461

2.4 抗旱性聚类分析和根系形态及抗旱种质资源筛选

对供试材料性状隶属函数值平均值进行聚类分析 (图 1)。供试材料被分成 3 个类群:第一类群为抗旱型,占供试材料的 8%。抗旱性状隶属函数值平均值较高 ($D>0.412$),值得注意的是 R147 和 CCA065 被聚到第一类群的一个亚群,这两份材料的隶属函数值平均值大于 0.6。第二类群为中间型,抗旱性居中,隶属函数值平均值在 0.267~0.411 之间,占供试材料的 63%。第三类群为敏感型,隶属函数值平均值较低 ($D<0.268$),占供试材料的 29%。

干旱胁迫下,3 个类群中的根系形态和根系生长状况差异明显 (图 2),抗旱性较强的第一类群主根长、侧根多且长;抗旱性中等的第二类群主根长度和侧根数介于第一和第三类群之间;抗旱性弱的第三类群主根短、侧根少且短。

根据各性状隶属函数值平均值并综合各项性状,初步筛选出 15 份小豆抗旱种质资源,这些材料来源广泛,分别来自中国的湖北、河南、安徽、福建、辽宁、山东、黑龙江、河北、山东、山西及韩国、缅甸。其中以 R147 和 CCA065 抗旱性最好,育成品种中仅龙小豆 3 号、唐山红小豆、白红 5 号和晋小豆 5 号的抗旱性较好。

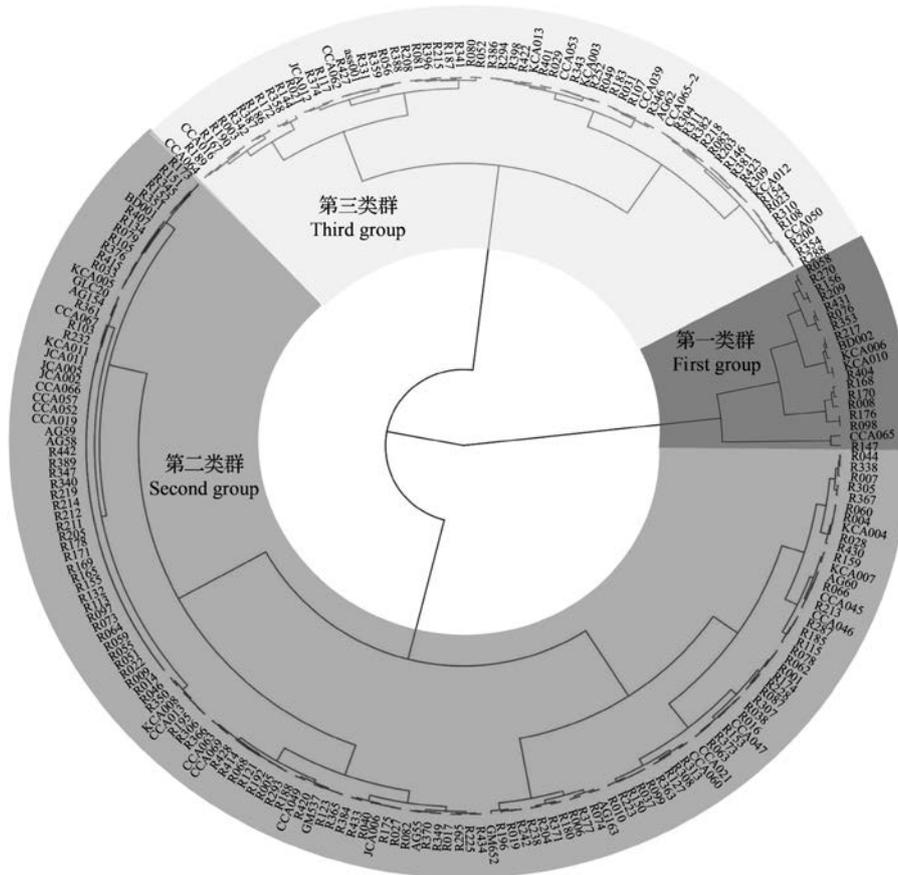


图1 235份小豆种质资源抗旱性聚类图

Fig.1 Dendrogram of drought tolerance for 235 adzuki bean accessions

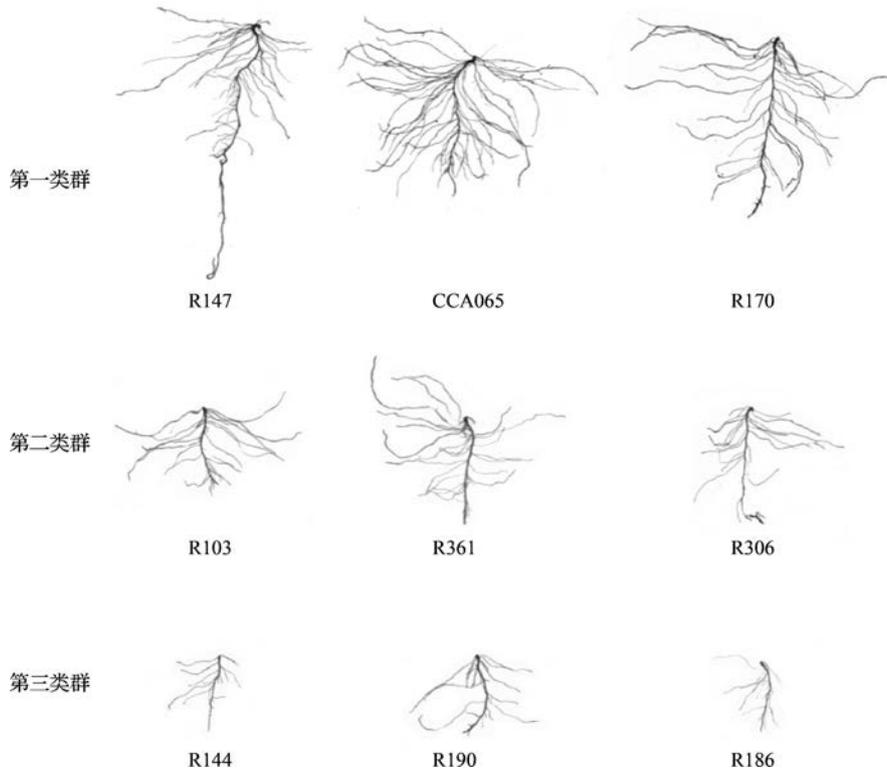


图2 干旱胁迫下不同抗旱类群小豆种质资源根系形态图

Fig.2 Root appearance of adzuki bean germplasm resources with different drought tolerance under drought stress

3 讨论

3.1 干旱胁迫下生物量的变化

非生物胁迫通过控制细胞分裂和细胞伸长的方式,对生物量的累积产生影响。这涉及到遗传、生物化学和生理过程的复杂相互作用^[21-23]。由于光合速率与气孔导度有关,生物量的累积取决于气孔开合程度。在干旱胁迫条件下,干旱敏感基因型小豆在植物生长早期通过气孔关闭以保证“生存”,最大限度地减少二氧化碳吸收和减弱光合作用,从而导致生长停滞和生物量累积减少^[24]。

在本研究中,地上部干重、地下部干重、整株干重和根冠比均与隶属函数值平均值有极显著相关性(表 2)。干旱胁迫对生物量造成显著影响,抗旱性越强的小豆材料,地下根部的生物量累积就越多,地上部生物量由于光合作用的减弱而减少,根冠比相应的也就越大。小豆幼苗生成的能量主要分配到根系,以保证根系能正常生长,从而在土壤深处获得更多的水分。抗旱基因型植物还可以通过脱落旧叶,将资源从较老的叶片重新分配到新生组织,从而通过循环的水分吸收利用帮助幼叶持绿和维持生长^[25]。因此,在干旱胁迫条件下,尽管生物量的累积速率较低,但抗旱型植物为保证相对正常的生长,还是会保持一定的累积。

3.2 干旱胁迫下小豆根系变化

根是第一个感知干旱胁迫的器官,根系的生长规律变化在较大程度上可以代表植物应对干旱胁迫时的表现。植物发育早期阶段筛选的根系性状,在成熟阶段同样具有代表性的特征^[26]。通常认为,根长根多的根系是可以最大化吸收水分的关键特征。此类根系能够从土壤中汲取更多的水分和养分,并改善植物在干旱下的表现^[27-28]。在干旱胁迫条件下,地上部的生长状况取决于地下部是否能产生大量根系以获取更多水分。但随着根系的增加,根系代谢成本也将显著增加^[29]。在水分亏缺条件下,能以较低的根系组织代谢,并获得较多水分的优异基因型植物,将具有更高的生产潜力^[30]。

本研究表明,在干旱胁迫下小豆根系生长会受到抑制,主根长、侧根长和根冠比增加,但是主根表面积、侧根表面积、总根表面积、主根体积、侧根体积、总根体积减少,地上部干重、地下部干重、整株干重和株高减少。不同种质资源小豆根系生长对干旱胁迫的反应有着明显的差异。抗旱基因型小豆根系发达,主根长、侧根多且长。干旱敏感基因型小豆根

系不发达,主根短、侧根少且短。小豆苗期抗旱性与根系性状呈正相关,即抗旱性越强的小豆材料其根长、根表面积、根体积值越大。此结果与前人的试验结果^[16,31]一致。

3.3 苗期抗旱性鉴定及性状指标的选择

植物对干旱的敏感性取决于一系列重要的生理和形态指标,如根长、光合速率、气孔导度、蒸腾速率、相对含水量和水分利用效率^[32]。植物通过整体的形态和生理反应,例如更深的根系,以此产生多种应对干旱胁迫的机制,从而保证植物存活^[33]。在植物的抗旱性鉴定过程中,苗期抗旱性鉴定得到了广泛应用。由于植物抗旱性是一个受多种因素影响的复杂数量性状,应用单一性状指标无法进行准确判断^[34]。多数研究者选用生理生化指标、形态学指标和生长发育指标进行抗旱性鉴定的研究^[35-36]。对所得数据应用模糊算法中的隶属函数值法进行定量转化,从而对抗旱性进行综合评价。

本研究的主要目的是评估小豆苗期的表型性状可否作为评价抗旱性的依据。结果表明,本研究方法可以详细了解表型性状在干旱胁迫下对小豆生长的影响,区分小豆基因型之间在苗期与干旱胁迫的相互作用,明确不同种质资源之间存在的抗旱性差异。对来自不同来源地的 235 份小豆种质资源材料进行干旱胁迫,所测的 15 种性状指标均发生了不同程度的变化。其中根系数据中总根表面积和地下部干重隶属函数值与隶属函数值平均值相关性较高。用主成分分析法进一步对多性状的隶属函数值进行分析,得到了 3 个主成分。特征向量载荷最大的分别是总根表面积、地上部干重和主根表面积。通过相关性分析以及隶属函数值法和主成分分析相结合的方式,将多重性状简化、直观地展现出来,较详细地反映了小豆种质资源的抗旱性信息。综合抗旱性状隶属函数值和主成分分析结果,确定根系性状中总根表面积可作为抗旱性鉴定的主要指标,同时初步筛选出 15 份抗旱小豆种质资源材料。

参考文献

- [1] 郑卓杰,王述民,宗绪晓.中国食用豆类学.北京:中国农业出版社,1997:173-175
Zheng Z J, Wang S M, Zong X X. Food legumes in China. Beijing: China Agricultural Press, 1997: 173-175
- [2] Amarowicz R, Estrella I, Hernández T, Troszyńska A. Antioxidant activity of extract of adzuki bean and its fractions. *Journal of Food Lipids*, 2008, 15(1): 119-136
- [3] Yang K, Tian Z X, Chen C H, Luo L H, Zhao B, Wang Z, Yu L

- L, Li Y S, Sun Y D, Li W Y, Chen Y, Li Y Q, Zhang Y Y, Ai D J, Zhao J Y, Shang C, Ma Y, Wu B, Wang M L, Gao L, Sun D J, Zhang P, Guo F F, Wang W W, Li Y, Wang J L, Varshney R K, Wang J, Ling H Q, Wan P. Genome sequencing of adzuki bean (*Vigna angularis*) provides insight into high starch and low fat accumulation and domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2015, 112(43): 13213-13218
- [4] 景蕊莲. 作物抗旱节水研究进展. *中国农业科技导报*, 2007, 9(1): 1-5
Jing R L. Advances of research on drought resistance and water use efficiency in crop plants. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2007, 9(1): 1-5
- [5] 汪灿, 周棱波, 张国兵, 张立异, 徐燕, 高旭, 姜讷, 邵明波. 蕙苡种质资源苗期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. *中国农业科学*, 2017, 50(15): 2872-2887
Wang C, Zhou L B, Zhang G B, Zhang L Y, Xu Y, Gao X, Jiang N, Shao M B. Drought resistance identification and drought resistance indices screening of Job's Tears (*Coxi lacryma-jobi* L.) germplasm resources at seedling stage. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(15): 2872-2887
- [6] 张文英, 智慧, 柳斌辉, 彭海成, 李伟, 王永芳, 李海权, 栗雨勤, 刁现民. 谷子全生育期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. *植物遗传资源学报*, 2010, 11(5): 560-565
Zhang W Y, Zhi H, Liu B H, Peng H C, Li W, Wang Y F, Li H Q, Li Y Q, Diao X M. Indexes screening for drought resistance test of foxtail millet. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11(5): 560-565
- [7] 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(7): 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 Agronomica Sinica*, 2014, 40(7): 1259-1273
- [8] 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: 67-209
Zhang Z B. *Fundamentals of physiology and genetics and breeding in crop drought resistance and water saving*. Beijing: Science Press, 2003: 67-209
- [9] 李龙, 毛新国, 王景一, 昌小平, 柳玉平, 景蕊莲. 小麦种质资源抗旱性鉴定评价. *作物学报*, 2018, 44(7): 988-999
Li L, Mao X G, Wang J Y, Chang X P, Liu Y P, Jing R L. Drought tolerance evaluation of wheat germplasm resources. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(7): 988-999
- [10] 刘三雄, 黎用朝, 吴俊, 闵军, 常硕其, 刘利成, 卢向阳, 邓启云. 应用隶属函数法综合评价水稻主栽品种抗旱性的研究. *杂交水稻*, 2015, 30(1): 74-78
Liu S X, Li Y C, Wu J, Min J, Chang S Q, Liu L C, Lu X Y, Deng Q Y. Evaluation of drought tolerance of widely-used rice varieties with subordinate function. *Hybrid Rice*, 2015, 30(1): 74-78
- [11] 翟新秘, 秦利军, 项阳, 赵德刚. 隶属函数分析法对 25 份贵州玉米种质抗旱性评价研究. *种子*, 2018, 37(9): 51-55
Zhai X M, Qin L J, Xiang Y, Zhao D G. Evaluation of drought-tolerance in 25 maize germplasms based on subordinate functional analysis. *Seed*, 2018, 37(9): 51-55
- [12] 李忠旺, 陈玉梁, 罗俊杰, 石有太, 冯克云, 陈子萱. 棉花抗旱品种筛选鉴定及抗旱性综合评价方法. *干旱地区农业研究*, 2017, 35(1): 240-247
Li Z W, Chen Y J, Luo J J, Shi Y T, Feng K Y, Chen Z X. Screening and evaluation for drought resistance of cotton varieties. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(1): 240-247
- [13] 谢小玉, 张霞, 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(3): 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.). *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(3): 476-485
- [14] 王兴荣, 张彦军, 李玥, 刘天鹏, 张金福, 祁旭升. 旱胁迫对大豆生长的影响及抗旱性评价方法与指标筛选. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(1): 49-56
Wang X R, Zhang Y J, Li Y, Liu T P, Zhang J F, Qi X S. Effects of drought stress on growth and screening methods and indexes for drought-resistance in soybean. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(1): 49-56
- [15] 赵倩, 卢杰春, 郑浩宇, 金喜军, 张玉先. 红小豆萌发期耐旱种质筛选. *土壤与作物*, 2017, 6(1): 39-44
Zhao Q, Lu J C, Zheng H Y, Jin X J, Zhang Y X. Selection of drought-resistant adzuki bean germplasm resources at germination period. *Soil and Crop*, 2017, 6(1): 39-44
- [16] 王皎, 张永清. 干旱胁迫下不同小豆品种根系生长规律研究. *作物杂志*, 2016(6): 112-119
Wang J, Zhang Y Q. Observation on growth pattern of root system in different adzuki bean varieties under drought stress. *Crops*, 2016(6): 112-119
- [17] 罗海婧, 张永清, 石艳华, 李鑫, 张耀文. 不同红小豆品种幼苗对干旱胁迫的生理响应. *植物科学学报*, 2014, 32(5): 493-501
Luo H J, Zhang Y Q, Shi Y H, Li X, Zhang Y W. Effects of drought stress on the physiological characteristics of different adzuki bean varieties at the seedling stage. *Plant Science Journal*, 2014, 32(5): 493-501
- [18] 郝建军, 黄春花, 卢环, 于洋, 尹凤祥. 不同小豆品种抗旱生理指标比较的研究. *辽宁农业科学*, 2012(5): 21-25
Hao J J, Huang C H, Lu H, Yu Y, Yin F X. Comparison on drought stress of different adzuki bean. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2012(5): 21-25
- [19] 蒲伟凤. 不同类型大豆种质资源抗旱性比较及野生大豆抗旱性筛选. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2010
Pu W F. Comparison of drought resistance in different soybean types and screening of drought resistance in *Glycine soja*. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science & Technology, 2010
- [20] Zadeh L A. Fuzzy sets. *Information & Control*, 1965, 8(3): 338-353
- [21] Beemster G T S, Masle J, Williamson R E, Farquhar G D. Effects of soil resistance to root penetration on leaf expansion in wheat (*Triticum aestivum* L.): composition, number and size of epidermal cells in mature blades. *Journal of Experimental Botany*, 1996, 47(304): 1651-1662
- [22] West G, Inzé D, Beemster G T. Cell cycle modulation in the response of the primary root of arabidopsis to salt stress. *Plant*

- Physiology, 2004, 135 (2): 1050-1058
- [23] Rymen B, Fiorani F, Kartal F, Vandepoele K, Inzé D, Beemster G T. Cold nights impair leaf growth and cell cycle progression in maize through transcriptional changes of cell cycle genes. *Plant Physiology*, 2007, 143 (3): 1429-1438
- [24] Zhao P, Liu P, Shao J, Li C, Wang B, Guo X, Yan B, Xia Y J, Peng M. Analysis of different strategies adapted by two cassava cultivars in response to drought stress: ensuring survival or continuing growth. *Journal of Experimental Botany*, 2015, 66 (5): 1477
- [25] Schippers J H M, Schmidt R, Wagstaff C, Jing H C. Living to die and dying to live: the survival strategy behind leaf senescence. *Plant Physiology*, 2015, 169 (2): 914-930
- [26] Comas L, Becker S, Cruz V M V, Byrne P F, Dierig D A. Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in Plant Science*, 2013, 4: 442
- [27] Sharp R E, Davies W J. Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. *Planta*, 1979, 147 (1): 43-49
- [28] Palta J A, Gregory P J. Drought affects the fluxes of carbon to roots and soil in ¹³C pulse-labelled plants of wheat. *Soil Biology & Biochemistry*, 1997, 29 (9-10): 1395-1403
- [29] Zhan A, Schneider H, Lynch J P. Reduced lateral root branching density improves drought tolerance in maize. *Plant Physiology*, 2015, 168 (4): 1603-1615
- [30] Wasson A P, Richards R A, Chatrath R, Misra S C, Prasad S V S, Rebetzke G J, Kirkegaard J A, Christopher J, Watt M. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 2012, 63 (9): 3485-3498
- [31] 刘莹, 盖钧镒, 吕慧能. 大豆苗期根系与抗旱性基因型差异的研究. *作物杂志*, 2003 (4): 12-15
- Liu Y, Gai J Y, Lv H N. Study on differences of root system and drought resistance genotypic at soybean seedling stage. *Crops*, 2003 (4): 12-15
- [32] Negin B, Moshelion M. The advantages of functional phenotyping in pre-field screening for drought-tolerant crops. *Functional Plant Biology*, 2017, 44 (1): 107
- [33] Chloupek O, Dostál V, Středa T, Psota V, Dvořáčková O. Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding*, 2010, 129 (6): 630-636
- [34] 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 (1): 73-81
- Gong M. Screening methods and indexes of drought resistance in crops and comprehensive evaluation. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 1989, 4 (1): 73-81
- [35] Blum A, Sinmena B, Ziv O. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening tests in wheat. *Euphytica*, 1980, 29 (3): 727-736
- [36] Muchero W, Ehlers J D, Roberts P A. Seedling stage drought-induced phenotypes and drought-responsive genes in diverse cowpea genotypes. *Crop Science*, 2008, 48 (2): 541-552

欢迎订阅 2020 年《河南农业科学》

《河南农业科学》是河南省农业科学院主办的综合性农业科技期刊,深受省内外农业科技人员、农业院校师生等涉农读者的喜爱。本刊连续多年被评为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国农业核心期刊,2011-2018 年被遴选为中国科学引文数据库 (CSCD) 来源期刊、RCCSE 中国核心学术期刊。曾多次获得有关部门的奖励,被评为“全国优秀农业期刊”,连续荣获“河南省优秀科技期刊一等奖”、“河南省自然科学期刊综合质量检测一级期刊”、“河南省自然科学二十佳期刊”。

栏目设置:综述、作物栽培·遗传育种、农业资源与环境、植物保护、园艺、畜牧·兽医、农产品加工与安全·农业工程·农业信息技术。

月刊,国际标准 16 开本,每期定价 25.00 元,全年 300 元。各地邮局均可订阅,邮发代号:36-32。如错过订期,可直接与本刊编辑部联系订阅。

地址:郑州市花园路 116 号

邮编:450002

电话:0371-65739041

E-mail: hnnkx@163.com

网址: <http://www.hnnkx.org.cn>