



箭豌豆种质资源苗期抗旱性综合评价

潘多锋 张瑞博 李道明 金慧 高超 张睿 王明泽 高嫄 周春薇 张举梅

Comprehensive evaluation of drought resistance in the *Vicia sativa* germplasm at the seedling stage

PAN Duofeng, ZHANG Ruibo, LI Daoming, JIN Hui, GAO Chao, ZHANG Rui, WANG Mingze, GAO Qiang, ZHOU Chunwei, ZHANG Jumei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0077>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

6份川西北短芒披碱草种质苗期的抗旱性综合评价

Comprehensive evaluation of drought resistance in six *Elymus breviaristatus* accessions from the Northwest Plateau of Sichuan Province at seedling stage

草业科学. 2017, 11(1): 101 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0233>

8份柳枝稷种质资源苗期抗旱性综合评价

Evaluation of drought resistance in seedlings of eight switchgrass accessions

草业科学. 2017, 11(4): 706 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0601>

饲草型小黑麦苗期抗旱指标的筛选

Screening on the drought resistance index and conditions for × Triticale Wittmack at the seedling stage

草业科学. 2017, 11(3): 539 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0173>

混播或单播箭豌豆、绿麦草对水分胁迫的形态特征响应

Morphological characteristics of water stress in mixed or unicast seeding of *Vicia sativa* and *Secale cereal* in Tibet

草业科学. 2019, 36(7): 1826 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0498>

3种观赏草苗期对于旱胁迫的响应及抗旱性评价

Effects of drought stress on physiological and growth characteristics of the seedlings of three ornamental grasses

草业科学. 2019, 36(5): 1266 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0388>

陕北黄土丘陵沟壑区主要植物种子对于旱胁迫的萌发响应及抗旱性评价

Evaluation of germination response and the resistance of main plant species seedling to drought stress in the hill-gullied Loess Plateau region of northern Shaanxi

草业科学. 2018, 12(2): 348 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0227>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2022-0077

潘多锋, 张瑞博, 李道明, 金慧, 高超, 张睿, 王明泽, 高墙, 周春薇, 张举梅. 箭筈豌豆种质资源苗期抗旱性综合评价. 草业科学, 2023, 40(1): 188-199.

PAN D F, ZHANG R B, LI D M, JIN H, GAO C, ZHANG R, WANG M Z, GAO Q, ZHOU C W, ZHANG J M. Comprehensive evaluation of drought resistance in the *Vicia sativa* germplasm at the seedling stage. Pratacultural Science, 2023, 40(1): 188-199.

箭筈豌豆种质资源苗期抗旱性综合评价

潘多锋¹, 张瑞博¹, 李道明¹, 金慧¹, 高超¹, 张睿¹,
王明泽², 高墙², 周春薇³, 张举梅¹

(1. 黑龙江省农业科学院草业研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院大庆分院, 黑龙江 大庆 163316;
3. 黑龙江省农业科学院乡村振兴科技研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 抗旱种质资源的筛选与评价是抗旱品种选育的基础。鉴定箭筈豌豆 (*Vicia sativa*) 种质资源的抗旱性, 确定抗旱评价指标和方法, 筛选抗旱种质资源, 为抗旱箭筈豌豆品种的选育提供基础材料。本研究采用苗期反复干旱法, 对 52 份箭筈豌豆种质资源的抗旱性进行了综合评价。结果表明: 干旱胁迫显著降低了箭筈豌豆的株高、地上部干鲜重、地下部干鲜重、根冠比以及根瘤数。相关分析表明, 地上部干鲜重与株高显著正相关, 与地下部干鲜重和根冠比显著负相关。主成分分析共提取出 5 个主成分, 其累计贡献率达到 86.33%。聚类分析结果表明, 供试箭筈豌豆资源可分为高抗旱型、抗旱型、中抗型、敏感型和极度敏感型 5 个类别。地上部生物量和株高与箭筈豌豆抗旱性的关联度较高, 它们可作为箭筈豌豆种质资源苗期抗旱性评价的重要指标。VS35、VS34、VS30 和 VS21 的抗旱能力强, 可作为抗旱品种选育的亲本材料。而 VS16、VS28、VS27 和 VS46 的抗旱能力较差, 但可作为箭筈豌豆抗旱机理、调控机制等方面研究的基础材料。

关键词: 箭筈豌豆; 变异系数; 抗旱级别; 抗旱系数; 干旱胁迫; 幼苗期; 综合评价

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2023)01-0188-12

Comprehensive evaluation of drought resistance in the *Vicia sativa* germplasm at the seedling stage

PAN Duofeng¹, ZHANG Ruibo¹, LI Daoming¹, JIN Hui¹, GAO Chao¹, ZHANG Rui¹,
WANG Mingze², GAO Qiang², ZHOU Chunwei³, ZHANG Jumei¹

(1. Institute of Forage and Grassland Sciences, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang, China;
2. Daqing Branches, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, Heilongjiang, China; 3. Institute of Rural
Revitalization Science and Technology, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

Abstract: The selection and evaluation of drought-resistant germplasm resources are the basic steps in the breeding of drought-resistant varieties. The identification of drought resistance, determination of evaluation methods and indexes, and screening of high drought resistance germplasms can provide the basic materials for the breeding of drought-resistant *Vicia sativa* varieties. The drought-resistant of 52 *V. sativa* germplasms at the seedling stage were comprehensively evaluated using a recurrent drought method under greenhouse conditions. The results showed that drought stress significantly reduced the plant height, shoot fresh and dry weight, root fresh and dry weight, shoot/root ratio, and nodule number. The correlation

收稿日期: 2022-01-31 接受日期: 2022-05-11

基金项目: 国家绿肥产业技术体系 (CARS-22-G-02); 黑龙江省自然科学基金 (LH2021C088); 黑龙江省农业科学院基金项目 (2020FJZX038)

第一作者: 潘多锋 (1980-), 男, 宁夏青铜峡人, 副研究员, 博士, 研究方向为草地管理及牧草种质资源。E-mail: panduofeng2000@163.com

通信作者: 张举梅 (1965-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 研究员, 博士, 研究方向为牧草种质资源。E-mail: zjm312@ailiyun.com

analysis showed that the shoot fresh and dry weight had was significantly positively correlated with plant height but significantly negatively correlated with root fresh and dry weight and shoot/root ratio. Five principal components were extracted, and they accounted for 86.33% of the cumulative contribution rate. Basic on the D value, all the tested germplasms were divided into 5 drought resistance grades: High drought resistance, drought resistance, moderate resistance, sensitive resistance, and high sensitivity. VS35, VS34, VS30, and VS21 had the highest drought resistance among all germplasms and could be used as parental materials for the breeding of drought-resistant varieties. Although VS16, VS28, VS27, and VS46 had the lowest drought resistance, these germplasms could be used in the study of drought resistance mechanisms and regulatory mechanisms. The shoot biomass and plant height were strongly correlated with drought resistance and represent important identification indices for drought resistance evaluations of *V. sativa* at the seedling stage.

Keywords: common vetch (*Vicia sativa*); coefficient of variation; drought resistance grades; drought resistance coefficient; drought resistance; seedling stage; comprehensive evaluation

Corresponding author: ZHANG Jumei E-mail: zjm312@ailiyun.com

箭筈豌豆 (*Vicia sativa*) 又名救荒野豌豆、大巢菜, 是豆科野豌豆属一年生或越年生, 二倍体 ($2n=12$) 自花授粉草本植物^[1-2]。箭筈豌豆生长速度快、生育周期短, 其根部具根瘤, 能够固氮、改善土壤结构, 是我国主栽的绿肥作物之一^[3-4]。此外, 箭筈豌豆营养价值高、适口性好、适应性广, 亦是一种优良的牧草, 有效促进绿肥+产业的发展。例如, 箭筈豌豆与燕麦 (*Avena sativa*) 混播, 能够有效解决我国高寒牧区饲草料不足的问题^[5-6]。箭筈豌豆在土耳其、中亚、南美等地区普遍种植, 在我国的长江中下游、华北和西北等地区种植面积较大^[7-8]。

选育抗旱品种是人们应对干旱气候带来不利影响的重要手段之一, 而抗旱种质资源的评价与筛选则是抗旱品种选育的基础。植物抗旱评价主要集中在种子萌发期^[9]、苗期^[10]和全生育期^[11]3个时期, 而苗期鉴定因易操作、可重复、周期短、受环境影响小等特点, 已被广泛应用^[12]。在植物苗期抗旱评价研究中, 多指标(如生长发育指标、形态学指标以及生理生化指标等)、多方法(如相关分析、聚类分析、主成分分析、灰色关联分析和隶属函数法)的综合评价已被公认为最科学、合理、有效的方法。然而, 作为我国重要绿肥作物之一的箭筈豌豆, 其抗旱性的研究却十分有限。韩梅等^[13]采用 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫, 运用模糊数学隶属函数法评价了 10 份箭筈豌豆种质资源。任永霞等^[14]对箭筈豌豆、毛叶苕子 (*Vicia villosa*) 和光叶苕子 (*Vicia villosa* var) 种子萌发期的抗旱性进行了评价, 并指出在 3 种绿肥作物中, 箭筈豌豆的抗旱性最强。为了促进我国抗旱箭筈豌豆品种的选育, 提供更多的抗旱种质资

源, 本研究采用反复干旱法, 观测记录了来自 11 国家的 52 份箭筈豌豆种质的株高、生物量、根长、叶宽、根瘤数等, 运用相关分析、主成分分析、聚类分析和标准差系数赋予权重法对其抗旱性进行了综合评价及指标筛选, 以期为箭筈豌豆抗旱育种、机理、调控机制等方面的研究提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试的箭筈豌豆资源共 52 份, 18 份 (VS1~VS18) 国内资源均来自中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 34 份 (VS19~VS52) 国外资源均由黑龙江省农业科学院草业研究所提供(表 1)。

1.2 试验方法

试验于 2019 年 8 月—10 月在黑龙江省农业科学院智能温室进行, 温室内平均温度 26.8℃, 湿度 42.1%, 日照时长 8 h。将 0—20 cm 耕层的大田土壤装入高 21.5 cm、底径 17.5 cm、口径 26.5 cm 的花盆中, 每盆装土 3 kg。2019 年 8 月 1 日播种, 每份材料种植 6 盆。出苗后三叶期定苗, 每盆保留长势健壮一致的幼苗 20 株。于 2019 年 9 月 10 日, 幼苗长到四叶期时, 采用反复干旱法进行干旱胁迫处理。将 6 个花盆分成两组(每组 3 盆, 即 3 次重复), 一组进行干旱胁迫(处理组), 一组正常浇水(对照组)。为了确保试验前所有花盆土壤湿度一致, 在处理的前一天, 采用称重法对所有材料进行统一浇水, 使其土壤含水量达到田间持水量的 80%。对照组保持正常浇水, 处理组则停止供水。当处理组土壤含水量

表 1 参试的箭筈豌豆种质资源
Table 1 Vetch germplasm resources of the experiment

编号 No.	材料编号 Materials code	来源 Origin	编号 No.	材料编号 Materials code	来源 Origin
VS1	GLF296	中国 China	VS27	HZMC1365	俄罗斯 Russia
VS2	GLF298	中国 China	VS28	HZMC1366	俄罗斯 Russia
VS3	GLF300	中国 China	VS29	HZMC1367	俄罗斯 Russia
VS4	GLF302	中国 China	VS30	HZMC1368	俄罗斯 Russia
VS5	GLF305	中国 China	VS31	HZMC1369	俄罗斯 Russia
VS6	GLF306	中国 China	VS32	HZMC1370	俄罗斯 Russia
VS7	GLF307	中国 China	VS33	HZMC1372	德国 Germany
VS8	GLF308	中国 China	VS34	HZMC1373	希腊 Greece
VS9	GLF318	中国 China	VS35	HZMC1374	希腊 Greece
VS10	GLF334	中国 China	VS36	HZMC1375	德国 Germany
VS11	GLF347	中国 China	VS37	HZMC1376	俄罗斯 Russia
VS12	GLF349	中国 China	VS38	HZMC1377	捷克 Czech Republic
VS13	GLF350	中国 China	VS39	HZMC1379	俄罗斯 Russia
VS14	GLF362	中国 China	VS40	HZMC1380	捷克 Czech Republic
VS15	GLF364	中国 China	VS41	HZMC1381	波兰 Poland
VS16	GLF365	中国 China	VS42	HZMC1382	西班牙 Spain
VS17	GLF368	中国 China	VS43	HZMC1383	西班牙 Spain
VS18	GLF373	中国 China	VS44	HZMC1384	西班牙 Spain
VS19	HZMC1349	俄罗斯 Russia	VS45	HZMC1386	意大利 Italy
VS20	HZMC1351	俄罗斯 Russia	VS46	HZMC1387	乌克兰 Ukraine
VS21	HZMC1352	俄罗斯 Russia	VS47	HZMC1388	立陶宛 Lithuania
VS22	HZMC1353	俄罗斯 Russia	VS48	HZMC1488	捷克 Czech Republic
VS23	HZMC1353	俄罗斯 Russia	VS49	HZMC1489	西班牙 Spain
VS24	HZMC1356	俄罗斯 Russia	VS50	HZMC1492	罗马尼亚 Romania
VS25	HZMC1361	俄罗斯 Russia	VS51	HZMC1535	俄罗斯 Russia
VS26	HZMC1364	俄罗斯 Russia	VS52	HZMC1536	俄罗斯 Russia

降至田间持水量的 20% 时进行第 1 次复水，复水至田间持水量的 80%，之后停止供水。如此进行两次干旱-复水处理^[12, 15]。

1.3 测定项目

在第 2 次复水 48 h 后测量各项指标。从每花盆中随机选取 5 个幼苗植株，清洗干净后，将其地上部分与根系剪断分开。用直尺测量地上部分的长度，即株高 (plant height, PH) 和根系长度 (root length, RL)，之后分别称取地上部分鲜重 (shoot fresh weight, SFW) 和根鲜重 (root fresh weight, RFW)。地上部分和根系鲜重称量完之后，将其置于烘箱中，在 65 ℃ 下烘 24 h 后分别称重，即得地上干重 (shoot dry weight,

SDW) 和根干重 (root dry weight, RDW)。计算幼苗地上鲜重与根鲜重的比值获得根冠比 (shoot/root ratio, S/R)。用游标卡尺测量第二主叶的叶长 (leaf length, LL)、叶宽 (leaf width, LW)^[8]。同时，统计记录幼苗根系的根瘤数 (nodule number, NN)。

1.4 数据分析

用 Excel 2010 整理数据，SPSS 19.0 统计分析。各单项指标的抗旱系数 (drought resistance coefficient, DC) 的计算公式如下^[12]：

$$DC = \frac{x_i}{CK_i}。$$
(1)

式中： x_i 为干旱测定值， CK_i 为对照测定值。

采用标准差系数赋予权重法进行抗旱性综合评价, 通过各材料的抗旱性度量值 (drought resistance comprehensive evaluation value, D) 来判定其抗旱性强弱。D 值的计算方法为: 先按公式 (2) 计算各指标的隶属函数值, 然后用公式 (3) 计算各指标的标准差系数 V_j , 之后用公式 (4) 计算各指标的权重系数 W_j , 最后用公式 (5) 计算各材料综合评价 D 值。式中, X_j 表示第 j 个指标值, $X_{\min}$ 表示第 j 个指标的最小值, $X_{\max}$ 表示第 j 个指标的最大值^[16]。

$$\mu x = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}; \quad (2)$$

$$V_j = \frac{1}{\bar{X}_j} \sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij} - \bar{X}_j}; \quad (3)$$

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{i=1}^m V_j}; \quad (4)$$

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(x_j) \times W_j]。 \quad (5)$$

采用一般线性模型 (generalized linear models, GLMs) 比较不同处理下各材料间各测定指标的差异, LSD 法进行多重比较。采用配对 t 测验比较不同处理下各指标平均值的差异显著性。以各指标的 DC 为依据, 进行主成分分析。以供试材料的 D 值为依据, 采用加权配对算术平均法 (weighted pair group method average, WPGMA) 进行聚类分析。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 (γ_D)^[11-12]。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下各测定指标的变化

无论干旱胁迫与否, 参试箭筈豌豆种质间的各观测指标的平均值差异极显著 ($P < 0.01$) (表 2)。对照组各测定指标的变异系数为 14.09%~38.38%, 其中, 根瘤数最大, 根长最小; 处理组的变异系数是 10.65%~44.23%, 其中, 根冠比最大, 根长也是最小。干旱胁迫处理对箭筈豌豆影响显著, 与对照组相比, 处理组的各测定指标的平均值都极显著地降低 ($t > 0$, $P < 0.01$)。干旱胁迫处理后, 所有测定指标

均小于对照组。此外, 本试验观测的各指标测定值的相关系数介于 0.40~0.90。

干旱胁迫处理后, 各指标 DC 值差异显著 ($P < 0.05$) (表 3)。根长和叶长的 DC 值较大, 分别为 0.946 和 0.937, 显著高于其他观测指标 ($P < 0.05$)。地上鲜重的 DC 值最小 (0.337), 与地上干重和根鲜重无显著差异 ($P > 0.05$), 但显著低于其他指标 ($P < 0.05$)。所有指标 DC 值的变异系数为 0.090~0.372。此外, 同一指标各种质间的 DC 值差异显著 ($P < 0.05$), 同一种质不同指标的 DC 值差异也较大。

相关分析发现, 除根瘤数外, 测定的指标至少与其中的一个指标表现出显著或极显著的相关关系 (表 4)。其中, 地上鲜重与株高、地上干重极显著正相关 ($P < 0.01$), 与根冠比极显著负相关, 与根鲜重和根干重显著负相关 ($P < 0.05$)。

2.2 测定指标的主成分分析

通过主成分分析, 共提取出 5 个主成分, 其累计贡献率达到 86.33%, 特征根 $\lambda \geq 0.687$ (表 5)。第 1 主成分中, 地上鲜重、地上干重和株高的载荷值较高; 第 2 主成分中, 根鲜重、根干重和株高的载荷值较高; 第 3 主成分中, 叶长、叶宽和株高具有较大的载荷值; 第 4 主成分中, 根瘤数具有较大的载荷值; 第 5 主成分中, 根长具有较大载荷值。根据分析结果, 将测定的所有指标转换成 5 个新的相互独立的综合指标 (分别用 F1、F2、F3、F4、F5 表示)。

2.3 综合抗旱性评价

参试 52 份箭筈豌豆的综合抗旱性评价结果表明, 所有参试种质的 D 值介于 0.317~0.697 (表 6), 平均值为 0.451, 变异系数是 0.069。根据参试材料的 D 值对供试种质进行抗旱性排序 (表 6), D 值越大代表该材料的抗旱性越强, 反之则越弱。参试的 52 份材料中, 抗旱能力强的材料有 VS35、VS34、VS30 和 VS21, 抗旱性差的种质是 VS46、VS27、VS28 和 VS16。

2.4 灰色关联度分析

试验测定的 10 个指标的权重值从大到小依次为: 地上鲜重 > 地上干重 > 株高 > 根鲜重 > 根干重 > 根冠比 > 叶长 > 叶宽 = 根长 > 根瘤数 (表 7)。该结果表明地上鲜重对干旱胁迫最为敏感性, 而叶宽受干旱的影响较小。各指标 DC 值与 D 值的关联度排

表 2 干旱胁迫下各指标的统计值
Table 2 Statistical value of all indices under the drought treatment

项目 Item	株高(PH) Plant height/cm		叶长(LL) Leaf length/cm		叶宽(LW) Leaf width/cm		地上鲜重 (SFW) Shoot fresh weight/g		地上干重 (SDW) Shoot dry weight/g		根鲜重(RFW) Root fresh weight/g		根干重(RDW) Root dry weight/g		根冠比(S/R) Shoot/Root ratio		根长(RL) Root length/cm		根瘤数(NN) Nodule number	
	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T
最大值 Maximum	48.90	37.41	1.08	0.82	0.38	0.30	1.43	0.33	0.43	0.14	0.11	0.05	0.02	0.01	0.20	0.04	17.43	16.43	2.78	2.67
最小值 Minimum	112.38	80.14	3.02	2.11	0.77	0.62	3.94	2.02	1.2	0.84	0.59	0.29	0.14	0.09	0.63	0.43	32.76	29.11	19.22	12.89
均值 Mean value	72.16	54.09	1.62	1.48	0.57	0.44	2.50	0.83	0.76	0.35	0.27	0.11	0.06	0.04	0.33	0.21	22.39	20.94	8.83	4.74
标准差(STD) Standard deviation	14.36	10.57	0.36	0.27	0.08	0.08	0.58	0.35	0.18	0.15	0.09	0.05	0.02	0.01	0.09	0.09	3.15	2.23	3.39	1.89
变异系数(CV) Coefficient of variation/%	19.90	19.55	22.22	18.25	14.16	17.74	23.20	42.25	23.42	42.25	34.23	41.88	35.44	42.54	27.86	44.23	14.09	10.65	38.38	39.97
相关系数 Correlation	0.90		0.40		0.61		0.44		0.45		0.77		0.78		0.66		0.43		0.47	
P	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	
t	19.47		2.87		13.09		22.75		17.29		17.79		14.17		11.08		3.51		9.80	
Sig.	0.00		0.01		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00	

CK和T分别表示正常浇水和干旱胁迫处理。
CK and T indicate treatments of normal watering and drought stress, respectively.

表 3 供试箭筈豌豆资源各指标的抗旱系数
Table 3 Drought resistance coefficients of all indices of the vetch germplasms

编号 No.	株高 PH	叶长 LL	叶宽 LW	地上鲜重 SFW	地上干重 SDW	根鲜重 RFW	根干重 RDW	根冠比 S/R	根长 RL	根瘤数 NN
VS1	0.794	0.876	0.707	0.222	0.305	0.535	0.721	0.881	0.823	0.500
VS2	0.760	0.801	0.718	0.312	0.429	0.444	0.598	0.556	1.170	0.596
VS3	0.893	1.023	0.936	0.381	0.417	0.296	0.399	0.465	1.077	0.812
VS4	0.700	0.962	0.959	0.303	0.416	0.385	0.519	0.732	1.019	0.690
VS5	0.814	0.873	0.800	0.305	0.419	0.387	0.521	0.801	1.022	0.485
VS6	0.708	0.956	0.767	0.211	0.291	0.531	0.716	0.644	0.836	0.221
VS7	0.733	0.935	0.836	0.233	0.321	0.393	0.529	0.685	1.173	0.465
VS8	0.816	1.250	0.735	0.302	0.416	0.241	0.324	0.993	1.029	0.394
VS9	0.783	0.907	0.679	0.260	0.358	0.460	0.620	0.665	0.969	0.635
VS10	0.783	0.974	0.860	0.270	0.372	0.393	0.530	0.892	0.904	0.349
VS11	0.718	1.311	0.933	0.289	0.398	0.376	0.507	0.770	1.167	0.509
VS12	0.727	1.259	0.918	0.145	0.200	0.571	0.770	0.821	0.784	0.479
VS13	0.700	1.016	0.815	0.274	0.377	0.433	0.583	0.450	0.851	0.581
VS14	0.697	0.902	0.796	0.266	0.366	0.589	0.793	0.513	0.835	0.426
VS15	0.780	0.862	0.854	0.303	0.417	0.415	0.560	0.695	0.848	0.580
VS16	0.730	0.759	0.698	0.310	0.427	0.396	0.533	0.396	0.886	0.505
VS17	0.703	1.130	0.725	0.267	0.367	0.387	0.521	0.814	1.078	0.301
VS18	0.731	1.043	0.800	0.244	0.335	0.576	0.776	0.538	0.797	0.385
VS19	0.692	1.057	0.725	0.190	0.261	0.495	0.667	0.760	0.824	0.205
VS20	0.798	1.015	0.755	0.325	0.447	0.203	0.274	0.723	0.818	0.545
VS21	0.750	0.897	0.900	0.552	0.760	0.334	0.450	0.476	1.171	0.889
VS22	0.694	1.000	0.947	0.283	0.390	0.386	0.521	0.737	0.912	0.911
VS23	0.713	0.892	0.725	0.228	0.313	0.485	0.654	0.780	0.784	0.448
VS24	0.713	0.828	0.583	0.330	0.454	0.395	0.532	0.829	0.954	0.719
VS25	0.762	0.751	0.625	0.237	0.326	0.506	0.682	0.742	0.933	0.680
VS26	0.839	0.969	0.700	0.613	0.843	0.313	0.422	0.309	1.032	0.709
VS27	0.683	0.693	0.591	0.323	0.444	0.400	0.539	0.491	0.945	0.492
VS28	0.752	0.568	0.500	0.316	0.435	0.387	0.522	0.627	0.948	0.525
VS29	0.829	0.723	0.808	0.629	0.865	0.288	0.388	0.344	1.054	0.712
VS30	0.782	0.939	0.778	0.306	0.421	0.816	1.100	0.450	0.830	0.818
VS31	0.773	1.142	0.769	0.374	0.515	0.313	0.421	0.611	0.981	0.615
VS32	0.603	0.675	0.727	0.227	0.312	0.368	0.496	0.969	1.149	0.800
VS33	0.691	0.932	0.796	0.265	0.365	0.332	0.447	0.981	0.975	1.000
VS34	0.745	1.057	0.764	0.515	0.708	0.400	0.539	0.718	0.848	1.196
VS35	0.851	0.918	0.929	0.692	0.953	0.486	0.655	0.955	0.980	0.416
VS36	0.672	1.104	0.885	0.267	0.368	0.344	0.464	0.796	0.997	0.639
VS37	0.854	0.778	0.870	0.339	0.467	0.692	0.932	0.549	0.654	0.270
VS38	0.587	1.352	0.882	0.242	0.333	0.357	0.481	0.989	1.027	0.543
VS39	0.688	0.765	0.636	0.408	0.562	0.563	0.759	0.328	0.803	0.461
VS40	0.741	0.856	0.745	0.447	0.615	0.328	0.443	0.463	1.112	0.398
VS41	0.782	1.035	0.784	0.545	0.751	0.283	0.382	0.385	1.044	0.490
VS42	0.769	0.967	0.810	0.579	0.797	0.444	0.598	0.187	0.902	0.563
VS43	0.785	0.423	0.883	0.566	0.779	0.307	0.414	0.285	0.915	0.414
VS44	0.730	1.000	0.610	0.263	0.362	0.343	0.462	0.742	1.029	0.659
VS45	0.763	1.052	0.786	0.314	0.432	0.507	0.683	0.510	0.887	0.481
VS46	0.637	0.622	0.560	0.244	0.336	0.451	0.608	0.846	0.887	0.452
VS47	0.837	1.113	0.836	0.316	0.435	0.403	0.543	0.545	0.964	0.561

续表 3
Table 3 (Continued)

编号 No.	株高 PH	叶长 LL	叶宽 LW	地上鲜重 SFW	地上干重 SDW	根鲜重 RFW	根干重 RDW	根冠比 S/R	根长 RL	根瘤数 NN
VS48	0.729	1.236	0.842	0.219	0.301	0.353	0.476	0.886	0.871	0.604
VS49	0.722	0.947	0.763	0.247	0.340	0.431	0.581	0.819	0.968	0.600
VS50	0.865	0.815	0.643	0.343	0.471	0.378	0.509	0.638	0.852	0.960
VS51	0.841	0.723	0.804	0.412	0.568	0.441	0.594	0.383	1.085	0.560
VS52	0.915	1.031	0.978	0.444	0.617	0.411	0.554	0.228	0.799	0.538
平均值 Average	0.753b	0.937a	0.778b	0.337e	0.461de	0.418de	0.564cd	0.642c	0.946a	0.573cd
P	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
CV/%	9.0	19.8	14.1	37.0	37.2	26.2	26.2	33.2	12.7	34.3

CV, 变异系数。同一行不同小写字母表示不同指标间差异显著($P < 0.05$)。
CV, coefficient of variation. Different lowercase letters within the same row indicate significant differences at the 0.05 level.

表 4 各指标抗旱系数的相关系数
Table 4 Correlations of the drought resistance coefficients of all indices

指标 Index	株高 PH	叶长 LL	叶宽 LW	地上鲜重 SFW	地上干重 SDW	根鲜重 RFW	根干重 RDW	根冠比 S/R	根长 RL
叶长 LL	-0.066								
叶宽 LW	0.213	0.446**							
地上鲜重 SFW	0.488**	-0.238	0.173						
地上干重 SDW	0.465**	-0.243	0.157	0.996**					
根鲜重 RFW	-0.053	-0.103	-0.038	-0.280*	-0.266				
根干重 RDW	-0.053	-0.103	-0.038	-0.279*	-0.266	1.000**			
根冠比 S/R	-0.405**	0.317*	-0.047	-0.551**	-0.543**	-0.089	-0.089		
根长 RL	-0.086	0.039	0.061	0.211	0.197	-0.551**	-0.642**	0.080	
根瘤数 NN	0.036	-0.019	0.026	0.201	0.186	-0.231	-0.231	0.022	0.206

*和**分别表示在0.05和0.01水平显著相关。
* and ** Significant correlations at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

表 5 各指标主成分的特征向量及贡献率
Table 5 Eigenvectors and contribution rates of the principal components of all indices

指标 Index	因子载荷 Factor loading				
	F1	F2	F3	F4	F5
株高 PH	0.501	0.436	0.307	-0.084	-0.524
叶长 LL	-0.168	-0.427	0.756	0.005	-0.045
叶宽 LW	0.192	-0.03	0.862	0.068	0.233
地上鲜重 SFW	0.883	0.354	0.031	0.027	0.130
地上干重 SDW	0.868	0.362	0.018	0.020	0.143
根鲜重 RFW	-0.641	0.888	0.097	0.192	0.300
根干重 RDW	-0.641	0.694	0.086	0.177	0.216
根冠比 S/R	-0.476	-0.646	0.042	0.105	-0.115
根长 RL	0.473	-0.563	-0.126	-0.034	0.457
根瘤数 NN	0.335	-0.212	-0.093	0.898	-0.128
特征根 Root characteristics	3.233	2.355	1.454	0.905	0.687
贡献率 Contribution rate/%	32.326	23.546	14.54	9.046	6.873
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	32.326	55.871	70.411	79.458	86.33

表 6 供试种质的抗旱性度量值
Table 6 Drought resistance comprehensive values of the vetch germplasm

编号 No.	隶属函数值 Subordinated function										D值 D value	排序 Rank
	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	$\mu(4)$	$\mu(5)$	$\mu(6)$	$\mu(7)$	$\mu(8)$	$\mu(9)$	$\mu(10)$		
VS1	0.617	0.490	0.431	0.133	0.140	0.540	0.544	0.864	0.333	0.293	0.436	33
VS2	0.516	0.410	0.454	0.299	0.305	0.393	0.395	0.458	0.999	0.390	0.459	23
VS3	0.917	0.649	0.909	0.427	0.290	0.155	0.155	0.344	0.821	0.609	0.552	7
VS4	0.334	0.583	0.957	0.283	0.289	0.299	0.300	0.678	0.710	0.485	0.488	11
VS5	0.680	0.487	0.625	0.287	0.293	0.301	0.303	0.764	0.716	0.278	0.470	18
VS6	0.359	0.576	0.555	0.113	0.121	0.534	0.537	0.567	0.357	0.011	0.370	47
VS7	0.433	0.554	0.700	0.155	0.162	0.311	0.312	0.619	1.006	0.257	0.445	28
VS8	0.686	0.892	0.489	0.282	0.288	0.066	0.066	1.004	0.729	0.186	0.465	21
VS9	0.584	0.524	0.372	0.204	0.211	0.419	0.422	0.594	0.614	0.430	0.434	34
VS10	0.586	0.595	0.751	0.223	0.230	0.312	0.313	0.878	0.489	0.140	0.448	27
VS11	0.387	0.958	0.903	0.258	0.264	0.284	0.286	0.725	0.994	0.302	0.531	8
VS12	0.416	0.902	0.872	0.009	0.000	0.599	0.603	0.788	0.259	0.272	0.465	20
VS13	0.334	0.640	0.656	0.229	0.236	0.375	0.377	0.325	0.386	0.374	0.391	43
VS14	0.323	0.518	0.617	0.215	0.222	0.627	0.630	0.404	0.356	0.219	0.411	41
VS15	0.575	0.475	0.737	0.284	0.290	0.347	0.349	0.631	0.381	0.374	0.442	30
VS16	0.425	0.365	0.413	0.296	0.302	0.316	0.317	0.257	0.454	0.298	0.343	49
VS17	0.342	0.763	0.470	0.216	0.223	0.301	0.303	0.780	0.823	0.091	0.428	35
VS18	0.426	0.670	0.625	0.174	0.181	0.606	0.610	0.435	0.282	0.176	0.415	37
VS19	0.309	0.685	0.470	0.074	0.081	0.476	0.479	0.712	0.335	-0.005	0.358	48
VS20	0.631	0.639	0.532	0.324	0.330	0.005	0.004	0.666	0.323	0.339	0.377	46
VS21	0.486	0.513	0.833	0.745	0.747	0.216	0.217	0.358	1.001	0.686	0.640	4
VS22	0.314	0.624	0.932	0.247	0.253	0.301	0.302	0.684	0.503	0.708	0.484	14
VS23	0.373	0.508	0.468	0.144	0.151	0.460	0.463	0.737	0.257	0.240	0.378	45
VS24	0.372	0.439	0.174	0.333	0.339	0.314	0.316	0.799	0.585	0.514	0.419	36
VS25	0.521	0.356	0.261	0.161	0.168	0.494	0.497	0.690	0.544	0.475	0.415	38
VS26	0.753	0.591	0.417	0.857	0.858	0.183	0.183	0.148	0.735	0.504	0.564	5
VS27	0.282	0.294	0.190	0.320	0.326	0.323	0.324	0.377	0.567	0.285	0.329	51
VS28	0.491	0.160	0.000	0.308	0.314	0.302	0.304	0.546	0.574	0.319	0.332	50
VS29	0.724	0.326	0.641	0.886	0.887	0.142	0.142	0.193	0.776	0.507	0.554	6
VS30	0.581	0.558	0.579	0.288	0.294	0.993	0.999	0.325	0.345	0.614	0.656	3
VS31	0.556	0.776	0.561	0.415	0.420	0.182	0.182	0.527	0.637	0.409	0.464	22
VS32	0.038	0.274	0.474	0.142	0.150	0.271	0.273	0.973	0.960	0.596	0.413	39
VS33	0.307	0.551	0.617	0.213	0.220	0.212	0.213	0.989	0.625	0.798	0.473	17
VS34	0.469	0.685	0.549	0.675	0.678	0.323	0.324	0.659	0.381	0.996	0.676	2
VS35	0.791	0.536	0.893	1.004	1.004	0.461	0.464	0.956	0.634	0.208	0.697	1

续表 6
Table 6 (Continued)

编号 No.	隶属函数值 Subordinated function										D值 D value	排序 Rank
	μ (1)	μ (2)	μ (3)	μ (4)	μ (5)	μ (6)	μ (7)	μ (8)	μ (9)	μ (10)		
VS36	0.250	0.735	0.801	0.217	0.224	0.233	0.234	0.758	0.668	0.433	0.452	25
VS37	0.801	0.385	0.770	0.351	0.356	0.793	0.798	0.449	0.008	0.060	0.475	16
VS38	0.000	1.003	0.796	0.170	0.177	0.252	0.254	0.998	0.725	0.336	0.468	19
VS39	0.296	0.371	0.284	0.478	0.483	0.585	0.589	0.172	0.294	0.253	0.382	44
VS40	0.457	0.469	0.510	0.550	0.553	0.207	0.208	0.341	0.889	0.190	0.436	32
VS41	0.582	0.662	0.592	0.732	0.734	0.134	0.135	0.244	0.758	0.283	0.485	13
VS42	0.543	0.588	0.647	0.794	0.796	0.393	0.396	-0.003	0.484	0.356	0.501	10
VS43	0.592	0.003	0.799	0.771	0.772	0.173	0.173	0.119	0.510	0.206	0.413	40
VS44	0.425	0.624	0.229	0.210	0.216	0.231	0.232	0.690	0.729	0.454	0.402	42
VS45	0.523	0.680	0.595	0.303	0.309	0.495	0.497	0.400	0.456	0.274	0.451	26
VS46	0.142	0.217	0.125	0.175	0.182	0.405	0.407	0.821	0.456	0.244	0.317	52
VS47	0.749	0.745	0.701	0.308	0.313	0.328	0.329	0.443	0.605	0.355	0.483	15
VS48	0.422	0.878	0.713	0.128	0.135	0.247	0.248	0.870	0.424	0.398	0.442	29
VS49	0.399	0.567	0.548	0.180	0.187	0.372	0.374	0.787	0.611	0.394	0.439	31
VS50	0.832	0.424	0.298	0.357	0.362	0.287	0.288	0.560	0.389	0.758	0.455	24
VS51	0.761	0.326	0.633	0.486	0.490	0.388	0.390	0.241	0.837	0.354	0.488	12
VS52	0.985	0.657	0.995	0.545	0.556	0.341	0.343	0.048	0.286	0.331	0.506	9
平均值 Average	0.494	0.556	0.580	0.345	0.348	0.352	0.354	0.565	0.570	0.366	0.451	
变异系数 Coefficient of variation/%											6.9	

表 7 各指标的权重及其抗旱系数与 D 值的关联度
Table 7 Weight coefficient of each index and correlation degree between the drought resistance comprehensive evaluation value(DC) and D values

指标 Index	权重系数 Weight coefficient	关联度 Relevancy degree	排序 Rank
株高 PH	0.127	0.681	3
叶长 LL	0.079	0.501	9
叶宽 LW	0.067	0.498	10
地上鲜重 SFW	0.144	0.714	1
地上干重 SDW	0.135	0.695	2
根鲜重 RFW	0.120	0.678	4
根干重 RDW	0.110	0.626	5
根冠比 S/R	0.101	0.575	7
根长 RL	0.067	0.590	6
根瘤数 NN	0.052	0.573	8

序为地上鲜重 > 地上干重 > 株高 > 根鲜重 > 根干重 > 根长 > 根冠比 > 根瘤数 > 叶长 > 叶宽。排序结果与关联度结果一致，即地上鲜重、地上干重和株高与干旱的关系更为紧密。

2.5 聚类分析及抗旱级别的划分

在 λ = 10 时，供试的 52 份箭筈豌豆资源可分为 5 类 (图 1)。第 I 类为极抗旱型，共 4 份材料，分别是 VS35、VS34、VS30 和 VS21，占参试材料总数的 7.7%。该 4 份材料 D 值的平均值是 0.667；第 II 类为抗旱型，包括 VS26、VS29、VS3 和 VS11，D 值的平均值是 0.550；第 III 类属中等抗旱型，共 27 份，占总数的 51.9%；第 IV 类是敏感型，即易受干旱胁迫影响。该类型共有 13 份，占总数的 25.0%；第 V 类为极度敏感型，有 VS16、VS28、VS27 和 VS46 共 4 份材料。

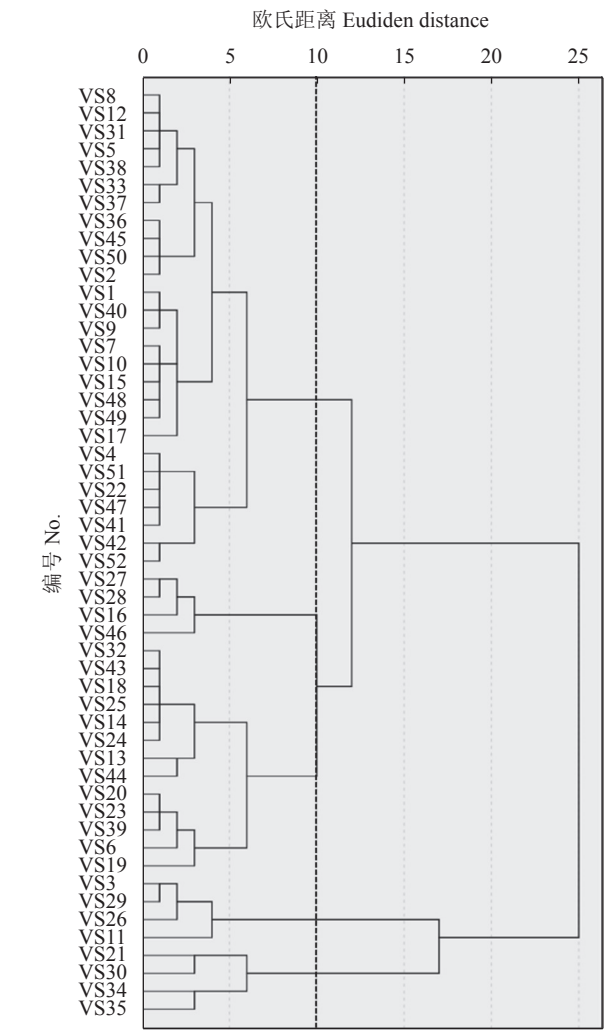


图 1 箭筈豌豆抗旱性分级聚类图

Figure 1 Clustering diagram of the drought resistance classification of the tested germplasms

3 讨论

3.1 箭筈豌豆苗期抗旱评价方法

植物抗旱评价主要是从萌芽期^[12]、苗期^[10]和全生育期^[11]来鉴定。萌芽期的抗旱性评价多采用聚乙二醇 (polyethylene glycol, PEG) 渗透胁迫, 以发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数以及胚的生长发育为考量指标进行评价。但该方法难以阐述植物整个生长期的抗旱性, 因为种子的萌发特征与后期生长之间的相关性不大^[17]。全生育期鉴定的结果较为准确和直观, 却存在耗时、费力, 且易受环境条件影响的缺点, 难以进行大批材料的鉴定。苗期温室盆栽模拟鉴定法简单易行、观测指标丰富, 可大批量进行, 已被广泛应用于作物^[9, 11]、花卉^[18-19]、林木^[20]、牧草^[15-16]等的抗旱评价。在众多植物抗旱性评价方法

中, 多指标多方法相结合的综合评价被公认为是最科学和最可靠的方法, 主要有隶属函数法、主成分分析法、聚类分析法、分级赋分法等^[16, 21]。本研究以箭筈豌豆各测定指标的抗旱系数为基础, 通过计算各材料的抗旱性度量值 (D), 采用标准差系数赋予权重法来判定各资源的抗旱性强弱。同时, 以 D 值为参数, 通过聚类分析对参试资源的抗旱能力进行分类。此外, 本研究通过相关分析、主成分分析、灰色关联度分析等消除指标间的差异, 并结合变异系数, 采用隶属函数法真实量化每一个观测指标的权重。依据试验的主要结果, 本研究建议, 苗期抗旱评价可很好地判定箭筈豌豆资源的抗旱性, D 值的综合评价结果客观、真实、可靠。

3.2 箭筈豌豆苗期抗旱评价指标

干旱胁迫下, 植物的生长发育过程、形态特征表现以及生理生化指标等的响应不同, 并非都表现为抑制或是促进, 而受众多的因素、机制所调节^[8, 18]。因此, 选择合理的评价指标决定着评价过程的复杂度和准确性。在本研究中, 干旱胁迫后各箭筈豌豆资源的叶长、叶宽和根长的表现不同, 有些降低而有些增加 (表 2)。此外, 各测定指标的 DC 值差异显著 ($P < 0.05$) (表 3)。植物抗旱性是多个指标的综合反映, 仅通过单一指标难以准确评价品种 (资源) 间的差异, 多指标的综合评价结果更科学与准确^[22]。本研究所测定的各个指标, 它们对干旱胁迫的响应差异较大, 而且各指标间或多或少地存在一定程度的相关性。各指标的权重系数的排序基本与 DC 值与 D 值的关联度值顺序相吻合。基于此结果, 地上鲜重、地上干重和株高可作为箭筈豌豆苗期抗旱评价的重要指标。箭筈豌豆作为绿肥利用, 要求生长快、生物量高。因此, 将苗期株高和地上生物量作为抗旱性评价指标, 其评价结果可信度较高。

3.3 箭筈豌豆苗期抗旱性鉴定

植物抗旱性鉴定的最终目标是筛选、鉴定抗旱能力较强的种质资源, 并对其抗旱能力进行归类, 为抗旱新品种的选育或新种质的创制提供亲本材料。本研究, 以 D 值为参数, 经聚类分析, 参照路贵和等^[23]的逐级分类法, 将供试的箭筈豌豆资源种质划分为高抗旱型、抗旱型、中等抗旱型、敏感型和极度敏感型 5 类。同时, 本研究鉴定出抗旱能力极强

的材料有 VS35、VS34、VS30 和 VS21。这 4 份种质可作为箭筈豌豆抗旱育种的亲本材料。本研究鉴定出的抗旱能力较差种质是 VS16、VS28、VS27 和 VS46, 它们可作为箭筈豌豆抗旱机理、分子辅助标记、干旱调控机制等方面研究的基础材料。另外, 本研究供试的 52 份箭筈豌豆种质来源于 11 个国家, 种质间的种子活力、萌发进程存在一定的差异, 因而幼苗的生长状况有所不同。本研究未能考虑上述因素, 可能导致鉴定结果存在一定误差。

4 结论

干旱胁迫对箭筈豌豆苗期生长产生不利的影响, 试验观测的各表型性状对干旱胁迫的响应不同。地上生物量和株高能够很好地反映箭筈豌豆抗旱能力的强弱, 可作为箭筈豌豆种质资源抗旱性评价的重要指标。从参试的 52 份箭筈豌豆资源中筛选出了 4 份抗旱能力强的资源, 可作为选育抗旱箭筈豌豆新品种的亲本材料。

参考文献 References:

- [1] 闵学阳, 韦兴燧, 刘文献, 张正社, 金小煜, BONIFACE N, 吴洪林, 李昱, 王彦荣. 箭筈豌豆品种间遗传差异的 SSR 分析及指纹图谱构建. *草业学报*, 2019, 28(4): 116-128.
MIN X Y, WEI X Y, LIU W X, ZHANG Z S, JIN X Y, BONIFACE N, WU H L, LI Y, WANG Y R. Analysis of genetic difference and construction of an SSR marker finger print for *Vicia sativa* varieties. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(4): 116-128.
- [2] 董德珂, 董瑞, 刘志鹏, 王彦荣. 532 份箭筈豌豆种质资源复叶表型多样性. *草业科学*, 2015, 32(6): 935-941.
DONG D K, DONG R, LIU Z P, WANG Y R. Diversity of compound leaf phenotypic characteristics of 532 *Vicia sativa* germplasms. *Pratacultural Science*, 2015, 32(6): 935-941.
- [3] LIU Z P, LIU P, LUO D, LIU W X, WANG Y R. Exploiting illumina sequencing for the development of 95 novel polymorphic EST-SSR markers in common vetch (*Vicia sativa* subsp. *sativa*). *Molecules*, 2014, 19(5): 5777-5789.
- [4] 卢秉林, 包兴国, 张久东, 杨新强, 曹卫东. 甘肃箭筈豌豆种质资源评价. *草业科学*, 2015, 32(8): 1296-1302.
LU B L, BAO X G, ZHANG J D, YANG X Q, CAO W D. Evaluation of *Vicia sativa* germplasm resources in Gausu. *Pratacultural Science*, 2015, 32(8): 1296-1302.
- [5] 丁婷婷, 王晓瑜, 聂斌, 张伟珍, 段廷玉. 炭疽病对春箭筈豌豆生长和生理生化的影响. *草业科学*, 2019, 36(10): 2569-2579.
DING T T, WANG X Y, NIE B, ZHANG W Z, DUAN T Y. Effect of anthracnose on the growth, physiology, and biochemistry in *Vicia sativa*. *Pratacultural Science*, 2019, 36(10): 2569-2579.
- [6] 闵学阳, 刘文献, 王彦荣, 林晓珊, 齐晓, 张正社, 聂斌. 箭筈豌豆新品种 DUS 测试指南研制: 测试性状评价和参照品种筛选. *草业学报*, 2019, 28(4): 133-146.
MIN X Y, LIU W X, WANG Y R, LIN X S, QI X, ZHANG Z S, NIE B. Test guildlines for deisticness, uniformity, and stability of new varieties of *Vicia sativa*: Testing characteristics and assessment of reference varieties. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(4): 133-146.
- [7] 李蕾蕾, 花登峰, 郑兴卫, 李聪. 含水量和混播比例对青南牧区燕麦-箭筈豌豆/毛苕子混播青贮品质的影响. *草业学报*, 2018, 27(7): 166-174.
LI L L, HUA D F, ZHENG X W, LI C. Effects of moisture content and sowing-mix ratio on the quality of baled oat and common vetch/hairy vetch silage mixtures in the pastoral area of southern Qinghai. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(7): 166-174.
- [8] LARBI A, ABDEL-MONEIM A E, NAKKOUL H, JAMMAL B, HASSAN S. Intra-species variations in yield and quality determinants in *Vicia* species: 3. common vetch (*Vicia sativa* ssp. *sativa* L.). *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 164(3-4): 241-251.
- [9] 张芳, 颜安, 任毅, 杨卫君, 耿洪伟. 新疆冬小麦萌发期抗旱性综合评价. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(1): 100-112.
ZHANG F, YAN A, REN Y, YANG W J, GENG H W. Evaluation on drought resistance of winter wheat cultivars in Xinjiang. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(1): 100-112.
- [10] 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(1): 145-153.
WANG L F, WU J, JING R L, CHENG X Z, WANG S M. Drought resistance identification of mungbean germplasm resources at seedlings stage. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, 41(1): 145-153.

- [11] 李龙, 毛新国, 王景一, 吕小平, 柳玉平, 景蕊莲. 小麦种质资源抗旱性鉴定评价. 作物学报, 2018, 41(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, 41(7): 988-999.
- [12] 汪灿, 周棱波, 张国兵, 张立异, 徐燕, 高旭, 姜讷, 邵明波. 薏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.
- [13] 韩梅, 张宏亮, 曹卫东. 绿肥作物箭筈豌豆萌发期抗旱性研究. 青海农林科技, 2014(2): 1-4, 11.
HAN M, ZHANG H L, CAO W D. Study on germination drought resistance of *Vicia sativa*. *Science and Technology of Qinghai Agricultural and Forestry*, 2014(2): 1-4, 11.
- [14] 任永霞, 郭郁频, 刘贵河, 孙芳, 曹春梅, 肖彩月. 三种野豌豆属牧草种子萌发期抗旱性的研究. 作物杂志, 2016, 172(3): 158-162.
REN Y X, GUO Y P, LIU G H, SUN F, CAO C M, XIAO C Y. Drought resistance of three forage species in *Vicia* during germination period. *Crops*, 2016, 172(3): 158-162.
- [15] 李源, 刘贵波, 高洪文, 王赞, 谢楠, 赵海明. 紫花苜蓿种质苗期抗旱性综合评价研究. 草地学报, 2009, 17(6): 807-812.
LI Y, LIU G B, GAO H W, WANG Z, XIE N, ZHAO H M. Study on comprehensive evaluation of drought resistance of *Medicago sativa* L. germplasm at seedling stage. *Acta Agraria Sinica*, 2009, 17(6): 807-812.
- [16] 赵海明, 游永亮, 李源, 柳斌辉, 刘贵波, 武瑞鑫, 王桂峰. 紫花苜蓿资源抗旱性鉴定评价方法研究. 草地学报, 2017, 25(6): 1308-1316.
ZHAO H M, YOU Y L, LI Y, LIU B H, LIU G B, WU X R, WANG G F. Drought resistance identification and evaluation methods of alfalfa germplasm. *Acta Agraria Sinica*, 2017, 25(6): 1308-1316.
- [17] YAMANE K, GARCIA R, IMAYOSHI K, MABESA-TELOSA R C, BANAYO N P M C, VERGARA G, YAMAUCHI A, CRUZ P S, KAT Y. Seed vigour contributes to yield improvement in dry direct-seeded rainfed lowland rice. *Annals of Applied Biology*, 2018, 172(1): 100-110.
- [18] LOTFI N, SOLEIMANI A, VAHDATTI K, ÇAKMAKÇI, R. Comprehensive biochemical insights into the seed germination of walnut under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 2019, 250(3): 329-343.
- [19] 黄尧瑶, 邓明华, 彭春秀, 文锦芬. 百合花瓣抗氧化酶系统对干旱胁迫响应的研究. 园艺学报, 2020, 47(4): 788-796.
HUANG Y Y, DENG M H, PENG C X, WEN J F. Studies on the response of lily petal antioxidant enzyme system to drought Stress. *Acta Horticulturae Sinica*, 2020, 47(4): 788-796.
- [20] 姚俊修, 刘学良, 李善文, 任飞, 李庆华, 吴海涛, 翟红莲, 吴德军. 接骨木无性系苗期干旱胁迫响应及抗旱性综合评价. 中国农学通报, 2020, 36(9): 75-81.
YAO J X, LIU X L, LI S W, REN F, LI Q H, WU H T, ZHAI H L, WU D J. *Sambucus williamsii* clones at seedling stage: Response to drought stress and comprehensive evaluation of drought resistance. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(9): 75-81.
- [21] 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评价. 中国农业科学, 2010, 43(15): 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. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(15): 3076-3087.
- [22] 韩瑞宏, 蒋超, 董朝霞, 陈平, 张丹词. 47份苜蓿种质材料抗旱性综合评价. 中国草地学报, 2017, 39(4): 27-35.
HAN R H, JIANG C, DONG C X, CHEN P, ZHANG D C. Comprehensive evaluation of drought resistance of 47 *Medicago* germplasm materials under drought stress. *Chinese Journal of Grassland*, 2017, 39(4): 27-35.
- [23] 路贵和, 戴景瑞, 张书奎, 李文明, 陈绍江, 鄂立柱, 张义荣. 不同干旱胁迫条件下我国玉米骨干自交系的抗旱性比较研究. 作物学报, 2005, 31(10): 1284-1288.
LU G H, DAI J R, ZHANG S K, LI W M, CHEN S J, E L Z, ZHANG Y R. Drought resistance of elite maize inbred lines in different water stress conditions. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(10): 1284-1288.

(责任编辑 苟燕妮)