



袁志鹏, 盛石鹏, 樊廷录, 韩登旭, 刘兴斌, 罗致春, 闫治斌, 袁静, 吕小瑞, 王建华, 李莉. 西北地区玉米亲本制种种子综合活力的评价[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(07): 129-138.

YUAN Zhipeng, SHENG Shipeng, FAN Tinglu, HAN Dengxu, LIU Xingbin, LUO Zhichun, YAN Zhibin, YUAN Jing, LV Xiaorui, WANG Jianhua, LI Li. Evaluation of the comprehensive seed vigor of maize parental inbred lines in Northwest China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(07): 129-138.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.07.12

西北地区玉米亲本制种种子综合活力的评价

袁志鹏¹ 盛石鹏¹ 樊廷录² 韩登旭³ 刘兴斌⁴ 罗致春⁴ 闫治斌⁴
袁静⁵ 吕小瑞⁶ 王建华¹ 李莉^{1*}

(1. 中国农业大学 农学院/种子科学与技术研究中心, 北京 100193;

2. 甘肃省农业科学院 旱地农业研究所, 兰州 730070;

3. 新疆农业科学院 粮食作物研究所, 乌鲁木齐 830091;

4. 甘肃省敦煌种业集团股份有限公司 甘肃 酒泉 735000;

5. 新疆九圣禾农业发展有限责任公司, 新疆 昌吉 831100;

6. 甘肃省种子总站, 兰州 730199)

摘要 为探究西北地区玉米亲本种子活力及适应范围, 以我国西北地区41份玉米杂交亲本为试材, 设置加速老化(AA)、冷浸(CS)、模拟干旱(D)及盐(S)胁迫处理, 以标准发芽试验为对照(CK₁), 测定种子7 d发芽率及幼苗生物量等指标, 结合41份亲本材料在北京、新疆石河子、乌鲁木齐及甘肃酒泉4个生态区的出苗率及种子活力、生物量指标在内的29个参数做了相关性分析。结果表明: 分别以20% PEG 6000(0.033 mol/L)和200 mmol/L NaCl处理模拟干旱和盐胁迫, 选取80%的种子能正常发芽的处理浓度作为筛选依据, 以此标准来评价亲本种子活力是可行的。供试材料中的30份亲本标准发芽率达到85%的国家标准要求; 11份材料发芽率>92%, 高于玉米单粒播发芽标准。冷浸处理后, 35份亲本(占比85%)的发芽率与对照(CK₁)无显著差异, 其中4个亲本冷浸后发芽率比CK₁升高1%~18%。41份亲本的种子耐老化能力普遍较差, 加速老化处理的种子发芽率最高仅为44%; 200 mmol/L NaCl胁迫条件下, 10个亲本的发芽率被显著抑制, 20% PEG 6000条件下8个亲本发芽率受到显著抑制; 另有10个亲本的发芽率在模拟干旱(20% PEG 6000)和盐(200 mmol/L NaCl)胁迫下均显著升高($P \leq 0.05$); 模拟干旱胁迫可显著诱导18份亲本幼苗根系的发育, 其中12份亲本根重显著增加($P \leq 0.05$)。不同亲本材料在4个气候区的出苗率均表现出较大的变异, 且各气候区的出苗率与冷浸发芽率的相关性均达到极显著相关。

关键词 西北地区; 玉米杂交种亲本; 种子综合活力; 逆境; 相关性分析

中图分类号 S513

文章编号 1007-4333(2024)07-0129-10

文献标志码 A

Evaluation of the comprehensive seed vigor of maize parental inbred lines in Northwest China

YUAN Zhipeng¹, SHENG Shipeng¹, FAN Tinglu², HAN Dengxu³, LIU Xingbin⁴,
LUO Zhichun⁴, YAN Zhibin⁴, YUAN Jing⁵, LV Xiaorui⁶, WANG Jianhua¹, LI Li^{1*}

(1. College of Biotechnical and Agronomy/Seed Science and Technology Research Center, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

收稿日期: 2023-03-08

基金项目: 生物育种重大专项(2022ZD040190502, 2022ZD040190101); 国家自然科学基金(32072130, 32272162); 国家现代玉米产业体系(CARS-02-13); 甘肃省敦煌种业集团教授工作站项目(69193063)

第一作者: 袁志鹏(ORCID: 0000-0002-6678-3875), 博士研究生, E-mail: iuenzipo@163.com

通讯作者: 李莉(ORCID: 0000-0002-4013-7568), 副教授, 主要从事种子活力研究, E-mail: lili2016@cau.edu.cn

3. Institute of Cereal Crops of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;

4. Gansu Dunhuang Seed Industry Group Co., Ltd., Jiuquan 735000, China;

5. Xinjiang John Hope Agricultural Development Co. Ltd., Changji 831100, China;

6. Seed Management Station of Gansu Province, Lanzhou 730199, China)

Abstract In order to explore the seed vigor and adaptability range of maize parents in Northwest China, 41 maize hybrid parental materials were treated with accelerated aging, cold soaking, drought and salt stress. The 7 d germination rate and seedling biomass were measured, and the standard germination test without any treatment was taken as control. The correlation analysis of 29 parameters including seedling emergence rate, above activity and the biomass index of the 41 parent materials in 4 climate regions, which were Beijing, Shihezi and Urumqi of Xinjiang, and Jiuquan of Gansu, was carried out. The results showed that: It was feasible to evaluate the vigor of parent seeds by selecting those lines with 80% seeds germinated normally under simulated drought (20% PEG 6000) and salt stress (200 mmol/L NaCl) treatments, respectively. The standard germination rate (bud rate) of 30 of the materials reached 85% of the national standard, and 11 of the materials were >92% of the germination standard. After cold soaking treatment, the germination rate of 35 parents (about 85%) was not significantly affected compared with the that of the control group, and the germination rate of 4 parents after cold soaking was 1% to 18% higher than that of untreated parents. The aging resistance of 41 parent seeds was generally poor, and the highest germination rate was only 44% after accelerated aging. Under 200 mmol/L NaCl stress, the germination rate of 10 parents was significantly inhibited, and under 20% PEG 6000 drought condition, the germination rate of 8 parents was significantly inhibited. The germination rate of the other 10 parents was significantly increased under the simulated drought and salt stress ($P \leq 0.05$). The comparative analysis of seedling biomass under the above criteria of germination, cold soaking, aging, drought and salt stress did not find any specific trend or law, and the trend of seedling length and seedling weight was the same. The drought stress induced root development in 18 parents, and the root weight increased significantly in 12 parents. The seedling emergence rate of different parental materials showed great variation in the four climate zones, and the correlation between the seedling emergence rate and cold immersion germination rate in each climate zone reached a very significant level.

Keywords northwest region; maize parental lines; comprehensive seed vigor; stress treatment; correlation analysis

种子活力是种子田间条件下出苗的能力,是应对不良环境耐逆性和抗病性的综合指标,也是衡量种子好坏的重要指标^[1]。种子活力具有很强的遗传性,且存在母体效应^[2-3],因此测定亲本种子的活力对杂交种的活力及适应性具有重要的指导意义。

我国西北大部分地区无霜期较短且适合杂交制种,全国玉米制种面积和产量的50%以上位于甘肃省河西走廊一带,新疆维吾尔自治区位居第二,占40%以上,仅这2个省份占据了全国90%以上的玉米制种。而西北、东北及黄淮海等玉米主产区春播后气候不稳定,持续低温会造成种子烂籽及出苗整齐度差、苗期生长缓慢的问题,进而导致父、母本花期不一致,严重影响制种产量。多年以来,西北地区大水漫灌方式导致水资源蒸发严重,利用率不足。为解决水资源匮乏问题,西北地区种子生产目前以覆膜滴灌为主,而覆膜滴灌直接带来了表层

10 cm土壤盐渍化加重的问题。研究杂交种玉米亲本种子在低温、干旱、盐碱及加速老化后的活力表现有助于西北地区筛选优异的玉米杂交亲本种质资源,也可作为高活力种子选育提供重要的科学依据。目前,针对西北制种玉米亲本种子活力方面的研究鲜见报道。本研究以来自甘肃的41份玉米亲本种子为试材,测定模拟干旱和盐胁迫条件下种子活力的各项指标,旨在探究西北地区玉米亲本种子综合活力表现,以期确定41份亲本种子最适制种范围提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

共搜集到来自甘肃省武威、靖远及张掖玉米制种区的41份当年获得的玉米亲本材料,个别材料为我国目前主推玉米杂交品种的亲本(表1)。

表 1 41 份亲本材料信息表
Table 1 Information of 41 parental lines

名称	包衣	籽粒类型	来源	名称	包衣	籽粒类型	来源
Name	Coated	Seed type	Source	Name	Coated	Seed type	Source
禾源 919M	有	半马齿	WW	德玉 18M	无	半马齿	WW
禾源 919F	有	硬粒	WW	德玉 18F	无	半马齿	WW
太玉 339M	有	半马齿	WW	三系 958M	无	硬粒	WW
太玉 339F	有	硬粒	WW	三系 958F	无	硬粒	WW
鸿谷 1701M	有	半马齿	WW	金德 306M	无	马齿	JY
鸿谷 1701F	有	硬粒	WW	金德 306F	无	硬粒	JY
珺中 706M	有	半马齿	WW	郑 58F	无	硬粒	ZY
大德 410F	有	半马齿	WW	昌 7-2M	无	硬粒	ZY
7D1159F	有	半马齿	WW	先玉 335M	无	半马齿	ZY
7D1159M	无	半马齿	WW	先玉 335F	无	硬粒	ZY
67F	有	硬粒	WW	X62	有	半马齿	WW
68M	有	半马齿	WW	162	有	硬粒	WW
11F	有	半马齿	WW	LDM62	有	硬粒型	WW
12M	有	半马齿	WW	德单 1029M	无	半马齿型	WW
硕秋 518M	无	硬粒	WW	德单 10F	无	硬粒型	WW
硕秋 518F	无	半马齿	WW	德单 1266M	无	硬粒	WW
郑单 958-M	无	硬粒	WW	德单 5F	无	硬粒	WW
郑单 958F-1	无	硬粒	WW	德单 123M	无	半马齿	WW
郑单 958F-2	无	硬粒	WW	不育系 958F	无	硬粒	WW
京科 968M	无	硬粒	WW	BB25	无	半马齿	WW
京科 968F	无	半马齿	WW				

注：M,父本系；F,母本系。来源：WW,武威市；JY,靖远市；ZY,张掖市。
Note: M, male plant; F, female plant. Source: WW, Wuwei City; JY, Jinyuan City; ZY, Zhangye City.

1.2 试验方法

通过标准发芽试验^[4-5]、老化发芽试验^[4-5]和冷浸发芽试验^[4,6]测定亲本种子活力,以上均采用卷纸法发芽,随机挑选 8 个亲本材料(‘禾源 919M’‘禾源 919F’‘太玉 339M’‘太玉 339F’‘鸿谷 1701M’‘鸿谷 1701F’‘珺中 706M’和‘大德 410F’)进行试验,均以标准发芽为对照(CK₁)。分别设置 0、25、50、100、150、200 mmol/L NaCl 溶液(盐处理)和 0、10%、15%、20%、25%(w/V)的 PEG 6000(模拟干旱胁迫)处理,并以 ddH₂O 为对照(CK₂),采用卷纸发芽方法^[4-5],每个处理重复 3 次,每个重复 50 粒;提前将发芽纸以不同浓度的 NaCl 溶液或 PEG 6000 溶液预湿至饱和,发芽条件为 25 ℃(16 h 暗/8 h 光)的光照培养箱。

发芽 7 d 后记录发芽率,种子胚根突破种皮 2 mm 以上作为种子萌发标准;在种子质量评估中,

要求发芽末期幼苗具有发达的胚根和胚芽才算正常幼苗标准。选取 80% 的亲本材料正常能发芽作为干旱和盐浓度筛选标准。随机挑选 10 株测量苗长、根长、幼苗生物量(干重)及苗、根干重指标。

筛选确定 8 份亲本材料中 6 份(占比 80%)发芽率≥75% 以上,且发芽末期(第 7 天)幼苗胚根 1 cm 以上,作为 NaCl 及 PEG 6000 亲本种子耐盐及耐旱活力评价标准;根据此鉴定浓度测定其他 33 份亲本材料耐盐及耐旱发芽率及生物量指标。2023 年,将以上 41 份亲本材料在北京、新疆石河子、新疆乌鲁木齐以及甘肃酒泉这 4 个试点种植,4 个生态区播种时间、播种后浇水日期、日均气温、覆膜情况分别为:北京 5 月 8 日、气温 12~26 ℃,露地;新疆石河子 4 月 19 日、-1 ℃~13 ℃、覆膜播种;新疆乌鲁木齐 5 月 20 日、13~24 ℃,露地;甘肃酒泉 4 月 25 日、3~21 ℃、覆膜播种;7 d 后调查田间出苗速度和出苗率。

1.3 数据处理

采用 Excel, SPSS 软件统计分析数据的显著性,在 Excel 做图并利用 R 软件包进行活力指标相关性分析。

2 结果与分析

2.1 西北地区亲本种子耐旱及耐盐活力标准筛选

由图 1 可知,20% PEG 6000 浓度下,8 份亲本材料的胚根均突破种皮,每个亲本材料随机挑取的

10 株幼苗中,胚根突破种皮 2 cm 以上,因此,本研究选用此浓度作为模拟干旱胁迫标准。适当的 NaCl 处理可起到种子引发作用,25 mmol/L NaCl(低浓度)下,仅‘鸿谷 1701M’的发芽率≤80%,其余亲本材料的发芽率均超过 CK₁;200 mmol/L NaCl 时,‘太玉 339M’和‘珺中 706F’的发芽率均≥80%,‘禾源 919M’‘太玉 339M’‘鸿谷 1701F’的发芽率均在 90% 以上,‘禾源 919M’‘大德 410F’‘鸿谷 1701M’发芽率分别为 76%、67%、64%。

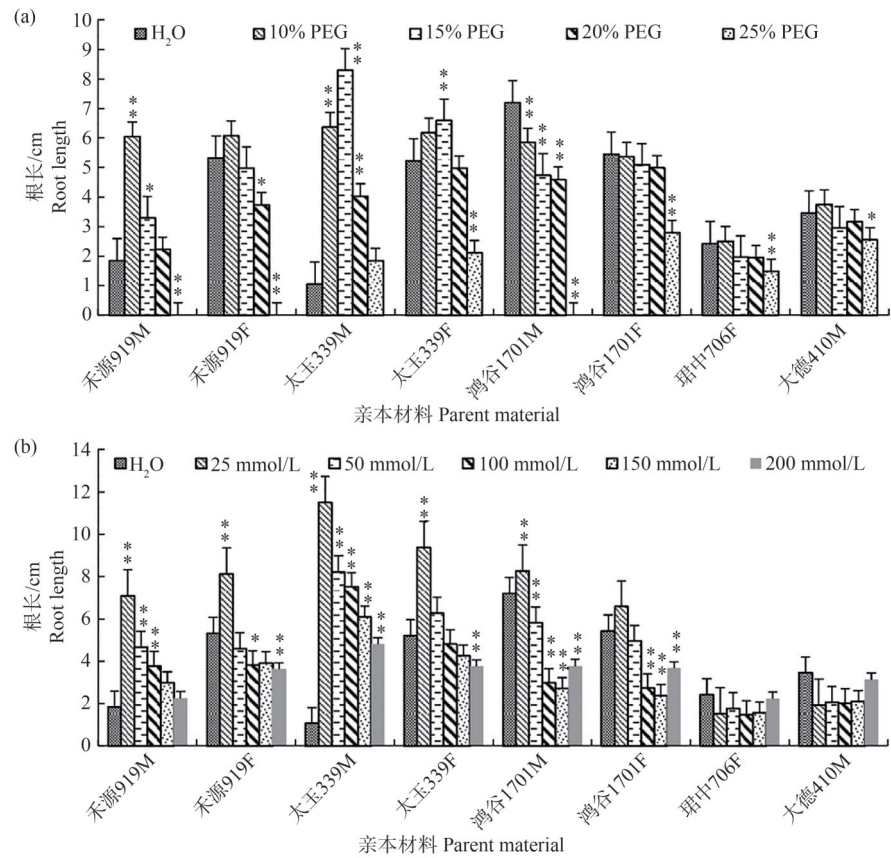


图1 不同浓度 PEG 6000(a)和 NaCl 处理(b)下 8 份亲本材料种子的根长
Fig. 1 Root length of 8 parental lines under drought gradient (a) and salt gradient stresses (b)

2.2 西北地区亲本种子综合逆境下的发芽率比较

由图 2 可知,70%(30/41)的亲本材料在标准发芽条件下的发芽率达到了国家标准要求(发芽率≥85%),其中 14 份亲本材料的发芽率≥92%的玉米单粒播标准。冷浸处理下发芽率反映了种子低温活力,近乎 85% 的(35/41)亲本的芽率未受到显著影响,其中 4 个亲本的发芽率显著升高,包括‘太玉 339M’($P=0.004$)、‘12M’($P=0.025$)、‘德玉 18M’($P=0.017$)以及‘三系 958F’($P=0.051$);

‘LDM62’冷浸后芽率极显著降低($P=0.013$)。几乎全部的亲本材料都不耐老化处理,人工加速老化处理后‘鸿谷 1701F’和‘德单 123M’的发芽率最高,仅为 44%,除‘珺中 706M’和‘大德 410F’相对于标准发芽条件下发芽率没有显著差异,其他亲本的种子发芽率均极显著低于不处理下的标准发芽水平(图 2)。在 20% PEG 6000(模拟干旱)和 200 mmol/L NaCl 模拟盐胁迫条件下,相较于标准发芽率,9 个亲本的发芽率受到显著($P\leq 0.05$)或极显著($P\leq 0.01$)抑制,

包括‘鸿谷 1701M/F’‘珺中 706M’‘大德 410F’‘7D1159M’‘67F’‘郑单 958F-1’‘郑单 958F-2’‘郑 58’以及‘先玉 335M’。而8个亲本仅在干旱胁迫下发芽率受到显著($P \leq 0.05$)或极显著($P \leq 0.01$)抑制,包括‘禾源 919M’‘硕秋 518M’‘德玉 18M’‘德

单 1029M’‘德单 1266M’‘德单 5F’‘德单 123M’及‘不育系 958F’(图2)。(‘禾源 919M’和‘12M’在干旱胁迫下反而较标准发芽条件极显著提升($P = 0.002$; $P = 0.013$);‘太玉 339M’在盐胁迫下反而较标准发芽条件显著升高($P = 0.037$)。

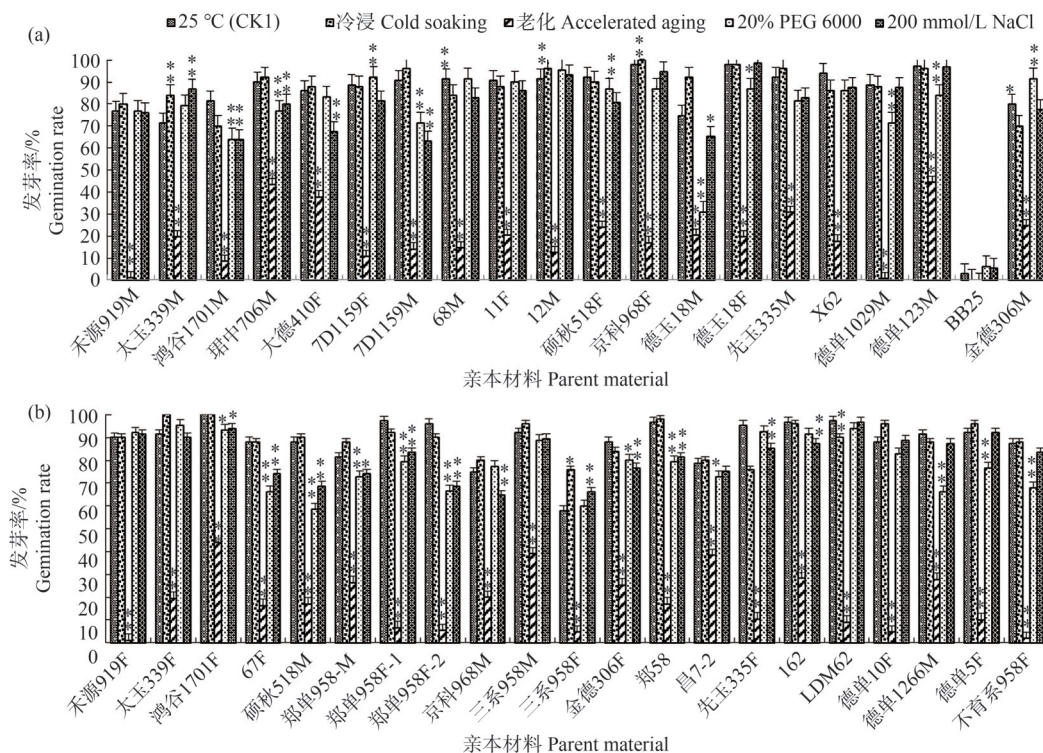


图2 不同逆境条件下20份马齿或半马齿(a)和21份硬粒型(b)材料的发芽率

Fig. 2 Germination rate of 20 dent or half-dent maize (a), as well as 21 flint (b) maize parental lines under comprehensive stress conditions

2.3 西北地区亲本种子综合逆境发芽后苗长及根长比较

由图3可知,相较于标准发芽条件,冷浸发芽后,26份亲本苗长均显著或极显著增加,仅有5份被显著抑制,包括‘鸿谷 1701M’($P = 3.62E-09$)、‘68M’($P = 2.87E-09$)、‘11F’($P = 0.005$)、‘德单 1029M’($P = 0.010$)及‘德单 123M’($P = 1.51E-14$)。加速老化条件下,12份亲本苗长受到抑制($P \leq 0.05$);然而,在加速老化条件下,22份亲本的苗长均超过标准发芽条件下的均值。在25% PEG 6000和200 mmol/L NaCl分别处理下,除了‘BB25’活力最差,在任何条件下基本不发芽外,其他亲本的苗长、根长均被抑制(图3(a))。

较标准发芽条件,冷浸处理中15份亲本种子发芽后的根长受到显著抑制,17份亲本根长显著增加

($P \leq 0.05$),见图3(b)。加速老化中22份亲本种子发芽后根长被抑制,但有8份亲本却在老化后根长更长,包括‘禾源 919M’($P = 3.96E-20$)、‘太玉 339M’($P = 1.7E-07$)、‘7D1159M’($P = 2.0E-08$)、‘12M’($P = 3.4E-03$)、‘郑单 958-M’($P = 1.2E-13$)、‘三系 958F’($P = 6.8E-24$)、‘金德 306M’($P = 3.3E-14$)及‘先玉 335M’($P = 1.4E-05$)。模拟干旱胁迫处理的17份亲本种子的根长被抑制,但有18份亲本的根长增长($P \leq 0.05$)。干旱条件的种子根长与发芽率、苗长的变化趋势均有很大的差异,说明干旱条件在某种程度上有助于根系的发育。模拟盐胁迫条件下,绝大多数亲本(30/41)根长受到抑制,比起地上部幼苗的发育,根受到的抑制更严重,因此也证明了盐胁迫对根的影响是直接的,对幼苗的影响滞后或是间接的。仅有5份亲本

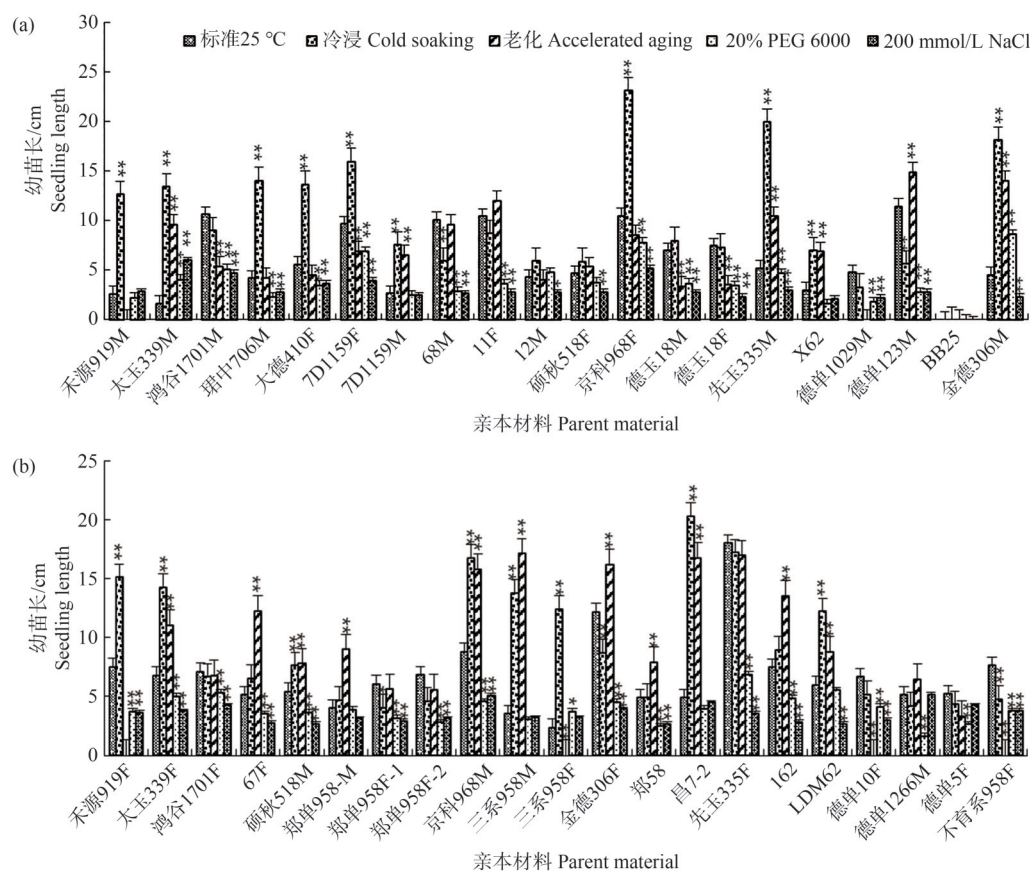


图3 20份马齿或半马齿(a)及21份硬粒型(b)材料在不同逆境条件下的幼苗长度

Fig. 3 Seedling length of 20 dent or half-dent maize (a), as well as 21 flint (b) maize parental lines under comprehensive stress conditions

种子的根长没有受到显著抑制,包括‘禾源919M’($P=9.5E-03$)、‘太玉339M’($P=8.4E-27$)、‘7D1159M’($P=7.7E-03$)、‘三系958F’($P=1.1E-07$)以及‘德单1266M’($P=1.5E-02$)。

2.4 西北地区亲本种子综合逆境发芽后生物量积累比较

由表2可知,冷浸条处理的18份亲本苗重显著高于标准发芽条件,仅有11份亲本苗重降低($P\leq 0.05$)。以上冷浸后发芽干重增加或降低的亲本材料,除了个别差异不显著外(9个),其余与苗长的变化趋势一致。加速老化处理的21份亲本的干重高于对照,仅有5份材料苗重受到抑制,包括‘鸿谷1701M’($P=2.9E-04$)、‘德玉18F’($P=1.0E-04$)、‘德单1029M’($P=1.9E-05$)、‘德单10F’($P=1.0E-04$)及‘不育系958F’($P=4.5E-06$)。干旱条件下,除‘金德306M’干重显著增加($P=3.4E-02$)

外,32份亲本材料干重均低于标准发芽条件,证明“旱长根、水长苗”。盐胁迫的26份亲本的苗重低于标准发芽条件,有4份材料干重提升,包括‘太玉339M’($P=2.0E-04$)、‘三系958F’($P=4.4E-05$)、‘先玉335M’($P=2.6E-02$)及‘德单5F’($P=1.7E-02$)(表2)。盐胁迫会导致幼苗干重降低,可能是由于盐浓度过高导致根长受抑制,进而抑制了苗的发育。

41份亲本的苗长和苗重在不同处理的变化趋势基本一致;根长和根重趋势不完全一致,因部分材料在干旱或其他胁迫条件下,根长可能被抑制,但侧根数目增加导致根干重升高。其次,加速老化后生物量趋势和发芽率不一致,因加速老化后种子批内部个体之间差异较大,导致种子发芽程度参差不齐,且重复间和重复内部个体差异较大,未发芽的种子不计其生物量造成了统计上的差异。

表 2 41 份亲本材料在不同逆境条件下生物量

Table 2 Biomass of 41 parent materials under different stress conditions

亲本材料 Parent material	生物量/g Biomass					<i>P</i>			
	标准 Standard	冷浸 Cold soaking	老化 Accelerated aging	20% PEG 6000	200 mmol/L NaCl	冷浸 Cold soaking	老化 Accelerated aging	20% PEG 6000	200 mmol/L NaCl
禾源 919M	0.05	0.22	0.00	0.05	0.07	1.5E-04	6.1E-03	6.2E-06	2.2E-02
禾源 919F	0.18	0.25	0.00	0.04	0.06	6.7E-02	6.9E-07	1.2E-04	2.7E-04
太玉 339M	0.03	0.28	0.17	0.06	0.20	5.0E-04	8.5E-03	2.1E-04	2.0E-04
太玉 339F	0.16	0.28	0.22	0.07	0.10	2.0E-03	1.7E-02	8.8E-04	8.7E-05
鸿谷 1701M	0.24	0.17	0.09	0.10	0.13	4.5E-03	2.9E-04	2.6E-03	5.2E-04
鸿谷 1701F	0.15	0.13	0.15	0.13	0.11	4.2E-02	9.1E-01	7.0E-06	2.0E-01
珺中 706M	0.13	0.28	0.06	0.06	0.09	3.7E-02	1.3E-02	1.5E-19	4.8E-02
大德 410F	0.13	0.22	0.05	0.06	0.08	5.1E-03	2.7E-03	4.7E-15	3.3E-01
7D1159F	0.13	0.23	0.09	0.13	0.08	7.0E-02	5.2E-02	4.6E-02	4.0E-03
7D1159M	0.06	0.13	0.10	0.06	0.06	1.6E-03	1.4E-02	3.1E-02	3.9E-02
67F	0.10	0.10	0.23	0.07	0.06	1.6E-01	2.2E-04	1.1E-01	4.8E-03
68M	0.15	0.09	0.14	0.06	0.05	2.5E-02	6.7E-01	3.2E-04	9.6E-05
11F	0.25	0.17	0.27	0.08	0.06	1.2E-02	7.0E-01	1.7E-03	1.2E-03
12M	0.07	0.11	0.04	0.09	0.08	4.2E-02	2.7E-02	2.4E-02	3.6E-01
硕秋 518M	0.07	0.12	0.10	0.06	0.05	2.2E-02	4.9E-02	4.2E-01	3.0E-02
硕秋 518F	0.08	0.12	0.12	0.07	0.07	4.8E-02	7.1E-03	8.8E-01	7.9E-01
郑单 958-M	0.03	0.05	0.10	0.06	0.04	2.4E-02	7.3E-04	6.8E-03	1.0E-02
郑单 958F-1	0.11	0.06	0.08	0.06	0.08	4.4E-02	1.4E-02	2.8E-02	5.3E-02
郑单 958F-2	0.13	0.07	0.07	0.06	0.08	6.7E-04	1.8E-02	4.6E-05	1.3E-02
京科 968M	0.12	0.24	0.17	0.06	0.14	1.9E-03	1.3E-04	6.7E-01	2.7E-02
京科 968F	0.18	0.37	0.16	0.11	0.16	1.2E-04	1.6E-01	4.7E-01	2.8E-01
德玉 18M	0.13	0.15	0.06	0.08	0.05	5.5E-01	4.6E-02	4.8E-02	1.6E-03
德玉 18F	0.15	0.12	0.05	0.07	0.04	1.4E-01	1.0E-04	6.2E-03	1.2E-04
三系 958M	0.03	0.15	0.20	0.04	0.04	1.1E-03	2.9E-04	2.1E-02	5.0E-02
三系 958F	0.03	0.21	0.00	0.05	0.05	3.4E-04	1.2E-05	1.8E-02	4.4E-05
金德 306M	0.05	0.29	0.16	0.19	0.04	3.0E-05	1.3E-02	3.4E-02	6.4E-02
金德 306F	0.27	0.21	0.29	0.10	0.11	1.3E-01	6.1E-01	5.9E-03	4.6E-03
郑 58	0.10	0.09	0.18	0.06	0.06	3.8E-01	1.9E-02	3.7E-02	2.9E-02
昌 7-2	0.05	0.28	0.20	0.07	0.08	8.9E-04	2.0E-04	7.8E-03	1.2E-04
先玉 335M	0.09	0.35	0.16	0.12	0.09	1.7E-04	1.8E-01	2.2E-04	2.6E-02
先玉 335F	0.38	0.34	0.29	0.17	0.10	1.1E-02	5.9E-02	6.4E-02	4.4E-04
X62	0.05	0.12	0.10	0.03	0.07	2.7E-03	1.4E-02	1.2E-01	1.0E-02
162	0.13	0.15	0.22	0.08	0.09	2.3E-01	1.6E-03	9.1E-01	2.1E-01
LDM62	0.11	0.25	0.12	0.12	0.06	4.7E-02	9.1E-01	1.0E-03	4.8E-02
德单 1029M	0.09	0.06	0.00	0.04	0.05	1.6E-02	1.9E-05	3.5E-03	1.2E-03
德单 10F	0.11	0.08	0.00	0.07	0.05	9.5E-03	1.0E-04	4.8E-02	2.7E-03
德单 1266M	0.07	0.05	0.09	0.02	0.09	3.0E-02	1.1E-01	8.0E-03	7.0E-03

表2 (续)

亲本材料 Parent material	生物量/g Biomass					P			
	标准 Standard	冷浸	老化	20%	200 mmol/L NaCl	冷浸	老化	20% PEG	200 mmol/L NaCl
		Cold soaking	Accelerated aging	PEG 6000		Cold soaking	Accelerated aging	6000	
德单 5F	0.08	0.08	0.05	0.06	0.15	8.8E-01	2.4E-02	5.2E-02	1.7E-02
德单 123M	0.21	0.07	0.24	0.04	0.07	5.4E-04	5.9E-03	3.4E-05	2.7E-03
不育系 958F	0.19	0.07	0.00	0.08	0.11	1.9E-04	4.5E-06	4.6E-04	3.0E-03
BB25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				

注:每个重复测10株。显著性比较是相对于标准发芽条件下*t*检验*P*。加粗为无显著差异。
Note: 10 plants per replication. The significance comparison is relative to the t-test *P* under standard germination condition. Bold indicates no significant difference.

2.5 西北地区亲本种子不同生态区出苗率比较

对以上41份亲本分别在不同气候生态区播种,并调查出苗率。田间出苗率在不同生态区、不同亲本、播期之间存在较大的差异。其中乌鲁木齐和石河子市播种时间相差1个月,播种期温度相差10℃左右,前者覆膜播种,在温度影响上会有所缓和,‘禾源919M’‘太玉339M’‘三系958F’这3个亲本在新疆地区出苗率高于标准发芽率,此外‘太玉

339M’和‘三系958F’分别在酒泉和北京以外的2个生态区均表现出较强的适应性,‘金德306F’在酒泉和北京有较好的适应性(出苗率≥标准发芽率)。
‘德玉18M’在石河子和酒泉的覆膜播种条件下表现较好。‘太玉339F’‘7D1159M’更适于北京和乌鲁木齐晚春播种(5月播种),在石河子和酒泉4月份播种的出苗率不及乌鲁木齐和北京5月播种的情况(图4)。

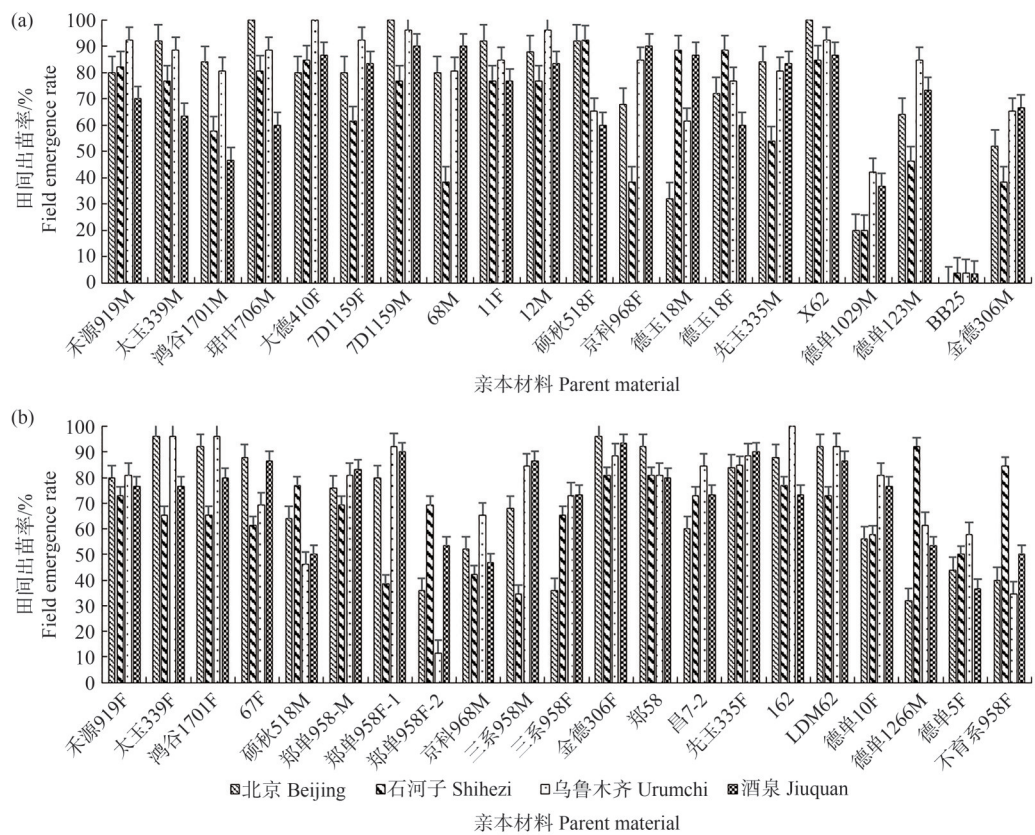


图4 20份马齿或半马齿(a)和21份硬粒型(b)亲本种子不同生态区的出苗率比较

Fig. 4 Comparative analysis of field emergence rate for 20 dent or half-dent maize (a), as well as 21 flint maize (b) parental lines

2.6 各生态区活力指标相关性分析

分析 4 个生态区出苗率、标准发芽、冷浸发芽、老化发芽、20% PEG 6000 以及 200 mmol/L NaCl 处理后的芽率、苗干重、根干重、苗长和根长等共计 29 个性状指标的相关性发现,北京的出苗率与 20% PEG 6000 模拟干旱处理下的发芽率、标准发芽率均达到极显著相关($R^2=0.67$ 和 0.55)(图 5(a))。石河子的出苗率与冷浸发芽率显著相关($R^2=0.42$)(图 5(b));乌鲁木齐的出苗率与 20% PEG 6000 ($R^2=0.68$)处理下的发芽率及 200 mmol/L NaCl 处理下的芽率($R^2=0.54$)均达极显著相关,与标准发

芽率($R^2=0.49$)显著相关(图 5(c))。

甘肃酒泉的出苗率与标准发芽率($R^2=0.56$)、冷浸发芽率($R^2=0.57$)、20% PEG 6000($R^2=0.56$)发芽率均达极显著相关,与 200 mmol/L NaCl 处理下的发芽率($R^2=0.48$)显著相关(图 5(d))。此外,种子幼苗及幼根的长度均分别与幼苗及幼根干重极显著相关, $R^2 \geq 0.78$,如标准发芽条件下的苗干重在 $R^2=0.80$ 、 0.97 以及 0.84 ,分别与标准发芽条件下根干重、苗长、根长之间有着线性正相关。而老化后的幼苗干重也在 $R^2=0.85$ 、 0.93 及 0.92 的极显著相关水平下,与老化后的根重、苗长及根长正相关。

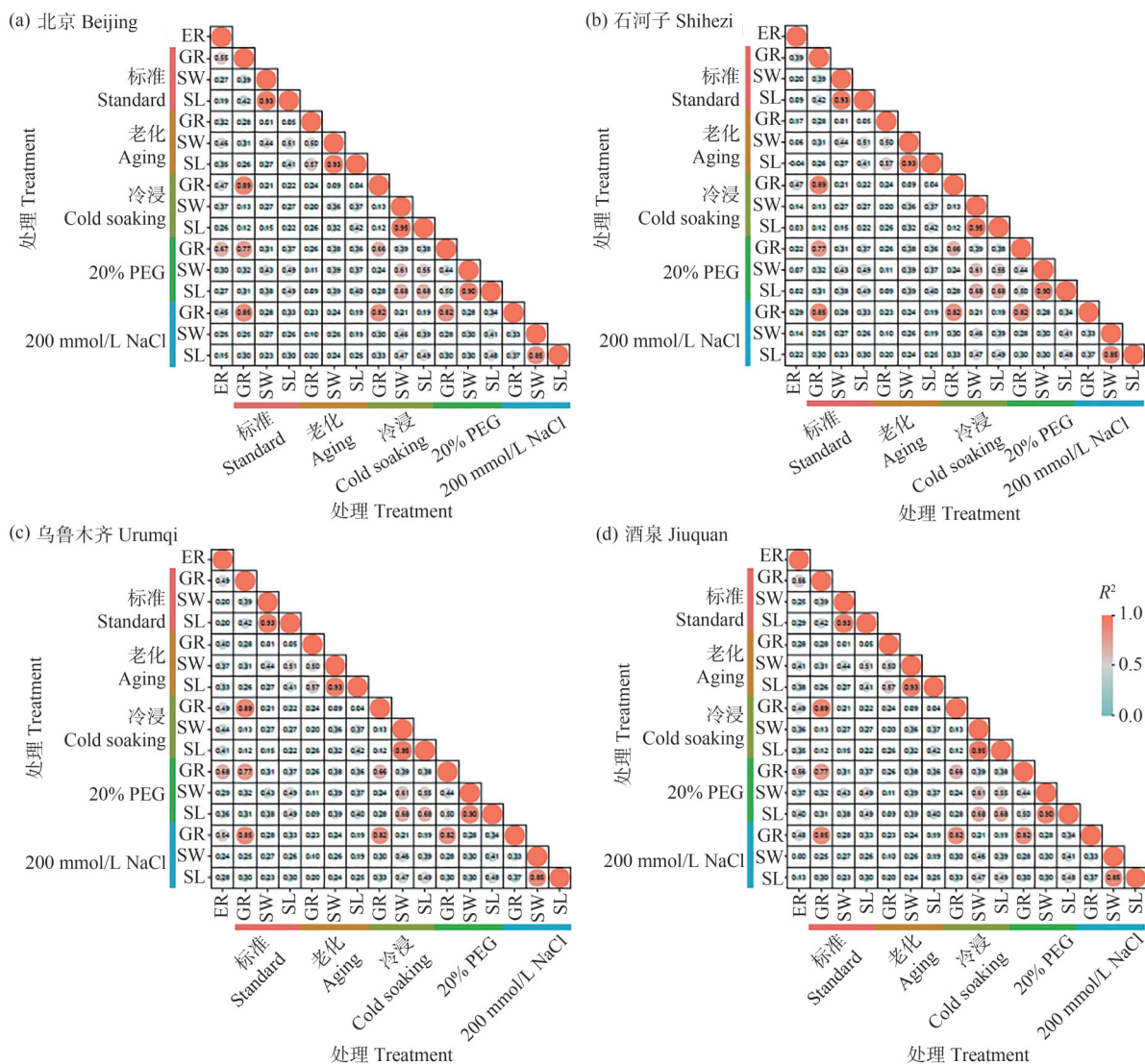


图 5 各生态区活力指标相关性分析

Fig. 5 Correlation analysis of vigor indexes in various ecological regions

3 讨 论

玉米亲本活力检测及评价是高质高效玉米种子生产的关键,因地制宜选择合适的活力检测指标可为玉米制种提供科学指导。除此之外,为保水保墒、节约水资源,地膜覆盖、膜下滴灌在西北玉米制种区已成为常态,而这种灌溉模式导致本就盐碱化的土壤表层盐渍加重,严重制约了种子生产效率。因此,耐贮藏、耐低温、耐盐碱、耐干旱等指标是对西北区制种亲本最基本的性能要求。目前,针对玉米亲本种子活力方面的研究鲜见报道。本研究中搜集到的41份亲本大多数来自甘肃武威,代表性上还是有一定的不足,下一步将更全面地选取各个地方有代表性的材料进行研究和评价。

4 结 论

西北地区41份玉米亲本种子在低温、老化、盐处理和干旱4种逆境处理后,表现出了较高的耐低温萌发能力,对盐胁迫也有一定的耐受性,但干旱胁迫会明显抑制种子活力表现,经过老化处理的种子活力指标普遍较差,因此,西北地区玉米杂交制种亲本种子耐贮藏性有待提高。

参考文献 References

- [1] 曹郭郑. 玉米种子活力影响因素及应对策略[J]. 种业导刊, 2022(2):9-12
Cao G Z. Influencing factors and countermeasures of maize seed vigor [J]. *Journal of Seed Industry Guide*, 2022(2):9-12 (in Chinese)
- [2] 冯国明. 玉米机械化播种省种节本增产增收[J]. 农村科学实验, 2014(4): 10-11
Feng G M. Mechanized sowing of maize saves seed and cost, and increases production and income [J]. *Rural Scientific Experiment*, 2014 (4):10-11 (in Chinese)
- [3] 栾天宇, 李春雷, 苏桂华, 栾天浩, 梁晓斐, 姜媛媛. 13份玉米自交系品质性状及种子活力的配合力分析[J]. 玉米科学, 2018, 26(6):14-20
Luan T Y, Li C L, Su G H, Luan T H, Liang X F, Jiang Y Y. Combining ability analysis of seed quality and seed vigor for 13 maize inbred lines [J]. *Journal of Maize Science*, 2018, 26 (6) : 14-20 (in Chinese)
- [4] Xiao Y N, Chen M, Zheng N N, Xu Z Y, Zhang J, Hu X M, Li L, Gu R L, Du X M, Wang J H. Transcriptome analysis identifies novel genes associated with low-temperature seed germination in sweet corn [J/OL]. *Plants*, (2022-12-29). DOI: doi.org/10.3390/plants12010159
- [5] International rules for seed testing (2022) [S]. Zurich: International Seed Testing Association, 2022
- [6] NY/T3766—2020 玉米种子活力测定 冷浸发芽法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021
NY/T3766-2020 Determination of vigor of maize seed: Cold soaking sprouting method [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 袁志鹏, 中国农业大学种子科学与技术专业博士研究生, 曾获得中国农业大学研究生学业奖学金, 在 *Plants*, *Journal of Integrative Agriculture* 等期刊以共同第一及作者发表论文 5 篇。



通讯作者简介: 李莉, 博士, 中国农业大学农学院副教授, 中国农业大学人才培养计划“青年新星B类人才”, 三亚崖州湾科技城D类人才; 主要从事种子活力的研究。主持国家自然科学基金项目(32272162 & 32072130 & 31701437); 国家重点研发计划项目(2017YFD0102001)和农业生物育种重大项目(2022ZD0401905)子课题负责人; 参加国家现代玉米产业体系(CARS-02-13); 全国农技推广中心国际种子认证研究项目; 主持中国农业大学青年教师创新项目以及中国农业大学教学改革项目等多项。主讲《种子检验学》及《种子科学实验2》课程, 主编、参编国家级规划教材5部。在 *The Plant Journal*, *Journal of Experimental Botany*, *International Journal of Molecular Sciences*, *Plant and Cell Physiology*, *Journal of Integrative Agriculture*, *Plants* 等期刊以第一及通讯作者发表论文 20 多篇。