

时丕彪,耿安红,李亚芳,等. 江苏沿海地区 12 个藜麦品种田间综合评价及优良品种的耐渍性分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):64-67. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.017

江苏沿海地区 12 个藜麦品种田间综合评价及优良品种的耐渍性分析

时丕彪,耿安红,李亚芳,王 军,王春云,彭亚民,顾闽峰,费月跃

(盐城市新洋农业试验站,江苏射阳 224049)

摘要:为筛选出适合江苏沿海地区种植的藜麦品种,对引种于国内外的 12 个藜麦品种进行田间比较试验,综合评价各品种的生育期、农艺性状、抗逆性及产量,并对综合表现较好的品种进行耐渍性鉴定。结果表明,不同藜麦品种在生长发育特性上存在显著差异,其中盐藜 1 号、盐藜 4 号和盐藜 8 号的总体表现较好,它们的生育期较短,抗病抗倒伏能力较强,株高中等,主穗较长,产量较高;水淹胁迫试验表明,盐藜 8 号的耐渍性最差,盐藜 4 号次之,而盐藜 1 号的耐渍性最强,适合在该地区大面积种植和推广。

关键词:藜麦;品种比较;综合评价;耐渍性

中图分类号: S519.037 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0064-04

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.) 为苋科藜属一年生双子叶草本植物,原产于南美洲安第斯山脉高原地区,距今约有 7 000 多年的栽培历史^[1-3]。藜麦具有极高的营养价值,蛋白质含量高达 16%~22% (牛肉为 20%),约为小麦(10%~14%)^[4]、大麦(8%~14%)^[5] 和 水稻(6%~7%)^[6] 的 2~3 倍;天然氨基酸均衡,含有人体不能合成的全部必需氨基酸^[7];富含维生素、矿物质元素、膳食纤维、不饱和脂肪酸以及植物化学物质和抗氧化活性物质^[8-9],是唯一一种被联合国粮食及农业组织(food and agriculture organization of the united nations,简称 FAO)认为单体植物即可满足人体基本营养需求的食物^[10]。此外,藜麦还被美国宇航局认定为宇航员在长期执行太空任务时的最佳食品^[11],享有“营养黄金”“粮食之母”“超级谷物”“素食之王”和“未来食品”的美誉。藜麦栽培范围广泛,能适应多种极端气候和土壤条件,具有较高的耐旱性、耐寒性及耐盐碱性^[12-17],对于发展节水农业、提高旱地利用效率、改良沿海滩涂盐碱地以及保持农业生态系统多样性等具有极其重要的现实意义。联合国将 2013 年定为“国际藜麦年”,说明藜麦作为未来最具潜力的农作物之一,发展前景广阔,已引起世界各国的关注^[18]。

近年来,随着藜麦逐渐进入公众视线,对于这种新兴保健型粮食作物的研究已成为我国科研工作者的一个研究热点。目前,藜麦已在我国青海、西藏、甘肃、内蒙、山西、河南、山东等地有小范围适应性种植,并且其种植面积在逐年扩大,具有

向规模化、集约化方向发展的态势。在不久的将来,藜麦势必会成为农业产业结构中的一个重要环节,对推动农村经济可持续发展及增加农民收入发挥重要的作用。为进一步促进我国南方低海拔地区藜麦生产的发展,选育出适合江苏沿海地区种植的优质高产抗倒伏藜麦品种。本研究以 12 个藜麦品种为试验材料,通过田间品种比较,综合评价各品种的生育期、农艺性状、抗逆性及产量,旨在筛选出综合表现较好的品种。然而,水涝灾害是严重制约作物生产的一个重要因素^[19],全球范围内大约 10% 的灌溉地会受到水涝灾害的影响,可使作物产量降低 20%^[20],而我国长江流域和黄淮海平原发生洪涝灾害的区域占全国灾区面积的 75%^[21]。因此,为了减小频频发生的雨涝灾害对藜麦生产的影响,进一步对筛选出的优良品种进行耐渍性分析,优中选优,以期获得适合江苏沿海地区生产的耐渍、耐涝、耐盐碱、抗倒伏、优质高产且稳产的品种,从而为江苏沿海地区藜麦的推广种植和产业的发展提供必要参考。

1 材料与方法

1.1 试验地自然概况

试验在江苏省盐城市新洋农业试验站的沿海现代农业科技创新与示范基地(34°28' N,120°54' E)内进行,该基地东临黄海,为沿海滩涂地,属亚热带季风气候,年平均气温 14℃,年降水总量 100 cm,年平均日照时数 2 200 h,无霜期 210 d,海拔不足 5 m;试验田土壤质地为沙壤土,pH 值为 8.2,盐分含量为 0.7%,肥力中等。

1.2 试验材料

从秘鲁引种 3 份藜麦种质资源,分别编号为盐藜 1 号、盐藜 2 号和盐藜 3 号;从荷兰引种 4 份藜麦材料,分别编号为盐藜 4 号、盐藜 5 号、盐藜 6 号和盐藜 7 号;从玻利维亚引种 1 份藜麦材料,编号为盐藜 8 号;从内蒙古自治区引种 2 份藜麦材料,分别编号为盐藜 9 号和盐藜 10 号;从江苏省农业科学院引种农科 4 号以及从甘肃省农业科学院引种陇藜 1 号,共

收稿日期:2017-03-13

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(15)1005];江苏省科技项目苏北科技专项(编号:BN2016147);江苏省盐城市农业科技创新专项引导资金(编号:YK2015019)。

作者简介:时丕彪(1989—),男,山东菏泽人,硕士,研究实习员,主要从事农作物种质资源抗逆鉴定评价及抗逆机理研究。Tel:(0515) 82600928;E-mail:1032175660@qq.com。

通信作者:费月跃,助理研究员,主要从事蔬菜、园艺作物栽培研究。Tel:(0515) 82600928;E-mail:2591521816@qq.com。

12 份供试材料。

1.3 试验方法

1.3.1 田间试验设计 采用完全随机区组排列,每个品种 3 次重复。小区面积为 12 m² (4 m × 3 m),按株行距 20 cm × 30 cm 进行定植,每个小区种植 200 株藜麦,边缘设有 0.5 m 宽的保护行。整地前,施充分腐熟有机肥,株高在 10 ~ 15 cm 时进行间苗和第 1 次中耕除草,株高在 30 cm 左右时进行第 2 次中耕除草并培土,以防止倒伏,整个生育期间不施肥。10 月中下旬,植株叶片衰老脱落时,开始人工收割,脱粒后及时晾晒。

1.3.2 苗期水淹胁迫试验 试验于温室内进行,日平均气温为 23 ℃,光—暗周期为 14 h—10 h:将田间初筛综合表现较好的藜麦品种播种于装有沙壤土和复合肥料混合物的育苗盆(直径 9 cm,高 10 cm)中,每个品种 3 次重复,每个重复 100 株。在 8 叶 1 心时将育苗盆放入长方形塑料周转箱(长 90 cm,宽 40 cm,高 23 cm)中,向周转箱内加自来水至高于土表 2 cm,并分别在水淹处理 2、4、6、8、10、12、14 d 时统计死亡率。

1.3.3 测定指标与方法

田间试验的测定指标为株高、主穗长、有效分枝数、发病株率、倒伏倒折率;苗期水淹胁迫试验的测定指标为水淹胁迫死亡率。

1.3.3.1 株高 在藜麦植株生理成熟期,从每个小区选取有代表性的 3 株单株,测量从地面到主茎顶部的绝对高度,取平均值。

1.3.3.2 主穗长 在藜麦植株生理成熟期,从每个小区选取

有代表性的 3 株单株,测量从主穗基部至顶部的距离,取平均值。

1.3.3.3 有效分枝数 在藜麦植株生理成熟期,从每个小区选取有代表性的 3 株单株,调查植株主茎上着生的带有藜麦穗的一级分枝个数,计算平均值。

1.3.3.4 发病株率 在藜麦整个生长发育过程中,统计发病的植株总数占供试植株总数的百分比。

1.3.3.5 倒伏倒折率 在藜麦整个生长发育过程中,统计倒伏或倒折的植株总数占供试植株总数的百分比。

1.3.3.6 水淹胁迫死亡率 在水淹处理过程中,每隔 2 d 统计 1 次死亡的植株总数占供试植株总数的百分比。

1.4 数据处理

分别采用 Excel 2007、SPSS Statistics 17 和 Origin 8 软件进行试验数据的统计、分析与制图。

2 结果与分析

2.1 藜麦生育期比较

由表 1 可以看出,藜麦材料从播种至出苗时间为 8 ~ 11 d,其中盐藜 3 号和陇藜 1 号出苗较晚,比其他品种晚 2 ~ 3 d;播种 63 d 后,12 份材料全部进入生殖生长阶段,农科 4 号、盐藜 5 号、盐藜 1 号和盐藜 4 号进入生殖生长阶段分别需要 50、52、54、54 d,而其他品种所需时间相对较长;成熟期差异比较明显,盐藜 3 号、盐藜 9 号和陇藜 1 号成熟较晚,比其他品种晚 9 ~ 16 d;12 个品种的生育期天数为 103 ~ 119 d,除盐藜 3 号、盐藜 9 号和陇藜 1 号 3 个品种表现为晚熟外,其余 9 个品种均表现为早熟,生育期比较接近,为 103 d 或 104 d。

表 1 不同品种藜麦生育期记载

品种	播种日期 (年-月-日)	出苗日期 (年-月-日)	现穗日期 (年-月-日)	成熟日期 (年-月-日)	生育期 (d)
盐藜 1 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-08-30	2016-10-19	104
盐藜 2 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-09-01	2016-10-19	104
盐藜 3 号	2016-07-08	2016-07-18	2016-09-05	2016-10-31	116
盐藜 4 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-08-30	2016-10-18	103
盐藜 5 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-08-28	2016-10-18	103
盐藜 6 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-09-03	2016-10-19	104
盐藜 7 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-09-04	2016-10-19	104
盐藜 8 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-09-01	2016-10-18	103
盐藜 9 号	2016-07-08	2016-07-16	2016-09-08	2016-10-28	113
盐藜 10 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-09-01	2016-10-18	103
农科 4 号	2016-07-08	2016-07-15	2016-08-26	2016-10-18	103
陇藜 1 号	2016-07-08	2016-07-18	2016-09-07	2016-11-03	119

2.2 不同品种的田间抗逆性比较

植株发病和倒伏会严重影响藜麦生产,且在自然灾害频发的年份尤为明显,因此选择抗逆性强的品种是保证藜麦稳产的一项重要措施。由表 2 可知,不同藜麦品种间的抗病性和抗倒伏性存在明显差异,其中盐藜 1 号、盐藜 4 号、盐藜 8 号和陇藜 1 号的抗逆性较强,整个生育期的发病株率和倒伏倒折率均小于等于 8%。而其他品种的抗病性和抗倒伏性表现不一致,如盐藜 7 号未发生病害,但倒伏倒折率高达 73%;盐藜 6 号的抗倒伏性较好,但抗病性极差,发病株率高达 62%;盐藜 3 号的抗病性和抗倒伏性都比较差,其发病株率、倒伏倒折率分别为 28%、68%。

2.3 藜麦农艺性状比较分析

藜麦的农艺性状因品种而异,从表 3 可以看出,12 个参试品种的株高在 59 ~ 153 cm 之间,品种间存在较大差异,其中盐藜 2 号的株高最高,为 153 cm,除与盐藜 1 号、盐藜 7 号和陇藜 1 号差异不显著外,均显著高于其他品种;盐藜 6 号、农科 4 号较矮,分别为 59.90 cm,表型矮化,显著低于其他品种。藜麦为穗状花序,主穗的长度明显高于侧枝花穗。参试材料主穗长在 17 ~ 33 cm 之间,品种间差异较大,其中盐藜 6 号和农科 4 号的主穗长最小,均为 17.33 cm,除与盐藜 10 号差异不显著外,显著低于其他 9 个品种;盐藜 7 号和陇藜 1 号的主穗长最大,均为 32.33 cm。藜麦侧枝较多,其中结籽的

表 2 参试藜麦的田间抗逆性调查结果

品种	发病株率 (%)	倒伏倒折率 (%)	品种	发病株率 (%)	倒伏倒折率 (%)
盐藜 1 号	0	5	盐藜 7 号	0	73
盐藜 2 号	7	58	盐藜 8 号	0	8
盐藜 3 号	28	68	盐藜 9 号	0	22
盐藜 4 号	2	4	盐藜 10 号	0	35
盐藜 5 号	0	19	农科 4 号	16	26
盐藜 6 号	62	6	陇藜 1 号	0	2

表 3 不同品种藜麦的主要农艺性状

品种	株高 (cm)	主穗长 (cm)	有效分枝数 (个)	株型	成熟整齐度	穗颜色	籽粒颜色
盐藜 1 号	147ab	30.33a	26abc	半紧凑型	好	紫	黄
盐藜 2 号	153a	26.67a	28ab	疏散型	好	粉红	黄
盐藜 3 号	132bcd	28.67a	25bc	疏散型	较好	淡紫	米黄
盐藜 4 号	117de	30.33a	28ab	疏散型	好	紫红	黄
盐藜 5 号	124cde	31.00a	23cd	半紧凑型	不好	绿	白
盐藜 6 号	59g	17.33b	15e	紧凑型	较好	粉红	白
盐藜 7 号	139abc	32.33a	23cd	紧凑型	好	绿	米白
盐藜 8 号	133bcd	28.67a	30a	疏散型	好	红	米黄
盐藜 9 号	111e	27.00a	22cd	半紧凑型	好	紫灰	米黄
盐藜 10 号	123de	25.00ab	23cd	疏散型	好	深紫	黄
农科 4 号	90f	17.33b	15e	半紧凑型	好	紫	酒红
陇藜 1 号	146ab	32.33a	20d	紧凑型	好	酒红	米白

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.4 不同品种产量性状比较分析

种子大小是构成产量的重要因素之一^[22-24],植物种类不同,其种子大小也不尽相同^[25]。由表 4 可知,12 份藜麦材料的千粒质量在 1.88 ~ 3.27 g 之间,其中盐藜 10 号最高,为 3.27 g,盐藜 9 号最低,为 1.88 g,2 个品种间差异达显著水平;其他 10 个品种两两比较差异不显著,千粒质量集中在 2.22 ~ 2.99 g 之间。单株产量较高的 3 个品种分别为盐藜 8 号、盐藜 4 号、盐藜 1 号,折合后的产量分别为 4 981.50、4 915.65、4 860.58 kg/hm²,显著高于盐藜 9 号 1 067.10 kg/hm²,其他品种两两之间差异不显著。

表 4 藜麦产量性状比较分析

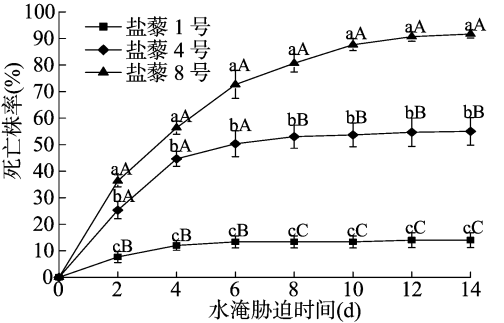
品种	单株产量 (g)	千粒质量 (g)	折合产量 (kg/hm ²)
盐藜 1 号	29.16a	2.86ab	4 860.58a
盐藜 2 号	9.62ab	2.63abc	1 603.77ab
盐藜 3 号	17.38ab	2.22bc	2 897.52ab
盐藜 4 号	29.49a	2.38bc	4 915.65a
盐藜 5 号	9.93ab	2.93ab	1 655.33ab
盐藜 6 号	11.82ab	2.46abc	1 970.06ab
盐藜 7 号	13.28ab	2.99ab	2 214.28ab
盐藜 8 号	29.88a	2.30bc	4 981.50a
盐藜 9 号	6.40b	1.88c	1 067.10b
盐藜 10 号	12.88ab	3.27a	2 147.60ab
农科 4 号	15.99ab	2.57abc	2 665.70ab
陇藜 1 号	22.16ab	2.35bc	3 694.24ab

2.5 藜麦耐渍性分析

由图 1 可知,随着水淹胁迫时间的延长,3 个品种的死亡率逐渐增加,但增长幅度各不相同,盐藜 1 号、盐藜 4 号、盐藜 8 号的死亡株率分别在水淹处理 4、6、12 d 后逐渐趋于稳定。

侧枝称为有效分枝,12 份材料的有效分枝数在 15 ~ 30 个之间,品种间差异较大,其中盐藜 8 号(30 个)、盐藜 2 号(28 个)、盐藜 4 号(28 个)和盐藜 1 号(26 个)的有效分枝数显著高于盐藜 6 号(15 个)、农科 4 号(15 个)和陇藜 1 号(20 个),其他品种间差异不显著。生理成熟期穗部颜色和籽粒颜色在品种间差异较大,除盐藜 5 号和盐藜 7 号的穗部颜色为绿色外,其他品种多为紫色或红色;除农科 4 号籽粒颜色为酒红色外,其他品种多为黄色或白色,具体情况见表 3。

在水淹处理的各时间点,三者的死亡率主要表现为盐藜 8 号 > 盐藜 4 号 > 盐藜 1 号。综合 14 d 的试验数据得出,水淹胁迫下,盐藜 1 号的存活率较高,且有早期耐淹的能力,为耐渍品种;死亡株率稳定后盐藜 4 号和盐藜 8 号的存活率较低,极显著低于盐藜 1 号,且不耐早期的淹水胁迫,耐渍能力较差,为不耐渍品种。



不同小写字母表示不同品种间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示不同品种间差异极显著($P<0.01$)

图1 水淹胁迫对藜麦幼苗成活率的影响

3 结论与讨论

藜麦种质的表型受地域和环境的影响较大,表现为高度多样性^[26-27]。对引种于国内外的 12 份材料进行田间品种比较试验,筛选出综合性状表现较好的盐藜 1 号、盐藜 4 号和盐藜 8 号等 3 个品种。总的来说,盐藜 1 号、盐藜 4 号、盐藜 8 号的生育期较短,为 103 d 或 104 d;田间抗逆性较强,发病株率为 0 ~ 2%,倒伏倒折率 ≤ 8%;植株高度中等(117 ~ 147 cm),主穗长较长(28.67 ~ 30.33 cm),有效分枝数较多(26 ~ 30 个),成熟整齐度好,穗色、粒色等农艺性状较为一

致;折合产量较高,分别为 4 860.58、4 915.65、4 981.50 kg/hm²,明显高于其他品种。有些品种单项属性突出,而综合性状较差,不可作为适宜推广利用的品种,如盐藜 6 号虽然植株极度矮化,仅为 59 cm,抗倒伏性较好,但抗病性极差,发病株率高达 62%,产量相对较低(1 970.06 kg/hm²);盐藜 7 号虽然未发生病害,但抗倒伏性极差,倒伏倒折率高达 73%,产量达中等水平(2 214.28 kg/hm²);盐藜 10 号虽然千粒质量最高(3.27 g),但其产量并不高(2 147.60 kg/hm²),且抗倒伏性较差;陇藜 1 号的田间抗逆性较强,各农艺性状表现良好,产量也仅次于盐藜 1 号、盐藜 4 号和盐藜 8 号,但其生育期相对较长,成熟期比一般品种延迟 15 d 左右。所以,经田间试验初步筛选出生育期短、抗逆性强、优质、高产的品种有 3 个,分别为盐藜 1 号、盐藜 4 号和盐藜 8 号。

结合试验地雨水充沛、洪涝灾害频发的气候特征以及藜麦忌水怕涝的特点,同时为了保证在多降水年份仍能实现丰产稳产的目标,有必要对初筛的 3 个优良品种进行耐渍性鉴定。水淹胁迫试验表明,盐藜 4 号和盐藜 8 号的耐渍能力较差,死亡株率极显著高于盐藜 1 号;盐藜 1 号有早期耐淹的能力,在长时间水淹胁迫下仍能保持较高的存活率,为耐渍品种。可以看出,盐藜 1 号是一个耐渍、耐涝、耐盐碱、抗病、抗倒伏、优质而又高产的品种,适合在江苏沿海地区大面积推广和种植。

参考文献:

- [1] Jacobsen S E. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Food Reviews International, 2006, 19 (1/2): 167–177.
- [2] Zurita–Silva A, Fuentes F, Zamora P, et al. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives [J]. Molecular Breeding, 2014, 34 (1): 13–30.
- [3] Bazile D, Jacobsen S E, Verniau A. The global expansion of quinoa: trends and limits [J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 622.
- [4] Orth R A, and Shellenberger J A. Wheat: chemistry and technology [M]. 3rd ed. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 1988: 11–12.
- [5] Cai S G, Yu G, Chen X H, et al. Grain protein content variation and its association analysis in barley [J]. BMC Plant Biology, 2013, 13: 35.
- [6] Shih F F. Rice: chemistry and technology [M]. 3rd ed. St Paul: American Association of Cereal Chemists, 2006: 143–144.
- [7] Ng S C, Anderson A, Coker J, et al. Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*) [J]. Food Chemistry, 2006, 101 (1): 185–192.
- [8] Koziol M J. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of Food Composition Analysis, 1992, 5 (1): 35–68.
- [9] Repo–Carrasco R, Espinoza C, Jacobsen S E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*) [J]. Food Reviews International, 2006, 19 (1/2): 179–189.
- [10] Ogungbenle H N. Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2009, 54 (2): 153–158.
- [11] 肖正春, 张广伦. 藜麦及其资源开发利用 [J]. 中国野生植物资源, 2014, 33 (2): 62–66.
- [12] Garcia M, Raes D, Jacobsen S E. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands [J]. Agricultural Water Management, 2003, 60 (2): 119–134.
- [13] Razzaghi F, Ahmadi S H, Adolf V I, et al. Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2011, 197 (5): 348–360.
- [14] Jacobsen S E, Monteros C, Christiansen J L, et al. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages [J]. European Journal of Agronomy, 2005, 22 (2): 131–139.
- [15] Hariadi Y, Marandon K, Tian Y, et al. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels [J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62 (1): 185–193.
- [16] Ruiz K B, Biondi S, Martínez E A, et al. Quinoa – a model crop for understanding salt – tolerance mechanisms in halophytes [J]. Plant Biosystems, 2015, 150 (2): 357–371.
- [17] Panuccio M R, Jacobsen S E, Akhtar S S, et al. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa [J]. AoB Plants, 2014, 6: 1–18.
- [18] Jacobsen S E. The situation for quinoa and its production in southern Bolivia: from economic success to environmental disaster [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2011, 197 (5): 390–399.
- [19] 蒋薇, 刘登望, 李林. 作物涝害研究进展 [J]. 广西农业科学, 2010, 41 (5): 432–435.
- [20] 李真, 梅淑芳, 刘向蕾, 等. 作物耐湿涝性研究进展 [J]. 湖北农业科学, 2009, 48 (11): 2866–2868, 2887.
- [21] 郁凌华, 赵艳霞. 黄淮海地区夏玉米生长季内的旱涝灾害分析 [J]. 灾害学, 2013, 28 (2): 71–75, 80.
- [22] Alonso–Blanco C, Blankenship–de V H, Hanhart C J, et al. Natural allelic variation at seed size loci in relation to other life history traits of *Arabidopsis thaliana* [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1999, 96 (8): 4710–4717.
- [23] Moles A T, Ackerly D D, Webb C O, et al. Factors that shape seed mass evolution [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102 (30): 10540–10544.
- [24] Song X J, Huang W, Shi M, et al. A QTL for rice grain width and weight encodes a previously unknown RING – type E3 ubiquitin ligase [J]. Nature Genetics, 2007, 39 (5): 623–630.
- [25] Li N, Li Y H. Signaling pathways of seed size control in plants [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2016, 33: 23–32.
- [26] Costa Tártara S M, Manifesto M M, Bramardi S J, et al. Genetic structure in cultivated quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a reflection of landscape structure in Northwest Argentina [J]. Conservation Genetics, 2012, 13 (4): 1027–1038.
- [27] Curti R N, Andrade A J, Bramardi S, et al. Ecogeographic structure of phenotypic diversity in cultivated populations of quinoa from Northwest Argentina [J]. Annals of Applied Biology, 2012, 160 (2): 114–125.