

中国玉米主产区栽培品种种子质量分析

张晓文¹, 王素娥¹, 邵晓宇², 郭帅强¹, 李贺勤¹, 王建华³, 宋希云², 江绪文^{1,2}

(1. 青岛农业大学农学与植物保护学院/山东省旱作农业技术重点实验室, 青岛 266109;

2. 青岛市主要农作物种质资源创新与应用重点实验室, 青岛 266109; 3. 中国农业大学农学院, 北京 100193)

摘要: 以黄淮海、华北、西南三区 46 个玉米栽培品种种子为材料, 通过物理化学指标测定、标准发芽及幼苗生长测定、逆境发芽测定、田间出苗率测定、指标间相关性分析、淀粉酶活力测定等对种子质量进行分析评鉴。结果表明, 46 个品种中马齿型和半马齿型的比例占 80.4%。综合各项种子活力指标, 排名前 4 位的高活力品种为先玉 047、郑单 958、大华玉 2 号和浚单 26。玉米种子容重和总淀粉含量与平均田间出苗率分别呈极显著和显著正相关; 发芽势、发芽率及逆境发芽各指标与平均田间出苗率均呈极显著正相关, 其中抗冷测定发芽率的相关系数最高($r=0.881$)。玉米种子容重和总淀粉含量是高活力玉米种子具备的典型性状, 抗冷测定为玉米种子活力检测的最适方法; 高活力玉米品种种子萌发中同一时期淀粉酶活力明显高于低活力玉米品种种子。

关键词: 玉米; 种子质量; 种子活力; 容重; 总淀粉; 淀粉酶活力; 抗冷测定; 田间出苗率

中图分类号: F513.032

文献标识码: A

Maize Seed Quality of Main Producing Region in China

ZHANG Xiao-wen¹, WANG Su-e¹, SHAO Xiao-yu², GUO Shuai-qiang¹, LI He-qin¹,

WANG Jian-hua³, SONG Xi-yun², JIANG Xu-wen^{1,2}

(1. College of Agronomy and Plant Protect, Qingdao Agricultural University, Shandong Key Laboratory of Dry-land Farming Technology, Qingdao 266109;

2. Qingdao Key Lab of Germplasm Resources Innovation and Application of Major Crops, Qingdao 266109;

3. College of Agronomy, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The seed quality of forty-six maize varieties mainly cultivated in Huanghuaihai-Huabei-Xinan area in China were analyzed and evaluated by physical and chemical indexes test, standard germination test, seedling growth test, adversity germination test, field emergence rate test, the correlation between those indicators, and amylase activity test etc. The results showed that the proportion of the seeds with dent and semi-dent was 80.4%, comprehensive analysis of the seed vigor indexes, among forty-six cultivars, the top four high vigor varieties were Xianyu047, Zhengdan958, Dahua-yu No.2 and Jundan26; bulk density and total starch were significantly and extremely significant correlation with mean field emergence rate, respectively; germination energy, germination percentage, and other indicators of adversity germination test were extremely significantly correlated with the mean field emergence rate, and the correlation coefficient of the cold test germination rate was the highest. These results suggested that bulk density and total starch were the typical traits of high vigour maize seed, the amylase activity of high vigour seeds was higher than that of low vigour seeds, and cold test was the best method for maize seed vigour test.

Key words: Maize; Seed quality; Seed vigour; Bulk density; Total starch; Amylase activity; Cold test; Field emergence rate

收稿日期: 2016-11-17

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303002)、国家自然科学基金项目(31601386, 31371636)、山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2014NY007)、山东省现代农业产业技术体系创新团队项目(SDAIT-02-01)、青岛市自主创新计划(15-9-1-86-jch)、青岛市科技成果转化引导计划(14-2-4-13-jch)、青岛农业大学大学生科技创新项目(2015-135)、青岛农业大学国家级大学生创新创业训练计划项目(201410435066)、青岛农业大学国家级大学生创业实践项目、青岛农业大学实验技术研究课题(2015-6)

作者简介: 张晓文(1995-), 女, 山东潍坊人, 本科, 主要从事玉米种子质量方面研究工作。

王素娥为并列第一作者。

江绪文为本文通讯作者。E-mail: mjxw888@163.com

种子作为最重要的农业生产资料,其质量高低直接关系到良种增产特性的充分发挥^[1]。玉米为我国第一大粮食作物,在保障粮食安全等方面发挥重要作用^[2,3]。种子活力作为种子生命中重要的特征与种子发育成熟、萌发贮藏等生理过程紧密联系^[4]。种子活力具有很强的遗传性,许多种子活力性状是多基因控制的数量性状^[5,6]。在玉米种子活力遗传特性研究方面也有较多报道^[7,8]。蒋作甫等认为,玉米种子活力大小主要受遗传特性决定,而环境影响较小。叶春萼等^[9]研究表明,玉米种子粒重主要呈加性效应、细胞质效应及母体显性效应, α -淀粉酶活力主要呈显性效应、细胞质效应、母体显性效应,发芽势主要呈显性效应,发芽率主要呈显性效应和母体效应。长期以来我国玉米新品种培育中缺乏对品种种子活力性状的关注,选育出的部分品种往往会出现不耐贮藏、田间出苗能力差、壮苗成苗率低等系列问题^[10~12]。

目前已有许多关于种子物理化学性状、逆境发芽性状等与种子活力关系的研究报道^[13,14]。时伟芳等^[15]发现,春小麦种子的千粒重、宽度、长度、投影面积、饱和度和色彩通道a与种子活力明显相关;大种子生菜品种比小种子品种的种子活力更高^[16];赵欣欣等^[17]发现,玉米种子发芽指标、活力指标与淀粉和脂肪含量显著相关;成广雷等^[18]认为,在同一临界胁迫贮藏条件下,基因型是影响玉米种子活力及生理特性的决定性因素。秦雪峰^[19]利用NaCl模拟盐胁迫对4个不同玉米品种耐盐性进行了鉴定,发现各品种种子活力均随NaCl浓度的增加而降低,品种间耐盐性存在明显差异。欧阳西荣^[20]研究发现,低温发芽条件下高活力玉米种子胚乳的蛋白酶活性比低活力种子高,且高活力种子 α -淀粉酶活性也显著高于低活力种子。随着大数据时代^[21]的到来,通过多年大样本开展高活力玉米品种筛选以及进一步确认、发掘高活力玉米品种种子具备的典型性状对推动现代种业快速发展具有重要作用。

本研究以2016年黄淮海、华北、西南三区收集的46个市售玉米品种样品种子为材料,通过物理化学指标测定、标准发芽及幼苗生长测定、逆境发芽测定(加速老化测定、抗盐测定和抗冷测定)、田间出苗率测定等方法鉴别高活力玉米品种,分析指标间的相关性,筛选适宜的玉米种子活力性状鉴定方法,并利用3年大样本数据对相关结论进行验证,同时基于玉米品种活力评价结果,对不同活力玉米品种种子萌发中淀粉酶活力大小变化进行初步分析比较,为今后高活力玉米品种选育以及种子质量深入研究

提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以2016年我国黄淮海、华北、西南3区收集的46个市售大田常规玉米品种样品种子为材料,品种名称为承玉23、安农9号、丹玉86、天泰33、淄玉14、费玉2号、登海3769、中迪985、金诚508、东单60、莘州158、伟科702、蠡玉88、济单7号、鲁单981、绿马206、华皖267、豫玉33、登海3622、梦玉908、农乐988、青农8号、纯玉958、中单909、浚单26、隆平206、丹玉69号、鲁单818、中科11号、郑单958、登海618、先玉047、滑玉13、黎乐66、京丰8号、秀青73-1、六棱雪10号、中北410、登海3463、大华玉2号、苏玉23、金来玉5号、聊玉23、涿单10号、保玉1号和江玉501(表1)。各品种样品包装完好,低温冷库中贮藏。

1.2 试验方法

1.2.1 物理化学指标测定

参照农作物种子检验规程^[22]和国际种子检验规程^[23]进行种子含水量和千粒重测定;采用HGT-1000A型谷物容重器进行容重测定;参照《种子学实验技术》^[24]介绍的方法,依次采用双波长法、凯氏定氮法和索氏残余提取法进行种子的总淀粉、粗蛋白和粗脂肪含量测定。各指标重复测定3次。

1.2.2 标准发芽及幼苗生长测定

参照农作物种子检验规程和国际种子检验规程进行卷纸发芽,选取大小均一、健康饱满的种子交错置床后卷起放入自封袋,垂直置于人工气候箱中25℃下避光发芽,3次重复,每个重复100粒。逐日统计种子发芽数目,第4天统计发芽势,第7天统计发芽率和测定苗/芽长、主根长、苗/芽鲜重、根鲜重、苗/芽干重(105℃,30 min;80℃至恒重)和根干重(105℃,30 min;80℃至恒重),并计算发芽指数(Germination index, GI), $GI = \sum (G_t/D_t)$,式中, D_t 为发芽日数; G_t 为与 D_t 相对应的每天发芽种子数。

1.2.3 加速老化测定

参照张春庆介绍的方法^[25],略有改动。各品种选取大小均一、健康饱满的种子,分别放入不同的小塑料网袋中,置于老化箱中(45℃、100%相对湿度)老化处理72 h后,取出风干后进行卷纸发芽,第7天统计正常植株数,3次重复,每个重复100粒。

1.2.4 抗盐测定

基于前期预实验结果,本实验以150 mmol/L NaCl溶液模拟盐胁迫,发芽方法同幼苗生长测定,

第7天统计正常植株数,3次重复,每个重复100粒。

1.2.5 抗冷测定

参考AOSA(美国官方种子协会)介绍的方法^[26],10℃下发芽7 d后,转25℃发芽4 d统计正常植株数,3次重复,每个重复100粒。

1.2.6 田间出苗率测定

在青岛农业大学莱阳和胶州试验地进行(分别以A、B表示),采用完全随机区组设计,株行距10 cm,3次重复,每个重复100粒,于播种后21 d统计田间出苗率。平均田间出苗率=(A田间出苗率+B田间出苗率)/2。

1.2.7 验证试验

调用2013–2015我国玉米主产区种子质量研究相关数据,对本研究相关结论进行补充验证。

1.2.8 不同活力玉米品种样品种子萌发中不同时期淀粉酶活力测定

分别选取高活力玉米品种和低活力玉米品种样品各2个,进行标准发芽试验,3次重复,每个重复

100粒,置床后逐日(第1至第5天)选取大小均一的玉米植株5~10株,置-80℃超低温冰箱中保存备用。淀粉酶活力测定:参照李合生^[27]介绍的方法进行酶液的提取,略有改动;采用3,5-二硝基水杨酸法进行淀粉酶活力测定^[28];参照谢倩^[29]介绍的方法进行淀粉酶活力计算。40℃时5 min内水解淀粉释放1 mg麦芽糖所需的酶量为1个酶活力单位(U)。

1.2.9 数据分析

采用Microsoft Excel进行数据处理;采用SAS 9.0软件进行差异显著性分析(LSD法)、采用SPSS 17.0软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同玉米品种样品种子粒型及产地信息

由表1可见,46个品种样品种子主要粒型为马齿型、半马齿型、硬粒型和半硬粒型的数目分别为18、19、3和6个;制种产地为甘肃的有37个,新疆的有6个,河北、山东和江苏的各1个。

表1 试验材料信息
Table 1 Experiment materials' information

编号 Number	名称 Name	粒型 Shape	产地 Producing area	编号 Number	名称 Name	粒型 Shape	产地 Producing area
1	承玉23	马齿型	河北承德	24	中单909	半马齿型	新疆
2	安农9号	马齿型	甘肃	25	浚单26	半马齿型	甘肃
3	丹玉86	马齿型	甘肃	26	隆平206	半马齿型	甘肃
4	天泰33	马齿型	甘肃	27	丹玉69号	半马齿型	甘肃
5	溜玉14	马齿型	甘肃	28	鲁单818	半马齿型	甘肃
6	费玉2号	马齿型	甘肃	29	中科11号	半马齿型	甘肃
7	登海3769	马齿型	新疆	30	郑单958	半马齿型	甘肃
8	中迪985	马齿型	甘肃	31	登海618	半马齿型	新疆
9	金诚508	马齿型	甘肃	32	先玉047	半马齿型	甘肃
10	东单60	马齿型	新疆	33	滑玉13	半马齿型	甘肃
11	莘州158	马齿型	甘肃	34	黎乐66	半马齿型	甘肃
12	伟科702	马齿型	甘肃	35	京丰8号	半马齿型	甘肃
13	鑫玉88	马齿型	甘肃	36	秀青73-1	半马齿型	甘肃
14	济单7号	马齿型	甘肃	37	六棱雪10号	半马齿型	甘肃
15	鲁单981	马齿型	甘肃张掖	38	中北410	硬粒型	甘肃
16	绿马206	马齿型	甘肃	39	登海3463	硬粒型	山东莱州
17	华皖267	马齿型	甘肃	40	大华玉2号	硬粒型	甘肃
18	豫玉33	马齿型	甘肃	41	苏玉23	半硬粒型	新疆
19	登海3622	半马齿型	甘肃	42	金来玉5号	半硬粒型	甘肃
20	梦玉908	半马齿型	甘肃	43	聊玉23	半硬粒型	甘肃
21	农乐988	半马齿型	甘肃	44	涿单10号	半硬粒型	甘肃
22	青农8号	半马齿型	新疆	45	保玉1号	半硬粒型	江苏
23	纯玉958	半马齿型	甘肃	46	江玉501	半硬粒型	甘肃

2.2 不同玉米品种样品种子物理化学指标测定

由表2可见,46个品种样品种子含水量范围为11.1%~11.4%,均低于玉米种子安全贮藏含水量(13%);千粒重范围为299.1~381.8 g。此外,容重、总淀粉、粗蛋白及粗脂肪4项指标分布范围分别为688.8~785.3 g/L、68.6%~75.4%、8.2%~11.6%、3.1%~4.9%。

表2 46个品种样品种子物理化学指标测定结果

Table 2 Physical and chemical indexes test of seed samples of 46 maize varieties

编 号	水分(%)	千粒重(g)	容重(g/L)	总淀粉(%)	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)
Number	Moisture content	1000-seed weight	Bulk density	Total starch	Crude protein	Crude fat
1	11.3 b	361.5 c	728.0 rstuv	70.8 tu	8.6 x	4.1 ijk
2	11.3 bc	310.8 r	729.8 qrst	73.4 de	9.1 u	4.2 ghijk
3	11.3 b	360.9 c	744.8 ghijkl	71.8 op	9.8 klm	4.7 bc
4	11.2 de	381.8 a	715.4 yzab	72.2 no	9.5 qr	4.2 hijk
5	11.2 ef	326.4 nop	735.1 nopqr	75.4 a	9.2 tu	4.1 k
6	11.3 b	364.1 bc	784.2 a	71.7 pq	9.2 tu	3.1 s
7	11.2 ef	312.4 r	743.3 ijklm	73.7 bcd	8.2 y	4.5 de
8	11.2 ef	323.6 opq	713.6 ab	71.6 pq	9.7 lmn	4.3 fg
9	11.3 b	341.2 hij	753.6 def	71.5 pq	10.4 gh	4.2 ghijk
10	11.3 b	336.1 jkl	715.4 yzab	72.8 jhi	9.8 kl	3.8 lm
11	11.2 de	381.3 a	719.6 xyza	72.7 ijk	8.9 v	4.1 k
12	11.1 g	353.9 d	749.5 efghij	73.7 bcd	9.3 st	3.6 nop
13	11.1 g	352.8 de	765.4 b	73.2 efg	10.7 e	3.5 op
14	11.2 cd	345.6 fgh	748.1 fghilk	73.3 efg	10.3 hi	4.9 a
15	11.3 b	311.7 r	750.1 efghi	70.9 st	10.7 e	4.5 d
16	11.3 bc	347.8 efg	742.2 jklmn	71.5 qr	9.4 rs	4.2 ghijk
17	11.2 de	336.7 jkl	727.2 stuvw	68.6 w	10.9 d	3.2 rs
18	11.4 a	327.3 no	743.8 ijkl	70.4 u	9.9 k	3.8 l
19	11.4 a	312.6 r	738.2 lmnop	73.3 ef	9.5 pq	4.7 bc
20	11.3 b	326.5 nop	728.6 rstu	72.2 lmn	9.0 u	4.3 fgh
21	11.3 b	335.1 kl	749.3 fghij	71.4 qr	10.3 hij	4.2 fghij
22	11.3 b	299.1 u	722.6 uvwxy	69.2 v	11.2 c	4.1 ijk
23	11.3 bc	344.1 ghi	742.5 jklm	73.6 cde	10.6 ef	3.3 rs
24	11.3 b	337.7 jkl	781.3 a	73.9 b	10.7 e	3.5 pq
25	11.1 g	324.8 nopq	760.2 bcd	72.1 no	9.6 opq	4.5 de
26	11.2 cd	360.9 c	744.1 hijkl	73.9 bc	9.3 s	3.6 mno
27	11.2 de	327.2 no	751.2 efgh	72.5 jklm	10.5 fg	4.5 d
28	11.2 de	350.7 def	721.1 vwxyz	73.0 fgh	11.6 a	4.3 fghi
29	11.3 bc	321.9 pq	725.4 tuvwx	71.7 pq	8.7 wx	4.1 ijk
30	11.1 g	334.1 lm	756.7 cde	73.4 def	9.4 rs	3.5 op
31	11.3 bc	320.2 q	760.9 bc	73.0 ghi	10.4 gh	3.7 lmn
32	11.3 b	339.8 ijk	756.6 cde	74.0 b	10.2 ij	3.3 qr
33	11.2 de	309.5 rs	688.8 c	70.6 tu	9.9 k	3.6 nop
34	11.3 bc	350.8 de	709.4 b	71.6 pq	9.7 mnop	3.6 mno
35	11.2 de	336.5 jkl	735.1 nopqr	73.4 de	9.8 klm	4.7 ab
36	11.3 b	336.6 jkl	710.8 b	72.6 ijk	10.2 hij	3.8 l
37	11.2 de	368.5 b	740.1 mno	72.2 mn	11.5 b	3.5 op
38	11.2 de	329.7 mn	720.4 wxyza	71.5 pqr	9.6 nopq	4.1 jk
39	11.3 bc	309.3 rs	741.8 lmn	73.5 de	9.3 s	4.4 ef
40	11.2 de	335 kl	736.5 mnopq	73.0 fgh	10.1 j	4.8 ab
41	11.1 g	304.5 st	714.2 zab	71.2 rs	9.7 lmno	4.6 cd
42	11.1 fg	320.2 q	751.6 efg	71.6 pq	11.2 c	4.8 ab
43	11.1 g	337.5 jkl	745.1 ghijkl	72.2 no	10.3 hi	4.2 fghij
44	11.1 fg	322.9 opq	785.3 a	73.5 cde	10.5 fg	3.8 l
45	11.1 fg	303.8 tu	731.2 pqrst	72.6 jkl	9.8 lm	3.8 lm
46	11.1 g	337.5 jkl	733.8 opqrs	72.4 lmn	8.8 vw	4.6 cd

注:不同小写字母表示5%水平差异显著。下表同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences at 5% level. The same below.

2.3 不同玉米品种样品种子标准发芽及幼苗生长测定

由表3可见,不同品种样品种子活力均存在差异。综合各项活力指标,排名前10位的高活力样品

品种为大华玉2号、登海3769、先玉047、郑单958、伟科702、浚单26、淄玉14、登海3463、隆平206和东单60。

表3 46个品种样品种子幼苗生长测定结果
Table 3 Seedling growth test of seed samples of 46 maize varieties

编 号	发芽势	发芽率	发芽指数	芽/苗长	主根长	芽/苗鲜重	苗干重	根鲜重	根干重
Number	(%)	(%)	GI	(cm)	(cm)	(g/10株)	(g/10株)	(g/10株)	(g/10株)
	GE	GP		Shoot/seedling length	Primary root length	Shoot/seedling fresh weight	Shoot/seedling dry weight	Root fresh weight	Root dry weight
1	69.3 q	87.3 p	79.1 x	6.72 jklm	12.61 klmnopqr	2.72 l	0.24 qr	1.58 mnop	0.26 ghijklm
2	82.7 op	91.0 mn	81.1 wx	5.36 lmn	5.57 v	1.23 r	0.18 uv	0.87 v	0.15 pqr
3	86.0 lmn	90.3 no	108.1 opq	7.56 efghijk	16.41 bcde	2.67 lm	0.28 no	1.59 mnop	0.22 jklmnopq
4	92.7 fghi	93.0 jkl	123.3 efg	7.54 efghijk	15.43 cdefgh	3.25 fgh	0.37 ef	1.67 lmnop	0.21 jklmnopq
5	97.0 abc	99.3 ab	108.0 opq	8.26 bcdefghijk	15.71 bcdefg	3.06 ij	0.32 ijk	1.92 hijkl	0.29 efghij
6	93.7 defgh	95.0 hi	103.7 rst	7.98 cdefghijk	15.39 cdefgh	3.31 efg	0.28 mno	2.28 ef	0.31 defghi
7	91.3 ghi	100.0 a	139.0 b	9.09 abcdef	17.76 b	4.17 c	0.41 bc	3.14 b	0.41 ab
8	91.0 hij	95.0 hi	114.6 kl	8.14 cdefghijk	12.95 ijklmnopq	2.68 l	0.24 qr	1.76 jklm	0.24 hijklmno
9	87.7 kl	91.0 mn	98.3 u	8.43 bcdefghij	13.40 hijklmnop	3.32 efg	0.30 lmn	2.00 ghij	0.26 ghijklmn
10	90.0 ijk	98.3 abcde	124.3 ef	8.99 abcdefg	10.91 qrstu	2.74 kl	0.26 op	1.44 pqr	0.23 ijklmnop
11	80.0 p	88.0 p	73.3 y	7.06 hijkl	9.43 tu	2.50 n	0.25 pq	1.22 rst	0.16 opqr
12	96.3 abcd	99.3 ab	143.7 a	8.50 bcdefghij	16.44 bcde	3.45 e	0.33 hi	2.28 ef	0.32 cdefgh
13	86.3 lm	88.7 op	77.9 x	6.50 klmn	12.23 lmnopqrs	2.57 lmn	0.25 pq	1.70 klmno	0.27 fghijklm
14	96.0 bcde	100.0 a	104.7 qrs	8.07 cdefghijk	15.90 bcdef	2.67 lm	0.21 st	1.46 opqr	0.20 klmnopq
15	92.3 fghi	94.7 ij	121.6 fgh	7.52 efghijk	11.50 nopqrstu	2.48 n	0.28 no	1.55 mnopq	0.19 lmnopqr
16	94.3 cdefg	95.3 ghi	110.5 mno	7.79 efghijk	12.00 mnopqrs	3.32 efg	0.36 fg	2.47 de	0.34 bcdefg
17	92.7 fgui	95.0 hi	106.5 pqr	9.73 abcd	14.61 defghijk	4.20 c	0.37 ef	3.65 a	0.40 abcd
18	96.3 abcd	96.7 efgh	100.8 tu	8.54 bcdefghij	14.30 efghijkl	3.30 efgh	0.34 ghi	1.50 nopq	0.18 nopqr
19	92.3 fghi	98.3 abcde	125.9 e	5.42 lmn	4.89 v	1.70 q	0.14 w	0.90 uv	0.16 opqr
20	92.7 fghi	95.0 hi	106.9 pqr	8.32 bcdefghijk	14.69 defghijk	4.38 b	0.44 a	2.63 cd	0.36 abcde
21	94.0 cdefgh	98.3 abcde	110.3 mno	8.14 cdefghijk	16.60 bcd	3.78 d	0.38 de	2.48 de	0.33 bcdefgh
22	91.0 hij	96.7 efgh	135.0 c	9.22 abcde	13.58 ghijklmno	4.12 c	0.40 cd	2.11 fghi	0.30 efghij
23	92.3 fghi	95.0 hi	115.6 jk	7.24 fghijkl	16.27 bcde	2.90 jk	0.30 jkl	2.66 cd	0.35 abcdef
24	92.0 fghi	97.0 defg	116.3 ijk	7.67 efghijk	14.71 defghijk	3.06 ij	0.33 ghi	2.16 fgh	0.35 bcdefg
25	96.0 bcde	99.0 abc	132.9 cd	10.66 a	17.17 bc	4.70 a	0.36 fg	2.11 fghi	0.29 efghijk
26	97.0 abc	98.7 abcd	113.5 klm	7.43 efghijk	11.37 opqrstu	2.92 j	0.24 pq	1.46 opqr	0.24 hijklmno
27	83.0 nop	93.0 jkl	86.3 v	6.90 hijklm	12.74 jklmnopqr	3.40 ef	0.28 mno	1.76 klm	0.28 efghijkl
28	94.3 cdefg	96.7 efgh	111.5 klm	7.50 efghijk	13.07 ijklmnopq	3.14 hi	0.30 klmn	1.43 pqr	0.23 ijklmnop
29	91.0 hij	91.7 lmn	119.2 hi	7.78 efghijk	10.24 stu	2.20 o	0.24 qr	1.05 tuv	0.14 qr
30	98.7 ab	100.0 a	134.0 c	7.52 efghijk	17.14 bc	3.29 efgh	0.30 klm	2.70 cd	0.41 abc
31	95.0 cdef	97.7 bcde	121.8 fgh	7.74 efghijk	15.05 cdefghi	3.73 d	0.33 hi	3.06 b	0.44 a
32	98.7 ab	100.0 a	139.3 b	8.79 abcdefgh	15.53 bcdefgh	3.02 ij	0.32 ij	1.93 hijk	0.28 efghijkl
33	86.3 lm	88.0 p	101.5 stu	5.10 mn	9.34 u	1.87 p	0.16 vw	0.87 v	0.12 r
34	81.7 op	87.7 p	83.1 vw	6.88 ijklm	13.84 fghijklm	2.51 mn	0.20 st	1.89 ijkl	0.27 fghijklm
35	93.0 efghi	96.7 efgh	125.4 e	8.78 abcdefgh	15.71 bcdefg	3.18 ghi	0.36 f	2.20 fg	0.33 bcdefgh
36	91.0 hij	94.0 ijk	99.0 u	8.69 bcdefghi	14.99 cdefghij	3.18 ghi	0.35 fgh	1.56 mnop	0.20 lmnopqr
37	91.3ghi	93.0 jkl	100.9 tu	5.08 mn	11.27 pqrstu	2.23 o	0.25 pq	1.70 klmno	0.22 jklmnopq
38	91.3 ghi	92.7 klm	113.3 klm	8.77 abcdefghi	15.45 cdefgh	4.28 bc	0.43 ab	2.60 cd	0.32 cdefgh
39	98.3 ab	99.0 abc	131.8cd	8.44 bcdefghij	11.65 mnopqrst	2.93 j	0.30 klmn	1.59 mnop	0.24 hijklmno
40	99.3 a	100.0 a	129.9 d	10.06 ab	21.62 a	4.42 b	0.39 cde	2.75 c	0.36 abcde
41	84.0 mno	90.0 no	98.8 u	4.78 n	10.58 rstu	1.81 pq	0.17 v	1.72 klmn	0.23 ijklmnop
42	87.7 kl	93.0 jkl	109.2 nop	7.11 ghijkl	13.52 ghijklmnop	2.92 j	0.20 stu	1.30 qrs	0.21 jklmnopqr
43	96.7 abcd	97.3 cdef	118.6 hij	5.46 lmn	6.68 v	2.49 n	0.19 tu	1.15 stu	0.18 mnopqr
44	91.7 ghi	95.7 fghi	120.2 gh	7.90 defghijk	15.42 cdefgh	3.18 ghi	0.29 lmn	2.06 fghi	0.26 ghijklm
45	93.0 efghi	95.3 ghi	114.9 kl	6.53 klmn	5.18 v	2.70 l	0.22 rs	0.86 v	0.20 lmnopqr
46	88.0 jkl	93.0 jkl	110.9 mno	9.82 abc	13.74 fghijklmn	3.02 ij	0.30 klmn	1.13 stu	0.15 pqr

注:GE为发芽势;GP为发芽率;GI为发芽指数。下表同。
Note: GE, Germination energy; GP, Germination percentage; GI, Germination index. The same below.

2.4 不同玉米品种样品种子逆境发芽及田间出苗率测定

由表4可见,不同品种样品种子活力均存在差异。综合考虑逆境发芽各项活力指标,排名前10位的高活力样品品种为大华玉2号、郑单958、先玉047、

浚单26、登海618、登海3769、中单909、纯玉958、鲁单818和绿马206。从田间出苗率结果来看,排名前10位的高活力样品品种为先玉047、郑单958、大华玉2号、浚单26、聊玉23、登海3769、伟科702、隆平206、济单7号和登海618。

表4 46个品种样品种子逆境发芽及田间出苗率测定结果
Table 4 Adversity germination test of seed samples of 46 maize varieties %

编 号	加速老化测定发芽率	抗盐测定发芽率	抗冷测定发芽率	A田间出苗率	B田间出苗率	平均田间出苗率
Number	AA-GP	ST-GP	CT-GP	A-FSE	B-FSE	AFSE
1	51.3 q	54.0 q	84.7 mno	84.0 klmn	84.0 lmnopq	84.0
2	14.3 v	71.7 o	83.0 nop	79.0 op	76.3 t	77.7
3	60.7 op	82.0 m	84.0 mnop	81.7 no	78.7 st	80.2
4	58.3 p	83.0 m	88.7 ijkl	90.3 bcdef	88.3 efghij	89.3
5	80.7 defgh	93.0 ghij	89.7 hijk	85.7 jklm	87.0 ghijkl	86.4
6	77.0 efghij	83.0 m	90.3 ghij	85.7 jklm	87.0 ghijkl	86.4
7	88.3 ab	100.0 a	94.3 cde	91.0 bcdef	92.0 abc	91.5
8	66.7 lmn	93.0 ghij	91.3 efghij	83.0 mn	86.3 ijklmn	84.7
9	63.7 nop	83.0 m	85.0 mno	85.7 jklm	83.3 nopq	84.5
10	76.0 ghij	89.0 k	94.3 cde	89.0 defghi	89.7 cdefgh	89.4
11	43.7 rs	81.0 m	81.3 p	72.0 qr	69.7 v	70.9
12	82.0 cdef	86.0 l	94.0 cdef	90.0 bcdefg	91.7 abcd	90.9
13	38.3 s	53.0 q	88.3 jkl	84.7 klmn	79.7 rs	82.2
14	69.3 klm	99.0 ab	94.3 cde	89.0 defghi	92.0 abc	90.5
15	47.7 qr	89.0 k	94.0 cdef	87.0 ghijk	89.7 cdefgh	88.4
16	80.7 defgh	94.7 efgh	91.7 efghi	91.0 bcdef	86.0 jklmno	88.5
17	86.0 bcd	91.7 j	86.7 klm	86.0 ijklm	83.7 mnopq	84.9
18	75.7 ghij	89.0 k	90.3 ghij	86.3 hijkl	86.7 hijklm	86.5
19	59.3 p	97.0 bcd	95.3 abcd	88.0 fghij	90.7 abcde	89.4
20	78.3 efghi	95.7 def	91.0 fghij	89.3 cdefgh	90.0 bcdefg	89.7
21	74.3 ijk	97.0 bcd	95.0 bcd	91.3 bcde	88.7 defghij	90.0
22	76.3 ghij	94.0 efghi	91.7 efghi	88.3 efghij	85.0 klmnop	86.7
23	86.3 bc	95.0 defg	91.7 efghi	89.3 cdefgh	90.0 bcdefg	89.7
24	92.0 a	92.0 ij	94.3 cde	89.3 cdefgh	89.3 cdefghi	89.3
25	88.7 ab	99.0 ab	97.7 ab	91.7 abcd	92.0 abc	91.9
26	84.0 bcd	59.0 p	96.3 abc	90.0 bcdefg	91.3 abcde	90.7
27	26.3 u	91.7 j	83.7 mnop	72.0 qr	75.7 tu	73.9
28	82.3 cde	95.7 def	92.3 defgh	89.7 cdefg	85.7 jklmno	87.7
29	84.7 bcd	58.0 p	90.3 ghij	90.0 bcdefg	86.0 jklmno	88.0
30	89.0 ab	98.0 abc	98.3 a	92.3 abc	93.7 a	93.0
31	85.0 bcd	98.0 abc	93.0 defg	89.0 defghi	91.7 abcd	90.4
32	85.7 bcd	99.0 ab	92.3 defgh	94.7 a	93.0 ab	93.9
33	0.0 w	47.0 r	77.0 q	69.0 r	62.0 w	65.5
34	49.0 qr	87.0 kl	84.3 mnop	84.0 klmn	81.7 qrs	82.9
35	75.3 hij	96.0 cde	91.3 efghij	90.7 bcdef	88.7 defghij	89.7
36	81.0 cdefg	93.0 ghij	86.0 lmn	86.0 ijklm	84.0 lmnopq	85.0
37	78.3 efghi	88.0 kl	89.0 ijkl	88.3 efghij	84.7 klmnopq	86.5
38	78.3 efghi	92.0 ij	88.3 jkl	89.0 defghi	87.3 fghijk	88.2
39	76.7 fghij	93.0 ghij	94.0 cdef	87.0 ghijk	90.3 bcdef	88.7
40	89.0 ab	100.0 a	97.7 ab	93.0 ab	92.3 abc	92.7
41	32.7 t	78.0 n	82.7 op	74.3 q	72.7 uv	73.5
42	65.3 mno	92.7 hij	82.3 op	83.3 lmn	82.0 pqr	82.7
43	44.3 r	97.0 bcd	93.3 cdefg	93.0 ab	90.0 bcdefg	91.5
44	72.0 jkl	94.0 efghi	91.0 fghij	90.0 bcdefg	88.7 defghij	89.4
45	61.3 nop	93.7 fghij	91.3 efghij	91.0 bcdef	88.3 efghij	89.7
46	30.7 tu	58.7 p	82.3 op	78.0 p	83.0 opq	80.5

注:AA-GP为加速老化测定发芽率;SS-GP为抗盐测定发芽率;CT-GP为抗冷测定发芽率;A-FSR为试验地A的田间出苗率;B-FSR为试验地B的田间出苗率;AFSR为试验地A和B田间出苗率的平均值。下表同。

Note: AA-GP, Germination percentage of accelerated aging test; SS-GP, Germination percentage of salt tolerance test; CT-GP, Germination percentage of cold test; A-FSR, Field seedling rate of field A; B-FSR, Field seedling rate of field B; AFSR, Average field seedling rate. The same below.

2.5 不同种子质量指标和平均田间出苗率相关性分析

由表5可见,玉米种子容重、总淀粉含量2项指标与平均田间出苗率分别呈极显著($r=0.422$)和显著($r=0.317$)正相关;发芽势、发芽率、加速老化测定发芽率、抗盐测定发芽率、抗冷测定发芽率5项指标与平均田间出苗率均呈极显著正相关,其中加速老化测定发芽率和抗冷测定发芽率2项指标与平均田间出苗率相关系数较大,分别为0.798和0.881。可见,玉米种子容重、总淀粉含量是高活力玉米种子具备的2个典型种子性状。加速老化测定和抗冷测定是

玉米种子活力检测评价较好的方法,其中抗冷测定更加适宜。

2.6 连续3年不同玉米品种样品种子的容重、总淀粉含量、加速老化测定发芽率、抗冷测定发芽率4项指标和田间出苗率相关性分析

由图1可见,分别调用2013~2015年179、181和195个品种样品种子数据进行容重、总淀粉含量、加速老化测定发芽率、抗冷测定发芽率4项指标与平均田间出苗率的相关分析,结果表明,除2015年总淀粉指标与田间出苗率呈显著正相关外,其余指标均呈极显著正相关。

表5 46个品种样品种子质量指标的相关分析
Table 5 Correlation analysis between different seed quality indexes of seed samples of 46 maize varieties

相关系数 Correlation coefficient	容重 Bulk density	总淀粉 Total starch	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	发芽势 GE	发芽率 GP	加速老化测定发芽率 AA-GP	抗盐测定发芽率 ST-GP	抗冷测定发芽率 CT-GP
总淀粉	0.331*								
粗蛋白	0.177	-0.209							
粗脂肪	-0.160	0.009	-0.14						
发芽势	0.317*	0.313*	0.165	-0.095					
发芽率	0.377**	0.425**	0.053	0.049	0.848**				
加速老化测定发芽率	0.338*	0.210	0.091	-0.201	0.630**	0.669**			
抗盐测定发芽率	0.249	0.174	0.297*	0.163	0.545**	0.652**	0.567**		
抗冷测定发芽率	0.424**	0.358*	0.034	-0.023	0.743**	0.851**	0.712**	0.541**	
平均田间出苗率	0.422**	0.317*	0.043	-0.075	0.697**	0.766**	0.798**	0.558**	0.881**

注:*表示0.05水平显著相关;**表示0.01水平极显著相关。下同。
Note: * indicated significant at 0.05 level; ** indicated highly significant at 0.01 level. The same below.

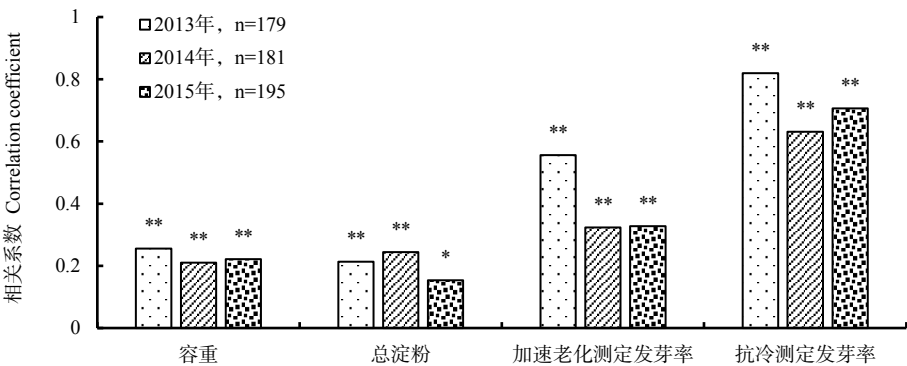


图1 2013~2015连续三年不同品种样品种子的容重、总淀粉、加速老化测定发芽率、抗冷测定发芽率4项指标和田间出苗率的相关性分析

Fig.1 Correlation analysis between bulk density, total starch, AA-GP, CT-GP with field seedling rate of seed samples of different maize varieties for three consecutive years from 2013 to 2015

2.7 不同活力玉米品种样品种子萌发中不同时期淀粉酶活力测定

由图2可见,活力较高的玉米品种(先玉047和

郑单958)和活力偏低的玉米品种(滑玉13和莘州158)样品种子萌发中不同时期淀粉酶活力变化比较结果表明,4个品种样品种子萌发中淀粉酶活力均呈“先

快后慢”的上升变化趋势,高活力品种种子发芽第3天淀粉酶活力上升变幅最大,活力偏低的品种样品种子发芽第4天淀粉酶活力上升变化幅度最大。种

子萌发中同一时期活力较高的品种样品种子淀粉酶活力均高于活力偏低的品种样品,且差异极显著。

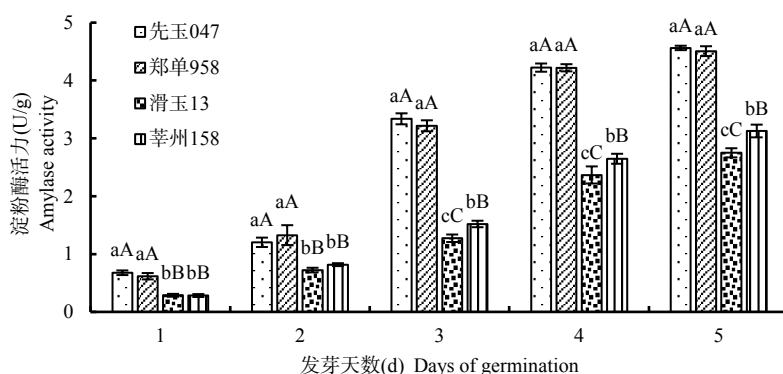


图2 不同活力玉米品种样品种子萌发中不同时期淀粉酶活力大小比较

Fig.2 A comparative study on amylase activity of seed samples of different vigour maize varieties in different germination periods

3 讨论

高活力玉米品种选育现已成为继产量、品质、抗病等能力之后新的重要育种目标^[30]。本研究以2016年我国黄淮海、华北、西南3区收集的46个玉米品种样品种子质量及相关情况进行研究分析。46个品种样品种子粒型主要是马齿型和半马齿型,制种产地集中在甘肃。综合考虑各项种子活力指标,种子活力较高的4个玉米品种为大华玉2号、先玉047、郑单958和浚单26。从种子物理化学指标与田间出苗率相关性分析结果来看,容重和总淀粉含量与平均田间出苗率分别呈极显著和显著正相关。张丽等^[31]认为,提高玉米子粒容重,需先提高子粒总淀粉含量。樊龙江等^[32]研究发现,胚乳淀粉积累不足会造成甜玉米种子活力降低。此外,对活力较高和活力偏低的玉米品种样品种子萌发中不同时期淀粉酶活力大小进行比较分析发现,各样品种子萌发阶段淀粉酶活力均呈“先快后慢”的上升变化趋势,且同一萌发时期活力较高的品种样品种子淀粉酶活力明显高于活力偏低的品种。从幼苗生长测定、逆境发芽指标与平均田间出苗率相关性分析结果来看,发芽势、发芽率、加速老化发芽率、抗盐测定发芽率、抗冷测定发芽率均可作为预测玉米田间出苗率的种子活力及其相关指标。种子活力指标中抗冷测定发芽率和加速老化测定发芽率两项指标预测田间出苗率较准确。

致谢: 张文健、王晓琨、陈嘉斌、彭飞、刘娟、田芳、姜明珠、刘文超、刘媛媛、孙文迪、索笑笑、张莉珍、王敏、杨小英、崔晓娟、王秀、尉玉洁、王东、孙万

江、张彦荣、于志洋、刘凯、邵梦梦、郭春节、陈丹、孙艳艳、杜鑫、张涵、王美娟、刘京、朱凯丽、蓝晓静等。

参考文献:

- [1] 颜启传. 种子学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001, 1-6, 103, 462.
- [2] 王崇桃, 李少昆, 韩伯棠. 玉米产量潜力实现的限制因素的参与式评估[J]. 科技与经济, 2006(7): 53-59.
Wang C T, Li S K, Han B T. The participatory appraisal on the main constraints for the realization of corn yield potential[J]. Science and Technology and Economy, 2006(7): 53-59. (in Chinese)
- [3] 江绪文, 李贺勤, 赵爱美, 等. 2014年我国玉米主产区种子质量研究[J]. 中国种业, 2015(2): 44-48.
Jiang X W, Li H Q, Zhao M A, et al. Study on seed quality of main maize producing areas in China in 2014[J]. China Seed Industry, 2015(2): 44-48. (in Chinese)
- [4] Marcos-Filho J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective[J]. Scientia Agricola, 2015, 72(4): 363-374.
- [5] 蒋作甫, 李文红. 玉米种子活力的遗传力及活力与有关性状相关性的研究[J]. 北京农学院学报, 1991, 6(1): 1-9.
Jiang Z F, Li W H. Studies on the vigour heritability and its relevance to some characters of maize seeds[J]. Journal of Beijing Agricultural College, 1991, 6(1): 1-9. (in Chinese)
- [6] 姜艳丽, 黄国峰, 黄修梅, 等. 种子活力测定在玉米育种中的应用[J]. 种子, 2016, 3(35): 53-54.
Jiang Y L, Huang G F, Huang X M, et al. Application of testing seed vigor in maize breeding[J]. Seed, 2016, 35(3): 53-54. (in Chinese)
- [7] Tekrony D M, Hunter J L. Effect of seed maturation and genotype on seed vigor in maize[J]. Crop Science, 1995, 35(3): 857-862.
- [8] 刘海英. 玉米种子活力相关性状的QTL定位及遗传效应分析[D]. 河南农业大学, 2012.
- [9] 叶春粤, 张全德. 超甜玉米种子发芽性状的遗传效应分析[J]. 浙江农业学报, 1998, 10(3): 113-117.

- Ye C E, Zhang Q D. Genetic analysis of seed germinative traits in supersweet corn (*Zea mays* L.)[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 1998, 10(3): 113–117. (in Chinese)
- [10] 李贺勤, 王晓琨, 江绪文, 等. 山东省市售玉米种子质量研究[J]. 山东农业科学, 2015, 47(1): 33–35.
- Li H Q, Wang X K, Jiang X W, et al. Study on quality of maize seeds sold in Shandong[J]. Shandong Agricultural Science, 2015, 47(1): 33–35. (in Chinese)
- [11] 王建华, 赵光武, 王 玺, 等. 选出高活力种子金身——低温、干旱、盐胁迫、加速老化, 模拟逆境下的种子发芽试验[N]. 农民日报, 2016.
- [12] 王建华, 赵光武, 孙 群, 等. 大数据告诉你如何选好种——据告诉你年我国主要农作物种子田间出苗潜力调查报告[N]. 农民日报, 2015.
- [13] Filho F B, Carvalho N M D, Moro F V. Relationship between physical, morphological, and physiological characteristics of seeds developed at different positions of the ear of two maize (*Zea mays* L.) hybrids[J]. Seed Science and Technology, 2002, 30(1): 97–106.
- [14] Soltani A, Galeshi S, Zeinali E, et al. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size[J]. Seed Science and Technology, 2002, 30(1): 51–60.
- [15] 时伟芳, 贾 佳, 冯鹏飞, 等. 春小麦种子物理指标与种子活力关系的初步分析[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(7): 1–12.
- Shi W F, Jia J, Feng P F, et al. Preliminary analysis on correlations between seed vigor and physical traits of spring wheat[J]. Journal of China Agricultural University, 2016, 21(7): 1–12. (in Chinese)
- [16] Penaloza P, Ramirezrosales G, McDonald M B, et al. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) seed quality evaluation using seed physical attributes, saturated salt accelerated aging and the seed vigour imaging system[J]. Electronic Journal of Biotechnology, 2005, 8(3): 984–988.
- [17] 赵欣欣, 刘继权, 王 奇, 等. 玉米种子对高温高湿度老化的响应研究[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(2): 11–15.
- Zhao X X, Liu J Q, Wang Q, et al. Studies on response of maize seed to aging of high temperature and high humidity[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2015, 40(2): 11–15. (in Chinese)
- [18] 成广雷, 张海娇, 赵久然, 等. 临界胁迫贮藏条件下不同基因型玉米种子活力及生理变化[J]. 中国农业科学, 2015, 48(1): 33–42.
- Cheng G L, Zhang H J, Zhao J R, et al. Vigor and physiological changes of different genotypes of maize seed (*Zea mays* L.) under critical stress storage conditions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(1): 33–42. (in Chinese)
- [19] 秦雪峰, 高扬帆, 吕文彦. NaCl胁迫对玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子, 2007, 26(5): 23–26.
- Qin X F, Gao Y F, Lüin X F, Gao Y F. LaCl stress on seed germination and seedling growth of maize[J]. Seed, 2007, 26(5): 23–26. (in Chinese)
- [20] 欧阳西荣. 种子活力与发芽环境对玉米种子蛋白酶和 α 子淀粉酶活性的影响[J]. 湖南农业大学学报, 2003, 29(1): 22–26.
- Ouyang X R. The effects of seed vigour and imbibition environment on the activities of protease and ze seedumidity[J]. (*Zea mays* L.) kernels[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2003, 29(1): 22–26. (in Chinese)
- [21] 朱建平, 章贵军, 刘晓葳. 大数据时代下数据分析理念的辨析[J]. 统计研究, 2014, 31(2): 10–17.
- Zhu J P, Zhang G J, Liu X W. Clarity of a philosophy of data analysis during the age of big data[J]. Statistical research, 2014, 31(2): 10–17. (in Chinese)
- [22] 国家技术监督局. 农作物种子检验规程[M]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [23] 国际种子检验协会. 国际种子检验规程[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [24] 尹燕桦, 董学会. 种子学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [25] 张春庆, 王建华. 种子检验学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006, 77–78.
- [26] AOSA. Seed vigour testing handbook, association of official seed analysts, Ithaca, NY, USA, 1983.
- [27] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 169–172.
- [28] 王秀奇, 秦淑媛, 高天慧, 等. 基础生物化学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [29] 谢 倩, 于 昕, 徐珍珍. 玉米种子萌发过程中淀粉酶活力变化研究[J]. 现代农业科技, 2010(23): 45.
- Xie Q, Yu X, Xu Z Z. Change of the amylase vigor in corn during germination[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2010(23): 45. (in Chinese)
- [30] 汪黎明, 郭庆法, 高新学, 等. 黄淮海夏玉米的育种目标及品种选育方法改良[J]. 山东农业科学, 2005(6): 21–24.
- Wang L M, Guo Q F, Gao X X, et al. Breeding objective and selecting method improvement of Huang-huai-hai summer maize[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2005(6): 21–24. (in Chinese)
- [31] 张 丽, 董树亭, 刘存辉, 等. 玉米籽粒容重与产量和品质的相关分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(2): 405–411.
- Zhang L, Dong S T, Liu C H, et al. Correlation analysis on maize test weight, yield and quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(2): 405–411. (in Chinese)
- [32] 樊龙江, 颜启传. 甜玉米种子活力低下原因及提高其田间出苗率研究[J]. 作物学报, 1998(1): 103–109.
- Fan L J, Yan Q C. Study on low seed vigor of sh2 sweet corn and seed treatments for improving its field seedling emergence[J]. Acta Agronomica Sinica, 1998(1): 103–109. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)