

超甜玉米种子萌发物质利用性状杂种优势及亲子回归关系分析

程昕昕, 谢宏, 何松, 周毅, 郑甲成, 余海兵

(安徽科技学院农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要: 为阐明超甜玉米(*Zea mays* L. var. *saccharata* Bailey)亲本对 F_1 种子物质利用性状遗传效应, 研究了 19 份自交系和其测配的 10 个杂交组合的杂种优势及亲子回归关系。结果表明, 超甜玉米自交系及 F_1 种子的淀粉含量、蛋白质含量、脂肪含量、百粒重、种子物质动用量和种子物质利用率差异较大, 10 个杂交组合中亲本和 F_1 种子的淀粉含量、脂肪含量、百粒重均存在显著差异。 F_1 种子淀粉含量和百粒重均表现出正向超亲优势, 即近高亲本遗传; 而 F_1 种子的蛋白质含量、脂肪含量、种子物质动用量和种子物质利用率为近低亲本遗传。聚类分析和杂种优势分析表明, 性状差异较大的 FH14、Q26、GT22、GT2 等亲本测配的杂交组合在种子百粒重或种子物质利用率等性状上具有较强的超亲优势。回归分析表明, 母本对 F_1 种子的淀粉含量、百粒重有负效应, 对种子物质动用量和种子物质利用率有正效应; 父本对种子淀粉含量有负效应, 对种子物质利用率有正效应。

关键词: 甜玉米; 种子物质利用率; 贮藏物质动用量; 亲子回归关系

doi: 10.11926/jtsb.3716

Heterosis and Parentage Regression Relation Analysis of Seed Reserve Utilization Efficiency in Sh_2 Sweet Corn

CHENG Xin-xin, XIE Hong, HE Song, ZHOU Yi, ZHENG Jia-cheng, YU Hai-bing

(College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, Anhui, China)

Abstract: To reveal the genetic effect of parents on F_1 seeds reserve utilization of *Zea mays* L. var. *saccharata* Bailey, the heterosis and regression relation between parents and F_1 hybrid seeds from 19 inbred lines and 10 hybrid combinations were studied. The results showed that there were obvious differences in contents of starch, protein, fat, 100-seed weight, the weight of mobilized seed reserve and seed reserve utilization efficiency between inbred lines and F_1 hybrid seeds. There were significant differences in starch content, fat content and 100-seed weight between parents on F_1 seeds. The starch content and 100-seed weight of F_1 hybrid seeds were higher than those of parents, while other traits were lower. However, the 100-seed weight and seed reserve utilization efficiency in F_1 seeds from the combinations of FH14, Q26, GT22 and GT2 had strong heterosis by cluster analysis, which had significant difference in characters. Regression analysis showed that female parent had positive effects on the mobilized seed reserve and seed reserve utilization efficiency, but have negative influences on starch content and 100-seed weight of F_1 seeds, while male parent have negative effects on starch content and have positive effect on seed reserve utilization efficiency.

Key words: Sweet corn; Seed reserve utilization efficiency; Weight of mobilized seed reserve; Parentage regression relation

收稿日期: 2016-12-28

接受日期: 2017-03-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(31440066); 安徽省教育厅自然科学基金重点项目(KJ2016A824); 安徽科技学院稳定人才项目资助
This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31440066), the Key Project for Natural Science in Education Department of Anhui Province (Grant No. KJ2016A824), and the Project for Stabilize Talent in Anhui Science and Technology University.
作者简介: 程昕昕(1978-), 女, 博士, 副教授, 主要从事甜玉米遗传育种。E-mail: chengxin0901@163.com

甜玉米(*Zea mays* L. var. *saccharata* Bailey)又称“水果玉米”、“蔬菜玉米”,胚乳含糖量较高,是甜质型玉米^[1]。在种子成熟期,突变基因阻止蔗糖合成淀粉,导致种子贮藏物质积累不充足,皱缩干秕,发芽率差。因此,超甜玉米种子活力低是限制当前甜玉米产业发展的瓶颈因素。

种子萌发是在水分代谢、呼吸代谢、贮藏物代谢等基本代谢的基础上表现为幼苗生长的过程^[2]。种子萌发时,在酶的作用下,贮藏物质分解并形成幼胚及幼苗生长的营养物质和能量^[3-6]。Soltani 等研究表明幼苗生长量主要受种子贮藏物质动用量和物质利用率决定^[7-8]。萌发过程中,由于种子呼吸消耗,形成的幼苗干重始终低于种子干物质消耗^[2,7],因此,物质动用量转化至幼苗生长的量是影响幼苗生长的关键因素之一。目前,前人已对小麦(*Triticum aestivum*)^[7]、大豆(*Glycine max*)^[8]、水稻(*Oryza sativa*)^[9]等开展了种子物质利用表型性状的研究。杂种优势是生物界普遍存在的一种现象。近来,有关甜玉米杂种优势的研究主要集中在形态指标、产量指标和营养品质指标等方面^[10-18]。但有关甜玉米种子萌发物质利用相关性状杂种优势研究还鲜见报道。因此,为分析甜玉米种子快速发芽及形成健壮幼苗的生理机制,揭示种子萌发物质利用相关性状的杂种优势遗传,阐明亲本对 F₁ 种子物质利用性状效应,本研究主要利用超甜玉米分析种子萌发期贮藏物质利用相关性状杂种优势及亲子回归关系,为选育高活力甜玉米品种提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

本试验选用玉米育种安徽省工程技术研究中心提供的 19 份甜玉米(*Zea mays* L. var. *saccharata* Bailey)自交系(利用二环系法选育出的自交系)和其测配的 10 个杂交组合种子(在自交系果穗抽丝前进行套袋,抽雄扬花后人工授粉,收获自交种子和 F₁ 杂交种子,分别收获 3 个果穗,取其中部籽粒混匀,进行干燥)。

1.2 方法

将种子置于 104℃ 干燥培养箱中脱水干燥至含水率为 13%,挑选健康、饱满的种子,称量,计算单粒种子原始质量。

利用 DA7200 型近红外分析仪测量蛋白质、淀粉、脂肪 3 种主要营养成分的含量。该仪器为近红外透射光谱仪,波长范围 800~1100 nm,结果以干基(%)为基础。试验 3 次重复。

按国家标准农作物种子检验规程 GB/T3543.1-3543.7-1995 技术规定,采用纸床于 25℃ 进行发芽试验,3 次重复。参照 Soltani 等^[7]的方法计算种子贮藏物质的利用性状。

1.3 数据分析

采用 SAS 软件对 F₁、父母本之间的籽粒品质性状、种子贮藏物质利用性状进行显著性分析和聚类分析。杂种优势的计算:中亲优势=[(F₁-MP)/MP]×100,MP 为双亲均值,MP=(P₁+P₂)/2;超亲优势=[(F₁-HP)/HP]×100,其中,HP 为高值亲本。

2 结果和分析

2.1 亲本对 F₁ 籽粒营养成分的影响

淀粉、蛋白质和脂肪含量是决定籽粒品质的重要指标。由表 1 可见,超甜玉米籽粒中淀粉含量为 57.65%~73.14%,蛋白质含量为 8.62%~15.83%,脂肪含量为 7.06%~16.03%。10 个组合种子中淀粉和脂肪含量在亲本和 F₁ 间均存在显著差异;GS1×YNT2-1、10GT8-4×GT12、YNT11×GT2、YNT13×GT22、E38×GT23、XSJD10-3×Q26、E47×FH14 等 7 个杂交组合的蛋白质含量在亲本和 F₁ 间均存在显著差异;E49×FH11、E50×FH12、YNT48×GT2 等 3 个杂交组合的蛋白质含量在亲本和 F₁ 间差异不显著。

2.2 亲本对 F₁ 种子贮藏物质利用性状的影响

百粒重、种子贮藏物质动用量、种子贮藏物质利用率是影响幼苗生长的关键因素。由表 2 可以看出,超甜玉米籽粒百粒重为 5.19~23.58 g,种子物质动用量为 0.04~0.13 g grain⁻¹,种子物质利用率为 0.06~0.77 g g⁻¹。方差分析表明,10 个超甜玉米杂交组合的亲本和 F₁ 间,百粒重均有显著差异;E49×FH11、YNT11×GT2、E38×GT23、XSJD10-3×Q26 等 4 个杂交组合的种子物质动用量有显著差异;E50×FH12、YNT48×GT2、YNT13×GT22、E38×GT23、XSJD10-3×Q26 等 5 个杂交组合在父本、母本和 F₁ 间的种子物质利用率有显著差异。

表1 超甜玉米亲本对 F₁ 种子营养成分的影响Table 1 Effect of parents on nutrient contents in F₁ seeds of sweet corn

组合 Combination	淀粉含量 Starch content (%)			蛋白质含量 Protein content (%)			脂肪含量 Fat content (%)		
	♀	♂	F ₁	♀	♂	F ₁	♀	♂	F ₁
E49 × FH11	68.12B	70.87A	70.05A	12.36A	11.46A	10.34A	11.57A	7.06C	7.27B
E50 × FH12	68.12C	70.08B	72.9A	12.36A	11.71A	11.34A	11.57A	7.29C	9.6B
GS1 × YNT2-1	64.7B	62.73C	71.78A	10.72B	13.94A	15.34A	12.21B	13.13A	9.5C
10GT8-4 × GT12	61.27C	66.75B	70.16A	14.8A	8.96B	8.62B	14.57A	13.87C	14.28B
YNT11 × GT2	60.25C	66.75B	67.72A	13.98A	8.96B	13.79A	13.84B	13.87A	12.13C
YNT48 × GT2	63.9C	66.75A	66.28B	11.79A	8.96B	10.25AB	12.73C	13.87B	16.03A
YNT13 × GT22	60.25C	66.75B	68.75A	13.98A	8.96B	10.59B	13.84C	13.87B	13.97A
E38 × GT23	62.13C	66.75A	65.61B	12.78A	8.96B	13.37A	14.61A	13.87B	13.46C
XSJD10-3 × Q26	57.65C	62.15B	73.14A	14.89A	15.83A	9.28B	13.14A	11.78B	9.43C
E47 × FH14	62.15C	62.24B	69.58A	15.83A	13.35B	11.78B	14.02A	11.78B	10.98C

同行数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$, LSD)。下表同。

Data followed different letters indicate significant difference at 0.05 level by LSD. The same is following Tables.

表2 超甜玉米亲本对 F₁ 种子贮藏物质利用性状的影响Table 2 Effect of parents on the seed reserve utilization efficiency in F₁ of sweet corn

组合 Combination	百粒重 (g) 100-seed weight			种子物质动用量 (g grain ⁻¹) Weight of mobilized seed reserve			种子物质利用率 (g g ⁻¹) Seed reserve utilization efficiency		
	♀	♂	F ₁	♀	♂	F ₁	♀	♂	F ₁
E49 × FH11	13.15C	15.73B	23.58A	0.09AB	0.07B	0.11A	0.63A	0.48B	0.50B
E50 × FH12	9.56C	10.73B	15.68A	0.05A	0.05A	0.04A	0.53A	0.46B	0.17C
GS1 × YNT2-1	9.56C	14.49B	21.11A	0.05A	0.07A	0.08A	0.53A	0.54A	0.27B
10GT8-4 × GT12	11.15C	15.36A	14.66B	0.05A	0.07A	0.06A	0.54A	0.38B	0.51A
YNT11 × GT2	9.84C	11.98B	18.06A	0.05B	0.05B	0.09A	0.43A	0.44A	0.39B
YNT48 × GT2	11.15C	11.98B	12.07A	0.05A	0.05A	0.05A	0.54B	0.44C	0.77A
YNT13 × GT22	11.15C	15.02A	13.07B	0.05A	0.06A	0.05A	0.54A	0.33B	0.06C
E38 × GT23	5.19C	14.26B	15.33A	0.06B	0.13A	0.08B	0.28C	0.54A	0.35B
XSJD10-3 × Q26	11.58C	13.61B	17.28A	0.12A	0.06B	0.11A	0.44B	0.38C	0.53A
E47 × FH14	9.43C	15.29B	16.87A	0.06A	0.07A	0.05A	0.40B	0.42B	0.57A

2.3 种子贮藏物质利用率相关性状的杂种优势分析

杂种优势是指杂种后代在某一方面超过亲本的现象。由表3可见,不同超甜玉米杂交组合种子物质利用性状的杂种优势具有较大差异。在10个杂交组合中,80%杂交组合的种子淀粉含量表现出正向超亲优势,即近高亲本遗传;70%杂交组合的种子蛋白质和脂肪含量低于双亲平均值,即近低亲本遗传。

百粒重、种子物质动用量和物质利用率的杂种优势结果表明,在10个杂交组合中,8个杂交组合的种子百粒重具有正向超亲优势,9个杂交组合的种子百粒重具有中亲优势,即近高亲本遗传;而6个杂交组合的种子物质动用量具有中亲优势,3个杂交组合的种子物质动用量具有正向超亲优势;6个杂交组合的种子物质利用率低于双亲平均值,呈近低亲本遗传。

基于种子百粒重和物质利用率的聚类分析表

明,欧氏距离为1.68时,19个超甜玉米种子的百粒重聚为3类(图1: B);在欧氏距离为0.06时,种子物质利用率聚为4类(图1: A)。比较两种性状的聚类结果表明(图2): GT12、FH14、Q26、GT22、GT2等5个亲本与其他亲本性性状差异较大。结合杂种优势分析可以看出,5个亲本测交的6个杂交组合中(除10GT8-4 × GT12外),YNT48 × GT2、YNT11 × GT2、YNT13 × GT22、XSJD10-3 × Q26、E47 × FH14等5个杂交组合的种子百粒重或种子物质利用率均具有较强的超亲优势,这说明,当双亲相关性性状差异较大时,F₁具有较强的杂种优势。

2.4 种子萌发物质利用率性状的回归分析

由表4可见,母本(x)、父本(z)对F₁(y)种子物质利用性状效应不同。其中母本(x)、父本(z)对F₁(y)种子淀粉含量具有负效应;母本(x)对F₁(y)种子百粒重为负效应,对种子物质动用量为正效应,其F₁(y)

表 3 超甜玉米种子贮藏物质利用性状的杂种优势

Table 3 Heterosis analysis of relate character of seed reserve utilization efficiency in sweet com

组合 Combination	淀粉含量 Starch content		蛋白质含量 Protein content		脂肪含量 Fat content		百粒重 100-seed weight		物质动用量 Weight of mobilized seed reserve		物质利用率 Seed reserve utilization efficiency	
	MH	HP	MH	HP	MH	HP	MH	HP	MH	HP	MH	HP
E49 × FH11	13.75	11.54	-13.18	-16.34	-21.95	-37.17	63.30	49.90	37.50	22.22	-9.91	-20.63
E50 × FH12	5.50	4.02	-5.77	-8.25	1.80	-17.03	54.56	46.13	-20.00	-20.00	-66.34	-67.92
GS1 × YNT2-1	12.66	10.94	24.41	10.04	-25.02	-27.65	75.55	45.69	33.33	14.29	-49.53	-50.00
10GT8-4 × GT12	9.61	5.11	-27.44	-41.76	0.42	-1.99	10.60	-4.56	0.00	-14.29	10.87	-5.56
YNT11 × GT2	6.65	1.45	20.23	-1.36	-12.45	-12.55	65.54	50.75	80.00	80.00	-10.34	-11.36
YNT48 × GT2	1.46	-0.70	-1.20	-13.06	20.53	15.57	4.37	0.75	0.00	0.00	57.14	42.59
YNT13 × GT22	8.27	3.00	-7.67	-24.25	0.83	0.72	-0.11	-12.98	-9.09	-16.67	-86.21	-88.89
E38 × GT23	1.82	-1.71	23.00	4.62	-5.48	-7.87	57.63	7.50	-15.79	-38.46	-14.63	-35.19
XSJD10-3 × Q26	22.10	17.68	-39.58	-41.38	-24.32	-28.23	37.20	26.97	22.22	-8.33	29.27	20.45
E47 × FH14	11.87	11.79	-12.41	-19.27	-14.88	-21.68	36.49	10.33	-23.08	-28.57	39.02	35.71

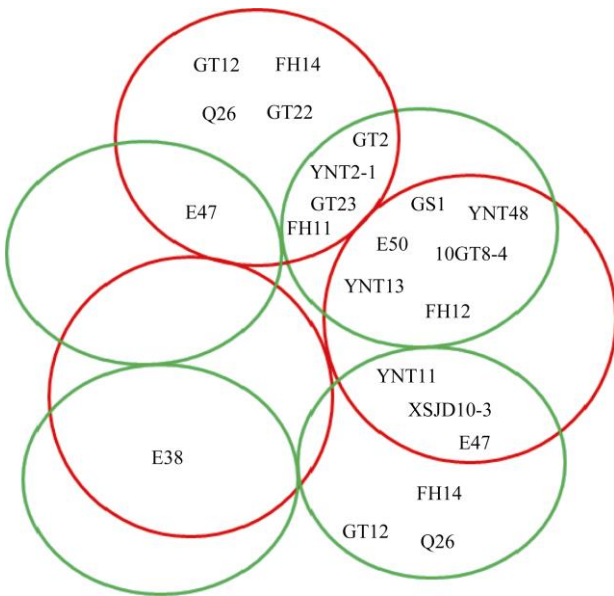


图 1 超甜玉米基于种子贮藏物质利用率性状和百粒重的聚类分析。绿色: 种子贮藏物质利用率; 红色: 百粒重。

Fig. 1 Cluster analysis based on seed reserve utilization efficiency and 100-seed weight of sweet corn. Green: Seed reserve utilization efficiency; Red: 100-seed weight.

表 4 超甜玉米 F₁ 种子淀粉含量、百粒重和种子物质利用率与亲本的回归关系

Table 4 Regression correlation of starch content, 100-seed weight, weight of mobilized seed reserve and seed reserve utilization efficiency between F₁ and parents of sweet corn

性状 Trait	回归方程 Regression equation	R ²	Pr>F
淀粉含量 Starch content	y = -0.70x - 0.67z + 155.20	0.9405	<0.0001
百粒重 100-seed weight	y = -0.16x + 16.96	0.8699	<0.0001
种子物质动用量 Weight of mobilized seed reserve	y = 0.68x + 0.03	0.7227	<0.0001
种子物质利用率 Seed reserve utilization efficiency	y = 1.65x + 2.77z - 0.45	0.7665	<0.0001

Y: F₁; x: 母本; z: 父本。

y: F₁; x: Mother; z: Father.

种子百粒重和种子物质动用量主要受母本(x)的遗传控制; 而母本(x)对 F₁(y)种子物质利用率为正效应, 受父本影响较大(z 系数比 x 系数大)。4 个回归方程的 R²(决定系数)较高, 分别达到 0.9405、0.7699、0.7227、0.7665, P 值均小于 0.0001, 说明方程能较好的反映亲本对 F₁(y)种子淀粉、百粒重、种子物质动用量、种子物质利用率影响信息, 结果较可靠。

3 讨论

种子萌发物质利用性状的遗传基础复杂, 是受遗传因素和环境因素共同影响的数量性状。种子萌发时, 胚乳贮藏物质在一系列酶的作用下, 代谢活动活跃, 呼吸加强, 淀粉、蛋白质等物质水解为幼苗生长所需的营养物和能量^[19]。因此, 种子萌发物质利用率对萌发期间种子活力和幼苗建成与生长至关重要。前期研究表明大粒作物种子活力相对较高, 生长势较强^[7,20-21], 但 Carleton 等认为种子重量和幼苗干重无相关性^[22-23]。Soltani^[24]认为不同小麦品种间物质利用率具有显著差异。Ahmad 等^[25]

的研究表明大豆种子大小(大、中、小)显著影响萌发均匀性、幼苗干重、物质动用量以及物质利用率。本研究结果表明,超甜玉米籽粒中淀粉含量为57.65%~73.14%,蛋白质含量为8.62%~15.83%,脂肪含量为7.06%~16.03%,与林家永^[26]的研究结果一致。在10个组合中,亲本和F₁种子中淀粉含量、脂肪含量、百粒重均存在显著差异,70%杂交组合的蛋白质含量、40%杂交组合的种子物质动用量和50%杂交组合的种子物质利用率均存在显著差异。

杂种优势利用是改良作物性状常用的主要方法之一^[27]。当前,研究者们发现甜玉米籽粒可溶性总糖、蔗糖、淀粉、可溶性蛋白含量受双亲含量的影响较大,可溶性总糖、淀粉、可溶性蛋白含量呈近低亲本遗传^[18,28]。本试验发现不同超甜玉米杂交组合种子物质利用相关性状杂种优势不同,在10个杂交组合中,F₁种子淀粉含量和百粒重均表现出正向超亲优势,即近高亲本遗传;而F₁种子蛋白质含量、脂肪含量、种子物质动用量和种子物质利用率则低亲本遗传。

目前,聚类分析和回归分析在农业生产和科研实践中已得到广泛的应用。本研究结果表明,19个超甜玉米基于种子百粒重可聚为3类,而基于种子物质利用率可聚为4类,结合杂种优势分析得出关系较远的FH14、Q26、GT22、GT2等亲本测配的杂交组合(YNT48×GT2、YNT11×GT2、YNT13×GT2、XSJD10-3×Q26、E47×FH14)在种子百粒重或种子物质利用率等性状上具有较强的超亲优势。回归关系表明,母本(x)对F₁(y)种子淀粉含量、百粒重有负效应,对种子物质动用量和种子物质利用率有正效应;父本(z)对F₁(y)种子淀粉含量有负效应,对种子物质利用率有正效应。因此,在了解亲本性状的基础上,能预测F₁种子物质利用性状,为选育高活力Sh₂甜玉米品种提供理论依据。

参考文献

- [1] FAN L J, YAN Q C, ZANG R C, et al. Studies on low seed vigor of *sh2* sweet corn and seed treatments for improving its field seedling emergence [J]. Acta Agron Sin, 1998, 24(1): 103-109.
樊龙江, 颜启传, 藏荣春, 等. 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, 24(1): 103-109.
- [2] CHENG X X, LIU Y L, NIU Y S, et al. Dynamic analysis for glucose mobilization and hydrolytic enzyme activity at different germination stages in sweet corn [J]. Guihaia, 2015, 35(3): 348-353. doi: 10.11931/guihaia.gxzw201406038.
- [3] PRITCHARD S L, CHARLTON W L, BAKER A, et al. Germination and storage reserve mobilization are regulated independently in *Arabidopsis* [J]. Plant J, 2002, 31(5): 639-647. doi: j.1365-313X.2002.01376.x.
- [4] PENFIELD S, RYLOTT E L, GILDAY A D, et al. Reserve mobilization in the *Arabidopsis* endosperm fuels hypocotyl elongation in the dark, is independent of abscisic acid, and requires PHOSPHOENOL-PYRUVATE CARBOXYKINASE1 [J]. Plant Cell, 2004, 16(10): 2705-2718. doi: 10.1105/tpc.104.024711.
- [5] AOKI N, SCOFIELD G N, WANG X D, et al. Pathway of sugar transport in germinating wheat seeds [J]. Plant Physiol, 2006, 141(4): 1255-1263. doi: 10.1104/pp.106.082719.
- [6] LOVEGROVE A, HOOLEY R. Gibberellin and abscisic acid signalling in aleurone [J]. Trends Plant Sci, 2000, 5(3): 102-110. doi: 10.1016/S1360-1385(00)01571-5.
- [7] SOLTANI A, GHOLIPOOR M, ZEINALI E. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity [J]. Environ Exp Bot, 2006, 55(1/2): 195-200. doi: 10.1016/j.envexpbot.2004.10.012.
- [8] MOHAMMADI H, SOLTANI A, SADEGHIPOUR H R, et al. Effects of seed aging on subsequent seed reserve utilization and seedling growth in soybean [J]. Int J Plant Prod, 2011, 5(1): 65-70. doi: 10.22069/ijpp.2012.720.
- [9] CHENG X X, CHENG J P, HUANG X, et al. Dynamic quantitative trait loci analysis of seed reserve utilization during three germination stages in rice [J]. PLoS One, 2013, 8(11): e80002. doi: 10.1371/journal.pone.0080002.
- [10] SUN Y T, ZHANG B S, ZHANG Y, et al. Analysis of heterosis of kernel correlated character in maize [J]. Rain Fed Crops, 2009, 29(2): 68-71. doi: 0.3969/j.issn.2095-0896.2009.02.002.
孙月婷, 张宝石, 张宇, 等. 玉米籽粒相关性状的杂种优势分析 [J]. 杂粮作物, 2009, 29(2): 68-71. doi: 0.3969/j.issn.2095-0896.2009.02.002.
- [11] WANG X, WANG H J, LIU P F, et al. Heterosis and inheritance analysis on *ae* gene of amylase in maize [J]. J Gansu Agri Univ, 2010, 45(3): 69-73. doi: 10.3969/j.issn.1003-4315.2010.03.015.
王萱, 王化俊, 刘鹏飞, 等. 玉米直链淀粉 *ae* 基因的遗传与杂种优势分析 [J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(3): 69-73. doi: 10.3969/j.issn.1003-4315.2010.03.015.

- [12] CHEN X Y, LI J S. Study on nutrition composition in kernel milky maturity period of sweet corn [J]. Food Res Dev, 2000, 21(4): 28–33. doi: 10.3969/j.issn.1005-6521.2000.04.012.
陈骁熠, 李建生. 甜玉米乳熟期营养成分变化规律的研究 [J]. 食品研究与开发, 2000, 21(4): 28–33. doi: 10.3969/j.issn.1005-6521.2000.04.012.
- [13] CHEN X Y, WU M C. Locating harvest time of sweet corn by means of fuzzy [J]. J Xiangfan Univ, 2000, 21(5): 47–50.
陈骁熠, 吴谋成. 用模糊数学的方法确定甜玉米采收期 [J]. 襄樊学院学报, 2000, 21(5): 47–50.
- [14] WU M C, CHEN X Y. Nutritional characters of sweet corns in kernel milky maturity [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 1999, 14(3): 1–4.
吴谋成, 陈骁熠. 玉米乳熟期的营养学特性 [J]. 中国粮油学报, 1999, 14(3): 1–4.
- [15] DOEHLERT D C, KUO T M, JUVIK J A, et al. Characteristics of carbohydrate metabolism in sweet corn (*sugary-1*) endosperms [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1993, 118(5): 661–666.
- [16] BAR-ZUR A, SCHAFFER A. Size and carbohydrate content of ears of baby corn in relation to endosperm type (*Su, su, se, sh2*) [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1993, 118(1): 141–144.
- [17] BOROWSKI A M, FRITZ V A, WATERS L J R. Seed maturity and desiccation affect carbohydrate composition and leachate conductivity in *shrunk-2* sweet corn [J]. HortScience, 1995, 30(7): 1396–1399.
- [18] CHENG X X, LIU Z. Heterosis analysis of F₂ kernels nutrition in shsu double recessive sweet corn [J]. Guihaia, 2012, 32(3): 382–385. doi: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.03.020.
程昕昕, 刘正. *shsu* 双隐性甜玉米 F₂ 籽粒营养品质杂种优势分析 [J]. 广西植物, 2012, 32(3): 382–385. doi: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.03.020.
- [19] ICHIE T, NINOMIYA I, OGINO K. Utilization of seed reserves during germination and early seedling growth by *Dryobalanops lanceolata* (Dipterocarpaceae) [J]. J Trop Ecol, 2001, 17(3): 371–378. doi: 10.1017/S0266467401001250.
- [20] DOUGLAS C L, WILKINS D E, CHURCHILL D B. Tillage, seed size, and seed density effects on performance of soft white winter wheat [J]. Agron J, 1994, 86(4): 707–711. doi: 10.2134/agronj1994.00021962008600040023x.
- [21] BOCKUS W W, SHROYER J P. Effect of seed size on seedling vigor and forage production of winter wheat [J]. Can J Plant Sci, 1996, 76(1): 101–105. doi: 10.4141/cjps96-015.
- [22] CARLETON A E, COOPER C S. Seed size effects upon seedling vigor of three forage legumes [J]. Crop Sci, 1972, 12(2): 183–186. doi: 10.2135/cropsci1972.0011183X001200020008x.
- [23] SHROYER J P, COX T S. Effects of cultivar, environment and their interaction on seed quality of hard red winter wheat from production fields [J]. J Appl Seed Prod, 1984, 2: 24–28.
- [24] SOLTANI A, ZEINALI E, GALESHI S, et al. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran [J]. Seed Sci Technol, 2001, 29(3): 653–662.
- [25] GHOLAMI A, SHARAFI S, GHASEMI S, et al. Pinto bean seed reserve utilization and seedling growth as affected by seed size, salinity and drought stress [J]. J Food Agric Environ, 2009, 7(2): 411–414.
- [26] LIN J Y. Application of near-infrared spectroscopy technique for maize quality analysis [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2010, 25(4): 108–115.
林家永. 近红外光谱分析技术在玉米品质分析中的研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2010, 25(4): 108–115.
- [27] TSAFTARIS S A. Molecular aspects of heterosis in plants [J]. Physiol Plant, 1995, 94(2): 362–370. doi: 10.1111/j.1399-3054.1995.tb05324.x.
- [28] WANG Z F, WANG S H, HU J, et al. Analysis on the genetic trait, heterosis and parentage regression relation of F₂ kernel nutrition quality in *sh-2* sweet corn [J]. J Biomath, 2007, 22(1): 145–152. doi: 10.3969/j.issn.1001-9626.2007.01.020.
王州飞, 王世恒, 胡晋, 等. *sh-2* 甜玉米 F₂ 籽粒营养品质遗传特点、杂种优势及其亲子回归关系分析 [J]. 生物数学学报, 2007, 22(1): 145–152. doi: 10.3969/j.issn.1001-9626.2007.01.020.