

崔阳, 刘俊峰, 张焱, 等. 糯玉米产量、糖度和棒三叶性状的配合力和相关性分析 [J]. 福建农业学报, 2024, 39 (2): 1-6.

CUI Y, LIU J F, ZHANG Y, et al. Analysis of combining Ability and Correlation on Yield, Brix and Three-ear-leaves Characters of waxy maize [J].

Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2024, 39 (2): 1-6.

糯玉米产量、糖度和棒三叶性状的配合力和相关性分析

崔 阳, 刘俊峰, 张 焱, 宋俏姮, 孔亮亮*

(四川省农业科学院水稻高粱研究所, 四川 德阳 618000)

摘要:【目的】研究糯玉米产量和糖度的遗传规律, 分析产量、糖度与棒三叶性状的相关性, 为高糖度鲜食糯玉米选育与探究棒三叶性状对品质性状的影响的机制研究提供参考。【方法】本研究以 6 个自交系为测验种, 对 15 份糯玉米骨干自交系为进行不完全双列杂交 (NCII 设计), 测定杂交组合在采收期 (授粉后 21 d) 果穗产量、籽粒可溶性糖含量 (糖度)、棒三叶的叶长、叶宽、叶面积、以及其他 10 个穗部和植株相关的性状。其中穗重和糖度是主要关注的产量与品质性状, 用以评价棒三叶对产量和品质的贡献; 其他性状作为参考性状, 用以衡量棒三叶对产量与品质的重要性。根据测定的数据分析果穗产量、糖度的一般配合力 (GCA) 和特殊配合力 (SCA), 研究棒三叶性状与产量品质性状的关系。【结果】棒三叶性状中叶片长度与果穗产量相关性强; 而叶宽与糖度相关性强。果穗产量与糖度呈极显著负相关, 因此在育种过程中应优先选择叶片长度适中, 叶片宽度较宽的材料可提高高品质糯玉米的选择效率。【结论】棒三叶尤其是穗下叶和穗位叶的长度和宽度可以作为选择糯玉米育种材料的依据。

关键词: 糯玉米; 产量; 糖度; 配合力; 相关性分析

中图分类号: S513

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2024) 02-0001-06

Analysis of combining Ability and Correlation on Yield, Brix and Three-ear-leaves Characters of waxy maize

CUI Yang, LIU Junfeng, ZHANG Yao, SONG Qiaoheng, KONG Liangliang*

(Rice and Sorghum Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Deyang, Sichuan 618000, China)

Abstract: 【Objective】To study the genetic rule of waxy maize yield and sugar degree, and analyze the correlation between yield, sugar degree and three ear leaves traits, so as to provide reference for breeding of fresh waxy maize with high sugar degree and explore the mechanism of the influence of three ear leaves traits on quality traits. 【Methods】In this study, 6 inbred lines were used as test species, and 15 waxy maize inbred lines were selected for incomplete diallel hybridization (NCII design). The yield of ear, soluble sugar content (sugar degree) of grain, leaf length, leaf width, leaf area, and other 10 ear and plant-related traits of the hybrid combinations were measured at the harvest period (21 days after pollination). Panicle weight and sugar content were the main yield and quality traits to evaluate the contribution of L. trefoil to yield and quality. The other characters were used as reference characters to evaluate the importance of three ear leave to yield and quality. According to the measured data, general combining ability (GCA) and special combining ability (SCA) of ear yield and sugar content were analyzed. 【Results】The results showed that there was a strong correlation between leaf length and ear yield in three ear leave characters. There was a strong correlation between leaf width and sugar content. There was a significant negative correlation between ear yield and sugar content, so materials with moderate leaf length and wide leaf width should be preferred in breeding process to improve the selection efficiency of high-quality waxy maize. 【Conclusion】The study indicated that the length and width of the leaves, especially the lower ear leaves and ear position leaves, could be used as the basis for selecting breeding materials of waxy maize.

Key words: Waxy maize; yield; Brix; combining ability; correlation analysis

收稿日期: 2023-07-21 修回日期: 2023-11-17

作者简介: 崔阳 (1989—), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事玉米遗传育种研究, E-mail: september516@163.com

* 通信作者: 孔亮亮 (1981—), 男, 副研究员, 主要从事鲜食玉米遗传改良研究, E-mail: kong3141@163.com

基金项目: 四川省重点研发项目 (2021YFYZ0017); 国家现代农业产业技术体系四川创新团队优质鲜食玉米品种选育与应用岗位 (scctxtd-2023-02);

德阳市重点研发项目 (2021NZ038); 四川省农业科学院前沿学科研究基金 (2019QYXK033)。

0 引言

【研究意义】鲜食糯玉米是指在乳熟期采摘新鲜果穗的糯玉米品种，因其味道香甜，口感软糯深受广大消费者欢迎。鲜食糯玉米是我国人民消费升级，出口创汇的重要来源^[1]。随着人们水平不断提高，对糯玉米口味提出新的挑战^[2,3]。糯玉米的品质很大程度受籽粒可溶性糖含量的影响，可溶性糖含量也是采收和采后储藏中都是评价糯玉米好坏的重要指标，因此如何高效地筛选糖度更高柔嫩性好的糯玉米材料就是选育高品质糯玉米的先决条件^[4-6]。

【前人研究进展】棒三叶是玉米最重要的光合叶片，面积占总光合面积的 44%^[7]。棒三叶对玉米的产量形成发挥至关重要的作用。人为剪短叶片使穗粒数和千粒重显著减小，而剪短果穗使千粒重增加，反映出棒三叶对产量性状的直接影响^[8]。然而棒三叶性状如叶长、叶宽的变异对鲜食玉米的品质尤其是可溶性糖的含量的贡献未见报道。糯玉米的食味品质主要受柔嫩度和糖度的影响，糖度来源于鲜籽粒中可溶性糖浓度，主要是蔗糖葡萄糖和果糖^[9]。蔗糖是在源器官合成并通过维管束运输到籽粒中的，棒三叶做为最重要的源器官，与籽粒可溶性糖运输有着直接联系。于凤仪等用同位素半叶饲喂实验说明同化物会优先运往特定维管束相对应的穗行当中^[10]。维管束数目与叶片宽度紧密相关，叶片宽度的差异直接影响同化物运输速率差异进而影响糖分积累速度差异^[11]。而棒三叶的长、宽等变异对糯玉米的甜味影响的程度如何，是否可以作为育种选择的依据是值得探讨的问题。【本文切入点】本研究从源器官棒三叶性状与糯玉米产量和糖度的关系作为切入点，通过分析叶片形状尺寸、产量和糖度的遗传规律，叶部性状与产量、叶部性状糖度之间的相关性探讨通过棒三叶形状间接选择。【拟解决的问题】本研究以 6 个自交系为测验种，15 个糯玉米骨干自交系为被测系进行不完全双列杂交。分别测定去除苞叶的果穗产量（简称穗重），糖度性状，以及 20 个农艺性状和穗部性状。主要考察棒三叶与鲜食糯玉米产量和品质性状的遗传规律和相关性，以此探究棒三叶在鲜食糯玉米品质形成中的作用和改良途径，为糯玉米育种材料选择提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料种植

6 个测验种与 15 个骨干自交系（表 1）于 2021 年春进行双列杂交，获得 90 个杂交组合。2022 年

春，杂交种按随机区组设计播种，小区 4 行，每行 10 株，每个组合 3 次重复，密度 3 300 株/亩。

表 1 双列杂交的自交系
Table 1 Inbred lines for diallel crossing

株系类型 Type of lines	株系编号 ID of lines
测验种 Test lines	TL1, TL2, TL3, TL4, TL5, TL6
被测种 Lines under test	BF2003, BF2010, BF2001, BF2002, BF2006, BF2008, BF2009, BF2012, BF2017, BF2020, BF2022, BF2029, BF2032, BF2041, BF2042

1.2 性状测量

由于多数材料散粉和吐丝的日期不一致，时间有先后，因此以散粉和吐丝都发生的日期作为开花期，开花后 21 d 采收，并以该日期为生育期终点。在散粉结束时，测量株高、穗位高、棒三叶的叶长和叶宽、穗上叶夹角。并根据株高穗位高计算穗位系数，根据叶长和叶宽计算叶面积。在授粉后 21 d 在中间两行避开行的两头连续采收 10 个果穗，称量去苞叶果穗重量（穗重）作为产量性状，求每个果穗平均产量。同时测量穗长，穗粗，穗行数，行粒数，秃尖 5 个穗部性状，用 ATAGO（艾拓）PAL-1 糖度计测量籽粒糖度性状，共 24 个性状用于分析。其中主要关注果穗产量（穗重）和糖度与棒三叶长、宽和叶面积的遗传规律与相关性，其他性状作为参照。

表 2 调查的性状
Table 2 Investigated characters

性状类型 Type of traits	性状 Traits
产量性状 Yield trait	穗重 Ear weight
品质性状 Quality trait	糖度 Brix
穗部性状 Ear traits	穗长 Ear length, 穗粗 Ear diamete, 穗行数 Rows per ear, 行粒数 Kernel numbers per row, 秃尖长 Barren tip length 株高 Plant height, 穗位高 Ear height, 穗位系数 Ear height coefficient, 生育期 growth period, 穗下叶宽 Lower ear Leaf width, 穗下叶长 Lower ear leaf length, 穗位叶宽 Ear Leaf width, 穗位叶长 Ear leaf length, 穗上叶宽 Upper ear Leaf width, 穗上叶长 Upper ear leaf length, 棒三叶宽 Ears three leaf width, 棒三叶长 Ears three leaf length, 穗下叶面积 Lower ear leaf area, 穗位叶面积 Ear leaf area, 穗上叶面积 Upper ear leaf area, 棒三叶面积 Ear three leaf area, 穗上叶夹角 Upper ear angle
农艺性状 Agronomic trait	

1.3 试验数据分析方法

分析软件：DPS 数据处理系统^[13]

分析方法：

（1）将各株系的表型数据整理成 DPS 输入数据

格式。

(2) 方差分析、遗传力分析和配合力分析：专业统计→植物遗传育种→NCII 交叉（不完全双列杂交）试验配合力分析。

(3) 相关性分析：多元分析→相关分析。

2 结果与分析

2.1 目标性状方差均达显著水平

各个性状数据输入 DPS 数据处理系统软件进行

方差分析、遗传力分析和配合力分析（表 3），所有性状在组合间均达极显著水平；生育期和穗下叶长的测验种被测种组内的方差不显著，穗下叶面积、穗位叶面积和棒三叶面积的被测种（P2）组内方差不显著；穗上叶夹角、穗长、穗粗、行粒数和秃尖长这些性状在测验种（P1）组内方差不显著，其他性状方差均达到显著或极显著。这些结果说明被测种株系的性状差别明显，满足配合力和相关性分析等后续分析的条件。

表 3 方差分析表
Table 3 analysis of variance

变异来源 Source of variation	穗重 Ear weight	糖度 Brix	生育期 Growth period	株高 Plant height	穗位 Ear height	穗位系数 Ear height coefficient	穗下叶长 Lower ear leaf length	穗下叶宽 Lower ear Leaf width	穗位叶长 Ear leaf length	穗位叶宽 Ear Leaf width	穗上叶长 Upper ear leaf length	穗上叶宽 Upper ear Leaf width
组合 Combination	2.64**	5.86**	10.16**	4.06**	12.34**	7.90**	6.45**	6.03**	8.56**	3.94**	9.41**	5.05**
P1	1.19	4.84**	1.52	2.92**	2.68**	2.08*	1.60	3.23**	2.18*	2.77**	2.87**	1.99*
P2	3.80**	8.68**	2.34	5.53**	7.84**	10.63**	1.51	10.47**	2.87*	6.16**	4.28**	8.28**
p1×p2	2.23**	2.88**	8.78**	2.61**	7.49**	4.62**	5.74**	3.20**	6.63**	2.51**	6.36**	3.23**
组合 Combination	8.78**	5.50**	3.50**	2.81**	2.89**	2.99**	14.78**	26.99**	7.16**	10.47**	4.58**	3.27**
P1	2.21*	2.82**	1.99*	2.08*	2.05*	2.00*	1.67	1.08	1.76	3.63**	1.19	1.63
P2	2.80*	8.31**	2.20	1.56	3.91*	1.91	10.85**	20.36**	8.27**	29.92**	7.63**	9.63**
p1×p2	6.79**	3.24**	2.85**	2.34**	2.17**	2.47*	8.91**	12.85**	4.69**	3.44**	3.27**	2.07**

**表示差异极显著，*表示显著。
** means very significant difference, * means significant.

2.2 糖度主要依赖一般配合力

本研究对产量性状穗重、糖度和棒三叶性状进行遗传力分析。结果显示，穗重特殊配合力方差高于一般配合力方差，狭义遗传力占比较低（表 4）。说明产量主要依赖特殊配合力的贡献。而糖度的一般配合力方差较大，狭义遗传力占比高，说明糖度性状主要受一般配合力影响，并且在育种过程中相

表 4 遗传力分析表
Table 4 Heritability analysis table

配合力方差估计 Variance estimation of combining ability	穗重 Ear weight	穗下叶长 Lower ear leaf length	糖度 Brix	穗下叶宽 Lower ear Leaf width
一般配合力方差 Variance of GCA	28.30%	13.96%	63.84%	59.30%
特殊配合力方差 Variance of SCA	71.70%	86.04%	36.16%	40.70%
广义遗传力 h^2B	46.06%	73.38%	72.22%	73.03%
狭义遗传力 hN	13.04%	10.25%	46.10%	43.31%

比于产量，糖度性状可以更稳定地遗传给后代，在育种时应优先用品质优异的亲本之间杂交，选育糖度更高的自交系可以有效提升品种的糖度。

根据自交系配合力的表现，筛选高产量配合力的亲本和品质优异亲本，以作为今后育种的主要亲本，并且可以用作糯玉米的测验种用以筛选其他高配合力自交系。分别按研究最关注的穗重和糖度性状的一般配合力排序，结果显示 BF2002 和 BF2006 两个糯玉米自交系的穗重一般配合力高，杂交种果穗秃尖较短，具有较强增产潜力。

自交系 BF2022，BF2008 糖度一般配合力高，可以作为高品质糯玉米品种培育的骨干自交系。

对比配合力的排名与穗重的排名。特殊配合力前 10 名在穗重前 10 名中占 6 席，而一般配合力前四名的 2 个糯玉米和 2 个参考自交系参与的组合在穗重排名前 10 名共占 9 席，其中参考自交系占 7 席，其中 TL4 和 TL62 个自交系分别占 3 和 4 席。对比特殊配合力和一般配合力的数值，可见特殊配合力的效应值比一般配合力要大的多，说明对穗重性状来

说，特殊配合力对产量的作用比一般配合力大，但由于特殊配合力难以把握，所以育种中还是要以一般配合力作为主要关注的因素，本研究的结果显示以一般配合力指导杂交种组配能覆盖更多高配合力组合，一般配合力对育种更具指导意义。

对比糖度配合力和糖度的排名。糖度特殊配合力前 10 名在糖度前十名中占 3 席，一般配合力前 3 名的 2 个糯玉米和参考自交系参与的组合占 8 席（表 5）。说明用糖度一般配合力高的自交系能够组配出高糖度的组合。

表 5 一般配合力（节选）
Table 5 General Combining ability (Excerpt)

穗重			糖度		
Ear weight			Brix		
		CGA			CGA
1	BF2002	8.5578	1	BF2022	19.8197
2	TL4	6.7162	2	TL5	13.5624
3	TL6	3.9301	3	BF2008	13.25
4	BF2006	3.0874	4	BF2020	9.6581
5	BF2012	2.8835	5	TL3	8.6495
6	BF2041	2.272	6	BF2032	7.0346
7	BF2003	1.6604	7	BF2029	6.3003
8	BF2001	1.3206	8	BF2017	5.0624
9	BF2022	0.2333	9	BF2009	3.3535
10	BF2017	-0.1065	10	BF2012	2.7058

表 6 穗重前十位组合 CGA 和 SGA 排名
Table 6 Top ten combinations of CGA and SGA by ear weight

亲本1	CGA排名	亲本2	CGA排名	穗重	SGA	SGA排名
P1	CGA ranking	P2	CGA ranking	Ear weight		CGA ranking
TL4	2	BF2009	14	0.311	21.1453	2
TL2	16	BF2017	10	0.295	22.0423	1
TL6	3	BF2001	8	0.295	15.0293	3
TL6	3	BF2002	1	0.2825	2.6955	33
TL4	2	BF2017	10	0.282	8.3698	14
TL6	3	BF2010	11	0.279	10.001	10
TL6	3	BF2029	12	0.279	10.6802	6
TL4	2	BF2042	13	0.278	7.5543	15
TL2	16	BF2006	4	0.274	10.2861	8
TL6	3	BF2012	5	0.273	4.4963	26

2.3 穗下叶宽与糖度关系密切

将果穗重量和糖度分别与其他性状的相关系数按高到低排列（表 6），结果显示棒三叶性状中穗下叶长与穗重极显著相关，穗位叶和穗下叶也与穗重

表 7 糖度排名前十位组合 CGA 和 SGA 排名
Table 7 Top ten combinations of CGA and SGA in sugar content ranking

亲本1	CGA排名	亲本2	CGA排名	穗重	SGA	SGA排名
P1	CGA ranking	P2	CGA ranking	Ear weight		CGA ranking
TL5	2	BF2017	8	13.6665	26.287	1
TL5	2	BF2008	3	12.45	5.2003	27
TL3	5	BF2017	8	12.417	17.951	5
TL6	11	BF2022	1	12.35	11.9733	12
TL3	5	BF2022	1	12.25	1.4229	41
TL3	5	BF2020	4	12.0835	9.819	16
TL3	5	BF2029	7	12.083	13.1715	11
TL5	2	BF2006	16	11.8165	19.4399	3
TL5	2	BF2022	1	11.7835	-8.4366	74
TL5	2	BF2032	6	11.6165	2.5778	35

呈显著相关；穗重与叶宽相关性不显著。说明叶片长度尤其是穗下叶长度与果穗重量关系密切。

糖度与穗下叶宽和穗位叶宽呈极显著正相关，与穗上叶宽呈显著相关，但与穗长相关性不显著，说明糖度与叶宽关系密切。选择穗下叶更宽的材料有利于筛选到糖度更高的材料，进而选育糖度更高的品种。

结合配合力结果分析，叶片长度以特殊配合力为主，而叶宽以一般配合力为主（表 4），分别与穗重和糖度的遗传规律类似。

3 讨论与结论

甜味是鲜食糯玉米品质的重要因素，解析甜味形成的机理能有效促进鲜食玉米的品质提升。叶片是植物的主要光合器官，玉米叶片，尤其棒三叶为籽粒提供了绝大部分光合产物。玉米籽粒的主要储藏物质是淀粉，淀粉是叶片合成的蔗糖运输到胚乳中经淀粉合成途径合成的，而尚未参与淀粉合成的蔗糖与其分解成的单糖是鲜食玉米甜味的主要来源。棒三叶性状变异对产量的影响已有大量报导，而棒三叶性状与甜味的相关性还未见报导，基于此设计试验研究甜味的遗传规律和棒三叶对糯玉米甜味的贡献。

本研究分析部分糯玉米杂交种产量和甜味性状的配合力和遗传规律，筛选出了高产量配合力和糖度配合力的自交系。根据试验结果可知糖度与产量遵循不同的遗传规律，糖度性状的狭义遗传力占比更高，说明糖度性状遗传以加性效应为主，受亲本

表 8 穗重和糖度与其他性状的相关系数
Table 8 Correlation coefficients between yield, quality characters and other characters

	穗重 Ear weight		糖度 Brix
穗长 Ear length	0.478**	生育期 Growth period	0.349**
行粒数 Kernel numbers per row	0.451**	穗下叶宽 Lower ear Leaf width	0.314**
穗粗 Ear diameter	0.410**	棒三叶宽 Ears three leaf width	0.288**
穗下叶长 Lower ear leaf length	0.271**	穗位叶宽 Ear Leaf width	0.283**
棒三叶长 Ears three leaf length	0.223**	穗位 Ear height	0.271**
株高 plant height	0.219*	穗位系数 Ear height coefficient	0.260**
穗位叶长 Ear leaf length	0.212*	株高 plant height	0.217*
穗上叶长 Upper ear leaf length	0.181*	穗上叶宽 Upper ear Leaf width	0.213*
穗位叶面积 Ear leaf area	0.180*	穗下叶面积 Lower ear leaf area	0.180
棒三叶面积 Ear three leaf area	0.180*	穗行数 Rows per ear	0.156
穗下叶面积 Lower ear leaf area	0.176*	棒三叶面积 Ear three leaf area	0.140
穗位 Ear height	0.121	穗位叶面积 Ear leaf area	0.135
穗位叶宽 Ear Leaf width	0.120	穗上叶面积 Upper ear leaf area	0.079
穗上叶面积 Upper ear leaf area	0.159	秃尖长 Barren tip length	0.072
棒三叶宽 Ears three leaf width	0.116	穗下叶长 Lower ear leaf length	0.048
穗上叶宽 Upper ear Leaf width	0.113	穗位叶长 Ear leaf length	0.041
穗下叶宽 Lower ear Leaf width	0.097	棒三叶长 Ears three leaf length	0.041
穗位系数 Ear height coefficient	0.075	穗上叶夹角 Upper ear angle	0.041
秃尖长 Barren tip length	0.062	穗上叶长 Upper ear leaf length	0.033
穗上叶夹角 Upper ear angle	0.042	穗粗 Ear diameter	-0.025
生育期 Growth period	0.021	穗长 Ear length	-0.187*
穗行数 Rows per ear	-0.089	行粒数 Kernel numbers per row	-0.229*
糖度 Brix	-0.394**	穗重 Ear weight	-0.394**

**表示极显著相关，*表示显著相关。
** means very significant correlation, * means significant correlation.

的性状表现影响较强，而杂种优势的作用相对较弱。因此对亲本糖度选择能较大程度影响杂交组合的甜味表现，这与甜玉米糖度性状的遗传方式类似^[13, 14]。

本研究分析棒三叶长、宽和面积与穗重和糖度相关性，结果显示棒三叶长尤其是穗下叶与产量密切相关，而叶宽与糖度密切相关。比较棒三叶性状的配合力方差也可以发现棒三叶的长度均表现为特殊配合力起主要作用，与产量的遗传方式类似；而叶宽以一般配合力起主要作用，和甜度基本一致。叶长对产量的影响与先前的报导一致，剪短叶片会使穗粒数和千粒重降低。但目前关于叶宽对产量和籽粒糖度的影响没有报道。叶片宽度往往与维管束的数量度成正比，维管束数量影响可溶性糖从源器官向库器官果穗的运输速率^[15]。采收后的果穗可溶性糖会迅速转化为淀粉导致糖度下降^[16, 17]，可溶性糖含量是可溶性糖积累过程和淀粉合成过程动态平衡的表现，叶片宽度增加通常伴随维管束的数目增加^[18, 19]，有利于光合产物尤其是蔗糖更多地向库器官——果穗运输^[20]。

本研究的结果说明叶片性状尤其是穗下叶宽度与糖度具有较高的相关性，并且配合力分析显示糖度性状狭义遗传力高，可以较稳定地遗传给后代，因此在育种群体中优先选择宽叶片的材料可以有效地提高高糖度材料的比例。然而相关性还不能说明叶片宽度对糖度高低具有直接的贡献，需要进一步的研究来验证。先前有很多关于玉米源库关系和同化物分配的研究，通过剪去整个叶片或横剪半个叶片人为控制叶片的长度和宽度来分析叶片单一性状的变化对产量的直接影响^[19]。所以可以采用该试验方法研究叶片性状与食味品质的直接贡献。除了传统的方法，分子生物学和生物信息学手段也能够帮助我们更好地理解棒三叶的性状变异的分子机理，进而阐明其与鲜食玉米品质性状的深层联系^[21]。

综上，本研究通过分析棒三叶与玉米食味品质性状的关系，说明叶片宽度尤其是穗下叶宽度与糖度和籽粒柔嫩度关系密切，叶片性状可以作为糯玉米品质育种的选择条件，并且为糯玉米的品质育种提供一条新的思路。

参考文献：

[1] 赵久然, 卢柏山, 史亚兴, 等. 我国糯玉米育种及产业发展动态 [J]. 玉米科学, 2016, 24 (4): 67-71.
ZHAO J R, LU B S, SHI Y X, et al. Development trends of waxy corn breeding and industry in China [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2016,

- 24(4): 67–71. (in Chinese)
- [2] 史振声. 鲜食玉米品种品质评价及标准的探讨 [J]. 玉米科学, 2006, 14 (6): 69–70.
- SHI Z S. Evaluation of fresh food corn varieties and quality standards [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(6): 69–70. (in Chinese)
- [3] GONG K J, CHEN L R. Characterization of carbohydrates and their metabolizing enzymes related to the eating quality of postharvest fresh waxy corn [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2013, 37(5): 619–627.
- [4] 王蓁. 鲜食糯玉米食用品质评价及影响机制研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2022
- WANG Q. Study on the evaluation and influence mechanism of edible quality of fresh waxy corn [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022. (in Chinese)
- [5] 史振声, 李昆, 朱敏. 鲜食糯玉米的果皮性状研究 [J]. 玉米科学, 2014, 22 (5): 47–51.
- SHI Z S, LI K, ZHU M. Pericarp characteristics of fresh waxy corn [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2014, 22(5): 47–51. (in Chinese)
- [6] 李昊, 刘景圣, 王浩, 等. 鲜食糯玉米贮藏过程中可溶性糖含量变化的研究 [J]. 中国食物与营养, 2014, 20 (3): 23–27.
- LI H, LIU J S, WANG H, et al. Changes of soluble sugar content in fresh corn in the process of storage [J]. *Food and Nutrition in China*, 2014, 20(3): 23–27. (in Chinese)
- [7] 许海涛, 许波, 王友华, 等. 棒三叶对夏玉米光合生理特性、籽粒发育和产量性状的影响 [J]. 陕西农业科学, 2018, 64 (7): 6–10.
- XU H T, XU B, WANG Y H, et al. Effects of three ear-leaves on photosynthetic physiological characteristic, grain development and yield characters in summer maize [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 64(7): 6–10. (in Chinese)
- [8] 陆卫平, 陈国平, 郭景伦, 等. 不同生态条件下玉米产量源库关系的研究 [J]. 作物学报, 1997, 23 (6): 727–733.
- LU W P, CHEN G P, GUO J L, et al. Study on the source and sink in relation to grain yield under different ecological areas in maize (*Zea mays* L.) [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(6): 727–733. (in Chinese)
- [9] 任梦云, 杜龙岗, 王美兴, 等. 糯玉米可溶性糖组分特征与采后品质特性 [J]. 浙江农业学报, 2022, 34 (6): 1133–1140.
- REN M Y, DU L G, WANG M X, et al. Characteristics of soluble sugar components in waxy corn and its postharvest quality [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2022, 34(6): 1133–1140. (in Chinese)
- [10] 于凤义, 张萍, 周洪杰, 等. 玉米功能叶片碳同化物在果穗不同部位籽粒中的分配 [J]. 核农学报, 1996 (1): 35–38.
- YU F Y, ZHANG P, ZHOU H J, et al. Distribution of carbon assimilates in functional leaves of maize in different parts of ear [J]. *Chinese Journal of Nuclear Agriculture*, 1996(1): 35–38. (in Chinese)
- [11] WANG B B, ZHU Y B, ZHU J J, et al. Identification and fine-mapping of a major maize leaf width QTL in a re-sequenced large recombinant inbred lines population [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 101.
- [12] 徐伟, 季索菲. DPS 数据处理系统在生物统计分析中的应用 [J]. 榆林学院学报, 2014, 24 (4): 24–27.
- XU W, JI S F. Applications of DPS (data processing system) in biostatistical analysis [J]. *Journal of Yulin University*, 2014, 24(4): 24–27. (in Chinese)
- [13] 吕游, 农彩燕. 甜玉米自交系可溶性糖含量配合力及遗传参数分析 [J]. 农业研究与应用, 2015, (5): 8–12.
- LV Y, NONG C Y. Study on combining ability and genetic parameters of soluble sugar concentration in sweet corn inbred lines [J]. *Agricultural Research and Application*, 2015(5): 8–12. (in Chinese)
- [14] 姚文华, 张帮洪, 尹兴福, 等. 超甜玉米可溶性糖含量配合力分析 [J]. 西南农业学报, 2018, 31 (6): 1116–1121.
- YAO W H, ZHANG B H, YIN X F, et al. Genetic combining ability analysis of soluble sugar content in super-sweet corn [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(6): 1116–1121. (in Chinese)
- [15] 周驰燕, 李国辉, 许轲, 等. 不同类型水稻品种茎叶维管束与同化物运转特征 [J]. 作物学报, 2022, 48 (8): 2053–2065.
- ZHOU C Y, LI G H, XU K, et al. Characteristics of vascular bundle of peduncle and flag leaf and assimilates translocation in leaves and stems of different types of rice varieties [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2022, 48(8): 2053–2065. (in Chinese)
- [16] KETTHAISONG D, SURIHARN B, TANGWONGCHAI R, et al. Changes in physicochemical properties of waxy corn starches at different stages of harvesting [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 98(1): 241–248.
- [17] HUANG H B, DANA O M G C, RAUSCH K D, et al. Diffusion and production of carbon dioxide in bulk corn at various temperatures and moisture contents [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2013, 55: 21–26.
- [18] CHO S H, YOO S C, ZHANG H T, et al. The rice narrow leaf2 and narrow leaf3 loci encode WUSCHEL-related homeobox 3A (OsWOX3A) and function in leaf, spikelet, tiller and lateral root development [J]. *The New Phytologist*, 2013, 198(4): 1071–1084.
- [19] YOU J, XIAO W W, ZHOU Y, et al. The apc/ctad1-wide leaf 1-narrow leaf 1 pathway controls leaf width in rice [J]. *The Plant Cell*, 2022, 34(11): 4313–4328.
- [20] 王婷, 饶春富, 王友德, 等. 减源缩库与玉米产量关系的研究 [J]. 玉米科学, 2000, 8 (2): 67–69.
- WANG T, RAO C F, WANG Y D, et al. Study on relationships between grain yield and reduced source and pool in maize [J]. *Maize Sciences*, 2000, 8(2): 67–69. (in Chinese)
- [21] 白明兴, 陆晏天, 庄泽龙, 等. 玉米棒三叶叶型性状的全基因组关联分析 [J]. 分子植物育种, 2022, 20 (8): 2463–2477.
- BAI M X, LU Y T, ZHUANG Z L, et al. Genome-wide association analysis of three ear leaves leaf type traits in maize [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(8): 2463–2477. (in Chinese)

(责任编辑: 于洪杰)