



黄雅珏, 周也富, 应飞宇, 胡小康, 梁建芬. 几种鲜食玉米在洱海流域种植的表现品质评价[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(05):1-14.
HUANG Yajue, ZHOU Yefu, YING Feiyu, HU Xiaokang, LIANG Jianfen. Apparent quality evaluation of several fresh corn varieties planted in Erhai River basin[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(05):1-14.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.05.01

几种鲜食玉米在洱海流域种植的表现品质评价

黄雅珏¹ 周也富² 应飞宇³ 胡小康² 梁建芬^{1*}

- (1. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院/植物源功能食品北京市重点实验室, 北京 100083;
2. 大理大学 农学与生物科学学院/苍山洱海一体化保护与流域绿色发展云南省高校协同创新中心,
云南 大理 671003;
3. 中国农业大学 资源与环境学院/国家农业绿色发展研究院/植物-土壤相互作用教育部重点实验室,
北京 100193)

摘要 针对鲜食玉米在云南省实际生产中遇到的品种杂乱、品质参差等问题,为了筛选出适合在洱海流域种植的高品质鲜食玉米品种,采用外观表现、食用品质、商品价值、基本营养品质等4个方面的34项指标,对14个品种鲜食玉米的栽种适用性和品质表现进行研究。结果表明:1)相同自然环境和农艺条件下,14个品种鲜食玉米的外观、食用、商品、营养等表现品质存在显著差异;2)品质最佳的白色糯玉米品种为‘农科糯336’,其色泽明亮均匀,外观评分26.83,籽粒含水量69.7%、可溶性固形物含量15.75%,品尝评分54.2;3)‘中彩糯518’是4个品种的彩色糯玉米中表现最好的,其穗长19.6 cm,秃尖0.36 cm,外观评分24.50,外观和商品品质相对较好;4)在甜玉米品种中,‘瑞佳甜4号’品尝评分57.29,胚占比2.98%,可溶性固形物含量15.08%,品质优于‘昌甜100’;5)‘农科玉336’为品质最优的甜加糯玉米品种,其外观评分26.33,品尝评分48.57,煮后硬度 8.27×10^5 Pa,穗重258 g。

关键词 鲜食玉米; 品质评价; 外观; 食用品质; 商品性

中图分类号 TS213.4

文章编号 1007-4333(2024)05-0001-14

文献标志码 A

Apparent quality evaluation of several fresh corn varieties planted in Erhai River basin

HUANG Yajue¹, ZHOU Yefu², YING Feiyu³, HU Xiaokang², LIANG Jianfen^{1*}

- (1. College of Food Science and Nutritional Engineering/Beijing Key Laboratory of Functional Food from Plant Resources, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. College of Agriculture and Biological Science/Co-Innovation Center for Cangshan Mountain and Erhai Lake Integrated Protection and Green Development of Yunnan Province, Dali University, Dali 671003, China;
3. College of Resources and Environmental Sciences/National Academy of Agriculture Green Development/Key Laboratory of Plant-Soil Interactions of MOE, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In Yunnan Province, there are some problems, such as variety confusion and quality difference in the actual production of fresh corn. In order to select the high-quality fresh corn varieties suitable for planting in Erhai Lake basin, 34 indexes including appearance, edible quality, commodity value and basic nutritional quality were used to study the planting suitability and quality performance of 14 fresh corn varieties in Yunnan Province. The results showed that: 1) Under the same natural environment and

收稿日期: 2023-10-16

基金项目: 云南省科技厅重大科技专项计划(202202AE090034)

第一作者: 黄雅珏(ORCID:0009-0000-1086-8311), 硕士研究生, E-mail: huangyj628@163.com

通讯作者: 梁建芬(ORCID:0000-0001-6126-1720), 教授, 博士生导师, 主要从事谷物食品科学与加工技术研究, E-mail: liangjf@cau.edu.cn

agronomic conditions, the 14 fresh corn varieties had great differences in appearance, edible, commodity and nutrition qualities. 2) Nongkainuo 336, the best white waxy corn variety, was bright and uniform. The appearance score of Nongkainuo 336 was 26.83, the tasting score was 54.19, the water content was 69.7%, and the soluble solid content was 15.75%. 3) Among the 4 pigmented waxy corn varieties, the appearance score of the winning variety Zhongcainuo 518 was 24.50. Its ear length was 19.6 cm, ear barren tip was 0.36 cm, and appearance and commodity quality were relatively good. 4) The tasting score of Ruijiation No. 4 was 57.29, the proportion of embryo was 2.98%, and the content of soluble solid was 15.08%. The quality of Ruijiation No. 4 was better than that of Changtian 100. 5) Nongkenuo 336 was the best sweet-waxy corn variety with appearance score of 26.33, tasting score of 48.57, hardness of 8.27×10^5 Pa after cooking, ear weight of 258 g.

Keywords fresh corn; quality evaluation; appearance; edible quality; commerciality

鲜食玉米是在乳熟期采收,果穗和籽粒可用于加工或直接食用的一类特殊玉米,可分为甜玉米、糯玉米、甜加糯玉米和笋玉米^[1]。鲜食玉米因富含碳水化合物、氨基酸、膳食纤维、维生素等营养物质,以及口感脆嫩软糯、风味独特而广受欢迎,烹调后可作为主食或配菜供人们食用。此外,作为一种全谷物食品^[2],鲜食玉米富含叶酸^[3-4]、 β -胡萝卜素^[5-8]、花青素^[9-11]等功能活性成分,具有降血糖^[3]、降血脂^[3, 12]、抗氧化^[2, 13]等潜力。鲜食玉米在全国范围内广泛种植,年种植面积134万 hm^2 以上^[14],我国是世界最大的生产国和消费国。

有研究针对上海、黑龙江和云南等地鲜食玉米的品种适用性开展田间试验,采用农艺、产量、品质等指标进行品种筛选。云南省是我国南方玉米主产区^[15],由于品种繁杂混乱^[16]、优质品种更新缓慢^[16]、重产量轻品质等原因,当地鲜食玉米的发展受到诸多限制和阻碍,需要开展优质品种筛选工作。张晓梅等^[17]采用生育期、农艺性状、食味品质等指标,筛选出了适宜在低纬高原地区示范推广种植的5个鲜食糯玉米品种。杨丽等^[18]探究了18个鲜食玉米品种对寒地西部半干旱地区气候条件的适应性,发现不同品种间可溶性糖、粗淀粉、粗蛋白等营养成分的差异极显著。但是,当前研究集中在使用产量指标筛选鲜食玉米品种上,部分研究中品质性状数量较少,依赖主观评分^[17, 19],缺乏量化的颜色指标。

本研究拟以鲜食玉米的表观品质(包括外观、食用、商品、初级营养品质)为评价指标,以云南省大理白族自治州为种植试验基地,对比研究14个品种鲜食玉米的品质差异,筛选出总体品质优良的鲜食玉米品种,以期云南省鲜食玉米品种选育提供参考,助力高价值农业的发展。

1 材料与方法

1.1 材料及仪器

根据产量和品质表现,本研究共筛选了14个品种的鲜食玉米样品,包括5种白色糯玉米、4种彩色糯玉米、2种甜玉米和3种甜加糯玉米。样品于2022-07-17通过育苗移栽在云南省大理白族自治州大理市沐云农场(100.1°E , 25.9°N),采用随机区组设计将地块分为4区组,每个区组均栽种相同面积的14个品种的鲜食玉米。沐云农场的土壤为中上肥力壤土,玉米生长期间的水分供给以雨养为主,苗期辅以人工浇水灌溉。

NR10QC型色差仪,深圳市三恩驰科技有限公司;分析天平,METTLER TOLEDO公司;折光仪,ATAGO;快速水分测定仪,厦门莱斯德科学仪器有限公司;GY-1便携硬度计,浙江艾锐普仪器有限公司;双层电蒸锅,美的集团;电动榨汁机,小熊电器股份有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 鲜食玉米采收

于2022-10-01—2022-10-29进行样品采收,各玉米品种及采收时间见表1。采收时,将4个区组同一品种的玉米进行混合,每个品种选取苞叶完整、无虫咬病害的鲜食玉米6穗,于24 h内完成指标测定。

1.2.2 外观和品尝评分

外观和品尝评分是评价鲜食玉米的简便指标,能够反映消费者对玉米的接受度。组织10名感官评价人员进行评分。参考NY/T 523—2020《专用籽粒玉米和鲜食玉米》^[1],鲜食玉米采收后直接进行外观评分。将玉米鲜穗洗净,置于电蒸锅笼屉上,于蒸锅下方加入约1 L饮用水,蒸制25 min后取出,室温下冷却,进行品尝评分。

表 1 鲜食玉米类型、品种及其采收时间
Table 1 Type, variety and harvesting time of fresh corn

玉米类型	品种	采收时间/d	玉米类型	品种	采收时间/d
Type	Variety	Harvesting time	Type	Variety	Harvesting time
白色糯玉米 White waxy corn	农科糯 336	24	彩色糯玉米 Pigmented waxy corn	京紫糯 219	28
	京科糯 768	30		中彩糯 518	26
	京科糯 2000	25		黑糯 1 号	26
	甜糯王子	21		善黑糯	26
	云糯 8 号	28	甜加糯玉米 Sweet-waxy corn	农科玉 368	21
甜玉米	昌甜 100	25		早甜红香糯	28
Sweet corn	瑞佳甜 4 号	21		紫菱甜加糯	28

注：采收时间为授粉后的时间。
Note: Harvesting time means day after pollination.

1.2.3 色度值测定

色度值可以将鲜食玉米表面色泽量化表示,从明度 L^* 、红绿度 a^* 、黄蓝度 b^* 3 个指标^[20]分析不同玉米品种间的颜色差异。使用色差仪分别在采收后、蒸煮后的玉米鲜穗上随机选取 12 处测定色度值。

1.2.4 硬度和胚占比测定

硬度是反映鲜食玉米咀嚼口感的重要指标,硬度越小,玉米的食用品质越好。胚是玉米籽粒组成部分,在咀嚼时口感与胚乳有较大差异,其占比的大小会影响鲜食玉米的食用口感,胚占比越小,异物感越小,食用品质越好。

硬度测定:蒸煮前后,用刀片在玉米鲜穗表面去除宽 3 cm(约 3 行籽粒)、长 10 cm 的种皮,在此区域随机选取籽粒,用探针式硬度计测定硬度,每个品种 6 次重复。

胚占比测定:随机选取若干鲜食玉米籽粒,于分析天平上称重,随后将全部籽粒的胚剥离并称重,胚占比为两者质量之比,试验进行 3 次重复,计算公式为:

$$\text{胚占比} = \frac{m_{\text{胚}}}{m_{\text{粒}}} \times 100\%$$

式中: $m_{\text{胚}}$ 和 $m_{\text{粒}}$ 分别为胚和籽粒的质量, g。

1.2.5 鲜穗商品品质测定

鲜穗的长度、粗细和秃尖、秃尾情况既能体现玉米的生长状况,也是消费者在购买时直观的评判指标。穗重直接影响了鲜食玉米的单穗价格,穗重越高,品质越好。

取 6 个玉米鲜穗,将苞叶去除,分别用钢尺测定

其穗长、秃尖、秃尾的长度。用游标卡尺测定距穗尖 2 cm 处、鲜穗 1/2 处、距穗尾 2 cm 处的直径,记为尖粗、中粗、尾粗。用分析天平称量单个玉米的质量,记为穗重。

1.2.6 籽粒商品品质测定

籽粒的尺寸体现了玉米粒的大小和形状,颗粒大且饱满的玉米更受消费者喜爱。百粒重也是鲜食玉米产量和商品品质的重要指标。

剥下鲜食玉米籽粒,用游标卡尺测定籽粒纵向、横向、中心厚度尺寸,记为其长、宽、厚,进行 6 次重复。从剥下的籽粒中随机取 100 粒,测定其质量,即为百粒重,进行 3 次重复。

1.2.7 初级营养品质测定

水分含量是玉米品质的重要影响因素,水分含量高的玉米籽粒饱满、汁液充足,品质较好。可溶性固形物含量体现了玉米汁液中糖、酸、维生素、矿物质等可溶性物质的含量^[21],且其测定操作简便快捷,可初步评判鲜食玉米的营养品质。

水分含量的测定:取若干玉米籽粒,用刀片在表面划几条缝,便于内部水分挥发,用快速水分测定仪测定水分含量,进行 3 次重复。

可溶性固形物含量的测定^[22]:取适量鲜食玉米籽粒,用电动榨汁机处理 38 s,榨汁机的破碎物经 4 层纱布过滤,汁液采用折光仪测定可溶性固形物含量,以糖度(Brix)计,进行 3 次重复。

1.3 统计分析

采用 IBM SPSS Statistics 25 进行数据整理和分析,结果以“平均值±标准偏差”表示,显著性分析使用最小显著差异(LSD)检验, $P < 0.05$ 时差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同品种白色糯玉米品质

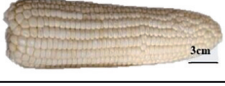
本研究的5个白色糯玉米品种在外观、食用、商品、营养品质方面均存在差异显著性。

1)外观品质。5个品种的外观评分(表2)由高到低排序为:‘农科糯336’‘甜糯王子’‘京科糯768’‘京科糯2000’‘云糯8号’。外观评分的差异来源于籽粒表面状况,其他指标不存在差异显著性。表3为白色糯玉米的色差值测定结果。几个品种的生鲜样品色泽明亮,明度 L^* 值均 >72 ,其

中‘甜糯王子’最高,‘京科糯2000’最低。虽然研究选用的均为白色糯玉米,但实际收获的样品出现了有色籽粒。色差值分析结果显示,有色粒的红绿度 a^* 和黄蓝度 b^* 值都偏高,其中‘云糯8号’最为明显。有色粒的出现可能是因为授粉时白色糯玉米与相邻的彩色玉米发生了杂交,导致白色糯玉米色泽不均一,品质下降。蒸煮后,白色糯玉米的 L^* 值出现了不同程度的降低,这是因为玉米中的成分发生了褐变; a^* 值降低和 b^* 值升高提示玉米红色变浅、黄色加深,可能与色素的氧化、降解、损失等因素有关^[2, 23]。

表2 不同品种白色糯玉米外观评分

Table 2 Appearance score of different varieties of white waxy corn

玉米品种 Variety	鲜穗外观 Appearance of fresh ear			籽粒状况 Kernel condition		总分 Total score
	照片	苞叶	果穗	籽粒表面	籽粒整体	
	Photo	Bract	Ear	Surface	Entirety	
农科糯336 Nongkenuo 336		8.50±0.55	9.00±0.00	4.00±0.00 a	5.33±0.82	26.83±0.98 a
京科糯768 Jingkenuo 768		8.50±0.84	9.00±0.00	2.50±1.64 ab	5.00±1.10	25.00±2.19 ab
京科糯2000 Jingkenuo 2000		8.50±0.84	9.00±0.00	2.00±1.55 b	4.50±1.22	24.00±2.53 ab
甜糯王子 Niannuowangzi		8.50±0.84	8.83±0.41	3.00±1.55 ab	5.00±1.10	25.33±2.25 ab
云糯8号 Yunnuo No. 8		8.33±1.63	9.00±0.00	2.00±1.55 b	4.33±1.21	23.67±3.14 b

注:同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$),无字母标记表示无差异显著性。表3、6、7、8、11、13、14、17同。

Note: Within the same column, different letters represent significant differences ($P<0.05$), while the same letters represent no significant differences ($P>0.05$). No letter marker indicated all results have no significant difference. Tables 3, 6, 7, 8, 11, 13, 14 and 17 are the same as this table.

2)食用品质。不同品种白色糯玉米食用品质见表4。蒸煮后品尝评分由高到低排名为:‘农科糯336’‘京科糯768’‘京科糯2000’‘甜糯王子’‘云糯8号’。5种玉米在气味、色泽、滋味方面均存在差异显著性,以‘农科糯336’最佳,‘云糯8号’最差。不同品种白色糯玉米的胚占比差异显著,由低到高的排序为:‘云糯8号’‘京科糯2000’‘甜糯王子’‘京科糯768’‘农科糯336’。鲜食玉米中过大的胚会使咀嚼时异物感明显,一定程度上降低了食用品质。5种

白色糯玉米蒸煮后硬度为 $6.4\times10^5\sim9.0\times10^5$ Pa,其中‘云糯8号’最低。5个品种白色糯玉米在糯性、柔嫩性、皮薄厚方面差异不显著。

3)商品品质。白色糯玉米商品品质测定结果见表5。不同品种的白色糯玉米在穗型、粒型方面都存在较大差异。‘京科糯768’和‘云糯8号’的穗长 >18.5 cm,穗重 >360 g,百粒重 >40.0 g,鲜穗各部位较粗,有更好的商品品质。5个品种的白色糯玉米籽粒厚度相似,秃尖、秃尾的测定结果均为0,表现优秀。

表 3 不同品种白色糯玉米色泽

Table 3 The color parameters of different varieties of white waxy corn

玉米品种 Variety	采收后 After harvesting			蒸煮后 After steaming		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
农科糯 336 Nongkenuo 336	78.5±4.73 ab	0.67±0.50	20.06±2.11 b	56.79±2.08 b	0.12±3.77 bc	21.22±7.62 b
京科糯 768 Jingkenuo 768	72.87±6.83 b	1.18±0.61	20.06±3.27 b	60.93±3.11 a	-1.11±0.52 c	21.49±2.18 b
京科糯 2000 Jingkenuo 2000	72.18±7.15 b	1.41±0.98	18.12±3.43 bc	50.25±2.32 c	0.99±0.60 ab	15.05±2.14 c
甜糯王子 Niannuowangzi	80.08±3.53 a	1.09±1.95	16.33±1.63 c	57.32±4.28 b	-0.1±0.76 bc	19.01±1.76 bc
云糯 8 号 Yunnuo No. 8	74.69±7.28 ab	0.69±0.58	24.07±5.59 a	57.49±6.61 b	2.27±1.64 a	39.94±10.35 a

注： L^* 、 a^* 、 b^* 分别表示明度、红绿度、黄蓝度。表 8、12、14 同。

Note: L^* , a^* and b^* represent luminosity, red/green value, and blue/yellow value, respectively. Tables 8, 12 and 14 are the same as this table.

表 4 不同品种白色糯玉米食用品质

Table 4 Edible quality of different varieties of white waxy corn

评价指标 Index		农科糯 336 Nongkenuo 336	京科糯 768 Jingkenuo 768	京科糯 2000 Jingkenuo 2000	甜糯王子 Tiannuowangzi	云糯 8 号 Yunnuo No. 8
品尝评分 Tasting score	气味	6.00±0.76 a	5.00±1.63 ab	5.43±0.98 ab	5.00±1.07 ab	4.38±1.30 b
	色泽	6.13±0.83 a	5.86±1.68 a	5.86±1.46 a	5.63±1.30 a	4.25±1.04 b
	糯性	12.25±2.76	14.14±2.48	14.57±3.10	12.13±4.32	13.13±2.90
	柔嫩性	8.00±1.20	7.43±0.79	7.14±1.35	7.13±1.25	6.63±1.51
	皮薄厚	13.38±3.02	12.14±2.91	11.00±3.61	11.38±3.11	10.25±2.38
	滋味	8.44±0.62	7.29±1.25	6.86±2.12	6.88±1.36	6.25±1.39
	总分	54.19±6.81	51.86±6.20	50.86±7.73	48.13±6.10	44.88±9.28
胚占比/% Germ proportion		13.07±0.78 a	8.95±0.23 b	5.77±0.26 d	7.93±0.58 c	3.29±0.34 e
硬度/ 10^5 Pa Hardness	新鲜	10.07±0.63 b	9.89±0.70 b	8.54±0.48 c	10.97±1.02 b	13.15±1.28 a
	煮后	7.31±0.78	8.70±0.86	8.51±0.82	8.95±0.84	6.46±0.69

注：同行数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)，相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，无字母标记表示均无差异显著性。表 5、9、10、15、16 同。

Note: Within the same line, different letters represent significant differences ($P<0.05$), the same letters represent no significant differences ($P>0.05$). No letter marker indicated all results have no significant difference. Tables 5, 9, 10, 15 and 16 are the same as this table.

表5 不同品种白色糯玉米商品品质

Table 5 Commodity quality of different varieties of white waxy corn

评价指标	农科糯 336	京科糯 768	京科糯 2000	甜糯王子	云糯 8 号	
Index	Nongkenuo 336	Jingkenuo 768	Jingkenuo 2000	Tiannuwangzi	Yunnuo No. 8	
鲜穗 Fresh ear	穗长/cm	18.3±0.3 b	18.5±1.3 b	18.1±1.2 b	19.3±0.7 b	20.5±0.8 a
	秃尖/cm	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
	秃尾/cm	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0
	尖粗/mm	37.5±3.7 b	44.4±3.9 a	34.3±3.0 bc	31.1±1.8 c	42.5±3.0 a
	中粗/mm	54.8±1.9 ab	55.8±1.4 a	50.9±1.3 c	50.5±1.8 c	53.7±0.7 b
	尾粗/mm	57.8±1.2 b	62.1±2.3 b	57.1±0.8 a	55.9±2.2 b	57.5±1.3 b
	穗重/g	324±13 bc	361±57 ab	303±12 c	303±29 c	381±32 a
籽粒 Kernel	粒长/mm	11.56±0.42 a	10.76±0.35 b	9.51±0.79 c	9.85±0.68 c	11.91±0.42 a
	粒宽/mm	9.59±0.65 ab	9.68±0.17 a	9.49±0.61 ab	7.86±1.06 c	8.82±0.38 b
	粒厚/mm	4.50±0.57	4.51±0.36	3.99±0.24	4.48±0.53	4.12±0.17
	百粒重/g	41.2±3.8 ab	46.0±4.6 ab	38.7±1.1 c	37.8±1.8 b	40.9±1.4 ab

4)初级营养品质。表6示出白色糯玉米的初级营养品质。5个品种白色糯玉米的含水量为60%~70%,‘农科糯336’最高。5种玉米的可溶性固形物为12%~16%,差异较大,‘农科糯336’最高,‘云糯8号’最低。品种间可溶性固形物含量的差异可能与品种特性、代谢活动、物质积累等有关^[24]。

总体而言,在此区域种植的白色糯玉米品种间表观品质差异较大,不同品种玉米在外观色泽、胚

占比、穗型、穗重、百粒重、可溶性固形物含量等指标具有差异显著性。本研究所选的5个品种中,‘农科糯336’的外观、食用和初级营养品质优于其他品种,为白色糯玉米中的推荐品种。‘京科糯2000’在研究涉及的各方面均表现一般,总体品质排名靠后。‘甜糯王子’‘京科糯768’和‘云糯8号’的商品品质比较好,‘京科糯768’还有较好的食用品质。

2.2 不同品种彩色糯玉米品质

本研究筛选的4个彩色糯玉米品种,除‘中彩糯518’的籽粒颜色为紫白色相间外,籽粒均为紫黑色(表7),且它们的品质在多个方面存在差异。

1)外观品质。4种彩色糯玉米的外观评分存在差异(表7),‘京紫糯219’和‘中彩糯518’优于‘黑糯1号’和‘善黑糯’,差异主要来源于鲜穗外观,籽粒状况差异不显著。色泽测定结果(表8)表明,除‘中彩糯518’外,不同品种的紫黑玉米色泽不存在差异显著性,且明度 L^* 值标准差较大,说明玉米明度的均一性较差。蒸煮后彩色糯玉米的明度 L^* 、红绿度 a^* 和黄蓝度 b^* 值都有不同程度的下降,以‘京紫糯219’的变化最为明显,原因是蒸煮过程中玉米含有的花青素发生了损失和降解^[25]。

2)食用品质。彩色糯玉米食用品质测定结果见表9。品尝评分方面,4种彩色糯玉米中,‘京紫糯

表6 不同品种白色糯玉米营养品质

Table 6 Nutritional quality of different varieties of white waxy corn

玉米品种	可溶性固形物含量/%	含水量/%
Variety	Content of soluble solid	Moisture content
农科糯 336 Nongkenuo 336	15.75±0.15 a	69.70±0.53 a
京科糯 768 Jingkenuo 768	14.25±0.24 b	61.92±1.37 c
京科糯 2000 jingkenuo 2000	14.07±0.47 b	63.67±0.59 c
甜糯王子 Niannuwangzi	12.82±0.15 c	66.72±1.97 b
云糯 8 号 Yunnuo No. 8	12.12±0.33 d	63.31±0.77 c

表 7 不同品种彩色糯玉米外观评分

Table 7 Appearance score of different varieties of pigmented waxy corn

玉米品种 Variety	鲜穗外观 Appearance of fresh ear			籽粒状况 Kernel condition		总分 Total score
	照片	苞叶	果穗	籽粒表面	籽粒整体	
	Photo	Bract	Ear	Surface	Entirety	
京紫糯 219 Jingzinuo 219		8.67±0.52 a	8.17±2.04 a	3.33±1.21	5.50±0.55	25.67±3.39 a
中彩糯 518 Zhongcainuo 518		8.67±0.82 a	8.17±1.33 a	2.83±1.47	4.83±0.41	24.50±2.35 a
黑糯 1 号 Heinuo No. 1		8.33±0.82 a	4.00±1.55 b	3.00±0.00	4.67±0.82	20.00±2.61 b
善黑糯 Shanheinuo		7.17±0.75 b	4.50±1.22 b	2.33±1.03	4.83±0.98	18.83±3.06 b

表 8 不同品种彩色糯玉米色泽

Table 8 The color parameters of different varieties of pigmented waxy corn

玉米品种 Variety	采收后 After harvesting			蒸煮后 After steaming		
	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
京紫糯 219 Jingzinuo 219	17.94±6.23 b	9.89±4.10	5.33±2.85 b	15.51±4.55 bc	1.46±0.79 b	0.77±0.75 c
中彩糯 518 Zhongcainuo 518	69.64±7.29 a	9.23±7.65	13.73±4.84 a	56.24±3.04 a	0.50±1.11 c	16.55±1.55 a
黑糯 1 号 Heinuo No. 1	14.25±6.77 b	6.92±3.21	2.75±1.91 b	12.29±4.39 c	1.85±0.61 b	1.96±1.26 b
善黑糯 Shanheinuo	15.28±5.91 b	10.33±3.06	3.37±1.30 b	18.34±4.01 b	3.12±1.09 a	1.49±0.80 bc

表 9 不同品种彩色糯玉米食用品质

Table 9 Edible quality of different varieties of pigmented waxy corn

评价指标 Index		京紫糯 219 Jingzinuo 219	中彩糯 518 Zhongcainuo 518	黑糯 1 号 Heinuo No. 1	善黑糯 Shanheinuo
品尝评分 Tasting score	气味	5.14±1.57	6.11±1.45	4.89±1.36	6.44±1.51
	色泽	7.71±3.82 a	5.33±1.41 b	6.33±0.87 ab	6.22±0.67 ab
	糯性	9.71±3.20 b	14.44±1.88 a	12.33±2.12 a	12.78±2.68 a
	柔嫩性	5.57±1.90 b	6.78±1.39 ab	6.22±1.72 ab	7.67±1.66 a
	皮薄厚	7.00±1.91 b	11.00±2.45 a	11.44±3.43 a	12.44±3.71 a
	滋味	6.14±1.35	7.33±1.12	6.67±1.50	7.44±1.13
	总分	54.19±6.81 a	41.29±10.83 b	51.00±5.94 a	47.89±7.10 ab
胚占比/% Germ proportion		13.07±0.78 a	9.23±2.66 a	7.69±0.22 a	7.63±0.59 a
硬度/10 ⁵ Pa	新鲜	10.86±1.23 b	11.47±0.65 ab	12.12±0.93 a	8.30±0.80 c
Hardness	煮后	10.07±1.25 b	9.55±0.69 b	13.50±0.44 a	9.35±0.89 b

219’的总分显著低于其他3种玉米,糯性、柔嫩性、皮
薄厚等品质表现不佳,‘中彩糯518’的色泽评分略低
与其他玉米。总体而言,‘中彩糯518’‘黑糯1号’‘善
黑糯’的品尝评分差异不显著。‘善黑糯’的胚占比
显著低于其他彩色糯玉米,品质较好。‘黑糯1号’的
煮后硬度显著高于其他玉米,食用品质略有不足。

3)商品品质。4种彩色糯玉米商品品质测定结
果见表10。‘京紫糯219’鲜穗短粗,秃尖小,籽粒较

大,穗重和百粒重位列第一,品质优秀。‘中彩糯518’
秃尖小,不同部位穗粗测定值相近,呈柱状,籽粒偏
小,穗重和百粒重较高,商品品质较好。‘黑糯1号’的
秃尖较明显,穗长、粗测定结果表明该品种玉米呈细
长锥形,穗重较低但籽粒大,百粒重较高,品质一般。
‘善黑糯’商品品质排名靠后,秃尖最大,鲜穗较细,
穗重<200 g,籽粒较小且百粒重低。4种彩色糯玉
米均无秃尾情况,籽粒厚度不存在差异显著性。

表 10 不同品种彩色糯玉米商品品质

Table 10 Commodity quality of different varieties of pigmented waxy corn

评价指标	京紫糯 219	中彩糯 518	黑糯 1 号	善黑糯	
Index	Jingzinuo 219	Zhongcainuo 518	Heinuo No. 1	Shanheinuo	
鲜穗 Fresh ear	穗长/cm	17.5±1.7 c	19.6±1.2 ab	20.9±0.8 a	19.0±1.1 b
	秃尖/cm	0.37±0.91 b	0.36±0.55 b	2.11±1.72 a	2.87±1.57 a
	秃尾/cm	0±0	0±0	0±0	0±0
	尖粗/mm	40.1±4.7 a	40.6±1.1 a	32.0±5.8 b	32.3±2.4 b
	中粗/mm	54.6±2.8 a	51.1±3.1 b	48.3±1.9 b	43.6±2.9 c
	尾粗/mm	58.3±2.6 a	55.6±1.9 a	55.9±1.0 a	47.2±5.6 b
	穗重/g	317±56 a	314±19 a	271±29 b	198±23 c
籽粒 Kernel	粒长/mm	10.92±0.63 a	8.62±0.90 c	10.49±0.91 ab	9.40±1.39 b
	粒宽/mm	8.10±1.08 a	6.64±1.12 b	8.94±0.59 a	7.96±0.58 a
	粒厚/mm	4.30±0.66	4.99±1.49	5.09±1.51	5.46±1.22
	百粒重/g	39.5±1.6 a	37.4±1.8 a	37.9±1.2 a	33.1±1.3 b

4)初级营养品质。彩色糯玉米在最适采收
期的含水量较低,为58%~68%,差异较大,其中
‘善黑糯’最高、‘黑糯1号’最低(表11)。较低的
含水量会使籽粒出现皱缩,质地变硬,影响外观
和食用品质^[26]。‘黑糯1号’的可溶性固形物含量
最高,其余3种彩糯的可溶性固形物含量不存在
差异显著性。

总体而言,此区域种植的不同品种鲜食彩色
糯玉米在色泽、新鲜硬度、穗长、中粗、穗重、含水
量等方面存在显著差异。4种彩色糯玉米各有优
劣。‘中彩糯518’为最佳推荐品种,其外观评分
高,商品品质较好,但在食用和初级营养品质方
面没有突出表现。‘黑糯1号’外观、商品品质一
般,感官品质最差,为彩色糯玉米中品质排名靠
后的品种。‘京紫糯219’外观和商品品质较好,食
用品质相对较差。‘善黑糯’在食用品质尚可,但
外观、商品品质较差。造成不同品种鲜食玉米表
观品质差异的原因有品种特性、水肥土等环境适
应性、品种来源等。

表 11 不同品种彩色糯玉米营养品质

Table 11 Nutritional quality of different varieties of pigmented waxy corn

玉米品种	可溶性固形物含量/%	含水量/%
Variety	Content of soluble solid	Moisture content
京紫糯 219 Jingzinuo 219	13.42±0.44 b	58.62±0.36 bc
中彩糯 518 Zhongcainuo 518	13.60±0.29 b	63.31±4.22 ab
黑糯 1 号 Heinuo No. 1	14.57±0.59 a	58.15±2.57 c
善黑糯 Shanheinuo	13.28±0.12 b	67.23±0.59 a

2.3 不同品种甜玉米品质

2个品种甜玉米的品质差异主要集中在外观和

食用品质方面(表 12)。外观方面,‘瑞佳甜 4 号’的苞叶外观、籽粒整体状况均显著优于‘昌甜 100’,但两者在果穗外观、籽粒表面状况、外观总分上不具有差异显著性。‘昌甜 100’的籽粒为黄色,‘瑞佳甜 4 号’的籽粒颜色为黄白相间。色泽测试结果显示,新鲜的‘昌甜 100’的黄蓝度 b^* 值高于‘瑞佳甜 4 号’,即更偏黄,且均一度更高,这是品种特性的差异导致的。蒸煮后 2 种玉米均出现了明度 L^* 值下降、红绿度 a^* 值和黄蓝度 b^* 值升高的情况,煮后‘瑞佳甜 4 号’的 a^* 值、 b^* 值显著低于‘昌甜 100’。鲜食玉米蒸煮后的色泽变化的原因是蒸煮使其成分发生褐变^[27]。李大婧

等^[28]研究发现,一定时间的预煮会提高鲜食甜玉米的类胡萝卜素含量,从而使玉米罐头的颜色加深。煮后‘瑞佳甜 4 号’的 a^* 、 b^* 值显著低于‘昌甜 100’,可能是因为‘瑞佳甜 4 号’的类胡萝卜素含量较低^[6],呈现的颜色较浅。在食用品质方面,‘瑞佳甜 4 号’的胚占比更小、新鲜硬度更低,口感更佳。进一步的分析显示,两者在品尝评分方面无显著性差异,说明 2 个品种甜玉米在口感方面的差异未被消费者明显察觉。另外,‘昌甜 100’和‘瑞佳甜 4 号’在穗长、秃尖、百粒重、可溶性固形物含量、含水量等商品和初级营养品质方面差异不显著。

表 12 不同品种甜玉米品质
Table 12 Quality of different varieties of sweet corn

评价指标		昌甜 100	瑞佳甜 4 号	评价指标		昌甜 100	瑞佳甜 4 号
Index		Changtian 100	Ruijiantian No. 4	Index		Changtian 100	Ruijiantian No. 4
外观评分 Appearance score	苞叶	8.67±0.52	9.50±0.55*	胚占比/%		5.88±0.47	2.98±0.24**
	果穗	8.17±0.98	8.33±1.03	硬度/10 ⁵ Pa Hardness	新鲜	7.51±0.78	6.37±0.46*
	籽粒表面	3.00±0.89	2.33±1.03		煮后	5.91±0.68	5.17±0.50
	籽粒整体	4.33±0.82	5.17±0.41*	秃尖/cm		0.40±0.69	0.25±0.6
	总分	24.17±1.17	25.33±1.51	秃尾/cm		0±0	0±0
采收后 After harvesting	明度 L^*	71.94±4.66	72.25±3.14	鲜穗 Fresh ear	尖粗/mm	40.9±3.06	37.4±2.67
	红绿度 a^*	4.54±2.29	2.78±1.85		中粗/mm	54.4±1.9	53.5±1.5
	黄蓝度 b^*	47.7±3.53	40.15±4.31**		尾粗/mm	55.2±1.8	54.2±1.9
蒸煮后 After steaming	明度 L^*	59.87±2.59	54.56±5.91*	穗重/g		318±46	295±35
	红绿度 a^*	18.49±6.75	7.37±8.18**	籽粒 Kernel	粒长/mm	13.55±0.91	11.65±0.67**
	黄蓝度 b^*	54.37±3.33	43.53±11.32**		粒宽/mm	9.64±1.13	10.42±1.39
品尝评分 Tasting score	气味	4.29±0.76	5.43±1.51		粒厚/mm	4.68±0.92	4.13±0.41
	色泽	6.57±0.79	6.14±0.90	百粒重/g		44.5±4.5	43.7±1.5
	甜度	13.29±3.73	15.29±1.98	可溶性固形物含量/%		15.00±0.13	15.08±0.15
	脆嫩性	7.71±1.5	8.29±1.6	Content of soluble solid			
	皮薄厚	11.29±2.81	13.57±1.51	含水量/%		79.7±4.60	79.0±1.74
	滋味	7.00±1.73	8.57±1.13	Moisture content			
	总分	50.14±7.65	57.29±5.99	鲜穗照片			
				Fresh ear photo			

注:同行数据中*和**分别表示差异显著($P<0.05$)和差异极显著($P<0.01$),无标注表示无显著性差异。
Note: Within the same line, * and ** respectively indicate significant differences ($P<0.05$) and very significant differences ($P<0.01$). No label indicates no significant difference.

总体而言,‘瑞佳甜 4 号’品质略优于‘昌甜 100’。这应该和品种选育有关,‘瑞佳甜 4 号’是云南省审定的鲜食玉米品种,‘昌甜 100’来源于北京,前者对云南大理的气候、土壤条件有更好的适应性,品质表现更佳。

2.4 不同品种甜加糯玉米品质

本研究筛选的 3 种甜加糯玉米有‘农科玉 368’

‘早甜红香糯’‘紫菱甜加糯’。

1)外观品质。表 13 示出甜加糯玉米外观评分结果:‘农科玉 368’的总分最高,果穗和籽粒状况评分显著高于其他 2 种玉米;3 种甜加糯玉米在苞叶和籽粒表面状况方面没有差异显著性。色泽测定结果见表 14:3 种甜加糯玉米颜色差异较大,无法通过色差值比较品质优劣,因此仅从颜色均一性角度分

析。‘农科玉 368’的籽粒为白色,色泽均匀,蒸煮后明度 L^* 值下降,黄蓝度 b^* 值升高;‘早甜红香糯’籽粒底部为金红色,红绿度 a^* 值、黄蓝度 b^* 值偏高,色差值标准差较大,颜色不均匀,且蒸煮后颜色变化不大;‘紫菱甜加糯’籽粒为紫色,颜色不均,蒸煮后 a^* 值下降明显, b^* 值有所上升。

表 13 不同品种甜加糯玉米外观评分
Table 13 Appearance score of different varieties of sweet-waxy corn

玉米品种 Variety	鲜穗外观 Appearance of fresh ear			籽粒状况 Kernel condition		总分 Total score
	照片 Photo	苞叶 Bract	果穗 Ear	籽粒表面 Surface	籽粒整体 Entirety	
农科玉 368 Nongkeyu 368		8.83±0.41	9.17±0.75 a	3.33±0.82	5.00±0.00 a	26.33±1.63 a
早甜红香糯 Zaotianhong-xiangnuo		8.00±1.26	7.17±1.47 b	2.17±1.33	3.50±1.22 b	20.83±2.48 b
紫菱甜加糯 Zilingtian-jianuo		8.00±0.89	5.50±1.76 b	1.83±1.33	4.33±0.82 ab	19.67±2.07 b

表 14 不同品种甜加糯玉米色泽
Table 14 The color parameters of different varieties of sweet-waxy corn

玉米品种 Variety	采收后 After harvesting			蒸煮后 After steaming		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
农科玉 368 Nongkeyu 368	78.58±5.05 a	0.70±0.65 c	18.84±2.65 b	56.33±4.14 a	0.35±1.18 c	22.3±3.03 a
早甜红香糯 Zaotianhongxiangnuo	42.21±15.77 b	18.38±5.33 a	28.91±7.74 a	33.59±3.29 c	13.29±1.28 a	25.3±4.35 a
紫菱甜加糯 Zilingtianjianuo	39.49±11.85 b	14.62±4.45 b	5.74±4.38 c	38.39±6.38 b	2.29±1.51 b	11.36±5.66 b

2)食用品质。表 15 示出甜加糯玉米食用品质测定结果:3 种甜加糯玉米中,‘农科玉 368’蒸煮前后的硬度都最低,胚占比最小,食用品质最好;‘早甜红香糯’和‘紫菱甜加糯’的新鲜硬度较高,胚占比大,食用品质较差;3 种甜加糯玉米的品尝评分基本不存在显著性差异,但‘早甜红香糯’的甜糯性和柔嫩性显著低于另外 2 种玉米,且品尝总分标准差极高,品质较差。

4)初级营养品质。‘早甜红香糯’可溶性固形物含量高、含水量低,与另外 2 种玉米存在显

著性差异(表 17)。

3)商品品质。甜加糯玉米的商品品质测定结果见表 16:‘紫菱甜加糯’鲜穗最长、穗重较高,百粒重最大,籽粒尺寸较大,商品品质最优。‘农科玉 368’商品品质次之,穗长为 17.7 g,穗粗测定结果表明其鲜穗呈锥形,穗重最高,籽粒尺寸较大,但百粒重略低。‘早甜红香糯’穗重最轻,穗长最小,鲜穗短且细,籽粒尺寸小且百粒重低,商品品质最差。甜加糯玉米均无秃尾情况,秃尖、籽粒厚度不存在差异显著性。

综上,3 种甜加糯玉米表观品质差异主要体

表 15 不同品种甜加糯玉米食用品质

Table 15 Edible quality of different varieties of sweet-waxy corn

评价指标		农科玉 368	早甜红香糯	紫菱甜加糯
Index		Nongkeyu 368	Zaotianhongxiangnuo	Zilingtianjianuo
品尝评分 Tasting score	气味	5.14±1.07	4.33±1.58	5.22±1.56
	色泽	5.29±1.38	5.44±1.51	5.78±0.83
	甜糯性	14.14±2.27 a	9.78±3.99 b	13.78±2.86 a
	柔嫩性	7.14±1.21 a	5.33±1.87 b	6.56±1.59 ab
	皮薄厚	10.86±2.04	8.56±3.91	10.67±3.97
	滋味	6.00±1.53	5.56±2.55	7.22±1.92
	总分	54.19±6.81	48.57±6.60	39.00±12.82
胚占比/%		13.07±0.78 a	4.9±0.61 b	7.84±0.78 a
Germ proportion				
硬度/10 ⁵ Pa	新鲜	8.12±0.66 c	11.76±0.67 b	13.02±0.89 a
Hardness	煮后	8.27±0.57 c	13.54±0.90 a	9.99±1.53 b

表 16 不同品种甜加糯玉米商品品质

Table 16 Commodity quality of different varieties of sweet-waxy corn

评价指标		农科玉 368	早甜红香糯	紫菱甜加糯
Index		Nongkeyu 368	Zaotianhongxiangnuo	Zilingtianjianuo
鲜穗 Fresh ear	穗长/cm	17.7±0.8 b	15.5±2.6 b	19.7±2.0 a
	秃尖/cm	0.10±0.25	0.84±1.03	1.07±1.66
	秃尾/cm	0±0	0±0	0±0
	尖粗/mm	31.4±1.8 b	33.5±3.5 ab	37.2±4.1 a
	中粗/mm	49.1±1.3 a	40.8±4.0 b	46.3±1.5 a
	尾粗/mm	52.0±1.1 a	44.0±3.6 b	51.2±1.6 b
	穗重/g	258±14 a	165±52 b	249±50 a
	粒长/mm	10.39±0.57 a	8.66±1.07 b	10.06±0.29 a
籽粒 Kernel	粒宽/mm	9.33±0.53 a	5.90±0.34 b	9.78±0.63 a
	粒厚/mm	4.11±0.35	4.37±0.71	4.73±0.29
	百粒重/g	32.4±3.9 b	19.9±5.4 c	41.7±0.9 a

表 17 不同品种甜加糯玉米营养品质

Table 17 Nutritional quality of different varieties of sweet-waxy corn

玉米品种		可溶性固形物含量/%	含水量/%
Variety		Content of soluble solid	Moisture content
农科玉 368	Nongkeyu 368	13.22±0.33 b	70.3±0.28 a
早甜红香糯	Zaotianhongxiangnuo	23.17±1.13 a	62.04±3.81 b
紫菱甜加糯	Zilingtianjianuo	13.58±0.55 b	65.72±5.13 ab

现在外观色泽、甜糯性、柔嫩性、胚占比、新鲜硬
度、穗型、百粒重、可溶性固形物含量等方面。研

究结果表明,品质最优的为‘农科玉 368’,其外观
评分高、颜色均一性好,品尝评分、胚占比、新鲜

硬度表现优秀,商品品质尚可。‘早甜红香糯’外观品质不佳,食用、商品品质排名靠后,品质位列3种玉米的最末。‘紫菱甜加糯’的甜糯性和柔嫩性较好,商品品质最优,但籽粒色泽不均,蒸煮后颜色变化大,新鲜硬度和胚占比较高,品质尚可。

3 讨论与结论

本研究结果表明,在相同的自然环境和农艺(相同播种方式及田间管理)条件下,不同品种的鲜食玉米具有不同的表观品质,即鲜食玉米的外观、食用、商品、初级营养等品质方面存在较明显的差异。

5个品种白色糯玉米各方面的品质差异较大,‘农科糯336’外观评分26.83,色泽明亮均匀,品尝评分54.19,含水量69.7%、可溶性固形物含量15.75%,品质最优,推荐为最佳品种,‘云糯8号’品质排名靠后。4种彩色糯玉米的品质差异很大且各有优劣,‘中彩糯518’品质相对较好,‘京紫糯219’外观和商品品质突出。2个品种甜玉米之中,‘瑞佳甜4号’在外观和食用品质方面略优于‘昌甜100’。3个品种甜加糯玉米在外观、商品、营养品质方面差异较大,‘农科玉336’品质最优,‘早甜红香糯’品质排名靠后。

本研究中的糯玉米品种在秃尖、穗粗、百粒重方面优于已有研究中‘瑞佳糯’等品种^[17],表现出较高的商品品质。甜玉米和糯玉米品种筛选相关的研究较多,但甜加糯玉米相关文献^[29]较少,本研究将14个品种的玉米分为4类分别进行比较,研究结果可作为补充和参考。研究采用色差仪对鲜食玉米表面色泽进行量化描述和评价,相较其他文章中仅使用黄、白、黑等^[17-19]词语描述更准确、直观且便于比较。已有研究表明,生物活性物质花色苷的积累与彩色玉米的颜色有关^[9],色差值的数据一定程度上反映花色苷的含量。

玉米种质基因的不同是导致品种表观品质差异的最根本原因^[30]。另外,鲜食玉米对气候^[31]、土壤、水肥^[32]等环境因素的适应性也会影响其品质。本研究中,玉米品种的不同来源^[33]也可能是导致玉米品质存在较大差异的原因。此外,本研究的结果仅表明有关品种在大理洱海流域7月播种时的品质表现,各品种在其他时间进行播种^[34]以及在中国其他区域栽培时的情况还有待深入研究。

鲜食玉米的品质差异体现了品种的多样性,也为后续进一步加工利用提供丰富的原料。基于品质评价结果,可以开展针对性的应用研究,如食用品质较好的玉米可直接用于预制菜加工、含水量和可溶性固形物含量较高的玉米可以用于玉米汁产品的开发等,可高效提升鲜食玉米的附加价值,推动农业经济发展。

参考文献 References

- [1] NY/T523—2020 专用籽粒玉米和鲜食玉米[S]. 北京: 中国农业出版社, 2020
NY/T523-2020 Special grain corn and fresh corn[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese)
- [2] Chen L R, Guo Y Q, Li X Y, Gong K J, Liu K C. Phenolics and related *in vitro* functional activities of different varieties of fresh waxy corn: A whole grain[J]. *BMC Chemistry*, 2021, 15(1): 1-9
- [3] Islam M S, Liu J A, Jiang L, Zhang C Y, Liang Q J. Folate content in fresh corn: Effects of harvest time, storage and cooking methods[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 103: 104123
- [4] Cevallos-Casals B A, Cisneros-Zevallos L. Stoichiometric and kinetic studies of phenolic antioxidants from Andean purple corn and red-fleshed sweetpotato[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(11): 3313-3319
- [5] Scott C E, Eldridge A L. Comparison of carotenoid content in fresh, frozen and canned corn[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005, 18(6): 551-559
- [6] 陈洁琼, 宋江峰, 何美娟, 李大婧, 刘春泉, 章园. 鲜食玉米籽粒中主要类胡萝卜素鉴定与含量分析[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 108-113
Chen J Q, Song J F, He M J, Li D J, Liu C Q, Zhang Y. Identification and analysis of carotenoids from different fresh corn grains [J]. *Food Science*, 2015, 36(18): 108-113 (in Chinese)
- [7] Sun X H, Ma L, Lux P E, Wang X, Stuetz W, Frank J, Liang J F. The distribution of phosphorus, carotenoids and tocopherols in grains of four Chinese maize (*Zea mays* L.) varieties [J]. *Food Chemistry*, 2022, 367: 130725
- [8] O'Hare T J, Fanning K J, Martin I F. Zeaxanthin biofortification of sweet-corn and factors affecting zeaxanthin accumulation and colour change[J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2015, 572: 184-187
- [9] Hong H T, Netzel M E, O'Hare T J. Anthocyanin composition and changes during kernel development in purple-pericarp supersweet sweetcorn[J]. *Food Chemistry*, 2020, 315: 126284
- [10] 胡晓丹. 鲜食玉米籽粒花青素合成规律及其对糖脂代谢的调节作用[D]. 广州: 华南理工大学, 2021
Hu X D. Anthocyanin accumulation and synthetic metabolism of fresh corn and its regulation of glucose and lipid metabolism[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2021 (in Chinese)
- [11] Hu X, Liu J H, Li W, Wen T X, Li T, Guo X B, Liu R H. Anthocyanin accumulation, biosynthesis and antioxidant capacity of black sweet corn (*Zea mays* L.) during kernel development over two growing seasons[J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 95: 103065
- [12] 修伟业, 黎晨晨, 遇世友, 王鑫, 马永强. 类胡萝卜素生物学功能及提高

- 其生物利用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 406-415
- Xiu W Y, Li C C, Yu S Y, Wang X, Ma Y Q. Research progress on the biological function and bioavailability improvement of carotenoids [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(10): 406-415 (in Chinese)
- [13] Sitthitrai K, Ketthaisong D, Lertrat K, Tangwongchai R. Bioactive, antioxidant and enzyme activity changes in frozen, cooked, mini, super-sweet corn (*Zea mays* L saccharata 'nauthong') [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015, 44: 1-9
- [14] Lu D L, Sun X L, Wang X, Yan F B, LU W P. Effect of shading during grain filling on the physicochemical properties of fresh waxy maize [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 12(9): 1560-1567
- [15] 杨曙辉, 李江, 王桂平, 严绍萍, 张蕾, 徐进. 云南高原特色鲜食玉米产业绿色持续与高质高效发展[J]. 中国种业, 2021(12): 31-36
- Yang S H, Li J, Wang G P, Yan S P, Zhang L, Xu J. Green sustainable, high-quality and efficient development of plateau characteristic fresh maize industry in Yunnan [J]. *China Seed Industry*, 2021(12): 31-36 (in Chinese)
- [16] 冯素芬, 许蕊淇, 尹雪, 李梅, 陈德彬, 张薇. 云南省鲜食玉米育种、开发现状及发展方向[J]. 中国种业, 2021(5): 20-24
- Feng S F, Xu R Q, Yin X, Li M, Chen D B, Zhang W. Breeding, development status and development direction of fresh corn in Yunnan Province[J]. *China Seed Industry*, 2021(5): 20-24 (in Chinese)
- [17] 张晓梅, 汤超云, 张碧胜, 勾宇宏, 徐文果, 罗怀宇. 低纬高原地区鲜食糯玉米品种对比试验[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(7): 41-45
- Zhang X M, Tang C Y, Zhang B S, Gou Y H, Xu W G, Luo H Y. Comparative experiment of fresh waxy maize varieties in low latitude plateau [J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2022, 50(7): 41-45 (in Chinese)
- [18] 杨丽, 陈天宇, 王怀鹏, 尹雪巍, 武鹏, 肖金宝, 孙长春, 梁宇鹏, 范红宇, 白雪, 陆美光, 张翼飞, 杨克军, 王玉凤. 寒地半干旱区鲜食玉米品种适应性和品质性状分析[J]. 玉米科学, 2019, 27(3): 54-60
- Yang L, Chen T Y, Wang H P, Yin X W, Wu P, Xiao J B, Sun C C, Liang Y P, Fan H Y, Bai X, Lu M G, Zhang Y F, Yang K J, Wang Y F. Analysis of adaptability and quality characteristics of fresh eating waxy maize in the cold area of China [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2019, 27(3): 54-60 (in Chinese)
- [19] 范兴忠, 杨文霞, 马正龙, 张正洁. 河西走廊酒泉市8个鲜食糯玉米品种比较试验[J]. 农业科技通讯, 2022(9): 34-36, 121
- Fan X Z, Yang W X, Ma Z L, Zhang Z J. Comparative experiment of 8 fresh waxy corn varieties in Jiuquan City of Hexi Corridor [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2022(9): 34-36, 121 (in Chinese)
- [20] 郭丽丽, 韩国霞, 王庆宇, 陈璐, 姜雅莉, 王晓丽. 鲜糯玉米保鲜加工工艺优化的研究[J]. 现代农业, 2022(3): 28-32
- Guo L L, Han G X, Wang Q Y, Chen L, Jiang Y L, Wang X L. Study on optimization of fresh waxy corn preservation process [J]. *Modern Agriculture*, 2022(3): 28-32 (in Chinese)
- [21] González-Amaro R M, de Dios Figueroa-Cárdenas J, Perales H, Santiago-Ramos D. Maize races on functional and nutritional quality of tejate: A maize-cacao beverage [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(2): 1008-1015
- [22] Vukadinović J, Srdić J, Tosti T, Dragičević V, Kravić N, Drinić S M, Milojković-Opsenica D. Alteration in phytochemicals from sweet maize in response to domestic cooking and frozen storage [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 114: 104637
- [23] 姚连谋, 张怡, 乔勇进, 王春芳, 刘晨霞, 孙大鹏, 陈珏. 热风与冷冻干燥对五种鲜食甜玉米粒品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(20): 61-68
- Yao L M, Zhang Y, Qiao Y J, Wang C F, Liu C X, Sun D P, Chen J. Effects of hot air and freeze drying on the quality of five fresh sweet corns kernels [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(20): 61-68 (in Chinese)
- [24] 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
- [25] 陈雪, 王向东, 张军杰, 陈江, 叶青华, 吴岩松, 蒋维明, 李建生. 黑甜玉米花青素提取方法研究及应用[J]. 玉米科学, 2022, 30(1): 108-114
- Chen X, Wang X D, Zhang J J, Chen J, Ye Q H, Wu Y S, Jiang W M, Li J S. Investigation and application of anthocyanin extraction methods for black sweet corn [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2022, 30(1): 108-114 (in Chinese)
- [26] Wang H, Liu J, Min W, Zhang M Z, Li H. Changes of moisture distribution and migration in fresh ear corn during storage [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(11): 2644-2651
- [27] 魏常敏, 宋万友, 周文伟, 许卫猛, 邢永锋, 张传量, 李桂芝. 鲜食糯玉米蒸煮品质综合评分和品质性状相关分析[J]. 湖南农业科学, 2020(9): 79-81
- Wei C M, Song W Y, Zhou W W, Xu W M, Xing Y F, Zhang C L, Li G Z. Correlation analysis between cooking comprehensive score and quality traits of fresh waxy corn [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2020(9): 79-81 (in Chinese)
- [28] 李大婧, 肖亚冬, 何美娟, 刘春菊, 刘春泉. 不同热处理过程中鲜食甜玉米类胡萝卜素含量变化研究[J]. 食品科学, 2015, 36(23): 78-82
- Li D J, Xiao Y D, He M J, Liu C J, Liu C Q. Carotenoid content change of fresh sweet corn during different thermal treatments [J]. *Food Science*, 2015, 36(23): 78-82 (in Chinese)
- [29] 李紫琪, 古艳婷, 郭燕枝, 任明英, 韩娟. 我国鲜食玉米标准体系及营养标准研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 5964-5973
- Li Z Q, Gu Y T, Guo Y Z, Ren M Y, Han J. Study on the standard system and nutritional standard of fresh corn in China [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2022, 13(18): 5964-5973 (in Chinese)
- [30] 朱志妍. 鲜食玉米种质遗传多样性分析与品质评价[D]. 昆明: 云南大学, 2019
- Zhu Z Y. Analysis of genetic diversity and evaluation of quality traits for fresh corn [D]. Kunming: Yunnan University, 2019 (in Chinese)
- [31] Huang C, Zhang W Q, Wang H, Gao Y, Ma S T, Qin A Z, Liu Z G, Zhao B, Ning D F, Zheng H J, Liu Z D. Effects of waterlogging at different stages on growth and ear quality of waxy maize [J]. *Agricultural Water Management*, 2022, 266: 107603
- [32] 胡君霞, 左恽平, 张瑞薇, 李向岭, 王健, 韩金玲, 周印富. 不同缓控释肥料对糯玉米鲜果穗产量与品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(6): 1208-1210, 1214
- Hu J X, Zuo Y P, Zhang R W, Li X L, Wang J, Han J L, Zhou Y F. Effects of different slow and controlled release fertilizers on the yield and quality of waxy corn fresh ear [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2022, 63(6): 1208-1210, 1214 (in Chinese)
- [33] Ranilla L G, Zolla G, Afaray-Carazas A, Vera-Vega M, Huanuqueño H, Begazo-Gutiérrez H, Chirinos R, Pedreschi R, Shetty K. Integrated metabolite analysis and health-relevant in vitro functionality of white, red, and orange maize (*Zea mays* L.) from the Peruvian Andean race Cabanita at different maturity stages [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2023,

10: 1132228

[34] 董宗宗, 乔勇进, 刘晨霞, 张怡, 王晓, 陈冰洁. 不同采收期对鲜食糯玉米品质影响的研究[J]. 上海农业学报, 2020, 36(4): 19-24

Dong Z Z, Qiao Y J, Liu C X, Zhang Y, Wang X, Chen B J. Study on

the influence of different harvesting times on the quality of fresh waxy corn[J]. *Acta Agriculture Shanghai*, 2020, 36(4): 19-24 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



第一作者简介: 黄雅珏, 中国农业大学食品科学与营养工程学院2022级硕士研究生, 专业为食品科学与工程。研究生就读期间曾获一等学业奖学金、二等学业奖学金、“优秀共青团员”称号等荣誉。2022年获得中国食品科学技术学会第五届“三只松鼠杯”休闲食品创新大赛校级二等奖。



通讯作者简介: 梁建芬, 博士, 中国农业大学食品科学与营养工程学院教授、博士生导师。主要研究领域为: 谷物食品科学与加工技术, 粮油植物蛋白工程。教育部新世纪优秀人才; 宝钢优秀教师; United Nation University “Young Scientist Award”获得者。获得教育部科技进步二等奖1项, 湖南省自然科学奖二等奖1项, 河南省科技进步奖三等奖1项。已在 *Food Chemistry*、*LWT—Food Science and Technology*、*Journal of Cereals Science*、食品科学、农业工程学报、食品科技等学术期刊发表研究论文近百篇。近年主持和参加中德合作 IRTG 项目(2018—2027)专题“The impact of reduced phosphate-availability on essential micronutrients in maize for human consumption”中方负责人。