

不同鲜食糯玉米品种货架期评价及其鉴定指标筛选

李洪涛 柴文波 许瀚元 李淑芬 祝庆 袁超 王军

(连云港市农业科学院, 222006, 江苏连云港)

摘要 货架期是判断鲜食糯玉米采后贮藏性的重要指标,为探究鲜食糯玉米货架期理化指标的变化规律并筛选其鉴定指标,以6个鲜食糯玉米品种为材料,常温贮藏条件下测定穗部表型及理化指标,进行相关性分析和通径分析。结果表明,不同鲜食糯玉米品种采后随贮藏期的延长,籽粒含水量和可溶性糖含量呈下降趋势,籽粒硬度、苞叶色差值、淀粉含量呈上升趋势;黑甜糯904在贮藏期间呼吸代谢与蒸腾作用慢,货架期相对较长,其次是白甜糯209、彩虹77和彩甜糯818,货架期最短为连甜糯931和连甜糯802。货架期与苞叶宽、苞叶松紧度、穗行数呈显著正相关,与穗轴粗、可溶性糖含量呈极显著正相关,与苞叶 b^* 值、苞叶黄化速率呈显著负相关,与苞叶失绿速率、籽粒宽、籽粒长/穗轴粗、籽粒硬度、籽粒硬化速率、籽粒脱水速率、淀粉含量、淀粉含量增速和可溶性糖含量降速呈极显著负相关。籽粒硬化速率、籽粒脱水速率、苞叶黄化速率、可溶性糖降速、籽粒宽、籽粒硬度、籽粒长/穗轴粗、穗轴粗可作为货架期鉴定指标。

关键词 糯玉米; 货架期; 品种评价; 鉴定指标

鲜食糯玉米是集粮、蔬、果、饲为一体的四元高效经济作物,具有食用风味好、营养成分高、生长周期短、复种指数高、经济效益高等优良特性^[1]。鲜食糯玉米生产和消费市场发展迅速,我国年均种植面积达130万 hm^2 ,鲜食糯玉米已成为特色高效农业和农业产业化发展的新亮点^[2]。然而,鲜食糯玉米采收后呼吸代谢和蒸腾旺盛,常温贮藏条件下货架期短(货架期指品种贮藏天数或者可食用天数),易出现苞叶失绿变黄、籽粒失水皱缩变硬、食味与营养品质降低等问题,加之保鲜技术应用滞后于农业生产,造成了采后鲜食糯玉米损失率较高,极大地限制了鲜食糯玉米种植、贮运、加工及销售等产业链持续发展^[3]。因此,流通市场对鲜食糯玉米品种的货架期提出了更高的要求。前人^[4-7]研究指出,不同鲜食糯玉米品种货架期存在遗传差异,目前鲜食糯玉米货架期研究主要集中在采后低温贮藏条件下籽粒理化品质变化以及保鲜技术方面^[3],而关于常温或者室温条件下不同鲜食糯玉米品种货架期评价和相关鉴定指标研究鲜有报道。

货架期是由多基因控制的复杂数量性状,与苞叶、穗轴、穗柄和籽粒等多个穗部性状密切相关^[8],并且各因素之间相互影响,仅通过单一性状不能准

确评价不同品种的货架期差异。前人关于货架期相关性状研究多集中在淀粉含量、糖类含量、籽粒硬度、水分含量、质量损失率、种皮厚度和挥发性风味成分等方面。范文广等^[7]指出鲜食糯玉米采后20℃常温贮藏条件下的失重率、苞叶色差 b^* 值、淀粉和丙二醛含量总体升高,硬度、籽粒表面亮度(L^* 值)、维生素C(V_c)、可溶性固形物和可溶性糖含量均下降。李志文等^[9]指出不同熟期的鲜食糯玉米品种采后室温贮藏期间,籽粒中淀粉含量和可溶性糖含量的变化规律不完全一致。任梦云等^[10]指出鲜食糯玉米采后随贮藏时间的延长籽粒可溶性糖含量呈下降趋势,降解速率的快慢主要由蔗糖决定。龚魁杰等^[11]指出鲜食糯玉米采后随贮藏时间的延长,总糖、还原糖、蔗糖含量下降,支链淀粉含量达到峰值后下降,而直链淀粉含量持续上升,木质素含量升高,导致柔嫩度下降。王娟紫等^[12]研究指出,鲜糯玉米货架期的关键指标是超氧化物歧化酶(SOD)活性、 H_2O_2 含量、过氧化氢酶(CAT)活性、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性、失重率、果皮硬度、花青素含量及类黄酮含量。肖金宝等^[13]指出鲜食玉米采后随贮藏时间的延长,籽粒可溶性糖含量、蔗糖含量、果糖含量、还原糖含

作者简介:李洪涛,主要从事鲜食糯玉米遗传育种与栽培技术研究, E-mail: hongtaoli1987@163.com

王军为通信作者,主要从事玉米遗传育种研究, E-mail: 502803218@qq.com

基金项目:江苏省种业振兴“揭榜挂帅”[JBGS(2021)055];江苏省政策引导类计划(苏北科技专项)(SZ-LYG202141);连云港市科技成果转化揭榜挂帅专项资金项目(CA202304);连云港市521工程资助项目(LYG065212024100);连云港市财政专项(QNJ2210)

收稿日期:2024-02-02;修回日期:2024-03-22;网络出版日期:2025-01-10

量、淀粉含量、可溶性蛋白含量以及蔗糖代谢酶活性均呈下降趋势，常温下糯玉米品质变化大于甜玉米。Ketthaisong 等^[14]指出鲜食糯玉米常温下支链淀粉的平均链长分布随贮藏时间的延长而增加。本研究以 6 个鲜食糯玉米为试验材料，测定鲜穗采后苞叶、穗轴、籽粒等穗部表型及相关主要理化指标，探究不同鲜食糯玉米品种贮藏期理化指标的变化规律，并通过相关性分析与通径分析筛选出鲜食糯玉米货架期鉴定指标，为选育货架期长的鲜食糯玉米品种及保鲜机理研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为适宜黄淮南部推广种植的 6 个鲜食糯玉米品种，分别为连甜糯 802、连甜糯 931、黑甜糯 904、彩甜糯 818、彩虹 77 和白甜糯 209，均由连云港市农业科学院提供。

1.2 试验设计

为降低采收期气候因素对货架期的影响，保证适采期一致，2022 年 4 月通过错期播种，将 6 个鲜食糯玉米品种种植于连云港市农业科学院东辛农场试验田，采用随机区组设计，3 次重复，小区面积 15 m²，6 行区，行长 5 m，行距 0.6 m，株距 0.28 m，栽培管理同普通大田玉米。在盛花期选取均匀一致果穗，统一剪花丝人工套袋自交授粉，于授粉后 23 d 统一采收，挑选成熟度、色泽以及大小一致、无病虫害和机械损伤的带苞叶鲜食糯玉米果穗采收后贮藏于 20 ℃常温条件下，分别贮藏 1、2、3、4、5、6 和 7 d，每个重复随机取 5 个果穗，测定穗部相关性状，取平均值。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 苞叶性状 将鲜穗苞叶从外向内依次取下，记录每穗苞叶层数，并测定每穗苞叶长、宽、厚度、质量；苞叶叶面积为鲜穗每片苞叶面积之和，单片苞叶叶面积=苞叶长×苞叶宽×0.65；苞叶包裹度=穗长/苞叶长；苞叶松紧度=L1/L2，式中，L1 是围绕果穗中部用软尺测量蓬松状态下最外层苞叶的最大长度，L2 是软尺拉紧状态下的长度；用 Chroma-Meter CR-400 型彩色色差仪测定每穗苞叶中间部位的色差 *a**值、*b**值，失绿速率和黄化速率分别为贮藏期间单位时间内色差 *a**值和 *b**值平均变化量。

1.3.2 果穗性状 鲜穗采后测定单穗重、穗柄长、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、穗轴粗、籽粒长度、

籽粒宽度和籽粒厚度；采用水果硬度计 GY-4 进行测定糯质籽粒硬度，选择果穗中部糯质籽粒测定玉米远离胚根的大头部位，刺进玉米表皮的深度为 3 mm，取 10 粒玉米测定胚乳硬度；用烘干法测定籽粒含水量，籽粒含水量（%）=（烘干前质量-烘干后质量）/烘干前质量×100；采用蒽酮硫酸比色法测定果穗中部糯质籽粒鲜穗糯质籽粒可溶性糖含量和淀粉含量^[15]。

1.3.3 货架期评价标准 鲜食糯玉米货架期目前无统一评价标准，感官品质是衡量商品价值的重要标准，因此，可通过感官品质对鲜食糯玉米进行货架期评价。感官品质包括外观品质与蒸煮品质，主要包括甜度、糯性、柔嫩性、风味等指标，其评价标准根据糯玉米行业标准（NY/T 524-2002）优化而来，各项指标相加满分 100 分，其中外观品质总分 30 分，蒸煮品质总分 70 分，详见表 1。由 10 人组成的评定小组进行综合评分。

表 1 感官品质评分标准			
Table 1 Criteria for sensory quality evaluation			
项目 Item	性状 Trait	评分标准 Evaluation standard	分值 Score
外观品质 Appearance quality	苞叶颜色	无变化 8 分，稍微褪色变黄 4 分，褪色变黄严重 0 分	0~8
	籽粒饱满度	籽粒饱满完整 8 分，较饱满 4 分，瘪粒严重 0 分	0~8
	籽粒硬度	易掐冒浆 8 分，稍微冒浆 4 分，不冒浆掐不动 0 分	0~8
	籽粒色泽	色泽光亮 6 分，色泽一般 3 分，色泽暗淡 0 分	0~6
蒸煮品质 Cooking quality	甜度	甜度高 14 分，甜度一般 8 分，无甜度 0 分	0~14
	糯性	粘度高 18 分，粘度一般 12 分，粘度差 0 分	0~18
	皮渣率	皮薄无渣 14 分，皮较薄渣较少 8 分，皮稍厚渣较多 0 分	0~14
	软滑度	柔软润滑 10 分，欠柔软润滑 6 分，不柔软润滑 0 分	0~10
	风味	风味好 14 分，风味一般 8 分，风味较差 0 分	0~14

1.4 数据处理

运用 Microsoft Excel 2019 进行数据处理及作图，利用 SPSS 软件进行相关性和通径分析。

2 结果与分析

2.1 不同鲜食糯玉米品种贮藏期感官品质变化

感官品质是衡量鲜食糯玉米食用价值以及新鲜度最直观的指标。由图 1 可知，不同鲜食糯玉米

品种的感官品质评分随着贮藏时间的延长均呈逐渐下降趋势，且不同品种感官品质劣变速率不同，表明不同品种间货架期存在明显差异。感官品质劣变速率为连甜糯 931 (5.8 分/d) > 连甜糯 802 (5.5 分/d) > 彩虹 77 (4.8 分/d) > 彩甜糯 818 (4.7 分/d) > 白甜糯 209 (4.0 分/d) > 黑甜糯 904 (3.6 分/d)。贮藏期间感官品质评分低于 75 分的品种普遍表现为苞叶失绿黄化、籽粒脱水皱缩、硬化及蒸煮品质劣变均比较严重，失去商品价值，初步判定感官品质评分 75 分为本研究鲜食糯玉米品种的货架期临界点。根据货架期临界点得出，不同品种的货架期由长到短依次为黑甜糯 904 (7 d) > 白甜糯 209 (6 d) = 彩虹 77 (6 d) > 彩甜糯 818 (5 d) > 连甜糯 931 (4 d) > 连甜糯 802 (3 d)。

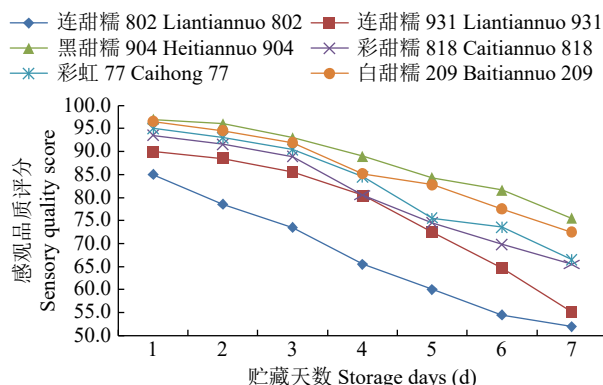


图 1 不同鲜食糯玉米品种贮藏期感官品质变化
Fig.1 Changes of sensory quality of different fresh waxy corn varieties during storage

2.2 不同鲜食糯玉米品种贮藏期苞叶颜色变化

苞叶色泽是判断鲜食糯玉米新鲜与否的重要外观指标，色差 a^* 值和 b^* 值可以直观反映出鲜食糯玉米在贮藏过程中苞叶颜色的变化， a^* 值表示由绿（负值）向红（正值）渐变， a^* 值越小，表示颜色越趋于绿色， b^* 值表示由蓝（负值）向黄（正值）渐变， b^* 值越大，表示颜色越趋于黄色。由图 2 可知，不同鲜食糯玉米品种的色差 a^* 值和 b^* 值随着贮藏时间延长均呈逐渐上升趋势，且不同品种色差值上升速率不同，表明在贮藏过程中鲜食糯玉米的苞叶绿色逐渐退失至变黄，不同品种间失绿程度与黄化程度存在差异。失绿速率 (a^* 值) 为连甜糯 931 (2.25/d) > 连甜糯 802 (2.20/d) > 彩甜糯 818 (2.19/d) > 白甜糯 209 (2.05/d) > 彩虹 77 (1.97/d) > 黑甜糯 904 (1.91/d)，黄化速率 (b^* 值) 为连甜糯 802 (3.01/d) > 连甜糯 931 (2.82/d) > 彩甜糯

818 (1.83/d) > 彩虹 77 (1.80/d) > 白甜糯 209 (1.35/d) > 黑甜糯 904 (1.15/d)，表明失绿程度与黄化程度在品种间表现趋势具有一致性，黑甜糯 904、白甜糯 209、彩虹 77 在采后持绿性较好，黄化程度最轻。

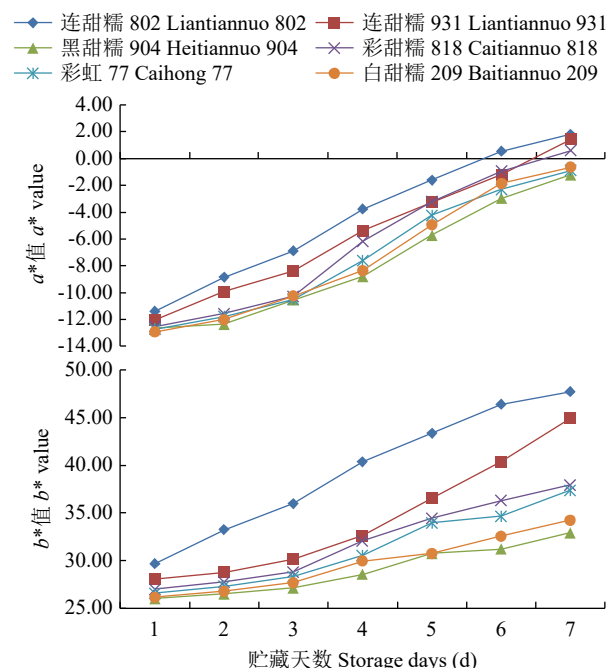


图 2 不同鲜食糯玉米品种贮藏期苞叶颜色变化
Fig.2 Changes of leaves color of different fresh waxy corn varieties during storage

2.3 不同鲜食糯玉米品种籽粒理化指标变化

鲜食糯玉米采后籽粒理化指标是判断其货架期最客观指标，其中籽粒含水量、可溶性糖含量、淀粉含量和籽粒硬度的变化最为显著。由图 3 可知，不同鲜食糯玉米品种的籽粒硬度、淀粉含量随贮藏天数的延长均呈上升趋势，籽粒含水量、可溶性糖含量均呈下降趋势，且不同品种的理化指标变幅或者变速存在差异。籽粒脱水速率表现为连甜糯 802 (3.16 %/d) > 连甜糯 931 (2.7 %/d) > 彩虹 77 (1.83 %/d) > 彩甜糯 818 (1.90 %/d) > 白甜糯 209 (1.87 %/d) > 黑甜糯 904 (1.30 %/d)；籽粒硬化速率表现为连甜糯 802 (4.82 N/d) > 连甜糯 931 (4.17 N/d) > 彩甜糯 818 (3.40 N/d) > 彩虹 77 (3.33 N/d) > 白甜糯 209 (3.27 N/d) > 黑甜糯 904 (2.48 N/d)；籽粒淀粉含量增速表现为连甜糯 802 [36.51 mg/(g·d)] > 连甜糯 931 [32.50 mg/(g·d)] > 白甜糯 209 [27.43 mg/(g·d)] > 彩虹 77 [26.67 mg/(g·d)] > 彩甜糯 818 [26.27 mg/(g·d)] > 黑甜糯 904

[23.85 mg/(g·d)]; 籽粒可溶性糖含量降解速率为连甜糯 802 [6.87 mg/(g·d)]>连甜糯 931 [6.52 mg/(g·d)]>白甜糯 209 [6.29 mg/(g·d)]>彩甜糯 818 [6.26 mg/(g·d)]>彩虹 77 [6.11 mg/(g·d)]>黑甜糯 904 [5.23 mg/(g·d)]。由此得出, 4 个理化指标在品种间变化速率趋势基

本一致, 推测理化指标之间可能存在一定关系且相互影响。黑甜糯 904 变化速率最慢, 推测其采后籽粒呼吸作用和蒸腾作用慢, 能较好维持其食用品质, 货架期长, 其次是白甜糯 209、彩虹 77、彩甜糯 818, 连甜糯 802 与连甜糯 931 变化速率最快,

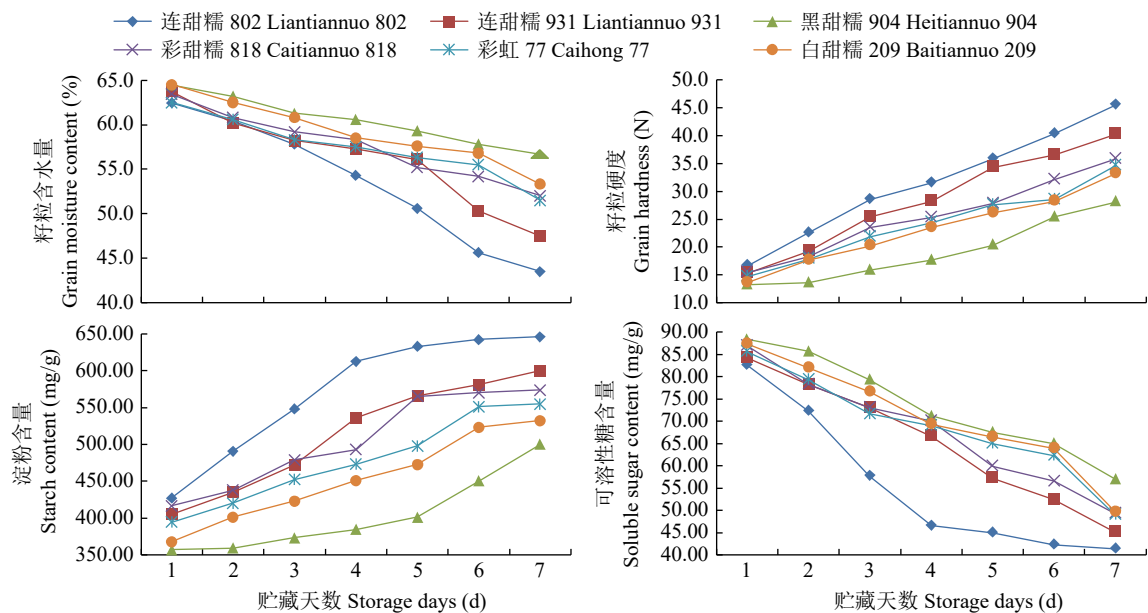


图3 不同鲜食糯玉米品种贮藏期籽粒含水量、籽粒硬度、淀粉含量和可溶性糖含量变化
Fig.3 Changes of grain moisture contents, grain hardness, starch and soluble sugar contents in different fresh waxy corn varieties during storage

说明其呼吸代谢和蒸腾作用大, 货架期短。

2.4 鲜食糯玉米货架期与穗部性状相关性分析

相关性分析可以反映不同性状之间的关联程度, 在选择某一性状时预测到对某个或者多个性状可能产生的影响。由表 2 可知, 鲜食糯玉米货架期与穗部性状存在不同程度的相关性, 与苞叶宽度、苞叶松紧度、穗行数呈显著正相关, 与穗粗、可溶性糖含量呈极显著正相关, 与苞叶 b^* 值、苞叶黄化速率呈显著负相关, 与苞叶失绿速率、籽粒宽度、籽粒长/穗轴粗、籽粒硬度、硬化速率、脱水速率、淀粉含量、淀粉含量增速、可溶性糖含量降解速率呈极显著负相关, 与其他穗部性状相关性不显著。以上与货架期存在显著或极显著相关的 16 个性状两两之间显著或者极显著相关比率达到 70.8%, 除了苞叶宽、苞叶松紧度、苞叶黄化速率外, 苞叶失绿速率、苞叶 b^* 值、穗行数、籽粒宽、轴粗、籽粒长/穗轴粗、籽粒硬度、硬化速率、脱水速率、淀粉含量、淀粉含量增速、可溶性糖含量和可溶性糖含量降解速率两两之间显著或者极显著相关比率达到 88.5% 以上, 说明货架期相关性状之间也存在不

同程度的相关性, 各性状之间互相影响、互相制约。

2.5 鲜食糯玉米货架期与穗部性状通径分析

相关系数能够表明 2 个变量间的共变联系, 其他因素的影响导致相关系数缩小或扩大了 2 个变量间原本的联系, 不能完全准确揭示其内部的规律, 因此, 有必要对货架期相关性状作通径分析。根据通径系数的大小和正负, 可以推断各个穗部性状对货架期的直接影响和间接影响。通径分析结果 (表 3) 表明, 相关穗部性状对货架期的直接效应按绝对值排序为脱水速率>苞叶黄化速率>籽粒宽>籽粒硬度>籽粒长/穗轴粗>可溶性糖含量降解速率>轴粗>硬化速率>苞叶宽>苞叶松紧度>苞叶 b^* 值>淀粉含量>穗行数>苞叶失绿速率>淀粉含量增速>可溶性糖含量, 其中脱水速率对货架期的直接影响最大, 可溶性糖含量最小, 脱水速率、苞叶黄化速率、籽粒宽、籽粒长/穗轴粗、轴粗、苞叶松紧度、苞叶失绿速率对货架期是负向直接作用, 其他相关性状对货架期是正向直接作用。相关穗部性状对货架期的间接效应总和按绝对值大小排序为籽粒硬度>硬化速率>轴粗>可溶性

表 2 货架期与各穗部性状的相关性分析
Table 2 Correlation analysis between shelf life with correlative ear traits

性状 Trait	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	X ₂₇	X ₂₈	X ₂₉	X ₃₀	X ₃₁	Y	
X ₁	1.00																																
X ₂	0.56	1.00																															
X ₃	0.92**	0.53	1.00																														
X ₄	0.84*	0.52	0.57	1.00																													
X ₅	0.94**	0.47	0.81*	0.79*	1.00																												
X ₆	0.88**	0.81*	0.82*	0.68	0.88**	1.00																											
X ₇	-0.92**	-0.50	-0.93**	-0.70	-0.80*	-0.76*	1.00																										
X ₈	0.22	0.64	0.13	0.39	0.07	0.31	-0.03	1.00																									
X ₉	-0.40	-0.02	-0.27	-0.42	-0.38	-0.21	0.09	-0.54	1.00																								
X ₁₀	-0.38	-0.54	-0.07	-0.71	-0.41	-0.44	0.07	-0.75	0.57	1.00																							
X ₁₁	-0.73	-0.43	-0.58	-0.79*	-0.59	-0.52	0.54	-0.69	0.80*	0.68	1.00																						
X ₁₂	-0.55	-0.34	-0.23	-0.71	-0.74	-0.61	0.24	-0.49	0.42	0.75	0.43	1.00																					
X ₁₃	0.91**	0.76*	0.82*	0.83*	0.84*	0.90**	-0.91**	0.26	-0.08	-0.40	-0.57	-0.49	1.00																				
X ₁₄	0.55	0.36	0.72	0.09	0.56	0.64	-0.42	0.17	-0.45	-0.01	-0.36	-0.19	0.35	1.00																			
X ₁₅	0.71	0.52	0.73	0.65	0.45	0.50	-0.77*	0.52	-0.35	-0.27	-0.79*	0.02	0.70	0.26	1.00																		
X ₁₆	0.54	0.76*	0.33	0.78*	0.39	0.54	-0.40	0.83*	-0.37	-0.83*	-0.77*	-0.42	0.65	-0.00	0.69	1.00																	
X ₁₇	0.27	-0.23	0.28	0.16	0.30	0.09	-0.51	-0.79*	0.51	0.50	0.29	0.01	0.32	-0.19	0.03	-0.33	1.00																
X ₁₈	-0.12	-0.26	0.02	-0.39	0.04	-0.01	-0.07	-0.89**	0.70	0.70	0.75	0.12	-0.05	0.03	-0.51	-0.73	0.72	1.00															
X ₁₉	-0.46	-0.61	-0.19	-0.70	-0.45	-0.52	0.14	-0.83*	0.64	0.98**	0.76*	0.69	-0.44	-0.17	-0.38	-0.85*	0.57	0.75	1.00														
X ₂₀	-0.25	-0.19	-0.27	-0.32	0.04	0.01	0.27	-0.66	0.50	0.26	0.72	-0.28	-0.18	-0.03	-0.81*	-0.58	0.35	0.80*	0.35	1.00													
X ₂₁	0.75	0.65	0.53	0.84*	0.73	0.74	-0.47	0.70	-0.69	-0.87*	-0.87*	-0.75	0.67	0.41	0.55	0.82*	-0.34	-0.60	-0.93**	-0.35	1.00												
X ₂₂	-0.50	-0.56	-0.32	-0.66	-0.38	-0.45	0.24	-0.91**	0.76*	0.85*	0.91**	0.44	-0.42	-0.25	-0.63	-0.87*	0.61	0.89**	0.92**	0.67	-0.89**	1.00											
X ₂₃	0.39	0.68	0.62	-0.03	0.35	0.68	-0.46	0.09	0.25	0.17	0.04	0.05	0.50	0.69	0.22	0.06	0.03	0.33	0.04	0.16	0.13	0.04	1.00										
X ₂₄	-0.57	-0.60	-0.29	-0.74	-0.68	-0.70	0.25	-0.53	0.50	0.90**	0.59	0.92**	-0.56	-0.27	-0.17	-0.67	0.30	0.38	0.89**	-0.04	-0.90**	0.69	-0.09	1.00									
X ₂₅	-0.68	-0.70	-0.40	-0.89**	-0.64	-0.68	0.43	-0.71	0.52	0.93**	0.80*	0.74	-0.70	-0.15	-0.54	-0.92**	0.27	0.61	0.94**	0.35	-0.96**	0.86*	-0.04	0.90**	1.00								
X ₂₆	0.80*	0.57	0.66	0.67	0.93**	0.91**	-0.62	0.06	-0.22	-0.46	-0.38	-0.83*	0.77*	0.54	0.19	0.34	0.21	0.16	-0.47	0.31	0.69	-0.29	0.46	-0.78*	-0.63	1.00							
X ₂₇	-0.65	-0.72	-0.39	-0.86*	-0.59	-0.66	0.41	-0.78*	0.53	0.93**	0.82*	0.67	-0.68	-0.16	-0.58	-0.95**	0.34	0.68	0.95**	0.42	-0.95**	0.90**	-0.06	0.86*	0.99**	-0.56	1.00						
X ₂₈	-0.55	-0.45	-0.26	-0.70	-0.70	-0.63	0.20	-0.42	0.57	0.86*	0.57	0.96**	-0.47	-0.30	-0.08	-0.55	0.26	0.33	0.84*	-0.11	-0.86*	0.63	0.00	0.98**	0.83*	-0.78*	0.78*	1.00					
X ₂₉	-0.64	-0.79*	-0.41	-0.84*	-0.55	-0.67	0.44	-0.80*	0.44	0.89**	0.80*	0.59	-0.71	-0.14	-0.63	-0.97**	0.33	0.66	0.92**	0.45	-0.91**	0.88**	-0.13	0.81*	0.98**	-0.53	0.99**	0.71	1.00				
X ₃₀	0.81*	0.80*	0.62	0.87*	0.77*	0.85*	-0.59	0.66	-0.50	-0.82*	-0.81*	-0.71	0.82*	0.39	0.62	0.86*	-0.21	-0.49	-0.87*	-0.32	0.97**	-0.82*	0.29	-0.87*	-0.96**	0.75	-0.95**	-0.80*	-0.95**	1.00			
X ₃₁	-0.63	-0.43	-0.28	-0.94**	-0.63	-0.51	0.41	-0.49	0.50	0.87*	0.75	0.79*	-0.62	0.08	-0.45	-0.80*	0.05	0.53	0.83*	0.28	-0.85*	0.73	0.25	0.83*	0.93**	-0.56	0.90**	0.80*	0.86*	-0.83*	1.00		
Y	0.55	0.64	0.26	0.79*	0.55	0.60	-0.25	0.76*	-0.59	-0.98**	-0.76*	-0.77*	0.55	0.16	0.40	0.87*	-0.43	-0.66	-0.99**	-0.30	0.95**	-0.88**	-0.02	-0.93**	-0.98**	0.57	-0.97**	-0.88**	-0.94**	0.91**	-0.89**	1.00	

X₁: 苞叶质量; X₂: 苞叶层数; X₃: 苞叶长; X₄: 苞叶宽; X₅: 苞叶厚度; X₆: 苞叶面积; X₇: 苞叶包裹度; X₈: 苞叶松紧度; X₉: 苞叶包裹度; X₁₀: 苞叶失绿速率; X₁₁: 苞叶b*值; X₁₂: 苞叶黄化速率; X₁₃: 单穗质量; X₁₄: 穗粗; X₁₅: 穗长; X₁₆: 穗粒长/穗粒粗; X₁₇: 穗粒长; X₁₈: 穗粒长; X₁₉: 穗粒长; X₂₀: 穗粒长; X₂₁: 穗粒长; X₂₂: 穗粒长; X₂₃: 穗粒长; X₂₄: 穗粒长; X₂₅: 硬
化速率; X₂₆: 籽粒含水量; X₂₇: 脱水速率; X₂₈: 淀粉含量; X₂₉: 粗淀粉含量; X₃₀: 可溶性糖含量; X₃₁: 可溶性糖含量; X₃₂: 可溶性糖含量; X₃₃: 可溶性糖含量; X₃₄: 可溶性糖含量; X₃₅: 可溶性糖含量; X₃₆: 可溶性糖含量; X₃₇: 可溶性糖含量; X₃₈: 可溶性糖含量; X₃₉: 可溶性糖含量; X₄₀: 可溶性糖含量; X₄₁: 可溶性糖含量; X₄₂: 可溶性糖含量; X₄₃: 可溶性糖含量; X₄₄: 可溶性糖含量; X₄₅: 可溶性糖含量; X₄₆: 可溶性糖含量; X₄₇: 可溶性糖含量; X₄₈: 可溶性糖含量; X₄₉: 可溶性糖含量; X₅₀: 可溶性糖含量; X₅₁: 可溶性糖含量; X₅₂: 可溶性糖含量; X₅₃: 可溶性糖含量; X₅₄: 可溶性糖含量; X₅₅: 可溶性糖含量; X₅₆: 可溶性糖含量; X₅₇: 可溶性糖含量; X₅₈: 可溶性糖含量; X₅₉: 可溶性糖含量; X₆₀: 可溶性糖含量; X₆₁: 可溶性糖含量; X₆₂: 可溶性糖含量; X₆₃: 可溶性糖含量; X₆₄: 可溶性糖含量; X₆₅: 可溶性糖含量; X₆₆: 可溶性糖含量; X₆₇: 可溶性糖含量; X₆₈: 可溶性糖含量; X₆₉: 可溶性糖含量; X₇₀: 可溶性糖含量; X₇₁: 可溶性糖含量; X₇₂: 可溶性糖含量; X₇₃: 可溶性糖含量; X₇₄: 可溶性糖含量; X₇₅: 可溶性糖含量; X₇₆: 可溶性糖含量; X₇₇: 可溶性糖含量; X₇₈: 可溶性糖含量; X₇₉: 可溶性糖含量; X₈₀: 可溶性糖含量; X₈₁: 可溶性糖含量; X₈₂: 可溶性糖含量; X₈₃: 可溶性糖含量; X₈₄: 可溶性糖含量; X₈₅: 可溶性糖含量; X₈₆: 可溶性糖含量; X₈₇: 可溶性糖含量; X₈₈: 可溶性糖含量; X₈₉: 可溶性糖含量; X₉₀: 可溶性糖含量; X₉₁: 可溶性糖含量; X₉₂: 可溶性糖含量; X₉₃: 可溶性糖含量; X₉₄: 可溶性糖含量; X₉₅: 可溶性糖含量; X₉₆: 可溶性糖含量; X₉₇: 可溶性糖含量; X₉₈: 可溶性糖含量; X₉₉: 可溶性糖含量; X₁₀₀: 可溶性糖含量; X₁₀₁: 可溶性糖含量; X₁₀₂: 可溶性糖含量; X₁₀₃: 可溶性糖含量; X₁₀₄: 可溶性糖含量; X₁₀₅: 可溶性糖含量; X₁₀₆: 可溶性糖含量; X₁₀₇: 可溶性糖含量; X₁₀₈: 可溶性糖含量; X₁₀₉: 可溶性糖含量; X₁₁₀: 可溶性糖含量; X₁₁₁: 可溶性糖含量; X₁₁₂: 可溶性糖含量; X₁₁₃: 可溶性糖含量; X₁₁₄: 可溶性糖含量; X₁₁₅: 可溶性糖含量; X₁₁₆: 可溶性糖含量; X₁₁₇: 可溶性糖含量; X₁₁₈: 可溶性糖含量; X₁₁₉: 可溶性糖含量; X₁₂₀: 可溶性糖含量; X₁₂₁: 可溶性糖含量; X₁₂₂: 可溶性糖含量; X₁₂₃: 可溶性糖含量; X₁₂₄: 可溶性糖含量; X₁₂₅: 可溶性糖含量; X₁₂₆: 可溶性糖含量; X₁₂₇: 可溶性糖含量; X₁₂₈: 可溶性糖含量; X₁₂₉: 可溶性糖含量; X₁₃₀: 可溶性糖含量; X₁₃₁: 可溶性糖含量; X₁₃₂: 可溶性糖含量; X₁₃₃: 可溶性糖含量; X₁₃₄: 可溶性糖含量; X₁₃₅: 可溶性糖含量; X₁₃₆: 可溶性糖含量; X₁₃₇: 可溶性糖含量; X₁₃₈: 可溶性糖含量; X₁₃₉: 可溶性糖含量; X₁₄₀: 可溶性糖含量; X₁₄₁: 可溶性糖含量; X₁₄₂: 可溶性糖含量; X₁₄₃: 可溶性糖含量; X₁₄₄: 可溶性糖含量; X₁₄₅: 可溶性糖含量; X₁₄₆: 可溶性糖含量; X₁₄₇: 可溶性糖含量; X₁₄₈: 可溶性糖含量; X₁₄₉: 可溶性糖含量; X₁₅₀: 可溶性糖含量; X₁₅₁: 可溶性糖含量; X₁₅₂: 可溶性糖含量; X₁₅₃: 可溶性糖含量; X₁₅₄: 可溶性糖含量; X₁₅₅: 可溶性糖含量; X₁₅₆: 可溶性糖含量; X₁₅₇: 可溶性糖含量; X₁₅₈: 可溶性糖含量; X₁₅₉: 可溶性糖含量; X₁₆₀: 可溶性糖含量; X₁₆₁: 可溶性糖含量; X₁₆₂: 可溶性糖含量; X₁₆₃: 可溶性糖含量; X₁₆₄: 可溶性糖含量; X₁₆₅: 可溶性糖含量; X₁₆₆: 可溶性糖含量; X₁₆₇: 可溶性糖含量; X₁₆₈: 可溶性糖含量; X₁₆₉: 可溶性糖含量; X₁₇₀: 可溶性糖含量; X₁₇₁: 可溶性糖含量; X₁₇₂: 可溶性糖含量; X₁₇₃: 可溶性糖含量; X₁₇₄: 可溶性糖含量; X₁₇₅: 可溶性糖含量; X₁₇₆: 可溶性糖含量; X₁₇₇: 可溶性糖含量; X₁₇₈: 可溶性糖含量; X₁₇₉: 可溶性糖含量; X₁₈₀: 可溶性糖含量; X₁₈₁: 可溶性糖含量; X₁₈₂: 可溶性糖含量; X₁₈₃: 可溶性糖含量; X₁₈₄: 可溶性糖含量; X₁₈₅: 可溶性糖含量; X₁₈₆: 可溶性糖含量; X₁₈₇: 可溶性糖含量; X₁₈₈: 可溶性糖含量; X₁₈₉: 可溶性糖含量; X₁₉₀: 可溶性糖含量; X₁₉₁: 可溶性糖含量; X₁₉₂: 可溶性糖含量; X₁₉₃: 可溶性糖含量; X₁₉₄: 可溶性糖含量; X₁₉₅: 可溶性糖含量; X₁₉₆: 可溶性糖含量; X₁₉₇: 可溶性糖含量; X₁₉₈: 可溶性糖含量; X₁₉₉: 可溶性糖含量; X₂₀₀: 可溶性糖含量; X₂₀₁: 可溶性糖含量; X₂₀₂: 可溶性糖含量; X₂₀₃: 可溶性糖含量; X₂₀₄: 可溶性糖含量; X₂₀₅: 可溶性糖含量; X₂₀₆: 可溶性糖含量; X₂₀₇: 可溶性糖含量; X₂₀₈: 可溶性糖含量; X₂₀₉: 可溶性糖含量; X₂₁₀: 可溶性糖含量; X₂₁₁: 可溶性糖含量; X₂₁₂: 可溶性糖含量; X₂₁₃: 可溶性糖含量; X₂₁₄: 可溶性糖含量; X₂₁₅: 可溶性糖含量; X₂₁₆: 可溶性糖含量; X₂₁₇: 可溶性糖含量; X₂₁₈: 可溶性糖含量; X₂₁₉: 可溶性糖含量; X₂₂₀: 可溶性糖含量; X₂₂₁: 可溶性糖含量; X₂₂₂: 可溶性糖含量; X₂₂₃: 可溶性糖含量; X₂₂₄: 可溶性糖含量; X₂₂₅: 可溶性糖含量; X₂₂₆: 可溶性糖含量; X₂₂₇: 可溶性糖含量; X₂₂₈: 可溶性糖含量; X₂₂₉: 可溶性糖含量; X₂₃₀: 可溶性糖含量; X₂₃₁: 可溶性糖含量; X₂₃₂: 可溶性糖含量; X₂₃₃: 可溶性糖含量; X₂₃₄: 可溶性糖含量; X₂₃₅: 可溶性糖含量; X₂₃₆: 可溶性糖含量; X₂₃₇: 可溶性糖含量; X₂₃₈: 可溶性糖含量; X₂₃₉: 可溶性糖含量; X₂₄₀: 可溶性糖含量; X₂₄₁: 可溶性糖含量; X₂₄₂: 可溶性糖含量; X₂₄₃: 可溶性糖含量; X₂₄₄: 可溶性糖含量; X₂₄₅: 可溶性糖含量; X₂₄₆: 可溶性糖含量; X₂₄₇: 可溶性糖含量; X₂₄₈: 可溶性糖含量; X₂₄₉: 可溶性糖含量; X₂₅₀: 可溶性糖含量; X₂₅₁: 可溶性糖含量; X₂₅₂: 可溶性糖含量; X₂₅₃: 可溶性糖含量; X₂₅₄: 可溶性糖含量; X₂₅₅: 可溶性糖含量; X₂₅₆: 可溶性糖含量; X₂₅₇: 可溶性糖含量; X₂₅₈: 可溶性糖含量; X₂₅₉: 可溶性糖含量; X₂₆₀: 可溶性糖含量; X₂₆₁: 可溶性糖含量; X₂₆₂: 可溶性糖含量; X₂₆₃: 可溶性糖含量; X₂₆₄: 可溶性糖含量; X₂₆₅: 可溶性糖含量; X₂₆₆: 可溶性糖含量; X₂₆₇: 可溶性糖含量; X₂₆₈: 可溶性糖含量; X₂₆₉: 可溶性糖含量; X₂₇₀: 可溶性糖含量; X₂₇₁: 可溶性糖含量; X₂₇₂: 可溶性糖含量; X₂₇₃: 可溶性糖含量; X₂₇₄: 可溶性糖含量; X₂₇₅: 可溶性糖含量; X₂₇₆: 可溶性糖含量; X₂₇₇: 可溶性糖含量; X₂₇₈: 可溶性糖含量; X_{279</}

糖含量降解速率>淀粉含量增速>淀粉含量>苞叶失绿速率>可溶性糖含量>苞叶 *b**值>苞叶松紧度>穗行数>苞叶宽>籽粒长/穗轴粗>籽粒宽>脱水速率>苞叶黄化速率, 其中籽粒硬度对货架期的间接影响最大, 苞叶黄化速率最小, 轴粗、可溶性糖含量、苞叶松紧度、穗行数和苞叶宽对货架期是正向间接作用, 其他相关性状对货架期是负向间接作用。相关穗部性状对货架期的总效应按绝对值大小排序为硬化速率>脱水速率>苞叶失绿速率>籽粒宽>轴粗>淀粉含量增速>籽粒硬度>可溶性糖含量降解速率>可溶性糖含量>淀粉含量>穗行数>籽粒长/穗轴粗>苞叶宽度>苞叶黄化速率>苞叶 *b**值, 其中硬化速率对货架期的总效应影响最大, 苞叶松紧度最小, 轴粗、可溶性糖含量、穗行数、苞叶宽和苞叶松紧度对货架期总效应

是正向作用, 其他相关穗部性状对货架期总效应是负向作用。综上所述, 苞叶黄化速率、脱水速率对货架期的直接效应占据重要地位, 在货架期育种中应该注意对苞叶黄化速率、脱水速率本身性状的直接选择; 苞叶宽、苞叶松紧度、苞叶失绿速率、苞叶色差值、穗行数、轴粗、籽粒硬度、硬化速率、淀粉含量、淀粉含量增速、可溶性糖含量和可溶性糖含量降解速率主要是通过间接效应影响货架期, 在育种中应该着重选择间接效应较大的; 间接效应主要通过脱水速率、苞叶黄化速率、籽粒宽、籽粒硬度的间接作用对货架期影响, 其次是籽粒长/穗轴粗、轴粗、硬化速率、可溶性糖含量降解速率。由此可得, 脱水速率、苞叶黄化速率、籽粒宽、籽粒硬度、籽粒长/穗轴粗、轴粗、硬化速率和可溶性糖含量降解速率这 8 个性状可作为鲜食糯玉米货架期

表 3 相关穗部性状对货架期的通径分析
Table 3 Path analysis of correlative ear traits to shelf life

性状 Trait	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect																		总效应 Total effects
		间接效应总和 Sum of indirect effect	X_4	X_8	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{16}	X_{19}	X_{21}	X_{22}	X_{24}	X_{25}	X_{27}	X_{28}	X_{29}	X_{30}	X_{31}		
X_4	0.20	1.00	-0.08	0.06	-0.10	0.66	0.07	0.46	-0.27	0.29	-0.46	-0.27	1.01	-0.07	-0.05	0.04	-0.31	1.20		
X_8	-0.20	1.19	0.08		0.07	-0.09	0.17	0.08	0.55	-0.22	0.41	-0.33	-0.21	0.92	-0.04	-0.05	0.03	-0.16	1.00	
X_{10}	-0.09	-1.29	-0.14	0.15		0.09	-0.69	-0.08	-0.65	0.28	-0.38	0.57	0.28	-1.09	0.08	0.05	-0.04	0.29	-1.37	
X_{11}	0.13	-1.23	-0.16	0.13	-0.06		-0.40	-0.07	-0.50	0.28	-0.40	0.37	0.24	-0.97	0.05	0.05	-0.04	0.25	-1.10	
X_{12}	-0.93	-0.20	-0.14	0.04	-0.07	0.05		-0.04	-0.46	0.24	-0.19	0.58	0.22	-0.79	0.09	0.03	-0.04	0.26	-1.13	
X_{16}	0.09	1.13	0.15	-0.16	0.07	-0.10	0.39		0.57	-0.26	0.39	-0.42	-0.27	1.11	-0.05	-0.06	0.04	-0.27	1.23	
X_{19}	-0.66	-0.71	-0.14	0.16	-0.09	0.10	-0.64	-0.08		0.30	-0.41	0.56	0.28	-1.12	0.08	0.05	-0.04	0.28	-1.37	
X_{21}	-0.32	1.67	0.17	-0.14	0.08	-0.11	0.69	0.07	0.61		0.39	-0.56	-0.29	1.12	-0.08	-0.05	0.05	-0.28	1.35	
X_{22}	-0.44	-0.78	-0.13	0.18	-0.08	0.12	-0.40	-0.08	-0.61	0.29		0.43	0.26	-1.06	0.06	0.05	-0.04	0.24	-1.22	
X_{24}	0.63	-1.95	-0.15	0.10	-0.08	0.08	-0.86	-0.06	-0.59	0.29	-0.31		0.27	-1.02	0.09	0.05	-0.04	0.28	-1.32	
X_{25}	0.30	-1.70	-0.18	0.14	-0.08	0.10	-0.69	-0.08	-0.62	0.31	-0.38	0.56		-1.17	0.08	0.06	-0.05	0.31	-1.40	
X_{27}	-1.18	-0.21	-0.17	0.15	-0.08	0.10	-0.62	-0.09	-0.63	0.30	-0.40	0.54	0.30		0.08	0.06	-0.05	0.30	-1.38	
X_{28}	0.10	-1.35	-0.14	0.08	-0.08	0.07	-0.89	-0.05	-0.56	0.28	-0.28	0.61	0.25	-0.92		0.04	-0.04	0.27	-1.25	
X_{29}	0.06	-1.39	-0.16	0.16	-0.08	0.10	-0.55	-0.09	-0.61	0.29	-0.39	0.51	0.29	-1.17	0.07		-0.05	0.29	-1.33	
X_{30}	0.05	1.26	0.17	-0.13	0.07	-0.10	0.66	0.08	0.57	-0.31	0.36	-0.55	-0.29	1.12	-0.08	-0.05		-0.28	1.31	
X_{31}	0.33	-1.65	-0.19	0.10	-0.08	0.10	-0.73	-0.07	-0.55	0.27	-0.33	0.52	0.28	-1.06	0.08	0.05	-0.04		-1.32	

评价鉴定指标。

3 讨论

鲜食糯玉米采后生理代谢旺盛, 随着贮藏期延长理化品质出现不同程度的劣变问题, 影响其商品价值和经济价值。本研究指出不同鲜食糯玉米品种采后随贮藏期延长, 其籽粒含水量、可溶性糖含量均下降, 籽粒硬度、苞叶 *a**值、苞叶 *b**值、粗淀粉含量总体升高, 且不同品种鲜食品质劣变程度存在显著差异, 这与人前人关于研究指出鲜食糯玉

米采后随着贮藏期的延长苞叶失绿黄化^[16-17]、籽粒失水^[18-19]、硬化^[20-21]、淀粉含量增加^[7,9,14]、可溶性糖含量下降^[9-10,22-23]等理化品质变化规律基本一致, 部分差异可能由研究材料与方法不同所致。本研究中可溶性糖含量下降, 淀粉含量上升, 且二者在不同品种间均存在一定互补性, 推测是由于糖类向淀粉转化, 直链淀粉含量和支链淀粉的支链长度的增加, 糯性口感品质逐渐趋向劣化, 这与 Ai 等^[24]与 Ketthaisong 等^[14]研究结论一致。龚魁杰等^[11]与王春芳等^[21]研究均表明, 鲜食糯玉米组织木质化和纤维

化导致果皮硬度增加和柔嫩度降低。而本研究认为是籽粒胚乳硬化降低了鲜食糯玉米柔嫩性，籽粒硬化与含水量、营养成分、维度结构有关。本研究指出黑甜糯 904 理化指标变化速率最慢，其次是白甜糯 209、彩虹 77、彩甜糯 818，连甜糯 802 与连甜糯 931 变化速率最快，推测是由于不同品种呼吸代谢和蒸腾作用存在差异所致。理化指标变化速率与货架期在品种间表现趋势一致，间接证明了本研究品种货架期评价标准具有一定的客观准确性，这与范文广等^[7]研究结果一致。黑甜糯 904、白甜糯 209、彩虹 77 属于高糖低降解速率品种，货架期较长，在贮藏期间具有更好的营养价值和贮藏品质，其亲本在货架期相关育种中应重点研究与利用。

货架期是由多基因控制复杂数量性状，与多个穗部性状密切相关，且各因素之间相互关联影响，依靠单一的简单相关系数不能客观地评价某一个性状对货架期的影响。因此，本研究在相关分析与回归分析的基础之上，采用通径分析，进一步研究货架期（因变量）与多个穗部性状（自变量）之间的数量关系，将相关系数分解为直接作用和间接作用系数，揭示穗部性状对货架期的相对重要性。本研究相关性分析表明，鲜食糯玉米货架期与苞叶宽、苞叶松紧度、穗行数呈显著正相关，与穗粗、可溶性糖含量呈极显著正相关，与苞叶值 b^* 值、苞叶黄化速率呈显著负相关，与苞叶失绿速率、籽粒宽、籽粒长/穗轴粗、籽粒硬度、硬化速率、脱水速率、淀粉含量、淀粉含量增速和可溶性糖含量降解速率呈极显著负相关，部分结果与徐瑞^[20]与李宇等^[25]研究结果一致。本研究中通径分析表明，脱水速率、苞叶黄化速率、籽粒宽、籽粒硬度、籽粒长/穗轴粗、轴粗、硬化速率和可溶性糖含量降解速率这 8 个性状可作为货架期评价鉴定指标。在关于货架期育种中，应该重点选择脱水速率、苞叶黄化速率、硬化速率、可溶性糖含量降解速率慢，籽粒宽、籽粒硬度、籽粒长/穗轴粗小，穗轴略粗的材料。

鲜食糯玉米脱水速率是货架期评价的最基本的指标，直接影响其他指标的变化。玉米籽粒脱水速率研究主要集中在普通玉米籽粒机收方面，而关于鲜食糯玉米脱水速率研究相对较少。前人^[26-28]研究指出普通玉米品种脱水速率与苞叶、穗轴、籽粒特征及果穗大小等许多农艺性状有关。本研究指出，籽粒脱水速率与苞叶质量、苞叶层数、苞叶长、苞叶宽、苞叶厚度、苞叶面积、苞叶松紧度、单穗

质量、穗粗、穗长、穗行数、行粒数、籽粒长、籽粒宽、籽粒厚度、轴粗、穗柄长、淀粉含量、粗淀粉含量增速和可溶性糖含量降解速率呈负相关，与苞叶包裹度、苞叶 a^* 值、苞叶失绿速率、苞叶 b^* 值、苞叶黄化速率、籽粒长/穗轴粗、籽粒硬度、硬化速率、籽粒含水量和可溶性糖含量呈正相关，这与前人^[26-28]关于普通玉米脱水速率研究结果基本一致。因此，推测鲜食糯玉米耐贮藏或者货架期长特性与普通玉米籽粒机收性状是截然相反 2 个育种目标，籽粒适机收鉴定指标亦可为鲜食糯玉米货架期鉴定指标提供参考，需进一步研究。

4 结论

不同鲜食糯玉米品种采后随贮藏期的延长，籽粒含水量、可溶性糖含量呈下降趋势，籽粒硬度、苞叶色差值、淀粉含量呈上升趋势，且不同品种理化指标变化速率存在明显差异。黑甜糯 904 货架期最长，其次是白甜糯 209、彩虹 77、彩甜糯 818，连甜糯 931、连甜糯 802 货架期最短。籽粒硬化速率、籽粒脱水速率、苞叶黄化速率、可溶性糖降速、籽粒宽、籽粒硬度、籽粒长/穗轴粗、穗轴粗可作为货架期鉴定指标。

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. 玉米科学, 2016, 24(4): 67-71.
- [2] 李洪涛, 许瀚元, 迟铭, 等. 糯玉米主要性状环境稳定性分析. 南方农业学报, 2018, 49(4): 643-649.
- [3] 王娟紫, 乔勇进, 王春芳, 等. 鲜食糯玉米采后生理与保鲜技术的研究进展. 食品与发酵工业, 2023, 49(16): 356-361.
- [4] Ketthaisong D, Suriham B, Tangwongchai R, et al. Changes in physicochemical properties of waxy corn starches at different stages of harvesting. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 241-248.
- [5] Simla S, Lertrat K, Suriham B. Carbohydrate characters of six vegetable waxy corn varieties as affected by harvest time and storage duration. Asian Journal of Plant Sciences, 2010, 9(8): 463.
- [6] Gong K, Chen L. Characterization of carbohydrates and their metabolizing enzymes related to the eating quality of postharvest fresh waxy corn. Journal of Food Biochemistry, 2013, 37(5): 619-627.
- [7] 范文广, 陈少青, 周新原, 等. 不同品种鲜食糯玉米采后贮藏品质及抗氧化酶活性的变化. 食品工业科技, 2024, 45(2): 307-315.
- [8] 杨明花, 嵇闯, 崔亚坤, 等. 鲜食糯玉米货架期苞叶相关性状的配合力及其遗传效应分析. 玉米科学, 2023, 31(6): 10-16.
- [9] 李志文, 王奕, 彭博, 等. 鲜食糯玉米室温货架期间籽粒糖代谢规律研究. 保鲜与加工, 2022, 22(6): 1-7.
- [10] 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. 浙江农业学报, 2022, 34(6): 1133-1140.
- [11] 龚魁杰, 陈利容, 赵全胜, 等. 鲜食糯玉米采后糖代谢相关酶活性变化. 植物生理学通讯, 2010, 46(11): 1159-1163.

- [12] 王娟紫, 王春芳, 乔勇进, 等. 近冰温贮藏对鲜糯玉米采后品质的影响. 食品工业科技, 2023, 44(14): 336-345.
- [13] 肖金宝, 杨丽, 梁宇鹏, 等. 收获后贮藏时间对鲜食玉米品质的影响. 玉米科学, 2020, 28(6): 71-80.
- [14] Ketthaisong D, Suriharn B, Tangwongchai R, et al. Changes in physicochemical properties of waxy corn starches after harvest, and in mechanical properties of fresh cooked kernels during storage. Food Chemistry, 2014, 151(15): 561-567.
- [15] Hansen J, Moller I. Percolation of starch and soluble carbohydrates from plant tissue for quantitative determination with anthrone. Analytical Biochemistry, 1975, 68(1): 87-94.
- [16] 蔡含娜, 蒋璇靓, 陈坤坤, 等. 水果玉米在常温和低温贮藏下的品质变化研究. 东南园艺, 2023, 11(2): 112-117.
- [17] 时文林, 赵雅琦, 闫志成, 等. 不同预冷方式对甜玉米储藏品质的影响. 食品科学, 2022, 43(15): 218-226.
- [18] 李玲, 孙瑞, 王国琴. 糯玉米籽粒水分变化规律的研究. 食品研究与开发, 2013, 34(14): 123-125.
- [19] 宋华东, 龚魁杰, 陈利容, 等. 鲜食糯玉米采后水分变化及对风味品质的影响. 山东农业科学, 2007(3): 90-91.
- [20] 徐瑞. 鲜糯玉米冻藏期间品质变化研究. 重庆: 西南大学, 2019.
- [21] 王春芳, 王娟紫, 柳洪入, 等. 酸性硫酸钙处理对采后鲜糯玉米贮藏品质的影响. 食品工业科技, 2024, 45(2): 300-306.
- [22] 马鹏, 郝秀芬, 孙瑞, 等. 糯玉米鲜果穗采收后鲜籽粒可溶性糖含量变化的研究. 天津农学院学报, 2013, 20(2): 22-24.
- [23] 陈利容, 龚魁杰, 李香勇, 等. 鲜食糯玉米采后多糖降解代谢变化. 食品科技, 2015, 40(11): 342-346.
- [24] Ai Y, Jane J. Macronutrients in corn and Human nutrition. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016, 15(3): 581-598.
- [25] 李宇, 王洪毕. 不同贮藏条件下紫糯玉米品质变化研究. 食品工业, 2014, 35(6): 114-117.
- [26] 闫淑琴, 苏俊, 李春霞, 等. 玉米籽粒灌浆、脱水速率的相关与通径分析. 黑龙江农业科学, 2007(4): 1-4.
- [27] 王克如, 李少昆. 玉米籽粒脱水速率影响因素分析. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2027-2035.
- [28] 陈广周, 王广福, 渠建洲, 等. 不同玉米自交系籽粒脱水速率及其与主要影响性状的相关分析. 作物杂志, 2018(5): 33-39.

Evaluation of Shelf Life and Screening of Identification Indexes for Different Fresh Waxy Corn Varieties

Li Hongtao, Chai Wenbo, Xu Hanyuan, Li Shufen, Zhu Qing, Yuan Chao, Wang Jun

(Lianyungang Academy of Agricultural Sciences, Lianyungang 222006, Jiangsu, China)

Abstract Shelf life is an important index to judge postharvest storage of fresh waxy corn. In order to explore the changes of physicochemical indexes and screen out the identification index of shelf life, six fresh waxy corn varieties were used as experimental materials, ear agronomic traits and physicochemical indexes were measured at under room temperature storage conditions, and the correlation and path analysis was carried out. The findings demonstrated that as storage days rose, the soluble sugar and grain moisture contents fell while the grain hardness, husk a^* and b^* values, and starch contents increased. Heitiannuo 904 showed slow respiration and transpiration during storage, and its shelf life was relatively long, followed by Baitiannuo 209, Caihong 77, Caitianuo 818, the shortest shelf life were Liantiannuo 931 and Liantiannuo 802. Shelf life had significant positive correlation with husk width, husk tightness, row number per ear and a extremely significant positive correlation with cob diameter and soluble sugar content, but had significant negative correlation with husk b^* value, husk yellowing rate, and a extremely significant negative correlation with husk losing green rate, grain width, grain length/cob diameter, grain hardness, grain hardening rate, grain dehydration rate, starch content, starch content growth rate, soluble sugar degradation rate. Grain hardening rate, grain dehydration rate, husk yellowing rate, soluble sugar degradation rate, grain width, grain hardness, grain length/cob diameter, and cob diameter can be used as indicators for the determination of suitable shelf life for waxy corn.

Key words Waxy corn; Shelf life; Variety evaluation; Identification index