

鲜食玉米籽粒发育过程中叶酸含量的动态变化

崔磐涵*, 郑楚云, 王艺雯, 梁梓强, 曾 淼, 曾小芳, 唐文武#

肇庆学院生命科学学院, 广东 肇庆

收稿日期: 2025年3月14日; 录用日期: 2025年5月28日; 发布日期: 2025年6月5日

摘 要

鲜食玉米作为叶酸的重要膳食来源, 其籽粒发育过程中叶酸含量的动态变化对指导采收期和品种选育具有重要意义。本研究以5个鲜食玉米品种(西星黑糯一号、泸紫黑糯一号、斯达糯44、西星红糯4号、京紫糯)为材料, 测定授粉后第5天、10天、15天、20天、25天的叶酸含量并进行显著性分析。结果表明, 5种鲜食玉米的叶酸含量在40.64~207.46 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 之间, 且呈现显著阶段性差异。其中, 京紫糯和斯达糯44表现突出, 叶酸含量分别达到207.46 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 和206.32 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 。综合叶酸含量变化规律, 西星红糯4号、泸紫黑糯一号、西星黑糯一号和京紫糯适宜在25天进行采收, 斯达糯44则建议在20天进行采收。

关键词

鲜食玉米, 叶酸, 籽粒发育, 采收期, 品种选育

Dynamic Changes in Folate Content During the Grain Development of Fresh Eating Corn

Panhan Cui*, Chuyun Zheng, Yiwen Wang, Ziqiang Liang, Miao Zeng, Xiaofang Zeng, Wenwu Tang#

School of Life Sciences, Zhaoqing University, Zhaoqing Guangdong

Received: Mar. 14th, 2025; accepted: May 28th, 2025; published: Jun. 5th, 2025

Abstract

Fresh corn serves as a significant dietary source of folate, and the dynamic changes in folate content

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 崔磐涵, 郑楚云, 王艺雯, 梁梓强, 曾淼, 曾小芳, 唐文武. 鲜食玉米籽粒发育过程中叶酸含量的动态变化[J]. 生物过程, 2025, 15(2): 131-135. DOI: 10.12677/bp.2025.152018

during grain development are critical for optimizing harvest timing and breeding strategies. This study investigated five fresh corn varieties (Xixing Black Waxy No.1, Luzi Black Waxy No.1, Sida Waxy 44, Xixing Red Waxy No.4, and Jingzi Waxy) by measuring folate content at 5, 10, 15, 20, and 25 days after pollination (DAP) and conducting statistical significance analysis. Results revealed that folate levels ranged from 40.64 to 207.46 $\mu\text{g}/100\text{g}$ across the varieties, with significant stage-specific differences. Among them, Jingzi Waxy and Sida Waxy 44 stood out, with folate contents reaching 207.46 $\mu\text{g}/100\text{g}$ and 206.32 $\mu\text{g}/100\text{g}$, respectively. Based on the change rules of folic acid content, Xixing Red Waxy No.4, Luzi Black Waxy No.1, Xixing Black Waxy No.1, and Jingzi Waxy are suitable for harvesting on the 25th day after pollination, while Sida Waxy 44 is recommended to be harvested on the 20th day.

Keywords

Fresh-Eating Corn, Folate, Grain Development, Harvest Period, Variety Breeding

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

鲜食玉米作为一种备受青睐的蔬菜作物，凭借其鲜美的口感和丰富的营养成分，深受广大消费者喜爱，在市场上占据着重要的地位。当前，我国鲜食玉米种植面积已突破 134 万公顷，成为全球第一大鲜食玉米生产国和消费国[1][2]。鲜食玉米作为广东省重要的优势、高效农作物，带动了广东省农产品加工业的发展，已成为效益农业和农业产业化发展的新亮点。

叶酸作为一种对人体健康具有关键作用的水溶性 B 族维生素，作为生物体内一碳单位的供体和受体，广泛参与红细胞的生长和成熟、氨基酸代谢，以及脱氧核苷酸甲基化等重要生理过程[3]-[5]。叶酸缺乏会导致神经管缺陷疾病、巨幼红细胞贫血、高风险心血管疾病、神经退行性疾病等相关疾病[6][7]。然而，人体自身无法合成叶酸，必须依赖外援摄入，当前蔬菜和水果是人类饮食中叶酸的主要来源，但瓜果蔬菜种植供应存在季节性，且价格较高。鲜食玉米以其高叶酸含量特征，使其可以作为提供叶酸的重要来源[8]。

鲜食玉米在生长发育过程中，籽粒经历着复杂的生理变化，这可能导致叶酸含量的显著波动。单齐冀和潘广磊等研究表明，不同品种鲜食玉米在籽粒发育过程中叶酸含量变化规律存在差异[9][10]。本实验以不同特色鲜食玉米品种为供试材料，分别测定鲜食玉米在授粉后第 5 天、第 10 天、第 15 天、第 20 天、第 25 天的叶酸的含量，探究分析叶酸在籽粒发育时期的变化规律，不仅有助于深入理解植物体内叶酸代谢的动态机制，还可为本研究为鲜食玉米最佳采收期的确定及高叶酸品种选育提供了理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 供试材料

本实验选用了 5 个鲜食玉米品种(表 1)，样本数量为各品种在每个发育时期的重复数($n = 3$)。

Table 1. Summary of basic information of maize varieties used in the experiment

表 1. 实验所用玉米品种基本信息汇总

玉米品种	种子来源	种植地点	种植时间	种植数量(株)
西星黑糯一号	山东省	广东省肇庆市	7 月 18 日	55

续表

泸紫黑糯一号	甘肃省	广东省肇庆市	7月18日	57
斯达糯 44	北京市	广东省肇庆市	7月18日	73
西星红糯 4 号	山东省	广东省肇庆市	7月18日	68
京紫糯	北京市	广东省肇庆市	7月18日	67

2.2. 试验方法

2.2.1. 种植与采样实验

本实验于 2023 年 7 月 18 日在广东省肇庆市端州区南药谷实验基地进行播种试验。在玉米授粉阶段后，于授粉后的第 5 天、第 10 天、第 15 天、第 20 天和第 25 天，开展样本采集工作。在样本选取过程中，挑选形状、生长状况相近的玉米植株作为样本采集对象。每个时期均设置多个重复样本，采集后的样本迅速置于-80℃的超低温冰箱中进行低温保存，以确保样本的生物学特性在后续分析过程中保持稳定。

2.2.2. 叶酸含量测定

参照国家标准测定方法开展实验[11]。以 5 种鲜食玉米在授粉后第 5、10、15、20、25 天这五个特定时期的玉米籽粒作为试样，精确称取 5 g 研磨后的试样置于相应容器中。接着，将鼠李糖乳杆菌菌液接种至各个含有玉米样液的培养基内，随后将其放置于 37℃培养箱中培养 36 小时。培养结束后，运用酶标仪在波长为 540 nm 的条件下测定叶酸标准溶液系列管以及试样系列管的吸光值。最后，依据标准曲线计算得出各样本的叶酸含量。在整个实验过程中，每个时期均严格进行三次重复实验操作，三个实验平行的结果用均值 ± 标准偏差(means ± SD)来表示。

2.2.3. 数据分析

试验数据采用专业的 IBM SPSS Statistics 27 软件进行统计分析，首先对不同品种在各发育时期的叶酸含量进行正态性检验(Shapiro-Wilk test, $p > 0.05$)和方差齐性检验(Levene test, $p > 0.05$)，结果显示数据满足单因素方差分析的前提条件，采用单因素方差分析模型对不同品种鲜食玉米在各发育时期的叶酸含量进行分析。运用 F 检验作为假设检验方法，以沃勒 - 邓肯($p \leq 0.05$)作为统计差异判断标准，确保分析结果的科学性和严谨性。同时，运用 Excel 软件制作直观清晰的分析图表。

3. 结果分析

如图 1 所示,鲜食玉米籽粒发育过程中叶酸含量存在显著差异,其含量范围介于 40.64~207.46 $\mu\text{g}/100\text{g}$ 之间,呈现明显的阶段性变化特征。西星黑糯一号玉米籽粒叶酸含量在第 10 天时达到峰值,为 $100.71 \pm 5.94 \mu\text{g}/100\text{g}$,与第 15、20、25 天相比,差异极显著($p < 0.01$);第 15 天叶酸含量为 $79.64 \pm 5.62 \mu\text{g}/100\text{g}$,第 20 天最低,仅 $61.36 \pm 2.67 \mu\text{g}/100\text{g}$,这两个时期差异极显著($p = 0.01$)。泸紫黑糯一号在各个发育时期差异性不显著($p = 0.088$),各阶段积累水平相对稳定。西星红糯 4 号与京紫糯叶酸含量随天数增加显著上升,西星红糯 4 号第 25 天叶酸含量最高,为 $133.29 \pm 4.69 \mu\text{g}/100\text{g}$,第 10 天叶酸含量最低,仅 $102.52 \pm 8.02 \mu\text{g}/100\text{g}$,两者之间差异达到显著水平($p = 0.014$);京紫糯第 20 天含量最高,为 $207.46 \pm 5.29 \mu\text{g}/100\text{g}$,与第 5、10、15 天叶酸含量均达到极显著差异($p < 0.01$),第 5 天叶酸含量最低,仅 $60.25 \pm 8.62 \mu\text{g}/100\text{g}$,与其余四个时期差异达极显著水平。斯达糯 44 的叶酸含量呈现先上升后下降的趋势,第 20 天叶酸含量最高,为 $206.32 \pm 5.92 \mu\text{g}/100\text{g}$,与其余时期差异均达极显著水平($p < 0.01$),第 25 天叶酸含量最低,仅为 $107.5250 \pm 7.68 \mu\text{g}/100\text{g}$,第 5、10、15 天叶酸含量比较稳定,无显著波动。

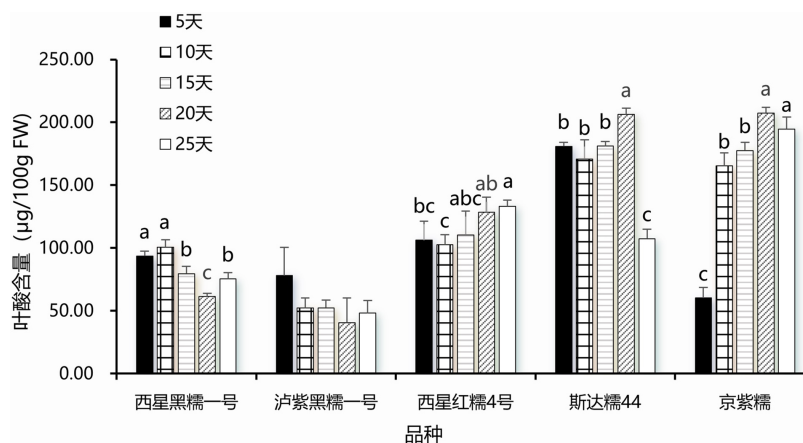


Figure 1. Changes in folic acid content of various varieties at different stages

图 1. 各品种叶酸含量在不同时期的变化

4. 讨论

本研究发现, 5 种鲜食玉米品种的叶酸含量在不同发育阶段存在显著差异。京紫糯与斯达糯 44 在第 20 天的峰值含量极显著高于其他时期, 表明其叶酸合成系统在乳熟期(授粉后 18~22 天)具有高效表达特性。泸紫黑糯一号不同时期的叶酸含量差异不显著可能与授粉后早期遭遇高温有关或受环境互作影响。已有研究表明, 高温可加速叶酸氧化酶的活性, 导致叶酸快速降解[8]。

本研究为解析叶酸代谢相关基因的表达模式, 后续需结合转录组和代谢组学技术, 揭示品种间差异的分子机制。此外, 环境因素(如温度、光照)对叶酸积累的影响需进一步验证, 以优化种植管理措施。

5. 结论

本研究通过对 5 种鲜食玉米品种在授粉后不同发育阶段的叶酸含量进行测定和分析, 介绍了叶酸含量的动态变化规律。主要结论如下: (1) 京紫糯(207.46 μg/100g)和斯达糯 44 (206.32 μg/100g)在第 20 天达到叶酸峰值, 叶酸含量性状表现较优; (2) 西星红糯 4 号在第 25 天仍保持 133.29 μg/100g 的高含量, 建议作为晚熟品种推广; (3) 基于叶酸积累动态特征, 西星黑糯一号、泸紫黑糯一号、西星红糯 4 号和京紫糯适宜在授粉后 25 天进行采收, 斯达糯 44 则需提前至 20 天采收以实现叶酸含量最大化。

基金项目

肇庆学院大学生创新创业训练计划项目(S202310580049、S202110580053)。

参考文献

- [1] 徐丽, 赵久然, 卢柏山, 等. 我国鲜食玉米种业现状及发展趋势[J]. 中国种业, 2020(10): 14-18.
- [2] 闫重波. 浅谈鲜食玉米种植的发展前景及栽培管理技术[J]. 河南农业, 2022(7): 42-43.
- [3] 顾玲琪, 陈万杰, 李海娟, 等. 叶酸补充与代谢循环对育龄女性红细胞叶酸水平的影响[J]. 中国医院药学杂志, 2025, 45(7): 792-798.
- [4] 石若夫. 叶酸与蛋白质合成[J]. 生命科学, 2007, 19(3): 330-332.
- [5] 曹能, 李璋. 叶酸在人体内作用的研究进展[J]. 生物学通报, 2003, 38(2): 20-22.
- [6] 焦炎炎, 董会, 史亚兴, 等. 鲜食糯玉米杂交当代 F0 叶酸含量的遗传研究[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(2): 474-482.
- [7] 邹成林, 黄开健, 莫润秀, 等. 190 份广西鲜食玉米自交系叶酸、维生素 E、锌含量分析与评价[J]. 江苏农业科学,

2024, 52(16): 134-140.

- [8] McIntosh, S.R. and Henry, R.J. (2008) Genes of Folate Biosynthesis in Wheat. *Journal of Cereal Science*, **48**, 632-638. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.007>
- [9] 单齐冀. 糯玉米种质资源评价及籽粒发育过程叶酸合成代谢规律研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [10] 潘广磊. 鲜食甜、糯玉米籽粒叶酸与赖氨酸含量分析及种质挖掘[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020.
- [11] 食品安全国家标准. 食品中叶酸的测定: GB 5009.211-2022 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.