

鲜食糯玉米食用品质与淀粉性质的相关性研究

王 蓁^{1,2,3}, 程 力^{*1,2,3}, 洪 雁^{1,2,3}, 李兆丰^{1,2,3},
李才明^{1,2,3}, 班宵逢^{1,2,3}, 顾正彪^{1,2,3}

(1. 食品科学与资源挖掘全国重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 3. 江南大学 食品营养与安全协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

摘要: 鲜食糯玉米种类多, 蒸煮后食用品质存在差异。为探究影响鲜食糯玉米食用品质的因素, 选取 4 种鲜食糯玉米, 并以一种普通玉米作为对照, 以感官评定、质构特性、组分构成及淀粉糊化度分析为基础, 并进一步提取淀粉组分对其热力学性质、糊化特性及结构特性展开研究。结果表明, 4 种鲜食糯玉米支链淀粉质量分数为 95%~98%, 质构硬度为 2 987~3 633 g, 煮制后糊化度为 68%~91%。感官评定结果表明, 糊化度较高的‘苏科糯 1505’、‘苏科糯 1704’口感较好。相关性分析结果表明, 糯性分数、口感分数与糊化度呈显著正相关 ($P<0.05$), 相关系数分别为 0.698、0.651; 同时支链淀粉质量分数与口感分数呈显著正相关 ($P<0.05$), 相关系数为 0.642; 支链淀粉质量分数与硬度呈显著负相关 ($P<0.05$), 相关系数为 -0.742。表明鲜食糯玉米煮制后籽粒中淀粉糊化度对口感影响较大。该研究为鲜食糯玉米食用品质与淀粉性质之间的相关性提供了参考, 为寻找影响鲜食糯玉米品质的关键因素提供了新的研究方向与数据支持, 对鲜食糯玉米产业发展具有一定的指导作用。

关键词: 鲜食糯玉米; 质构特性; 糊化度; 淀粉性质

中图分类号: TS 231 文章编号: 1673-1689(2023)12-0043-10 DOI: 10.12441/spyswjs.20211009002

Correlation Between Edible Quality and Starch Properties of Fresh Waxy Corn

WANG Qi^{1,2,3}, CHENG Li^{*1,2,3}, HONG Yan^{1,2,3}, LI Zhaofeng^{1,2,3},
LI Caiming^{1,2,3}, BAN Xiaofeng^{1,2,3}, GU Zhengbiao^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory of Food Science and Resources, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: There are various types of fresh waxy corn, which exhibit differences in edible quality after cooking. In order to explore the factors affecting the edible quality of fresh waxy corn, four varieties of fresh waxy corn were selected and an ordinary corn was used as the control. Based on sensory evaluation, texture characteristics, component composition and starch gelatinization degree

收稿日期: 2021-10-09 修回日期: 2021-12-11

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-02); 中国农业科学院科技创新工程协同创新项目(CAAS-XTCX20190025)。

* 通信作者: 程 力(1984—), 男, 博士, 研究员, 硕士研究生导师, 主要从事淀粉质资源开发与利用研究。

E-mail: chenglichocolate@163.com

analysis, starch components were extracted to further study their thermodynamic properties, gelatinization characteristics, and starch structure features. The results showed that the amylopectin mass fraction of four kinds of fresh waxy corn ranged from 95% to 98%. The texture hardness value ranged from 2 987 g to 3 633 g, and the gelatinization degree after cooking ranged from 68% to 91%. The sensory evaluation results showed that ‘Sukenuo 1505’ and ‘Sukenuo 1704’ with higher gelatinization degrees exhibited better taste. The correlation analysis revealed that there was a significant positive correlation between the scores of waxiness and taste with gelatinization degree ($P<0.05$), with correlation coefficients of 0.698 and 0.651, respectively. At the same time, amylopectin mass fraction was positively correlated with taste score ($P<0.05$), with correlation coefficient of 0.642. There was a significant negative correlation between amylopectin mass fraction and hardness ($P<0.05$), with correlation coefficient of -0.742 . The correlation analysis showed that the starch gelatinization degree of fresh waxy corn had a great effect on the taste. This study provides a reference for the relationship between the edible quality of fresh waxy corn and the properties of starch. It offers a new research direction and data support in identifying key factors affecting the quality of fresh waxy corn, guiding the development of fresh waxy corn industry.

Keywords: fresh waxy corn, texture characteristics, gelatinization degree, starch properties

玉米是我国重要的粮食作物,是各类养殖业饲料的重要来源,在食品行业、轻工业等领域有重要用途^[1]。鲜食玉米指在乳熟期采摘新鲜果穗,以果穗或籽粒供直接食用、加工的玉米^[2],主要分为鲜食甜玉米、鲜食糯玉米等。鲜食玉米营养丰富、风味及口感独特,受到广大消费者的认可和喜爱^[3]。由于鲜食玉米具有生产周期短、市场价格高、种植经济效益较高的特点,我国鲜食玉米生产和消费市场发展极快^[4]。

糯玉米又称蜡质型玉米或黏玉米,其糯性受玉米第9号染色体上的隐性糯质基因 *wx* 所控制,糯玉米所含淀粉几乎均为支链淀粉^[5]。近年来,鲜食糯玉米品种不断增多,2001—2019年我国鲜食玉米国审品种达226个,其中糯玉米141个,占国审鲜食玉米总数的62.4%^[6]。在鲜食糯玉米发展十分迅速的背景下,探究影响鲜食糯玉米蒸煮后品质的因素,筛选品质更为优良、更加符合市场化的品种尤为重要。目前,有不同学者从不同方面对鲜食糯玉米进行品质评价,如陆大雷等通过对鲜食糯玉米籽粒理化性质差异性的研究,筛选出更适合鲜食或用于速冻加工的品种^[7]。轩瑞瑞等通过熵权法和灰色关联度法从不同方面对鲜食糯玉米品质进行了综合评价,为鲜食糯玉米的评价方式提供了新思路^[8]。程玉静等对糯玉米淀粉RVA特征谱与品尝评分相关性

进行了研究,比较了不同品质、不同食味糯玉米种质间RVA特征值的差异^[9]。唐明霞等对不同品种乳熟期玉米糊化的热力学性质进行了分析,比较了糊化度与基本性质之间的相关性^[10]。

目前对鲜食糯玉米的食用品质研究更多关注于组分间的差异和采收期对品质的影响^[11]。不同品种玉米最佳采收期可能不同,各项性质也会存在差异。淀粉作为糯玉米中主要的内容物,其性质对蒸煮后的食用品质影响较大,有必要深入探究鲜食糯玉米籽粒中淀粉性质及其糊化状态,并与食用品质进行相关性分析。作者通过对一种普通玉米和4种鲜食糯玉米播种、采收时期的严格控制,在确保品种间种植条件一致的前提下,将玉米基本品质与感官评价分数结合,深入研究了籽粒内部淀粉的理化性质,找出影响鲜食糯玉米口感的主要因素,并进一步确定淀粉组分影响鲜食糯玉米食用品质的关键因素,以期为鲜食糯玉米品种选育、农业种植和产品改良提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验所用玉米原材料由江苏省农业科学院提供。5个实验品种中,一种为普通玉米,供对照使用,其余4种均为鲜食糯玉米;为控制原料条件,所有

玉米原材料均在 2020 年春季同时期、同地区播种,授粉后 21 d 统一采摘新鲜果穗。具体信息见表 1。

表 1 玉米品种信息

Table 1 Corn variety information

玉米品种	类型	颜色
苏玉 29	普通	黄
苏玉糯 5 号	糯	白
苏科糯 11	糯	白
苏科糯 1505	甜糯	紫黑
苏科糯 1704	糯	白

色谱纯 DMSO (二甲基亚砷)、Taka 淀粉酶、亚硫酸氢钠、乳酸、无水乙醇、氢氧化钠、盐酸:国药集团化学试剂有限公司,无机试剂均为分析纯。

RJ-LD-50G 离心机:无锡市瑞江分析仪器有限公司;物性分析仪:英国 SMS 公司;StarchMaster2 快速黏度分析仪(RVA):瑞典 Perten 有限公司;差式扫描量热仪(DSC3):瑞士梅特勒-托利多公司;K1100 全自动凯氏定氮仪、SH220F 石墨消解仪:山东海能科学仪器有限公司;T-6V 可见分光光度计:南京菲勒仪器有限公司;D2 PHASER X 射线衍射仪(XRD):德国布鲁克 AXS 有限公司;ICS-5000A Plus 离子色谱:赛默飞世尔科技(中国)有限公司。

1.2 测定方法

1.2.1 样品蒸煮处理与感官评定 对鲜玉米样品进行剥叶、清洗,沸水中煮制一定时间后请 12 名感官评定者进行品尝打分。评分内容参考标准 NY/T 524—2002 并做修改,评分方法见表 2。

表 2 感官评定评分表

Table 2 Sensory evaluation score sheet

评分项目	评分依据	分数分布
糯性 (15)	糯性较好,咀嚼时有较强黏附感	11~15
	糯性一般,咀嚼时可以感受到一定的黏附感	6~10
	糯性较差,咀嚼时不能感受到黏附感	0~5
皮质感 (15)	咀嚼时表皮质感较好,易嚼碎,渣滓感较轻	11~15
	咀嚼时表皮质感一般,较难嚼碎,有明显渣滓感	6~10
	咀嚼时质感较差,难嚼碎,渣滓感强烈	0~5
口感 (20)	口感良好,咀嚼过程轻松,食用过程感受良好	13~20
	口感一般,有部分因素影响咀嚼过程	7~12
	口感差,难以咀嚼,食用过程感受不好	0~6

1.2.2 水分测定 参考国标 GB/T 5009.3—2016《食品中水分的测定》^[12]进行测定。

1.2.3 质构特性测定 参照牛丽影等的方法^[13]并做修改。选取玉米中大小、形状均近似的籽粒进行测定,进行 8~10 组平行测试。质构仪 TPA 模式选取 P36R 探头,测前速率为 1.5 mm/s,测试速率为 1.0 mm/s,测后速率为 1.0 mm/s,两次压缩间隔时间为 5 s,压缩比为 70%,测试开始模式为 Auto(Force),启动力 5 g,曲线记录方式为 target;穿刺模式选取 P2N 探头,测前速率为 1.0 mm/s,测试速率为 1.0 mm/s,测后速率为 1.5 mm/s,穿刺距离为 2.5 mm,启动力 5 g。

1.2.4 皮渣率测定 参考张凯迪等的方法^[14]进行测定。

1.2.5 总淀粉、支链淀粉测定 参照 Megazyme 试剂盒说明书方法进行测定。

1.2.6 淀粉糊化度测定 参考 Liu 等的方法^[15]并做修改。将煮制后的玉米与未煮制的玉米分别剥粒后在 45 ℃烘箱中烘干 24 h 并进行磨粉。准确称取两种粉末各 1.000 g,分别置于两个 100 mL 三角瓶中,另取一个不加实验样品的 100 mL 三角瓶,作为空白,分别加入去离子水 50 mL。将含有未煮制玉米粉末的三角瓶置于沸水中糊化 20 min,然后迅速冷却到 20 ℃。在 3 个三角瓶中各加入质量分数 3%的 Taka 淀粉酶液 5 mL,37 ℃水浴振荡 2 h,然后立即加入 2 mL 盐酸(1 mol/L)终止反应,再加入 2 mL 氢氧化钠(1 mol/L),转移至容量瓶定容后取待测液离心。用 DNS 法测定待测液显色值并计算糊化度,平行 3 次。糊化度计算公式如下:

$$H = \frac{A_1}{A_2} \times 100\%$$

式中: H 为煮制后玉米内部淀粉糊化度,%; A_1 为玉米样品吸光度; A_2 为全糊化后玉米样品吸光度。

1.2.7 鲜食糯玉米淀粉提取 参照路学中等的的方法^[16]并做修改。将鲜食糯玉米籽粒剥下后在 45 ℃烘箱中烘干 18 h,过筛步骤后将沉淀部分以 4 000 r/min 离心 10 min,用称样勺去除上部蛋白质等杂质,重复 3 次,得到粗淀粉;然后加入过量无水乙醇,充分搅匀后以 4 000 r/min 离心 10 min,重复 3 次。

1.2.8 蛋白质的测定 参考国标 GB/T 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》^[17]中的凯氏定氮法测定。

1.2.9 脂肪的测定 参考国标 GB/T 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》^[18]中的索氏抽提法测定。

1.2.10 淀粉糊化特性测定 参照李娜等的方法^[19]并做修改。配制淀粉质量分数为 6% 的浆液, 按照 RVA 标准方法测定其糊化曲线。

1.2.11 淀粉热力学特性测定 参照刘长姣等的方法^[20]并做修改。DSC 测定温度范围设为 30~100 ℃, 升温速率为 10 ℃/min, 以淀粉糊化温度和热焓值为评价指标进行对比。

1.2.12 淀粉结晶结构测定 参照王志伟等的方法^[21]并做修改。取适量样品置于扫描圆盘凹槽中, 铺平压实待测。测定条件: 衍射角(2θ)扫描范围为 4°~40°, 扫描速度为 3°/min, 检测步宽 0.02°, 管电压 30 kV, 管电流 10 mA。

1.2.13 淀粉链长分布测定 利用高效阴离子交换色谱-脉冲安培检测器(HPAEC-PAD)测定淀粉链长分布。在淀粉中加入醋酸钠缓冲液并用异淀粉酶在 40 ℃水浴中充分酶解 24 h 后, 使用超纯水稀释 7 倍后取适量上清液过 0.22 μm 水系滤膜。样品通过固定检测程序进行检测。

1.3 数据分析

实验数据采用 SPSS 22、Excel 2013、Origin

2018 和 JASP 进行处理或制图。结果采用平均值 \pm 标准差表示。显著性采用 LSD 检验, $P < 0.05$ 判定为显著。

2 结果与分析

2.1 鲜食糯玉米感官评定与基本性质

鲜食玉米的感官评定分数如表 3 所示。鲜食糯玉米的单项感官评分均高于普通玉米, 且‘苏科糯 1505’及‘苏科糯 1704’两款鲜食糯玉米呈现出较高的分数, 其更受感官评定者喜爱。

鲜食玉米的基本性质参数见表 4。鲜食糯玉米中的淀粉几乎全为支链淀粉, 支链淀粉质量分数均在 95% 以上。不同品种玉米的水分质量分数为 56%~64%, 有研究指出糯玉米籽粒水分质量分数为 56%~64% 时可呈现出最佳品质^[22], ‘苏玉糯 5 号’及‘苏科糯 11’两款鲜食糯玉米水分略低, 或已错过最佳采收期而导致品质略差。鲜食糯玉米中‘苏科糯 11’皮渣率最高, 较高的皮渣率会导致口感变差, 咀嚼过程中有较强的渣滓感。淀粉作为鲜食糯玉米中的重要物质, 在同一采收期不同品种中呈现出不同的质量分数。淀粉质量分数的不同会导致籽粒中淀粉的糊化行为受到影响, 适宜的淀粉质量分数则能保证糯玉米的最佳口感^[23]。

表 3 鲜食玉米感官评定分数

Table 3 Sensory evaluation score of fresh corn

玉米品种	糯性得分	皮质感得分	口感得分	总分
苏玉 29	5.0 \pm 1.2 ^a	6.0 \pm 2.2 ^c	6.0 \pm 2.5 ^c	18.8
苏玉糯 5 号	7.4 \pm 2.2 ^b	8.1 \pm 2.7 ^b	10.6 \pm 3.8 ^b	26.1
苏科糯 11	7.8 \pm 2.5 ^b	8.1 \pm 3.2 ^b	11.0 \pm 4.0 ^b	26.9
苏科糯 1505	10.3 \pm 2.6 ^a	10.8 \pm 1.7 ^a	16.2 \pm 1.4 ^a	37.3
苏科糯 1704	9.5 \pm 2.6 ^a	9.2 \pm 2.4 ^{ab}	12.3 \pm 3.2 ^b	31.0

表 4 鲜食玉米基本性质

Table 4 Basic properties of fresh corn

玉米品种	籽粒水分 质量分数/%	皮渣率/%	总淀粉 质量分数/%	支链淀粉 质量分数/%	蛋白质 质量分数/%	脂肪 质量分数/%
苏玉 29	61.23 \pm 0.27 ^b	15.69 \pm 1.72 ^{ab}	29.71 \pm 2.42 ^b	79.52 \pm 0.63 ^b	8.47 \pm 0.25 ^d	3.97 \pm 0.22 ^b
苏玉糯 5 号	56.25 \pm 0.12 ^c	10.94 \pm 1.22 ^b	33.59 \pm 0.05 ^{ab}	95.35 \pm 1.19 ^a	9.75 \pm 0.14 ^b	5.30 \pm 0.22 ^a
苏科糯 11	56.62 \pm 0.39 ^c	17.88 \pm 1.62 ^a	37.33 \pm 4.05 ^a	98.49 \pm 0.17 ^a	9.55 \pm 0.12 ^b	4.32 \pm 0.52 ^b
苏科糯 1505	64.31 \pm 2.70 ^a	11.21 \pm 0.28 ^b	22.43 \pm 2.12 ^c	96.83 \pm 1.24 ^a	10.28 \pm 0.11 ^a	5.27 \pm 0.46 ^a
苏科糯 1704	61.65 \pm 0.29 ^b	12.23 \pm 1.26 ^b	28.37 \pm 0.70 ^b	95.67 \pm 1.03 ^a	8.91 \pm 0.15 ^c	4.46 \pm 0.11 ^b

注: 支链淀粉质量分数指其占总淀粉质量的百分比。

2.2 鲜食糯玉米质构特性

全质构(TPA)分析主要通过对试样进行两次压缩的机械过程来模拟口腔的咀嚼运动,利用力学测试方法模拟食品质地的感官评价^[24]。鲜食玉米的质构特性见表5。‘苏科糯 1704’煮制后的硬度、咀嚼性小于其他品种糯玉米,而其他品种糯玉米间差距不大,但硬度均小于‘苏玉 29’。煮制后玉米的硬度与淀粉的回生过程有关,‘苏玉 29’含有的直链淀粉易于回生,会使玉米籽粒硬度增大;同时,煮制后玉米籽粒中的淀粉是否能充分糊化、吸水膨胀也将对硬度造成影响,后续对此也展开了研究。

玉米籽粒果皮柔嫩性对口感也有影响,通过穿

刺法对表皮强度进行了测定。‘苏科糯 1505’的表皮强度明显高于其他品种糯玉米,表明其籽粒表皮更具有韧性,不易被咬破,在咀嚼过程中会因此使籽粒内容物难以挤出,影响口感。同时,果皮是谷物中的一种重要结构,因为它控制着溶剂向谷物内部结构的扩散^[25]。玉米籽粒果皮主要由纤维构成,在煮制过程中,不同强度与致密性的纤维可能会阻挡水分的充分进入,使玉米籽粒中的淀粉不能充分糊化。故选育较好的鲜食糯玉米品种,不仅考虑皮渣率,还要考虑果皮的韧性^[26]和淀粉在籽粒中的糊化过程。

表 5 鲜食玉米质构特性

Table 5 Texture properties of fresh corn

玉米品种	硬度/g	咀嚼性	表皮强度/g
苏玉 29	5 029.21±394.34 ^a	322.08±45.21 ^a	85.43±5.35 ^b
苏玉糯 5 号	3 633.44±359.62 ^b	296.17±52.30 ^a	112.63±19.39 ^b
苏科糯 11	3 335.40±393.34 ^b	297.35±56.84 ^a	101.62±25.08 ^b
苏科糯 1505	3 485.51±554.53 ^b	241.48±58.29 ^b	158.80±34.06 ^a
苏科糯 1704	2 987.25±311.07 ^{bc}	186.01±34.58 ^c	101.98±36.93 ^b

2.3 煮制后玉米籽粒内部淀粉糊化度

糊化度可以定量表示淀粉颗粒糊化的程度。目前鲜食玉米多通过蒸制或煮制一定时间后食用,煮制后玉米内部淀粉的糊化度如表6所示。在相同的煮制条件下,‘苏科糯 1704’糊化度最高,而‘苏玉糯 5 号’与‘苏科糯 11’糊化度偏低,糯玉米糊化度均比普通玉米高。这说明一定的煮制时间内,不同品种糯玉米中淀粉的糊化情况存在差异。淀粉的完全糊化需要足够的水分,糊化度偏低则可能由于籽粒内部含水量较少,或因为内部淀粉质量分数较高。籽粒表皮限制了水分的进入也是导致淀粉糊化时吸热膨胀过程受到抑制的重要因素。结合感官评价数据也可说明,淀粉基食品的质构、黏度及持水性等均与淀粉的糊化特性密切相关^[27],不能充分糊化的淀粉会导致糯玉米口感变硬。这也表明,处于相同采收期的不同品种糯玉米并不一定能呈现最优的品质,传统的通过授粉期判断采摘时间的方法缺乏科学性,适宜的采摘时间还需要结合具体品种的淀粉合成情况而判断。

表 6 煮制后鲜食玉米内部淀粉糊化度

Table 6 Starch gelatinization degree of fresh corn after boiling

玉米品种	糊化度/%
苏玉 29	62.57±3.57 ^d
苏玉糯 5 号	70.04±1.33 ^c
苏科糯 11	68.17±3.02 ^{cd}
苏科糯 1505	81.55±3.54 ^b
苏科糯 1704	90.21±0.97 ^a

2.4 鲜食糯玉米中淀粉基本性质

对鲜食玉米进行淀粉提取后,对其基本性质进行了测定,结果如表7所示。

利用 DSC 对玉米淀粉进行热力学性质测定,结果如表8所示。热焓值指的是淀粉颗粒糊化所需要的热能。普通玉米淀粉的热焓值高于糯玉米淀粉,表明普通玉米淀粉较糯玉米淀粉糊化过程需要吸收更多的能量,但鲜食糯玉米淀粉之间热焓值差异不大,‘苏科糯 1505’和‘苏科糯 1704’比另外两种糯玉米的热焓值更低,说明其中的淀粉更易在加热过程中糊化,但并不是影响整体品质的关键因素。

表 7 鲜食玉米淀粉基本性质

Table 7 Basic properties of fresh corn starch

玉米品种	淀粉纯度/%	水分质量分数/%	蛋白质质量分数/%
苏玉 29	89.71±0.31 ^a	7.06±0.03 ^c	0.332±0.010 ^c
苏玉糯 5 号	80.38±3.26 ^b	5.91±0.03 ^d	0.546±0.002 ^c
苏科糯 11	82.15±1.30 ^b	5.54±0.04 ^c	0.633±0.001 ^b
苏科糯 1505	88.08±1.50 ^a	9.41±0.04 ^a	0.349±0.015 ^d
苏科糯 1704	85.89±0.56 ^{ab}	7.40±0.07 ^b	0.856±0.007 ^a

表 8 鲜食玉米淀粉热力学性质

Table 8 Thermodynamic properties of fresh corn starch

玉米品种	起始温度/℃	峰值温度/℃	热焓值/(J/g)
苏玉 29	73.92±0.14 ^{ab}	76.30±0.13 ^{ab}	7.98±0.62 ^a
苏玉糯 5 号	74.18±0.20 ^a	76.82±0.19 ^a	5.77±0.24 ^b
苏科糯 11	73.53±0.34 ^b	76.25±0.38 ^b	5.83±0.04 ^b
苏科糯 1505	73.95±0.05 ^{ab}	76.68±0.08 ^{ab}	5.40±0.72 ^b
苏科糯 1704	72.63±0.39 ^c	75.84±0.32 ^c	5.33±0.93 ^b

利用 RVA 对糯玉米淀粉的糊化特性进行测定,结果如图 1、表 9 所示。‘苏玉糯 5 号’与‘苏科糯 11’较另外两种糯玉米的淀粉具有更高的峰值黏度,表示其在充分糊化后能呈现出更好的黏性。‘苏科糯 1505’的淀粉较其他糯玉米淀粉有更高的回复值,表明其易回生,使其质地变差,这也与煮熟后‘苏科糯 1505’籽粒的硬度较高有一定关系,可能由于其淀粉回生,从而导致硬度较高。结合感官评定数据可得,‘苏玉糯 5 号’与‘苏科糯 11’的淀粉虽呈现出了更高的峰值黏度,且在籽粒中两种鲜食糯玉米的淀粉质量分数更高,但在感官评定分数中糯性分数较低,这可能由于在 RVA 测定过程中,淀粉能有足够的水分在加热中充分糊化,故呈现出了良好的糊化特性;而在籽粒中,过多的淀粉、不足量的水分等原因使淀粉的糊化过程受到限制,故食用品质

呈现出较差的糯性及口感。这说明玉米籽粒中淀粉的糊化过程应该作为判断鲜食玉米食用品质的重要因素。

图 1 鲜食玉米淀粉 RVA 曲线图

Fig. 1 RVA curve of fresh corn starch

表 9 鲜食玉米淀粉糊化特性

Table 9 Gelatinization characteristics of fresh corn starch

玉米品种	糊化温度/℃	峰值黏度/cp	谷值黏度/cp	终值黏度/cp	崩解值/cp	回复值/cp
苏玉 29	76.0	889	710	1 031	179	321
苏玉糯 5 号	73.9	1 835	882	1 124	953	242
苏科糯 11	73.9	1 879	922	1 135	957	213
苏科糯 1505	72.7	1 635	745	1 015	890	270
苏科糯 1704	72.8	1 629	722	943	907	221

2.5 鲜食糯玉米淀粉结构性质

2.5.1 结晶结构 根据淀粉的 X 射线衍射图谱,可以将淀粉晶体构型分为不同类型。结果如图 2、表 10 所示。糯玉米淀粉呈现 A 型峰^[28],这与前期相关研究结论相似。糯玉米淀粉在 2θ 为 15° 、 17° 、 18° 、 23° 处有明显衍射峰,且 17° 、 18° 的衍射峰强度最大。相较于普通玉米淀粉,糯玉米淀粉的尖峰强度、相对结晶度更大,糯玉米间相对结晶度差异较小。有研究表明结晶度与栽培条件有关,玉米生长过程中灌浆期温度对淀粉结晶度影响较大^[29]。

图 2 鲜食玉米淀粉的 XRD 图像
Fig. 2 XRD image of fresh corn starch

表 10 鲜食玉米淀粉晶体结构性质
Table 10 Crystal structure properties of fresh corn

玉米品种	相对结晶度/%	尖峰强度			
		2θ 为 15°	2θ 为 17°	2θ 为 18°	2θ 为 23°
苏玉 29	14.58	1 889	2 193	2 183	1 616
苏玉糯 5 号	16.68	2 125	2 495	2 523	1 854
苏科糯 11	16.25	2 169	2 505	2 457	1 840
苏科糯 1505	18.86	2 118	2 455	2 421	1 826
苏科糯 1704	17.66	2 092	2 389	2 373	1 825

2.5.2 链长分布 糯玉米淀粉主要含有支链淀粉,支链淀粉为高度分支化聚合物,其短侧链以双螺旋的形式堆叠形成结晶片层^[30]。研究表明,支链淀粉的侧链结构亦与淀粉质食品的质地密切相关。结果如表 11 所示,玉米间支链淀粉侧链的分子链结构差

异性不大,这可能与玉米品种基因型差异不大有关。但基因型差异使淀粉在生长期积累的量不同,导致籽粒中淀粉的糊化程度不同,这是影响糯玉米食用品质的关键因素。

表 11 鲜食玉米淀粉链长分布
Table 11 Starch chain length distribution of fresh corn

玉米品种	分布比例/%				平均链长
	DP 6~12	DP 13~24	DP 25~36	DP>36	
苏玉 29	46.29±0.26	41.74±0.19	7.81±0.25	4.16±0.09	13.17±0.19
苏玉糯 5 号	49.50±0.27	39.22±0.21	7.28±0.29	4.00±0.13	13.16±0.25
苏科糯 11	49.25±0.30	39.44±0.19	7.15±0.31	4.16±0.14	13.27±0.22
苏科糯 1505	48.95±0.22	39.51±0.30	7.32±0.25	4.22±0.08	13.22±0.21
苏科糯 1704	49.65±0.27	38.96±0.36	7.17±0.18	4.21±0.20	12.88±0.25

2.6 相关性分析

为进一步确定鲜食糯玉米食用品质与相关性之间的关系,表明各性质之间的关联程度,采用了相关性分析,结果如表 12 所示。糯性分数、口感分数与糊化度呈显著正相关($P<0.05$),相关系数分别为 0.698、0.651,这表明蒸煮过程中淀粉的充分糊化可以使糯玉米呈现良好糯性;同时糯性分数、口感分数与淀粉结晶度呈显著正相关($P<0.05$),相关

系数分别为 0.665、0.753,这是因为糊化与淀粉粒分子间缔合程度、分子排列紧密程度、微晶束的大小以及密度有关^[31]。糯玉米支链淀粉质量分数为 95%~98%,支链淀粉质量分数与多项指标具有相关性:支链淀粉质量分数与口感分数呈显著正相关($P<0.05$),相关系数为 0.642;支链淀粉质量分数与硬度呈显著负相关($P<0.05$),相关系数为-0.742。相较于普通玉米,糯玉米中含有较少量的直链淀粉,不易

回生,硬度较低时能呈现较好口感。水分质量分数与总淀粉质量分数呈显著负相关 ($P<0.05$),相关系数为-0.710,这可能与采收期推迟有关,水分在籽粒中不断减少,而淀粉在籽粒中不断合成积累,导致总淀粉质量分数增加。鲜食糯玉米中淀粉几乎全部为支链淀粉,故支链淀粉质量分数为糯玉米品质的关键指标。相关性分析结果说明,在支链

淀粉质量分数几乎相等且性质相近的情况下,鲜食糯玉米中淀粉质量分数、煮制后淀粉的糊化度对鲜食糯玉米食用品质有决定性的影响。对于不同品种鲜食糯玉米,通过确定最佳的淀粉质量分数并确定其煮制后淀粉的糊化状态来判断最优采摘品质,对指导并确定最佳采收期十分重要。

表 12 鲜食玉米不同性质之间相关性分析

Table 12 Correlation analysis of different properties of fresh corn

指标	糯性	皮质感	口感	水分质量分数	皮渣率	总淀粉质量分数	支链淀粉质量分数	硬度	咀嚼性	糊化度	峰值黏度	回复值	热焓值	结晶度	平均链长
糯性	1														
皮质感	0.959***	1													
口感	0.941***	0.963***	1												
水分质量分数	0.428	0.372	0.360	1											
皮渣率	-0.006	0.077	-0.054	-0.239	1										
总淀粉质量分数	-0.026	0.020	-0.113	-0.710*	0.640*	1									
支链淀粉质量分数	0.591	0.497	0.642*	-0.163	-0.182	0.127	1								
硬度	-0.079	0.054	-0.161	0.214	0.420	0.153	-0.742*	1							
咀嚼性	0.179	0.318	0.129	-0.153	0.594	0.578	-0.251	0.791**	1						
糊化度	0.698*	0.596	0.651*	0.531	-0.405	-0.379	0.538	-0.490	-0.493	1					
峰值黏度	0.396	0.319	0.461	-0.418	-0.191	0.286	0.956***	-0.751*	-0.213	0.345	1				
回复值	-0.326	-0.209	-0.310	0.434	0.016	-0.387	-0.863**	0.798**	0.336	-0.434	-0.893***	1			
热焓值	-0.148	-0.060	-0.279	0.135	0.525	0.212	-0.742*	0.931***	0.702*	-0.507	-0.749*	0.700*	1		
结晶度	0.665*	0.586	0.753*	0.428	-0.559	-0.501	0.744*	-0.617	-0.477	0.805**	0.584	-0.426	-0.707*	1	
平均链长	0.568	0.677*	0.557	0.056	0.524	0.387	0.103	0.566	0.870**	-0.156	0.034	0.144	0.482	-0.046	1

注: * 表示在 $P<0.05$ 水平显著相关, ** 表示在 $P<0.01$ 水平显著相关, *** 表示在 $P<0.001$ 水平显著相关。

3 结 语

通过对 4 种鲜食糯玉米基本品质及其籽粒内部淀粉相关性质的研究,对影响鲜食糯玉米品质的

因素进行了相关性分析,找出了影响鲜食糯玉米口感的部分重要因素。研究结果表明,鲜食糯玉米煮制后籽粒中淀粉糊化度对口感影响较大,籽粒中适宜的水分质量分数、淀粉质量分数对糊化度有关键

影响,不同糊化度糯玉米的适口性有差异;籽粒皮渣率及果皮韧性同样对口感存在较大影响。淀粉是鲜食糯玉米中的重要物质,鲜食糯玉米间淀粉糊化度及热力学特性略有差异,因条件限制未继续展开深入研究。通过对影响鲜食糯玉米食用品质的关键

因素展开研究,确定不同品种在一定种植条件下的最佳采摘期,用客观数据反映鲜食糯玉米品质,筛选或培育更加优良且符合市场喜好的品种,对鲜食糯玉米产业的发展具有深远意义。

参考文献:

- [1] 马先红,李峰,宋荣琦.玉米的品质特性及综合利用研究进展[J].粮食与油脂,2019,32(1):1-3.
MA X H,LI F,SONG R Q. Research on quality characteristics and comprehensive utilization of maize [J]. *Cereals and Oils*, 2019,32(1):1-3. (in Chinese)
- [2] 龙德祥,任晓菊,李勤,等.鲜食玉米育种概况及新品种选育方法[J].中国种业,2018(1):21-23.
LONG D X,REN X J,LI Q,et al. General situation of fresh corn breeding and breeding methods of new varieties[J]. *China Seed Industry*, 2018(1):21-23. (in Chinese)
- [3] 孙丽娟,赵志宏,贺娟,等.我国鲜食玉米相关标准问题分析及对策[J].作物杂志,2019(2):46-50.
SUN L J,ZHAO Z H,HE J,et al. Analysis of fresh corn standards and its countermeasures in China[J]. *Crops*, 2019(2):46-50. (in Chinese)
- [4] 李祥艳,唐海涛,张彪,等.我国鲜食甜糯玉米产业现状及前景分析[J].农业与技术,2014,34(4):219-221.
LI X Y,TANG H T,ZHANG B,et al. Present situation and prospect analysis of fresh sweet waxy corn industry in China[J]. *Agriculture and Technology*, 2014,34(4):219-221. (in Chinese)
- [5] ZHU M,LI K,LI F H,et al. Correlation between the lignin content and mechanical properties of waxy corn pericarp[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014,179:266-270.
- [6] 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.
XU L,ZHAO J R,LU B S,et al. Current situation and development trend of fresh corn seed industry in China[J]. *China Seed Industry*, 2020(10):14-18. (in Chinese)
- [7] 陆大雷,闫发宝,陆卫平.鲜食糯玉米籽粒理化特性的基因型差异[J].核农学报,2012,26(1):95-101.
LU D L,YAN F B,LU W P. Genotypic difference of physicochemical properties of fresh waxy maize grain[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2012,26(1):95-101. (in Chinese)
- [8] 轩瑞瑞,陈艳萍,刘春菊,等.基于熵权法和灰色关联度法的鲜食糯玉米品质评价[J].食品工业科技,2021,42(14):241-248.
XUAN R R,CHEN Y P,LIU C J,et al. Quality evaluation of different varieties of fresh-edible waxy corns based on entropy weight method and grey interconnect degree analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021,42(14):241-248. (in Chinese)
- [9] 程玉静,陈国清,石明亮,等.糯玉米淀粉RVA特征谱与品尝评分相关性研究[J].江西农业学报,2017,29(11):21-24.
CHENG Y J,CHEN G Q,SHI M L,et al. Study on correlation between starch RVA characteristic spectrum and tasting evaluation score of waxy corn[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2017,29(11):21-24. (in Chinese)
- [10] 唐明霞,陈惠,顾拥建,等.乳熟期玉米糊化热力学性质的分析[J].食品与生物技术学报,2015,34(3):291-294.
TANG M X,CHEN H,GU Y J,et al. Pasting thermodynamic analysis of maize in milky stage[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2015,34(3):291-294. (in Chinese)
- [11] 唐明霞,邱启程,袁春新,等.不同品种糯玉米组分对其煮制后食用品质的影响[J].食品与生物技术学报,2013,32(10):1070-1074.
TANG M X,QIU Q C,YUAN C X,et al. Effect of the components of the different varieties of waxy corn on their sensory quality [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2013,32(10):1070-1074. (in Chinese)
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [13] 牛丽影,沈凌雁,刘春菊,等.鲜食玉米质构特性分析[J].食品研究与开发,2020,41(12):48-53.
NIU L Y,SHEN L Y,LIU C J,et al. Texture analysis of fresh-edible corn[J]. *Food Research and Development*, 2020,41(12):48-53. (in Chinese)

- [14] 张凯迪. 鲜食玉米籽粒皮渣率的差异及其与品质和产量的关系[D]. 扬州:扬州大学,2008.
- [15] LIU K S, HAN J C. Enzymatic method for measuring starch gelatinization in dry products in situ[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2012, 60(17):4212-4221.
- [16] 陆学中, 曾凡莲, 张德榜, 等. 湿法提取玉米淀粉的工艺优化[J]. 粮食与饲料工业, 2017(11):37-42.
LU X Z, ZENG F L, ZHANG D B, et al. Optimization of wet extraction process and properties of corn starch[J]. **Cereal and Feed Industry**, 2017(11):37-42. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [19] 李娜, 张英华. 用 RVA 仪分析玉米淀粉的糊化特性[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(6):20-24.
LI N, ZHANG Y H. Analysis on pasting properties of maize starch by RVA [J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2011, 26(6):20-24. (in Chinese)
- [20] 刘长姣, 姜爽, 朱珠. DSC 法测定水分含量对玉米淀粉糊化和老化特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(11):7-9.
LIU C J, JIANG S, ZHU Z. Effects of water content on gelatinization and aging of corn starch detected by DSC[J]. **Cereals and Oils**, 2018, 31(11):7-9. (in Chinese)
- [21] 王志伟, 王喆, 周中凯. 不同支链比例玉米淀粉脱支重结晶后的组分变化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20):66-70.
WANG Z W, WANG Z, ZHOU Z K. Composition changes of debranched and recrystallized corn starch with different branch ratio[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2019, 40(20):66-70. (in Chinese)
- [22] 刘萍. 中国鲜食甜、糯玉米品种试验产量与品质评价体系的建立[D]. 扬州:扬州大学,2007.
- [23] 董宗宗, 乔勇进, 刘晨霞, 等. 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, et al. Study on the influence of different harvesting times on the quality of fresh waxy corn[J]. **Acta Agriculturae Shanghai**, 2020, 36(4):19-24. (in Chinese)
- [24] 刘亚平, 李红波. 物性分析仪及 TPA 在果蔬质构测试中的应用综述[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2010, 30(2):188-192.
LIU Y P, LI H B. Review on the application of texture analyzer and TPA in the assessment for fruits and vegetables texture[J]. **Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)**, 2010, 30(2):188-192. (in Chinese)
- [25] GUTIÉRREZ-CORTEZ E, ROJAS-MOLINA I, ROJAS A, et al. Microstructural changes in the maize kernel pericarp during cooking stage in nixtamalization process[J]. **Journal of Cereal Science**, 2010, 51(1):81-88.
- [26] 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)
- [27] 蔡旭冉, 顾正彪, 洪雁, 等. 瓜尔胶和黄原胶对马铃薯淀粉及其变性淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(17):22-26.
CAI X R, GU Z B, HONG Y, et al. Effects of guar gum and xanthan gum on pasting and rheological properties of native and modified potato starch[J]. **Food Science**, 2011, 32(17):22-26. (in Chinese)
- [28] 尹旭敏, 赵小皖, 赵国华, 等. 成熟度对渝甜糯玉米淀粉颗粒形态及理化特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(7):104-110.
YIN X M, ZHAN X W, ZHAO G H, et al. Effect of maturity on structure and physical and chemical properties of Yutian waxy corn starch[J]. **Food Science**, 2013, 34(7):104-110. (in Chinese)
- [29] 陆大雷, 王德成, 赵久然, 等. 生长季节对糯玉米淀粉晶体结构和糊化特性的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(3):499-505.
LU D L, WANG D C, ZHAO J R, et al. Crystalline structure and pasting properties of starch in eight waxy corn cultivars grown in spring and autumn[J]. **Acta Agronomica Sinica**, 2009, 35(3):499-505. (in Chinese)
- [30] KROK F, SZYMIONSKA J, TOMASIK P, et al. Non-contact AFM investigation of influence of freezing process on the surface structure of potato starch granule[J]. **Applied Surface Science**, 2000, 157(4):382-386.
- [31] 李春燕, 封超年, 王亚雷, 等. 不同小麦品种籽粒淀粉理化特性的差异及其相关[J]. 作物学报, 2007, 33(7):1129-1134.
LI C Y, FENG C N, WANG Y L, et al. Differences and correlations of starch physicochemical properties among different wheat cultivars[J]. **Acta Agronomica Sinica**, 2007, 33(7):1129-1134. (in Chinese)