



程玉静,王小秋,仇亮,等.糯玉米果皮厚度研究进展[J].黑龙江农业科学,2021(8):108-111.

糯玉米果皮厚度研究进展

程玉静,王小秋,仇亮,翟彩娇,宋旭东

(江苏沿江地区农业科学研究所,江苏如皋 226541)

摘要:糯玉米糯、甜、嫩、香,营养丰富,风味独特,深受广大消费者青睐,其食味品质是决定品种优劣和经济价值的重要因素,果皮厚度直接关系到糯玉米的柔嫩性和皮渣感,是影响食味品质最为重要的关键因子之一。为进一步促进糯玉米的育种及生产,本文总结了糯玉米果皮性状、果皮厚度测定方法、果皮厚度影响因素以及遗传规律等4个方面的研究进展,并对糯玉米品质育种方面进行了展望。

关键词:糯玉米;食味品质;果皮厚度

糯玉米是 Wx 基因隐性突变(wx)后经人工选择形成的9个玉米属亚种之一^[1],胚乳高含支链淀粉使蒸煮后食用呈糯性。糯玉米软黏可口、清甜香郁,富含膳食纤维、蛋白质、维生素、矿物质和氨基酸^[2-3],经常食用有助于降三高、调理肠胃、延缓衰老、护肤养颜^[4],作为新鲜上市的功能性保健粗粮消费品在市场中日益走俏^[5-6]。

糯玉米在国内的消费以青嫩果穗直接食用为主,其食用品质是品种优劣和经济效益的重要决定因素^[7]。研究认为糯玉米的糯性、柔嫩性、甜度、皮渣感及风味等因子和食味品质密切相关^[8-9],果皮厚度则直接影响柔嫩性和皮渣感^[10-11],从而对糯玉米食味品质产生较大影响,因此果皮厚度是决定糯玉米口感最重要的因子之一^[12]。具有优异食味品质的鲜食糯玉米食用时无皮感、无渣、柔嫩细腻,反之差品质的则皮渣感强、皮厚且硬,甚至难以咀嚼。

虽然我国在鲜食糯玉米品种选育方面取得了一定的成绩,选育出了诸如苏玉糯、苏科糯、京科糯和渝科糯系列优良品种,但是具有优异食味品质的品种依然缺乏,尤其是果皮性状方面,仍存在皮厚、皮渣感强、柔嫩性差等问题,严重制约了糯玉米产业的发展。前人对甜玉米籽粒果皮厚度方面的研究较多^[13-15],而糯玉米果皮厚度相关方面的研究仍不够深入,鉴于果皮性状选择的复杂性和重要性^[16],本文简要总结了糯玉米果皮厚度测定方法、影响因素、遗传规律和基因定位方面研究进展,以期对高品质糯玉米育种及生产提供借鉴。

1 糯玉米果皮的作用

糯玉米的果皮由来自子房壁形成的果皮和珠被发育而来的种皮密切结合而形成^[17]。果皮在籽粒中的比重较小,仅有6%^[18],由灰分、纤维、油分、淀粉和少量蛋白组成。糯玉米果皮将籽粒包裹在内,可使籽粒免受外力损伤、防止病菌入侵和保持水分,同时对籽粒的干燥速率和发芽出苗具有重要影响^[19]。糯玉米果皮的厚度大约为30~150 μm ,果皮细胞层数一般为4~30层^[20]。本课题组检测了200余份糯玉米核心种质的果皮厚度,变化区间为34.89~115.00 μm ,具有广泛的遗传变异。

2 糯玉米果皮厚度测量方法

由于糯玉米果皮对于食味品质和商品品质的重要影响,获得精确的果皮厚度进行相关研究十分重要。品尝鉴定法、硬度计法、测微计法和显微测微尺法是目前常用的检测方法。

2.1 品尝鉴定法

品尝鉴定法是由专家品尝蒸煮糯玉米后直接得出评分结果。具体流程一般如下:将供品尝品种进行编号,蒸煮过后将样品在相同部位切成相同大小,组织人员进行品尝,样品之间需进行漱口以保证不受上一供试样品干扰。果皮厚薄评价指标按照农业部行业标准(NY/T 523-2020)^[21]执行。品尝鉴定法方法简单、易于操作,目前在玉米果皮厚度测量中仍有一定应用。尽管有一定的评分标准,但是由参评人员品尝评分存在较大的主观任意性,不同育种家的经验和口味对品种的选育有着重大的影响。

2.2 硬度计法

最早使用硬度计测量玉米果皮厚度的研究见

收稿日期:2021-04-12

基金项目:江苏省六大人才高峰项目(NY-165)。

第一作者:程玉静(1984—),女,硕士,副研究员,从事特经作物育种与栽培研究。E-mail:741816300@qq.com。

于 1976 年 Tabor 等^[22]的研究报道。硬度计法即用探头垂直扎入糯玉米籽粒顶部,用硬度计穿刺玉米果皮时需要的压力数值来表示果皮厚度,利用硬度计方法可以避免品尝鉴定时受人为因素影响大的缺点,保证了数据的客观、统一。Daniel 等^[23]和王振华^[24]用硬度计法很好地区分了不同甜玉米品种的果皮厚度,但并不适用于糯玉米果皮厚度的测定,测定的糯玉米果皮厚度和品尝法评定的结果相关性较低^[25]。原因可能是测量时期为乳熟期,不同于其他类型玉米,该时期糯玉米籽粒中积累了较多的固形物,因此测量获得的数值所反映的不是穿透果皮的能力,而是自交系籽粒果皮和胚乳共同的穿透能力。因而,该方法对于糯玉米果皮的测量结果准确性还有待进一步确认。

2.3 测微计法

测微计法最早见于 Wolf 等^[26]的报道,由于需要抽真空,因此操作复杂实用性不强,后经去除抽真空装置等不断改进形成 Martin 改良法沿用至今^[27-28]。即用解剖刀在籽粒顶端切下 2 mm×4 mm 的果皮,将果皮用甘油稀释液软化晾干后用千分尺进行测量。本课题组在研究过程中发现测微计法无论是否抽真空,其前处理过程均较复杂繁琐,而且在进行大批量测定时任务繁重、历时长,难以在果皮测定中高效批量应用。因此,探索了一种新的测定方法,即将采收的糯玉米果穗速冻于一 18 ℃ 的冰柜中,待测前取出,在 20 ℃ 左右的室温中解冻 6~10 min,由于其果皮和果肉的解冻速率不同,此时糯玉米的果皮很容易从籽粒中剥离出来,再用千分尺测量其果皮厚度。既可精确地将果皮从果肉部分分离用于精准测定,又可将待测果穗储存在速冻冷柜中随测随取,测定所需装置及步骤十分简便快捷。该方法已用于申请国家发明专利“鲜食糯玉米皮渣率的测定方法”^[29]。

2.4 显微测微尺法

随着时间的推进,对于玉米果皮厚度测量方法也随之改进。在显微测微尺法中,前期对于玉米籽粒的处理方法与测微计法并未存在较大差异,在测量时直接将处理好的样品放置于显微镜下进行厚度测量。利用显微测微尺法李余良等^[30]测定了 19 个超甜玉米自交系和品种的果皮厚度,测定结果准确稳定,精确区分了不同自交系和品种间果皮厚度的差异,所测品种的变化趋势

和品尝评定结果相符合。显微测微尺是一种简便精准的测量鲜食玉米果皮厚度的方法。故在试验研究中,有较多的研究者采用显微测微尺法进行鲜食玉米果皮厚度的测定^[31-32],很好地支撑了研究的开展,取得了良好的研究成果。

3 影响糯玉米果皮厚度的因素

糯玉米果皮厚度在灌浆期处于不断变化之中,其变化规律尚未取得一致结论,可能是品种、测定方法、环境和遗传等因素影响的结果。郭强等^[33]研究发现,糯玉米灌浆期果皮厚度呈抛物线式动态变化,果皮厚度在授粉后 20 d 时达到最大,而后随着籽粒成熟脱水细胞排列紧密而逐渐变薄,和乐素菊等^[34]的研究结果一致,但是李水琴^[35]得到了不同的研究结果,糯玉米授粉后的果皮厚度呈直线增厚的变化。果皮厚度在果皮形成期间受诸多因素的影响,多项研究表明采摘时间对果皮厚度有很大影响,收获时间早,果穗籽粒果皮较薄;采摘期迟于最佳适采期,籽粒水分含量下降,导致果皮增厚,影响鲜食口感和品质^[36]。Michela 等^[37]发现玉米籽粒中 *PI* 基因发生突变后,果皮中韧皮酚的含量和厚度大小发生变化,且韧皮酚含量与果皮厚度呈正相关关系,猜测 *PI* 基因可能通过调节韧皮酚的积累从而影响果皮厚度。另有研究发现,糯玉米的果皮组织结构^[38]以及雄穗长和行粒数^[39]等因素也和籽粒果皮厚度存在一定的联系,果皮厚度与雄穗长具有较高的正相关关系,和行粒数具有较高负相关关系。可见糯玉米果皮厚度和农艺性状间存在着一定的关联,深入解析之间的相互关系及作用机理,对于果皮厚度和其他农艺性状的协同高效改良具有重要的作用,值得深入探究。

4 糯玉米果皮厚度遗传规律研究

前人对糯玉米果皮厚度遗传规律的研究结果并不完全一致,主要有两种结论,一是果皮厚度主要是加性遗传,二是果皮厚度以非加性效应为主。常大军等^[40]研究认为糯玉米果皮厚度以加性遗传为主, F_1 籽粒果皮厚度偏向于薄果皮的亲本;曾慕衡等^[41]发现果皮厚度遗传变异受加性基因和非加性基因共同作用且表现为负向超亲优势。而张垚等^[42]发现果皮厚度以非加性效应为主,其广义遗传力较高而狭义遗传力较低,和石明亮等^[43]与沈雪芳等^[44]的研究结果一致。由此可见,糯玉米果皮厚度的遗传规律还有待进一步研

究。通过分子技术的应用,大量的研究表明玉米果皮厚度可能是由几个主基因和一些修饰基因控制,但迄今还未定位到与果皮厚度相关的主效基因。目前研究者通过构建不同的研究群体,成功定位到一些与果皮厚度相关的 QTL。Rocheford 等^[45]挖掘到了 12 个与糯玉米果皮厚度相关的 QTL,且部分 QTL 和控制果穗性状的 QTL 位于相似的染色体区域。Park 等^[46]在第 4、5、8 和 9 染色体上定位到了 4 个与果皮厚度性状相关的 QTLs。胡冲^[47]以 RIL 群体为材料,检测到 5 个控制籽粒果皮厚度和粒长的 QTL,其中 qPT7-2 在多环境分析中起到稳定和主效的作用,可能对糯玉米果皮厚度的调控起重要作用。最新研究发现,糯玉米的果皮厚度和百粒重在 *Opaque2* (*O2*) 基因突变后发生显著变化,可能是 *Opaque2* 基因突变带来的结果,但关于内在具体的变化响应调控值得深入研究^[48]。综合来看,前人定位的糯玉米果皮厚度 QTL 并不完全一致,其可靠性有待进一步验证,精细定位及基因挖掘工作仍然任重道远;和其他农艺性状的关联性为产量、品质间的协同改良提供了可能。

5 展望

糯玉米作为绿色保健休闲食品,深得广大消费者的喜爱,但目前市场上的糯玉米品种果皮大都较厚,柔嫩性差,渣多皮感重,严重影响了其食味品质和商品价值。而人们食用鲜食糯玉米时首要的感受就是其在口中咀嚼的感觉,因此果皮厚度是品质改良的关键育种目标之一。目前针对糯玉米果皮厚度的研究较少,果皮厚度的形成机理尚不明确是制约糯玉米品质育种的原因之一,同时由于果皮厚度受到采摘时间、果皮组织结构、胚乳等多方面的影响,无疑增大了糯玉米品质育种的难度。在今后的研究中一是应注重对糯玉米果皮厚度形成机理的研究,加强运用基因编辑及分子标记辅助选择等生物技术手段,着重开展果皮厚度相关 QTL 以及基因精细定位研究;二是加强种质创新研究,引进拓宽优异种质资源和协同聚合改良,利用种质的遗传多样性及和其他性状的关联关系开展果皮厚度的改良工作;三是平衡糯玉米果皮厚度和其他农艺性状关系,尽管果皮厚薄是影响适口性的主要因素,但是果皮过薄容易造成果皮破裂、种子损伤等,影响其成熟以及萌发,因此,要选育厚薄适中的品种,达到最佳的品种性状。

参考文献:

- [1] 卢媛,艾为大,韩晴,等.糯玉米自交系 SSR 标记遗传多样性及群体遗传结构分析[J].作物学报,2019,45(2):214-224.
- [2] 龚魁杰,刘治先,陈利容,等.鲜食糯玉米的主食化探讨[J].中国农学通报,2012,28(36):312-316.
- [3] 吴嘉点,薛林,胡加如,等.鲜食糯玉米食味品质性状相关分析及优质新品种筛选[J].金陵科技学院学报,2019,35(2):57-60.
- [4] 王俊生.鲜食甜糯玉米的营养价值及优质栽培技术[J].吉林蔬菜,2018(3):27-28.
- [5] HARAKOTR B, SURIHARN B, TANGWONGCHAI R, et al. Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking[J]. Food Chemistry, 2014, 164(3):30-31.
- [6] SIMLA S, BOONTANG S, HARAKOTR B. Anthocyanin content, total phenolic, and antiradical capacity in different ear components of purple waxy corn at two maturation stages[J]. Australian Journal of Crop Science, 2016, 10(5):675-682.
- [7] 史振声,钟雪梅.鲜食玉米新品种选育原理与技术技巧[J].玉米科学,2016,24(2):1-5.
- [8] 曾三省.鲜食糯玉米的品种及其品质评价[J].上海农业科技,2002(1):55-56.
- [9] 宋雪皎,马兴林,关义新,等.影响糯玉米鲜食品质因素的研究[J].玉米科学,2005(1):115-118.
- [10] 赵文明,陈艳萍,孟庆长,等.鲜食糯玉米品质与主要品质性状的灰色关联度分析[J].金陵科技学院学报,2010,26(4):48-51.
- [11] 魏常敏,宋万友,周文伟,等.鲜食糯玉米蒸煮品质综合评价和品质性状相关分析[J].湖南农业科学,2020(9):79-81.
- [12] BAILEY D M, BAILEY R M. The relation of the pericarp in tenderness in sweet corn[J]. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 1938, 36: 555-559.
- [13] 周淑梅,李小琴.甜玉米果皮厚度研究的综述[J].作物杂志,2003(5):44-46.
- [14] 刘鹏飞,蒋锋,乐素菊,等.甜玉米果皮厚度主基因+多基因遗传效应分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013(7):43-48.
- [15] 周淑梅,李小琴,孙秀东.甜玉米籽粒果皮厚度变化规律的研究[J].作物杂志,2008(1):17-20.
- [16] 朱敏,史振声,钟雪梅.脆质果皮糯玉米自交系的选育及其特性研究[J].玉米科学,2016,24(1):24-27.
- [17] 刘鹏飞.鲜食型糯玉米主要品质性状的遗传特性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2008.
- [18] DAWEI D, ZEYANG M, RENTAO S. Maize kernel development[J]. Molecular Breeding, 2021, 41(1):2.
- [19] 姚晓云,史振声.鲜食玉米果皮厚度研究进展[J].种子,2013,32(5):49-50.

- [20] 陈利容. 鲜食糯玉米采后生理结构变化及相关酶代谢研究[D]. 济南:山东大学, 2014.
- [21] 农业农村部. 专用籽粒玉米和鲜食玉米: NY/T 523—2020 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [22] TABOR R L. Corn improvement, seed production, and uses[J]. Soil Science Society of America Journal, 1976, 40(6): 4.
- [23] DANIEL L, BAJTAY I, GULYASNE I. Quality breeding in sweet corn[J]. Aeta Horticulturae, 1988, 220: 143-148.
- [24] 王振华. 甜玉米品质性状与部分农艺性状的相关分析[J]. 玉米科学, 1998(2): 22-25.
- [25] 张士龙, 潘登, 王青峰, 等. 果实硬度计评定鲜食玉米果皮柔嫩度的可行性[J]. 作物杂志, 2012(3): 62-65.
- [26] WOLF M J, CULL I M, Helm J L, et al. Measuring thickness of excised mature corn pericarp[J]. Agronomy Journal, 1969, 61(5): 777-779.
- [27] MARTIN S S, LOESCH P J, WISER W J. Simplified technique for measuring pericarp thickness in maize[J]. Maydica, 1980, 25(1): 9-16.
- [28] 洪雨年. 用测微计测定甜玉米果皮厚度[J]. 上海农业学报, 1995(4): 51-54.
- [29] 程玉静, 郝德荣, 宋旭东, 等. 鲜食糯玉米皮渣率的测定方法: CN110907307A[P]. 2020-03-24.
- [30] 李余良, 林瑞德, 胡建广, 等. 用显微测微尺测定超甜玉米果皮厚度初报[J]. 广东农业科学, 2004(S1): 48-49.
- [31] 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.
- [32] 乐素菊, 肖德兴, 刘鹏飞, 等. 超甜玉米果皮结构与籽粒柔嫩性的关系[J]. 作物学报, 2011, 37(11): 2111-2116.
- [33] 郭强, 于玲玲, 赵贵元. 不同采收期对糯玉米子粒品质的影响[J]. 作物杂志, 2017(2): 126-129.
- [34] 乐素菊, 王晓明, 张璧, 等. 果蔬型糯玉米与普通玉米乳熟期籽粒碳水化合物含量及果皮厚度研究[J]. 广东农业科学, 2004(6): 40-42.
- [35] 李水琴. 不同类型鲜食玉米主要品质形成规律的研究[D]. 昆明: 云南大学, 2017.
- [36] 赵健, 罗艳, 王永宏, 等. 影响糯玉米鲜食品质的因素研究[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(12): 1-3.
- [37] MICHELA L, DANIEL P, ELENA C, et al. Phlobaphenes modify pericarp thickness in maize and accumulation of the fumonisin mycotoxins [J]. Scientific Reports, 2020, 10: 1417-1422.
- [38] KHALIL T, KRAMER A. Histological and histochemical studies of sweet corn (*Zea mays* L.) pericarp as influenced by maturity and processing[J]. Journal of Food Science, 2010, 36(7): 1064-1069.
- [39] 刘鹏飞. 鲜食型糯玉米主要品质性状的遗传特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.
- [40] 常大军, 张亚田, 刘晓广, 等. 糯玉米果皮厚度遗传变异初探[J]. 现代化农业, 1996(2): 16-18.
- [41] 曾慕衡, 刘鹏飞, 蒋锋, 等. 鲜食型糯玉米果皮厚度和支链淀粉含量的遗传特性[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 97-103.
- [42] 张垚, 杨跃华, 孔亮亮, 等. 鲜食型糯玉米果皮厚度和皮渣率的配合力及相关性分析[J]. 河北农业科学, 2018, 22(1): 67-70.
- [43] 石明亮, 郝德荣, 黄小兰, 等. 糯玉米种质鲜食品质构成性状的育种潜力测试与评价[J]. 华北农学报, 2016, 31(S1): 242-251.
- [44] 沈雪芳, 颜韶兵, 钱卿, 等. 糯玉米鲜食品质性状的配合力及遗传参数分析[J]. 上海农业学报, 2009, 25(2): 1-5.
- [45] ROCHEFORD T R. Genetic and QTL analysis of pericarp thickness and ear architecture traits of Korean waxy corn germplasm[J]. Euphytica, 2012, 183: 243-260.
- [46] PARK K J, SA K J, KOH H J, et al. QTL analysis for eating quality-related traits in an $F_{2:3}$ population derived from waxy corn \times sweet corn cross[J]. Breeding Science, 2013, 63(3): 325-332.
- [47] 胡冲. 鲜食玉米果皮厚度以及粒型性状的 QTL 定位分析[D]. 成都: 四川农业大学, 2016.
- [48] 刘晓丽. *Opaque2* 对鲜食期糯玉米籽粒品质的影响[C]//中国作物学会. 第十九届中国作物学会学术年会论文摘要集. 武汉, 2020.

Research Progress on Pericarp Thickness of Waxy Corn

CHENG Yu-jing, WANG Xiao-qiu, QIU Liang, ZHAI Cai-jiao, SONG Xu-dong

(Institute of Agricultural Sciences in Riverside Region of Jiangsu, Nantong 226541, China)

Abstract: Waxy corn is waxy, sweet, tender and fragrant, rich in nutrition and unique flavor, which is favored by the majority of consumers. Its eating quality is an important factor to determine the quality of varieties and economic value. The thickness of peel is directly related to the tenderness and skin residue feeling of waxy corn, which is one of the most important key factors affecting eating quality. In order to further promote the breeding and production of waxy corn, the research progress of four aspects of waxy corn peel characteristics, peel thickness measurement methods, peel thickness influencing factors and genetic law were summarized in this paper, the prospect of waxy corn quality breeding was also discussed.

Keywords: waxy corn; taste quality; pericarp thickness