

我国糯玉米种质资源的研究现状

聂术君, 陈发波* (长江师范学院生命科学与技术学院, 重庆 408100)

摘要 糯玉米(*Zea mays* L. *ceretina* kulesh)又称蜡质玉米,是一种大众食品,其鲜果穗可用作鲜食或加工,子粒和茎秆可作粮食、饲料。我国是糯玉米的起源地,也是糯玉米种质资源最丰富的国家。从表型水平、生理生化水平、分子水平及遗传育种等方面综述了我国糯玉米研究现状,提出了当前糯玉米种质资源研究存在的问题,并对其研究前景进行了展望。

关键词 糯玉米;种质资源;研究现状

中图分类号 S513 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)03-00694-02

Research Situation of Waxy Corn Germplasm in China

NIE Shu-jun et al (Department of Life Sciences and Technology, Yangtze Normal University, Chongqing 408100)

Abstract Waxy corn also names glutinous corn, is a common food that can be used as fresh food, food processing and feed. China is the origin of waxy corn, which has the most abundant waxy corn germplasm resources. The research achievements of waxy corns were summarized from aspects of morphologic, physiochemical, and molecular characteristics, the existing problems were proposed, the research prospect was forecasted.

Key words Waxy corn; Germplasm resource; Research situation

糯玉米(*Zea mays* L. *ceretina* kulesh)又称糯质玉米、蜡质玉米或黏玉米。干燥后,糯玉米胚乳失去光泽,颜色浅暗^[1]。糯玉米子粒蒸煮后呈黏性、柔软、口感细腻、香味特殊,淀粉易被人体消化,消化率高出普通玉米16%,是一种大众食品,其鲜果穗可用作鲜食或加工,子粒和茎秆可作粮食、饲料,也是一种很好的工业原料。因其具有产地广泛、加工便捷、口味独特、营养丰富、价格便宜等优势而受到广大消费者的喜爱^[2]。我国学者已从表型水平、分子水平、生理生化水平、杂种优势群利用等方面对糯玉米开展了研究工作,笔者对其进行综述。

1 表型性状研究

植物特定的外部形态特征可以作为表现型,如株高、叶形、叶色、花期、花朵形态、果实和种子形态等。表现型容易观察研究,记录较为简单,以前的研究许多都围绕表现型进行,但植物的形态特征易受环境条件影响,不易获得准确数据。目前关于糯玉米表现型的研究正逐渐转向基因与表型结合的方向。

糯玉米顶部叶片都位于植株主茎的同一侧,植株上部叶片特别竖直,而下部叶片较舒展且下垂。糯质玉米子粒晦暗,不透明,蜡质状,所以又称蜡质玉米,糯质玉米且有植株高、生育期长的特点。傅同良对33个糯玉米自交系进行主成分分析,结果表明,可将33个自交系划分为17类,玉米自交系间遗传距离与杂种单株粒重平均优势指数之间呈显著正相关^[3]。张建华等研究了332份云南糯玉米的表型多样性,将供试材料划分为5类、6个生态类型^[4]。时成俏等利用相关分析和通径分析研究了糯玉米不同数量性状间的关系,结果表明,其果穗的各项性状如行数、粒重、百粒重、果穗

长度等对产量影响较大,在育种时应引起高度重视^[5-7]。廖原等将糯玉米子粒按黄、白、黑、紫、彩等不同颜色分为几大类型,其中黄色和白色子粒的糯玉米占优势^[8]。王慧等对200份糯玉米的果穗性状及淀粉品质特性进行分析,结果表明,果穗长、行数、行粒数、果穗粗、粗淀粉含量、支链淀粉/粗淀粉呈正态分布^[9]。

2 生理生化特征研究

我国糯玉米品种含有较丰富的赖氨酸和油脂。赖氨酸具有品种差异,油脂的含量较高,其利用价值较高^[10]。基因表达的差异可以由生理生化特征的不同而反映出来,如淀粉糊化程度、黏度、灌浆特性等。生理生化标记不易受环境影响,已大量用于糯质玉米育种、栽培、高产等方面的研究。

陆大雷等分别研究了糯玉米淀粉理化特性、鲜食期和成熟期子粒的理化特性、拔节期追施氮肥与糯玉米淀粉粒分布的关系、灌浆结实期子粒淀粉理化特性的变化及氮、磷、钾基肥配施和拔节期追氮对粉糊化特性和子粒物性的影响等,研究表明,淀粉中Na、Mg、Mn、S、K、Cu、Fe的品种差异并不是十分显著,不同元素与光吸收、溶解度、糊化温度、热焓值、崩解值等有不同关系;鲜食期和成熟期糯玉米粉都较好地表现糯性,与鲜食期相比,成熟期糯玉米粉淀粉含量、蛋白质含量、玉米粉的结晶度和膨胀势高,而溶解度和透光率低;播期、品种和拔节期追氮显著改变淀粉粒分布,且播期对淀粉粒分布的影响最大;子粒干重和淀粉含量随着灌浆进程推进逐渐升高,子粒含水率、蛋白质和可溶性糖含量逐渐降低;糯玉米灌浆结实期理化特性有显著差异,淀粉粒大小和品质成分的变化引起了淀粉糊化和热力学特性发生变化,但品种间变化趋势存在差异;灌浆结实期土壤水分胁迫对糯玉米粉糊化和热力学特性有显著影响,水分亏缺时糯玉米粉峰值黏度和崩解值较低,起始温度、峰值温度和回生值较高;基肥配比和拔节期追氮对子粒物性有显著影响,且基肥对比对物性参数影响大于拔节期追氮,氮磷钾均衡施用、拔节期适量追氮时,子粒具有较好的黏着性、咀嚼度和脆度,并优化糯玉米糊化

基金项目 重庆市科委攻关项目(CSTC2011AB1022);国家自然科学基金项目(31371633)。

作者简介 聂术君(1992-),女,重庆人,从事作物遗传育种研究。*通讯作者,副教授,博士,从事作物遗传育种研究。

收稿日期 2014-01-06

特性^[11-17]。

王鹏文等研究了糯玉米子粒的灌浆特性,结果表明,合理的灌溉及施肥可以通过影响灌浆速率和时间来增加产量和品质^[18]。温大兴等研究了糯玉米品种的灌浆特征,结果表明,与普通玉米相比,糯玉米子粒灌浆、干重增长只能维持较短时间,最大灌浆速率也不高^[19]。因此,如果在糯玉米灌浆期管理不当或受不良影响,其品质和品味都明显降低。陈雅芳等研究施氮量对糯玉米杂交种光合特性和产量性状的影响,结果表明,低施氮量能够提高糯玉米的净光合速率,适当降低施氮量不会影响糯玉米的光合性状和产量性状,但可以降低农业生产的投入和减少环境污染^[20]。谭军利等研究了糯玉米对盐碱地土壤环境变化的响应机理,结果表明,土壤环境随着滴灌种植年限延长而发生了较大变化,而糯玉米的生长指标及产量能够反映出这种变化^[21]。

3 分子水平的研究

分子标记具有操作简单、结果精确、价格便宜等特点,因此基于 DNA 多态性分析的分子标记技术已经成为育种研究的主要方法。近年来,关于用分子标记技术研究糯玉米遗传多样性的报道较多。

田孟良等从 93 对 SSR 引物中筛选 64 个引物对云南、贵州糯玉米进行检测,分析表明,不同的品种之间具有较高的相似性^[22]。蒋思霞等选用了 84 个自交系品种,利用 SSR 比较了 71 个糯玉米地方品种间的基因差异,150 对 SSR 引物中有 71 对电泳条带呈现出鲜明的多态性,其中等位基因数为 342 个;各等位基因间的遗传距离为 0.02 ~ 0.32,均值为 0.17。可知,84 个自交系类群可划分为 8 大组别;10 个连锁群的 71 个 SSR 位点共 2 485 个组合,21 个 SSR 座位与糯玉米产量及性状相关。各品种间都存在一定的连锁不平衡^[23]。吴渝生等研究了云南地区糯玉米的遗传多样性,结果表明,16 份糯玉米分为 3 个类群和 5 个亚群^[24]。雍洪军等利用 31 个荧光 SSR 位点分析了 96 份糯玉米材料的遗传多样性,结果共检测到 216 个等位变异,将供试材料划分为 3 个类群,广西和贵州的糯玉米地方品种的遗传多样性相对更丰富^[25]。胡萍等利用 15 对糯玉米核心引物,采用 SSR 分子标记技术检测了贵州糯玉米品种间的遗传差异,结果表明,共检测出 205 个等位基因,将 36 份糯玉米划分为 3 个类群^[26]。吴斌等利用 100 对 SSR 引物对西双版纳小糯玉米进行分析,结果表明,共检测出 353 个等位基因,可将 36 个小糯玉米聚为 6 个类群^[27]。王兵伟等研究了广西糯玉米地方品种的 SRAP 分子标记遗传多样性,结果表明,可将 49 份糯玉米地方品种划分为 5 个类群^[28]。

4 Waxy 基因研究

目前,对于糯玉米基因型的研究主要集中于定位糯质基因的位置、控制的性状及表达的程度之上。利用现代分子技术对糯玉米品种的单拷贝 *Wax* 基因序列进行克隆、测序、分析、比对,已从基因水平上研究了糯玉米品种丰富的基因型,分析各个品种间的基因差异,为创造出各具特色的玉米种质类群奠定了基础。

Collins 将糯玉米的结构基因命名为 *Waxy*, Emerson 等将其定位为第 9 染色体的一个特殊基因,位点为 9 ~ 59^[29]。研究表明, *Waxy* 基因位于玉米第 9 染色体 9.03 位置,它编码的淀粉合成酶为颗粒凝结型,它决定糯玉米子粒中直链淀粉的合成,是决定玉米胚乳淀粉类型和性质的关键基因之一^[30]。Nelson 等研究发现,在普通玉米中 *Wx* 基因正常表达,其胚乳的淀粉由 25% 左右的直链淀粉和 75% 左右的支链淀粉所组成^[31]。近年来,利用 DNA 序列研究植物或作物种群已成为分子研究的热点之一。田孟良等分析了西南地区不同糯玉米的 *Waxy* 基因部分序列,结果发现,西南糯玉米第 10 外显子同一位置缺失 15 个核苷酸,从近缘物种中引入等位变异是改良玉米淀粉质量和产量的关键^[32]。姚坚强等研究了来自中国、泰国和韩国糯玉米的基因突变类型和表观直链淀粉含量,结果表明,中国糯玉米的 *wx* 基因的遗传多样性很低,主要存在 *wx-D7* 和 *wx-D10* 两种突变类型,占 96.9%^[33]。

5 杂种优势及配合力研究

准确地进行糯玉米品种的杂交,选育具有杂交优势的品种,构成杂交种的优势群体,综合利用自交和杂交的优势,可以提高育种的水平,保持国内糯玉米育种先进水平,已有各种不同的新方法用于糯玉米优势群体划分的研究。潘伟明等用完全双列杂交法 II 鉴定了 8 个自交系糯玉米品种果穗性状的配合力和遗传效应,结果表明:W23、W7、W27 配合力有较大正值;各材料、各性状间的配合力的作用方向和遗传效应的大小各不相同^[34]。陆芳芳等研究了淀粉 RVA 的 7 个黏度性状的杂种优势表现,结果表明,淀粉 RVA 各性状均存在广泛的变异,杂种与双亲淀粉 RVA 黏度性状之间的关系因性状而异,其中在峰值黏度、谷值黏度、沉降值、回落值 4 个性状上,杂种与母本、中亲值 RVA 参数均达到了极显著正相关^[35]。王兵伟等研究了 10 个糯玉米自交系主要性状的配合力,结果表明,父本系间和母本系间各性状的一般配合力(GCA)效应存在极显著差异,株高、穗位高、出苗至吐丝天数和出子率等性状的杂种优势主要受基因的加性效应影响,产量的杂种优势主要受基因的非加性效应影响^[36]。梁庆平等研究了 7 个鲜食糯玉米自交系的杂种优势,结果表明,鲜食糯玉米主要性状的超中优势和超亲优势,其正向部分都普遍大于负向部分,且各性状不同组合的杂种优势存在着较大差异^[37]。

6 存在的问题及展望

近几年来,糯玉米在许多行业的广泛应用使学者们意识到了其发展潜力。虽然我国糯玉米在育种、种植和基因等方面已有大量的研究报道,但缺乏系统深入的理论分析,对于地方品种的保护和种质改善也有待加强。目前我国糯玉米研究主要存在以下 3 个问题:①种质资源利用和创新力度不够,截至 2006 年我国保存的糯玉米品种多达 500 多个,已存入国家长期种质库,收录糯玉米种质共有 900 多份。虽有丰富的研究资源,但针对糯玉米种质资源进行系统的研究却相对较少;②我国糯玉米研究起步较晚,传统农家品种果穗小、抗逆性差、品质低且成熟期迟,难以获高产,种植仅限某地区

(下转第 764 页)

表 6 2 种杀虫剂防治花生蛴螬示范增收情况

处理	成熟荚果产量//元/hm ²			增收//元/hm ²			纯收益 元
	完好荚果	受害荚果	合计	成熟果	嫩果	合计	
60%吡虫啉悬浮种衣剂 900 ml 拌种	22 203.45	2 257.80	24 461.25	21 223.65	-594.90	20 628.75	19 398.75
30%毒死蜱微囊悬浮剂 9 000 ml 拌种	9 922.35	4 345.05	14 267.40	11 029.80	147.75	11 177.55	10 532.55
对照	1 757.10	1 480.50	3 237.60				
60%吡虫啉悬浮种衣剂 1 125 ml 拌种	12 253.35	4 347.45	16 600.80	6 405.15	509.55	6 914.70	5 414.70
30%毒死蜱微囊悬浮剂 7 500 ml 沟施	11 296.50	4 687.65	15 984.15	5 788.50	877.20	6 665.70	5 773.20
对照	3 478.05	6 717.60	10 195.65				

60%吡虫啉悬浮种衣剂 2 种处理杀虫效果、保果效果高于或相等于 30%毒死蜱微囊悬浮剂 2 种处理。使用 60%吡虫啉悬浮种衣剂 900 ml/hm² 处理的增产率高于 30%毒死蜱微囊悬浮剂 900 ml/hm² 拌种处理。用 60%吡虫啉悬浮种衣剂 1 125 ml/hm² 处理的增产率略高于 30%毒死蜱微囊悬浮剂 7 500 ml/hm² 土壤处理。建议生产上推广应用 60%吡虫啉悬浮种衣剂 900 ml 拌种/hm² 或 30%毒死蜱微囊悬浮剂 7

500 ml/hm² 土壤处理。30%毒死蜱微囊剂 9 000 ml 直接拌种处理有一定药害,以后在拌种时加入稀稠泥炭或其他辅助物拌和能否减轻药害,有待进一步试验。

参考文献

- [1] 肖彬. 花生田蛴螬防治[J]. 中国农村小康科技, 2009(4): 59-60.
- [2] 赵志强, 曲明静, 鞠倩, 等. 杀虫剂拌种防治花生田蛴螬效果的研究[J]. 江西农业学报, 2011(5): 88-90.
- [15] 陆大雷, 孙旭利, 王鑫. 灌浆结实期水分胁迫对糯玉米粉理化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(5): 909-916.
- [16] 陆大雷, 孙旭利, 王鑫. 基肥配比和拔节期追氮对鲜食糯玉米子粒物性的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(3): 557-562.
- [17] 陆大雷, 王鑫, 孙旭利. 基肥配施和拔节期追氮对糯玉米粉糊化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(5): 909-916.
- [18] 王鹏文, 杨扬. 两个鲜食糯玉米品种子粒灌浆特性的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9427-9429.
- [19] 温大兴, 王鹏文, 辛德财. 普通玉米与糯玉米子粒灌浆特性比较研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9430-9432.
- [20] 陈雅芳, 王金龙, 吴锡冬. 不同施氮水平下糯玉米杂交种及亲本光合特性的研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(33): 44-48.
- [21] 谭军利, 康跃虎, 窦超银. 干旱区盐碱地覆膜滴灌不同年限对糯玉米生长和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(23): 4957-4967.
- [22] 田孟良, 黄玉碧, 刘永建, 等. SSR 标记揭示的云南省、贵州省糯玉米与普通玉米种质资源的遗传差异[J]. 四川农业大学学报, 2003, 21(3): 213-216.
- [23] 蒋思霞, 倪正斌, 印志同, 等. 糯玉米自交系遗传多样性及其产量、农艺性状与 SSR 分子标记的关联研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(6): 3212-3217, 3283.
- [24] 吴渝生, 郑用琰, 孙荣, 等. 基于 SSR 标记的云南糯玉米、爆裂玉米地方种质遗传多样性研究[J]. 作物学报, 2004, 30(1): 36-42.
- [25] 雍洪军, 张世煌, 张德贵, 等. 利用 SSR 荧光标记分析 90 个糯玉米地方品种的遗传多样性[J]. 玉米科学, 2009, 17(1): 6-12.
- [26] 胡萍, 刘涛, 郑晓峰, 等. 贵州糯玉米地方品种的 SSR 遗传多样性分析[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(5): 1-5.
- [27] 吴斌, 李建, 柯浩, 等. 西双版纳糯玉米地方品种遗传多样性分析[J]. 玉米科学, 2013, 21(2): 17-23.
- [28] 王兵伟, 覃永媛, 覃嘉明, 等. SRAP 分子标记分析广西糯玉米地方品种的遗传多样性[J]. 南方农业学报, 2013, 44(1): 12-16.
- [29] 许崇香, 李长久. 糯质玉米的研究进展[J]. 玉米科学, 1995, 3(3): 16-18.
- [30] 张学舜, 田守芳, 刘经纬, 等. 普通玉米育种种的研讨[J]. 玉米科学, 2001, 9(3): 42-44.
- [31] NELSON O E, RINES H W. The enzymatic deficiency in the *Waxy* mutation of maize[J]. Biochem Biophys Res Comm, 1962(9): 297-300.
- [32] 田孟良, 黄玉碧, 谭功燮, 等. 西南糯玉米地方品种 *waxy* 基因序列多态性分析[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 729-736.
- [33] 姚坚强, 鲍坚东, 朱金庆, 等. 中国糯玉米 *Wf* 基因种质资源遗传多样性[J]. 作物学报, 2013, 39(1): 43-49.
- [34] 潘伟明, 曾慕衡. 鲜食型糯玉米果穗性状配合力及遗传效应研究[J]. 华南农业大学学报, 2012(3): 32-36.
- [35] 陆芳芳, 陆卫平, 刘萍, 等. 糯玉米淀粉 RVA 黏度的杂种优势分析[J]. 作物学报, 2006, 32(4): 503-508.
- [36] 王兵伟, 黄安霞, 覃永媛, 等. 20 个糯玉米自交系几个主要性状的配合力分析[J]. 西南农业学报, 2012, 25(1): 22-27.
- [37] 梁庆平, 杨婵. 鲜食糯玉米主要性状杂种优势分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(9): 2002-2007.

(上接第 695 页)

内, 导致许多优良地方糯玉米种质没有得到充分的利用; ③关于糯玉米的研究主要集中于遗传多样性及自交系的选育方面, 而对其实用的应用性研究较少, 有待加强储藏、保鲜方面的研究。

针对目前糯玉米研究所存在的问题, 在以后的研究方向及方法上, 应当注意以下 3 个方面: ①系统评价我国糯玉米种质, 加快培育优质糯玉米品种, 加强糯玉米杂交优势利用研究; ②加强不同经度、纬度、地域、南北引种试验, 扩大糯玉米种质基础, 满足全方位、多层次的不同消费及工业生产需求; ③加强现代分子技术在糯玉米种质资源利用方面的研究, 利用分子标记等方法研究糯玉米遗传多样性, 并实现分子标记辅助育种。

参考文献

- [1] 李玉军, 刘婷婷, 张泽志. 糯玉米起源、研究及发展概况[J]. 耕作与栽培, 2010(3): 52-53.
- [2] 马毅, 霍建中, 冯留锁, 等. 鲜食糯玉米研究现状及高产栽培技术[J]. 种业导刊, 2008(10): 29.
- [3] 傅同良. 33 个糯玉米自交系遗传主成分和距离分析[J]. 中国农业科学, 1995, 28(5): 46-53.
- [4] 张建华, 米艳华, 张金渝, 等. 云南糯玉米资源的多样性及其利用[J]. 西南农业学报, 2004, 17(6): 712-716.
- [5] 时成俏, 王兵伟. 鲜食糯玉米主要数量性状对鲜穗产量的作用及效应分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2282-2284.
- [6] 李永洪, 谢戎, 唐春, 等. 糯玉米主要穗部性状研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(4): 929-934.
- [7] 赵佃英, 李寅书, 胡婷婷, 等. 鲜食糯玉米主要农艺性状的遗传相关及通径分析[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(1): 4-7.
- [8] 廖原, 金姣, 李泉. 糯玉米漫谈[J]. 云南农业, 2010(2): 41.
- [9] 王慧, 郑洪建, 卢有林, 等. 糯玉米种质资源的果穗性状和淀粉品质特性多样性分析[J]. 上海农业学报, 2013, 29(3): 59-62.
- [10] 周波, 胡学安. 郑黄糯 2 号糯玉米不同密度产量及品质效应研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(10): 132-136.
- [11] 陆大雷, 陆卫平. 基肥配比和拔节期追氮对糯玉米淀粉糊化特性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(7): 1253-1258.
- [12] 陆大雷, 郭焕粉, 董策, 等. 鲜食期和成熟期糯玉米粉理化特性的差异[J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2170-2178.
- [13] 陆大雷, 郭焕粉, 陆卫平. 播期、品种和拔节期追氮量对糯玉米淀粉粒分布的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(2): 263-270.
- [14] 陆大雷, 闫发宝, 陆卫平. 糯玉米灌浆结实期子粒淀粉理化特性变化[J]. 中国农业科学, 2011, 44(23): 4793-4800.