

周蓉, 赵统敏, 赵丽萍, 等. 高光泽番茄育种及果实表面光泽度[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1437-1440.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2018.06.033

高光泽番茄育种及果实表面光泽度

周蓉^{1,2}, 赵统敏^{1,2}, 赵丽萍^{1,2}, 王银磊^{1,2}, 宋刘霞^{1,2}, 余文贵^{1,2}

(1.江苏省农业科学院蔬菜研究所, 江苏 南京 210014; 2.江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要: 随着人们生活水平的提高, 消费者对番茄的品质要求越来越高, 培育高光泽的番茄品种成为育种家的主要目标之一。本文主要从番茄果实表面光泽度鉴定方法、基因定位及光泽度与角质层的关系三方面, 对目前番茄果实光泽度方面的研究进行综述, 以期对番茄高光泽分子标记辅助育种体系的建立和果皮光泽度形成的遗传机理研究提供参考。

关键词: 番茄; 育种; 光泽度

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)06-1437-04

High-glossiness tomato breeding and fruit surface glossiness

ZHOU Rong^{1,2}, ZHAO Tong-min^{1,2}, ZHAO Li-ping^{1,2}, WANG Yin-lei^{1,2}, SONG Liu-xia^{1,2},
YU Wen-gui^{1,2}

(1. *Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*; 2. *Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China*)

Abstract: With the improvement of people's living standard, consumers are increasingly demanding the quality of tomatoes. Breeding tomato varieties with high glossiness has become one of the main purposes of breeders. The previous researches concerning fruits glossiness mainly in the aspect of identification method, gene mapping and the relationship between glossiness and cuticle were reviewed in this paper in order to provide a reference for the establishment of molecular marker assisted breeding system on tomato high-glossiness and genetic mechanism of the fruit glossiness formation.

Key words: tomato; breeding; glossiness

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)不仅是重要的世界性蔬菜作物, 而且是科学研究的模式植物之一。番茄可作蔬菜或水果, 由于其丰富的营养和独特的风味, 备受大家的青睐^[1]。近年来, 随着人们生活水平的提高, 消费者对番茄的要求越来越高。培育高品质番茄新品种已成为当今番茄育种工作者追求

的主要目标。品质性状是一种由多个因素构成的复合性状, 受外界气候、土壤肥料、栽培方式等多个因素的影响, 但起主要作用的是遗传因素。色泽优良的番茄能够更好地吸引消费者, 因此番茄果实表面的色泽直接影响消费者的选择, 是重要的感官品质。

1 高光泽番茄育种

近年来, 番茄品质育种主要集中在风味、外形、大小、着色及耐贮性等方面^[2]。随着人们生活水平的提高, 消费者对番茄的要求不再局限于口感^[3], 番茄果实的色泽等感官品质直接影响其市场价值^[4], 因此提高番茄的感官品质已成为番茄育种家

收稿日期: 2018-01-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0101904)

作者简介: 周蓉(1989-), 女, 江苏淮安人, 博士, 助理研究员, 主要从事高品质番茄育种工作, (Tel) 025-84390663; (E-mail) applezhourong2014@163.com

通讯作者: 赵统敏, (E-mail) tmzhaomail@163.com

的重要目标^[5]。光泽度是番茄果实的一个重要感官品质性状^[6]。根据光泽的高低或有无可以将番茄果实分为不同类别,如高光泽、低光泽、无光泽。高光泽的番茄具有较好的商品性,能够更好地吸引消费者,因此选育高光泽的番茄新品种有利于提高番茄的商品价值,是目前高品质番茄育种的重要目标之一。在番茄育种体系中,品质性状的测试耗时较长,必须等到番茄果实正常成熟后进行^[2],如果皮的光泽度。目前,高光泽番茄育种主要依靠肉眼观察的方法。在传统的育种中,对果皮光泽度性状的鉴定需要等到果实成熟期,耗时较长^[7]。分子标记辅助选择(Molecular Marker-assisted Selection, MAS)育种可有效地克服传统育种的缺陷,缩短育种周期,加速育种进程^[8-10]。然而,目前还没有可用于高光泽番茄辅助选择育种的分子标记。

2 果实表面光泽度

果实表面的光泽度属于感官品质性状,是重要的农艺性状之一,与经济价值密切相关。

2.1 果实表面光泽度的鉴定方法

近年来,对果实色泽的描述从感官的定性描述逐渐转向定量描述^[11]。果实色泽包含颜色和光泽,对颜色的定量描述方法主要是色差计法^[12-13],对光泽的定量描述方法在不同植物上有所区别。在辣椒上,利用色差计测定的颜色参数(*L*值),*L*值越大,所测样品表面越亮^[14]。在纽荷尔脐橙上,高光泽型突变体果实表皮极富光泽,基于色差计测定的*L*值对脐橙果皮光泽度的评价与肉眼观测的结果一致^[11]。在黄瓜上,剥取厚薄均匀且平整的黄瓜果皮,利用光泽度仪 HYD-09 可测得黄瓜果实的光泽值。在苹果上,通过拍照和图像处理识别系统可以对果实光泽度进行分级。目前,关于番茄色泽的报道多数集中在颜色方面,极少涉及光泽方面^[15-18],国内外尚无番茄果实表面光泽度测定方法的报道。

番茄果皮的光泽度是重要的外观性状之一,也是主要的经济性状。然而,番茄果皮的光泽度是一项难以测量的外观参数,研究人员往往根据个人经验,用肉眼观察的方法评价果实的光泽度^[6]。肉眼观察的方法个人主观性较强,容易产生视觉疲劳,测量误差较大,且不适于大规模光泽度的评价,不利于企业的大批量分类^[11]。周冰钰等^[7]利用光泽度仪测定黄瓜果实光泽值的方法对果实具有破坏性,需

要厚薄均匀且平整的果皮,且外界自然光会影响测量结果,不利于大规模测量。潘磊庆等^[19]测定苹果表面光泽度的方法要求具备图像拍摄和处理系统,对技术要求较高,操作较为复杂。因此,今后可尝试利用色差计测定并评价番茄果实表面的光泽度。

2.2 果实光泽度的遗传规律和基因定位

早期的研究结果表明,黄瓜果皮无光泽性状(Dull fruit skin)为单基因控制的显性性状,有光泽(Glossy fruit skin)为隐性性状^[20]。杨绪勤^[21]认为黄瓜无光泽性状是由单基因*D*控制的显性性状。Fanourakis 和 Simon^[22]发现黄瓜无光泽果皮基因(*D*)、果瘤基因(*Tu*)和未成熟果实果皮颜色一致基因(*u*)紧密连锁。Miao 等^[23]将黄瓜光泽基因*d*定位于第5染色体 SSR 标记 *SSR06003* 和 *SSR15818* 之间,遗传距离分别为 0.6 cM 和 5.5 cM。大多数重要农艺性状常常受到多个基因、环境及环境与基因互作的影响,这些性状的遗传机制往往复杂^[24],如番茄的光泽度性状。因此确定遗传性状的数量性状位点(Quantitative trait loci, QTL),对性状相关的标记开发和遗传分析具有重要意义^[25]。目前,还没有可用于高光泽番茄辅助选择育种的分子标记,番茄光泽度相关的主效 QTL 有待研究。传统的 QTL 定位方法需要对目标性状的所有个体进行基因型和表型鉴定,费用高且效率低^[26]。基于基因组数据的 QTL-Seq(Quantitative trait loci-sequences)包含分离群体混合分析法(Bulked segregation analysis, BSA)和基因组重测序技术,有利于大规模地开发与目标性状紧密连锁的分子标记,实现目标基因的快速定位^[27-28]。因此,今后可结合 QTL-Seq 技术研究番茄光泽度相关的主效 QTL。

2.3 果实光泽度与角质层密切相关

角质层是植物器官的保护层,由表皮细胞和角质组成,由蜡覆盖^[6,29]。角质层是植物的一级保护屏障,在植物面临非生物胁迫和生物胁迫时发挥着重要作用^[30-31]。角质层对果实的生理和品质特性具有更为重要的作用,它能够影响果实的外观(如色泽)和耐贮性等^[32-34]。Isaacson 等^[33]发现番茄果实的光泽性状与表皮细胞的角质聚合物有关,与蜡粉无关。Liu 等^[29]研究发现,对照脐橙果皮表面粗糙,布满小片状蜡质晶体,突变体脐橙果皮光亮,表面几乎没有蜡质晶体。刘润生^[35]发现高光泽度成熟突变体脐橙的品质优于野生型。Petit 等^[6]通过

对 Micro-Tom 番茄品种进行甲基磺酸乙酯(EMS)诱变,从 3 500 份材料中筛选分离得到 16 个高光泽和 8 个光泽暗的突变体材料,这些突变体在蜡、角质、角质层厚度等方面发生改变。番茄果实光泽度的筛选是鉴定角质层突变体的有效方法,番茄果实光泽度与角质负载、表皮细胞数量和形状密切相关^[6]。Petit 等^[6]利用 Micro-Tom 的高光泽突变体 P15C12 与普通光泽度番茄材料杂交获得的 F₂ 群体构建遗传图谱,角质层相关的 4 个性状(光泽、失水率、渗透性和角质宽度)的基因定位在 11 号染色体的两个 SNP(11289_715 和 10722_814)之间,在该区域内筛选获得 *SIGDSL* 基因,与细胞外角质的沉积相关,研究结果表明果实表面的光泽度与角质层密切相关。

3 结论

随着生产的迫切需求,番茄高光泽育种工作已经开展,但高光泽番茄材料的选育仍依赖于传统肉眼观察的方法,调控番茄光泽度的基因尚不清楚,番茄果实表面光泽度形成的机理研究进展缓慢。Sato 等^[36]对栽培番茄和醋栗番茄全基因组进行测序,极大地推动了番茄以及其他茄科植物的功能基因组的研究,为培育高品质番茄新品种奠定了良好基础。Lin 等^[37]对 360 个番茄品种进行测序,其中包括野生型和驯化物种,构建出一张变异图谱,使育种工作者从整体的角度来认识不同类型番茄之间的差异。这些研究结果为基于基因组数据的 QTL-Seq 提供了必要条件,有利于大规模的开发序列特异性分子标记,如 SNP 和 Indel 标记。番茄是研究果实发育的模式植物^[38-40],今后的研究应利用现代分子生物学技术寻找与番茄果实光泽度相关的基因,开发高光泽番茄相关分子标记,结合角质层阐明番茄果实光泽度形成的内在机理。该研究可以为光泽度分子标记辅助育种体系的建立和果皮光泽形成的遗传机理奠定基础,有利于加快高品质番茄育种进程。

参考文献:

- [1] 芮文婧,张倩男,王晓敏,等. 47 份大果番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 92-95.
- [2] 李晓蕾,李景富,康立功,等. 番茄品质遗传及育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2010, 1(14): 1-7.
- [3] CAUSSE M, BURET M, ROBINI K, et al. Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences [J]. Journal of Food Science, 2003, 68(7): 2342-2350.
- [4] 赵润洲,刘鸣韬. 番茄果实色泽与色素组成的关系[J]. 河南农业科学, 2011, 40(9): 98-100.
- [5] LECOMTE L, GAUTIER A, LUCIANI A, et al. Recent advances in molecular breeding: the example of tomato breeding for flavor traits [J]. Acta Horticulturae, 2004, 637: 231-242.
- [6] PETIT J, BRES C, JUST D, et al. Analyses of tomato fruit brightness mutants uncover both cutin-deficient and cutin-abundant mutants and a new hypomorphic allele of GDSL lipase [J]. Plant Physiology, 2014, 164(2): 888-906.
- [7] 周冰钰,秦智伟,周秀艳,等. 黄瓜种质资源果皮表面光泽性评价[J]. 中国蔬菜, 2013(22): 27-31.
- [8] 朱明涛,孙亚林,郑莎,等. 分子标记辅助聚合番茄抗病基因育种[J]. 园艺学报, 2010, 37(9): 1416-1422.
- [9] 许向阳,赵婷婷,李景富. 番茄抗叶霉病基因 *Cf2* 的分子标记及种质资源筛选[C]//中国园艺学会. 2011 年学术年会论文摘要集. 北京:园艺学报, 2011.
- [10] XU X, LU L, ZHU B. QTL mapping of cucumber fruit flesh thickness by SLAF-seq [J]. Scientific Reports, 2015, 5: 15829-15838.
- [11] 刘德春,曾琼,刘勇,等. ‘纽荷尔’脐橙及其光泽型突变体果皮色差指数变化规律的研究[J]. 果树学报, 2013, 30(6): 914-917.
- [12] 王伟杰,徐建国,徐昌杰. 宫内伊予柑果实发育期间色泽和色素的变化[J]. 园艺学报, 2006, 33(3): 461-465.
- [13] 周蓉,蒋芳玲,梁梅,等. 用色差仪法定量分析番茄果实番茄红素的含量[J]. 江西农业学报, 2012, 24(9): 45-48.
- [14] 王利群,戴雄泽. 色差计在辣椒果实色泽变化检测中的应用[J]. 辣椒杂志, 2009, 7(3): 23-26.
- [15] GOMEZ R, COSTA J, AMO M, et al. Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(11): 1101-1105.
- [16] LOPEZ C A F, GOMEZ P A. Comparison of color indexes for tomato ripening [J]. Horticultura Brasileira, 2004, 22(3): 534-537.
- [17] 王孝宣. 增强番茄果实颜色基因的精细定位及相关基因的差异表达[D]. 北京:中国农业科学研究院, 2004.
- [18] RAM B S, GU L J. Ripening-dependent changes in antioxidants, color attributes, and antioxidant activity of seven tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars [J]. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2016(3): 1-13.
- [19] 潘磊庆,孙柯,屠康,等. 一种苹果表面光泽度检测方法: CN105699397A [P]. 2016-06-22.
- [20] POOLE C F. Genetics of cultivated cucurbits [J]. Journal of Heredity, 1944, 35(4): 122-128.
- [21] 杨绪勤. 黄瓜果瘤和果实无光泽性状基因的定位与功能分析[D]. 上海:上海交通大学, 2014.
- [22] FANOURAKIS N E, SIMON P W. Analysis of genetic linkage in

- the cucumber [J]. *Journal of Heredity*, 1987, 78(4): 238-242.
- [23] MIAO H, ZHANG S, WANG X, et al. A linkage map of cultivated cucumber (*Cucumis sativus* L.) with 248 microsatellite marker loci and seven genes for horticulturally important traits [J]. *Euphytica*, 2011, 182(2): 167-176.
- [24] SEMAGN K, BEYENE Y, WARBURTON M L, et al. Meta-analyses of QTL for grain yield and anthesis silking interval in 18 maize populations evaluated under water-stressed and well-watered environments [J]. *BMC Genomics*, 2013, 14(1): 313.
- [25] HOLLAND J B. Genetic architecture of complex traits in plants [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2007, 10(2): 156-161.
- [26] COLLARD B C, MACKILL D J. Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-biological Sciences*, 2008, 363(1491): 557-572.
- [27] MICHELMORE R W, PARAN I, KESSELI R V. Identification of markers linked to disease-resistance genes by bulked segregant analysis: a rapid method to detect markers in specific genomic regions by using segregating populations [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1991, 88(21): 9828-9832.
- [28] SUN Y, WANG J, JONATHAN C, et al. Efficiency of selective genotyping for genetic analysis of complex traits and potential applications in crop improvement [J]. *Molecular Breeding*, 2010, 26(3): 493-511.
- [29] LIU D C, ZENG Q, JI Q X, et al. A comparison of the ultrastructure and composition of fruits' cuticular wax from the wild-type 'newhall' navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. Newhall] and its glossy mutant [J]. *Plant Cell Reports*, 2012, 31(12): 2239-2246.
- [30] 许发喜,刘翠芳,邹杰,等. 植物角质层对非生物逆境胁迫响应研究进展[J]. *中国生物工程杂志*, 2010, 30(8): 126-130.
- [31] HAMANN T. Plant cell wall integrity maintenance as an essential component of biotic stress response mechanisms [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2012, 3(4): 77.
- [32] SALADIÉ M, MATAS A J, ISAACSON T, et al. A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity [J]. *Plant Physiology*, 2007, 144(2): 1012-1028.
- [33] ISAACSON T, KOSMA D K, MATAS A J, et al. Cutin deficiency in the tomato fruit cuticle consistently affects resistance to microbial infection and biomechanical properties, but not transpirational water loss [J]. *The Plant Journal*, 2009, 60(2): 363-377.
- [34] DOMÍNGUEZ E, CUARTERO J, HEREDIA A. An overview on plant cuticle biomechanics [J]. *Plant Science*, 2011, 181(2): 77.
- [35] 刘润生. 纽荷尔脐橙 (*Citrus sinensis* Osbeck Newhall) 蜡质突变株系的生物学评价 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [36] SATO S, TABATA S, HIRAKAWA H, et al. The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution [J]. *Nature*, 2012, 485(7400): 635.
- [37] LIN T, ZHU G, ZHANG J, et al. Genomic analyses provide insights into the history of tomato breeding [J]. *Nature Genetics*, 2014, 46(11): 1220-1226.
- [38] MUELLER L A, SOLOW T H, TAYLOR N, et al. The SOL Genomics Network: a comparative resource for Solanaceae biology and beyond [J]. *Plant Physiology*, 2005, 138(3): 1310-1317.
- [39] ADATO A, MANDEL T, MINTZORON S, et al. Fruit-surface flavonoid accumulation in tomato is controlled by a SIMYB12-regulated transcriptional network [J]. *Plos Genetics*, 2009, 5(12): e1000777.
- [40] RUIZMAY E, HUCKO S, HOWE K J, et al. A comparative study of lectin affinity based plant n-glycoproteome profiling using tomato fruit as a model [J]. *Molecular and Cellular Proteomics*, 2014, 13(2): 566-579.

(责任编辑:姜华珏)