

# 氯吡脲对不同基因型西瓜果肉质地的影响

张继文<sup>1</sup>, 朱红菊<sup>1</sup>, 何楠<sup>1</sup>, 赵永<sup>1</sup>, 袁路明<sup>1</sup>, 刘文革<sup>1</sup>, 路绪强<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业科学院郑州果树研究所 郑州 450009; 2. 中国农业科学院中原研究中心 河南新乡 453500)

**摘要:**为研究氯吡脲(CPPU)辅助授粉对西瓜果肉质地的影响,以100 mg·L<sup>-1</sup>的CPPU对4种基因型西瓜品种进行辅助授粉,对成熟西瓜果肉质地(硬度、脆度、胶着性、咀嚼性)及细胞壁多糖物质(粗纤维、纤维素、半纤维素、木质素、原果胶、可溶性果胶)含量进行检测和相关性分析。结果表明,不同基因型间西瓜果肉质地的影响与品种基因型密切相关;果肉质地差异分析表明,与人工授粉相比, CPPU处理后硬度、脆度、胶着性和咀嚼性4个TPA指标均有所提高,酥脆基因型及黄枚的两个处理方式间差异显著,而硬脆基因型蜜枚的两个处理方式间差异不显著。细胞壁多糖物质分析表明,与人工授粉相比, CPPU处理显著增加了硬脆基因型的粗纤维与纤维素含量,而酥脆基因型的趋势与之相反。此外,与人工授粉相比, CPPU处理可以导致西瓜果肉原果胶含量显著降低而可溶性果胶含量显著增加。相关性分析结果表明,酥脆型西瓜果肉质地的影响。研究结果为CPPU在西瓜生产中的应用提供了参考。

**关键词:**西瓜; 果肉质地; 人工授粉; CPPU

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)10-038-09

## Effects of forchlorfenuron on flesh texture of watermelon fruit in different genotypes

ZHANG Jiwen<sup>1</sup>, ZHU Hongju<sup>1</sup>, HE Nan<sup>1</sup>, ZHAO Yong<sup>1</sup>, YUAN Luming<sup>1</sup>, LIU Wenge<sup>1</sup>, LU Xuqiang<sup>1,2</sup>

(1. Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China; 2. Zhongyuan Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453500, Henan, China)

**Abstract:** The objective of this study was to investigate the impact of forchlorfenuron (CPPU) assisted pollination on the texture of watermelon flesh. Four genotypes of watermelon variety were assisted pollinated with 100 mg·L<sup>-1</sup> of CPPU. The effects of CPPU-assisted pollination on flesh texture (hardness, fracturability, gelatinousness, chewability) and cell wall polysaccharide substance content (crude fibre, cellulose, hemicellulose, lignin, protopectin, soluble pectin) were investigated through the application of correlation analysis. The results indicate that there are significant difference in the texture of watermelon flesh among different genotypes. Moreover, the effect of CPPU treatment on the texture of watermelon flesh is closely related to the genotype of the variety. The analysis of the difference in flesh texture revealed that the four TPA indicators of hardness, fracturability, stickiness and chewiness were all enhanced following CPPU treatment in comparison to that of artificial pollination. Moreover, the difference was statistically significant among the treatments for the crispy genotypes. However, no significant difference was observed among the treatments for the hard and crunchy genotypes. The analysis of cell wall polysaccharide substances demonstrated that the CPPU treatment resulted in an increase in the crude fibre and cellulose content of the crunchy genotypes, while the opposite trend was observed in the crispy genotypes. Additionally, the CPPU treatment resulted in a reduction in watermelon flesh protopectin content and an increase in soluble pectin content. Correlation analyses demonstrated that the texture of the watermelon flesh of the crisp genotypes was more susceptible to the effects of the CPPU treatment. The findings of this study provide reference for the potential application of CPPU in watermelon production.

**Key words:** Watermelon; Flesh texture; Artificial pollination; CPPU

收稿日期: 2024-05-06; 修回日期: 2024-07-16

基金项目: 河南省科技攻关项目(242102110242); 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目(CAAS-ASTIP-2021-ZFRI); 国家现代农业产业技术体系(CARS-25-03); 河南省重大科技专项(221100110400)

作者简介: 张继文, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为西瓜果实质地研究。E-mail: zjw7900@163.com

通信作者: 路绪强, 男, 副研究员, 研究方向为西瓜遗传育种。E-mail: luxuqiang@caas.cn

西瓜是葫芦科西瓜属植物,因其具有味甜多汁、富含多种维生素等特性,已经成为了一种重要的园艺作物。作为全球最大的西瓜生产与消费国,2022年我国西瓜生产面积139万 $\text{hm}^2$ ,其中设施栽培面积占比50%左右(FAO)。西瓜栽培模式主要包括设施栽培和露地栽培,其中设施栽培由于隔绝了外界环境,无法依靠蜜蜂等昆虫进行授粉,西瓜授粉必须借助一定的人工辅助坐果技术来确保西瓜的坐果率,高昂的人工授粉费用是限制西瓜现代化规模栽培的主要因素之一<sup>[1]</sup>。而氯吡脞(CPPU)作为一种合成的新型细胞分裂素,可以促进西瓜坐果,目前已在西瓜产业中大面积应用,但其对西瓜果实质地的影响至今仍存在一定争议<sup>[2]</sup>。因此,研究CPPU对西瓜果肉质地的影响,对提高西瓜的市场竞争力具有重要意义。

果实质地常常用来综合评价果实品质,它是果实商品性的重要指标。西瓜果肉质度不仅影响其食用品质,也关系到消费者的购买意愿。此前,西瓜果肉质度评价主要依靠感官评价,该方法存在明显的主观偏差以及无法定量等缺点。利用水果硬度计,通过测量水果硬度用于评价果实质地则忽略了果实脆度、咀嚼性等其他感官参数<sup>[3]</sup>。近年来,前人致力于通过使用质构仪(TPA)等仪器来确保水果质构评估参数的客观性,与感官评价相比,其操作更加简单方便,评价结果也更加客观和精准<sup>[4]</sup>。目前,关于果实质地与CPPU辅助授粉的相关研究有很多,Brummell<sup>[5]</sup>研究发现,果实细胞壁组分代谢是果实软化的主要因素,在其成熟和软化过程中,细胞壁多糖组分(粗纤维、纤维素、半纤维素和果胶)在一系列酶的催化作用下发生裂解,从而导致了细胞壁结构丧失和细胞壁黏附性减弱,从而影响果实质地。沈泰<sup>[6]</sup>用CPPU处理、人工授粉、蜜蜂授粉等3种坐果技术对甜瓜果实质地进行分析,结果表明,CPPU处理后的果实质地与蜜蜂授粉处理的效果相似,并且显著高于人工授粉。李佳桐等<sup>[7]</sup>研究发现,CPPU处理对西瓜的产量和果实质地具有显著的促进作用,能够提高产量并增加含糖量,该技术已被广泛采纳并应用于西瓜的栽培生产之中。黄远等<sup>[8]</sup>研究发现,CPPU处理能够增加西瓜果肉硬度、维生素C含量等从而影响口感。此外,纤维素和半纤维素含量较高可能会使果肉更加紧实,而果胶含量和状态则会影响果肉的多汁性和口感<sup>[9-11]</sup>。综上所述,当前的研究大多集中在CPPU处理下的坐果机制与单一品种果实质地的评价上,而关于不同基因型

西瓜品种在CPPU处理下的果肉质度变化的研究尚缺乏深入探讨。因此,笔者以不同基因型西瓜果实为研究对象,测定CPPU处理后西瓜果肉质度参数变化及果肉细胞壁多糖含量,以期明确CPPU处理对西瓜果实质地的具体影响,为实现西瓜优质高效栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料由中国农业科学院郑州果树研究所多倍体西瓜遗传育种课题组提供,所有品种均为自交系,具体品种名称及性状特征见表1。供试药剂氯吡脞(CPPU)由四川省兰月科技有限公司提供,其原液浓度( $\rho$ )为0.1%,分子式为 $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{ClN}_3\text{O}$ 。

表1 不同基因型西瓜品种信息

Table 1 Information sheet on watermelon varieties of different genotypes

材料名称 Materials name	果皮颜色 Rind colour	果肉颜色 Flesh colour	果肉质度 Flesh texture	成熟期 Maturity/d
蜜枚 Mimei	黑 Black	红 Red	硬脆 Brittle	35
黄枚 Huangmei	黑 Black	柠黄 Canary yellow	硬脆 Brittle	35
伊选 Yixuan	绿 Green	粉红 Pink	酥脆,无渣 Crispy, no crumbs	32
桔王 Juwang	绿 Green	黄 Yellow	酥脆,瓢粗 Crispy, coarse flesh	32

### 1.2 试验地概况

试验于2023年3—7月在中国农业科学院郑州果树研究所新乡综合试验基地进行,土质为砂壤土,每667 $\text{m}^2$ 施用优质农家肥2000 kg,硫酸钾型复合肥50 kg。该地区属温带大陆性季风气候,年平均气温14.0 $^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量656.3 mm,气候温和,光照充沛。

### 1.3 试验设计

试验采用双因素完全随机设计,分别为4种不同基因型西瓜和不同坐果处理方式(人工授粉与CPPU处理)。试验选取土壤理化性质相对一致的塑料大棚种植,为避免外界昆虫带来的影响,棚两侧的通风处和出入口均采用60目的纱网封闭,株行距为0.5 m $\times$ 2.5 m,小区面积25 $\text{m}^2$ ,3次重复。试验材料采用32孔穴盘育苗,选取长势健壮一致的3叶1心期的幼苗定植,采用地爬栽培、地膜覆盖、双蔓整枝,每株留1果,采用膜下滴灌水肥一体化方

式进行管理,上午7:30—9:00进行授粉处理。人工授粉选取当日开放的雄花与主蔓第二、第三雌花节位的雌花进行人工辅助授粉;CPPU处理需提前将CPPU可溶剂液稀释100倍( $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),用微型喷雾剂喷施于当日开放的主蔓第二、第三雌花节位雌花子房上,授粉期温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,使用吊牌记录授粉类型与授粉日期。判断西瓜是否成熟采取授粉日期计算法,成熟后选用授粉日期、坐果节位一致且外观相近的3个果实,带回试验室进行取样处理,用于质地剖面分析(TPA)与细胞壁多糖物质含量测定。

#### 1.4 试验指标测定方法

1.4.1 果实质地的测定 参考Lu等<sup>[12]</sup>和唐睿<sup>[13]</sup>利用TAXT Plus物理特性分析仪进行质地剖面分析(TPA)的测量方法。将西瓜纵向切为2半,按照剖面的上(果柄端)、下(花痕端)、左(向阳面)、右(向阴面)、中(果实中心)的顺序,分别切成 $1\text{ cm}\times 1\text{ cm}\times 1\text{ cm}$ 的小方块。将样品放置在TPA测试板上,使用P/100探针( $\phi 100\text{ mm}$ 压板)进行。预压速度、下压速度、压后上行速度分别设定为 $2.0$ 、 $1.0$ 、 $1.0\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 。果肉的压缩变形率为70%,压缩停止时间为 $5.0\text{ s}$ ,触发力为 $10.0\text{ g}$ 。使用质地剖面分析仪系统软件计算质构参数<sup>[14-15]</sup>。

1.4.2 细胞壁多糖物质含量的测定 粗纤维含量的测定参考Oyeyinka等<sup>[16]</sup>的方法。称取 $5.0\text{ g}$ 的样品加入 $100\text{ mL } 0.25\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫酸溶液中煮沸 $30\text{ min}$ ,然后过滤。使用沸水将不溶物连续清洗4次,以排出残留的硫酸。用 $100\text{ mL } 0.31\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的氢氧化钠处理残留物,然后用蒸馏水洗涤最终残留物的碱物质。然后将样品置于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下烘干,冷却后称质量(C1)。将样品在 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下焚烧 $2\text{ h}$ ,冷却后再次称质量(C2)。粗纤维含量计算公式如下:

$$w(\text{粗纤维})/\%=(\text{C2}-\text{C1})/\text{样品质量}\times 100。$$

果胶和纤维素含量的测定参考Zhou等<sup>[17]</sup>的方法稍作改进。采用味唑法测定果胶含量,采用蒽酮法测定半纤维素含量,采用质量分析法测定纤维素含量。步骤如下:将 $1.0\text{ g}$ 的果肉进行液氮处理并在冻干机中冻干 $48\text{ h}$ 。然后,加入 $10\text{ mL } 80\%$ 乙醇,煮 $20\text{ min}$ 。快速离心后( $8000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ , $8\text{ min}$ ),弃去上清液。用 $20\text{ mL}$ 乙醇和丙酮重新离心2次后获得粗细胞壁。称质量干燥后的细胞壁( $50\text{ mg}$ )按如下顺序提取不同成分:使用 $10\text{ mL } 50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钠( $\text{pH } 6.5$ )提取可溶性果胶,使用 $10\text{ mL } 50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ Na}_2\text{CO}_3$ (含 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ CDTA}$ )提取原果

胶, $4\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ KOH}$ (含 $1\%\text{ NaBH}_4$ )振荡 $5\text{ h}$ 得到半纤维素,将剩余部分用去离子水冲洗2次,得到纤维素。采用重量分析法测定木质素含量,将 $5\text{ g}$ 果肉在72%的硫酸中加热降解,使糖类化合物为可溶性状态而溶解,难溶解的固体为木质素。然后,用滤纸过滤,蒸馏水洗涤3次后进行干燥、称重。

#### 1.5 数据分析

试验数据采用Microsoft Excel 2016软件整理,采用IBM SPSS Statistics 27.0软件计算平均值和标准差,采用独立样本 $T$ 检验进行差异显著性分析,并采用Microsoft Excel 2016软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同授粉方式对不同基因型西瓜果肉质地的影响

从TPA试验中获得的果肉硬度、脆度、胶着性和咀嚼性指标可以全面地描述西瓜果肉质地的特征。由图1可知,西瓜果肉的硬度、脆度、胶着性、咀嚼性主要影响着果肉质度。

人工授粉处理时,果肉质地参数硬度、脆度、胶着性和咀嚼性的变化规律均符合蜜枚>黄枚>桔王>伊选的趋势,其中蜜枚的硬度、脆度、胶着性和咀嚼性最高,分别可以达到 $1\ 064.99\text{ N}$ 、 $405.49\text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $266.14\text{ N}$ 、 $932.46\text{ N}$ ,分别是最低伊选的2.3倍、2.7倍、3.1倍、3.1倍。

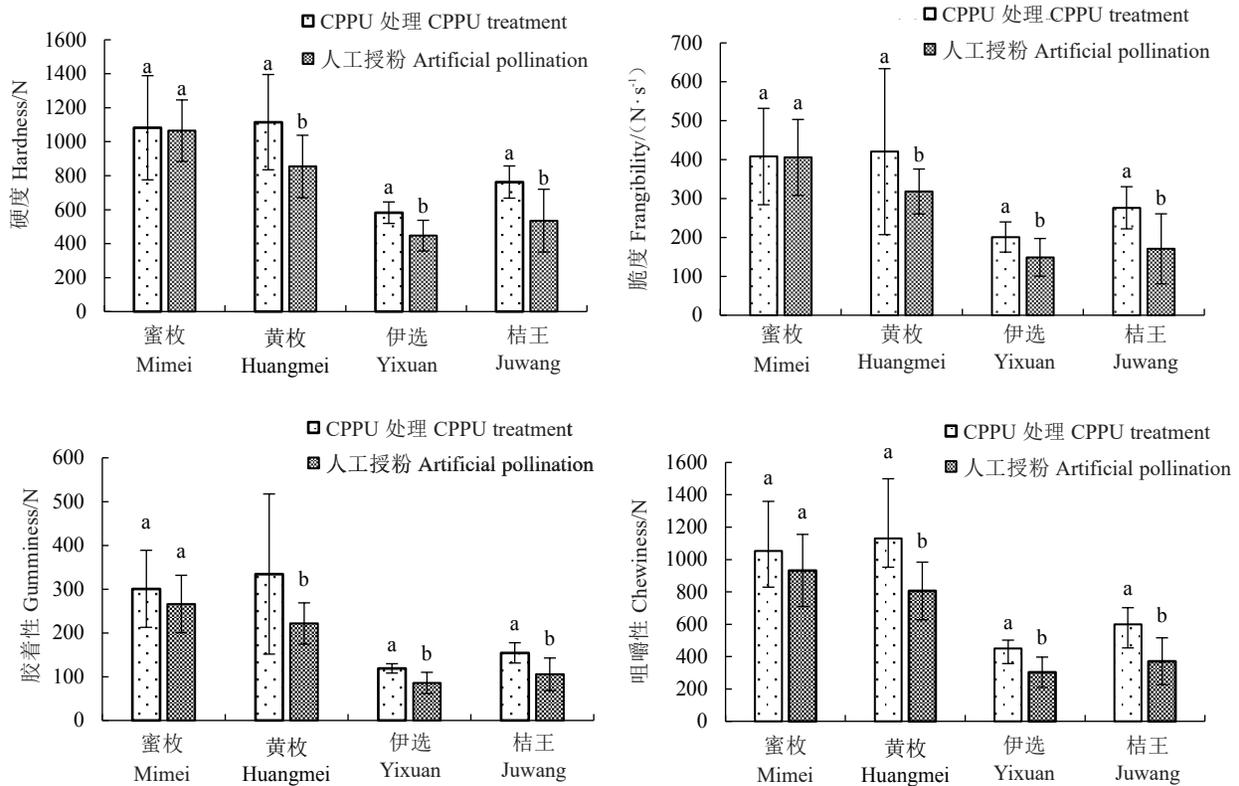
4种不同基因型西瓜果实在CPPU处理后,果肉的硬度、脆度、胶着性和咀嚼性变化规律均符合黄枚>蜜枚>桔王>伊选的趋势,四者之间的整体质地参数存在较大起伏,黄枚的硬度、脆度、胶着性和咀嚼性最高分别可以达到 $1\ 115.19\text{ N}$ 、 $420.45\text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $334.49\text{ N}$ 、 $1\ 130.68\text{ N}$ ,分别是最低伊选的1.9倍、2.1倍、2.8倍、2.5倍。

2种授粉处理方式比较发现,在硬度、脆度、胶着性和咀嚼性4个指标方面,蜜枚差异不显著,但黄枚、伊选和桔王则表现为CPPU处理显著高于人工授粉。

### 2.2 不同授粉方式对不同基因型果肉细胞壁多糖含量的影响

为了探明多糖组分对西瓜果肉质地的影响,比较了2种授粉处理下不同基因型西瓜果肉的粗纤维、纤维素、半纤维素、木质素、原果胶、可溶性果胶含量。由图2可知,在西瓜果肉细胞壁多糖组分中,粗纤维、纤维素、原果胶及可溶性果胶含量较高,半纤维素及木质素含量极低。

人工授粉处理后,4种基因型西瓜果肉的粗纤



注: 不同字母表示同一基因型不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different letters indicate significant difference between different treatments of the same genotype at 0.05 level. The same below.

图 1 不同基因型不同授粉处理方式间西瓜果肉质地差异

Fig. 1 Differences in watermelon flesh texture among different genotypes with different pollination treatments

维、纤维素与原果胶含量变化均表现为桔王>黄枚>蜜枚>伊选的趋势,果肉瓤质较粗的品种桔王的粗纤维、纤维素与原果胶含量均表现为最高,分别是口感酥脆无渣品种伊选的 3.5 倍、3.6 倍、1.1 倍,可溶性果胶含量则与之相反,蜜枚、黄枚、桔王含量基本一致,伊选含量最高,为 0.25 g·kg<sup>-1</sup>,约是其他 3 个基因型的 1.2 倍。

CPPU 处理后,4 种基因型西瓜果肉的粗纤维、纤维素和原果胶含量变化均表现为黄枚>蜜枚>伊选>桔王的趋势,硬脆基因型黄枚的粗纤维和纤维素含量最高,分别是酥脆基因型桔王的 4.2 倍和 4.1 倍。而 CPPU 处理后不同基因型西瓜可溶性果胶含量则与原果胶含量变化趋势相反。

2 种授粉处理方式比较发现,不同授粉方式对不同基因型西瓜果肉的粗纤维及纤维素含量的影响差别较大,在蜜枚与黄枚果肉中, CPPU 处理可增加其粗纤维与纤维素含量,而伊选与桔王中则趋势相反。同时, CPPU 处理对所有基因型西瓜果肉原果胶与可溶性果胶含量影响趋势一致,表现为 CPPU 处理可以显著降低果肉原果胶含量而显著增加

可溶性果胶含量。

### 2.3 不同西瓜基因型果肉质地与细胞壁多糖含量相关性分析

通过对硬脆型及酥脆型西瓜果肉 TPA 参数及细胞壁多糖含量进行相关性分析,结果如表 2~3 所示,所有西瓜果肉的 TPA 质构参数硬度、脆度、胶着性、咀嚼性均与果肉细胞壁原果胶含量呈负相关,与可溶性果胶含量呈正相关。同时,西瓜果肉的咀嚼性与果肉细胞壁原果胶及可溶性果胶含量间相关性最强。2 种授粉处理方式的相关性分析结果比较发现(表 4~5), CPPU 处理明显改变了西瓜果肉硬度、脆度、咀嚼性等质地参数与果肉细胞壁中粗纤维、纤维素含量的相关性,使得相关性系数达到高度正相关,表明 CPPU 处理后主要通过引起果肉细胞壁粗纤维、纤维素含量的变化进而影响西瓜果肉的质地。

## 3 讨论与结论

目前,质构仪(TPA)已能够精准且客观地评估苹果、蓝莓、枣、梨、黄瓜、甜瓜及西瓜<sup>[18-24]</sup>等园艺作

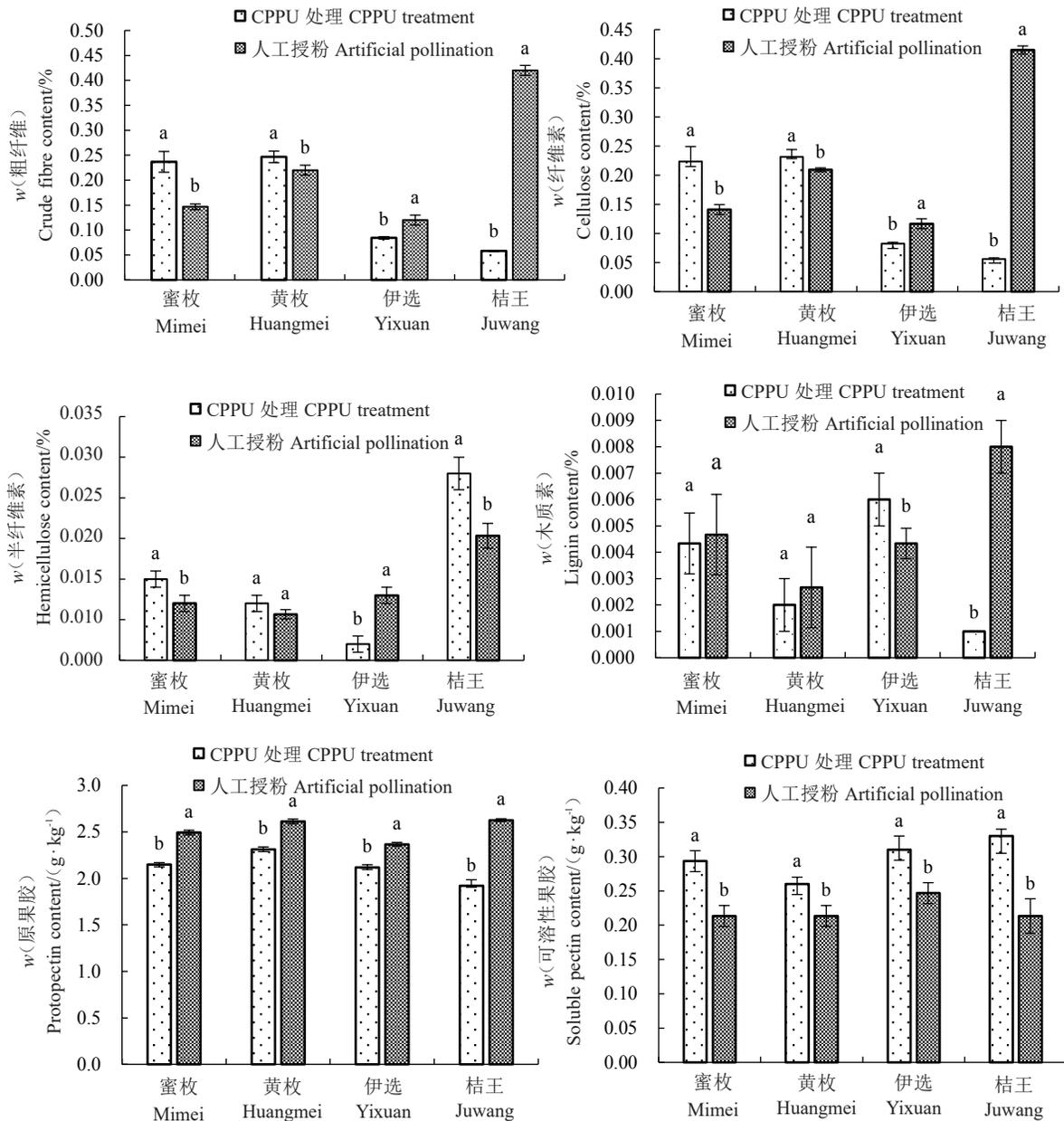


图2 不同基因型不同授粉处理方式间西瓜果肉细胞壁多糖组分含量的差异

Fig. 2 Differences in the content of polysaccharide fractions of watermelon flesh cell wall among different genotypes with different pollination treatments, the same below

物果实的质地特性,不仅提高了园艺产品品质鉴定的精确性,而且为园艺作物的育种、栽培和采后处理提供了有力的技术支持。本研究结果表明,西瓜果肉的硬度、脆度、咀嚼性、胶着性对果肉质地贡献度较大,同时不同基因型间果肉质地差异明显,这与付伊冉<sup>[24]</sup>、李钰婷<sup>[25]</sup>、郭禹<sup>[26]</sup>的研究结果一致。

近年来, CPPU 因合成简便、价格低廉等优点已在多种园艺作物生产中应用。有大量研究报道, CPPU 是一种能够促进细胞分裂、分化的植物生长调节剂,喷施后能对园艺作物果实质地有着重要影响<sup>[27]</sup>。在西瓜生产中, CPPU 可以促进西瓜坐果和

诱导单性结实及解决三倍体无籽西瓜授粉问题<sup>[28-29]</sup>。CPPU 对西瓜果实品质的影响尚存在争议,之前的研究通常集中在果实质量<sup>[30]</sup>、果皮厚度<sup>[31]</sup>、含糖量<sup>[32]</sup>、果肉颜色<sup>[33]</sup>等性状方面,对于果肉质地的影响则研究较少。笔者通过对 4 种基因型不同授粉方式处理后果肉质地指标分析发现,与人工授粉相比,经 CPPU 处理后,黄枚、伊选、桔王西瓜果肉的 TPA 指标(硬度、脆度、胶着性、咀嚼性)显著提高,这与王玉倩等<sup>[34]</sup>、高兆银等<sup>[35]</sup>、郭会玲等<sup>[36]</sup>的结果类似,但是在蜜枚西瓜中 2 种授粉处理方式间差异不显著,这可能与 CPPU 对不同基因型西瓜的作用差

表2 硬脆基因型西瓜果肉 TPA 与细胞壁多糖含量的相关分析

Table 2 Correlation analysis between TPA and polysaccharide content in cell wall of hard and brittle watermelon genotype

指标 Index	硬度 Hardness	脆度 Fracturability	胶着性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness	粗纤维 含量 Crude fiber content	纤维素 含量 Cellulose content	半纤维素含量 Hemicellulose content	木质素 含量 Lignin content	原果胶含量 Protopectin content	可溶性 果胶含量 Soluble pectin content
硬度 Hardness	1.00									
脆度 Fracturability	0.77	1.00								
胶着性 Gumminess	0.90	0.66	1.00							
咀嚼性 Chewiness	0.89	0.69	0.92	1.00						
粗纤维含量 Crude fiber content	0.09	0.08	0.39	0.42	1.00					
纤维素含量 Cellulose content	0.08	0.09	0.35	0.42	0.99	1.00				
半纤维素含量 Hemicellulose content	0.35	0.31	0.33	0.44	0.22	0.18	1.00			
木质素含量 Lignin content	-0.05	0.03	-0.24	-0.22	-0.58	-0.57	0.37	1.00		
原果胶含量 Protopectin content	-0.63	-0.55	-0.70	-0.79	-0.48	-0.47	-0.81	-0.13	1.00	
可溶性果胶含量 Soluble pectin content	0.50	0.41	0.61	0.73	0.65	0.64	0.77	-0.05	-0.93	1.00

注:  $0.0 \leq |r| < 0.3$  表示弱相关,  $0.3 \leq |r| < 0.7$  表示中度相关,  $0.7 \leq |r| \leq 1$  表示高度相关, 下同。

Note:  $0.0 \leq |r| < 0.3$  indicates weak correlation,  $0.3 \leq |r| < 0.7$  indicates moderate correlation, and  $0.7 \leq |r| \leq 1$  indicates high correlation, the same below.

表3 酥脆基因型西瓜果肉 TPA 与细胞壁多糖含量的相关分析

Table 3 Correlation analysis between TPA and polysaccharide content in cell wall of hard and crispy watermelon genotype

指标 Index	硬度 Hardness	脆度 Fracturability	胶着性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness	粗纤维 含量 Crude fiber content	纤维素 含量 Cellulose content	半纤维素 含量 Hemicellulose content	木质素 含量 Lignin content	原果胶 含量 Protopectin content	可溶性 果胶含量 Soluble pectin content
硬度 Hardness	1.00									
脆度 Fracturability	0.87	1.00								
胶着性 Gumminess	0.97	0.88	1.00							
咀嚼性 Chewiness	0.96	0.92	0.97	1.00						
粗纤维含量 Crude fiber content	-0.43	-0.46	-0.47	-0.56	1.00					
纤维素含量 Cellulose content	-0.43	-0.46	-0.46	-0.56	1.00	1.00				
半纤维素含量 Hemicellulose content	0.60	0.52	0.52	0.48	0.14	0.14	1.00			
木质素含量 Lignin content	-0.67	-0.66	-0.66	-0.72	0.75	0.75	-0.49	1.00		
原果胶含量 Protopectin content	-0.79	-0.77	-0.79	-0.87	0.88	0.88	-0.17	0.80	1.00	
可溶性果胶含量 Soluble pectin content	0.78	0.69	0.79	0.86	-0.81	-0.81	0.10	-0.70	-0.96	1.00

表4 CPPU处理后不同基因型西瓜果肉TPA与细胞壁多糖含量的相关分析  
Table 4 Correlation analysis of TPA content in fruit flesh and cell wall polysaccharides in different genetic types of watermelon after CPPU treatment

指标 Index	硬度 Hardness	脆度 Fracturability	胶着性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness	粗纤维 含量 Crude fiber content	纤维素 含量 Cellulose content	半纤维素含量 Hemicellulose content	木质素 含量 Lignin content	原果胶含量 Protopectin content	可溶性果 胶含量 Soluble pectin content
硬度 Hardness	1.00									
脆度 Fracturability	0.94	1.00								
胶着性 Gumminess	0.98	0.93	1.00							
咀嚼性 Chewiness	0.98	0.94	0.98	1.00						
粗纤维含量 Crude fiber content	0.90	0.87	0.94	0.95	1.00					
纤维素含量 Cellulose content	0.89	0.87	0.94	0.94	1.00	1.00				
半纤维素含量 Hemicellulose content	0.00	-0.01	-0.14	-0.09	-0.36	-0.37	1.00			
木质素含量 Lignin content	-0.36	-0.30	-0.27	-0.30	-0.03	-0.02	-0.74	1.00		
原果胶含量 Protopectin content	0.60	0.57	0.72	0.66	0.81	0.81	-0.69	0.20	1.00	
可溶性果胶含量 Soluble pectin content	-0.68	-0.68	-0.79	-0.73	-0.08	-0.79	0.48	-0.07	-0.92	1.00

表5 人工授粉处理后不同基因型西瓜果肉TPA与细胞壁多糖含量的相关分析  
Table 5 Correlation analysis of TPA content in fruit flesh and cell wall polysaccharides in different genetic types of watermelon after artificial pollination

指标 Index	硬度 Hardness	脆度 Fracturability	胶着性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness	粗纤维 含量 Crude fiber content	纤维素 含量 Cellulose content	半纤维素含量 Hemicellulose content	木质素 含量 Lignin content	原果胶含量 Protopectin content	可溶性果 胶含量 Soluble pectin content
硬度 Hardness	1.00									
脆度 Fracturability	0.96	1.00								
胶着性 Gumminess	0.99	0.96	1.00							
咀嚼性 Chewiness	0.99	0.96	0.99	1.00						
粗纤维含量 Crude fiber content	-0.32	-0.34	-0.34	-0.37	1.00					
纤维素含量 Cellulose content	-0.33	-0.35	-0.36	-0.38	1.00	1.00				
半纤维素含量 Hemicellulose content	-0.55	-0.59	-0.61	-0.64	0.81	0.85	1.00			
木质素含量 Lignin content	-0.43	-0.47	-0.50	-0.53	0.69	0.71	0.89	1.00		
原果胶含量 Protopectin content	-0.21	0.19	0.22	0.21	0.77	0.76	0.36	0.26	1.00	
可溶性果胶含量 Soluble pectin content	-0.45	-0.47	-0.43	-0.41	-0.40	-0.38	-0.09	-0.16	-0.64	1.00

异有关,这在葡萄<sup>[37]</sup>、草莓<sup>[38]</sup>等园艺作物中同样得到验证。由此可见,果肉酥脆的西瓜品种果肉质地更容易受到 CPPU 影响。

细胞壁多糖组分是影响西瓜果实质地的重要因素之一。有研究显示,在花前喷施 CPPU 可以调节细胞壁多糖组分从而提高果实硬度<sup>[39]</sup>。笔者通过分析 4 种西瓜基因型的果肉细胞壁多糖组分发现,与人工授粉处理比较, CPPU 处理显著降低了原果胶含量,显著提高了可溶性果胶含量,这与李圆圆<sup>[40]</sup>、张艳宜<sup>[41]</sup>的研究结果一致。与人工授粉处理比较,质地酥脆的 2 种基因型(伊选、桔王)的粗纤维与纤维素在 CPPU 处理后含量显著增加,与刘铭<sup>[42]</sup>的研究结果相似,而质地硬脆的基因型(蜜枚、黄枚)则结果相反,这可能仍与所选用的基因型质地特性密切相关。相关性分析结果同样表明,不同基因型西瓜果肉质地与细胞壁多糖含量间相关性存在差异,酥脆型西瓜果肉质地更容易受到 CPPU 处理的影响。

综上所述,不同基因型间西瓜果肉质地有所不同,与人工授粉处理比较, CPPU 处理后西瓜果肉的硬度、脆度、咀嚼性、胶着性均有所增高,其在酥脆基因型及黄枚的两个处理方式间差异显著,而硬脆基因型蜜枚的两个处理方式间差异不显著。与人工授粉处理相比, CPPU 处理后西瓜果肉中原果胶含量显著降低而可溶性果胶含量显著升高,果肉粗纤维及纤维素含量在硬脆型品种中显著升高,而在酥脆型品种中显著降低,表明 CPPU 对果肉质地的影响与品种的基因型有关。

### 参考文献

- [1] 于琪,芦金生,张保东,等.北京春季大棚小果型西瓜配套栽培技术[J].中国瓜菜,2019,32(1):53-54.
- [2] 黄远,李文海,赵露,等.设施栽培下不同坐果技术对西瓜果实挥发性物质的影响[J].中国瓜菜,2016,29(10):10-15.
- [3] 王燕霞,王晓蔓,关军锋.梨果肉质地性状分析[J].中国农业科学,2014,47(20):4056-4066.
- [4] 王学征,杨天天,刘争,等.西瓜果皮硬度相关性状分析[J].东北农业大学学报,2020,51(2):35-44.
- [5] BRUMMELL D A. Cell wall disassembly in ripening fruit[J]. Functional Plant Biology, 2006, 33(2): 103-119.
- [6] 沈泰.不同坐果技术对设施甜瓜果实膨大和品质形成的影响[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [7] 李佳桐,李慧普,张鹏辉,等.不同植物生长调节剂处理对西瓜产量和品质的影响[J].现代园艺,2023,46(13):40-42.
- [8] 黄远,李文海,赵露,等.不同坐果方式对设施西瓜产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2017,30(3):15-17.
- [9] 赵焯然,王凤玲,王璇,等.真空预冷对松茸木质化及相关酶活力的影响[J].食品科学,2024,45(10):10249-10256.
- [10] 戴少庆.超声波辅助酶法提取柑橘果胶工艺优化及其改性研究[D].长沙:湖南农业大学,2014.
- [11] 胡欣欣.可调节乙烯  $\gamma$ -CD-MOF 的制备及其在红肉猕猴桃保鲜中的应用[D].成都:四川农业大学,2023.
- [12] LU X Q, HE N, ANESS M, et al. A comparison of watermelon flesh texture across different ploidy levels using histology and cell wall measurements[J]. Horticulturae, 2024, 10(2): 112.
- [13] 唐睿.50 份西瓜种质资源果皮质地综合评价及遗传趋势分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2023.
- [14] 解伟妮,陈建杨.食品脆度的客观表征及其通用测量公式的研究[J].食品科学,2010,31(3):150-152.
- [15] 徐小军,别之龙,孙德玺,等.不同嫁接组合对西瓜植株生长及果实品质的影响[J].中国瓜菜,2011,24(4):10-14.
- [16] OYEYINKA O B, AFOLAYAN A J. Comparative evaluation of the nutritive, mineral, and antinutritive composition of *Musa sinensis* L. (Banana) and *Musa paradisiaca* L. (Plantain) Fruit Compartments[J]. Plants, 2019, 8(12): 598.
- [17] ZHOU H W, SONEGO L, KHALCHITSKI A, et al. Cell wall enzymes and cell wall changes in 'Flavortop' nectarines: mRNA abundance, enzyme activity, and changes in pectic and neutral polymers during ripening and in woolly fruit[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2000, 125(5): 630-637.
- [18] 杨玲,从佩华.‘华月’苹果果实酸度、可溶性固形物含量与果实结构性状相关性分析[J].中国果树,2017(15):11-16.
- [19] 付燕,杨琴,林焯.8 个蓝莓品种果实质地品质差异分析[J].中国南方果树,2023,52(3):144-148.
- [20] 赵爱玲,薛晓芳,王永康,等.质构仪检测鲜枣果实质地品质的方法研究[J].果树学报,2018,35(5):631-641.
- [21] 王斐,姜淑苓,陈秋菊,等.脆肉梨果实成熟过程中质地性状的变化[J].果树学报,2016,33(8):950-958.
- [22] 丁银,侯栋,张东琴,等.51 份黄瓜种质资源果实质地分析及评价[J/OL].甘肃农业大学学报,1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20231206.1127.039.html>.
- [23] 杨亚恒,贾培龙,乜兰春,等.厚皮甜瓜种质材料果实质地品质评价[J].中国农业科学,2024,57(8):1560-1574.
- [24] 付伊冉.50 份西瓜种质资源果肉质地综合评价及遗传趋势分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2023.
- [25] 李钰婷.西瓜属 4 种近缘种果肉质地特征及相关基因表达分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [26] 郭禹.西瓜果肉质地差异性分析[D].哈尔滨:东北农业大学,2020.
- [27] LI X X, KOBAYASHI F, IKEURA H, et al. Chlorophenoxyacetic acid and chloropyridylphenylurea accelerate translocation of photoassimilates to parthenocarpic and seeded fruits of muskmelon (*Cucumis melo*) [J]. Journal of Plant Physiology, 2010, 168(9): 920-926.
- [28] 别之龙. CPPU 在西瓜上的应用研究进展[J].中国瓜菜,2011,

- 24(4):39-43.
- [29] MARTO J, MIGUEL A, LOPEZ-GALARZA S, et al. Parthenocarpic fruit set in triploid watermelon induced by CPPU and 2, 4-D applications[J]. *Plant Growth Regulation*, 2005, 45(3): 209-213.
- [30] MIGUEL A, MAROTO J V, LÓPEZ GALARZA S. Triploid seedless watermelon production without pollinators.: Effect of the number of sprayed flowers on fruit size[J]. *Acta Horticulturae*, 2001(559): 135-138.
- [31] KWON S W, JASKANI M J, KO B R, et al. Evaluation of soft X-ray irradiated pollen and CPPU for diploid seedless watermelon production[J]. *Acta Horticulturae*, 2006(710): 289-294.
- [32] 孙竹波, 刘忠德, 刘震, 等. 0.1%氯吡脞可溶性液剂对西瓜产量和品质的影响[J]. *北方园艺*, 2006(1): 25-26.
- [33] LOPEZ-GALARZA S, BAUTISTA A S, PEREZ D M, et al. Effects of grafting and cytokinin-induced fruit setting on colour and sugar-content traits in glasshouse-grown triploid watermelon[J]. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2004, 79(6): 971-976.
- [34] 王玉倩, 张娜, 黄建全, 等. 生长调节剂对‘天工墨玉’葡萄果实品质的影响[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2021(4): 58-62.
- [35] 高兆银, 王家保, 李敏, 等. 氯吡脞对贵妃芒果果实产量、品质和采后贮运特性的影响[J]. *热带作物学报*, 2024, 45(1): 162-168.
- [36] 郭会玲, 王磊, 祝海燕, 等. 蜜蜂授粉对豫东地区全光照大棚西瓜生长发育、产量和品质的影响[J]. *农业科技通讯*, 2020, (1): 113-117.
- [37] 王玉林, 莫光友, 刘丽萍, 等. 3种植物生长调节剂对不同葡萄品种果实生长的影响[J]. *现代农业科技*, 2021, 785(3): 112-115.
- [38] 于典. 库调节对草莓果实产量及品质的影响[D]. 江苏扬州: 扬州大学, 2023.
- [39] ROJAS B, SUAREZ-VEGA F, SAEZ-AGUAYO S, et al. Pre-anthesis cytokinin applications increase table grape berry firmness by modulating cell wall polysaccharides[J]. *Plants*, 2021, 10(12): 2642.
- [40] 李圆圆. 采前 CPPU 处理对猕猴桃采后品质及细胞超微结构的影响机制研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [41] 张艳宜. 膨大剂、1-MCP 处理对货架期猕猴桃品质及抗灰霉病的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [42] 刘铭. 植物生长调节剂对软枣猕猴桃果实无核化及膨大效果[D]. 吉林延吉: 延边大学, 2020.