

喷施外源钙对骏枣裂果和相关生理特性及显微结构的影响

寸丽芳^{1,2}, 房立媛^{1,2}, 林敏娟^{1,2}, 王振磊^{1,2*}

(¹塔里木大学园艺与林学院·新疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室, 新疆阿拉尔 843300; ²塔里木盆地生物资源保护利用兵团重点实验室, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:【目的】探究不同钙制剂处理对骏枣果皮裂果率、细胞壁物质、细胞壁降解酶及显微结构的影响。【方法】以12年生骏枣为试验材料,在幼果期果实叶面喷施不同钙制剂(200、400、800倍液CaCl₂;1000倍液有机钙),对果皮细胞壁组分及相关降解酶活性、组织结构进行分析研究。【结果】不同喷钙处理均显著降低了裂果率;减缓了细胞壁中纤维素及原果胶的分解速度;显著降低了细胞壁中果胶酶及纤维素酶活性;减少了水溶性果胶及共价结合型果胶的含量。在裂果高发期,不同钙制剂处理与对照相比裂果率分别降低48.4%、42.3%、19.2%和46.1%;果胶酶活性比对照分别低20.4%、43.4%、42.1%和33.2%;水溶性果胶含量与对照相比分别降低21.7%、39.9%、39.7%和35.1%;离子结合型果胶含量与对照相比分别增加32.9%、15.6%、10.1%和11.8%;共价结合型果胶含量与对照相比分别增加38.4%、20.6%、7.3%、18.6%;纤维素酶活性与对照相比分别降低32.2%、22.5%、24.3%和23.1%;纤维素含量与对照相比分别增加31.5%、112.9%、119.1%和83.3%。不同的喷钙处理增加了果皮角质层、表皮细胞及亚表皮细胞厚度,使果皮角质层保持完整,减少龟裂的发生及减少果肉细胞中的空腔数。【结论】在骏枣果实成熟的过程中,纤维素酶、果胶酶和水溶性果胶含量的增加加速了纤维素和原果胶快速降解,加剧了裂果的发生,而在幼果期喷施钙肥可以降低纤维素酶、果胶酶的活性,增加果实纤维素、离子结合型果胶及共价结合型果胶含量;喷钙处理可以增加果皮角质层厚度,使果皮硬度及弹性增加,减少裂果的发生。在果实幼果期喷钙可以作为减少骏枣裂果的重要措施。

关键词:骏枣;裂果;钙制剂;细胞壁;酶活性;组织结构

中图分类号:S665.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2023)09-1894-10

Effects of spraying calcium on fruit cracking and related physiological characteristics and microstructure of Junzao jujube

CUN Lifang^{1,2}, FANG Liyuan^{1,2}, LIN Minjuan^{1,2}, WANG Zhenlei^{1,2*}

(¹Faculty of Horticulture and Forestry/The National-Local Joint Engineering Laboratory of High Efficiency and Superior-Quality Cultivation and Fruit Deep Processing Technology on Characteristic Fruit Trees, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China; ²Key Laboratory of Production and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin of XPCC, Alar 843300, Xinjiang, China)

Abstract: 【Objective】Junzao jujube is one of the main varieties of jujube cultivated in Xinjiang. Due to the frequent occurrence of calcium imbalance, physiological diseases such as fruit cracking causes great economic losses. Calcium plays an important role in the growth and development of fruit trees, and exogenous calcium application can significantly reduce splitting rate of fruit. The cell wall materials, cell wall degrading enzymes, and peel structure are closely related to the occurrence of fruit cracking. The purpose of this study is to explore the effects of treatments of calcium preparations on fruit splitting rate, cell wall substances, cell wall degrading enzymes and micro structure of jujube fruit peel. 【Methods】In this experiment, 12-year-old Junzao jujube trees were used as the test material. Different calcium solutions (0.5%, 0.25% and 0.125% CaCl₂ and 0.1% organic calcium) were foliar sprayed at

收稿日期:2023-01-05

接受日期:2023-06-10

基金项目:国家自然科学基金(31560541);14师农业农村局项目;塔里木大学研究生科研创新项目(TDGR1202123)

作者简介:寸丽芳,女,在读硕士研究生,研究方向为枣的果树生理与高效栽培技术。E-mail:1581425261@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail:wzljwc@163.com

the young fruit stage. Fruit cracking rate, peel cell wall components (cellulose, water-soluble pectin, ion-bound pectin, and water-soluble pectin), and activities of related degrading enzymes (cellulase and pectinase) were observed or analyzed. Tissue structure was analyzed at the green ripening, white ripening, color change and brittle ripening stages. Excel 2021 software was used to process and plot the data, and Duncan's new complex range test was carried out with DPS 9.01 software. **【Results】** Different calcium spray treatments significantly reduced the cracking rate, and the effect of 0.5% CaCl_2 treatment was the best, in which the cracking rate was reduced by 48% compared with control. Calcium treatments slowed the decomposition rate of cellulose and pectin in the cell wall. During the growth and development of the fruit, the cellulose content in the peel first increased and then decreased, and the highest cellulose content occurred in the white ripening period. With the increase of fruit ripeness, cellulase activity increased, which intensified the decomposition of cellulose, resulting in significant decrease in the cellulose content. The calcium treatments could reduce cellulase activity and increase fruit cellulose content. The cellulose content was the highest under 0.25% and 0.125% CaCl_2 treatments, and the cellulose content at the high incidence period of fruit cracking increased by 113% and 119%, respectively. The calcium treatments significantly reduced the activities of pectinase and cellulase in the cell wall, and the cellulase activity of fruit under 0.5% CaCl_2 treatment was the lowest in the crisp ripening period, the most cracking-sensitive period, which was 32.2% lower compared with control. Pectinase activity under 0.25% CaCl_2 treatment decreased by 41.1% compared with control. The content of water-soluble pectin increased with fruit ripeness and reached a maximum during the brittle ripening period. The calcium treatments significantly reduced the content of water-soluble pectin, and the 400-fold liquid 0.25% CaCl_2 treatment had the best inhibitory effect on the increase in water-soluble pectin content in fruit, which was reduced by 19% compared with control. In contrast, the calcium treatments significantly increased the content of ion-bound pectin and covalently bound pectin, which were highest under 0.5% CaCl_2 treatment and 32.9% and 38.4% higher than control, respectively. With the growth and development of the fruit, the cuticle layer gradually thinned, while the epidermis and subepidermal layer gradually thickened. The number of cell cavities also increased, and the tightly arranged pulp cells became loose, and the crack resistance of the peel was weakened. Different calcium treatments increased the thickness of the cuticle layer, epidermal cells, and subepidermal cells of the peel so that the cuticle remained intact; the occurrence of cracks and the number of cavities in the pulp cells were reduced. **【Conclusion】** In the process of ripening of Junzao jujube fruit, the increases in cellulase and pectinase activities and water-soluble pectin content accelerates the rapid degradation of cellulose and protopectin, and intensifies the occurrence of fruit cracking. Calcium application at the young fruit stage can increase the content of cellulose, ion-bound pectin and covalently bound pectin, reduce the activities of cellulase and pectinase, and increase the thickness of the cuticle layer of the peel, and thus increase the hardness and elasticity of the peel and reduce the occurrence of fruit cracking. Calcium treatments in the young fruit stage can be used as an important measure to reduce the fruit cracking in Junzao jujube.

Key words: Jujube; Fruit cracking; Calcium spray treatment; Cell wall material; Enzyme activity; Organizational structure

枣 (*Ziziphus jujuba* Mill.) 是我国第一大干果树种, 而且是最具代表性的民族果树之一, 与桃、杏、李、栗一起并称为我国的“五果”^[1]。骏枣是南疆种植面积最广的红枣之一, 因其皮薄肉厚, 营养丰富, 深受

广大消费者喜爱, 但成熟期裂果严重, 直接导致果实的品质和商品性下降, 是生产中亟待解决的问题^[2]。

植物细胞壁中的纤维素、半纤维素、果胶和结构蛋白等成分交联形成的三维立体结构, 是植物最基

本的力学承载单元^[3]。果实发育过程中细胞壁组分及降解酶含量与裂果的发生存在着密切的关系,果实裂果的发生往往伴随着这些细胞壁组成成分的降解及细胞壁结构被破坏。在近几年的研究中发现,番茄^[4]、葡萄^[5]、甜樱桃^[6]、石榴^[7]、柑橘^[8]等果实在生长发育过程中,纤维素酶(Cx)、果胶酶、水溶性果胶(WSP)、离子结合型果胶(CSP)、共价结合型果胶(ISP)等含量的增加加速了纤维素、半纤维素和原果胶的分解,使原本排列紧密的细胞壁细胞变得疏松,果皮的延展性及机械强度变弱,导致裂果的发生。

在果树的生长发育过程中,钙发挥着极其重要的作用,钙可以与果胶质相结合形成钙盐,使相邻细胞相互连结,加大细胞之间的韧性,增强细胞的抗压性和延展性,从而增强果皮的抗裂能力,喷施外源Ca可以增加果实的Ca含量,提高果实的抗裂能力,在脐橙^[9]、欧李^[10]、苹果^[11]等中均有相关报道,喷施Ca肥是减少裂果发生的重要措施。

品种、水分、气候因子、矿质营养、解剖结构等是目前枣裂果主要的研究方向,关于外源施钙对骏枣裂果的生理特性与果实解剖结构的相互影响的研究较少。因此,笔者在本研究中以易裂品种骏枣为试验材料,研究叶面喷施CaCl₂和有机钙对骏枣果皮果胶酶和纤维素酶活性、果胶与纤维素含量、裂果率及果实解剖结构的影响,探讨Ca对裂果生理机制的影响,为生产中减少枣裂果的发生提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于2021年5—10月在新疆兵团第一师阿拉尔市枣园进行,选取树势良好、栽培管理条件一致的12年生骏枣树为试验样树。

1.2 试验设计

采取单因素完全随机试验,共设4个处理,每个处理3次重复,每个重复5株样树。2021年6月盛花期选择树冠外围、生长健壮的枣吊中部挂牌标记,从骏枣幼果期(2021年7月12日)开始分别喷施不同外源钙制剂,包括CaCl₂ 200倍液(T1:5 mg·mL⁻¹)、CaCl₂ 400倍液(T2:2.5 mg·mL⁻¹)、CaCl₂ 800倍液(T3:1.25 mg·mL⁻¹)、有机钙EDTA-Ca 1000倍液(T4:1 mg·mL⁻¹)及清水对照。采用叶面喷施的方式,每隔7 d喷施1次,共计5次;均在19:30进行喷施,以叶面向下滴水为止。

于枣果实进入绿熟期开始采样,分别在果实的绿熟期(8月13日)、白熟期(8月25日)、转色期(9月15日)、脆熟期(9月26日)进行采样。每次从树体不同方向提前挂牌的当年生枣吊中部选取长势一致、无病虫害及损伤的枣果30个,置于低温采样箱中,带回实验室后将果实表面清洗干净,将果皮、果肉分离后用液氮进行速冻,储存于超低温冰箱,用于后期指标的测定。

1.3 测定内容与方法

于果实的不同发育时期调查挂牌枣树,按东西南北4个方向各调查50个果,记录裂果数,并计算裂果率。

裂果率/%=(裂果数/调查总果数)×100。

果胶含量采用咔唑比色法测定,纤维素含量采用蒽酮比色法测定,果胶酶及纤维素酶活性采用DNS终止法测定。石蜡切片的制作参照冯丽云等^[12]的方法,将制作好的切片在光学显微镜下观测并摄影;观测角质层、表皮层及亚表皮层总层数,并用测微尺测量角质层、表皮层及亚表皮层厚度。

1.4 数据分析

采用Excel 2021软件对试验数据进行处理和绘图,采用DPS 9.01软件多重比较中的Duncan新复极差测验法对数据进行差异显著性检验。

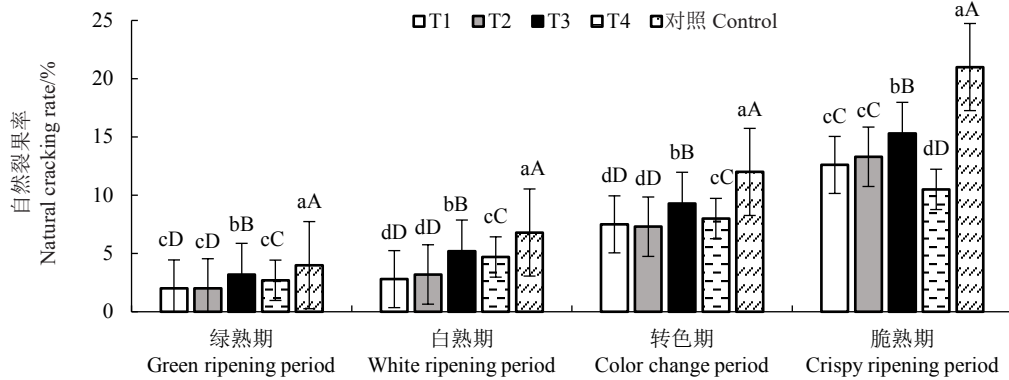
2 结果与分析

2.1 喷施不同钙制剂对骏枣裂果率的影响

在骏枣的生长发育过程中,枣果实的裂果率随着果实成熟度的增加而呈现上升的趋势,而叶面喷施钙制剂能显著降低裂果率。由图1可知,果实裂果的高峰期出现在9月下旬,即果实的脆熟期,对照的裂果率达到了21%。在果实的各个发育时期,与对照相比,T1、T2、T3、T4处理后果实的裂果率均显著下降,T1处理的防裂效果与其他3个处理相比最优。

2.2 喷施不同钙制剂对骏枣果皮果胶酶活性和果胶含量的影响

由图2可以看出,随着骏枣果实的生长发育,果皮中的果胶酶活性呈持续上升趋势,绿熟期时果胶酶活性最低,在脆熟期时果胶酶活性达到最大值。同时,各处理果皮果胶酶活性在4个发育时期均低于对照,T1、T2、T3、T4处理的果皮果胶酶活性极显著低于对照。在骏枣裂果高发期,即脆熟期时,T2处理的果皮果胶酶活性比对照低43.4%;T1、T3、T4



不同的小写字母表示处理之间在 $p < 0.05$ 水平上存在显著差异; 不同的大写字母表示处理之间在 $p < 0.01$ 水平上存在极显著差异。下同。

The different small and uppercase letters indicate significant differences at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ among treatments, respectively. The same below.

图1 钙制剂处理对骏枣裂果的影响

Fig. 1 Effect of calcium treatments on fruit cracking in jujube

处理的果皮果胶酶活性比对照分别低 20.4%、41.1%、33.2%。本研究表明, 钙制剂处理显著抑制了果实果胶酶活性, 且 T2 和 T3 处理最优。

图3表明, 骏枣果皮水溶性果胶含量随果实的发育整体呈不断上升趋势, 脆熟期果皮水溶性果胶含量显著高于绿熟期, 脆熟期处理的水溶性果胶含量最高, 比绿熟期对照的水溶性果胶高 43.2%。同时,

T1、T2、T3、T4 处理的果皮水溶性果胶含量在不同的发育时期均低于对照, 且在脆熟期时, T3 处理的果皮水溶性果胶含量比其他 3 个处理都低, 说明 T3 处理对果实水溶性果胶含量增加的抑制效果最好。

如图4所示, 骏枣果皮离子结合型果胶含量随着果实生长发育呈不断上升的趋势, 4 个发育时期整体的离子结合型果胶含量依次为脆熟期 > 转色

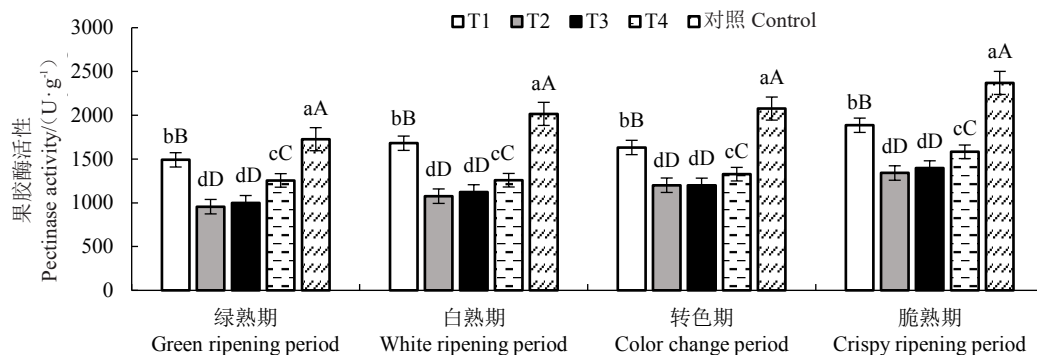


图2 钙制剂处理对骏枣果皮果胶酶活性的影响

Fig. 2 Effect of calcium treatments on pectinase activity in jujube peel

期 > 白熟期 > 绿熟期。至脆熟期时, T1、T2、T3、T4 处理的果皮离子结合型果胶含量比对照分别高 32.9%、15.5%、10.1%、11.7%, 不同喷钙处理的离子结合型果胶含量均显著高于对照, 且 T1 处理 (CaCl₂ 200 倍液) 的离子结合型果胶含量最高。

图5显示, 共价结合果胶含量在骏枣果皮内总体呈现不断上升的趋势, 各处理的共价结合果胶含量在白熟期至转色期明显增加, 提高了 14.9%~37.6%, 且均在脆熟期时达到最高值。不同钙制剂

处理的骏枣果皮共价结合型果胶含量都高于对照, 到果实脆熟期, T1、T2、T3、T4 处理的果皮共价结合型果胶含量分别比对照升高了 38.4%、20.6%、7.3%、18.6%。说明喷施不同钙制剂可增加果实共价结合果胶含量, 且 T1 处理的效果最佳。

2.3 喷施不同钙制剂对骏枣果皮纤维素酶活性和纤维素含量的影响

如图6所示, 在骏枣的不同发育时期, 纤维素酶活性呈现出先上升后下降的趋势, 各处理的纤维素

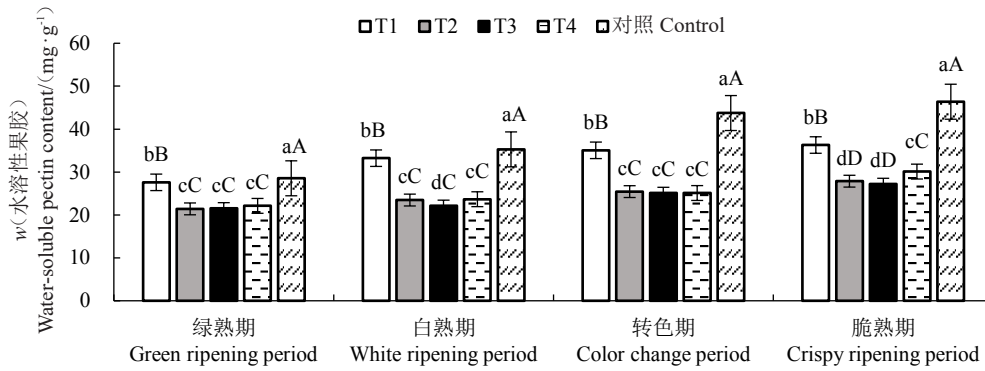


图 3 钙制剂处理对骏枣果皮水溶性果胶含量的影响

Fig. 3 Effect of calcium treatments on water-soluble pectin content in jujube peel

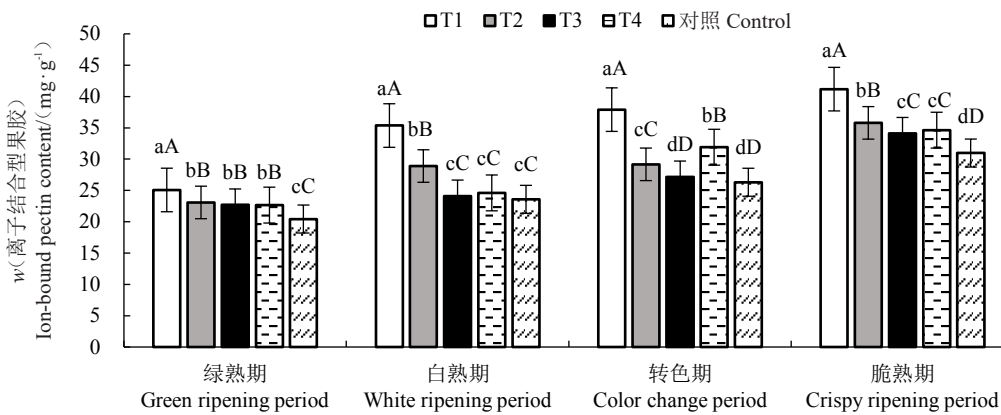


图 4 钙制剂处理对骏枣果皮离子结合型果胶含量的影响

Fig. 4 Effect of calcium treatments on ion-bound pectin content of jujube peel

酶活性在转色期时均达到峰值,且以对照处理的纤维素酶活性最高,达到 2047 U·g⁻¹,比 T1 处理高出 462 U·g⁻¹。与对照相比,其余 4 组钙制剂处理果皮中的纤维素酶活性均降低,且在 4 个发育时期,T1 处理的骏枣果皮纤维素酶活性显著低于对照果皮纤维素酶活性。至脆熟期,T1 处理的果皮纤维素酶活性

比对照低 32.2%;T2、T3、T4 处理的果皮纤维素酶活性比对照分别低 22.5%、24.3%、23.1%。说明喷施不同钙制剂可抑制果实纤维素酶活性的上升,且 T1 处理的抑制效果最好。

由图 7 可以看出,骏枣果皮纤维素含量整体呈现先上升后下降趋势,与纤维素酶活性不同,果皮纤

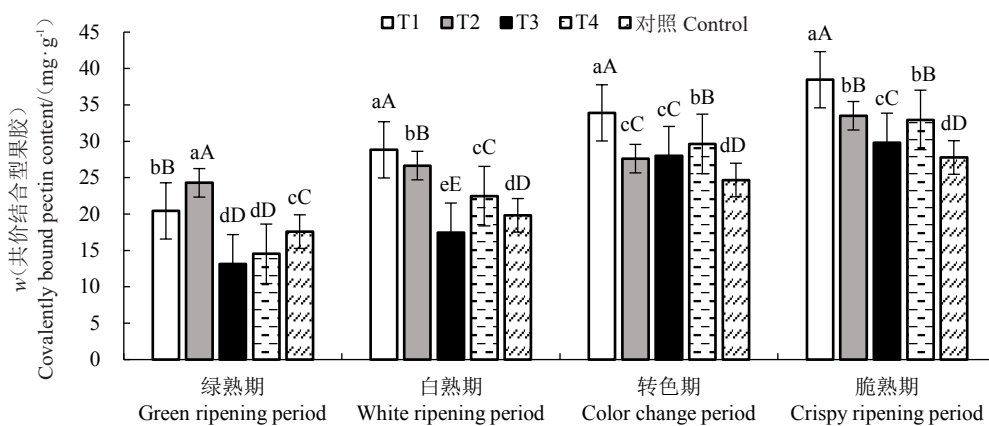


图 5 钙制剂处理对骏枣果皮共价结合型果胶含量的影响

Fig. 5 Effect of calcium treatments on covalently bound pectin content of jujube peel

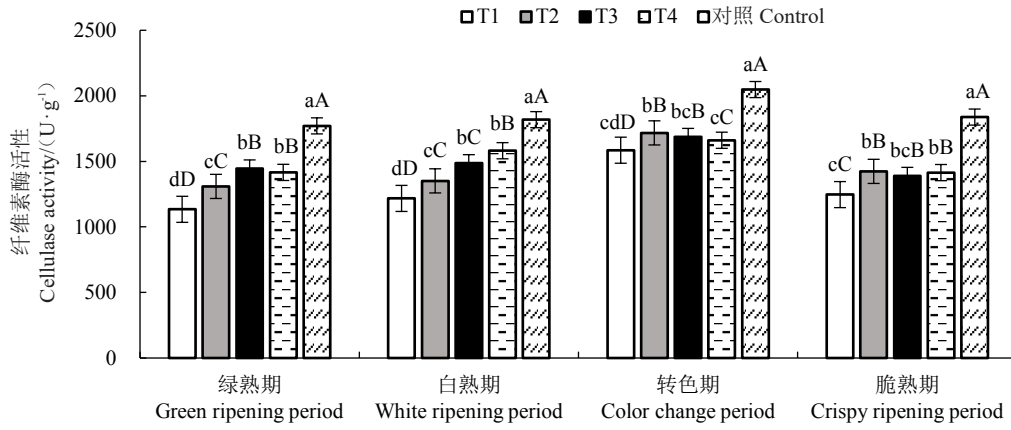


图6 钙制剂处理对骏枣果皮纤维素酶活性的影响

Fig. 6 Effect of calcium treatments on cellulase activity in jujube peel

纤维素含量在白熟期达到峰值,随着果实的发育,果皮中的纤维素含量逐渐降低。绿熟期纤维素含量较低,T2、T3、T4处理的果皮纤维素含量均显著高于对照,T2、T3处理间果皮的纤维素含量无显著差异。白熟期T1、T2、T3、T4处理果皮纤维素含量显著高于对照,比对照分别高31.5%、58.7%、53.3%、43.6%。转色期和脆熟期果皮纤维素含量变化与白

熟期果皮纤维素含量变化相似,T2、T3、T4处理效果优于T1处理。说明喷施不同钙制剂可抑制果皮纤维素含量的下降,且T2、T3、T4处理抑制效果较佳。

2.4 骏枣果实发育过程中裂果率与细胞壁组分及其降解酶活性的相关性分析

由表1可以看出,骏枣果实发育过程中裂果率的高低与细胞壁组分及其降解酶之间存在着紧密的

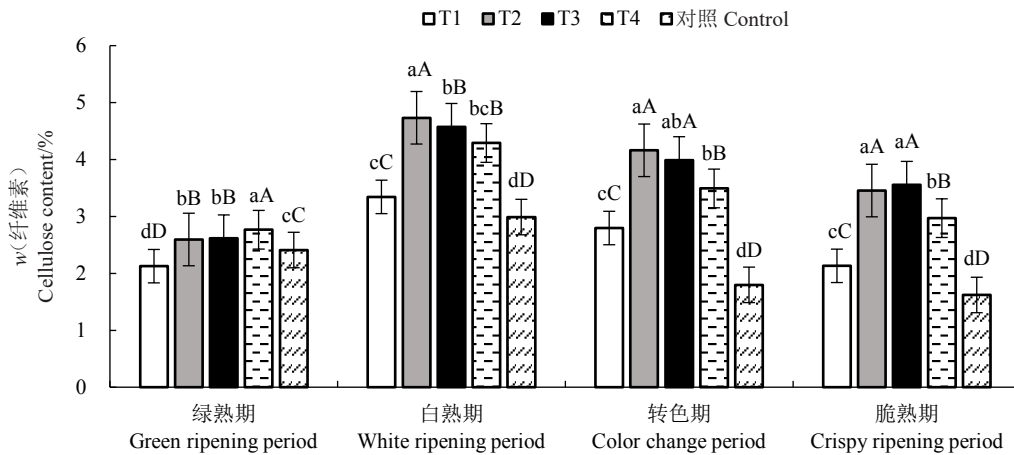


图7 钙制剂处理对骏枣果皮纤维素含量的影响

Fig. 7 Effect of calcium treatments on cellulose content of jujube peel

表1 骏枣果实发育过程中裂果率与细胞壁组分及其降解酶活性的相关性

Table 1 The correlation between fruit cracking rate and cell wall components and their degrading enzyme activities during fruit development of Junzao jujube

指标 Index	裂果率 Split fruit rate	水溶性果胶含量 Water-soluble pectin content	共价结合型果胶含量 Covalently bound pectin content	离子结合型果胶含量 Ion-bound pectin content	纤维素含量 Cellulose content
裂果率 Split fruit rate	-	0.63**	-0.53*	-0.49*	-0.28*
纤维素酶活性 Cellulase activity	0.34*	0.69**	0.03	-0.05	-0.40
果胶酶活性 Pectinase activity	0.57**	0.95**	0.26	0.28	-0.65**

注:* $p < 0.05$, 显著线性关系; ** $p < 0.01$, 极显著线性关系。

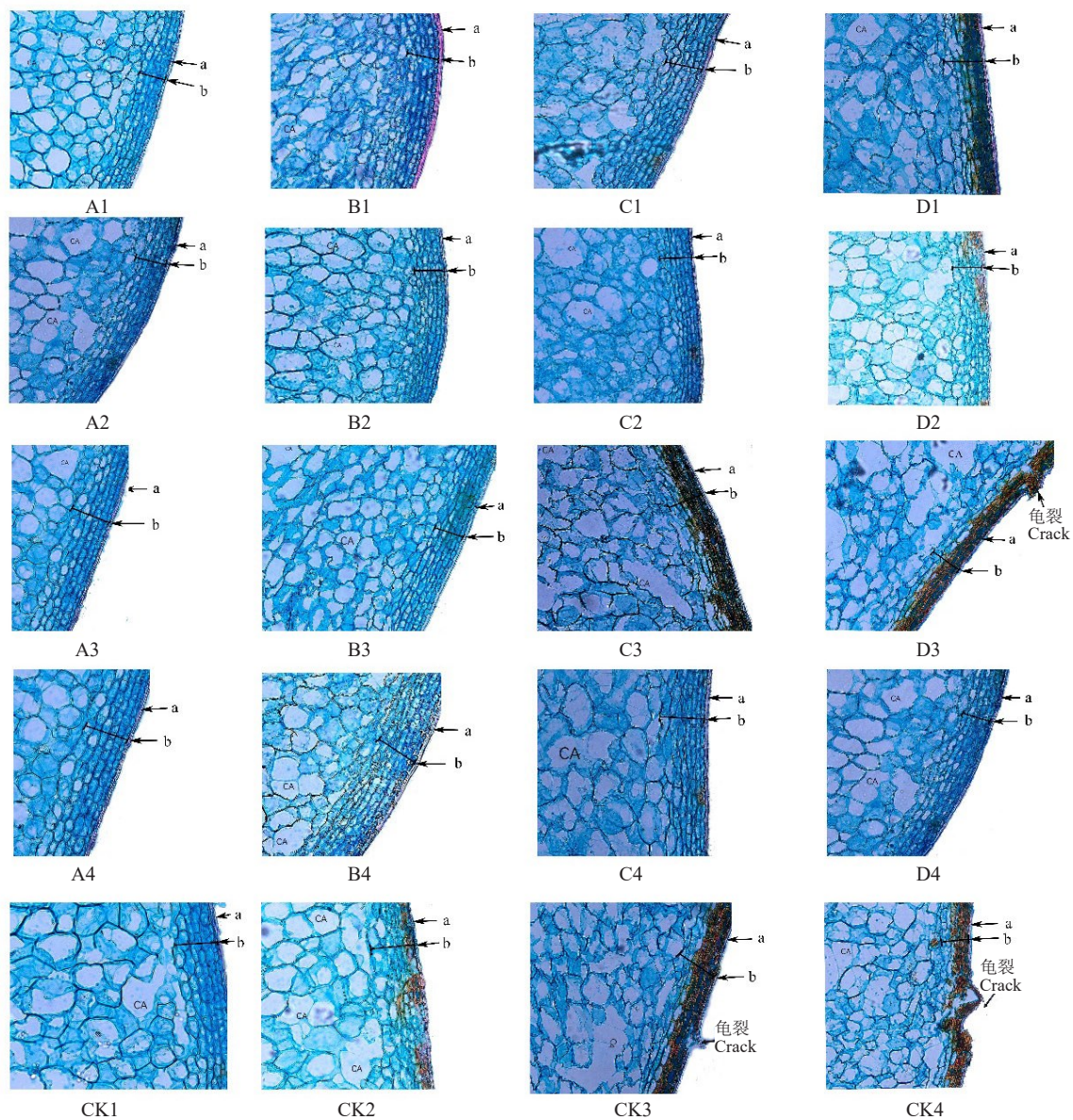
Note: * $p < 0.05$, significant linear relationship; ** $p < 0.01$, extremely significant linear relationship.

联系。研究表明,在骏枣果实发育过程中,裂果率与果胶酶、水溶性果胶含量呈极显著正相关,与纤维素酶含量呈显著正相关;裂果率与共价结合果胶、离子结合果胶、纤维素含量呈显著负相关;水溶性果胶含量与纤维素酶、果胶酶含量呈极显著正相关,纤维素含量与果胶酶含量呈极显著负相关。

2.5 不同时期喷钙处理对枣果实组织结构的影响

对骏枣4个时期的果肉细胞进行了显微结构观

察,如图8和表2所示。结果表明在骏枣果实的发育过程中,果皮厚度、果肉细胞的大小和排列均发生了很大的变化。在绿熟期,白色透明的角质层较厚,表皮细胞和亚表皮细胞呈长矩形或长卵圆形,大小均匀且细胞排列致密整齐,果肉细胞为较大的卵圆形;随着果实的发育,角质层厚度先增加后逐渐变薄,而表皮层和亚表皮层逐渐变厚,但其细胞排列变得疏松且大小不均,果肉细胞出现空腔的区域增多;至脆



A~D 为 4 个不同的采样时期:绿熟期、白熟期、转色期、脆熟期;1~4 为不同的钙制剂处理:CaCl₂ 200 倍液、CaCl₂ 400 倍液、CaCl₂ 800 倍液、有机钙 1000 倍液;CK. 清水对照;a. 角质层;b. 表皮层及亚表皮层;CA. 细胞空腔。

A-D are 4 different sampling periods: green ripening period, white ripening period, color change period, brittle ripening period; 1-4 for different calcium preparations: CaCl₂ 200 times liquid, CaCl₂ 400 times liquid, CaCl₂ 800 times liquid, organic calcium 1000 times liquid; CK. The clear water control; a. The stratum corneum; b. The epidermis layer and subepidermal layer; CA. A cellular cavity.

图 8 不同钙制剂处理的骏枣果皮细胞解剖结构(10×20)

Fig. 8 Anatomy of jujube peel treated with different calcium preparations (10×20)

表2 不同钙制剂对骏枣果皮解剖结构的影响

Table 2 Effects of different calcium treatments on the anatomical characters of jujube peel

采样时期 Sampling period	处理 Treatment	角质层厚度 Thickness of the stratum corneum/ μm	表皮层厚度 Epidermal layer thickness/ μm	亚表皮层厚度 Subepidermal thickness/ μm	细胞排列 Cell arrange
绿熟期 Green ripening period	T1	11.03±3.12 aA	13.08±3.14 aA	38.72±10.81 aA	致密 Dense
	T2	10.21±1.18 aB	12.90±1.06 bA	37.26±8.85 abA	致密 Dense
	T3	9.45±1.30 cC	11.53±1.32 bB	34.28±3.17 cB	致密 Dense
	T4	10.13±0.98 bB	11.23±1.92 bB	35.92±3.95 bB	致密 Dense
	对照 Control	6.65±3.59 dD	9.58±8.52 cC	30.16±1.84 dC	致密 Dense
白熟期 White ripening period	T1	12.56±1.52 aA	16.02±1.67 aA	53.53±3.80 aA	致密 Dense
	T2	11.12±1.17 bB	15.32±1.45 bA	49.39±5.91 bB	致密 Dense
	T3	10.98±1.39 cB	14.37±1.36 bB	46.77±7.23 cC	致密 Dense
	T4	10.89±1.00 cB	14.59±1.57 bB	48.39±5.52 bC	致密 Dense
	对照 Control	9.42±0.94 cC	12.48±0.75 cC	41.49±7.14 dD	较致密 Denser
转色期 Color change period	T1	11.12±1.01 aA	25.88±1.39 aA	60.22±4.39 aA	致密 Dense
	T2	9.19±1.12 bB	23.26±1.66 bB	58.44±4.82 bB	致密 Dense
	T3	7.81±1.13 cC	20.81±1.17 cC	57.29±5.00 cC	致密 Dense
	T4	8.25±5.14 bC	21.30±0.70 cB	58.14±3.26 bB	致密 Dense
	对照 Control	6.99±0.92 dC	18.90±1.06 dD	55.91±5.36 dD	较疏松 Looser
脆熟期 Crispy ripening period	T1	7.84±1.53 aA	32.90±1.06 aA	65.74±4.72 aA	致密 Dense
	T2	7.70±1.08 aA	31.11±1.29 bA	62.55±2.59 bA	较致密 Denser
	T3	6.23±1.01 bB	28.99±0.97 bB	59.29±2.98 cC	较致密 Denser
	T4	7.51±3.32 aA	31.08±0.83 bA	61.39±2.92 bB	较致密 Denser
	对照 Control	5.13±0.66 cB	25.63±5.94 cC	48.99±5.77 dD	疏松 Rarefaction

熟期角质层最薄且发生龟裂。在果实的4个发育时期, T1、T2、T3、T4处理的骏枣果皮角质层、表皮层和亚表皮层厚度与对照相比均明显增加, 果肉细胞排列的也较为整齐; 脆熟期, 对照的果皮发生龟裂严重, 角质层几乎不连贯, 而钙制剂处理的则相反; 且钙制剂处理后, 果肉空腔数与对照相比明显减少, 所有处理中T1处理的效果最优。

3 讨论

3.1 喷施不同钙制剂对骏枣裂果率的影响

裂果会使果实的外观品质、抗病害能力和商品价值大大降低, 因此枣裂果问题一直是制约新疆枣产区生产优质枣的一个重要因子。大量研究发现, 叶面喷施钙肥可以显著降低果实的裂果率。喷施钙盐^[13]或CaCl₂和Ca(NO₃)₂溶液浸果^[14]均可显著减少甜樱桃裂果的发生。花前及幼果期喷钙, 可显著降低锦橙的裂果率^[15]。石榴叶面喷施螯合钙, 裂果率较对照降低5.67%~6.75%^[16]。笔者研究认为喷施钙制剂对骏枣裂果发生有一定的防治效果, 幼果期喷施不同浓度的CaCl₂和有机钙制剂, 可显著降低果实脆熟期的裂果率, 与杨双双等^[17]在红枣抗裂研究中得到的氯化钙处理可降低裂果率的结论相同。在本试验

中, 裂果率与果胶酶活性、水溶性果胶含量呈极显著正相关, 与纤维素酶活性呈显著正相关; 裂果率与共价结合果胶、离子结合果胶、纤维素含量呈显著负相关。此外, 果皮蜡质层、表皮层及亚表皮层厚度与裂果率也有着紧密的联系。本试验说明影响枣裂果率的因素有许多, 且细胞壁物质及果皮组织结构的变化与裂果的发生有着很大的关系。

3.2 喷施不同钙制剂对骏枣果皮细胞壁物质的影响

钙是使果皮细胞结构保持稳定的重要物质, 钙在细胞壁中以果胶酸钙的形式存在, 使果胶高度聚合, 阻止果皮细胞被外界水解酶破坏, 阻止中胶层被水解破坏, 强化细胞壁, 以起到减少裂果的作用, 而叶面喷施钙肥是最简单易行且效果明显的一种补钙措施。番荔枝果皮中原果胶含量的变化与果皮的开裂呈负相关^[18]。随着果实的成熟, 易裂葡萄品种水溶性果胶含量及增速显著高于不易裂果品种, 而原果胶和纤维素含量变化则相反^[19]。在对枣的研究中发现, 易裂品种伏脆蜜果皮纤维素、半纤维素及果胶(WSP、ISP、CSP)含量随果实的发育上升, 而抗裂品种板枣果皮中相应物质含量下降^[20]。笔者在本研究中发现, 喷施CaCl₂和有机钙制剂可以增加果皮中纤维素、离子结合型果胶和共价结合

型果胶含量,却降低了水溶性果胶含量,即喷钙处理增加了果皮中纤维素和果胶酸钙的含量,从而减少了骏枣裂果。本试验说明细胞壁物质的构成组分和含量与裂果有着密切的联系,且果皮中WSP含量越高以及纤维素、结合型果胶含量越低更易加快裂果的发生。

3.3 喷施不同钙制剂对骏枣果皮细胞壁降解酶活性的影响

在果实衰老过程中,往往伴随着纤维素酶、果胶酶、果胶甲酯酶等细胞壁相关降解酶活性的升高,导致细胞壁中纤维素、原果胶等被加速分解,最终导致细胞壁被破坏及裂果的发生。浸钙处理可显著降低寒富苹果果实中纤维素酶、多聚半乳糖醛酸酶和果胶甲酯酶的活性^[21],采前喷施CaCl₂和采后浸钙处理都能显著地降低葡萄柚果实细胞壁降解酶活性^[22],西瓜的裂果率与果皮中果胶酶活性、纤维素酶活性呈正相关^[23]。本试验发现,骏枣果皮中纤维素酶活性和果胶酶活性分别在转色期和脆熟期时达到最大值,显著高于其他3个时期,而转色期和脆熟期也是骏枣裂果的高发期。氯化钙和有机钙处理的果皮纤维素酶活性和果胶酶活性在不同的发育时期均显著下降,在4个发育时期,200倍CaCl₂处理果皮中果胶酶活性及纤维素酶活性的降低对裂果率降低的效果最为显著。这说明钙制剂的喷施有效提高了骏枣果实细胞中的钙含量,而钙含量的增加可以抑制细胞壁代谢酶的活性。

3.4 喷施不同钙制剂对骏枣果皮解剖结构的影响

有关果皮细胞厚度与裂果的关系,普遍认为果实裂果率与角质层、表皮层厚度等呈负相关关系。抗裂品种葡萄的果实角质层、表皮层厚度和细胞结构排列的紧密程度明显高于易裂品种^[24],这与本试验的研究结果相似,裂果高发期时骏枣果皮的角质层厚度明显低于绿熟期和白熟期,细胞排列的紧密程度也由致密逐渐变得疏松。在本试验中,不同钙处理使枣果皮角质层保存完整,发生龟裂程度大大减小;且裂果率与角质层及表皮层的厚度有一定相关性,这与王保明等^[25]得出的表皮越厚越抗裂的研究结果一致。不同钙处理的骏枣果肉细胞空腔数减少,这与刘鑫等^[26]在壶瓶枣解剖结构上得出的结论相似。本试验说明采前喷钙可以提高细胞中的钙含量,维持果实细胞的形态,有利于保持果实细胞壁的完整性和弹性,进而减少果实裂果的发生。

4 结 论

试验结果表明,幼果期叶面喷钙处理可以有效防止骏枣裂果,显著降低纤维素酶及果胶酶活性,提高果皮中纤维素和结合型果胶含量,减缓纤维素及原果胶的分解;同时,叶面喷施钙制剂能增加骏枣果皮角质层、表皮层及亚表皮层的厚度,提高果皮细胞壁强度,降低裂果率。喷施外源钙制剂可降低骏枣裂果率,且喷施200倍的CaCl₂效果最好。

参考文献 References:

- [1] 刘孟军,王玖瑞,刘平,赵锦,赵智慧,代丽,李宪松,刘志国. 中国枣生产与科研成就及前沿进展[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1683-1698.
LIU Mengjun, WANG Jiurui, LIU Ping, ZHAO Jin, ZHAO Zhihui, DAI Li, LI Xiansong, LIU Zhiguo. Historical achievements and frontier advances in the production and research of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba*) in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(9): 1683-1698.
- [2] 王雨,李占林,斯琴,王允栋. 新疆枣产业现状及发展建议[J]. 落叶果树, 2020, 52(3): 28-30.
WANG Yu, LI Zhanlin, SI Qin, WANG Yundong. Present situation and development suggestions of jujube industry in Xinjiang[J]. Deciduous Fruits, 2020, 52(3): 28-30.
- [3] 金枝,陈倩,代琳心,马建锋. 木质纤维细胞壁大分子取向研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(12): 153-160.
JIN Zhi, CHEN Qian, DAI Linxin, MA Jianfeng. Research progress in macromolecular orientation of lignocellulosic cell wall[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(12): 153-160.
- [4] 张泽中. 番茄裂果的原因及防治措施[J]. 河南农业, 2021(10): 35.
ZHANG Zezhong. Causes and prevention measures of tomato cracked fruit[J]. Agriculture of Henan, 2021(10): 35.
- [5] 龙鹏,段铸轩,朱明涛. 外源钙肥对瑞都早红葡萄裂果和果实品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2022(4): 199-201.
LONG Peng, DUAN Zhuxuan, ZHU Mingtao. Effects of exogenous calcium fertilizer on fruit splitting and fruit quality of Ruidu Early Red grape[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2022(4): 199-201.
- [6] MICHAEL M, EVANGELOS K, GEORGIA T, EIRINI S, KATERINA K, ATHINA L, STEFAN M, ATHANASSIOS M. Sweet cherry fruit cracking: follow-up testing methods and cultivar-metabolic screening[J]. Plant Methods, 2020, 16: 51.
- [7] MESHARAM D T, GORANTIWAR S D, DA SILVA J A T, JADHAV V T, CHANDRA R. Water management in pomegranate[J]. Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology, 2010, 4(2): 106-112.
- [8] 陈桂芬,黄玉溢,熊柳梅,邢颖. 不同柑橘品种裂果比较及施钙对柑橘的影响效应[J]. 中国园艺文摘, 2013, 29(1): 1-2.
CHEN Guifen, HUANG Yuyi, XIONG Liumei, XING Ying. Comparison of split fruits of different *Citrus* cultivars and the effect of calcium application on *Citrus*[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2013, 29(1): 1-2.
- [9] 陈继群,刘丽贞,陈杰忠,张海岚. 不同钙处理对脐橙裂果及其细胞壁酶活性的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(6): 29-32.

- CHEN Jiqun, LIU Lizhen, CHEN Jiezhong, ZHANG Hailan. Effects of various calcium treatments on fruit cracking and cell wall enzyme activities in Navel orange[J]. Journal of South China Agricultural University, 2014, 35(6): 29-32.
- [10] 和银霞, 李卫东, 叶丽琴, 张忠爽, 王安琪, 郝巨辉, 常立军. 采前喷钙对贮藏期欧李果实腐烂率及糖酸含量的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 247-252.
- HE Yinxia, LI Weidong, YE Liqin, ZHANG Zhongshuang, WANG Anqi, HAO Juhui, CHANG Lijun. Effects of preharvest calcium spray on decay incidence and the contents of sugar and organic acid in Chinese dwarf cherry [*Cerasus humilis* (Bge.) Sok.] during storage[J]. Food Science, 2016, 37(14): 247-252.
- [11] 欧志锋, 刘利, 姜远茂, 魏绍冲, 李华. 采前喷钙对红富士苹果果实品质及贮藏性能的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(12): 192-196.
- OU Zhifeng, LIU Li, JIANG Yuanmao, WEI Shaochong, LI Hua. Effects of preharvest calcium sprays on quality and storage properties of Red Fuji apple (*Malus pumila* Mill.) [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(12): 192-196.
- [12] 冯丽云, 张春芬, 聂园军, 邓舒, 温鑫, 肖蓉, 李倩, 任莹, 罗慧珍, 曹秋芬. 苹果花药石蜡切片制片技术改良及其解剖学观察[J]. 中国农学通报, 2016, 32(31): 62-67.
- FENG Liyun, ZHANG Chunfen, NIE Yuanjun, DENG Shu, WEN Xin, XIAO Rong, LI Qian, REN Ying, LUO Huizhen, CAO Qiufen. Improvement of paraffin section methods and structural observation of apple anther[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(31): 62-67.
- [13] 刘珠琴, 赵秀花, 厉鑫, 黄宗兴. 外源钙对中国樱桃果实品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(4): 723-724.
- LIU Zhuqin, ZHAO Xiuhua, LI Xin, HUANG Zongxing. Effect of exogenous calcium application on fruit quality of Chinese cherry[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2021, 62(4): 723-724.
- [14] 李泓利, 刘港帅, 田慧琴, 傅达奇. 果实开裂研究进展[J]. 生物工程学报, 2021, 37(8): 2737-2752.
- LI Hongli, LIU Gangshuai, TIAN Huiqin, FU Daqi. Fruit cracking: A review[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2021, 37(8): 2737-2752.
- [15] 温明霞, 石孝均. 锦橙裂果的钙素营养生理及施钙效果研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(6): 1127-1134.
- WEN Mingxia, SHI Xiaojun. Influence of calcium on fruit cracking of Jincheng orange and its physiological mechanism[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(6): 1127-1134.
- [16] 李君, 王玲玲. 叶面喷施螯合钙 EDTTi-Ca 对石榴果实品质的影响[J]. 分子植物育种, 2022, 20(18): 6167-6176.
- LI Jun, WANG Lingling. Effect of leaf calcium fertilizer on the quality and cracking of pomegranate fruit[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(18): 6167-6176.
- [17] 杨双双, 鲁晓燕, 王青凤, 马兵钢, 茹思博, 王策, 樊新民, 赵宝龙. CaCl₂ 浸果对新疆枣裂果率及钙钾镁含量的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(4): 761-768.
- YANG Shuangshuang, LU Xiaoyan, WANG Qingfeng, MA Binggang, RU Sibao, WANG Ce, FAN Xinmin, ZHAO Baolong. Influence of fruit soaked by CaCl₂ on fruit cracking rate and Ca, K, Mg content of jujube in Xinjiang[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(4): 761-768.
- [18] 李伟明, 陈晶晶, 段雅婕, 胡会刚, 庞振才, 胡玉林. 番荔枝果实后熟过程多糖代谢与果实软化和采后裂果的关系[J]. 植物生理学报, 2018, 54(11): 1727-1736.
- LI Weiming, CHEN Jingjing, DUAN Yajie, HU Huigang, PANG Zhencai, HU Yulin. Effects of anti-ethylene treatments on polysaccharide metabolism, fruit softening and their relationship with postharvest cracking of atemoya fruit[J]. Plant Physiology Journal, 2018, 54(11): 1727-1736.
- [19] 王敏, 韩守安, 张雯, 谢辉, 艾尔买克·才卡斯木, 张付春, 钟海霞, 弓佳琪, 潘明启. 不同裂性葡萄品种果皮结构及代谢物质差异分析[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(7): 1642-1649.
- WANG Min, HAN Shouan, ZHANG Wen, XIE Hui, Aiermaike·Caikasimu, ZHANG Fuchun, ZHONG Haixia, GONG Jiaqi, PAN Mingqi. Analysis of histological structure and cell wall metabolites in different cracking grape varieties[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2022, 59(7): 1642-1649.
- [20] 王建宇. 枣裂果生理特征及转录组和蛋白组学分析[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2020.
- WANG Jianyu. Physiological characteristics, transcriptome and proteomic analysis of jujube fruit cracking[D]. Alar: Tarim University, 2020.
- [21] 裴健翔, 李燕青, 程存刚, 李壮. 不同钙制剂对‘寒富’苹果果实硬度及相关细胞壁代谢物质的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(9): 1059-1066.
- PEI Jianxiang, LI Yanqing, CHENG Cungang, LI Zhuang. Effects of different calcium agents on fruit firmness and related cell wall metabolites in ‘Hanfu’ apple[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(9): 1059-1066.
- [22] 邓佳, 史正军, 王连春, 吴海波, 刘惠民. 钙处理对葡萄柚果实细胞壁物质代谢及其相关基因表达的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 450-458.
- DENG Jia, SHI Zhengjun, WANG Lianchun, WU Haibo, LIU Huimin. Effects of calcium treatments on cell wall material metabolism and related enzyme activities and gene expression in grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.) [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(2): 450-458.
- [23] 高美玲, 于长宝, 魏晓明, 李佳益, 刘岩. 抗裂与易裂果西瓜果皮解剖结构及酶活性比较[J]. 北方园艺, 2016(20): 92-96.
- GAO Meiling, YU Changbao, WEI Xiaoming, LI Jiayi, LIU Yan. Comparison of anatomic structure and enzyme activity of fruit rinds in crack-resistant and crack-prone watermelons[J]. Northern Horticulture, 2016(20): 92-96.
- [24] 张川. 葡萄种质资源裂果性评价和裂果相关候选基因鉴定[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- ZHANG Chuan. Evaluation of berry-cracking in grape germplasm resources and identification of candidate genes related to berry-cracking[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020.
- [25] 王保明, 丁改秀, 王小原, 付春宝, 秦国杰, 杨俊强, 仓国营, 温鹏飞. 枣果实裂果的组织结构及水势变化的原因[J]. 中国农业科学, 2013, 46(21): 4558-4568.
- WANG Baoming, DING Gaixiu, WANG Xiaoyuan, FU Chunbao, QIN Guojie, YANG Junqiang, CANG Guoying, WEN Pengfei. Changes of histological structure and water potential of Huping jujube fruit cracking[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(21): 4558-4568.
- [26] 刘鑫, 杨翠花, 雍鹏, 杨延青. 枣成熟期果皮解剖结构特性研究[J]. 山西林业科技, 2013, 42(3): 12-14.
- LIU Xin, YANG Cuihua, YONG Peng, YANG Yanqing. Study on pericarp anatomical structure of jujube in mature stage[J]. Shanxi Forestry Science and Technology, 2013, 42(3): 12-14.