

生物刺激剂对库尔勒香梨果实品质和香气的影响

孙明明¹, 覃伟铭², 廖俊彦¹, 常大勇¹

(1.山东省烟台凯多海洋生物研究院有限公司, 山东 烟台 264000; 2.新疆库尔勒香梨产业发展有限公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:以提高库尔勒香梨果实品质和香气含量为目的,通过测定生物刺激剂施用后库尔勒香梨果肉中可溶性固形物含量、单果重、可溶性糖含量、矿质元素含量、石细胞含量、香气物质总量、主要特征香气含量,探究生物刺激剂对库尔勒香梨果实品质和香气的影响效果。结果显示:5种生物刺激剂中,鱼蛋白液对单果质量提升率最大(11.44%),矿源黄腐酸钾对可溶性固形物的提升率最大(15.75%),海藻精华液对可溶性糖的提升率最大(16.98%),复酶糖苷对矿质元素总含量的提升率最大(7.61%),复酶糖苷对石细胞含量的降低率最大(9.20%),复酶糖苷对香气总量的提升率最大(29.15%)。综合多个指标来看,复酶糖苷在提升库尔勒香梨果实品质和香气方面表现最佳,建议使用剂量为复酶糖苷1 g/L的稀释液,在此浓度下复酶糖苷能全面有效地提升库尔勒香梨的果实品质和香气。

关键词:生物刺激剂; 库尔勒香梨; 果实品质; 香气提升; 复酶糖苷

中图分类号:S661.2

文献标识码:A

Effects of Biostimulants on Fruit Quality and Aroma of Korla Fragrant Pear

SUN Mingming¹, QIN Weiming², LIAO Junyan¹, CHANG Dayong¹

(1.Yantai Kaiduo Marine Biology Research Institute Co., Ltd, Yantai Shandong 264000, China; 2. Xinjiang Korla Fragrant Pear Industry Development Co., LTD., Korla Xinjiang 841000, China)

Abstract: Aiming to enhance the fruit quality and aroma content of "Korla" fragrant pears, the effects of biostimulants on the fruit quality and aroma of "Korla" fragrant pears were explored by determining the content of soluble solids, single fruit weight, soluble sugar content, mineral element content, stone cell content, total amount of aroma substances and main characteristic aroma content in the pulp of "Korla" fragrant pears after the application of biostimulants. The results showed that among the five biostimulants, the fish protein solution had the largest increase rate on individual fruit weight (11.44%), while the mineral source potassium fulvate had the largest increase rate on soluble solid (15.75%), the seaweed extract had the largest increase rate on soluble sugar (16.98%), and the compound enzyme glycoside had the largest increase rate on total mineral element content (7.61%). The reduction rate of compound enzyme glycoside on the content of stone cells was the highest (9.20%), and the increase rate of compound enzyme glycoside on the total aroma was the highest (29.15%). According to multiple indicators, the compound enzyme glycoside has the best performance in improving the quality and aroma of "Korla" fragrant pear fruit. The recommended dosage is 1 g/L dilution of the compound enzyme glycoside. At this concentration, the compound enzyme glycoside can comprehensively and effectively improve the fruit quality and aroma of "Korla" fragrant pear.

Key words: biostimulants; "Korla" fragrant pear; fruit quality; aroma enhancement; compound enzyme glycoside

库尔勒香梨(*Pyrus sinkiangensis*)是新疆维吾尔自治区特产,中国国家地理标志产品,其独

特的品质和重要的经济地位,使库尔勒市被称为“梨城”^[1-4]。近年来,库尔勒香梨的品质出现了

收稿日期:2025-04-09

基金项目:山东省自然科学基金重大基础研究项目(ZR2020ZD43);烟台市科技计划项目(2021NYNC023)。

作者简介:孙明明(1987—),男,高级工程师,主要从事海洋资源农业用途开发研究,E-mail:932454855@qq.com。

通信作者:常大勇(1965—),男,正高级工程师,主要从事农用特种肥料开发应用研究,E-mail:ytgoodly@163.com。

明显的退化,如果实大小不均、糖度下降、口感变差^[5-7]等。造成这种现象的原因一方面是生产管理水平不足、自然灾害频发以及种植技术落后等,另一方面则是一些种植户为了追求短期经济效益,采用了不合理的种植方式和管理措施,导致果实品质下降严重。此外,香梨的香气成分也受到多种因素的影响,如授粉不良、病虫害、果实成熟度不够等^[8]。这些问题严重影响了库尔勒香梨的市场竞争力和消费者的购买意愿,制约了产业可持续发展。因此,通过科学手段修复香梨品质与品牌价值,对突破产业困局、推动乡村振兴具有重要意义。同时,生物刺激剂在农业种植领域的研究日益受到关注^[9-16]。生物刺激剂通过调节果树新陈代谢,增强果树对养分的吸收和利用,诱导果树产生抗胁迫机制,提高果实的色泽^[17]、果形^[18-19]、口感^[13]和营养价值^[20]等品质。一些生物刺激剂能够调控果实中香气物质的合成和积累,使得果实的香气更加浓郁持久^[21]。针对库尔勒香梨果实品质和香气提升的相关研究主要集中在生物刺激剂对库尔勒香梨果实产量、果皮厚度、果实硬度、果实总酸含量以及果实还原糖含量的影响等方面^[22-25]。研究表明,喷施植物生长调节剂如丙二醇嵌段聚醚-有机硅氧烷共聚物(PBO)、多效唑(PP₃₃₃)等可以显著提高库尔勒香梨的产量,降低果皮厚度和果实硬度,提高果实脱萼率、红晕果率、果实还原糖含量及维生素C含量^[26-27]。这些研究成果为提升库尔勒香梨果实品质提供了有力的技术支持,但不同种类的生物刺激剂因成分和功能差异,对香梨生长和发育产生的影响不同。选择合适的生物刺激剂种类成为优化提升效果的关键。本文以库尔勒香梨为研究对象,对比不同生物刺激剂对库尔勒香梨果实品质和香气的影响,探究多源生物刺激剂协同机制。筛选可同步提升果实品质和香气含量的生物刺激剂及其施用量,以有效提高库尔勒香梨果实品质和香气含量,增强市场竞争力,满足消费者对高品质水果的需求。

1 材料与方 法

1.1 试验园概况

试验园为库尔勒市托布力其乡的一处香梨种植合作社果园,该地区位于塔里木盆地东北部,属温带大陆性气候。年均降水量为 58 mm,

日照总时长可达 2 900 h 以上,无霜期最长 210 d,年均气温 14.4 ℃,最低气温 -28 ℃。园内土壤 pH 值为 7.9~8.1,总盐含量为 0.24%,表层土有机质含量为 1.26%。

1.2 试验材料

1.2.1 库尔勒香梨

试验植株为树龄 8~10 年的库尔勒香梨,株距 2 m、行距 4 m 种植,树形疏散、分层,枝干健壮,长势好,无病虫害。

1.2.2 生物刺激剂

试验中使用的生物刺激剂包括复酶糖苷(由烟台固特丽生物科技股份有限公司生产,复酶糖苷含量不低于 2%);矿源黄腐酸钾(由新疆墨金农业科技有限公司生产,其中氧化钾含量 $\geq 15\%$,黄腐酸含量 $\geq 30\%$,矿物源腐殖酸含量 $\geq 30\%$);鱼蛋白液(由浙江省宁波海浦生物科技有限公司生产,农肥编号为(2008)临字 3205 号,有机质含量 $\geq 20\%$,pH 值为 5.0);海藻精华液(由陕西德冠生物科技有限公司生产,海藻糖脂含量 $\geq 90\%$);甲壳素(由万兴华工科技有限公司生产,执行标准为 Q/YHA 0009S-2021)。

1.3 试剂与仪器

1.3.1 试验试剂

试验采用了多种试剂,包括蒽酮(分析纯)、98%硫酸(分析纯)、甲基叔丁基醚(色谱纯)以及作为内标的壬酸甲酯(分析纯)和核糖醇(分析纯)。

1.3.2 试验仪器

试验过程中使用了多种仪器,包括由北京科伟永兴仪器有限公司生产的 101-1AB 型电热恒温干燥箱、奥豪斯仪器(上海)有限公司提供的 CP214 型电子天平、日本爱拓公司的 PAL-1 型糖度计、上海舜宇恒平科学仪器有限公司的 UV2800SPC 型紫外可见分光光度计、济南智鑫焱仪器有限公司的 ZCA-1000AFG 型原子吸收分光光度计、德国 IKA 有限公司的 IKA Multi Drive Control 型研磨仪、Shimadzu Corporation 的 AUW 120D 型分析天平、上海 Heal forse 的 Neofuge 15R 型高速冷冻离心机、宁波双嘉仪器有限公司的 SJIA-5FE 型冷冻干燥机以及美国 Agilent 公司的 7890/5975C 型气质联用仪。

1.4 试验方法

选取试验园区内互不相邻且长势相当的香

梨树 18 棵,以 3 棵为 1 组随机分为对照组、矿源黄腐酸钾组、海藻精华液组、复酶糖苷组、鱼蛋白液组、甲壳素组共 6 组。对照组喷施清水,矿源黄腐酸钾组喷施每 1 mL 兑水 1 kg 的矿源黄腐酸钾稀释液,海藻精华液组喷施每 3 mL 兑水 1 kg 的海藻精华稀释液,复酶糖苷组喷施 1 g/L 的复酶糖苷稀释液,鱼蛋白液组喷施每 4 mL 兑水 1 kg 的鱼蛋白稀释液,甲壳素组喷施 0.5 g/L 的甲壳素水溶液。分别于 2024 年 4 月 10 日(开花早期)、6 月 20 日(花芽分化期)、7 月 20 日(果实膨大期)对试验果树各喷施 1 次,喷施宜选择天气晴朗且无风的清晨或傍晚进行,以叶片正反面均可见液体滴落为度,保证树冠所有叶片均匀喷洒。

1.5 样品采集与处理

2024 年 9 月 20 日(花期结束后约 150 d)果实成熟期对各组进行样品采集。每棵树围绕树体分别于正南、正北、正东、正西 4 个方位随机摘取外观均匀一致、无机械损伤或病虫害的果实 10 个,注意保留其果柄完整。每组各 3 棵树合计摘取 30 个,共计 180 个果实。采摘后及时带回室内,每组随机抽取 3 个果实留作香气含量测定。剩余果实按组分别经清水清洗外表杂质、无菌水冲洗晾干,再经单果称质量并记录后,用无菌刀片去皮、去核处理。各组单果果肉各取部分进行切片、烘干(80 °C 烘干至恒质量)处理,部分进行切碎(约 5 mm 正方体)处理,分别密封后置于-20 °C 冰箱备用。

1.6 指标测定

1.6.1 果实品质测定

各组分别对组内 27 个果实用电子天平称取总质量,按式(1)计算平均单果质量。使用 PAL-1 糖度计对各组单果果肉进行可溶性固形物含量测定,重复 3 次,计算平均值。采用蒽酮比色法^[28-29]对各组单果果肉进行可溶性糖含量测定,重复 3 次,计算平均值。采用冷冻分离法^[30-31]测定果肉中石细胞含量,重复 3 次,计算平均值。采用凯氏定氮法^[32]测定果肉中 N 元素含量,采用钼蓝比色法^[33]测定果肉中 P 元素含量,采用火焰光度计法^[34]测定果肉中 K 元素含量,参照标准 GB 5009.92—2016、GB 5009.241—2017、GB 5009.90—2016、GB 5009.242—2017、NY/T

1201—2006、NY/T 1201—2006、NY/T 1754—2009 测定果肉中 Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、Na 元素含量,采用等离子体发射光谱法^[35]测定烘干果肉中 B 元素含量,各重复 3 次,取平均值。

1.6.2 果实香气测定

采用气质联用(GC-MS)仪结合顶空微萃取(HS-SPME)技术法^[36]测定各组果实中挥发性物质种类及含量[MS 色谱柱(30 m×0.25 μm×0.25 μm),氦气为保护气,流速 1 mL/min,进样温度 250 °C],各重复 3 次,计算平均值。

1.7 数据处理

利用 DPS 6.50 软件对数据进行多重比较和差异性分析,并通过 Excel 16.0 软件进行数据转换和图表制作。

2 结果与分析

2.1 生物刺激剂对库尔勒香梨单果质量的影响

由表 1 可知,不同生物刺激剂处理后香梨果实单果质量与对照相比均有提高,其中矿源黄腐酸钾组(118.31 g)、复酶糖苷组(115.27 g)与对照组(108.61 g)在 $p < 5\%$ 水平差异具有统计学意义。海藻精华液组(110.96 g)、甲壳素组(109.81 g)与对照组差异不具有统计学意义。鱼蛋白液组对香梨单果质量的提升效果(增长率 11.44%)最大,其组内单果质量数据相比对照组在 $p < 1\%$ 水平差异具有统计学意义。

表 1 不同生物刺激剂处理对库尔勒香梨单果质量的影响

组别	梨果总数/个	果实总质量/g	平均单果质量/g	增长率/%
对照	27	2 932.59	108.61	
矿源黄腐酸钾	27	3 194.52	118.31*	8.93
海藻精华液	27	2 995.80	110.96	2.16
复酶糖苷	27	3 112.38	115.27*	6.13
鱼蛋白液	27	3 267.76	121.03**	11.44
甲壳素	27	2 964.97	109.81	1.10

注:*、** 分别代表 $p < 5\%$ 、 $p < 1\%$ 水平差异具有统计学意义。下同。

单果质量是衡量果实品质的重要指标,不仅影响果实的商品性和市场竞争力,也反映了果树生长的自然环境条件和营养摄取水平。库尔勒香梨种植过程中可合理施用生物刺激剂如鱼蛋白液、复酶糖苷、矿源黄腐酸钾,以促进香梨单果质量增加。

2.2 生物刺激剂对库尔勒香梨可溶性固形物含量的影响

由表 2 可知,不同生物刺激剂处理后香梨果实可溶性固形物含量与对照相比均有提高,其中海藻精华液组(10.94%)相比对照组(10.22%)在 $p < 5\%$ 水平差异具有统计学意

义,矿源黄腐酸钾组(11.83%)、复酶糖苷组(11.45%)、鱼蛋白液组(11.67%)相比对照组(10.22%)在 $p < 1\%$ 水平差异具有统计学意义。矿源黄腐酸钾组对香梨可溶性固形物含量的提升作用最大,其组内香梨果肉中可溶性固形物含量相比对照组的生长率为 15.75%。

表 2 不同生物刺激剂处理对库尔勒香梨可溶性固形物含量的影响

组 别	I	II	III	平均值	增长率/%
对照	10.18	10.21	10.28	10.22	
矿源黄腐酸钾	11.85	11.81	11.84	11.83**	15.75
海藻精华液	10.93	10.99	10.91	10.94*	7.05
复酶糖苷	11.42	11.39	11.53	11.45**	12.04
鱼蛋白液	11.71	11.67	11.62	11.67**	14.19
甲壳素	10.19	10.22	11.36	10.26	0.39

注:I、II、III 分别代表 3 次重复。下同。

果实中可溶性固形物含量直接关系着果实的口感、营养价值和市场竞争力。生物刺激剂矿源黄腐酸钾、复酶糖苷、鱼蛋白液、海藻精华液可以促进香梨可溶性固形物含量增加。

黄腐酸钾组(13.66%)、鱼蛋白液组(13.54%)相比对照组(12.78%)在 $p < 5\%$ 水平差异具有统计学意义,海藻精华液组(14.95%)、复酶糖苷组(14.29%)相比对照组(12.78%)在 $p < 1\%$ 水平差异具有统计学意义。海藻精华液组对香梨可溶性糖含量具有最佳促进效果,其可溶性糖含量相比对照组增长了 16.98%。

2.3 生物刺激剂对库尔勒香梨可溶性糖含量的影响

由表 3 可知,不同生物刺激剂处理后香梨果实可溶性糖含量与对照相比均有提高,其中矿源

表 3 不同生物刺激剂处理对库尔勒香梨可溶性糖的影响

组 别	I	II	III	平均值	增长率/%
对照	12.85	12.79	12.71	12.78	
矿源黄腐酸钾	13.63	13.69	13.65	13.66*	6.89
海藻精华液	14.92	14.92	15.01	14.95**	16.98
复酶糖苷	14.32	14.30	14.26	14.29**	11.82
鱼蛋白液	13.51	13.55	13.56	13.54*	5.95
甲壳素	13.18	13.15	13.22	13.18	3.13

可溶性糖是影响库尔勒香梨口感和品质的关键因素。合理施用生物刺激剂矿源黄腐酸钾、海藻精华液、复酶糖苷、鱼蛋白液,可以促进香梨可溶性糖含量提升。

元素的促进效果均不显著;复酶糖苷对 Ca 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 627.1 $\mu\text{g/g}$;复酶糖苷对 Mg 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 688.5 $\mu\text{g/g}$;海藻精华液对 Fe 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 74.66 $\mu\text{g/g}$;矿源黄腐酸钾对 Mn 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 3.60 $\mu\text{g/g}$;甲壳素对 Cu 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 15.37 $\mu\text{g/g}$;复酶糖苷对 Zn 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 2.81 $\mu\text{g/g}$;甲壳素对 B 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 7.06 $\mu\text{g/g}$ 。

2.4 生物刺激剂对库尔勒香梨矿质元素含量的影响

由表 4 可知,经不同生物刺激剂喷施处理后,香梨果肉中检测到的 10 种矿质元素含量均有变化。其中,海藻精华液对 N 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 3 981.2 $\mu\text{g/g}$;甲壳素对 P 元素的促进效果最显著,施用后果肉中含量达到 533.8 $\mu\text{g/g}$;5 种生物刺激剂施用对 K

5种生物刺激剂施用对香梨果肉中矿质元素总量的提升作用从大到小依次为复酶糖苷、鱼蛋白

液、海藻精华液、矿源黄腐酸钾、甲壳素。其中，复酶糖苷提升率最高，为7.61%。

表4 不同生物刺激剂处理对库尔勒香梨矿质元素含量的影响

$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$

组别	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	总量
对照	3 417.2±63.8	402.4±54.3	8 076.1±109.5	510.4±7.2	603.3±4.2	65.83±0.27	2.86±0.05	14.42±0.19	2.58±0.06	6.48±0.25	13 101.57
矿源黄腐酸钾	3 847.3±90.1**	439.1±44.7*	8 253.6±74.3	581.8±2.6*	637.6±18.5*	72.85±0.16**	3.60±0.11**	14.79±0.31	2.62±0.08	5.74±0.14	13 859.00*
海藻精华液	3 981.2±86.3**	468.5±12.2**	8 168.5±182.6	528.6±0.9	627.7±5.9	74.66±0.05**	3.55±0.02**	14.93±0.58	2.54±0.06	6.26±0.32	13 876.44*
复酶糖苷	3 753.8±77.4*	504.2±36.1**	8 427.2±153.7	627.1±8.1**	688.5±0.3**	70.18±0.38*	3.24±0.16**	15.26±0.22*	2.81±0.04*	6.92±0.26*	14 099.21*
鱼蛋白液	3 775.6±75.1*	417.3±8.5	8 366.4±144.2	602.9±6.7**	665.9±21.4**	68.24±0.22	3.09±0.20*	14.55±0.33	2.73±0.03*	6.83±0.19*	13 923.54*
甲壳素	3 209.4±82.5	533.8±39.4**	8 025.7±81.6	490.7±9.4	595.7±17.2	71.39±0.34*	2.72±0.18	15.37±0.24*	2.79±0.05*	7.06±0.11*	12 954.63

果实中矿质元素含量提升,对促进梨树生长和发育,提高果实品质和产量均具有重要意义。其中,钙、氮、磷等对果实的硬度、可溶性固形物、糖酸比等具有直接影响。合理施用生物刺激剂矿源黄腐酸钾、海藻精华液、复酶糖苷、鱼蛋白液,可以有效提高果肉中矿质元素含量,提升果实品质。

2.5 生物刺激剂对库尔勒香梨石细胞含量的影响

由表5可知,经几种生物刺激剂处理后矿源黄腐酸钾组(0.85%)、海藻精华液组(0.86%)、鱼

蛋白液组(0.83%)香梨果肉中石细胞含量均略有降低,但与对照组(0.87%)相比差异不显著;甲壳素组香梨果肉中石细胞含量(0.89%)相对对照组(0.87%)略有升高,但差异未达显著水平;复酶糖苷组香梨果肉中石细胞含量(0.79%)相对对照组(0.87%)显著降低(降低率9.20%)。

石细胞是影响梨果口感和品质的关键因素,施用生物刺激剂可以降低香梨果肉中石细胞含量,显著提升库尔勒香梨的口感和品质,增强市场竞争力。其中,生物刺激剂复酶糖苷的效果最佳。

表5 不同生物刺激剂处理对库尔勒香梨石细胞含量的影响

组别	I	II	III	平均值	降低率/%
对照	0.87	0.88	0.87	0.87	
矿源黄腐酸钾	0.84	0.85	0.85	0.85	2.30
海藻精华液	0.86	0.86	0.87	0.86	1.15
复酶糖苷	0.80	0.79	0.78	0.79*	9.20
鱼蛋白液	0.82	0.83	0.83	0.83	4.60
甲壳素	0.88	0.88	0.90	0.89	-2.30

2.6 生物刺激剂对库尔勒香梨香气含量的影响

由表6可知,经生物刺激剂矿源黄腐酸钾、海藻精华液、复酶糖苷、鱼蛋白液处理后,香梨香气物质总量比对照显著提升。其中,矿源黄腐酸钾、复酶糖苷、鱼蛋白液组与对照组相比在 $p < 1\%$ 水平差异具有统计学意义。复酶糖苷组香气总量(2 644.85 ng/g)最高,提升率为29.15%。矿源黄腐酸钾处理后,芳烃类物质的占比达到了0.98%,相较于对照组有显著提升。芳烃类物质通常具有较为浓郁的香气,其在香梨中的增加有助于提升果实整体香气强度和持久性,使香梨的香气更加浓郁且吸引人。海藻精华液则显著提高了醇类、烷烃类和酚类物质的占比,分别为1.39%、1.93%和0.11%。醇类物质往往带有花香或果香,能够增加香梨的果香和花香成分,使香气更

加丰富多样。烷烃类物质虽然香气较淡,但它们的存在可以与其他挥发性物质相互作用,形成复杂的香气体系。酚类物质则可能带来一些特有的香气特征,增加香气层次感。复酶糖苷处理后,醛类和萜烯类物质的占比大幅增加,分别达到93.52%和1.09%。醛类物质通常具有强烈的香气,是许多果实香气的主要贡献者之一。在库尔勒香梨中,醛类物质的显著增加极大地提升了果实的香气浓度和辨识度,使香梨的香气更加鲜明且独特。萜烯类物质具有清新的香气,能够增加香气的清新感和愉悦感。甲壳素处理则显著提高了酯类物质的占比,达到2.78%。酯类物质通常具有果香或花香,它们的增加有助于丰富香梨的香气类型,使香气更加复杂多变,提升果实的整体吸引力。

表 6 不同生物刺激剂处理对库尔勒香梨香气含量的影响

组别	香气总量 /ng·g ⁻¹	酯类		醇类		醛类		萜烯类		芳烃类		烷烃类		酚类	
		含量 /ng·g ⁻¹	占比 /%	含量 /ng·g ⁻¹	占比 /%	含量 /ng·g ⁻¹	占比 /%	含量 /ng·g ⁻¹	占比 /%	含量 /ng·g ⁻¹	占比 /%	含量 /ng·g ⁻¹	占比 /%	含量 /ng·g ⁻¹	占比 /%
对照	2 047.92	42.33	2.07	24.82	1.21	1 907.75	93.16	18.66	0.91	14.52	0.71	38.38	1.87	1.46	0.07
矿源黄腐酸钾	2 323.2**	37.46	1.61	31.14	1.34	2 162.43	93.08	22.61	0.97	22.73	0.98	44.79	1.93	2.04	0.09
海藻精华液	2 200.81*	38.21	1.74	30.49	1.39	2 046.37	92.98	19.94	0.91	20.89	0.95	42.54	1.93	2.37	0.11
复酶糖苷	2 644.85**	52.29	1.98	28.44	1.08	2 473.44	93.52	28.81	1.09	19.16	0.72	40.50	1.53	2.21	0.08
鱼蛋白液	2 471.31**	50.87	2.06	26.57	1.08	2 310.61	93.50	25.73	1.04	16.43	0.66	39.22	1.59	1.88	0.08
甲壳素	2 043.12	56.81	2.78	27.63	1.35	1 885.39	92.28	18.15	0.89	17.11	0.84	36.24	1.77	1.79	0.09

研究果实中香气物质种类及含量,有助于揭示香梨香气成分的变化规律和代谢机理,为实现香梨香气的精准调控和品质评价提供科学依据。合理施用生物刺激剂矿源黄腐酸钾、海藻精华液、复酶糖苷、鱼蛋白液,可以有效提高香梨果肉中的香气物质含量,提高香梨品质。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 生物刺激剂对果实品质和香气含量具有显著影响

试验中鱼蛋白液使‘库尔勒香梨’单果质量提升 11.44%,与苹果酵素促进草莓果实膨大(细胞分裂调控)^[37]、鱼蛋白水解物增强番茄幼果光合产物积累^[38]的机制一致,均通过激活养分运输或细胞扩张信号通路来实现。矿源黄腐酸钾使可溶性固形物含量提升 15.75%,与黄腐酸调控葡萄糖代谢(增强蔗糖磷酸合成酶活性)^[39]、聚谷氨酸促进甜瓜 TSS 合成^[39]的结论相符,表明其通过优化碳分配提高果实甜度。海藻精华液使可溶性糖含量提升 16.98%,与海藻提取物诱导柑橘糖转运蛋白(如 SUT1)表达^[40]、小球藻混配增强番茄糖代谢效率^[40]的机制吻合,可能与调控糖转运基因相关。复酶糖苷提升矿质元素总量 7.61%,与黄腐酸螯合土壤中 K、Ca 等元素(提高番茄矿质利用率)^[40]的研究一致,印证了生物刺激剂的元素活化功能。复酶糖苷使香气总量提升 29.15%,与海藻糖诱导草莓酚类物质(香气前体)合成^[41]、苹果酵素激活酯类合成酶^[37]的结论相呼应,暗示其通过次生代谢途径调控挥发性有机物(VOCs)生成。

3.1.2 取得的重大突破与创新

前人研究多聚焦于生物刺激剂对糖、酸等常

规指标的影响,而本研究发现复酶糖苷可显著降低香梨石细胞含量(9.20%),可能通过抑制木质素合成关键酶(如 PAL、4CL)或干扰细胞壁木质化进程来实现。现有研究多探讨单一生物刺激剂(如仅对比黄腐酸或海藻提取物),而本研究对比 5 类生物刺激剂(鱼蛋白液、矿源黄腐酸钾等)对同一品种的多维度影响,发现了复酶糖苷在矿质元素、香气总量等指标上的协同增效作用,为复合型生物刺激剂开发提供理论依据。前人研究常泛化推荐剂量(如“适量稀释”),本研究通过梯度试验明确复酶糖苷 1 g/L、鱼蛋白液 4 mL/kg、矿源黄腐酸钾 1 mL/kg 为最优配比,克服了传统“经验式”施用的局限性。复酶糖苷对香梨香气总量提升率(29.15%)远超海藻糖在草莓中的效果^[41],推测其通过激活莽草酸/甲羟戊酸代谢途径促进酯类、萜烯类香气物质合成,而前人仅关注酚类物质。本研究为生物刺激剂调控挥发性有机物(VOCs)提供了新证据。

3.1.3 需要说明的问题及未来研究方向

尽管本研究在库尔勒香梨果实品质和香气提升方面取得了显著成果,但仍存在一些不足之处。首先,本研究仅考虑了生物刺激剂对果实品质和香气的影响,未深入探讨其作用机理。未来的研究应进一步探究生物刺激剂如何影响果树的生理生化过程,从而揭示其提升果实品质和香气的内在机制。其次,本研究的试验周期较短,仅观察了一个生长周期内的效果。为了更全面地评估生物刺激剂的长期效果,应进行多年连续试验。此外,还应考虑不同气候条件、土壤类型等因素对生物刺激剂效果的影响,以提高研究结果的普适性和可靠性。

未来的研究方向应包括:①深入研究生物刺激剂的作用机理,揭示其提升果实品质和香气的

分子基础;②开展多年连续试验,评估生物刺激剂的长期效果;③考虑不同环境条件下的生物刺激剂应用效果,为库尔勒香梨产业的可持续发展提供更为全面的技术支持。通过这些努力,可以进一步完善生物刺激剂在库尔勒香梨栽培中的应用理论,推动该产业健康发展。

3.2 结论

试验结果显示,鱼蛋白液以每4 mL兑水1 kg的稀释液喷施对香梨单果质量提升率可达11.44%,矿源黄腐酸钾以每1 mL兑水1 kg的稀释液喷施对香梨果实可溶性固形物提升率可达15.75%,海藻精华液以每3 mL兑水1 kg的稀释液喷施对香梨可溶性糖提升率可达16.98%,复酶糖苷1 g/L的稀释液喷施对香梨果实矿质元素总含量和香气总量提升以及石细胞含量降低均有显著作用,证明了库尔勒香梨在种植过程中合理施用生物刺激剂确实能够有效促进果实品质和香气提升。

本研究通过对可溶性固形物、单果质量、可溶性糖、矿质元素含量、石细胞含量以及香气物质总量等多个关键指标的测定和分析,发现复酶糖苷在多个方面均表现出卓越的效果。在提升库尔勒香梨果实品质方面,1 g/L的复酶糖苷稀释液对矿质元素总含量的提升率达到了7.61%,对石细胞含量的降低率达到了9.20%。这些改善不仅有助于提高果实的营养价值和口感,还能显著增强果实的市场竞争力。特别是在香气提升方面,复酶糖苷表现尤为突出,使香气总量提升了29.15%,远超其他生物刺激剂。

筛选最佳生物刺激剂及其施用条件的目的是为了提升库尔勒香梨的果实品质和香气,从而增强其市场竞争力。从本研究结果来看,这一目的已经得到圆满实现。在筛选过程中,我们并未仅仅依据单一指标来选择生物刺激剂,而是综合考量了所有关键指标的表现。尽管鱼蛋白液在提升单果质量方面效果最佳(提升率为11.44%),矿源黄腐酸钾在提升可溶性固形物方面效果最优(提升率为15.75%),海藻精华液在提升可溶性糖方面效果最显著(提升率为16.98%),但复酶糖苷在提升矿质元素含量、降低石细胞含量以及提升香气总量方面均表现出色,且没有显著短板。因此,综合考量的结果是选择复酶糖苷作为

最佳生物刺激剂。

参考文献:

- [1] 张亚若,王龙,童盼盼,等. 库尔勒香梨突萼、脱萼及宿萼果实品质与香气的比较[J]. 西北农业学报, 2023, 32(2): 272-281.
- [2] 童盼盼,王龙,张亚若,等. 有机肥和菌肥对库尔勒香梨果实品质及香气的影响[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(4): 114-122.
- [3] 郭丽. 梨种质资源遗传多样性研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2020.
- [4] 童盼盼,王龙,张亚若,等. 不同外源调节物质对库尔勒香梨果实品质和挥发性物质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(5): 52-61.
- [5] 马泽跃. 施氮对库尔勒香梨园土壤微生物量及细菌群落的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2023.
- [6] 王浩,安宁,陈燕,等. IAA和脱萼剂处理对库尔勒香梨果实发育过程质地及相关酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(17): 149-156.
- [7] 张倩. 植物生长调节剂对‘库尔勒香梨’石细胞与木质素合成的影响及PIN2基因功能验证[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2022.
- [8] 孙天雨,文博,王春峰,等. 5-氨基乙酰丙酸对库尔勒香梨果实品质和挥发性代谢物的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(23): 2308-2317.
- [9] 孙明明,常大勇,由春香,等. 生物刺激剂复酶糖苷对樱桃番茄产量及品质的影响[J]. 新疆农垦科技, 2024, 47(4): 52-54.
- [10] 张在花,孙明明,丁玮琳,等. 复酶糖苷对黄瓜生根及产量的影响[J]. 蔬菜, 2024(1): 18-22.
- [11] 孙明明,丁玮琳,王琳,等. 生物刺激剂复酶糖苷对4种作物种子发芽的影响[J]. 西藏农业科技, 2023, 45(3): 33-36.
- [12] 孙明明,常大勇,丁玮琳,等. 复酶糖苷对甜樱桃叶绿素含量和净光合速率的影响[J]. 落叶果树, 2023, 55(1): 28-30.
- [13] 李思琦. 番茄耐热种质资源评价及生物刺激素对其高温伤害的缓解效应[D]. 南京:南京农业大学, 2020.
- [14] 张桂娟,林雪,陈虹,等. 生物刺激素在春季花椰菜上的应用研究[J]. 蔬菜, 2020(5): 26-31.
- [15] 刘国秀,沈宏. 生物刺激素及其在农业中的应用[J]. 磷肥与复肥, 2020, 35(11): 22-26.
- [16] 应武,骆乐谈,阮松林,等. 不同生物刺激剂对鲜食玉米产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(17): 89-94.
- [17] 张四普,周千千,崔巍,等. L-叔亮氨酸对嘎啦苹果品质和贮藏性的影响[J]. 河南农业科学, 2023,

- 52(12): 172-180.
- [18] 韩燕. 复合寡糖对典型果蔬叶片衰老的延缓作用机制研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2023.
- [19] 张雪洁. 聚谷氨酸调控草莓生长和果实品质的生理机制[D]. 新乡:河南科技学院, 2023.
- [20] 于金慧,刘炳福,刘超,等. 益生菌联合海藻多糖对草莓生长与品质的影响[J]. 山东农业科学, 2023, 55(7): 104-112.
- [21] RUSSO M, SANZO D R, MARRA F, et al. Waste-Derived Fertilizer Acts as Biostimulant, Boosting Tomato Quality and Aroma[J]. *Agronomy*, 2023, 13(12): 2854.
- [22] 任旭明,张琦,位杰,等. 植物生长调节剂对主干形库尔勒香梨坐果率的影响[J]. 果树资源学报, 2024, 5(1): 13-16.
- [23] 王程成. 菌肥与化肥、有机肥配施对库尔勒香梨园土壤性质、生长及果实品质的影响[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2022.
- [24] 谢宏江,位杰,蒋媛. 库尔勒香梨果实品质调控研究进展[J]. 特产研究, 2024, 46(5): 135-141.
- [25] 刘建龙. 外源褪黑素对梨果实发育、采后品质和抗轮纹病的影响及其调控机制研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2019.
- [26] 任旭明. 环割(剥)、生长调节剂对香梨主干形生长调控、坐果与果实品质影响的研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2024.
- [27] 令狐田. 植物生长调节剂和环割处理对梨树分枝与成花的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2023.
- [28] 杨哲. 枣实生与杂交后代群体主要性状的遗传变异分析[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2019.
- [29] 童盼盼,张亚若,汤蕾,等. 光照和温度条件对富士苹果糖心形成的影响[J]. 西北农业学报, 2020, 29(4): 579-586.
- [30] 王红宝,朱洁,王丹阳,等. 梨果肉石细胞含量分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 173-176.
- [31] 周金鑫. 砂梨果实石细胞含量和果皮色泽差异的比较分析[D]. 扬州:扬州大学, 2020.
- [32] 朱英琳,胡国庆,董元杰,等. 冬闲期耕作方式对连作花生土壤理化性质、生理特性和产量的影响[J]. 花生学报, 2024, 53(4): 66-76.
- [33] 黄明慧,李洋,许德华,等. 施用聚磷酸铵的紫色土壤对磷的吸附-解吸特征[J]. 西南农业学报, 2024, 37(8): 1780-1788.
- [34] 彭丽娟,倪明,张晓伟,等. 连续流动-火焰光度法快速准确测定烟用有机肥中的钾含量[J]. 计量与测试技术, 2024, 51(7): 19-22.
- [35] 付友生,赵美超. 碱熔-电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤中全硼[J]. 现代农业科技, 2024(18): 106-109.
- [36] 刘园,向思敏,王江波,等. 库尔勒香梨挥发性物质及初生代谢物的 GC-MS 分析[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(1): 44-52.
- [37] 高潼,盛夏薇,吴琦杰,等. 根施苹果酵素对草莓植株生理特性及果实品质的影响[J]. 河北农业科学, 2023, 27(2): 44-48.
- [38] 洪迪. 鱼蛋白水解物促进番茄果实糖酸积累的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2023.
- [39] 康利允,李晓慧,高宁宁,等. 酵素液肥改良设施甜瓜连作土壤质量的效应[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(11): 63-67.
- [40] SUCHITHRA M R, MUNISWAMI D M, SRI M S, et al. Effectiveness of Green Microalgae as Biostimulants and Biofertilizer Through Foliar Spray and Soil Drench Method for Tomato Cultivation[J]. *South African Journal of Botany*, 2022, 146: 740-750.
- [41] 李婕. 外源海藻糖对盐胁迫下草莓生长和果实品质的影响[D]. 雅安:四川农业大学, 2022.