

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240805002

库尔勒香梨特征风味研究进展

刘秀秀^{1,2}, 郭彦克¹, 李惠霖¹, 裴翌辰¹, 吕旭芳¹, 陈文禹¹,
孙明豪¹, 沈 幸^{1,2*}, 柴仲平^{1*}

(1. 新疆农业大学资源与环境学院, 乌鲁木齐 830052;
2. 新疆土壤与植物生态过程重点实验室, 乌鲁木齐 830052)

摘 要: 库尔勒香梨作为新疆维吾尔自治区的特色农产品, 因其肉质柔嫩、味道甜美及香气独特而深受人们的广泛喜爱。但在采摘后的储存与运输阶段, 这种梨类果品常常面临风味损失严重的问题, 特别是在贮藏和运输过程中其标志性的香气损失显著。因此, 全面了解库尔勒香梨中特征风味成分对于提高其风味品质有着至关重要的作用。本文旨在通过详细分析库尔勒香梨的特征风味成分及其形成机制, 来探索其品质变化的主要原因, 并与其他水果及不同品种的香梨品种进行风味对比, 以揭示其独特的风味特性。此外, 本文还探讨了影响库尔勒香梨风味的主要因素, 旨在为库尔勒香梨的品质提升与市场竞争力增强提供科学依据, 进而推动梨果产业的繁荣与可持续发展, 提升果品在市场上的竞争力。

关键词: 库尔勒香梨; 特征风味; 形成途径

Research progress of characteristic flavor of Korla fragrant pear

LIU Xiu-Xiu^{1,2}, GUO Yan-Ke¹, LI Hui-Lin¹, PEI Yi-Chen¹, LV Xu-Fang¹,
CHEN Wen-Yu¹, SUN Ming-Hao¹, SHEN Xing^{1,2*}, CHAI Zhong-Ping^{1*}

(1. College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2. Xinjiang Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Processes, Urumqi 830052, China)

ABSTRACT: Korla fragrant pear, as a special agricultural product in Xinjiang Uygur Autonomous Region, is widely loved by people because of its soft meat, sweet taste and unique aroma. However, in the storage and transportation stage after picking, this pear is often faced with serious flavor loss, especially in the storage and transportation process of its signature aroma loss. Therefore, a comprehensive understanding of the characteristic flavor components of Korla fragrant pear is very important to improve its flavor quality. The purpose of this paper was to explore the main reasons for the quality change of Korla fragrant pear by analyzing its characteristic flavor components and formation mechanism in detail, and to reveal its unique flavor characteristics by comparing with other fruits and different fragrant pear varieties. In addition, this paper also discussed the main factors affecting the flavor of Korla fragrant pear, aiming to provide scientific basis for the improvement of the quality of Korla fragrant pear and the

基金项目: 新疆土壤与植物生态过程重点实验室资助项目(23XJTRZW05)

Fund: Supported by the Special Found of Xinjiang Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Processes (23XJTRZW05)

***通信作者:** 沈 幸, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品安全。E-mail: shenxing@xjau.edu.cn

柴仲平, 博士, 教授, 主要研究方向为果树营养与施肥。E-mail: chaizhongpingth@sina.com

***Corresponding author:** SHEN Xing, Ph.D, Lecturer, College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, No.311, Nongda East Road, Shaibak District, Urumqi 830052, China. E-mail: shenxing@xjau.edu.cn

CHAI Zhong-Ping, Ph.D, Professor, College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, No.311, Nongda East Road, Shaibak District, Urumqi 830052, China. E-mail: chaizhongpingth@sina.com

enhancement of market competitiveness, and then promote the prosperity and sustainable development of pear industry and improve the competitiveness of fruit in the market.

KEY WORDS: Korla fragrant pear; characteristic flavo; formation pathways

0 引言

在新疆维吾尔自治区库尔勒市及其周边地区,如轮台县、尉犁县、阿克苏市和阿瓦提县,种植了一种具有 1400 多年栽培历史的特色梨种—库尔勒香梨,属于蔷薇科梨属的白梨系,由瀚海梨(新疆梨的一个原始种)与鸭梨自然杂交而成^[1]。库尔勒香梨果味浓郁、皮薄无渣、酥脆多汁且营养丰富,特别是含有高量的维生素 C 和其他矿物质,具有润肺、止咳、化痰等功效,具有“水果皇后”等美誉^[2],已被中欧双方认定为地理标志产品^[3],在国内外市场上享有较高声誉^[4]。

迄今为止,已从多个梨品种中鉴定出逾 300 种挥发性化合物,这些化合物主要包括烷烃、醛、醇、酯、酮、烯炔及含硫化合物等^[5]。在梨的香气中,乙酸酯类化合物如丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸己酯是产生果香味的主要成分,而醇醛类化合物如己醛、Z-3-己烯醛、Z-3-己烯醇则主要负责梨的青草香。不同挥发性芳香物质组成和含量的差异,构成其不同的香气特征,从而赋予了不同品种梨的独特风味^[6]。随着人们生活水平的提升,消费者对水果的外观和营养品质的要求越来越高。然而,库尔勒香梨在采摘后的储藏和运输过程中,其独特香气和甜度常常出现不良变化,例如香气减弱和风味损失。鉴于此,研究库尔勒香梨的香气成分及其在储藏过程中的变化尤为重要。

本文主要分析库尔勒香梨风味特征及其形成途径,通过对比不同水果及不同香梨品种间的风味成分,揭示库尔勒香梨的独特风味特性,探讨影响其形成的关键因素,有助于提升产品质量,为科学调控库尔勒香梨风味奠定理论基础,为地理标志产品的品牌价值增添光彩。

1 风味概述

1.1 风味简介

风味本质上是滋味与香气的综合体现,其中滋味是由口腔中物质与味蕾上的味觉受体细胞发生的化学反应产生,涵盖甜、酸、咸、苦及鲜味等基本味觉;而香气主要由一种或多种在极低浓度下即可被嗅觉感知的挥发性化合物产生。水果中含有许多挥发性化合物,这些物质会产生特有的风味和香气,而这两者是影响消费者选择的关键因素之一^[7]。在水果生长成熟的过程中,其典型的风味物质逐渐形成,使得风味成为评价果实品质的一项重要指标^[8]。

1.2 不同水果间的风味差异

水果中的香气物质种类繁多,大致可分为醛类、醇类、酯类、萜类、酮类、羟基化合物、挥发性酸和含硫化

合物等,总计约有 2000 种不同的香气物质^[9]。张海英等^[10]在对梨果实进行挥发性成分分析时发现,梨中含有超过 120 种芳香物质,主要由酯类、醛类、醇类、烷类和烯炔类化合物组成。YANG 等^[11]在对苹果的挥发性成分进行分析时,共鉴定出 70 种挥发性化合物,其中包括 43 种酯类、7 种醇类、11 种醛类、2 种酸类、2 种酮类以及其他 5 种化合物。魏好程等^[12]、张佳等^[13]及宋世志等^[14]分别在桃果实、葡萄果粒以及草莓中发现多种挥发性化合物。不同品种或类别的水果中,挥发性香气化合物的成分及其含量存在显著差异,这些化合物构成了水果的特征性香气,见表 1 所示。

1.3 不同品种梨的风味差异

梨的品种多样,不同品种梨间的化合物种类和含量存在一定差异,梨的风味对消费者的感知起着不同的决定性作用^[15]。当前对梨的加工保鲜、营养成分、风味物质及品种内部差异的研究较为丰富^[16],但对不同梨品种间的品质差异的系统研究却相对较少。挥发性酯是梨果肉香气的主要来源,不同品种梨中挥发性酯的浓度不同,这些梨主要以挥发性酯类和醇类为主,根据香气成分的差异将其分为果香型和酯香型,会直接影响梨的感官属性和消费者的偏好^[17-18]。CHEN 等^[19]对砀山酥梨、库尔勒香梨等品种的果实成熟后的挥发性成分进行比较,发现库尔勒香梨检测到的风味物质种类最多,共计 32 种,包括正己醛、2-己烯醛、正己醇等。秦改花^[20]对雪花梨和红香酥梨进行检测,共检测到了 30 种风味物质,其中红香酥梨的风味物质种类超过了刘开源等^[21]的研究中检测到的种类。翠梨、鸭梨、砀山酥梨、玉露香梨检测出的风味物质种类分别为 24、17、26、21 种^[22],如图 1 所示。

2 特征风味的主要形成途径

库尔勒香梨的风味主要源于其挥发性成分,其形成与梨中的可溶性糖、酸度及其化学成分의 相互作用密切相关,这些交互影响最终决定了梨的风味特性^[23-24],在香梨中重要的香气成分—癸二烯酸酯,主要是通过亚麻油酸经 β -氧化途径生成。尽管目前库尔勒香梨风味的生成机制尚不完全明确,但已知香梨中的主要香气物质包括萜烯类、醛类、醇类、酯类等。李秀珍等^[25]、徐红霞等^[26]、李良等^[27]研究发现挥发性香气物质在水果品质中具有至关重要的作用,其中脂肪酸代谢途径对其合成起着核心角色。脂肪酸氧化,尤其是 β -氧化途径,是水果风味物质生成的主要途径之一^[28]。水果中的氨基酸可经过转氨作用生成支链酮酸,这些酮酸在脱羧酶、辅酶 A 和醇脱氢酶等的催化作用下,最终

表 1 不同水果的特征香气成分
Table 1 Characteristic aroma components of different fruits

水果	化合物种类	特征香气成分	参考文献
梨	酯类	乙酸乙酯、乙酸丙酯、乙酸丁酯、乙酸 2-苯基乙酯、乙酸辛酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、己酸丁酯、反-2-顺-4 癸二烯酸乙酯	[10]
	醇类	乙醇、丙醇、3-甲基-1-丁醇、戊醇、2-乙基己醇、辛醇	
	醛类	己醛、壬醛	
	烷类	十六烷	
	烯炔类	α -法尼烯	
苹果	酯类	乙酸己酯、2-乙酸甲酯、乙酸丁酯	[11]
	醛类	(<i>E</i>)-2-己烯醛	
	醇类	伊斯兰醇、1-乙醇	
	醇类	2-丁醇、1-己醇、3(顺)-己烯醇、2(反)-己烯醇、6-甲基-5-庚烯-2-醇、芳樟醇	
桃	醛类	己醛、2(反)-己烯醛、苯甲醛、壬醛	[12]
	酮类	苯甲酮、1-苯乙酮、 β -紫罗酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮	
	酯类	乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸己酯、3(顺)乙酸-1-己烯酯、乙酸 2(反)-己烯酯、 C_6 - $C_{10}\gamma$ -内酯、 δ -癸内酯	
	芳香族化合物	甲苯、二甲苯、 <i>d</i> -甲基-异丙基苯、2,6-二乙基苯酚	
	酸类	乙酸	
葡萄	醛类	己醛、2-己烯醛	[13]
	醇类	(<i>E</i>)-2-己烯醇、芳樟醇、脱氢芳樟醇、 α -萜品醇	
	酮类	4-羟基-2-丁酮	
	酯类	乙酸甲酯、丁酸乙酯、己酸甲酯、己酸乙酯、(<i>E</i>)-乙酸-2-己烯-1-酯、(<i>E</i>)-乙酸-3-己烯-1-酯	
草莓	醛类	2-己烯醛	[14]
	醇类	1-己醇	
	酸类	乙酸	

转化为相应的醛、醇和酯，进而影响水果的香味形成^[29-30]。总结水果特征风味的形成途径，并探讨其在库尔勒香梨风味形成中的作用机制，进一步明确库尔勒香梨风味的生物合成途径^[31-32]。

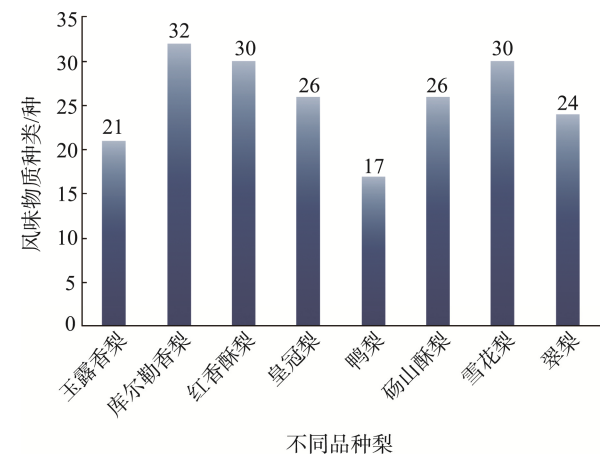


图1 不同品种梨风味物质种类^[19-22]
Fig.1 Types of flavor substances in different varieties of pears^[19-22]

3 库尔勒香梨的特征风味

库尔勒香梨，因其独特的甜美和香气而享誉国内外，是主要的出口梨品种^[33]。库尔勒香梨属于呼吸跃变型果实，耐贮藏，但贮藏过程中易出现失水变皱、果皮变黄、肉质变软等现象，严重影响其商品价值和经济效益^[34]。库尔勒香梨的特征风味主要由其糖分、酸度和挥发性香气成分共同决定。相较于其他水果，梨的香气较为清淡，导致对其香气成分的分析相对较少。已知的主要香气成分包括乙酸己酯、己酸乙酯、己醛、 α -法尼烯等^[35]，这些化合物共同塑造了库尔勒香梨的清新口感和香气。消费者在选择果品时，香气和口感是重要的考量因素。LIU 等^[36]对南疆 12 个果园的库尔勒香梨进行了感官评价，发现消费者更加关注口感和香气，而非果实大小、果实形状和果皮颜色。这表明，香气是决定水果特征风味的关键因素，并对消费者选择和偏好有显著影响。因此，明确库尔勒香梨独特香气的关键贡献成分，以及这些成分在储藏过程中的变化对于保持其风味品质至关重要。果实的整体风味通常在成熟期形成，并且这种独特的风味是库尔勒香梨在市场上占据重要

地位的原因之一。在关于库尔勒香梨的挥发性香气成分的研究中,陈计峦等^[37]通过实验初步确定了库尔勒香梨的主要挥发性成分,这些包括但不限于己醛、己酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸乙酯、乙酸己酯、乙醇、油酸乙酯、2-己烯醛、 α -法尼烯、甲酸辛酯、乙酸丁酯、反-2-顺-4-癸二烯酸乙酯等。此外,刘园等^[38]对库尔勒香梨的香气成分进行了深入分析,发现果皮中的挥发性物质种类与含量明显超过果肉。在梨果实可食部分的成分分析中,成功检测到了之前推测的主要香气成分,如己醛、反式-2-己烯醛、乙酸己酯、 α -法尼烯和 1-辛醇等,且这些成分的含量都相对较高,具体见图 2^[39-40]。此外,研究还揭示了 *D*-柠檬烯和十四烷醇的高含量,以及己酸甲酯、 α -侧柏烯、香叶醇等物质的较低含量。值得一提的是,丙烯酸异戊酯和香叶醇这两种物质在之前的库尔勒香梨研究中鲜有报道。综合这些研究,从库尔勒香梨中共鉴定出 43 种化合物,其中重要的香气成分有己酸乙酯(12.96%)、乙酸乙酯(9.69%)、乙酸己酯(2.94%)、己醛(17.80%)、丁酸乙酯(11.29%)、 α -法尼烯(12.31%)等^[41-43],详见表 2。

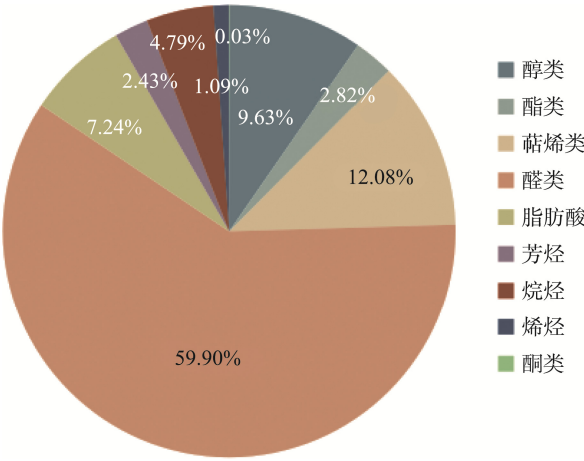


图2 库尔勒香梨果皮挥发性物质

Fig.2 Volatile substances from the peel of Korla fragrant pear

4 影响库尔勒香梨果实风味成分的主要因素

4.1 温度

温度作为植物生长发育的关键环境因子,对水果的生长和发育及风味物质的积累与形成具有显著影响。适宜的温度范围能够促进风味物质的合成,而温度过高或过低都可能导致水果风味物质的损失或变化^[44]。具体来说,温度可以通过调节代谢途径中的酶活性来影响风味成分的形成。在库尔勒香梨中,温度不仅影响果实的生长速度和质量,还直接作用于果实的呼吸强度和微生物生长^[45]。例如,低温有助于抑制果实的呼吸作用和微生物活动,从而延长果实的保鲜期并减缓果实腐烂。此外,适宜的相对湿度可以调节果实的蒸腾作用,进一步影响果实的生理活动,有

表 2 新疆库尔勒香梨中主要香气成分的组成^[41-43]
Table 2 Composition of main aroma components in Xinjiang Korla fragrant pear^[41-43]

化合物中文名称	化合物英文名称	峰面积相对百分比/%
乙醇	ethanol	1.83
乙酸乙酯	ethyl acetate	9.69
乙酸	acetic acid	0.20
丙酸乙酯	ethyl propionate	0.17
2-甲基-丙酸乙酯	ethyl 2-methylpropionate	0.07
己醛	hexanal	17.80
丁酸乙酯	ethyl butanoate	11.29
乙酸丁酯	butyl acetate	1.68
2-甲基-丁酸乙酯	ethyl 2-methylbutanoate	0.60
1-己醇	1-hexanol	0.80
丁酸丙酯	propyl butyrate	0.01
戊酸乙酯	ethyl pentanoate	0.22
惕各酸乙酯	ethyl tiglate	0.11
己酸乙酯	ethyl hexanoate	12.96
(Z)-3-己烯酸乙酯	(Z)-ethyl 3-hexenoate	0.21
(E)-3-己烯酸乙酯	(E)-ethyl 3-hexenoate	0.27
乙酸己酯	hexyl acetate	2.94
2-己烯酸乙酯	ethyl 2-hexenoate	0.40
1-辛醇	1-octanol	0.08
庚酸乙酯	ethyl heptanoate	0.11
3-甲硫基丙酸乙酯	ethyl 3-(methylthio) propionate	0.24
壬醛	nonanal	0.15
苯甲酸乙酯	ethyl benzoate	0.10
4-辛烯酸乙酯	ethyl 4-octenoate	0.03
辛酸乙酯	ethyl octanoate	0.39
癸醛	decanal	0.03
乙酸辛酯	octyl acetate	0.07
2-苯基-乙酸乙酯	ethyl 2-phenylacetate	0.01
(E,E)-2,4-癸二烯醛	(E,E)- 2,4-decadienal	0.03
丁酸丁酯	butyl butanoate	0.02
癸酸乙酯	ethyl decanoate	0.02
十四烷	tetradecane	0.03
6,10-二甲基,5,9-十一烷二烯-2-酮	6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one	0.02
(E,Z)-2,4-癸二烯酸乙酯	ethyl(E,Z)-2,4 decadienoate	0.37
十五烷	pentadecane	0.03
α -法尼烯	α -farnesene	12.31
2,6-二叔丁基对甲苯酚	butylated hydrotoluene	0.30
邻苯二甲酸二乙酯	diethyl phthalate	0.02
十六烷	hexadecane	0.10
二十烷	eicosane	0.01
1-十八烯	1-octadecene	0.05
邻苯二甲酸二丁酯	dibutyl phthalate	0.03
棕榈酸异丙酯	isopropyl palmitate	0.12

助于保持果实的外观和质感。具体研究显示, 刘琦^[46]通过研究发现, 香梨在采摘后 24~48 h 内入库, 并在-2~0 °C、相对湿度 85%至 95%的条件下存储, 能显著提高香梨的存储效果。邓冰等^[47]的研究则表明, 在-0.7 °C和相对湿度 85%的条件下存储香梨, 能有效抑制果实的呼吸和乙烯代谢, 维持果实的可溶性固形物和可滴定酸含量, 延缓果实色泽的变化。这些研究结果表明, 通过精确控制存储条件中的温度和湿度, 可以优化库尔勒香梨的保鲜效果和风味保持, 延长其贮藏期, 从而在水果的商业运输和销售过程中具有重要的应用价值。

4.2 产地

库尔勒香梨作为新疆特色林果业的重要组成部分, 其种植管理要求较高, 并且栽培地域性强, 主要分布在新疆巴州和阿克苏地区。根据 2013 年的数据, 新疆全区的香梨种植面积达到 100.76 hm², 总产量为 86.04 万 t。其中, 巴州地区的种植面积为 73.26 hm², 而阿克苏地区为 27.5 hm², 喀什地区则只有少量栽培。在新疆林果树种植面积和产量中, 香梨分别排名第 5 和第 3, 显示出其规模效益和特色优势效益日益显著。香梨不仅是增加农业产值、提高果农收入和促进出口创汇的主要产品, 也是新疆重要的经济作物之一, 具有很大的市场潜力和良好的发展前景^[48-49]。香梨果实的品质, 特别是其感官和营养指标, 是决定其市场竞争力的关键因素。不同种植区域的地理和气候条件对香梨的品质造成了显著影响^[50], 古丽尼帕尔·艾合拜尔等^[51]对巴州与阿克苏的库尔勒香梨进行了全面评估, 结果显示巴州香梨在感官与营养层面更胜一筹。巴州香梨的特点为果皮纤薄、口感脆爽, 果肉洁白细腻、口感坚硬多汁且甜度适中, 近果心处略带酸韵, 香气浓郁; 相比之下, 阿克苏地区的香梨果皮较厚、质地硬、石细胞多、果汁较少且多皮。这种差异主要由两地区的气候条件差异所引起, 影响了香梨的生长和品质形成过程。

4.3 矿物质营养

在库尔勒香梨的生长发育过程中, 矿物质元素如钾、钙、镁、铁等发挥着关键作用, 这些元素对果实的品质和风味物质形成具有显著影响。然而, 土壤管理和肥料使用策略的不当可能会导致土壤肥力降低^[52], 进而影响果实的品质和产量。李经洽等^[53]在其果树施肥状况调查中发现, 化肥使用不合理现象普遍, 梨园的不合理使用钾肥、化肥致使土壤肥力下降, 生物肥使用量普遍偏低。此外, 微量元素肥料的使用不合理现象较为突出, 部分高质量果树的化肥使用比例较低, 而氮、磷肥的使用量过高, 导致了土壤酸化和盐渍化, 破坏了土壤结构。柴仲平等^[54]通过田间试验调控氮、磷、钾 3 大要素的施用比例, 分析了不同施肥处理下库尔勒香梨果实的内外部品质变化。研究结果表明, 施肥能显著影响果实的物理特性, 例如减少果皮厚度

和果实硬度, 尤其是磷肥的效果较为显著。同时, 钾肥施用显著提高果实的红晕果率、降低总酸含量。施肥还能提高果实中的还原糖和维生素 C 含量, 但这些优势只在氮、磷、钾施肥比例适当时最为明显。

5 结语

库尔勒香梨作为一种独具风味特征的水果, 其品质与口感标准在消费者需求中持续升级, 使得针对其特征风味及其影响因子的科学研究愈发关键。本研究深入剖析库尔勒香梨的特征风味成分并探索其形成机制, 进而明确了主导其独特风味的核心成分, 包括糖分、酸度及多种挥发性香气成分(如乙酸己酯、己酸乙酯、己醛、 α -法尼烯等), 共同赋予了库尔勒香梨清新怡人的口感与香气。为优化库尔勒香梨的保鲜效果与风味维持, 一方面需精确调控贮藏环境的温湿度条件; 同时, 不同地理与气候条件下的种植区域对香梨品质具有显著影响, 尤以巴州地区出产的香梨在感官与营养品质上表现优异; 此外, 施肥策略作为另一关键因素, 直接影响果实的物理特性, 合理的土壤管理与肥料施用对提升果实品质与产量至关重要。

未来, 库尔勒香梨特征风味的研究应聚焦于香气成分生物合成途径的深入挖掘, 进一步完善其香气成分形成与调控机制。通过现代生物技术与育种、栽培技术的结合, 培育出风味更加优异的库尔勒香梨品种。同时, 加强对香梨风味变化规律的科学研究, 以提出针对性的保鲜技术方案, 延长果实储藏期并保持其独特风味, 从而为梨果产业的可持续发展提供有力支撑, 实现经济效益与社会效益的双重提升。

参考文献

- [1] 徐庆岫. 对“瀚海”和“瀚海梨”的异议[J]. 果树科学, 1996(2): 127-129.
XU QX. Objections to “Hanhai” and “Hanhai Pear” [J]. J Fruit Sci, 1996(2): 127-129.
- [2] 高启明, 李疆, 李阳. 库尔勒香梨研究进展[J]. 经济林研究, 2005(1): 79-82.
GAO QM, LI J, LI Y. Research progress of Korla pear [J]. Non-wood Forest Res, 2005(1): 79-82.
- [3] 赵丹, 琚艳君, 马雪, 等. 新疆库尔勒香梨品质分析与评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(20): 6637-6644.
ZHAO D, JU YJ, MA X, *et al.* Quality analysis and evaluation of Korla fragrant pears in Xinjiang [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(20): 6637-6644.
- [4] 张峰, 蒋志琴, 陈小光, 等. 库尔勒香梨产业发展因素分析及对策建议[J]. 中国农学通报, 2021, 37(34): 159-164.
ZHANG F, JIANG ZQ, CHEN XG, *et al.* Analysis of factors influencing the development of Korla fragrant pear industry and suggestions for countermeasures [J]. China Agric Sci Bull, 2021, 37(34): 159-164.
- [5] LAMINI G, TEBANO M, CIONI PL. Volatiles emission patterns of different plant organs and pollen of citrus limon [J]. Anal Chim Acta, 2007, 589(1): 44-46.

- [6] 陈计彦. 梨香气成分分析、变化及理化特征指标的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- CHEN JL. Research on the analysis, change and physicochemical characteristics of aroma components in pears [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [7] WYK VN. Current research on flavor compounds in fermented food products [J]. Foods, 2024, 13: 730.
- [8] MONTERO ML, COLONNA AE, GALLARDO RK, *et al.* Sensory profiling of pears from the Pacific Northwest: Consumers' perspective and descriptive analysis [J]. J Food Sci, 2024, 89: 1225–1242.
- [9] MIGICOVSKY Z. Tasting improvement in fruit flavor using genomics [J]. New Phytol, 2020, 226(6): 1539–1540.
- [10] 张海英, 韩涛, 许丽, 等. 果实的风味构成及其调控[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 464–469.
- ZHANG HY, HAN T, XU L, *et al.* The composition and regulation of fruit flavor [J]. Food Sci, 2008, 29(4): 464–469.
- [11] YANG SB, MENG ZP, FAN J, *et al.* Evaluation of the volatile profiles in pulp of 85 apple cultivars (*Malus domestica*) using headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Food Meas Charact, 2021, 15(5): 4215–4225.
- [12] 魏好程, 汤凤霞, 陈发河. 采后桃果实风味物质研究进展[J]. 福建农业学报, 2010, 25(3): 45–49.
- WEI HC, TANG FX, CHEN FH. Research progress of postharvest peach fruit flavor substances [J]. Fujian J Agric Sci, 2010, 25(3): 45–49.
- [13] 张佳, 姜鑫, 王瑞琦. HS-SPME 结合 GC-MS 分析着色香葡萄中挥发性香气成分[J]. 食品工业, 2017, 38(10): 133–136.
- ZHANG J, JIANG X, WANG RQ. Analysis of volatile aroma components in colored grape by HS-SPME combined with GC-MS [J]. Food Ind, 2017, 38(10): 133–136.
- [14] 宋世志, 李延菊, 李公存, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术分析草莓芳香成分[J]. 中国果菜, 2017, 37(11): 25–29.
- SONG SZ, LI YJ, LI GC, *et al.* Analysis of strawberry aroma constituents by headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry [J]. China Fruit Veget, 2017, 37(11): 25–29.
- [15] 赵欣, 梁克红, 朱宏, 等. 不同品种梨营养品质及风味物质比较研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 7797–7805.
- ZHAO X, LIANG KH, ZHU H, *et al.* Comparative study on nutritional quality and flavor components of different pear varieties [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(21): 7797–7805.
- [16] 张伯雅, 郑璞帆, 李晓雪, 等. 基于电子舌结合 GC-IMS 分析不同品种梨果实的风味成分差异[J/OL]. 保鲜与加工, 1–10. [2024-08-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1330.S.20240805.1405.002.html>
- ZHANG BY, ZHENG PF, LI XX, *et al.* Analysis of flavor components of different varieties of pear fruits based on electronic tongue combined with GC-IMS [J/OL]. Storage Process, 1–10. [2024-08-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1330.S.20240805.1405.002.html>
- [17] YAO MM, ZHOU X, ZHOU Q, *et al.* Low temperature conditioning alleviates loss of aroma-related esters of Nanguo' pears by regulation of ethylene signal transduction [J]. Food Chem, 2018, 264: 263–269.
- [18] CHERVIN C, SPEIRS J, LOVEYS B, *et al.* Influence of low oxygen storage on aroma compounds of whole pears and crushed pear flesh [J]. Postharvest Biol Technol, 2000, 19(3): 279–285.
- [19] CHEN Y, HAO Y, XIAO W, *et al.* Comparative analysis of the volatile organic compounds in mature fruits of 12 occidental pear (*Pyrus communis* L.) cultivars [J]. Sci Hortic-Amsterdam, 2018, 240: 239–248.
- [20] 秦改花. 梨果实挥发性芳香物质组成及其形成特性分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- QIN GH. Composition and formation characteristics of volatile aromatic substances in pear fruit [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [21] 刘开源, 赵卫红. 超声波法提取红香酥梨挥发性成分的研究[J]. 食品科学, 2005(3): 215–217.
- LIU KY, ZHAO WH. Ultrasonic extraction of volatile components from Hongxiangsu pear [J]. Food Sci, 2005(3): 215–217.
- [22] 焦慧君, 冉昆, 董冉, 等. 基于代谢组学比较分析 5 个栽培种梨叶片代谢物的差异[J]. 果树学报, 2024, 41(6): 1111–1124.
- JIAO HJ, RAN K, DONG R, *et al.* Based on metabonomics comparative analysis of five pear varieties differences in leaf metabolites [J]. J Fruit Sci, 2024, 41(6): 1111–1124.
- [23] MONTERO ML, COLONNA AE, GALLARDO RK, *et al.* Sensory profiling of pears from the Pacific Northwest: Consumers' perspective and descriptive analysis [J]. J Food Sci, 2024, 89: 1225–1242.
- [24] 程焕, 陈健乐, 周晓舟, 等. 水果香气物质分析及合成途径研究进展[J]. 中国食品学报, 2016, 1: 211–218.
- CHENG H, CHEN JL, ZHOU XZ, *et al.* Research progress of aroma substances analysis and synthesis pathways of fruit [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2016, 1: 211–218.
- [25] 李秀珍, 陈苏丹, 李天忠. 休眠期李碳水化合物代谢与休眠关系的分析[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(4): 75–80.
- LI XZ, CHEN SD, LI TZ. Analysis of the relationship between carbohydrate metabolism and dormancy of plum during dormancy [J]. J China Agric Univ, 2012, 17(4): 75–80.
- [26] 徐红霞, 李晓颖, 陈俊伟. 枇杷花发育进程中氨基酸和碳水化合物代谢的变化[J]. 园艺学报, 2020, 47(2): 233–241.
- XU HX, LI XY, CHEN JW. Changes of amino acid and carbohydrate metabolism in loquat during flower development [J]. Acta Horti Sin, 2020, 47(2): 233–241.
- [27] 李良, 孟淑洁, 陈晓云. 水果蔬菜及其制品中羟甲基糠醛测定的研究[J]. 辽宁农业科学, 2002(4): 12–14.
- LI L, MENG SJ, CHEN XY. Study on determination of hydroxymethylfurfural in fruits and vegetables and their products [J]. Liaoning Agric Sci, 2002(4): 12–14.
- [28] 孙嘉卿, 冯涛, 宋诗清, 等. 果蔬风味物质形成的生物化学基础[J]. 中国果菜, 2020, 40(6): 10–17.
- SUN JQ, FENG T, SONG SQ, *et al.* Biochemical basis for the formation of flavor substances in fruits and vegetables [J]. China Fruit Veget, 2020, 40(6): 10–17.

- [29] 李国鹏. 中国梨果实挥发性物质鉴定及酯类物质生物合成相关基因表达的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- LI GP. Identification of volatile substances and expression of genes related to ester biosynthesis in chinese pear fruit [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [30] 胡均鹏, 陈荣桥, 梁明, 等. γ -癸内酯的生物合成途径及产量提升策略研究进展[J/OL]. 现代食品科技, 1–9. [2024-08-08]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.9.1059>
- HU JP, CHEN RQ, LIANG M, *et al.* Research progress on the biosynthesis pathway and yield enhancement strategy of γ -decalactone [J/OL]. Mod Food Sci Technol, 1–9. [2024-08-08]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.9.1059>
- [31] 李秋棉, 罗均, 李雪萍, 等. 果实香气物质的合成与代谢研究进展[J]. 广东农业科学, 2012, 39(19): 104–107.
- LI QM, LUO J, LI XP, *et al.* Research progress on synthesis and metabolism of fruit aroma substances [J]. Guangdong Agric Sci, 2012, 39(19): 104–107.
- [32] MIGICOVSKY Z. Tasting improvement in fruit flavor using genomics [J]. New Phytol, 2020, 226(6): 1539–1540.
- [33] 王文博, 陈逸飞, 王赛赛, 等. 库尔勒香梨 SnRK2 基因家族鉴定与越冬表达分析[J/OL]. 分子植物育种, 1–16. [2024-08-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20240428.1742.010.html>
- WANG WB, CHEN YF, WANG SS, *et al.* Identification of SnRK2 gene family and overwintering expression analysis of Korla fragrant pear [J/OL]. Mol Plant Breed, 1–16. [2024-08-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20240428.1742.010.html>
- [34] 王婷婷, 魏骊菲, 高振正, 等. 1-MCP 处理对库尔勒香梨酚类及抗氧化活性的影响[J]. 北方园艺, 2024(5): 90–96.
- WANG TT, WEI LF, GAO ZZ, *et al.* Effects of 1-MCP treatment on phenolic compounds and antioxidant activity of Korla fragrant pears [J]. North Hortic, 2024(5): 90–96.
- [35] 刘婉君, 张莹, 张玉星, 等. 18 个品种授粉‘鸭梨’果实品质和香气成分分析与评价[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 294–302.
- LIU WJ, ZHANG Y, ZHANG YX, *et al.* Analysis and evaluation of fruit quality and aroma components of 18 pollinated ‘Yali’ varieties [J]. Food Sci, 2002, 43(2): 294–302.
- [36] LIU Y, XIANG SM, ZHANG HP, *et al.* Sensory quality evaluation of korla pear from different orchards and analysis of their primary and volatile metabolites [J]. Molecules, 2020, 25(23): 5567.
- [37] 陈计峦, 周珊, 王强, 等. 新疆库尔勒香梨的香气成分分析[J]. 食品科技, 2007(6): 95–98, 103.
- CHEN JL, ZHOU S, WANG Q, *et al.* Analysis of aroma components of Korla pear [J]. Food Sci Technol, 2007(6): 95–98, 103.
- [38] 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.
- LIU Y, XIANG SM, WANG JB, *et al.* Korla fragrant pear of volatile substances and metabolites of GC-MS analysis [J]. J Huazhong Agric Univ, 2020, 39(1): 44–52.
- [39] CHEN J, WANG Z, WU J, *et al.* Chemical compositional characterization of eight pear cultivars grown in China [J]. Food Chem, 2007, 104(1): 268–275.
- [40] YAN C, YIN M, ZHANG N, *et al.* Stone cell distribution and lignin structure in various pear varieties [J]. Sci Hortic-Amsterdam, 2014, 174: 142–150.
- [41] 张国玉, 王雪铭, 王陈强, 等. 不同前处理方法对库尔勒香梨果实香气成分的影响分析[J]. 食品安全导刊, 2023(18): 40–43.
- ZHANG GY, WANG XM, WANG CQ, *et al.* Effect of different pretreatment methods on aroma components of Korla fragrant pear [J]. China Food Saf Magaz, 2023(18): 40–43.
- [42] 向思敏, 刘园, 王雪其, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 方法的不同倍性库尔勒香梨果实风味相关代谢物质的变化[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(1): 53–60.
- XIANG SM, LIU Y, WANG XQ, *et al.* Changes of flavor-related metabolites of Korla fragrant pear with different ploidy based on HS-SPME-GC-MS method [J]. J Huazhong Agric Univ, 2019, 39(1): 53–60.
- [43] 陈计峦, 江英, 吴继红, 等. 固相微萃取 GC-MS 技术在梨香气成分分析中的应用研究[J]. 食品与发酵工业, 2007(3): 107–110.
- CHEN JL, JIANG Y, WU JH, *et al.* Application of solid phase microextraction GC-MS technology in the analysis of pear aroma components [J]. Food Ferment Ind, 2007(3): 107–110.
- [44] 赵雅琦, 宁明岸, 左进华, 等. UV-C 处理对人参果贮藏期冷害及风味品质的影响[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(5): 87–96.
- ZHAO YQ, NING MAN, ZUO JH, *et al.* Effects of UV-C treatment on chilling injury and flavor quality of Ginseng fruit during storage [J]. J South China Agric Univ, 2021, 42(5): 87–96.
- [45] 蒙莎, 莫琼雪, 郭东起, 等. 库尔勒香梨采后品质劣变与贮藏保鲜研究进展[J]. 北方园艺, 2023(23): 129–135.
- MENG S, MO QX, GUO DQ, *et al.* Research progress on postharvest quality deterioration and storage and freshness of Korla fragrant pear [J]. North Hortic, 2023(23): 129–135.
- [46] 刘琦. 香梨贮藏期间影响表皮锈斑形成的因素及显微结构的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2010.
- LIU Q. Study on factors affecting the formation and microstructure of skin rust of fragrant pear during storage [D]. Shihezi: Shihezi University, 2010.
- [47] 邓冰, 韩云云, 韩艳文, 等. 库尔勒香梨缓慢降温后适宜温湿度条件的研究[J]. 包装工程, 2016, 37(7): 45–50.
- DENG B, HAN YY, HAN YW, *et al.* Study on suitable temperature and humidity conditions of Korla fragrant pear after slow cooling [J]. Packag Eng, 2016, 37(7): 45–50.
- [48] 饶媛媛, 王晗瑶. 库尔勒市香梨产业发展现状、问题及对策[J]. 山西农经, 2024(14): 192–194.
- RAO YY, WANG HY. Korla fragrant pear industry development present situation, problems and countermeasures [J]. Shanxi Agric Econ, 2024(14): 192–194.
- [49] 于宛婷, 杭博, 张鑫楠, 等. 1-MCP 处理对库尔勒香梨常温保鲜效果和

- 果实内在品质的影响[J]. 中国果树, 2023(10): 13–18.
- YU WT, HANG B, ZHANG XN, *et al.* Effects of 1-MCP treatment on room temperature green preserving effect and internal fruit quality of Korla fragrant pear [J]. China Fruits, 2023(10): 13–18.
- [50] 丁长伟, 张伟, 赵丹, 等. 不同产地库尔勒香梨生育期果实品质变化规律及综合评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 6032–6041.
- DING CW, ZHANG W, ZHAO D, *et al.* Variation law and comprehensive evaluation of fruit quality of Korla fragrant pear from different production areas during growth period [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(18): 6032–6041.
- [51] 古丽尼帕尔·艾合拜尔, 赵晓梅, 吴玉鹏. 产地差异对库尔勒香梨品质的影响[J]. 中国果菜, 2018, 38(8): 7–10.
- GULINIPAER AIHBER, ZHAO XM, WU YP. Effect of origin difference on quality of Korla fragrant pear [J]. China Fruit Veget, 2018, 38(8): 7–10.
- [52] 刘茂, 柴仲平, 盛建东, 等. 库尔勒香梨施用有机肥对叶片营养元素及果实产量与品质的影响[J]. 北方园艺, 2014(10): 159–163.
- LIU M, CHAI ZP, SHENG JD, *et al.* Organic fertilizer of Korla fragrant pear leaf nutrient elements and the influence of the fruit yield and quality [J]. North Hortic, 2014(10): 159–163.
- [53] 李经洽, 克热木·伊力, 艾克拜尔·伊拉洪, 等. 配方施肥对库尔勒香梨果实及土壤矿质营养含量的影响[J]. 北方园艺, 2015(16): 166–170.
- LI JQ, KEREMU YL, AIKEBAIER YLH, *et al.* Effects of formula fertilization on mineral nutrient content of Korla pear fruit and soil [J]. North Hortic, 2015(16): 166–170.
- [54] 柴仲平, 王雪梅, 陈波浪, 等. 不同氮磷钾施肥配比对库尔勒香梨果实品质的影响[J]. 经济林研究, 2013, 31(3): 154–157.
- CHAI ZP, WANG XM, CHEN BL, *et al.* Effects of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilization ratios on fruit quality of Korla fragrant pear [J]. Non-wood Forest Res, 2013, 31(3): 154–157.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)

作者简介



刘秀秀, 硕士研究生, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: 614512584@qq.com



沈 幸, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: shenxing@xjau.edu.cn



柴仲平, 博士, 教授, 主要研究方向为果树营养与施肥。

E-mail: chaizhongpingth@sina.com