

我国主要热带水果的干燥和贮藏保鲜技术研究进展

易 阳^{1,2}, 张名位^{1,*}

(1. 广东省农业科学院农业生物技术研究所, 广东 广州 510640;

2. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 目前我国热带水果产业还处于小规模、低层次的加工状态。干燥和贮藏保鲜是保障我国热带水果产业健康、稳定发展的重要技术。本文针对我国主要热带水果(香蕉、菠萝、荔枝、龙眼和芒果)干燥和贮藏保鲜环节的相关技术进行综述, 包括组合干燥工艺、热处理、溶剂处理以及气调贮藏或包装, 旨在为其采后贮藏保鲜和初加工提供参考。

关键词: 热带水果; 贮藏; 保鲜

Research Progress in Drying and Preservation Technology of Tropical Fruits in China

YI Yang^{1,2}, ZHANG Ming-wei^{1,*}

(1. Agricultural Bio-technology Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Drying and preservation are important technologies to ensure healthy and stable developments of tropical fruit industries. In this paper, the drying and preservation technologies of major tropical fruits such as banana, pineapple, litchi, longan and mango in China have been reviewed, which will provide a theoretical basis for post-harvest preservation and pretreatments including drying process, heating treatment, solvent treatment, and modified atmosphere storage or packaging.

Key words: tropical fruit; storage; preservation

中图分类号: TS255.36

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)13-0331-06

我国南方有丰富的热带、亚热带水果资源, 如荔枝、龙眼、香蕉、芒果、菠萝、黄皮、番木瓜、番石榴、杨桃、橄榄等^[1], 其中以香蕉、菠萝、荔枝、龙眼和芒果的产量较高, 主要分布在海南、广东、广西、福建和云南5省区。2004年, 我国热带水果总产量达到1801.18万t, 其中香蕉、菠萝、荔枝、龙眼和芒果的产量总和达到1003.43万t^[2]。我国热带水果的种植面积和产量都在逐年扩大, 仅2007年, 香蕉的产量就同比增加了约174万t^[3]。热带水果是我国南方地区获得经济收入和创汇的重要农产品。

虽然我国热带水果种植业得到迅速发展, 但由于其采收季节性强、上市集中以及自身特点, 例如果实皮薄多汁, 易造成机械伤害; 果实呼吸代谢高, 蒸腾作用强, 果实极易失水, 造成萎蔫、褐变; 果实对低温、高CO₂、低O₂环境敏感, 易产生冷害和CO₂伤害;

果实采前阶段遭受到多种病原菌的潜伏侵染, 在采后随着果实成熟、后熟而逐渐表现出病症等, 使我国热带水果在采后损耗十分严重^[1]。另外, 我国的冷链硬件较落后, 热带水果以鲜食为主, 价格受市场波动影响很大, 容易出现“果贱伤农”的现象。因此加强热带水果的干燥和贮藏保鲜技术的应用性研究, 是稳定果农收入和保护我国热带水果产业可持续发展的重要途径。

1 干燥技术

我国传统的热带水果干燥技术以热风干燥为主, 不仅能耗大、效率低, 而且严重影响产品的品质。就香蕉而言, 因其含糖量高、原料自身热传导性能较差^[4], 热风干燥需要较高温度和较长时间, 导致干燥产品的气味、色泽、质构和营养都遭到损害。基于能耗和干燥

收稿日期: 2009-11-27

作者简介: 易阳(1986—), 男, 博士研究生, 研究方向为植物活性物质。E-mail: yiy86@qq.com

* 通信作者: 张名位(1966—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为天然产物及功能食品。E-mail: mwzhh@163.net

品质的考虑,真空冷冻干燥、微波干燥和远红外干燥等技术在食品行业得到了迅速的发展和广泛的使用。但这些技术对设备要求高,且存在着一些不足,例如,真空冷冻干燥的处理温度相对较低,能避免制品中营养成分的损失,并维持原物料的外观,但干燥时间长且费用高;微波干燥速度快、干燥时间短、制品的质量高,但其电能消耗大。通常不同方式干燥的产品品质有所差异,采取组合技术进行干燥,不仅能综合各自的优点提高产品品质,还能有效节约能源。

1.1 过热蒸汽-热风干燥

一般而言,低压过热蒸汽干燥的产品质量要优于传统的热风干燥和真空干燥,干燥产品具有低皱缩度、高多孔性、良好色泽、高VC保持率等优点。但低压过热蒸汽干燥过程缓慢,对能量的需求较大。在保证干燥效率和产品品质的基础上,Somjai等^[5]借鉴过热蒸汽-热风干燥技术在河虾、鸡肉、蚕茧中的应用,选取水分含量为300%~350%(干质量)的去皮去核的龙眼果肉,以干燥产品的色泽、皱缩度和微观结构为评价指标,优化工艺条件:第一阶段采用180℃的过热蒸汽干燥0.25h,降低龙眼的水分含量至200%(干质量);第二阶段采用70℃的热风干燥13h,龙眼水分含量降至18%(干质量)。

1.2 热风-微波干燥

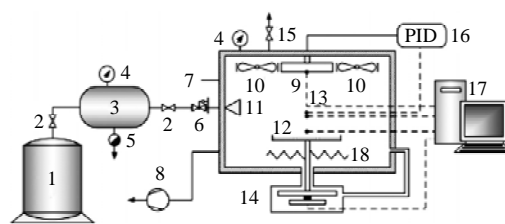
工业上,热风干燥未去皮龙眼需要在75℃条件下处理48~52h达到最终水分含量为22%(干质量),而去皮龙眼也需要处理12~15h^[6]。Varith等^[6]设计了去皮龙眼的微波-热风干燥工艺,发现微波-热风干燥对水分含量的影响与单独的热风干燥有所不同。热风干燥速率随龙眼水分含量的减少呈3段式的线性减小,而微波-热风干燥速率则是先增大后减小,且变化趋势呈抛物线状。以干燥制品的品质和能量消耗为评价指标,优化得到的干燥工艺条件为先采用40℃热风 and 450W微波干燥1.7h,再用60℃热风 and 300W微波干燥3.3h。与65℃的热风干燥相比,要得到相近品质的棕色果肉,优化工艺的处理时间要少64.3%,能耗也少48.2%。

罗树灿等^[7]将荔枝鲜果经清洗、护色处理后,用70℃的热风干燥至50%的水分含量,再用480W的微波平均功率、240g/kW的微波处理量进行干燥至水分含量为25%,所得荔枝干果品质最佳。配合以PA/PE复合包装袋加脱氧剂的包装方法,能够达到较好的保质效果。

1.3 过热蒸汽-远红外干燥

为减少过热蒸汽干燥过程的能耗,并保持较高的干燥品质,Nimmol等^[8]探讨了低压过热蒸汽-远红外干燥技术在制备香蕉干中的应用(图1),并研究不同干燥参数(包括干燥介质温度、压力)对香蕉片干燥过程动力学、热传递以及能耗的影响。通过比较低压过热蒸汽-远红

外干燥、真空-远红外干燥和低压过热蒸汽干燥的干燥效果发现,低压过热蒸汽-远红外和真空-远红外的干燥时间都要明显少于低压过热蒸汽的干燥时间。就能耗而言,真空泵要远高于远红外辐射器和电加热装置。而经工艺组合后,相同参数条件(蒸汽温度、压力、干燥时间)下的低压蒸汽-远红外和真空-远红外的能耗都要低于低压蒸汽干燥。以干燥速率和能耗为评价指标,确定香蕉片的低压蒸汽-远红外干燥条件为温度90℃、压强7kPa、处理时间100min。



1. 蒸汽炉; 2. 蒸汽阀; 3. 蒸汽罐; 4. 压力表; 5. 蒸汽疏水阀; 6. 蒸汽调节阀; 7. 干燥箱; 8. 真空泵; 9. 远红外辐射器; 10. 电扇; 11. 蒸汽进口分配器; 12. 样品支架; 13. 热电偶; 14. 承载部件; 15. 真空阀; 16. 比例积分微分调节器; 17. 数据采集; 18. 电加热装置。

图1 低压过热蒸汽-远红外组合干燥系统示意图

Fig.1 Diagram of drying system combined with low-pressure superheated steam and far-infrared ray

1.4 红外-冷冻干燥

Wang等^[9]通过比较真空干燥、冷冻干燥和空气干燥对香蕉泥制备香蕉粉中香味品质的影响发现,冷冻干燥对香蕉特征性风味的保持效果要高于真空干燥和热风干燥。但冷冻干燥的高费用使其局限于高价值产品的制备,如中草药有效成分,其工业化普及有赖于技术的改进。Pan等^[10]将冷冻干燥结合红外技术用于生产香蕉片,取得较好的效果。在干燥前浸泡抗坏血酸和柠檬酸能提高产品的色泽,减少冷冻干燥的时间。经过4000W/m²的红外线辐照20min后,香蕉片的冻干效率显著增加。20h冷冻干燥后,产品的水分含量可降到5%(湿质量)。

1.5 太阳能干燥

太阳能干燥的最大优势在于节省能源、降低干燥的成本,但开放式的太阳能干燥速率较低。Janjai等^[11]设计了一种太阳能干燥室,由聚碳酸酯板材料的抛物面屋顶结构以及水泥地面构成,干燥室由50W的太阳能联结装置驱动3个电扇促进室内的空气流通。为研究该干燥室对去皮龙眼和香蕉的干燥性能,将干燥室分为10个区域,龙眼和香蕉各占一半。其中龙眼的干燥温度分布在31~58℃,香蕉的干燥温度分布在30~60℃。在该

干燥室内干燥水分含量 81%(湿质量)的去皮龙眼至最终水分含量 12%(湿质量)需要 3d, 而相同条件下室外干燥的最终水分含量 24%(湿质量), 达到 12%(湿质量)水分含量还多需要 2~3d; 在该干燥室内干燥水分含量 70%(湿质量)的香蕉至最终水分含量 24%(湿质量)需要 4d, 而相同条件下室外干燥的最终水分含量 32%(湿质量), 达到 24%(湿质量)水分含量还多需要 1~2d。该干燥室的处理量分别为去皮龙眼 10kg/m²、香蕉 15kg/m²。采用该干燥室生产的产品色泽、香味、质构、口感以及总体的感官接受程度都较好。Smitabhindu 等^[12]也对太阳能辅助干燥香蕉的工艺展开研究, 其优化工艺的干燥成本仅为 0.225 美元/kg 香蕉干, 包括设备成本和劳动费用。太阳能干燥受到地域和天气条件的限制, 可以通过添置高效的太阳能集热器能提高干燥的效率。

2 贮藏保鲜技术

2.1 热处理

香蕉 4℃冷藏前, 于 42℃的热水中浸泡 15min, 相比未处理的香蕉, 能有效延缓表皮的黑化 2~4d。对不同品种的延缓时间不同, 延缓时间的长短与不饱和/饱和脂肪酸的比例成负相关性, 另外还与香蕉中脂肪氧合酶和儿茶酚氧化酶的活性有关^[13]。香蕉在 42℃的温室(相对湿度 78%)内放置 18h, 能在保持可接受的口感和风味的同时显著降低香蕉的褐变。与未处理过的香蕉相比, 热处理香蕉中苯丙氨酸解氨酶和多酚氧化酶的活性从货架期的第 2 天开始显著降低, 但两者多酚氧化酶活性的显著性差异到第 4 天消失。热处理在降低脂肪氧化酶活性的同时, 增加了膜脂过氧化诱导因子硫代巴比妥酸反应物质的含量^[14]。Baini 等^[15]研究发现, 间歇式加热处理香蕉的褐变程度要明显小于连续加热处理香蕉的褐变程度; 随着热处理时间的延长和水分含量的减少, 香蕉的褐变速率逐渐降低; 未成熟的香蕉含糖量少, 其褐变反应程度要弱于成熟的香蕉; 香蕉中淀粉和抗性淀粉含量随其成熟度的增加而逐渐下降。

Djioua 等^[16]将芒果用 50℃热水浸泡 30min 后, 浸于 13℃水中冷却 15min, 并于 6℃贮藏 9d。通过对热处理芒果和未处理芒果的硬度、色泽、酸度、pH 值、可溶性固形物含量、抗坏血酸含量、总类胡萝卜素含量等指标进行分析比较, 发现前者的贮藏品质要优于后者, 并且贮藏 9d 后仍保持可接受的感官品质。芒果于 46℃的热水中浸泡 75min 后, 再经气调包装于 10℃贮藏, 2 周后检测发现, 热处理芒果的炭疽病症状得到有效的抑制, 且其没食子酸、可水解鞣质和植化物的抗氧化能力都没有受到影响^[17]。另外, Plotto 等^[18]发现, 芒果在热水处理前, 采用乙醇蒸气处理 10h 能有效控制芒果鲜切产品微生物污染, 且对芒果的后熟没有显著影响。

采后的荔枝极易腐败。荔枝于 52℃的热水中浸泡 1min, 并在 5℃贮藏 7d 后置于 22℃存放。发现热处理荔枝在贮藏的第 12 天出现个别的腐败现象。而在贮藏 20d 后, 与未处理的荔枝相比, 其腐败率要显著低于后者。52℃热水浸泡, 荔枝的腐败速率随浸泡时间的延长而增大。但热水处理对荔枝果皮的色泽产生直接的影响, 色度值与 52℃条件下的处理时间呈正线性相关, 可能是因表皮细胞遭破坏而造成^[19]。

菠萝黑腐病多发生在采收后, 并导致果实的迅速腐烂。Wilson 等^[20]发现, 热水浸泡处理能有效抑制菠萝的黑腐病害。菠萝经 0.1mL 黑腐病病原体悬浮液(10⁴ 个孢子/mL)浸染后, 置于 54℃热水中 3min, 在 10℃贮藏 21d, 再于室温((28 ± 2)℃)存放 48h, 菠萝没有发生病害现象。且浸染后热处理的菠萝在(28 ± 2)℃存放 6d 后仍然具有食用安全性, 但未经热水处理的菠萝则出现明显的病害症状。热水处理和未处理的菠萝在果肉和果皮色泽、抗坏血酸含量、可滴定酸度含量方面没有显著的差异。

2.2 溶剂处理

2.2.1 糖液处理

Ehabe 等^[21]采用蔗糖和 NaCl 溶液浸泡香蕉片 30min, 研究该处理对经过后期烘制((70 ± 1)℃热风处理 24h)的香蕉干品质的影响。结果发现, 香蕉片(1kg)于 25℃的 0.1kg/L 蔗糖、0.05kg/L 蔗糖与 0.05kg/L NaCl 的混合液中浸泡后, 其干片中的水分和糖含量都显著增加, 且混合液处理的香蕉干片的口感和消费者接受度都要优于未处理的香蕉产品。蔗糖和 NaCl 的混合液不仅能提高产品的感官品质, 更重要的是还能抑制香蕉干表面霉菌的生长。未浸泡和以纯水浸泡的香蕉干都在贮藏的第 7 周出现发霉现象, 15 周后两种产品的发霉率达 80%, 且视觉评估的发霉表面积分别占到 90% 和 40%。而采用以上蔗糖和 NaCl 混合液浸泡的产品到第 13 周才开始发霉, 且第 15 周的发霉率不到 30%, 发霉表面积小于 1%。

荔枝果肉(去核)经抗褐变剂处理后, 先于常压下的 502g/kg 蔗糖浆中浸泡 10min, 再调节 570mm Hg 的真空度浸泡 10min, 并于(4 ± 2)℃贮藏。以纯水浸泡 10min 作为对照, 糖液处理后荔枝果肉中总可溶性固形物含量、糖含量、抗坏血酸含量、总酚含量都要高于对照组, 微生物计数和细胞液溢出损失较低。糖液处理果肉的食用品质在 24d 内可接受, 而对照组果肉的食用品质仅保持 7d^[22]。

Chien 等^[23]将手工切片的芒果采用 5.0、10g/L 和 20g/L 壳聚糖水溶液浸泡涂膜后, 置于塑料盘上用聚偏(二)氟乙烯的薄膜包裹, 并于 6℃贮藏。研究证实, 5.0g/L 壳聚糖涂膜即可抑制水分的流失和感官品质的下降, 处理后的芒果片相对未处理芒果片的可溶性固形物含量、可

滴定酸度和抗坏血酸含量都有所增加,同时涂膜还能抑制微生物的生长。Jiang等^[24]的研究也证实,通过壳聚糖涂膜,能抑制龙眼贮藏期间的呼吸作用和多酚氧化酶活性,降低颜色和可食用品质的改变,减少贮藏期间的腐败。此外,壳聚糖也可用于荔枝的护色保鲜^[25]。壳聚糖相比仲丁胺、多菌灵、甲基托布津、苯甲酸、特克多、抑霉唑、2,4-D、赤霉素、细胞分裂素等防腐保鲜剂^[26],不仅有效保障食用安全性,更符合消费者的消费意愿。

Lombard等^[27]将菠萝片浸泡于一定真空度的蔗糖溶液中渗透脱水作为其干燥的前处理。研究发现,菠萝片的水分损失和固形物含量随温度和糖液浓度的升高而增加,采用糖液处理能显著提高干燥产品的品质。

2.2.2 酸性溶剂处理

谢绍萍等^[28]对香蕉在加工环节(去皮、切片、打浆)中的褐变研究发现,打浆过程中香蕉酶促褐变最为严重,打浆时间越长,褐变程度越高。而在香蕉浆液中添加0.32g/100mL柠檬酸、0.06g/100mL异抗坏血酸、0.12g/100mL 4-乙基间苯二酚、0.02g/100mL植酸能有效抑制褐变现象。同样,采用柠檬酸、异抗坏血酸钠溶液浸泡鲜切的菠萝片也能够提高其感官品质,并有效抑制微生物的生长,延长贮藏期^[29-31]。

SO₂熏蒸和NaHSO₃浸泡广泛应用于控制荔枝的褐变。但消费者对硫残留越来越敏感,对硫化物残留的规范也限制了该法的应用。并且, -18℃贮藏的NaHSO₃处理荔枝,其室温下的货架期小于1h,果皮在解冻的过程中迅速褐变。荔枝果皮中细胞液pH值的增加,导致其鲜红色在贮藏期间衰退。荔枝采用1g/100mL HCl溶液浸泡6min能显著抑制其多酚氧化酶的活性,维持荔枝果皮组织中较高的花青素含量。荔枝经处理后于-18℃贮藏12个月,仍具有室温下12h的货架期,果皮具有均匀的红色,并具有可接受的消费品质^[32]。用草酸浸泡也有与HCl溶液浸泡相类似的效果^[33]。此外,柠檬酸、半胱氨酸、抗坏血酸等也对荔枝酶促褐变有一定的抑制作用^[25,34]。

2.2.3 其他溶剂处理

Yi等^[35]发现荔枝果皮中的能量水平与其氧化褐变及抗病能力存在一定关联。荔枝浸于1mmol/L的ATP溶液中,在75kPa条件下处理3min后接种(或不接种)霜疫病菌作为实验组,以相同条件的蒸馏水处理作为对照组。结果发现,实验组相比对照组表现出较高的抗氧化酶活性,包括过氧化氢酶、超氧化物歧化酶和VC过氧化物酶,且酚类化合物含量较高,对DPPH清除能力较强。接种霜疫病菌的荔枝中抗氧化物含量要高于未接种的荔枝。ATP可能对荔枝中的抗氧化体系有一定的调节作用,对抑制褐变和防止采后抗病能力下降

有着重要的作用。

细胞破裂导致酶和底物作用产生酶促氧化,从而引起组织的褐变^[36]。延缓组织的衰老或维持其膜结构的正常功能是延长贮藏期和保持水果品质的重要手段。多胺伴随着荔枝生长至衰败的整个过程,外源性多胺的添加能抑制乙烯产物的生成,保护细胞膜体系,并阻碍过氧化物的生成。荔枝经多胺(1mmol/L的腐胺、亚精胺或精胺)处理后,于5℃贮藏,能有效延缓荔枝的衰老,如褐变、过氧化物和乙烯的生产、细胞渗漏等,其中以精胺的处理效果最好^[37]。

2.3 气调贮藏或包装

新鲜果蔬在采收后呼吸作用加强,容易造成病害。气调包装技术广泛应用于新鲜果蔬的保鲜,常用的气体包括O₂、CO₂、N₂。保障果蔬质量安全的气调包装O₂的推荐百分含量为1%~5%。尽管关于其他气体的保鲜研究也很多,如N₂O、NO、SO₂、乙烯、Cl₂、臭氧和环氧丙烷等,但因为存在安全性问题或管理、消费的考虑而没有商业普及。通过气调包装控制果蔬呼吸作用和乙烯生成,并辅以合适的温度环境,能保持果蔬较高的感官品质^[38]。

Nguyen等^[39]研究表明,气调包装能有效减少香蕉中总酚的损失。体积分数12% O₂和体积分数4% CO₂的气调包装能降低多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶的活性,抑制香蕉皮的褐变,缓解10℃贮藏的香蕉冷害。

Duan等^[40]发现,荔枝果皮褐变过程中细胞膜的通透性逐渐增加,同时ATP含量和能荷快速减少。将荔枝置于纯氧中能贮藏4d,发现其褐变程度显著降低,且果皮组织具有较高水平的ATP、ADP和能荷,细胞膜通透性增加,速率减缓。故在纯氧条件下贮藏有利于维持荔枝果皮细胞膜的完整性,抑制因酶和底物作用所导致的酶促褐变。Reuck等^[41]用含300nL/L 1-甲基环丙稀(1-MCP)的双向拉伸聚丙烯袋包装荔枝,热封并于2℃贮藏。荔枝褐变在贮藏的21d内得到有效的抑制,并且该气调包装能显著降低多酚氧化酶和过氧化酶的活性,保持细胞膜的完整性和花青素的含量,抑制果皮褐变。但如果袋内1-MCP含量过高(1000nL/L),则会损害果皮细胞膜的完整性,从而促进褐变。Sivakumar等^[42]将荔枝在8℃的乙二胺四醋酸、EDTA(0.1g/100mL)和磷酸(0.1g/100mL)的混合液中浸泡2min后,采用含体积分数17.0% O₂和体积分数6.0% CO₂的BOPP-3双向拉伸聚丙烯袋包装,先在2℃、相对湿度95%的条件下贮藏34d,然后在14℃存放2d,以此模拟荔枝远距离销售的环境体系。与SO₂熏蒸荔枝比较发现,该气调包装能够降低细胞渗漏的比率、减少荔枝腐败、缓解其品质的下降。

Tian等^[43]将龙眼果实(储良和石硖)分别置于体积分

数4% O₂加5% CO₂、体积分数4% O₂加15% CO₂、体积分数70% O₂三种条件下贮藏(2℃)。与体积分数15%~19% O₂加2%~4% CO₂的气调包装相比,气调贮藏能更有效抑制多酚氧化酶的活性和果皮的褐变、减少果实的腐败。高O₂含量的气调贮藏能显著降低果肉中乙醇的生成,保持果皮中较低的pH值有利于维持果皮颜色。高CO₂含量的气调贮藏(体积分数4% O₂+15% CO₂)与其他条件的气调贮藏相比,更加有效的减少龙眼果实的腐败,并延长贮藏期。不同的气调处理对龙眼中可溶性固形物含量没有显著的影响。VC含量在气调贮藏过程中快速减少,特别是石硖品种。

Montero-Calderón等^[44]研究了聚丙烯膜的4种气调包装条件对菠萝鲜切片货架期的影响。菠萝片分别采用体积分数40% O₂、体积分数11.4% O₂、空气(包括10g/L藻酸盐涂膜和不涂膜)包装后于5℃贮藏20d。实验发现,贮藏期间各包装内的O₂含量不断减少,CO₂含量不断增加至体积分数10.6%~11.7%。贮藏20d后,O₂包装的菠萝片中乙烯含量增加,而空气包装的菠萝片中乙烯接近零含量。体积分数40% O₂包装的菠萝片中乙醇生成量要显著低于其他包装条件($P < 0.05$)。采用藻酸盐涂膜能显著减少菠萝汁的渗出。4种包装菠萝片贮藏期间的质构变化并不明显,其霉菌和酵母菌计数也没有显著差异($P > 0.05$)。Sangsuwan等^[45]采用实验室自制的添加天然抗微生物剂(香草醛)的壳聚糖/甲基纤维素膜对菠萝进行包裹保鲜,发现该膜能抑制大肠杆菌和酿酒酵母的生长,增强菠萝的黄色,降低其呼吸作用。

Kim等^[17]证实,低含量O₂和(或)高含量CO₂能够提高芒果的后熟品质。气调包装能抑制芒果中多酚化合物的减少,延缓芒果的后熟。

3 结论与展望

干燥和贮藏保鲜技术是降低热带水果采后损失、保持良好食用品质的的重要手段,对促进产业的良性发展起到了重要的作用。近年来,热带水果的干燥技术总体上表现为高效、优质、节能,组合干燥技术的优势也得到广泛的认可。热风 and 过热蒸汽干燥的设备要求较低,且是目前热带水果干燥的主要技术,故对组合干燥工艺的研究应以上述两种技术为载体,以降低能耗和提高品质为目的。贮藏保鲜技术在提高食用品质和安全性以及延长货架期等方面也得到了全面的发展,其中热处理和溶剂处理操作简单,适用性广,能有效保护热带水果链的生产环节。但我国热带水果加工业总体尚处于起步阶段,还未能向深层次推进,存在生产规模小、技术水平低、综合利用性差、能耗高、成品品种少、质量不高等现象。要解决这一系列的问题,有赖于技术的更新和推广。虽然目前开展了许多关于加工技术和

产品开发的研究,但要达到规模化的生产应用还存在一定的困难。要实现我国热带水果传统的低层次加工向现代化的高新技术深加工转型,应重点进行水果加工、风味和功能特性的研究,以及工业化设备的研制。

参考文献:

- [1] 蒋跃明,刘淑娟,李月标,等.我国南方水果贮藏运销保鲜的存在问题及发展途径[J].广东农业科学,1997(5): 18-19.
- [2] 孙俊萍.我国热带水果区域布局和发展研究[J].中国农业资源与区划,2007,28(3): 21-23.
- [3] 中华人民共和国国家统计局.2008年中国统计年鉴[EB/OL].2008.[2010-05-10].<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2008/indexch.htm>.
- [4] MASKAN M. Microwave/air and microwave finish drying of banana[J]. Journal of Food Engineering, 2000, 44(2): 71-78.
- [5] SOMJAIT, ACHARIYAVIRIYA S, ACHARIYAVIRIYA A, et al. Strategy for longan drying in two-stage superheated steam and hot air[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95(2): 313-321.
- [6] VARITH J, DIJKANARUKKUL P, ACHARIYAVIRIYA A, et al. Combined microwave-hot air drying of peeled longan[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(2): 459-468.
- [7] 罗树灿,李远志,彭伟睿,等.热风 and 微波结合干燥荔枝加工工艺研究[J].现代食品科技,2006,22(3): 10-13.
- [8] NIMMOL C, DEVAHASTIN S, SWASDISEVI T, et al. Drying and heat transfer behavior of banana undergoing combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation drying[J]. Applied Thermal Engineering, 2007, 27(14/15): 2483-2494.
- [9] WANG Juan, LI Yuanzhi Z, CHEN Renren, et al. Comparison of volatiles of banana powder dehydrated by vacuum belt drying, freeze-drying and air-drying[J]. Food Chemistry, 2007, 104(4): 1516-1521.
- [10] PAN Zhongli, SHIH C, MCHUGH T H, et al. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1944-1951.
- [11] JANJAI S, LAMLERT N, INTAWEE P, et al. Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana[J]. Solar Energy, 2009, 83(9): 1550-1565.
- [12] SMITABHINDU R, JANJAI S, CHANKONG V. Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas[J]. Renewable Energy, 2008, 33(7): 1523-1531.
- [13] PROMYOU S, KETSA S, DOORN W G, et al. Hot water treatments delay cold-induced banana peel blackening[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 48(1): 132-138.
- [14] KAMDEE C, KETSA S, DOORN W G. Effect of heat treatment on ripening and early peel spotting in cv. *Sucrier* banana[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(3): 288-293.
- [15] BAINI R, LANGRISH T A G. Assessment of colour development in dried bananas-measurements and implications for modeling[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93(2): 177-182.
- [16] DJIOUA T, CHARLES F, FÉLICIE L L, et al. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(2): 221-226.
- [17] KIM Y, BRECHT J K, TALCOTT S T. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage[J]. Food Chemistry, 2007, 105(4): 1327-1334.
- [18] PLOTTO A, BAI J, NARCISO J A, et al. Ethanol vapor prior to processing extends fresh-cut mango storage by decreasing spoilage, but

- does not always delay ripening[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39(2): 134-145.
- [19] OLESEN T, NACEY L, WILTSHIRE N, et al. Hot water treatments for the control of rots on harvested litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(2): 135-146.
- [20] WILSON W R S, HEWAJULIGE I G N, ABEYRATNE N. Postharvest hot water treatment for the control of *Thielaviopsis* black rot of pineapple [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 36(3): 323-327.
- [21] EHABE E E, EYABI G D, NUMFOR F A. Effect of sugar and NaCl soaking treatments on the quality of sweet banana figs[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(4): 573-578.
- [22] SHAH N S, NATH N. Changes in qualities of minimally processed litchis: Effect of antibrowning agents, osmo-vacuum drying and moderate vacuum packaging[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(4): 660-668.
- [23] CHIEN P J, SHEU F, YANG F H. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1): 225-229.
- [24] JIANG Yueming, LI Yuebiao. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit[J]. Food Chemistry, 2001, 73(2): 139-143.
- [25] DUCAMP-COLLIN M N, RAMARSON H, LEBRUN M, et al. Effect of citric acid and chitosan on maintaining red colouration of litchi fruit pericarp[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(2): 241-246.
- [26] 曾亚森, 周瑞强, 蔡业彬. 我国龙眼采后保鲜与加工发展趋势[J]. 保鲜与加工, 2004(3): 2-4.
- [27] LOMBARD G E, OLIVEIRA J C, FITO P, et al. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(2): 277-284.
- [28] 谢绍萍, 欧阳学智. 香蕉加工过程酶促褐变控制的研究[J]. 电子科技大学学报, 2003, 32(6): 641-644.
- [29] 胡雪琼, 夏杏洲, 梁婉妮, 等. 鲜切菠萝片加工工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(10): 157-159.
- [30] 覃海元, 杨昌鹏, CHAROENREIN S. 柠檬酸和异抗坏血酸钠处理对冷藏鲜切菠萝质量的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(6): 155-159.
- [31] CHAUHAN O P, SHAH A, SINGH A, et al. Modeling of pre-treatment protocols for frozen pineapple slices[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(7): 1283-1288.
- [32] JIANG Yueming, LI Yuebiao, LI Jianrong. Browning control, shelf life extension and quality maintenance of frozen litchi fruit by hydrochloric acid[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63(2): 147-151.
- [33] ZHENG Xiaolin, TIAN Shiping. Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit[J]. Food Chemistry, 2006, 96(4): 519-523.
- [34] JIANG Yueming, FU Jiarui. Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid[J]. Food Chemistry, 1998, 62(1): 49-52.
- [35] YI Chun, JIANG Yueming, SHI J, et al. ATP-regulation of antioxidant properties and phenolics in litchi fruit during browning and pathogen infection process[J]. Food Chemistry, 2010, 118(1): 42-47.
- [36] LIU Liang, CAO Shaoqian, XU Yujuan, et al. Oxidation of (-)-epicatechin is a precursor of litchi pericarp enzymatic browning[J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 508-511.
- [37] JIANG Yueming, CHEN Feng. A study on polyamine change and browning of fruit during cold storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) [J]. Postharvest Biology and Technology, 1995, 5(3): 245-250.
- [38] SANDHYA. Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(3): 381-392.
- [39] NGUYEN T B T, KETSA S, DOORN W G. Effect of modified atmosphere packaging on chilling-induced peel browning in banana[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(3): 313-317.
- [40] DUAN Xuewu, JIANG Yueming, SU Xinguo, et al. Role of pure oxygen treatment in browning of litchi fruit after harvest[J]. Plant Science, 2004, 167(3): 665-668.
- [41] REUCK K D, SIVAKUMAR D, KORSTEN L. Integrated application of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging to improve quality retention of litchi cultivars during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 52(1): 71-77.
- [42] SIVAKUMAR D, KORSTEN L. Influence of modified atmosphere packaging and postharvest treatments on quality retention of litchi cv. *Mauritius* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(2): 135-142.
- [43] TIAN Shiping, XU Yong, JIANG Aili, et al. Physiological and quality responses of longan fruit to high O₂ or high CO₂ atmospheres in storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24(3): 335-340.
- [44] MONTERO-CALDERÓN M, ROJAS-GRAÜB M A, MARTÍN-BELLOSO O. Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(2/3): 182-189.
- [45] SANGSUWAN J, RATTANAPANONE N, RACHTANAPUN P. Effect of chitosan/methyl cellulose films on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(3): 403-410.