

杏干制过程中己糖激酶和果糖激酶调控糖代谢的研究

李琼¹, 陈恺¹, 洪晶阳¹, 周彤¹, 许铭强², 胡勤勤¹, 李焕荣¹

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091)

摘要: 以绿熟期杏果为材料, 分析了热风干制和自然晒制过程中己糖激酶、果糖激酶、蔗糖相关酶活性及糖含量的变化规律, 旨在明确干制过程中关键酶调控糖代谢的作用机制。结果表明, 果糖、葡萄糖、蔗糖占可溶性总糖的比例在干制前分别为 33.52%、47.25%、45.22%, 干制后分别平均为 9.70%、28.24%、54.16%, 果糖、葡萄糖和蔗糖呈显著负相关, 因此干制条件下杏果中蔗糖的积累主要来源于己糖的转化。干制期间杏果中分解类酶活性 (NI、SSs、AI) 降低, 且与果糖、葡萄糖呈正相关, 分解类酶的调控以 NI 和 AI 为主。蔗糖合成类酶 (SPS、SSs) 在蔗糖代谢中起到辅助调控作用且热风 40~50 °C 温度处理能有效地提高其活性, 使蔗糖含量及蔗糖占可溶性总糖的比例增大。果糖激酶和己糖激酶也在干制前期略有升高, 高活性的果糖激酶和己糖激酶利于增加果实中己糖的消耗, 为蔗糖的积累提供基础。

关键字: 杏; 热风干制; 己糖激酶; 糖代谢

文章编号: 1673-9078(2017)5-64-70

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.011

Regulation of Sugar Metabolism in Apricots by Hexokinase and Fructokinase during Drying Process

LI Qiong¹, CHEN Kai¹, HONG Jing-yang¹, ZHOU Tong¹, XU Ming-qiang², HU Qin-qin¹, LI Huan-rong¹

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. Farm Product Storage and Processing Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: Using apricot fruits at the green ripe stage, variations in the sugar content and activities of hexokinase, fructokinase, and sucrose-metabolizing enzymes during natural drying and hot air drying processes were analyzed to understand the mechanisms of action of key enzymes in the regulation of sugar metabolism. The results showed that the fructose, glucose, and sucrose content changed from 33.52, 47.25, and 45.22% of the total soluble sugars in apricots before drying to about 9.70, 28.24, and 54.16% after drying, respectively. The content of fructose and glucose had significantly negative correlations with sucrose content. Therefore, the accumulation of sucrose in apricots during drying was mainly due to the conversion from hexose. The activities of sucrose cleavage enzymes [neutral invertase (NI), sucrose synthase (SSc), and acid invertase (AI)] were decreased during the drying process and were correlated positively with the content of fructose and glucose; NI and AI were the dominant cleavage enzymes. Sucrose synthesis enzymes [sucrose phosphate synthase (SPS) and sucrose synthase (SSs)] played a supplementary role in sucrose metabolism, and their activities were effectively enhanced by hot-air treatment at temperatures of 40~50 °C, so that the sucrose content and the sucrose percentage of total soluble sugar were increased. Fructokinase and hexokinase activities were increased slightly during the early stage of the drying process, and high fructokinase and hexokinase activity could increase hexose consumption in the fruits, providing the basis for the accumulation of sucrose.

Key words: apricot; hot air drying; hexokinase; sugar metabolism

杏 (*Armeniaca vulgaris Lam*) 属蔷薇科落叶乔木

收稿日期: 2016-09-24

作者简介: 李琼 (1992-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与综合利用

通讯作者: 李焕荣 (1965-), 女, 教授, 研究方向: 农产品深加工与综合利用

植物, 具有悠久的栽培历史, 杏果味香、汁多、肉质软, 富含糖、纤维素及多种矿质元素^[1], 是鲜食兼干制的佳品。新疆杏栽培面积为 13.24 万 hm², 产量高达 128 万 t^[2], 目前除鲜食外, 加工产品有杏干、蜜饯、浓缩杏浆, 赛买提杏风味浓郁、果肉质地较紧密是优质的干制原料。杏干制方法采仍用传统的自然干制,

由于受自然条件的影响干制品质量难以保证,与传统晒干工艺相比,热风干制能够较好的调控杏干质量和卫生品质,与其他干制技术相比,具有操作简便、适合大规模生产的优点^[3],也是目前新疆南疆杏干制工艺改进的首选方法。前期预研究表明杏果在干制过程中适当的后熟软化与品质的形成密切相关。因此,干制方式和条件直接影响杏干的品质。

糖含量作为底物、中间产物及能量等重要角色调控果实品质和风味,是评价产品品质好坏的重要指标之一。目前在生长发育的梨^[4,5]、桃^[6]、柑橘^[7]和甘蔗^[8]等果实中已有报道,转化酶和合成酶在糖代谢调控中担任着不同的角色,与果实自身品种特性密切相关。Zhang 等^[9]强调在热应激植物中蔗糖合成酶(SS)活性升高,转化酶(INV)活性降低,果糖、葡萄糖、蔗糖含量降低,淀粉含量升高。果糖激酶(FRK)和己糖激酶(HXK)作为植物信号传感信号的一部分^[10],调控植物生长,调节果实内碳水化合物之间的转化。Schaffer^[11]认为果糖激酶是参与蔗糖水解的游离果糖代谢的主要酶,在番茄果实中蔗糖和淀粉的相互转化中起到重要作用。但该酶在糖积累中的作用涉及较少。帅良^[12]发现 HXK 基因的表达量随着龙眼果实发育增加,且与呼吸强度有关。杏果实作为典型的呼吸跃变型果实,在果实后熟过程中生理生化反应加剧,呼吸作用致使底物消耗增多,深入了解果实中糖类转化和代谢机制,有利于在加工过程中提高果品品质。

因此,本试验以新疆赛买提杏为原料,测定干制过程中杏果实果糖、葡萄糖、蔗糖等糖含量、蔗糖相关酶活性、果糖激酶和己糖激酶活性,明确加工干制过程中糖转化规律,确定调控果实糖代谢的关键酶,为杏产品加工工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

原料品种为赛买提杏,采于新疆英吉沙县,选取大小适中、无病虫害、无机械伤、颜色和成熟度相似的杏果为试材,其可溶性固形物达 $(10\pm 0.27)\%$,硬度为 $(1.59\pm 0.31)\text{kg/cm}^2$ 。

葡萄糖、果糖和蔗糖标准品均购于 Sigma 公司;乙腈为专用色谱纯购于 Sigma 公司;己糖激酶试剂盒(A077-1)和果糖-6-磷酸激酶试剂盒(A129),均购于南京建成生物工程研究所;乙二胺四乙酸四钠、酒石酸钾钠、盐酸、氢氧化钠、亚铁氰化钾、氯化镁、Triton-100 和 β -巯基乙醇等均为分析纯均购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验仪器与设备

ODD150FL 热泵循环烘干机(广州晟启能源设备有限公司);HWS 26 恒温水浴锅(上海一恒有限公司);AL204-IC 电子天平(梅特勒-托利多公司);SHZ-D(III)循环水式真空泵(金坛市医疗仪器厂);LC-20A 高效液相色谱仪(日本岛津公司);TU 1810 紫外可见分光光度计(北京普析通用有限公司)。

1.3 试验方法

分别采用 40、45、50 °C 热风干制和自然晒制(平均温度为 33.75 °C)处理杏果,热风干制每 4 h 取样一次,自然晒制每 12 h 取样一次,杏果水分含量达到 $(15\pm 0.50)\%$ 时为干制终点,样品用液氮速冻后放入 -70 °C 超低温冰箱保存。

1.4 糖类测定

1.4.1 果糖、葡萄糖、蔗糖的测定

参考文献^[13]略有改动:称取样品 1.0 g,于 150 mL 带有磁力搅拌的烧杯中,加水约 50 g 溶解,缓慢加入乙酸锌溶液和亚铁氰化钾各 3 mL,再加水至溶液总质量约 100 g,磁力搅拌 30 min,放置室温后,用干燥滤纸过滤,上清液定容至 100 mL。取约 2 mL 滤液用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,待色谱仪测定。根据蔗糖、果糖和葡萄糖标准曲线和样品峰面积计算糖含量,结果以干基表示,重复 3 次。

色谱条件:Platisil NH2 (250×4.6 mm, 5 μm) 色谱柱;流动相为乙腈和水,比例为 70:30;流速为 1 mL/min,柱温度为 40 °C,进样量为 20 μL 。

1.4.2 可溶性总糖的测定

参考文献^[14]略有改动,按照 1.4.1 的方法提取可溶性糖上清液,吸取 10 mL 上清液于 50 mL 容量瓶中,加入 6 mol/mL 盐酸溶液 10 mL,置于 85 °C 恒温水浴 30 min,冷却后加甲基红指示剂,用 1 mol/mL NaOH 溶液将其调为中性,再用蒸馏水定容。采用费林试剂滴定法测定,结果以干基表示,重复 3 次。

1.5 酶类提取与测定

1.5.1 酶类提取方法

参照张明方等^[15]、Lowell 等^[16]和 Hubbard 等^[17]的方法,并加以改进。取 2.0 g 冻样,加入 10 mL 提取液(0.1 mol/L pH 7.5 磷酸盐缓冲溶液、10 mmol/L MgCl_2 、1.0 mmol/L EDTA、0.1% Triton-100、0.1% β -巯基乙醇、2% PVP)液氮研磨后转入离心管中,4 °C 条件下 10000 r/min 离心 15 min。

1.5.2 中性转化酶(Neutral invertase, NI)、酸性转化酶(Acid invertase, AI)、蔗糖合成酶分解方向(Sucrose Synthase, SSc)测定

吸取 0.1 mL 粗酶液, 分别加入 1 mL 中性反应液、1 mL 酸性反应液以及 0.1 mL 蔗糖合成酶反应液, 37 °C 恒温水浴 30 min, 沸水浴 5 min 后加入 1.5 mL DNS 终止反应, 沸水浴 5 min 后冷却定容 25 mL, 测定 540 nm 下的吸光度值, 同时做空白实验处理, 重复 3 次。

1.5.3 蔗糖合成酶合成方向 (Sucrose Synthase, SSs) 和蔗糖磷酸合成酶 (Sucrose phosphate Synthase, SPS) 测定

吸取 50 μL 粗酶液, 分别加入 50 μL 蔗糖合成酶反应液和磷酸反应液, 加入蒸馏水 1.9 mL, 37 °C 恒温水浴 30 min, 沸水浴加热 1 min, 随后加入 10% NaOH 溶液 0.1 mL, 沸水浴加热 8 min; 流水冷却, 加入 3.5 mL 的 36% HCL, 85 °C 水浴保温 8 min; 流水冷却, 加入 0.1% 间苯酚溶液 0.5 mL, 65 °C 水浴保温 8 min; 流水冷却。测定 480 nm 下吸光度值, 同时做空白处理, 重复 3 次。

1.5.4 果糖激酶 (Fructokinase, FRK) 和己糖激酶 (Hexokinase, HXK) 测定

参照 Huber 等^[18]的方法并加以改进, 800 μL 工作液中包含 30 mmol/L HEPES-NaOH (pH 7.5), 1 mmol/L MgCl₂, 0.6 mmol/L Na₂EDTA, 1 mmol/L KCl, 1 mmol/L NAD, 1 mmol/L ATP, 1 UG-6-PDH。粗酶液 30 μL, 在反应在 37 °C 条件下根据 A_{340nm} 的变化值, 计算 FRK 和 HXK, 重复 3 次。

1.6 数据处理

数据结果均为 3 次重复的平均值±标准差 (SD), 采用 Origin 8.5 作图, SPSS 17.0 软件进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 干制处理对糖含量的影响

由图 1a 显示, 干制过程中杏果可溶性总糖含量呈现先上升后下降的变化趋势, 且干制中期 40 °C 条件下的可溶性总糖含量明显高于其他干制条件。鲜杏中可溶性总糖为 35.44×10⁻² g/g, 热风干制 40 °C、45 °C、50 °C 和自然晒制条件下可溶性总糖的含量最高可达 59.36×10⁻²、49.55×10⁻²、50.23×10⁻²、53.62×10⁻² g/g, 随着干制时间的延长, 可溶性总糖由于焦糖化的作用被分解、转化成为其他的小分子物质, 干制结束时其

含量分别为 38.10×10⁻²、43.02×10⁻²、39.50×10⁻²、43.20×10⁻² g/g。

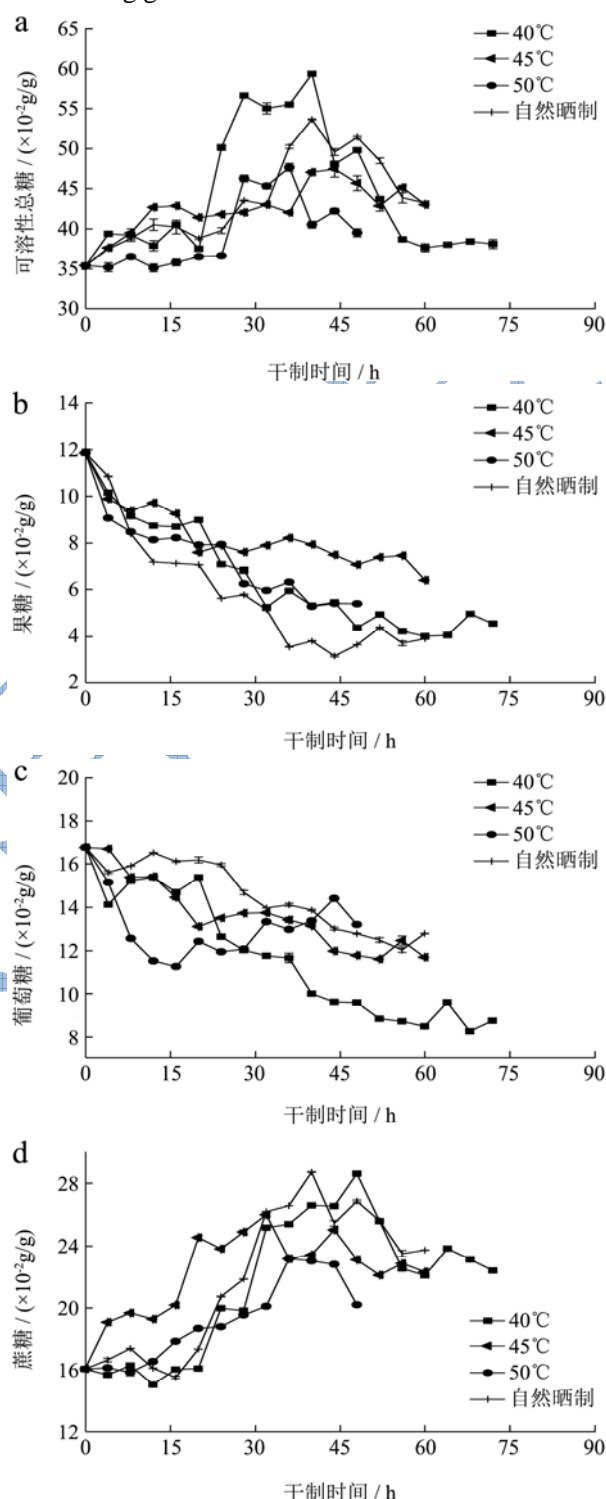


图 1 干制过程中可溶性总糖 (a)、果糖 (b)、葡萄糖 (c) 及蔗糖 (d) 含量变化

Fig.1 Change in total soluble sugar (a), fructose (b), glucose (c), and sucrose (d) contents during the drying process

由图 1b 和图 1c 显示, 杏果中葡萄糖含量大于果糖含量, 且干制过程中果糖、葡萄糖含量都呈下降趋势。其中, 鲜杏果糖含量为 11.88×10⁻² g/g, 占可溶性

总糖的 33.52%；干制结束时，热风干制 40 °C、45 °C、50 °C 和自然晒制条件下果糖含量分别为： 4.55×10^{-2} 、 6.42×10^{-2} 、 5.41×10^{-2} 、 3.91×10^{-2} g/g，占可溶性总糖的 7.67、12.97、10.77、7.30%。鲜杏葡萄糖含量为 16.75×10^{-2} g/g，占可溶性总糖的 47.25%，虽然热风干制 50 °C 中后期葡萄糖含量稍有回升，但仍低于鲜样水平。干制结束时，热风干制 40 °C、45 °C、50 °C 和自然晒制条件下葡萄糖含量分别为： 8.73×10^{-2} 、 11.67×10^{-2} 、 13.18×10^{-2} 、 12.77×10^{-2} g/g，占可溶性总糖的 22.91%、27.13%、33.36%、29.55%。

由图 1d 显示，干制前杏果中蔗糖含量处于较低水平，在整个干制期间均呈现明显的先上升后下降趋势，其中，鲜杏蔗糖含量为 16.02×10^{-2} g/g，占可溶性总糖的 45.22%；热风干制 40 °C、45 °C、50 °C 和自然晒制条件下可蔗糖含量最高可达 28.62×10^{-2} 、 25.99×10^{-2} 、 23.17×10^{-2} 、 28.73×10^{-2} g/g，比干制前分别增加了 12.60×10^{-2} 、 9.96×10^{-2} 、 7.14×10^{-2} 、 12.70×10^{-2} g/g；随着干制时间延长，干制后期蔗糖在热作用下降解成单糖等物质，含量降低。干制结束时，蔗糖含量分别占可溶性总糖含量的 58.79%、51.90%、51.08%、54.88%，可见杏经干制后糖分的积累主要是以蔗糖为主。

2.2 干制处理对蔗糖代谢相关酶活性影响

2.2.1 中性转化酶、蔗糖合成酶分解方向、酸性转化酶

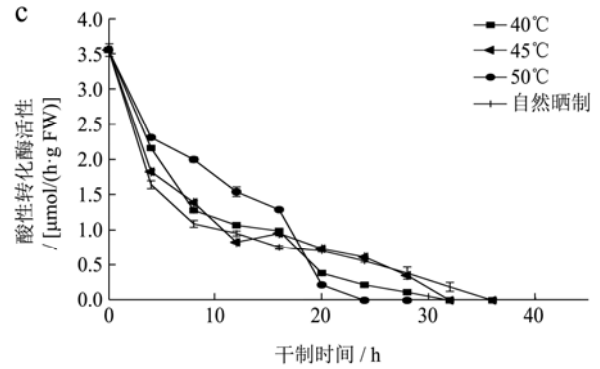
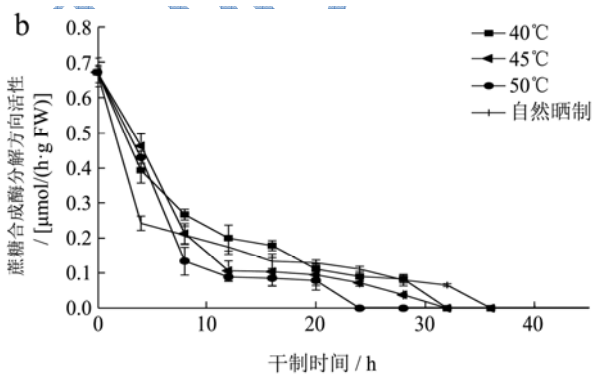
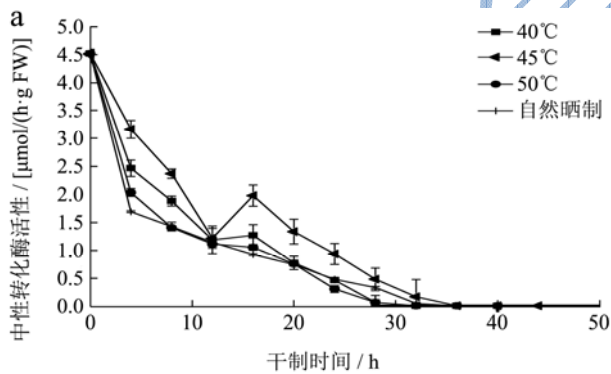


图 2 干制过程中中性转化酶(a)、蔗糖合成酶分解方向(b)、酸性转化酶(c)活性变化

Fig.2 Activities of neutral invertase (a), sucrose synthase (b), and acid invertase (c) during the drying process

蔗糖分解类酶活包括转化酶(NI、AI)和蔗糖合成酶分解方向(SSc)酶活性，其中转化酶活性能够不可逆的裂解蔗糖分解成果糖和葡萄糖。由图 2a、2b 和 2c 可知，干制前 NI 和 AI 活性高于 SSc，鲜杏中 NI、SSc、AI 活性分别为 4.52、0.67、3.56 $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g FW})$ ，45 °C 干制中期(第 16 h)NI 稍有上升，此时也是果糖、葡萄糖下降，蔗糖迅速升高的阶段，分析这可能与样品水分散失，干物质积累，达到一定条件时相关酶被激活有关。在整个干制期间蔗糖分解类酶活都呈下降趋势，最终在 32 h 内完全丧失酶活。同时，较低水平的蔗糖合成酶分解方向 SSc 活性是杏果中果糖、葡萄糖降解，蔗糖合成的动力因素。

2.2.2 蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶

蔗糖合成类酶活包括蔗糖磷酸合成酶(SPS)和蔗糖合成酶合成方向(SSs)。SPS 和 SSs 在果实生长发育过程中对蔗糖合成和积累起到关键性作用^[21]。由图 3a 和 3b 可知，在干制过程中 SPS 和 SSs 呈现明显的先上升后降低的趋势。干制前鲜杏中 SPS 和 SSs 活性分别为 0.08 $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g FW})$ 和 0.28 $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g FW})$ ，在 12 h~20 h 阶段，热风干制 40~50 °C 和自然晒制条件下 SPS 活性最高可达 1.01、0.60、1.20、0.79 $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g FW})$ ，SSs 活性最高可达 1.11、1.30、0.96、0.81 $\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g FW})$ ，此时正是果实中蔗糖含量迅速增长时期，随后热作用致使酶活逐渐降低至完全丧失。在整个干制期间，热风干制 40~50 °C 条件下 SPS 和 SSs 活性较高于自然晒制，这说明一定干制温度能激发果实中蔗糖合成酶活性，为蔗糖的积累和转化提供基础。这与任雷^[19]报道的温度处理能够有效地提高甜瓜果实蔗糖合成类酶的活性(SPS 和 SSs)并促进蔗糖和可溶性总糖的积累的解释一致。

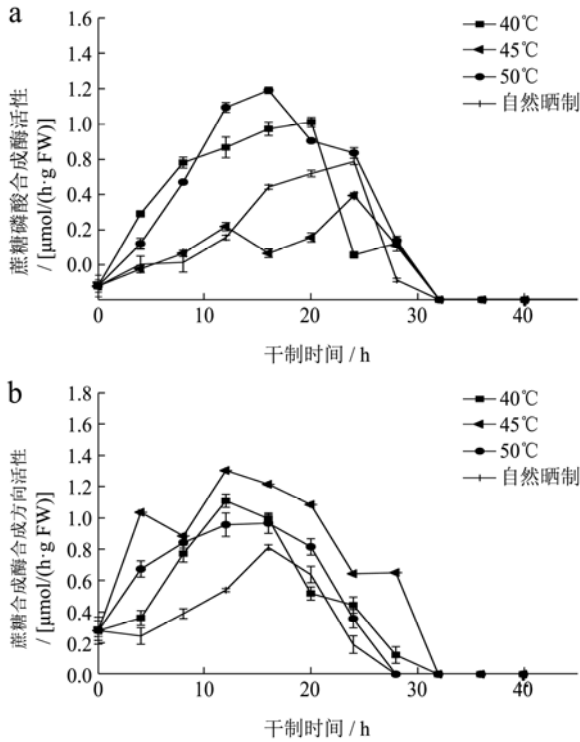


图 3 干制过程中蔗糖磷酸合成酶(a)及蔗糖合成酶合成方向(b)活性变化

Fig.3 Activities of sucrose phosphate synthase (a) and sucrose synthase (b) during the drying process

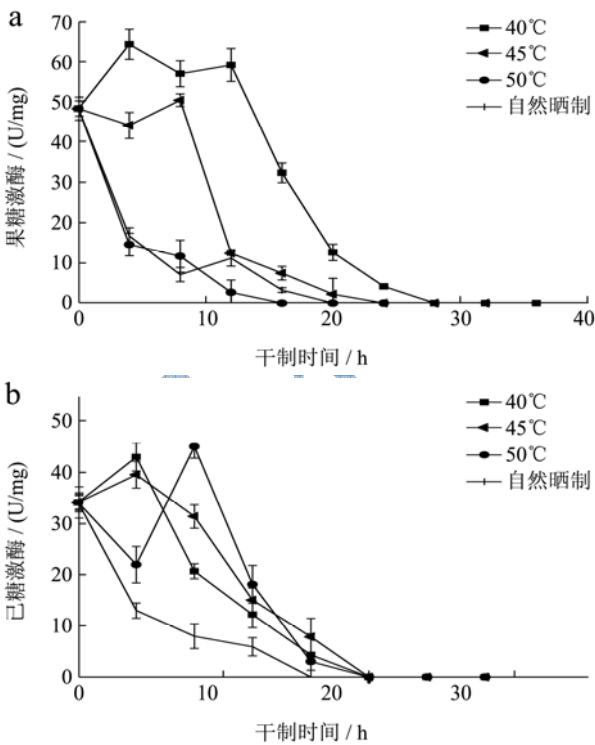


图 4 干制过程中果糖激酶(a)及己糖激酶(b)活性变化

Fig.4 Activities of fructokinase (a) and hexokinase (b) during the drying process

2.3 干制处理对果糖激酶和己糖激酶活性影响

由图 4a 可知,不同干制条件下杏果中果糖激酶变化差异较大,其中自然晒制和热风干制 50 °C 下果糖激酶迅速下降,热风干制 40 °C、45 °C 下果糖激酶呈现先升高后降低的趋势,且分别在第 4 h 和第 8 h 达到最大值,果糖激酶表现的这种差异性可能与干制温度有关。结合干制期间杏果中果糖含量变化可知,果糖激酶与底物果糖有密切联系,果糖激酶活性升高的原因与果实呼吸作用增强有关,这与秦巧平等^[20]的研究一致。

由图 4b 可知,在干制过程中,除自然晒制条件下己糖激酶活性不断降低外,其他条件下杏果中己糖激酶都先上升后下降。热风干制下己糖激酶在前 8 h 内达到最大值,此阶段对应的己糖含量(果糖+葡萄糖)呈降低趋势,说明较高的己糖激酶能够加速果实中己糖的消耗,磷酸化的果糖和葡萄糖不利于果实中糖类的积累。

2.4 相关性分析

就整个干制期间而言,杏果中己糖含量的降低为蔗糖和可溶性总糖的积累提供基础。通过对干制过程中糖及相关酶活性的相关性分析(表 1)可知,不同干制条件下果糖、葡萄糖与分解类酶活(NI、SSc、AI)呈良好正相关水平($R=0.565\sim 0.977^{**}$),蔗糖与分解类酶活呈良好负相关水平($R=-0.469\sim -0.832^{*}$),所以干制期间分解类酶活主要调控己糖消耗,由于 NI 和 AI 活性在整个干制期间都明显高于 SSc,所以转化酶的调控又以 NI 和 AI 为主,这与郑国琦等^[21]的研究结果一致。干制期间杏果中蔗糖的积累和消耗受酶和热两方面影响,虽然蔗糖与合成类酶活(SPS、SSs)无显著相关性,但其相关系数也能达到 0.663 和 0.110 的正相关水平,且大部分条件下蔗糖与 SPS 呈正相关,由此可见,蔗糖合成类酶活活性受热作用影响较大,且在蔗糖代谢中起到辅助调控作用。

果糖、葡萄糖与激酶(FRK、HXK)呈良好正相关水平($R=0.054\sim 0.994^{**}$),与可溶性总糖呈负相关,且随着热风温度升高,果糖、葡萄糖与 FRK 的相关性值增大,说明高活性的 FPK 和 HXK 不利于果实中糖分的积累。因此,杏干制过程中糖代谢是由激酶(FRK、HXK)与蔗糖相关酶(分解酶和合成酶)共同调控完成。

表 1 不同干制条件下激酶、蔗糖代谢相关酶与糖含量相关性分析

Table 1 Correlation analysis of kinase, sucrose related enzymes and sugar contents in different drying conditions

干制条件		果糖	葡萄糖	蔗糖	可溶性总糖
热风干制 40 °C	NI	0.952**	0.733*	-0.528	-0.662
	SSc	0.926**	0.665	-0.469	-0.584
	AI	0.941**	0.690	-0.539	-0.633
	SPS	-0.130	0.252	-0.538	-0.389
	SSs	-0.023	0.372	-0.566	-0.461
	FRK	0.576	0.443	-0.718	-0.579
	HXK	0.756	0.054	0.103	-0.404
	热风干制 45 °C	NI	0.898**	0.847**	-0.889**
SSc		0.864**	0.854**	-0.795*	-0.962**
AI		0.904**	0.806*	-0.832*	-0.922**
SPS		-0.702	-0.713*	0.663	0.735*
SSs		-0.258	-0.158	0.110	0.597
FRK		0.669	0.812*	-0.695	-0.841*
HXK		0.470	0.874	-0.506	-0.888*
热风干制 50 °C		NI	0.969**	0.886**	-0.706
	SSc	0.945**	0.977**	-0.543	-0.460
	AI	0.884*	0.799	-0.824*	-0.502
	SPS	-0.446	-0.829*	0.226	-0.301
	SSs	-0.625	-0.650	-0.029	-0.098
	FRK	0.994**	0.885	-0.380	-0.047
	HXK	0.391	0.445	-0.898*	0.463
	自然晒制	NI	0.893**	0.614	-0.560
SSc		0.857**	0.565	-0.478	-0.804**
AI		0.913**	0.589	-0.543	-0.847**
SPS		-0.581	0.217	0.043	0.145
SSs		-0.384	0.193	-0.547	0.509
FRK		0.84	0.594	-0.125	-0.889*
HXK		0.850	0.538	-0.480	-0.922

注: **在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关; *在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

3 结论

本文研究了热风干制和自然晒制过程中激酶 (FRK 和 HXK)、蔗糖相关酶活性及糖含量的变化规律, 结果表明, 果糖、葡萄糖和蔗糖占可溶性总糖的比例在干制前分别为 33.52%、47.25% 和 45.22%, 干制后分别平均为 9.70%、28.24%、54.16%, 果糖、葡萄糖和蔗糖呈显著负相关, 说明干制条件下杏中蔗糖的积累主要来源于己糖的转化。干制期间杏果中分解类酶活性 (NI、SSs 和 AI) 降低, 且与果糖、葡萄糖呈正相关, 分解类酶的调控以 NI 和 AI 为主。蔗糖合成类酶 (SPS 和 SSs) 在蔗糖代谢中起到辅助调控作用且热风 40~50 °C 温度处理能有效地提高其活性, 促进果

实中蔗糖的合成和积累。杏作为典型的呼吸跃变型果实, 呼吸速率会在停止生长后迅速上升, 消耗更多的底物, 研究表明不同温度处理下 FRK 和 HXK 在前期略有升高, 此时期果糖、葡萄糖被大量磷酸化, 己糖与激酶 (FRK 和 HXK) 在此阶段呈负相关; 随着干制时间延长, 酶活力丧失, 这是最终果糖、葡萄糖与激酶 (FRK 和 HXK) 呈正相关的主要原因。因此, 笔者认为杏干制过程中糖代谢是由激酶 (FRK 和 HXK) 与蔗糖相关酶 (分解酶和合成酶) 共同调控, 以形成杏干特有的品质。

参考文献

- [1] 孙守文, 刘凤兰, 王静. 新疆杏果品质比较的研究[J]. 新疆农

- 业大学学报,2011,34(3):226-229
- SUN Shou-wen, LIU Feng-lan, WANG Jing. Comparative study on the quality of xinjiang apricot [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011, 34(3): 226-229
- [2] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴 2015[M].北京:中国统计出版社, 2015
- The Xinjiang Uygur autonomous region statistical bureau. Xinjiang statistical yearbook 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015
- [3] Oliveira P D, Borem F M, Isquierdo E P, et al. Physiological aspects of coffee beans, processed and dried through different methods, associated with sensory quality [J]. Coffee Science, 2013, 8(2): 211-220
- [4] ZHANG Hu-ping, WU Ju-you, QIN Gai-hua, et al. The role of sucrose-metabolizing enzymes in pear fruit that differ in sucrose accumulation [J]. Acta Physiology Plantarum, 2014, 36(1): 71-77
- [5] Stefan R, Yoichiro F, Reina M, et al. Quantitative proteomics-based reconstruction and identification of metabolic pathways and membrane transport proteins related to sugar accumulation in developing fruits of pear [J]. Plant and Cell Physiology, 2016, 57(3): 505-518
- [6] WANG Ke, SHAO Xing-feng, GONG Yi-fu, et al. The metabolism of soluble carbohydrates related to chilling injury in peach fruit exposed to cold stress [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86(3): 53-61
- [7] Francois L, Julia G, Gilles C, et al. Analysis of genetic diversity in Citrus [J]. Plant Genetic Resources, 2011, 9(2): 218-221
- [8] WANG Ai-qin, HUANG Wen-jing, NIU Jun-qi, et al. Effects of ethephon on key enzymes of sucrose metabolism in relation to sucrose accumulation in sugarcane [J]. Sugar Tech, 2013, 15(2): 177-186
- [9] Zhang J, Jiang X D, Li T L, et al. Effect of elevated temperature stress on the production and metabolism of photosynthate in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) leaves [J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2012, 87(4): 293-298
- [10] David G, Gilor K, Ofer S, et al. Substantial roles of hexokinase and fructokinase in the effects of sugars on plant physiology and development [J]. Journal of Experimental Botany, 2014, 65(3): 809-819
- [11] Schaffer A A, Petreikov M. Sucrose-to-starch metabolism in tomato fruit undergoing transient starch accumulation [J]. Plant Physiology, 1997, 113(3): 739-746
- [12] 帅良,李静,韩冬梅,等.龙眼己糖激酶基因的克隆及原核表达[J].华南农业大学学报,2015,36(3):91-97
- SHUAI Liang, LI Jing, HAN Dong-mei, et al. Cloning and prokaryotic expression of hexokinase gene from *Dimocarpus longan* [J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(3): 91-97
- [13] GB/T 22221-2008,食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定 高效液相色谱法[S]
- GB/T 22221-2008, Determination of fructose, glucose, sucrose, maltose and lactose in foods by high-performance liquid chromatography [S]
- [14] GB/6194-86,水果蔬菜中可溶性糖的测定[S]
- GB/6194-86, Determination of soluble sugar in fruit and vegetable [S]
- [15] 张明方,李志凌,陈昆松.网纹甜瓜发育果实糖分积累与蔗糖代谢参与酶的关系[J].植物生理与分子生物学学报,2003, 29(5):455-462
- ZHANG Ming-fang, LI Zhi-ling, CHEN Kun-song. The relationship between sugar accumulation and enzymes related to sucrose metabolism in developing fruits of muskmelon [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2003, 29(5): 455-462
- [16] Lowell C A, Tomlinson P T, Koch K E. Sucrose-metabolizing enzymes in transport and adjacent sink structure in developing citrus fruit [J]. Plant Physiology, 1989, 90(4): 1394-1402
- [17] Hubbard N L, Huber S C, Pharr D M. Sucrose phosphate synthase and acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelon fruits [J]. Plant Physiology, 1989, 91(4): 1527-1534
- [18] Huber S C, Akazawa T. A novel sucrose synthase pathway for sucrose degradation in cultured sycamore cells [J]. Plant Physiology, 1985, 81(4): 1008-1013
- [19] 任雷,邹志荣,李鹏飞.不同温度对甜瓜糖分积累与蔗糖代谢酶的影响[J].北方园艺,2010,7:12-16
- REN Lei, ZOU Zhi-rong, LI Peng-fei. Effects of temperature on sugar accumulation and sucrose-metabolizing enzymes in muskmelon [J]. Northern Horticulture, 2010, 7: 12-16
- [20] 秦巧平,张上隆,陈俊伟,等.温州蜜柑果实发育期间果糖激酶与糖积累的关系[J].植物生理与分子生物学学报,2004, 30(4):435-440
- QIN Qiao-ping, ZHANG Shang-long, CHEN Jun-wei, et al. The relationship of fructokinase and sugar accumulation during fruit development in satsuma mandarin [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2004, 30(4): 435-

440

[21] 郑紫燕,郑国琦,罗霄,等.宁夏枸杞叶片、果柄、果实糖积累与蔗糖代谢相关酶活性研究[J].西北农业学报,2009,18(4): 332-338
ZHENG Zi-yan, ZHENG Guo-qi, LUO Xiao, et al. Study on

the relationship between the sugar accumulation and its metabolizing enzymes in *Lycium barbarum* L. leaves, carpodiums and fruits [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2009, 18(4): 332-338

