

不同加工方式对苹果制品营养品质的影响

胡秦佳宝¹, 刘璇², 毕金峰², 周林燕², 吴昕烨², 高琨¹, 魏宝东^{1*}

1(沈阳农业大学 食品学院, 辽宁 沈阳, 110866)

2(中国农业科学院 农产品加工研究所, 农业部农产品加工综合性重点实验室, 北京, 100193)

摘要 比较了不同加工方式对苹果制品营养成分保留率的影响, 苹果汁类(清汁、浊汁)与苹果干制品(热风干燥苹果脆片、真空冷冻干燥苹果脆片、变温压差膨化苹果脆片)相比, 汁液损失少, 糖类物质保留率更高。其中, 清汁还原糖保留率比浊汁高出 6.76%; 干制品中, 真空冷冻干燥苹果脆片糖类物质保留率最高, 其中总糖保留率为 86.29%, 还原糖保留率为 85.34%。苹果干制品总酚、抗氧化能力及粗纤维保留率显著高于汁类制品及传统制品(苹果果脯、果泥、罐头)($P < 0.05$)。K 及 Na 元素是苹果制品中主要的矿物元素, 传统苹果制品矿物元素含量较高。

关键词 苹果; 加工方式; 苹果干制品; 苹果汁; 营养品质

我国是世界上最大的苹果生产国和消费国, 苹果种植面积和产量均占世界总产量的 40% 以上, 种植地区广泛, 在世界苹果产业中占有重要地位^[1]。苹果是蔷薇科(Rosaceae)苹果属(*Malus*)植物的果实, 酸甜可口, 营养丰富, 富含多种生物活性物质。苹果中含有 15% 的碳水化合物及果胶、维生素、纤维素、胡萝卜素、蛋白质等^[2-4], 还含有 K、Ca、P 和微量元素 Zn、Fe^[5], 这些营养元素能补充人体所需的多种矿物质和维生素。虽然我国苹果的种植面积和产量逐年上升, 但由于发展太快, 已造成苹果产量过剩和发展不平衡, 盲目发展造成其商品质量差, 缺乏市场竞争力, 出现积压、滞销。随着幼龄果园产量的增加, 这种“卖果难”的问题将越来越突出^[6]。

苹果通过加工一方面可以解决苹果滞销的问题, 同时又可实现增值。但目前我国的苹果加工率远远低于世界平均水平。且我国苹果加工业起步较晚, 受到市场和消费者认可的产品较为单一, 需要进一步开发苹果产品, 从苹果的消费及深加工方面来看, 目前我国鲜食苹果消费仍占主导地位, 我国用来鲜食的苹果消费量占苹果消费总量的 64%, 苹果汁占苹果消费总量的 25%; 欧美苹果消费市场中苹果鲜食占消费总量的 39%, 苹果汁及发酵饮料占苹果总量的

46%, 苹果罐头占 10%, 冷冻及干制苹果占 2%, 苹果酱等其他制品占 1%^[7]。

目前对苹果制品品质评价的研究主要集中于苹果汁及苹果干制品。对苹果果脯、罐头及果泥等传统苹果制品研究较少。其中, 苹果干制品的品质评价指标主要集中于感官品质(色泽、膨化度、酥脆度、硬度、酸甜度等)、理化与营养品质(含水率、可溶性固形物、复水性以及微观结构、V_C 含量、脂肪、蛋白质、纤维素等)^[8]。苹果汁品质评价指标主要分为感官品质(包括色泽、香气、风味、黏度、非酶褐变指数、浊度、透光率)、理化营养品质指标(可溶性固形物、糖、有机酸、V_C、酚类物质)^[9]。上述针对苹果制品的品质研究主要集中于单一类别制品的品质研究, 对运用这些品质指标来比较不同类别加工制品的营养品质研究报道较少。

本文对干制品类(热风干燥苹果脆片、真空冷冻干燥苹果脆片、变温压差膨化干燥苹果脆片)、汁类(清汁、浊汁)、传统苹果制品(苹果果脯、苹果果泥、苹果罐头)的主要营养功能成分(总糖、还原糖、总酚、抗氧化能力、粗纤维、矿物元素)保留率进行了研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

寒富苹果, 采于辽宁省兴城市羊安乡。外观完整且无机械损伤, 采后放于 4℃ 冷库备用。

1.2 试剂与仪器

食品级 Na₂SO₃, 四川三湘精细化工有限公司;

第一作者: 硕士研究生(魏宝东副教授为通讯作者, E-mail: bd-weisyau@163.com)。

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金(No. 31301527); 公益性行业(农业)科研专项经费资助(No. 201303076-02)

收稿日期: 2015-09-25, 改回日期: 2015-11-03

Pectinex XXL 果胶酶, 诺维信(中国)生物技术有限公司; 白砂糖, 中粮屯河新源糖业有限公司。

苯酚(分析纯), 上海国药集团化学试剂有限公司; H_2SO_4 , 北京北化开元化学制品有限公司; 3,5-二硝基水杨酸(DNS)试剂, 北京北化开元化学制品有限公司; 乙醇(分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; 6-羟基-2,5,7,8-四甲基色烷-2-羧酸(Trolox), 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH), 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS), 2,4,6-三(2-吡啶基)三嗪(TPTZ), 福林酚, $2 \times 10^3 \text{ mmol/L}$, 均为美国 Sigma 公司。

QDPH1021 型变温压差膨化干燥设备, 天津市勤德新材料科技有限公司产品; Alpha-4Lplus 真空冷冻干燥机, 德国 CHRIST 公司; DHG29123A 型电热恒温鼓风箱, 上海精宏实验设备有限公司产品; 飞利浦 HR1871 榨汁机, 荷兰飞利浦公司; CPA124S 电子天平, 赛多利斯科学仪器北京有限公司; 3K15 离心机, 德国 Sigma 公司; UV1800 紫外可见分光光度计, 日本岛津公司; DK-S26 电热恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 苹果制品加工工艺

1.3.1.1 苹果脆片制作工艺

将苹果去皮、去核切成 5mm 厚苹果片, 护色后将果片捞出沥干, 进行干燥。

(1) 热风干燥苹果脆片^[10]: 温度 70°C , 干燥时间 8 h。

(2) 真空冷冻干燥苹果脆片^[11]: 预冻结温度 -60°C , 时间 2 h, 冻干时间 24 h。

(3) 变温压差膨化干燥苹果脆片^[12]: 预干燥温度 70°C , 时间 2.5 h。均湿温度为 4°C , 时间 12 h, 膨化温度 95°C , 膨化次数 5 次, 抽空温度 70°C , 抽空时间 40 min。

1.3.1.2 苹果汁制作工艺

(1) 苹果清汁: 取无伤病的新鲜苹果, 用流动水清洗后去皮去核。将其四分切后进行护色, 时间为 1 h^[13]。护色后用榨汁机榨汁。将榨得的苹果汁进行灭酶, 温度为 80°C , 时间为 20 min。完成后用果胶酶进行酶解, 温度为 50°C , 时间为 2 h。酶解后, 将果汁用流水冷却至室温, 加入硅藻土溶液。加入量为 $0.5 \text{ g}/1\,000 \text{ g}$, 摇动 30 min, 加入明胶溶液, 加入量为 $0.1 \text{ g}/1\,000 \text{ g}$, 摇匀, 静置 2 h。将静置后的果汁用 4 层纱布过滤, 再用 400 目滤布将滤出的果汁抽滤。用

$0.22 \mu\text{m}$ 孔径的 PP 滤膜抽滤。采用巴氏杀菌方式对制得的苹果汁进行杀菌, 杀菌温度为 80°C , 时间为 20 min。

(2) 苹果油汁: 取无伤病的新鲜苹果, 用流动水清洗后去皮去核。将其四分切后进行护色, 时间为 1 h。护色后用榨汁机榨汁。将榨得的苹果汁进行灭酶, 温度为 80°C , 时间为 20 min。用 4 层纱布将果汁过滤。采用巴氏杀菌方式对制得的苹果汁进行杀菌, 杀菌温度为 80°C , 时间为 20 min。

1.3.1.3 苹果果脯、果泥及罐头的制作工艺

(1) 苹果果脯制作工艺^[14]: 将苹果进行四分切, 投入 0.3% 的 Na_2SO_3 溶液中进行护色, 护色时间为 1 h。用复配硬化液对果块进行硬化, 硬化时间为 8 h。 95°C 漂烫 2 min。将果块进行真空渗糖: 糖液浓度 50%, 真空度 0.09 MPa, 时间 40 min。后进行糖煮: 糖液浓度为 50%, 温度 80°C , 时间 1 h。将果块 80°C 烘干, 烘干时间为 48 h。

(2) 苹果果泥制作工艺^[15]: 将苹果进行四分切, 投入 0.3% 的 Na_2SO_3 溶液中进行护色, 护色时间为 1 h。将护色后的苹果置于锅中预煮, 温度为 100°C , 煮沸 20 min。预煮后的果块, 用打浆机打成浆状。将果浆进行煮制, 分 2 次加入浓度为 75% 左右的糖液, 继续浓缩, 并不断搅拌。浓缩时间为 30 min。

(3) 苹果罐头制作工艺^[16]: 将苹果进行四分切, 投入 0.3% 的 Na_2SO_3 溶液中进行护色, 护色时间为 1 h。将护色好的苹果块投入水温 80°C 质量分数为 30% 的糖水中, 煮制 60 min, 趁热将果块装罐, 装罐后将糖水煮沸, 用四层纱布过滤, 平均倒入罐中, 将罐头置于灭菌锅中排气, 温度 80°C , 时间 12 min。结束后立即将罐盖拧紧, 进行灭菌。

鲜苹果去皮去核, 作为对照样进行测定。

1.3.2 营养功能品质测定

1.3.2.1 总糖含量的测定

采用苯酚-硫酸法进行测定^[17]。取 1.0 mL 稀释后的提取液, 加入 6% 苯酚 1.0 mL 及浓 H_2SO_4 5.0 mL, 摇匀冷却室温放置 20 min, 于 490 nm 测定光密度。以标准曲线计算总糖含量。结果以产品中葡萄糖含量(Glu)表示。

1.3.2.2 还原糖含量的测定

采用 3,5-二硝基水杨酸比色^[18](DNS) 进行测定。取 2 mL 稀释后的提取液, 加入 1.5 mL DNS 试剂, 摇匀, 沸水浴加热 5 min, 冷却至室温, 于 540 nm 测定吸光度。以标准曲线计算还原糖含量。

1.3.2.3 总酚含量的测定

采用福林-酚法^[19]进行测定。取 0.5 mL 样品,加入 1 mL 200 mmol/L 福林-酚显色剂,放置 6 min,加入 2 mL 7.5% NaCO₃ 溶液,用蒸馏水定容至 10 mL,75℃ 避光放置 10 min,并于 765 nm 波长下测定其吸光度。样品总酚含量以每 100 mL 苹果汁中没食子酸的当量(mg GAE/100 mL)表示。

1.3.2.4 抗氧化能力的测定

采用自由基清除能力法(ABTS⁺自由基清除法和 DPPH 自由基清除法)和铁离子还原能力法(FRAP 法)。

ABTS 法^[20]:将 2.45 mmol/L 过硫酸钾与 7 mmol/L ABTS 溶液混匀(体积比 1:1),暗处 30℃ 放置 16 h 后,用体积分数 80% 乙醇稀释(将近 50 倍)时其吸光度小于 0.700(±0.02),制成 ABTS⁺ 溶液。取 0.8 mL 用体积分数 80% 乙醇稀释过的提取液与 7.2 mL 的 ABTS⁺ 溶液混合均匀,静置 6 min 后于 734 nm 处测定吸光度。各苹果加工制品 ABTS⁺ 自由基清除能力以 Trolox 当量计。

DPPH 法^[21]:将 2 mL 稀释过的样品提取液与 4 mL 浓度为 100 μmol/L DPPH 溶液(体积分数 80% 乙醇溶解)混匀,暗处静置 30 min 后,于 517 nm 波长处测定吸光度。各苹果加工制品 DPPH 自由基清除能力以 Trolox 当量计。

FRAP 法^[22]:将 pH 值为 3.6,浓度为 300 mmol/L 的醋酸盐缓冲液、10 mmol/L TPTZ 溶液、20 mmol/L FeCl₃ 溶液按体积比 10:1:1 混合,37℃ 保温 30 min,制得 FRAP 试剂。将 6 mL FRAP 试剂与 0.2 mL 适当稀释后的样品提取液加入试管中,37℃ 保温 30 min 后,593 nm 处测定吸光度。各苹果加工制品铁离子还原能力以 Trolox 当量计。

1.3.2.5 粗纤维的测定

参考 GB/T 5009.10—2003 植物类食品中粗纤维的测定^[23]。

1.3.2.6 矿物元素的测定

钾、钠的测定:参考 GB/T 5009.91—2003 食品中钾、钠的测定^[24]。

钙的测定:参考 GB 5009.92—2003 食品中钙的测定^[25]。

镁、铁的测定:参考 GB/T 5009.90—2003 食品中铁、镁、锰的测定^[26]。

铜的测定:参考 GB/T 5009.13—2003 食品中铜的测定^[27]。

1.4 数据处理

每个实验处理重复 3 次,用 Excel 2007 对数据进行分析处理,以平均值 ± 标准偏差(SD)表示。采用 SPSS 18.0 单因素方差分析比较结果的显著性差异(α=0.05),利用 Origin 软件作图。

2 结果与分析

为比较不同加工方式对苹果制品品质的影响,以鲜苹果为参照,实验结果均以鲜苹果中物质含量或者抗氧化能力的保留率计算。

2.1 不同加工方式对苹果制品糖类物质含量保留率的影响

水果中糖的组分和含量是衡量水果风味品质的重要指标。不同加工方式对苹果制品糖类物质保留率的影响如图 1 所示。图 1-(a) 图为 3 种不同干燥方式制得的苹果干制品与苹果鲜样相比总糖及还原糖保留率。图 1-(b) 图为苹果清汁、苹果浊汁与苹果鲜样相比总糖及还原糖保留率。

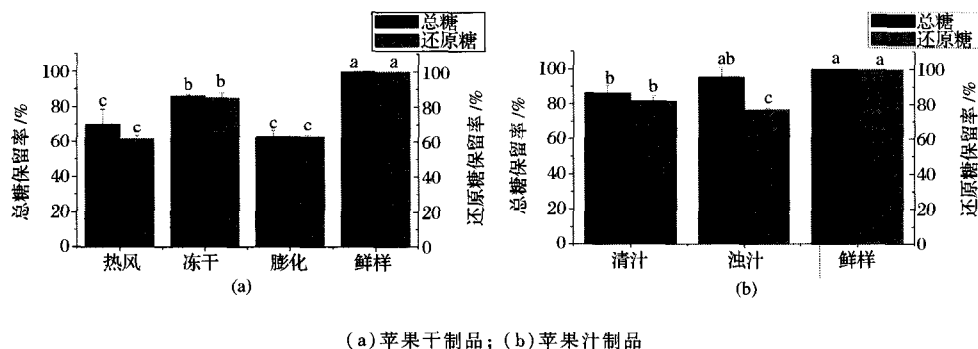


图 1 不同加工方式对苹果制品糖类物质含量保留率的影响

Fig. 1 Effect of different processing methods on retention ratios of sugar contents of apple products

苹果干制品中糖类物质保留率最高的为真空冷冻干燥苹果脆片,其总糖含量为 559.55 mg Glu/g,还

原糖含量为 55.17%。与鲜样相比,其总糖保留率为 86.29%,还原糖保留率为 85.34%。糖类物质保留

率最低的为变温压差膨化干燥苹果脆片,其总糖含量为 543.12 mg Glu/g,还原糖含量为 54.23%。与鲜样相比,其总糖保留率为 62.67%,还原糖保留率为 62.77%。苹果汁类制品中苹果浊汁与清汁的总糖保留率无显著性差异($P > 0.05$),清汁的还原糖保留率显著高于浊汁($P < 0.05$),与鲜样相比,其保留率为 81.90%。

由图 1 可知,经过干燥及制汁处理,苹果中糖类物质含量均成下降趋势。总体上看,苹果汁类制品糖类物质保留率显著高于苹果干制品($P < 0.05$)。苹果果实中糖类物质积累包括淀粉转化和糖直接积累^[28],在苹果果实成熟后淀粉几乎全部降解,蔗糖是果实中最主要的糖类物质,其次是果糖与蔗糖,可溶性糖类贮藏于果实细胞液泡中^[29]。在苹果干制品的加工过程,高温处理会破坏苹果果实细胞结构,使液泡破裂,致使苹果汁液大量流出,导致糖类物质损失。真空冷冻干燥对苹果的组织结构如细胞毛细管保持较好^[30],汁液损失较少,故较其他 2 种苹果干制品糖类物质保留率更高。苹果榨汁的处理方式会保留苹果的大部分汁液,因此与干制品相比保留了较多的糖类物质。

本实验中,苹果果脯、果泥及罐头的制备过程均加入白砂糖,故未对其糖类物质含量进行分析。

2.2 不同加工方式对苹果制品总酚含量保留率及抗氧化能力保留率的影响

不同加工方式对苹果制品总酚含量及抗氧化能力保留率的影响如图 2 所示。图 2-(a) 为 3 种不同干燥方式制得的苹果干制品与苹果鲜样相比总酚及抗氧化能力保留率。图 2-(b) 为苹果清汁、苹果浊汁与苹果鲜样相比总酚及抗氧化能力保留率。图 2-(c) 为传统苹果制品与苹果鲜样相比总酚及抗氧化能力保留率。

苹果干制品中总酚保留率为 35.36% ~ 45.20%,其中真空冷冻干燥脆片和变温压差膨化干燥脆片总酚保留率无显著性差异($P > 0.05$),热风干燥苹果脆片总酚保留率最低。3 种苹果干制品抗氧化能力保留率与总酚保留率正向相关。苹果汁类制品中苹果清汁总酚保留率显著高于浊汁($P < 0.05$),清汁总酚含量 41.59 mg GAE/100 mL,二者抗氧化能力均无显著性差异($P > 0.05$)。

苹果制品加工过程中酚类物质保留率主要是由加工条件对苹果中的多酚氧化酶的抑制或促进作用决定的,研究表明多酚氧化酶的最适宜温度为 35 ℃,

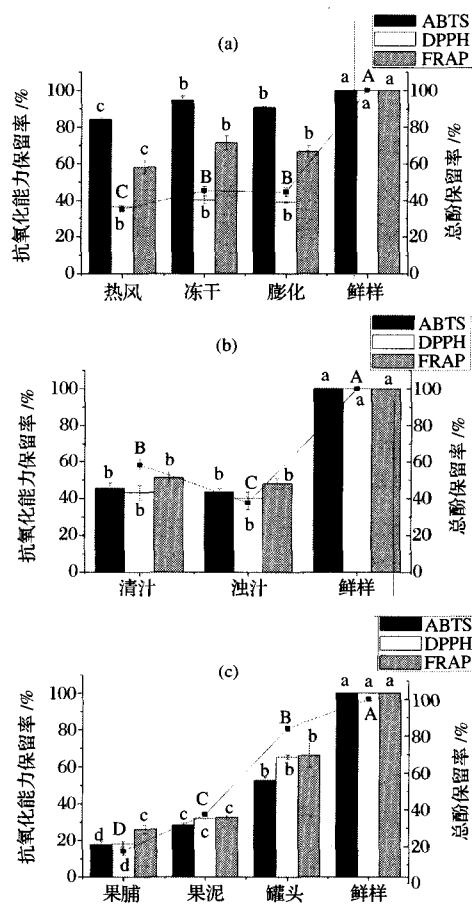


图 2 不同加工方式对苹果制品总酚含量及抗氧化能力保留率的影响

Fig. 2 Effect of different processing methods on retention ratios of total phenolic contents and antioxidant capacities of apple products

其活性随温度的升高而逐渐下降,温度较高时其活性受到抑制,当温度高于 80 ℃ 时会变性失活。低于 35 ℃ 时,其活性随温度降低而降低^[31]。真空冷冻干燥过程中,苹果片处于低温状态,多酚氧化酶在低温条件下活性较低,但干燥结束后的回温过程也会造成少量酚类物质损失^[32]。变温压差膨化干燥中,苹果片预干燥温度为 70 ℃,膨化温度为 95 ℃,使多酚氧化酶失活,较大程度上保留了样品中的酚类物质。本实验中热风干燥温度为 70 ℃,故干燥时间较长,为 8h。虽然与多酚氧化酶的最适温度有较大差距,但干燥时间的延长使得样品长时间与氧气接触,增加了多酚类物质的损失。此结果与陈玮琦等^[32]研究结果一致。

由图 2-(b) 可知,苹果清汁的总酚保留率显著高于苹果浊汁($P < 0.05$)。张欣^[33]研究指出,果汁中酚类物质除一部分以游离态的形式存在外,还有很大一部分与糖结合成酯的形式存在于果汁中。在加

工过程中由于内源性糖苷酶在细胞破碎后,作用于果汁中酚类物质的前体物质,导致果汁中酚类物质发生变化,果胶酶中也含有糖苷酶,在酶处理过程中,糖苷酶将酚类物质从糖苷中水解使果汁中的酚类物质发生变化。酚类化合物特别是低分子质量的酚类物质,在酶处理后,结构和含量会有所变化。如肉桂酸类酚在果胶酶的作用下会发生水解。没食子酸、儿茶素和表儿茶素、杨梅黄酮含量均有不同程度的增加,阿魏酸、槲皮素含量减少。

本研究中,为比较不同种类的加工制品营养保留率,故统一将原料削皮处理。苹果果皮中酚类物质含量虽大于苹果果肉中酚类物质含量,但由于果皮中存在较多果胶成分^[34],果胶是构成细胞壁的主要物质^[35],酚类物质被细胞壁包围^[36],不易溶出被人体吸收。苹果果肉中主要的酚类物质为绿原酸(肉桂酸类酚)、儿茶素、表儿茶素(黄酮类),故本实验中苹果清汁的总酚保留率显著高于苹果浊汁($P < 0.05$),可能的原因是苹果清汁是向苹果浊汁加入果胶酶以达到澄清效果,果胶酶对绿原酸的水解程度低于儿茶素、表儿茶素的增加程度,故清汁中可提取的总酚保留率显著高于苹果浊汁($P < 0.05$)。在苹果榨汁过

程中,大部分多酚物质随果皮和果核而转移到果渣中^[31],故果汁类制品总酚保留率显著低于干制品($P < 0.05$)。

由图2-(c)可知,传统苹果制品总酚保留率由低至高为果脯、果泥、罐头。果泥及罐头制品虽经过较长时间的煮制,但保留了大部分果肉及汁液,其总酚及抗氧化能力保留率显著高于去除了大部分果肉的果汁及在加工过程中经过长时间高温渗糖、烘干的果脯制品($P < 0.05$)。

2.3 不同加工方式对苹果制品粗纤维含量保留率的影响

不同加工方式对苹果制品粗纤维含量的影响如表1所示。作为对比的鲜样本粗纤维含量较少,为0.55 g/100 g。苹果清汁未检出粗纤维。

3种苹果脆片与鲜样相比粗纤维保留率显著高于其他2种苹果制品($P < 0.05$)。相比之下,2种苹果汁及苹果果脯、苹果泥粗纤维损失较多。苹果经榨汁、酶解、过滤处理,除去了果皮、果肉等富含较多纤维的组织,故苹果汁中粗纤维含量低。其中,苹果清汁中粗纤维含量过低,未检出,原因是酶解、滤膜过滤等过程除去了苹果汁中大部分的果胶、纤维等物质。

表1 不同加工方式对苹果制品粗纤维含量保留率的影响

Table 1 Effect of different processing methods on retention ratios of coarse fiber contents of apple products

项目	热风干燥 苹果脆片	冷冻干燥 苹果脆片	膨化干燥 苹果脆片	苹果清汁	苹果浊汁	苹果果脯	苹果果泥	苹果罐头	鲜样
粗纤维含量/ [g · (100 g) ⁻¹]或 [g · (100 mL) ⁻¹]	2.89 ± 0.02	5.34 ± 0.01	5.27 ± 0.01	N. D.	0.03 ± 0.00	1.22 ± 0.01	0.70 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.55 ± 0.01
粗纤维保留率/ %	54.16 ± 0.759 ^d	73.34 ± 0.163 ^b	74.22 ± 0.148 ^b	N. D. ^e	2.75 ± 0.000 ^f	54.84 ± 0.319 ^d	44.10 ± 0.449 ^e	68.27 ± 1.532 ^c	100.00 ^a

2.4 不同加工方式对苹果制品矿物元素含量保留率的影响

不同加工方式对苹果制品矿物元素保留率的影响如表2所示。研究得出,苹果中的矿物元素主要影响苹果果实的总糖含量、总酸含量、硬度、色泽^[37]。苹果中的矿物元素主要分为大量元素和微量元素,其中大量元素为K、Na、Ca、Mg,微量元素为Fe、Cu。

K是鲜样及各苹果加工制品中最主要的矿物元素,占50%左右^[38]。除Na外,苹果罐头中的K、Ca、Mg含量均显著高于其他苹果加工制品及鲜样。可能的原因是苹果罐头加工过程中加入CaCl₂作为硬化剂,增加了罐头样品中钙离子的浓度,且苹果传统制

品中加入了大量的白糖,精制白糖中含有K、Ca、Mg等微量元素^[39],故传统制品中矿物元素含量较高。

3 结论

本文比较了不同加工方式对苹果制品营养成分保留率的影响。糖类物质保留方面:苹果干制品中,真空冷冻干燥脆片总糖及还原糖保留率最高;糖类物质保留率最低的为变温压差膨化干燥脆片;苹果汁制品中,浊汁与清汁的总糖保留率无显著性差异($P > 0.05$),清汁的还原糖保留率显著高于浊汁($P < 0.05$)。

表2 不同加工方式对苹果制品矿物元素含量保留率的影响

Table 2 Effect of different processing methods on retention ratios of mineral element contents of apple products

含量/(mg·kg ⁻¹) 保留率/%	鲜样	热风干燥 苹果脆片	冷冻干燥 苹果脆片	膨化干燥 苹果脆片	苹果清汁	苹果浊汁	苹果果脯	苹果果泥	苹果罐头
K	913.50±12.02	6037.00±65.61	9936.18±236.96	8791.79±21.02	815.50±26.16	784.00±9.90	2410.00±14.14	533.00±4.25	1315.00±7.07
	100.00 ^b	67.75±0.74 ^c	81.47±1.94 ^c	73.82±0.18 ^d	44.64±1.43 ^e	42.91±0.54 ^e	64.90±0.38 ^f	20.18±0.16 ^h	170.02±0.91 ^a
Na	62.75±2.19	1082.78±14.56	2773.10±11.80	4797.52±220.89	184.00±2.83	135.00±2.83	680.49±12.02	287.49±6.36	288.50±2.36
	100.00 ^g	56.54±0.76 ^c	30.21±0.13 ^c	17.07±0.79 ^a	68.21±1.05 ^f	92.98±1.95 ^e	37.49±0.66 ^d	63.13±1.40 ^{ef}	18.42±0.41 ^b
Ca	38.35±0.78	361.41±6.55	485.91±2.36	708.08±10.51	21.65±0.21	29.10±1.27	247.50±0.72	96.79±1.84	73.05±1.34
	100.00 ^d	96.60±1.75 ^{de}	94.90±0.46 ^c	141.62±2.10 ^e	28.23±0.28 ^h	37.94±1.66 ^e	158.76±0.46 ^b	87.28±1.66 ^f	224.98±4.13 ^a
Mg	44.65±0.64	345.95±28.42	543.72±1.23	496.87±4.24	25.50±0.28	24.95±1.48	57.36±3.74	64.50±0.43	70.80±0.00
	100.00 ^b	79.42±6.52 ^c	91.21±0.21 ^c	85.35±0.73 ^d	28.56±0.32 ^e	27.94±1.66 ^e	31.60±2.06 ^e	49.96±0.33 ^f	187.28±0.00 ^a
Fe	13.55±0.49	20.39±1.24	36.78±1.60	31.81±1.29	4.76±0.11	4.96±0.17	8.35±0.32	9.54±0.25	12.40±0.43
	100.00 ^b	15.42±0.94 ^c	20.33±0.89 ^{cd}	18.01±0.73 ^{de}	17.56±0.42 ^{de}	18.30±0.63 ^{de}	15.17±0.57 ^e	24.35±0.63 ^c	108.08±3.71 ^a
Cu	0.42±0.01	2.63±0.00	5.61±0.00	4.17±0.18	0.24±0.00	0.31±0.01	0.71±0.03	0.32±0.00	0.56±0.03
	100.00 ^b	65.06±0.00 ^d	101.20±0.00 ^b	77.11±3.41 ^c	28.92±0.00 ^f	37.35±1.70 ^e	42.17±1.70 ^e	26.51±0.00 ^f	160.24±8.52 ^a

总酚及抗氧化能力保留方面:真空冷冻干燥脆片和变温压差膨化干燥脆片总酚保留率无显著性差异($P>0.05$),热风干燥脆片总酚保留率最低。3种苹果干制品抗氧化能力保留率与总酚保留率正向相关。苹果汁类制品中清汁总酚保留率显著高于浊汁($P<0.05$),二者抗氧化能力无显著性差异($P>0.05$)。传统苹果制品总酚保留率由低至高为果脯、果泥、罐头。

粗纤维保留方面,苹果干制品粗纤维保留率显著高于其他2种苹果制品。矿物元素保留方面,苹果罐头由于外加其他2种含有矿物元素食品添加剂,其中的K、Ca、Mg含量均显著高于其他苹果加工制品及鲜样。

参 考 文 献

- [1] 冉军舰. 苹果多酚的组分鉴定及功能特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2013.
- [2] 刘铁铮,徐继忠,付雅丽,等. 红富士苹果果实中果胶含量的研究[J]. 烟台果树, 2004(4): 4-5.
- [3] 林英庭,王利华. 苹果渣的营养成分评价与估测[J]. 饲料工业, 2010, 31(5): 47-49.
- [4] FELICIANO R P, ANTUNES C, RAMOS A, et al. Characterization of traditional and exotic apple varieties from portugal. Part 1-Nutritional, phytochemical and sensory evaluation [J]. Journal of Functional Foods, 2010, 2(1): 35-45.
- [5] 张莉,陈军,吴大付,等. 微波消解等离子体发射光谱法测定苹果中的多元素分布[J]. 光谱实验室, 2009, 26(3): 617-620.
- [6] 王家喜,杨式忠,孙山. 从国内外苹果产销现状看我国苹果生产[J]. 落叶果树, 1998(3): 11-14.
- [7] 公丽艳. 不同品种苹果加工脆片适宜性评价研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2014.
- [8] 王沛. 苹果变温压差膨化脆片品质评价体系的建立及应用[D]. 北京:中国农业科学院, 2012.
- [9] 邓健康,毕金峰,刘璇,等. 苹果汁品质评价方法研究进展[J]. 中国果菜, 2014, 34(2): 56-61.
- [10] 邓红,王小娟. 不同干燥方法对苹果片品质的影响[J]. 食品科技, 2007(2): 84-87.
- [11] DUAN X, DING L, REN G Y, et al. The drying strategy of atmospheric freeze drying apple cubes based on glass transition [J]. Food and Bioproducts Processing, 2013, 91(4): 534-538.
- [12] 毕金峰. 苹果变温压差膨化干燥工艺优化研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 213-218.
- [13] 蔡明安,黄和,黄卿仪,等. 芦荟爽饮料的研制[J]. 现代食品科技, 2010, 26(9): 983-986.
- [14] 李昌文,岳青. 低糖苹果脯的加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(7): 130-132.
- [15] 马文杰,郭玉蓉,魏决. 苹果泥加工与护色工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5): 226-229.
- [16] 刘铁玲. 苹果罐头加工工艺探讨[J]. 食品科学, 2001, 22(12): 37-39.
- [17] CAMINITI I M, PALGAN I, MUNOZ A, et al. The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice [J]. Food Bioprocess Technology, 2012, 5(2): 680-686.
- [18] 赵凯,许鹏举,谷广烨. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 534-536.
- [19] BOIVIN D, LAMY S, DUFOUR L S, et al. Antiproliferative and antioxidant activities of common vegetables a comparative study[J]. Food Chemistry, 2009, 112(2): 374-380.
- [20] RE R, PELLEGRINI N, PROTEGGENTE A, et al. Antioxidant activity applying and improved abts radical cation

- decolorization assay [J]. *Free Radical Biology & Medicine*, 1999, 26(10): 1 231 - 1 237.
- [21] BRAND W, CUVELIER M E, BERSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity [J]. *LWT-food Science and Technology*, 1995, 28(1): 25 - 30.
- [22] 郭长江, 杨继军, 李云峰, 等. FRAP 法测定水果不同部分抗氧化活性[J]. *中国公共卫生*, 2003, 19(7): 85 - 87.
- [23] GB/T 5009.10—2003. 植物类食品中粗纤维的测定[S].
- [24] GB/T 5009.91—2003. 食品中钾、钠的测定[S].
- [25] GB/T 5009.92—2003. 食品中钙的测定[S].
- [26] GB/T 5009.90—2003. 食品中铁、镁、锰的测定[S].
- [27] GB/T 5009.13—2003. 食品中铜的测定[S].
- [28] 陈俊伟, 张上隆, 张良诚. 果实中糖的运输、代谢与积累及其调控[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2004, 30(1): 1 - 10.
- [29] BERUTER J. Sugar accumulation and changes in the activities of related enzymes during development of apple fruit [J]. *Plant Physiology*, 1985, 121(4): 331 - 341.
- [30] 赵庆亮. 微波真空冷冻干燥苹果片及对对比试验研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2009.
- [31] 王宏. 苹果渣中多酚物质的提取、分离及其抗氧化活性研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006.
- [32] 陈玮琦, 郭玉蓉, 张娟, 等. 干燥方式对苹果幼果干酚类物质及其抗氧化性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(5): 33 - 37.
- [33] 张欣. 苹果浓缩汁产生后浑浊的主要原因及其解决途径[D]. 北京: 中国农业大学, 1998.
- [34] BAGHERIAN H, ASHTIANI Z F, FOULADITAJAR A, et al. Comparisons between conventional, microwave and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit [J]. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2011, 50(11): 1 237 - 1 243.
- [35] KUMAR A, CHAUHAN S G. Extraction and characterization of pectin from apple pomace and its evaluation as lipase (steapsin) inhibitor [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 82(2): 454 - 459.
- [36] 祝钧, 张晓娟, 常思思, 等. 果皮中抗氧化物质的提取及其在食品中的应用[J]. *食品科学*, 2010, 31(19): 385 - 389.
- [37] 顾曼如, 束怀瑞, 曲桂敏, 等. 红星苹果果实的矿质元素含量与品质关系[J]. *园艺学报*, 1992, 19(4): 301 - 306.
- [38] 刘慧, 王为木, 杨晓华, 等. 我国苹果矿质营养研究现状[J]. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2001, 32(2): 245 - 250.
- [39] 宋敏. 甜菜精炼白糖中的铁、铜和锌[J]. *国外医学医学地理分册*, 2007, 28(1): 28 - 30.

The impact of different processing methods on the nutritional quality of apple products

HU Qin-jiabao¹, LIU Xuan², BI Jin-feng², ZHOU Lin-yan²,
WU Xin-ye², GAO Kun^{1,2}, WEI Bao-dong^{1*}

1(College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

2(Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

ABSTRACT The effect of different processing methods on the nutrients retention of apple products was investigated. Compared to apple chips (dried by hot air drying, vacuum freeze drying, difference temperature and pressure puffing drying, respectively), apple juices (clear and cloudy) kept high retention ratio of sugar contents and had less juice loss during processing. Clear apple juice achieved 6.76% higher reducing sugar retention than that of cloudy apple juice. The retention of total sugars and reducing sugars of vacuum freeze dried apple chips were 86.29% and 85.43%, respectively, which were the highest among all the dried products. Dried apple products showed significantly higher retention in total phenolic content, antioxidant capacity and crude fiber content than that of juices and Chinese traditional apple products (candied, pureed and canned apple) ($P < 0.05$). Potassium and sodium were the main mineral elements in apple products, and the contents of mineral elements of Chinese traditional apple products were significantly higher than those of other apple products.

Key words apple; processing method; apple chips; apple juice; nutritional quality