

热处理对 NFC 富硒胡萝卜汁稳定性及香气成分的影响

吕美琳¹, 陈洪杰¹, 龙雯洁¹, 宋文娜¹, 范明慧², 宋娟³, 吕长鑫^{1*}

¹渤海大学食品科学与工程学院 辽宁锦州 121013

²辽宁佰益管理集团有限公司 辽宁锦州 121000

³辽宁摩尔检测科技有限公司 辽宁凌海 121213)

摘要 以富硒胡萝卜为原料,探讨热处理对富硒胡萝卜汁稳定性及风味的影响。富硒胡萝卜经 70~90 °C 热处理,测定不同热处理温度和时间对富硒胡萝卜汁出汁率、过氧化物酶(POD)活性、多酚氧化酶(PPO)活性、色差、浊度、Zeta 电位、离心沉淀率和流变特性等指标,以及不同处理温度对风味物质的影响。结果表明:比较热处理组与未热处理组富硒胡萝卜汁,热处理组前者出汁率增加 13.26%,POD 活性和 PPO 活性降到 5% 以下,色差值、浊度值和 Zeta 电位值均升高,离心沉淀率下降 7 倍,黏度显著降低,1-石竹烯、苯甲醛等风味物质相对含量分别减少 8.6%,24.19%,正辛醛和 2-甲基丁酸乙酯等风味物质相对含量增加 0.37% 和 0.19%,新增 A-石竹素、壬醛、己醛、丁酸丁酯等风味物质。热处理后制取的富硒胡萝卜汁保持着良好品质与风味。本研究为研制 NFC 富硒胡萝卜汁提供一定理论依据,同时降低了生产成本,提高其商品价值。

关键词 热处理; 富硒胡萝卜; 稳定性; 风味

文章编号 1009-7848(2025)02-0247-10 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2025.02.022

胡萝卜(*Daucus carrot* L.)属于二年生草本植物伞形科中的胡萝卜属,作为蔬菜既可熟食也可鲜食^[1-2]。胡萝卜有“小人参”之美誉,富含类胡萝卜素、维生素、和矿物质等多种人体所需的营养物质^[3-4],具有增强人体免疫力、抗氧化和延缓衰老等功效^[5]。

硒是人和动物生长发育所必需的一种微量元素。据报道,克山病、肝癌、食管癌、甲状腺功能减退、听力障碍、皮肤病变、心血管疾病、哮喘、糖尿病和其它健康问题均与硒缺乏有关^[6]。动物、植物体摄取硒主要通过土壤、大气等自然环境,而自然环境中硒存在形式大多为难溶性的微量无机硒,并不能被生物体有效利用^[7]。目前,市场中富硒产品种类非常多,其中人工培养的富硒产品是一种安全且高效的获取硒的方法,富硒胡萝卜是在胡萝卜生长环境中人工施加外源硒,通过其自身富集迁移和转化在胡萝卜内富硒,增加有机硒含量^[8]。

热处理法因具有操作简便、效率高、成本低和能有效提高黄酮含量的利用率等优势,而被广泛应用于果蔬加工业中。Shourove 等^[9]发现杨桃原汁在热处理过程中,随着处理时间的延长和温度的升高,果汁的 pH 值和布朗宁指数显著升高,总可溶性固形物含量未观察到显著变化,色差值逐渐增大。刘伟等^[10]研究了热处理使蓝莓 PPO、POD 活性显著降低,80 °C 热烫 2 min 对蓝莓褐变酶活性的钝化效果最佳,花色苷损失较少,色泽较好。Liaotrakoon 等^[11]研究发现不同热处理工艺可使火龙果汁花色苷含量降低,黏度增加,颜色参数值呈上升趋势,且随热处理温度 and 时间的不断增加,微生物计数呈递减趋势。目前,关于热处理法改善 NFC 富硒胡萝卜汁风味以及对 NFC 富硒胡萝卜汁稳定性的影响研究较少^[12]。本试验通过研究不同热处理温度和时间富硒胡萝卜汁出汁率、POD 活性、PPO 活性、色差、浊度、Zeta 电位、离心沉淀率和流变特性等指标的变化情况,以及不同热处理温度对挥发性物质的影响,以期获得适用于富硒胡萝卜汁的热处理条件,从而提高其贮藏期稳定性和商品价值^[13],为研制 NFC 富硒胡萝卜汁提供理论依据。

收稿日期: 2024-02-03

基金项目: 辽宁省科技厅民生科技计划项目(2021JH2/10200018); 辽宁科技特派行动专项计划项目(2022JH5/10400102)

第一作者: 吕美琳,女,硕士生

通信作者: 吕长鑫 E-mail: lvchangxin6666@163.com

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

富硒胡萝卜, 购于葫芦岛后峪生态农业科技有限公司。醋酸钠(AR)、聚乙二醇 6000(AR)、聚乙烯吡咯烷酮(AR)、愈创木酚(AR)、醋酸(AR), 天津市大茂化学试剂厂; 过氧化氢(AR), 广州化学试剂厂; 邻苯二酚(AR), 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; Triton X-100(AR), 合肥巴斯夫生物科技有限公司。

1.2 仪器

DHR-1 流变仪, 美国 TA 公司; Evolution 201 紫外分光光度计, 上海艾研生物科技有限公司; Zeta 电位粒径分析仪, 英国马尔文公司; CS-5200 色彩色差计, 日本柯尼卡美能达有限公司; WGZ-2000 浊度计, 上海议电物理光学仪器有限公司; FA224 电子天平, 上海舜宇恒平仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品热处理 富硒胡萝卜清洗干净, 去除损坏部位及顶部的茎和根部须, 去皮后切成宽约 1 mm 均匀薄片, 在 70, 80, 90 °C 温度条件下分别处理 2, 4, 6, 8, 10 min, 迅速冷却至室温后备用。

1.3.2 富硒胡萝卜汁制备 以未经过热处理的富硒胡萝卜作为对照, 将对照组和热处理后的富硒胡萝卜榨汁, 再用 200 目双层滤布过滤后得到经热处理汁液, 研究热处理温度和时间对富硒胡萝卜汁稳定性和风味的影响。

1.3.3 富硒胡萝卜汁出汁率的测定 参考陈佳楠等^[4]的方法, 分别取热处理后的富硒胡萝卜 200 g, 用榨汁机榨汁后称其富硒胡萝卜汁质量(g), 根据公式(1)计算出汁率并以百分数(%)表示。

出汁率 (%) = 胡萝卜汁质量 / 胡萝卜质量 × 100 (1)

1.3.4 富硒胡萝卜汁有机硒含量测定 参考国标《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》(GB 5009.268-2016)和《出口水产品中有机硒和无机硒的测定 氢化物发生原子荧光光谱法》(SN/T 4526-2016)派送第三方进行检测。

1.3.5 POD 和 PPO 活性测定 参考 Stinco 等^[5]的方法略作修改。首先酶液制备, 在 0~4 °C 条件下暂存储备用。在波长 470 nm 处测定 POD 活性吸光度值; 波长 420 nm 处测定 PPO 活性吸光度值, 试验

均重复 3 次。

1.3.6 色差的测定 采用分光测色仪对富硒胡萝卜汁的颜色变化进行测定。

1.3.7 浊度的测定 用浊度计对富硒胡萝卜汁浑浊程度进行测定, 重复试验 3 次。

1.3.8 Zeta 电位的测定 将富硒胡萝卜汁用蒸馏水稀释 300 倍, 在 25 °C 条件下超声 10 min 后测定富硒胡萝卜汁的 Zeta 电位。

1.3.9 离心沉淀率的测定 称取离心管的质量为 A (g), 离心管和富硒胡萝卜汁的总质量为 B (g), 并将富硒胡萝卜汁在 4 500 r/min 下离心 10 min, 倒掉上清液后称量其质量为 C (g), 试验重复 3 次。根据公式(2)计算富硒胡萝卜汁的离心沉淀率。

离心沉淀率 (%) = (C - A) / (B - A) × 100 (2)

1.3.10 流变特性的测定 参考蔡天^[6]的方法略作修改, 取约 2 mL 富硒胡萝卜汁, 于 25 °C 条件下检测样品流变特性。

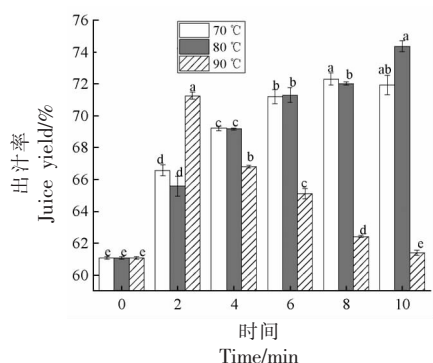
1.3.11 风味物质测定 参考代文清^[7]的方法略作修改, 取样品溶液约 5 mL, 置于 15 mL 固相微萃取仪采样瓶中, 平衡 15 min, 顶空萃取 30 min 后快速移出萃取头并立即插入气相色谱仪进样口中, 热解析 5 min 进样。GC-MS 条件: 色谱柱 DB-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 载气为高纯 He (99.999%); 无分流进样, 流速 1.0 mL/min; 进样口温度 250 °C; 起始柱温 40 °C 保持 2 min, 以 3 °C/min 程序升温至 120 °C 保持 2 min, 再以 10 °C/min 程序升温至 230 °C 保持 5 min。MS 条件: 离子源温度 240 °C; 四级杆温度 150 °C; 扫描范围: 35~625 m/z; 电子能量 70 eV。

1.3.12 数据处理 数据处理采用 Excel 2010 和 Origin 2021 软件进行图表绘制, SPSS 22 软件进行差异显著性分析。

2 结果和讨论

2.1 热处理对富硒胡萝卜汁出汁率影响

压榨胡萝卜前对其进行热处理, 可显著提高胡萝卜汁出汁率。由图 1 可知, 在 70 °C 和 80 °C 热处理时, 随着处理时间不断增加出汁率均显著提高, 80 °C 处理 10 min 时出汁率最高, 显著高于未处理组胡萝卜的出汁率。90 °C 热处理时, 随着处理



注:不同小写字母表示组内存在显著差异($P<0.05$)。

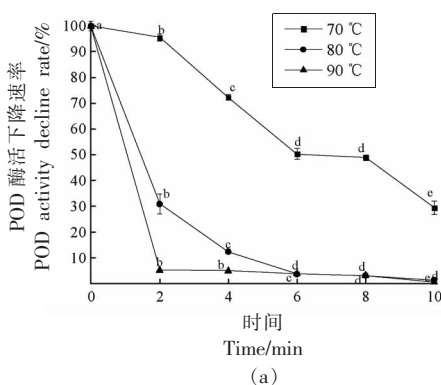
图 1 热处理对富硒胡萝卜出汁率的影响

Fig.1 Effects of heat treatment on juice yield of selenium-rich carrot

时间增加,出汁率呈现先增加后降低趋势。热处理可能导致细胞壁破裂、细胞间黏附的丧失和质地变化。这些结构变化不仅导致高水分流动性,还会导致组织的机械软化,而较高温度加热不会对汁液产量做出更多贡献。由此可知,本研究与 Jiménez-Sánchez 等^[18]描述一致,胡萝卜经 80 °C、10 min 处理可得到最大出汁率,与未处理组比较出汁率增加 13.26%。

2.2 热处理后硒含量测定结果

经第三方检测机构检测,富硒胡萝卜汁在 80 °C、10 min 条件下处理后,有机硒含量为 53.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。



注:不同小写字母表示组内存在显著差异($P<0.05$)。

2.3 热处理对富硒胡萝卜汁 POD 和 PPO 活性影响

热处理是果蔬汁生产加工中一项重要操作,为提高果蔬原料的品质,避免降解酶 POD 活化,引起色素和营养素损失,采取热处理方法是有效稳定微生物和酶活性的主要方式^[19-20]。PPO 是一种以铜为辅基的酶,能氧化多种酚类物质聚合成棕色颜料的醌类化合物。由图 2a 可知,热处理可使胡萝卜 POD 活性显著降低,且不同处理组差异显著($P<0.05$)。热处理对 POD 活性的抑制作用受温度和时间的影响较大,当处理温度 90 °C 时,不同处理组胡萝卜中检测到 POD 活性均低于 5%。当处理温度 80 °C 时,热处理 2 min 时 POD 残余酶活力降至 30.89%,热处理 6 min 时 POD 活性降至 3.07%,接近失活。当处理温度 70 °C 时,随着处理时间增加,POD 活性逐渐降低,热处理 10 min 时,POD 活性下降到 29.43%,灭酶效果不理想,这与 Bhat 等^[21]研究结果一致。由图 2b 可知,与未处理组相比,热处理可显著降低 PPO 活性,在 3 个温度条件下处理 2 min 时,PPO 活性下降最明显,热处理 2~8 min 时,随着温度升高,酶活性均呈下降趋势。综合以上分析可知,POD 和 PPO 具有较高热稳定性,POD 80 °C 热处理 6 min,PPO 80 °C 热处理 8 min,酶活力均在 5% 以下,具有很好的灭酶效果。

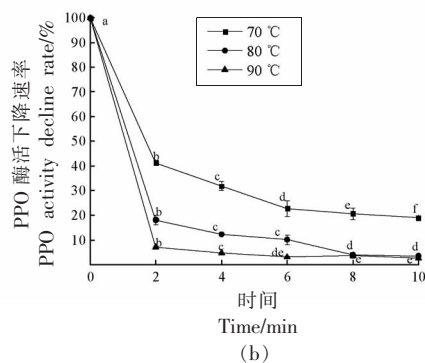


图 2 热处理对富硒胡萝卜汁 POD 和 PPO 活性的影响

Fig.2 Effect of heat treatment on POD and PPO activities of selenium-enriched carrot juice

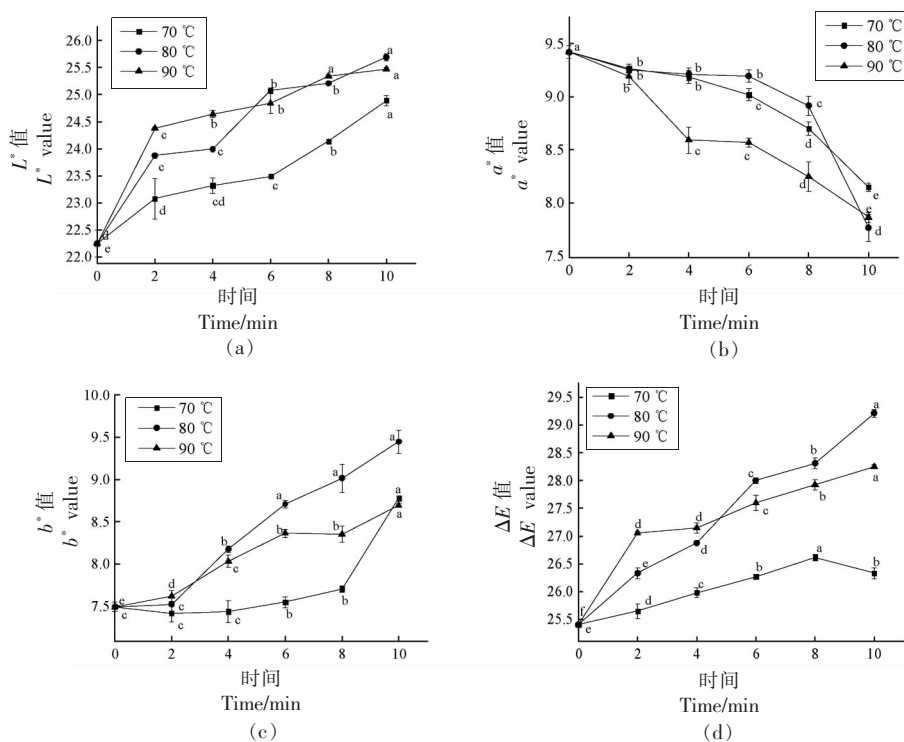
2.4 热处理对富硒胡萝卜汁色差的影响

热处理条件可以改变富硒胡萝卜汁的色值,由图 3a 可知,随着热处理时间不断增加, L^* 值逐

渐增加,说明富硒胡萝卜汁亮度逐渐增加,当 80 °C 处理 10 min 时,亮度值达到最大为 25.69 ± 0.06 。 a^* 值表示红绿度,正值偏红,负值偏绿,由图 3b 可

知,富硒胡萝卜汁的 a^* 值随热处理时间延长而逐渐降低,70,80,90℃条件下处理10 min分别下降了1.28,1.66,1.56。 b^* 值表示黄蓝度,正值偏黄,负值偏蓝,由图3c可知,随热处理时间增加而呈上升趋势,70,80,90℃条件下处理10 min分别增加了1.29,1.96,1.20,说明随着热处理温度升高,富硒胡萝卜汁逐渐向偏黄色转变,可能与富硒胡萝卜汁热处理过程中美拉德反应产生的棕褐色物质

有关。 ΔE 值表示总色差,由图3d可知,富硒胡萝卜汁随热处理时间的增加 ΔE 值分别提高了0.93,3.78,2.82,这说明80℃热处理时,总色差值变化最为明显。因此,热处理可使富硒胡萝卜汁发生化学反应,使得富硒胡萝卜汁的色泽改变,使胡萝卜汁的亮度值增加2.25,本试验结果与Shourove等^[9]的研究结果一致。



注:不同小写字母表示组内存在显著差异($P<0.05$)。

图3 热处理对富硒胡萝卜汁色差的影响

Fig.3 Effects of heat treatment on color difference of selenium-enriched carrot juice

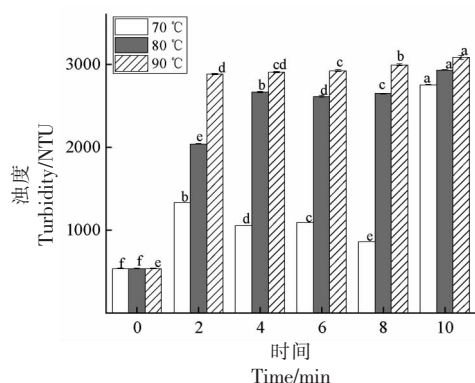
2.5 热处理对富硒胡萝卜汁浊度的影响

浊度是指在自然状态悬浮物对光线透过时所发生的阻碍程度,其值越高则表示溶液的混浊度越高。由图4可知,70℃热处理时浊度显著低于80℃和90℃处理组,不同热处理组的浊度值均显著高于未处理组,80℃处理组随热处理时间的增加,浊度值呈逐渐上升趋势,且浊度值均低于90℃热处理组,这说明热处理后富硒胡萝卜汁不稳定颗粒增多,富硒胡萝卜汁浑浊度增大,本研究结果与Wang等^[23]的研究结果相似,说明果胶酶可水解果胶致使果胶沉淀,热处理对果胶酶的破坏明

显,防止富硒胡萝卜汁沉淀。综上所述,所以80℃、10 min和90℃处理组会显著增加富硒胡萝卜汁浊度,最高可增加2 546 NTU,有效提高其稳定性。

2.6 热处理对富硒胡萝卜汁 Zeta 电位的影响

Zeta 是表征胶体分散系稳定性的重要参数指标,胶体系统是否稳定的分界线通常在 ± 30 mV,一般认为,Zeta 电位绝对值大于30 mV时胶体系统是稳定的。由图5可知,热处理组的Zeta 电位绝对值均高于未处理组,且差异显著。70℃和80℃处理富硒胡萝卜汁,随着处理时间不断增加,Zeta



注:不同小写字母表示组内存在显著差异($P<0.05$)。

图 4 热处理对富硒胡萝卜汁浊度的影响

Fig.4 Effects of heat treatment on turbidity of selenium-enriched carrot juice

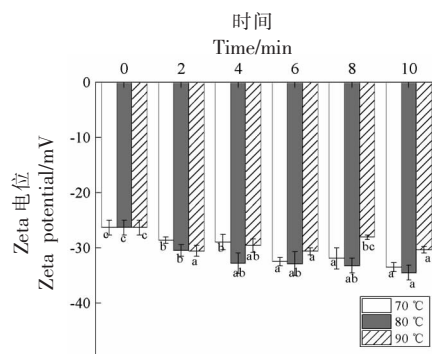
电位的绝对值逐渐增大,电位绝对值越大,说明其相对稳定。胡萝卜汁的稳定性主要是由内部电荷间的静电排斥维持的,同性电荷越多,形成的颗粒越少,静电排斥越大,富硒胡萝卜汁越稳定,这与 Cano-Sarmiento 等^[23]描述相似。研究结果表明,胡萝卜热处理 80 °C、10 min 可得到最大的 Zeta 电位绝对值 34.48 mV,此时胡萝卜汁稳定性较好。

2.7 热处理对富硒胡萝卜汁离心沉淀率的影响

富硒胡萝卜汁是一个复杂的系统,即使在离心处理后,仍有一些浆颗粒和溶解物以胶体或分子或离子状态存在。由图 6 可知,热处理对富硒胡萝卜汁离心沉淀率影响显著,在不同温度下处理 2 min,离心沉淀率显著下降,随着热处理时间不断增加,离心沉淀率呈逐渐下降趋势,80 °C 热处理组离心沉淀率均低于 70 °C 和 90 °C。80 °C 热处理 6~10 min 时,离心沉淀率值最低可达到 0.12%,与未处理组比较,分别下降了 0.73%,0.73%,0.77%。热处理组和未处理组的富硒胡萝卜汁之间的差异显著,说明热处理可显著降低 NFC 富硒胡萝卜汁的离心沉淀率,提高其稳定性,这与 Wang 等^[22]的研究结果相似。由此分析可得,胡萝卜 80 °C 热处理 6~10 min,胡萝卜汁的离心沉淀率较低,80 °C、10 min 热处理比未处理组离心沉淀率降低近 7 倍,此时得到产品的稳定性良好。

2.8 热处理对富硒胡萝卜汁流变特性的影响

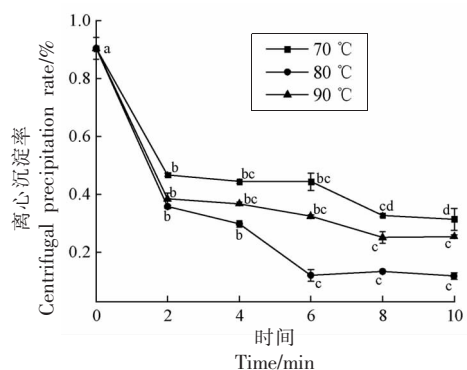
分别测定不同处理组富硒胡萝卜汁,得到流变曲线结果如图 7 所示,在不同热处理温度条件



注:不同小写字母表示组内存在显著差异($P<0.05$)。

图 5 热处理对富硒胡萝卜汁 Zeta 电位的影响

Fig.5 Effects of heat treatment on Zeta potential of selenium-enriched carrot juice



注:不同小写字母表示组内存在显著差异($P<0.05$)。

图 6 热处理对富硒胡萝卜汁离心沉淀率的影响

Fig.6 Effects of heat treatment on centrifugal precipitation rate of selenium-enriched carrot juice

下,随着热处理时间的增加,富硒胡萝卜汁表观黏度均呈现下降趋势,且热处理组与未处理组表观黏度差异性显著。此外,随着热处理时间增加,剪切应力增强,导致颗粒在平行方向上重排并破碎成更小的颗粒,富硒胡萝卜汁中其它物质分子在高温下剧烈运动,一定程度上破坏了联结的三维结构,而且温度越高,运动越激烈,破坏程度越高^[24],导致颗粒之间相互作用力减少,这些颗粒可以更容易地流动,导致黏度降低,这与 Vandresen 等^[25]的研究结果一致。上述结果说明,胡萝卜汁经热处理后黏度均下降,90 °C 处理组下降最显著,表现出一种假塑性行为。

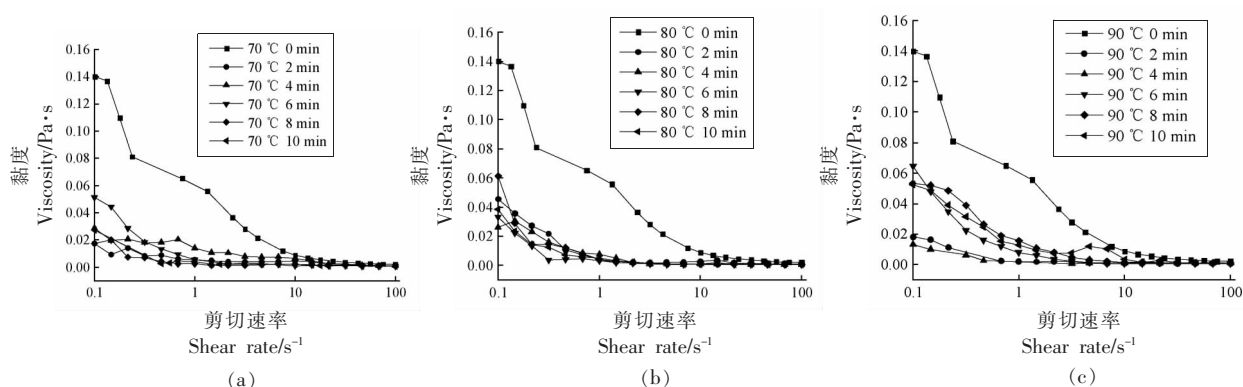


图7 热处理对富硒胡萝卜汁流变特性的影响

Fig.7 Effects of heat treatment on rheological properties of selenium-enriched carrot juice

2.9 热处理对富硒胡萝卜汁风味的影响

香气成分属于挥发性物质,热处理会影响富硒胡萝卜汁的香气成分的组成。由表1可知,经热处理后,不同温度处理的富硒胡萝卜汁共检测出43种风味物质,均为碳氢类、醛类、醇类、脂类、酮类、芳烃类^[26-29],其中含量较高的是1-石竹烯、青叶醛、 α -石竹素、萜品油烯4种风味物质,占风味物质总成分的80.86%,醛类物质以青叶醛和己醛为主,碳氢类物质以1-石竹烯为主,酯类、芳香烃类、醇类、酮类风味物质阈值较高,这些成分主要呈现出类似花香、清新香和果香等混合香气,构成富硒胡萝卜汁特有香气和风格。果蔬的风味不同主要由酯类、碳氢类、醇类和醛类等挥发性物质组成决定。不同热处理条件制得的富硒胡萝卜汁中各风味物质均有不同程度变化,总的挥发性物质增加,处理组整体上保留了富硒胡萝卜汁自身香气的稳定性和协调性,同时有部分潜在的香气成

分释放出来。随着热处理温度不断升高,醛类物质含量变化最大,苯甲醛含量降低了24.19%,己醛含量增加了20.59%,出现了具有成熟橘香和玫瑰香的壬醛、反式-2-壬烯醛、己醛等新风味物质,醛类化合物主要是低碳链醛类和芳香族醛类,它们的含量较高,是富硒胡萝卜汁的主要香气成分,所占比例较大。经热处理后酮类、醇类等物质均有不同程度增加,碳氢类物质随处理温度不断升高而逐渐减少,其中1-石竹烯、萜品油烯含量减少最为明显,分别降低了8.6%和7.16%,胡萝卜中的特征风味物质与其含大量的萜烯类化合物密切相关,使新鲜胡萝卜呈现新鲜芳香气味,而这些化合物很容易在热加工过程中逐渐减少甚至消失,这与卜俊芝等^[30]的研究结果一致。因此,热处理后富硒胡萝卜汁挥发性物质增加了2.18%,提高了富硒胡萝卜汁中大部分芳香物质的相对含量,强化了富硒胡萝卜汁的香气,起到增香的效果。

表1 热处理对富硒胡萝卜汁风味的影响

Table 1 Effects of heat treatment on flavor of selenium-enriched carrot juice

序号	化合物	分子式	风味物质相对含量/%			
			对照组	70 °C 10 min	80 °C 10 min	90 °C 10 min
1	青叶醛	C ₆ H ₁₀ O	23.65	26.37	20.76	24.69
2	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	24.51	—	—	0.32
3	正辛醛	C ₈ H ₁₆ O	1.04	1.57	1.41	1.91
4	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	0.18	—	0.14	0.14
5	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.51	0.50	—	0.61
6	β -环柠檬醛	C ₁₀ H ₁₆ O	0.53	0.47	0.53	0.62
7	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	0.86	1.11	—	1.20
8	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	—	—	0.86	1.51
9	己醛	C ₆ H ₁₂ O	—	1.42	16.51	20.59
10	反式-2-壬烯醛	C ₉ H ₁₆ O	—	—	—	0.21

(续表 1)

序号	化合物	分子式	风味物质相对含量/%			
			对照组	70 °C 10 min	80 °C 10 min	90 °C 10 min
11	A-石竹素	C ₁₅ H ₂₄	—	4.58	4.08	3.27
12	BETA-律草烯	C ₁₅ H ₂₄	—	0.03	—	—
13	β -蒎烯、	C ₁₀ H ₁₆	0.61	—	—	—
14	右旋蒎二烯	C ₁₀ H ₁₆	1.88	1.27	1.50	1.02
15	罗勒烯、	C ₁₀ H ₁₆	0.17	—	—	—
16	蒎品烯	C ₁₀ H ₁₆	2.78	2.15	1.89	1.27
17	蒎品油烯	C ₁₀ H ₁₆	10.46	5.41	7.30	3.30
18	1-石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	40.46	44.77	37.42	31.86
19	丁香烯	C ₁₅ H ₂₄	4.05	—	—	—
20	氧化石竹烯	C ₁₅ H ₂₄ O	0.77	0.67	—	0.79
21	α -法尼烯	C ₁₅ H ₂₄	0.59	0.95	0.67	0.63
22	2-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	0.66
23	左旋- β -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	—	—	0.59	—
24	α -蒎品烯	C ₁₀ H ₁₆	—	—	0.48	—
25	蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	—	0.84	—	—
26	2-甲基丁酸乙酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	0.42	—	—	0.61
27	丁酸丁酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	—	—	0.67	—
28	正己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.52	0.52	0.40	0.44
29	己酸己酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.51	0.69	0.55	0.54
30	正辛醇	C ₈ H ₁₈ O	1.36	1.03	—	0.87
31	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.81	0.97	0.84	0.86
32	4-蒎烯醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.30	0.33	—	—
33	甲基壬基甲酮	C ₁₁ H ₂₂ O	0.11	—	—	—
34	大马酮	C ₁₃ H ₁₈ O	0.07	0.06	—	0.07
35	大马士酮	C ₁₃ H ₁₈ O	0.83	1.04	0.91	0.96
36	香叶基丙酮	C ₁₃ H ₂₂ O	1.38	1.64	—	—
37	乙位紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O	0.49	—	0.81	0.80
38	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	0.67	—	—	0.27
39	茶香螺烷	C ₁₃ H ₂₂ O	1.20	0.79	1.19	—
40	异丙烯基甲苯	C ₁₀ H ₁₂	2.35	0.10	—	0.27
41	榄香素	C ₁₂ H ₁₆ O ₃	—	0.23	0.26	—
42	六甲基苯	C ₁₂ H ₁₈	—	—	0.24	—
43	肉豆蔻醚	C ₁₁ H ₁₂ O ₃	—	0.49	—	—

注：“—”表示测量过而未发现风味物质。

3 结论

研究表明,经热处理后得到的富硒胡萝卜汁品质和风味物质均优于未处理组。温度 80 °C 处理 10 min 时,与其它处理组相比,富硒胡萝卜汁得到最高出汁率,出汁率增加了 13.26%。热处理会使酶的内能增加,导致酶三维结构键断裂,不同处理温度和时间均使 POD 和 PPO 活性显著下降,80 °C 处理 6~10 min 和 90 °C 处理组均能达到很好

灭酶效果。热处理会使富硒胡萝卜汁色泽变亮,浊度值和 Zeta 电位值显著升高,表观黏度降低,离心沉淀率降低 7 倍,其中 80 °C 处理组离心沉淀率均低于 70 °C 和 90 °C,且 80 °C 处理 10 min 时,离心沉淀率值最低为 0.12%。热处理使苯甲醛含量降低 24.19%,己醛含量提高 20.59%,同时生成 A-石竹素、壬醛、反式-2-壬烯醛、己醛、丁酸丁酯等新的风味物质。热处理不仅提高富硒胡萝卜汁出

汁率,增强其产品稳定性,还具有增香和增味作用,提升富硒胡萝卜汁的品质和商品价值,为研制NFC富硒胡萝卜汁提供了一定的技术参考。

参 考 文 献

- [1] 吴芳英,王继坤.甜玉米、胡萝卜、甜橙复合饮料的研制[J].食品工业,2022,43(8):11-14.
WU F Y, WANG J K. Study on the compound beverage of sweet corn, carrot and sweet orange[J]. Food Industry, 2022, 43(8): 11-14.
- [2] QUE F, HOU X L, WANG G L, et al. Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family[J]. Horticulture Research, 2019, 6(1): 69.
- [3] SZCZEPAŃSKA J, BARBA F J, SKAŃSKA S, et al. High pressure processing of carrot juice: Effect of static and multi-pulsed pressure on the polyphenolic profile, oxidoreductases activity and colour[J]. Food Chemistry, 2020, 307: 125549.
- [4] SURBHI S, VERMA R C, DEEPAK R, et al. A review: Food, chemical composition and utilization of carrot (*Daucus carota* L.) pomace[J]. International Journal of Chemical Studies, 2018, 6(3): 2921-2926.
- [5] 彭健.压差闪蒸干燥胡萝卜脆条质构品质形成机制研究[D].北京:中国农业科学院,2019.
PENG J. Formation mechanism of texture and structural properties of instant controlled pressure drop (DIC) dried carrot chips[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.
- [6] XU X X, BAO Y J, WU B B, et al. Chemical analysis and flavor properties of blended orange, carrot, apple and Chinese jujube juice fermented by selenium-enriched probiotics[J]. Food Chemistry, 2019, 289: 250-258.
- [7] NAN C, CHANGHUI Z, TIEHUA Z. Selenium transformation and selenium-rich foods[J]. Food Bioscience, 2021, 40: 100875.
- [8] 张安宁.胡萝卜富硒特性及硒的分布形态研究[D].沈阳:辽宁大学,2016.
ZHANG A N. Research of selenium enrichment characteristics and speciation distribution in carrot [D]. Shenyang: Liaoning University, 2016.
- [9] SHOUROVE J H, ZZAMAN W, CHOWDHURY R S, et al. Effect of thermal treatment on physico-chemical stability and antioxidant properties of locally available underutilized star fruit juice[J]. Asian Food Science Journal, 2020, 14(3): 41-53.
- [10] 刘伟,许弯,胡小琴,等.预处理对蓝莓NFC果汁品质和风味的影响[J].中国食品学报,2021,21(3):193-202.
LIU W, XU W, HU X Q, et al. Effect of pre-treatment on quality and flavor of blueberry NFC juice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(3): 193-202.
- [11] LIAOTRAKON W, DE CLERCQ N, VAN HOED V, et al. Impact of thermal treatment on physico-chemical, antioxidative and rheological properties of white-flesh and red-flesh dragon fruit (*Hylocereus* spp.) purees[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6: 416-430.
- [12] 杨强,赵依迪,齐欣,等.热处理温度对诺丽果汁品质的影响[J].包装工程,2021,42(23):69-75.
YANG Q, ZHAO Y D, QI X, et al. Effect of heat treatment temperature on quality of *Morinda citrifolia* juice[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(23): 69-75.
- [13] 王雪雅,丁筑红,梁芳,等.热处理条件对刺梨果汁风味物质和营养成分的影响研究[J].食品工业科技,2016,37(15):107-111.
WANG X Y, DING Z H, LIANG F, et al. Effects of heat treatment conditions on flavor substances and nutritional components of Prickly pear juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(15): 107-111.
- [14] 陈佳楠,冯敏,张超,等.复合酶对草莓出汁率和澄清度的影响[J].食品研究与开发,2022,43(19):27-35.
CHEN J N, FENG M, ZHANG C, et al. Effect of complex enzymes on juice yield and clarity of strawberry[J]. Food Research and Development, 2022, 43(19): 27-35.
- [15] STINCO C M, SZCZEPAŃSKA J, MARSZAŁEK K, et al. Effect of high-pressure processing on carotenoids profile, colour, microbial and enzymatic stability of cloudy carrot juice[J]. Food Chemistry, 2019, 299: 125112.
- [16] 蔡天.控温超声辅助酶解对苹果油汁稳定性及风味的影响[D].锦州:渤海大学,2021.
CAI T. Effect of temperature-controlled ultrasound-

- assisted enzymatic hydrolysis on stability and flavor of cloudy apple juice[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021.
- [17] 代文清. 苹果梨黑果腺肋花楸汁贮藏品质变化及体外模拟胃肠消化[D]. 锦州: 渤海大学, 2021.
- DAI W Q. Quality changes of Pingguo pear and *Aronia melanocarpa* compound juice during storage and gastrointestinal digestion *in vitro*[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021.
- [18] JIMÉNEZ-SÁNCHEZ C, LOZANO-SÁNCHEZ J, SEGURA-CARRETERO A, et al. Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 1: Techniques and applications [J]. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 2017, 57(3): 501-523.
- [19] GONÇALVES E M, PINHEIRO J, ABREU M, et al. Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching[J]. *J Food Eng*, 2010, 97(4): 574-581.
- [20] MANNOZZI C, ROMPOONPOL K, FAUSTER T, et al. Influence of pulsed electric field and ohmic heating pretreatments on enzyme and antioxidant activity of fruit and vegetable juices[J]. *Foods*, 2019, 8(7): 247.
- [21] BHAT S, SAINI C S, SHARMA H K. Changes in total phenolic content and color of bottle gourd (*Lagenariasiceraria*) juice upon conventional and ohmic blanching[J]. *Food Sci Biotech*, 2017, 26: 29-36.
- [22] WANG C F, HU F F, ZHAN Y, et al. The sensory quality of cucumber juice after high pressure processing and heat treatment [C]. An ASABE Meeting Presentation, Kansas City: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2013: 1.
- [23] CANO-SARMIENTO C, TÉLLEZ-MEDINA D I, VIVEROS-CONTRERAS R, et al. Zeta potential of food matrices[J]. *Food Engineering Reviews*, 2018, 10: 113-138.
- [24] 王楠. 不同加热方式对三种葡萄浓缩汁品质变化的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019.
- WANG N. Effects of different heating methods on the quality changes of three grape juice concentrates [D]. Alaer: Tarim University, 2019.
- [25] VANDRESEN S, QUADRI M G N, DE SOUZA J A R, et al. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 92(3): 269-274.
- [26] 王鹏. 胡萝卜全成分发酵饮料的研制[D]. 天津: 天津科技大学, 2018.
- WANG P. The development of full-component carrot fermented beverage[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018.
- [27] 刘莹. 发酵胡萝卜原浆工艺优化及其对肠道菌群的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
- LIU Y. Process optimization of raw fermented carrot and its effect on intestinal microecology[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2018.
- [28] 孙旗. 胡萝卜-芒果果蔬泥复合再制干酪的研制[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- SUN Q. Development of carrot-mango fruit and vegetable mud processed cheese[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019.
- [29] 马彦彦. 益生发酵对胡萝卜粉品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- MA Y Y. Effect of probiotics on quality of carrot powder[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020.
- [30] 卜俊芝, 徐迅, 唐振兴, 等. 不同热加工方式对胡萝卜品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(6): 225-232.
- PU J Z, XU X, TANG Z X, et al. The influence of different heat treatment methods on the quality of carrot[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2022, 48(6): 225-232.

Effects of Heat Treatment on Stability and Aroma Components of NFC Selenium-enriched Carrot Juice

LÜ Meilin¹, CHEN Hongjie¹, LONG Wenjie¹, SONG Wenna¹, FAN Minghui², SONG Juan³, LÜ Changxin^{1*}

(¹College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning

²Liaoning Baiyi Management Group Co., Ltd., Jinzhou 121000, Liaoning

³Liaoning Mole Testing Technology Co., Ltd., Linghai 121213, Liaoning)

Abstract The effect of heat treatment on the stability and flavor of selenium-rich carrot juice was studied. The effects of different heat treatment temperature and time on juice yield, POD activity, PPO activity, color difference, turbidity, Zeta potential, centrifugal precipitation rate and rheological properties of selenium-enriched carrot juice were determined after heat treatment at 70–90 °C. The results showed that: According to the analysis of the comparison between the heat treated group and the non-heat treated group, the juice yield increased by 13.26%, POD activity and PPO activity decreased to less than 5%, the color difference, turbidity and Zeta potential both increased, the centrifugal precipitation rate decreased by 7 times, and the viscosity decreased significantly. What's more, the relative contents of 1-caryophyllene and benzaldehyde were respectively decreased by 8.6% and 24.19%, while the relative contents of n-octyl aldehyde and ethyl 2-methylbutyrate were increased, and new flavor substances such as A-caryophyllene, nonylaldehyde, caproaldehyde and butyl butyrate were added. The selenium enriched carrot juice produced after heat treatment maintains good quality and flavor, which provided a theoretical basis and guarantee for the development of NFC selenium enriched carrot juice, reduced the production cost and increases the commodity value.

Keywords heat treatment; selenium-rich carrot; stability; flavor