

doi:10.12301/j.issn.2095-6002.2021.05.018

文章编号:2095-6002(2021)05-0156-09

引用格式:沈雨思,朱丹实,潘越,等.NFC苹果浊汁褐变与品质相关性研究[J].食品科学技术学报,2021,39(5):156-164.



SHEN Yusi, ZHU Danshi, PAN Yue, et al. Study on correlation of browning and quality of NFC cloudy apple juice[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021,39(5):156-164.

NFC 苹果浊汁褐变与品质相关性研究

沈雨思, 朱丹实*, 潘越, 曹雪慧, 刘贺, 励建荣*

(渤海大学食品科学与工程学院/生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心/
辽宁省食品安全重点实验室/辽宁省高等学校生鲜食品产业技术研究院, 辽宁锦州 121013)

摘要:褐变是果汁品质劣变的重要因素之一。通过模拟 NFC 苹果浊汁开封后在未完全密闭状态下,于 4℃ 和 20℃ 短期贮藏期间的自然褐变过程,探讨苹果浊汁褐变过程与营养及风味变化的关系。结果表明,NFC 苹果浊汁贮藏过程中褐变程度受贮藏温度和时间的直接影响。在两种贮藏温度下,果汁颜色均随贮藏时间延长不断加深,总酚和维生素 C 含量逐渐下降;可溶性固形物含量降低和可滴定酸含量增高导致糖酸比下降。20℃ 贮藏期间,果汁品质劣变迅速;4℃ 贮藏初期,果汁品质变化不明显,但在后期劣变速度明显加快。NFC 苹果浊汁在贮藏前期芳香族化合物、氮化合物等挥发性风味物质有所减少,而在贮藏后期碳氢化合物、无机硫化物、烷烃类和脂肪族类物质逐渐增加。褐变与 NFC 苹果浊汁品质指标的相关性分析表明:冷藏条件下褐变程度与浊汁口味和挥发性风味的相关性更强,而常温贮藏下与浊汁营养物质含量的相关性更强。研究结果可丰富果汁贮藏机理,以期苹果浊汁加工及开封后短期贮藏过程中品质变化研究及调控提供理论借鉴。

关键词: NFC; 苹果浊汁; 贮藏; 褐变; 营养; 风味**中图分类号:** TS255.44**文献标志码:** A

苹果是世界范围内普遍种植的水果,也是最常食用的水果之一^[1]。苹果营养丰富,含有多种维生素、矿物质、多酚和黄酮类物质^[2]。近年来,“最小加工”和“清洁标签”这两个新兴概念使得更天然、更纯粹的非浓缩还原(not from concentrate,NFC)果汁逐渐成为饮料行业的主流产业。NFC 苹果浊汁在加工过程中完全采用鲜果压榨,能更好地保持苹果风味和营养。研究表明,NFC 苹果浊汁不仅具有比浓缩苹果汁更高的果肉纤维、多酚和果胶含量,而且口味更加柔和^[3]。但是,由于 NFC 苹果浊汁具有易发生褐变和沉淀的特性,产品和工艺还有许多需

要改善的空间。

褐变是对消费者视觉感官最直观的影响因素,它不仅影响食品的感官特性,也通常伴随着食品营养品质的下降^[4-5]。果蔬制品褐变原因主要有酶促褐变和非酶褐变两种^[6]。NFC 果汁加工过程中的热杀菌使得制品中包括多酚氧化酶在内的多种氧化酶类失活或钝化,因此,在其贮藏过程中非酶褐变起主导性作用^[7-8]。NFC 苹果浊汁贮藏过程中非酶褐变的影响因素主要包括温度、氨基酸、多酚、维生素 C 等^[9-10]。环境温度是较为明显的影响因素,温度越高,果汁中的组分越容易发生反应,褐变指数变化

收稿日期:2020-11-02

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(31701618);辽宁省自然科学基金面上项目(20180551103);辽宁省教育厅 2021 年度科学研究经费面上项目(LJKZ1016)。

第一作者:沈雨思,女,硕士研究生,研究方向为果蔬贮藏与加工技术。

*通信作者:朱丹实,女,教授,博士,主要从事农产品加工与贮藏方面的研究;

励建荣,男,教授,博士,主要从事水产品 and 果蔬贮藏加工及安全控制方面的研究。

越明显^[11]。Paravisini 等^[12]分别对 4℃ 和 35℃ 贮藏 10 周的苹果汁进行分析,发现冷藏明显延缓了果汁褐变指数的增长。Cao 等^[13]对冷藏和常温贮藏 6 个月的超高压草莓汁研究发现,常温贮藏果汁的褐变度和总色差值更高。

目前,果汁长期贮藏的褐变机理以及控制手段已经有一定的研究,但果汁产品开封后短期贮藏过程中非酶褐变与营养、风味等品质指标的变化关系研究较少。本研究以富士苹果为原料,制备 NFC 苹果浊汁。模拟果汁饮料开封后短期贮藏的自然褐变过程,将杀菌后的苹果汁旋盖开口后利用保鲜膜封口,在 4℃ 和 20℃ 两种温度下考察果汁褐变过程中营养和风味指标的变化情况。本研究旨在探究苹果浊汁褐变过程与果汁营养和风味变化的关系,为有针对性地开发苹果浊汁的品质保持技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

富士苹果(*Malus domestica*),锦州市水果批发市场,挑选无损伤、无病虫害的果实作为实验材料。

食品级 D-异抗坏血酸钠,江西省百勤异 VC 钠(集团)有限公司;无水乙醇、氢氧化钠,天津市风船化学试剂科技有限公司;草酸,天津市天力化学试剂有限公司;抗坏血酸、酚酞,天津市大茂化学试剂厂;2,6-二氯酚钠,天津市光复精细化工研究所;碳酸氢钠、碳酸钠,天津市化学试剂批发公司;没食子酸,天津市科密欧化学试剂有限公司;福林酚,北京索莱宝科技有限公司。以上化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

PL303 型电子天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;JP719 型打浆机,浙江苏泊尔电器有限公司;HWS-24 型电热恒温水浴锅,上海一恒科学仪器有限公司;KQ-250E 型超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;Allegra 64R 型离心机,美国贝克曼库尔特公司;2WAJ 型阿贝折光仪,上海申光仪器仪表有限公司;CR-400 型色差仪,上海光学仪器生产厂;L6S 型紫外可见分光光度计,北京仪电分析科技有限公司;PEN-3 型电子鼻,德国 Aisense 科学仪器公司。

1.3 实验方法

1.3.1 果汁制作流程

选择成熟度适中的富士苹果,清洗后去核切块,

放入组织破碎机中打浆 2 min,并按果块质量的 0.1% 加入维生素 C 进行打浆护色^[14]。然后用 300 目的滤布对果浆进行过滤,将灌装好的苹果汁用保鲜膜封口并留出脱气的孔洞置于超声清洗器中,设置超声时间 5 min 进行超声脱气。脱气后的果汁置于 85℃ 恒温水浴锅中,杀菌 10 min,最后使用多层保鲜膜和橡皮圈将冷却好的苹果汁封口,再分别将苹果汁置于 4℃ 和 20℃ 的恒温培养箱中分别贮藏 7 d 和 4 d,直到果汁颜色完全褐化。保鲜膜的作用是透气并防止微生物或者外界杂质引入果汁中。

1.3.2 检测方法

1.3.2.1 色差测定

使用 CR-400 型色差仪对果汁颜色进行测定,测量 L^* 值(亮度)、 a^* 值(红绿色)和 b^* 值(黄蓝色)。总色差 ΔE^* 的计算见式(1)^[15-16]。

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

1.3.2.2 褐变指数测定

参照 Paravisini 等^[12]的方法测定,吸取 5.0 mL 果汁至离心管中,12 000 r/min 离心 5 min。离心后小心吸取上清液移入比色皿中,进行吸光度测量。以蒸馏水为对照在 420 nm 处测量样品的吸光度,进行 3 次平行实验。

1.3.2.3 可溶性固形物测定

利用阿贝折光仪进行测定,单位为°Brix。

1.3.2.4 可滴定酸测定

根据 NaOH 的消耗量计算出苹果浊汁中可滴定酸的含量^[17],其中苹果酸的折算系数为 0.067。

1.3.2.5 维生素 C 含量测定

采用 GB/T 5009.86—2016《食品中抗坏血酸的测定》^[18]中的 2,6-二氯酚滴定法进行测定。

1.3.2.6 总酚测定

采用福林酚法测定总酚含量^[19-20]。以没食子酸为标准品,得出没食子酸的质量浓度(X , mg/mL)与吸光度(Y)的线性关系: $Y = 0.2699X - 0.0150$, $R^2 = 0.9974$ 。

1.3.2.7 电子鼻检测

挥发性风味的测定参考 Zhu 等^[21]的方法,使用 PEN-3 型电子鼻对两种贮藏温度下的果汁样品进行检测。取 15 mL 苹果浊汁注入测量瓶中,测量瓶用 3 层塑料膜进行密封,在室温下放置 30 min 后再使用 PEN-3 型电子鼻进行检测,每个样品需重复测量 3 次。检测采用隔天测量的方式对果汁内的风味

成分进行测量,4℃贮藏的苹果浊汁在第0、1、3、5、7天进行测量,20℃贮藏的苹果浊汁在第0、1、3、4天进行测量。

1.4 数据处理

实验中各个指标均重复测定3次,使用IBM SPSS 20.0处理数据,实验结果以平均值±标准差表示,使用Origin 9绘图。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度对苹果浊汁颜色和褐变程度的影响

2.1.1 不同贮藏温度下颜色的变化

颜色是果蔬汁最重要的品质特征之一,极大地影响产品的市场价值和消费者购买行为^[22]。通过对果汁色差的测量,能够直观地看出果汁颜色的变化趋势。在冷藏和常温条件下,对苹果浊

汁贮藏过程中的色差值变化进行了追踪,结果见表1。随着贮藏时间的增加,在4℃和20℃贮藏的果汁都呈现出 L^* 值和 b^* 值减小,而 a^* 值增大的趋势,说明贮藏期间果汁颜色变暗,黄绿色减少,产生一定程度的褐变。但是冷藏条件下的果汁从第2天以后, L^* 值、 b^* 值和 a^* 值才发生显著变化($P < 0.05$),而常温贮藏下果汁色差值第1天就开始发生显著变化。另外,根据 ΔE^* 值的不同,可以估计处理后样品与未处理样品之间的色差: $0 < \Delta E^* \leq 0.5$ 为不明显, $0.5 < \Delta E^* \leq 1.5$ 为略明显, $1.5 < \Delta E^* \leq 3.0$ 为明显, $3.0 < \Delta E^* \leq 6.0$ 为清晰可见^[23]。在4℃贮藏的果汁总色差值从第5天开始颜色变化清晰可见($\Delta E^* > 3.0$),而20℃贮藏的果汁总色差值从第2天就已经颜色变化清晰可见。研究结果表明,4℃贮藏延缓了果汁颜色的变化。

表1 苹果浊汁贮藏过程中色差的变化

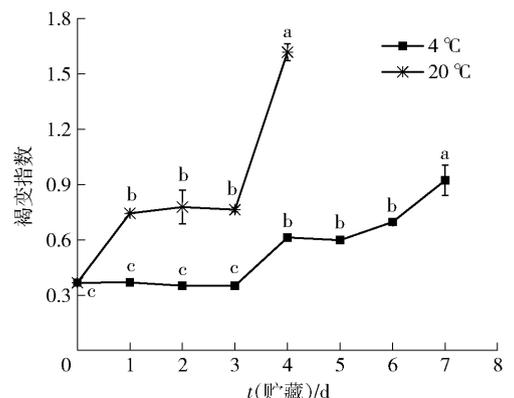
Tab.1 Changes in color difference of cloudy apple juice during storage

色差值	0 d	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	
L^*	4℃	37.61 ± 0.53 ^a	37.43 ± 1.32 ^a	36.55 ± 0.63 ^a	34.23 ± 1.31 ^b	32.63 ± 0.82 ^c	31.90 ± 0.36 ^c	30.23 ± 0.88 ^d	28.07 ± 0.34 ^e
	20℃	37.61 ± 0.54 ^a	36.38 ± 0.48 ^b	35.42 ± 0.77 ^b	32.63 ± 0.81 ^c	27.67 ± 0.34 ^d	—	—	—
a^*	4℃	-7.60 ± 0.21 ^e	-7.61 ± 0.04 ^e	-7.70 ± 0.34 ^e	-6.95 ± 0.42 ^d	-6.71 ± 0.33 ^{cd}	-6.46 ± 0.02 ^c	-4.67 ± 0.09 ^b	-5.13 ± 0.17 ^a
	20℃	-7.60 ± 0.22 ^e	-7.64 ± 0.24 ^c	-6.73 ± 0.29 ^b	-6.71 ± 0.33 ^b	-4.79 ± 0.17 ^a	—	—	—
b^*	4℃	14.50 ± 0.73 ^a	14.24 ± 0.34 ^a	13.90 ± 1.04 ^a	10.47 ± 0.58 ^b	11.53 ± 0.47 ^b	10.68 ± 0.07 ^c	9.25 ± 0.14 ^d	8.15 ± 0.22 ^e
	20℃	14.50 ± 0.74 ^a	13.88 ± 0.62 ^b	12.59 ± 0.92 ^c	11.53 ± 0.47 ^c	8.35 ± 0.22 ^d	—	—	—
ΔE^*	4℃	—	0.31 ± 0.02 ^e	1.22 ± 0.36 ^d	0.75 ± 0.17 ^{cd}	1.37 ± 0.25 ^d	3.03 ± 0.63 ^c	5.86 ± 0.31 ^b	11.72 ± 0.60 ^a
	20℃	—	1.38 ± 0.27 ^d	3.05 ± 0.69 ^c	6.22 ± 0.40 ^b	12.05 ± 0.57 ^a	—	—	—

不同字母表示同行数据差异显著($P < 0.05$);—表示未测定。

2.1.2 不同贮藏温度下褐变指数的变化

通常420 nm处的吸光度能很好地表示水溶性褐色素物质的产生,这一波长下的吸光度被认为是果汁非酶褐变程度的一项重要指标^[24-26]。苹果浊汁贮藏过程中褐变指数变化情况如图1。4℃贮藏下的果汁在3 d后褐变指数开始显著升高($P < 0.05$),在第7天上升至0.92;而20℃贮藏下的果汁在贮藏1 d后褐变指数就开始明显上升,并在第4天上升至1.62,最终的吸光度也明显高于4℃贮藏的果汁。果汁贮藏过程中的主要非酶褐变是多酚类物质和维生素C的氧化。在未密闭的状态,果汁与外界少量的氧接触,加速了果汁中多酚和维生素C的氧化,且温度越高,反应越易发生。



不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

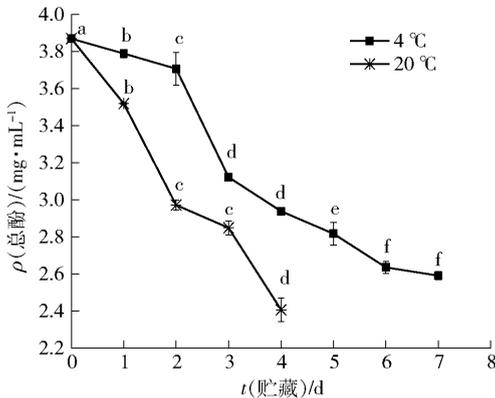
图1 贮藏过程中苹果浊汁褐变指数的变化

Fig.1 Changes on browning index of cloudy apple juice during storage

2.2 不同贮藏温度对苹果浊汁营养物质的影响

2.2.1 不同贮藏温度下总酚含量的变化

不同贮藏温度下苹果浊汁总酚含量变化如图2。随着果汁贮藏时间的增加,两种贮藏温度下果汁的总酚含量均不断下降。20℃贮藏的果汁几乎呈线性下降的趋势,而4℃贮藏初期果汁的总酚含量下降较为缓慢。酚类物质的氧化聚合导致果汁中的酚类物质含量减少,产生急剧下降的原因可能是果汁瓶顶隙中的氧气,导致酚类氧化聚合反应增强,随着氧容量的降低反应趋于平缓^[27]。4℃贮藏可以有效延缓非酶褐变,减少酚类物质的损失。



不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

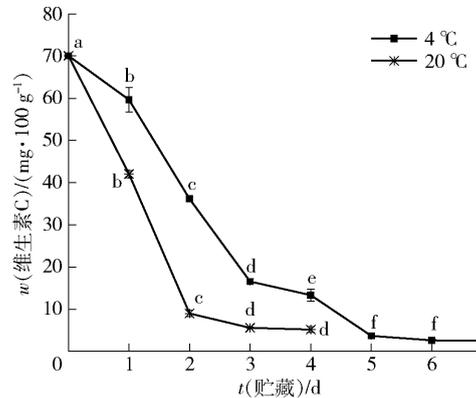
图2 贮藏过程中苹果浊汁总酚含量的变化

Fig.2 Changes on total phenol content of cloudy apple juice during storage

2.2.2 不同贮藏温度下维生素C含量的变化

维生素C由于其酸性和还原性,很容易被氧化和分解,在贮藏过程中也容易氧化生成有色物质,导致果汁颜色加深。4℃和20℃贮藏过程中苹果浊汁维生素C含量的变化如图3。4℃的贮藏条件下,0~5 d维生素C含量显著降低($P < 0.05$),从70.11 mg/100 g下降至3.63 mg/100 g;而在贮藏5 d后果汁的维生素C含量并无显著性差异。20℃贮藏的果汁维生素C含量的变化趋势与4℃的贮藏情况相似,0~3 d维生素C含量骤减,从70.11 mg/100 g急剧下降至5.55 mg/100 g;而在贮藏3 d后果汁的维生素C含量无显著性差异。由图3可知,NFC苹果浊汁无论在何种状态下贮藏,其维生素C都因在贮藏过程中的反应而被不断消耗。这些反应包括维生素C的有氧降解和无氧降解,在有氧的条件下维生素C降解反应速率高于无氧环境下的降解速率^[28]。因此,在果汁贮藏过程中,维生素C含量在贮藏初期骤减,当降低到一定程度后

缓慢下降,但4℃的贮藏条件相较于20℃,降低了维生素C的损失速度,故低温贮藏在一定程度上能延缓维生素C的降解。开封后果汁贮藏期间褐变的主要原因是多酚和维生素C的氧化作用,并且不同温度的贮藏条件下,褐变程度也不同,冷藏明显延缓了苹果浊汁的褐变。



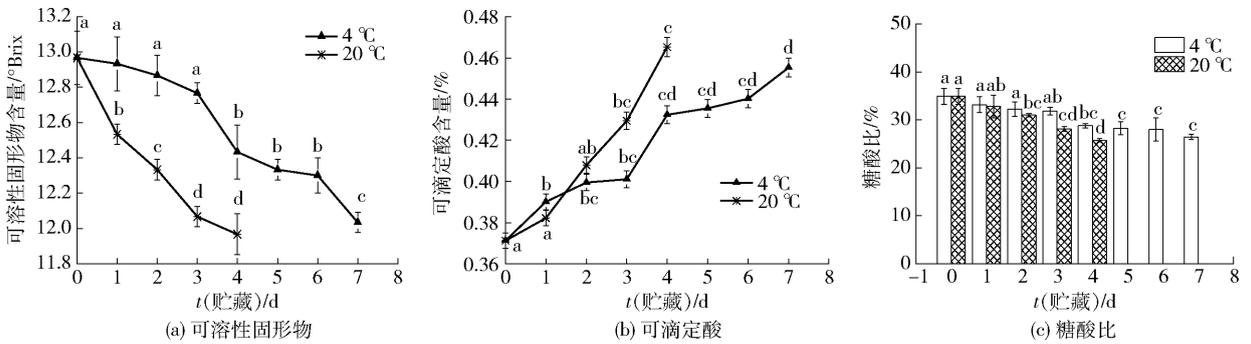
不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

图3 贮藏过程中苹果浊汁维生素C含量的变化
Fig.3 Changes on vitamin C content of cloudy apple juice during storage

2.3 不同贮藏温度对苹果浊汁风味的影响

2.3.1 不同贮藏温度下口味的变化

果汁的风味会受到糖类、氨基酸和挥发性芳香族物质的影响,这些糖和酸组成的平衡会影响果汁的口味^[29]。图4表明了4℃和20℃贮藏过程中可溶性固形物含量、可滴定酸含量和糖酸比的变化。由图4(a)可以看出,在4℃下可溶性固形物含量从0 d的12.9°Brix下降至7 d的12.0°Brix,贮藏过程中可溶性固形物含量整体变化较为缓慢。在20℃的贮藏条件下,苹果浊汁中的可溶性固形物含量从12.9°Brix下降至11.9°Brix,且贮藏过程中可溶性固形物含量下降速度较快。从图4(b)可以看出,在4℃和20℃贮藏期间,苹果浊汁的可滴定酸含量逐渐增加,且20℃贮藏的果汁酸度增加速率明显高于4℃的果汁。结果表明,在苹果浊汁的贮藏期间,贮藏温度对糖度和酸度的变化也有一定的影响。图4(c)为4℃和20℃贮藏时果汁糖酸比的变化,糖酸比由果汁中的糖度与酸度的比值计算得出。果汁在4℃下贮藏0~3 d时,糖酸比并无显著性变化,而在20℃贮藏时,果汁的糖酸比在第2天就与对照果汁(第0天)的糖酸比存在显著性差异($P < 0.05$)。这说明4℃贮藏的果汁在前3 d存放过程中口味并无显著性变化,但随着贮藏时间的延长口



不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

图4 贮藏过程中苹果浊汁口味的变化

Fig. 4 Changes in taste of cloudy apple juice during storage

味逐渐酸化,并且贮藏温度越高,果汁口味劣变越快。

2.3.2 不同贮藏温度下挥发性风味物质的变化

电子鼻主要是模拟人体嗅觉系统,它包含10个金属氧化物传感器,每个传感器对不同气味的敏感程度不同,可以通过对应的雷达图来识别挥发性气味^[30]。使用便携式PEN-3型电子鼻分析了苹果浊汁的气味特征,每个传感器的响应特性为R1(芳香族化合物)、R2(氮氧化物)、R3(氮和芳香族化合物)、R4(氢化物)、R5(烯烃和芳香族化合物)、R6(碳氢化合物)、R7(无机硫化物)、R8(醇类和醛酮类化合物)、R9(芳香族化合物和有机硫化物)、R10(烷烃类和脂肪族)。

图5为4 °C贮藏下苹果浊汁的主成分分析和传感器雷达图。由图5(a)可知,果汁在4 °C贮藏期间,第一主成分和第二主成分的总贡献率为97.62%,其中第一主成分的贡献率为85.23%,第二主成分的贡献率为12.39%。图5(a)中椭圆形代表不同贮藏天数的果汁数据采集点^[31],数据采集点

之间的分散程度越大,组间的区分越明显。由图5(a)可知,不同贮藏时间的苹果浊汁之间挥发性风味数据收集点可以被较好地区分,说明随着贮藏时间的增加,浊汁的挥发性风味已经发生了变化。由图5(b)可知,样品果汁在4 °C贮藏下的风味轮廓随着贮藏时间的增加是先减小后增大的,这说明果汁在贮藏前期风味物质是减少的,而在贮藏后期大幅度增加。在贮藏后期,芳香族化合物(R1)、氮和芳香族化合物(R3)、碳氢化合物(R6)、无机硫化物(R7)、醇类和醛酮类化合物(R8)、烷烃类和脂肪族(R10)6个传感器的值增加,说明贮藏过程中这些风味物质是逐渐增加的,其中包括R1和R8这些对风味有较好影响的芳香族化合物,但也包含对风味有负面影响的风味物质,如无机硫化合物。但是在贮藏过程中氮氧化物(R2)、烯烃和芳香族化合物(R5)和有机硫化物(R9)这些风味物质变化并不大。

图6为20 °C贮藏下苹果浊汁的主成分分析和传感器雷达图。由图6(a)可知,在20 °C条件下果汁在

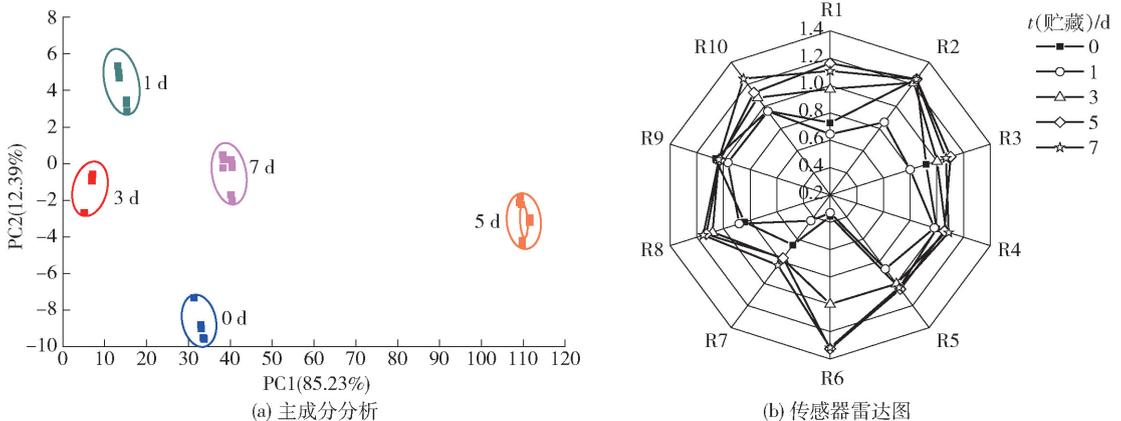


图5 4 °C贮藏条件下苹果浊汁的风味变化

Fig. 5 Flavor changes of cloudy apple juice with 4 °C storage

贮藏期间的第一主成分和第二主成分的总贡献率为 97.06%, 其中第一主成分的贡献率为 80.03%, 第二主成分的贡献率为 17.03%。与 4 °C 贮藏条件下苹果浊汁的风味变化类似, 不同贮藏时间的果汁挥发性风味都被很好地区分开来。由图 6(b) 可知, 20 °C 下贮藏的苹果浊汁仍然显示了风味轮廓先减小后增大的趋势, 并且芳香族化合物、氮和芳香化合物、碳氢化合

物、无机硫化物、醇类和醛酮类化合物、烷烃类和脂肪族也呈现增加的现象。在同样贮藏至 3 d 时, 20 °C 贮藏果汁检测出的 10 个传感器值均高于 4 °C 贮藏的果汁, 并且氮氧化物、氢化物、碳氢化合物、醇类和醛酮类化合物、烷烃类和脂肪族增加较为明显。因此, 与 4 °C 贮藏相比, 20 °C 贮藏的苹果浊汁香味和腐败风味增加速度更快。

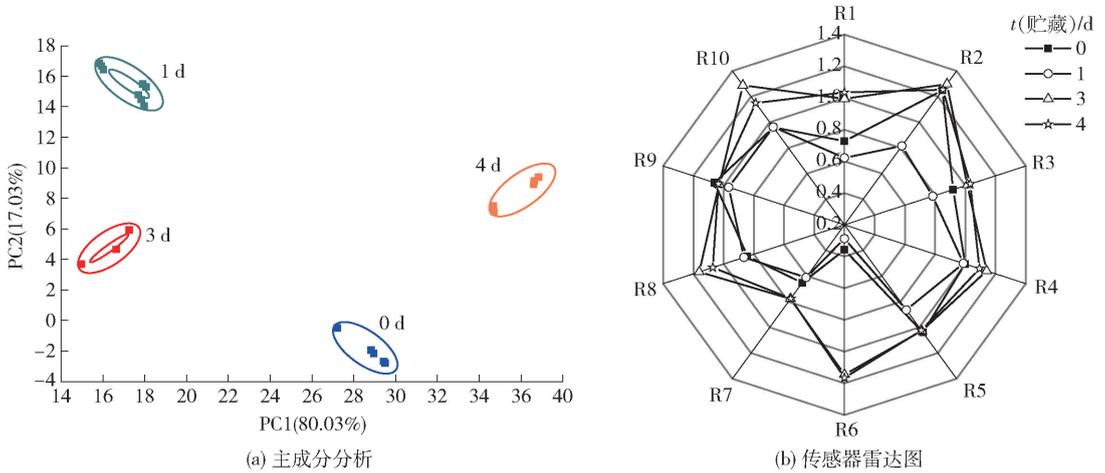


图 6 20 °C 贮藏条件下苹果浊汁的风味变化

Fig. 6 Flavor changes of cloudy apple juice with 20 °C storage

2.4 苹果浊汁褐变与品质变化的相关性分析

为了更明确地表示褐变与苹果浊汁品质指标变化的关系, 对果汁的口味、营养指标和主要的电子鼻传感器响应值进行了相关性分析(表 2)。在两种贮藏温度下, 苹果浊汁的褐变指数与可溶性固形物、可滴定酸、总酚和维生素 C 含量在 0.01 水平(双侧)上均呈极显著负相关。并且口味变化与褐变指数在冷藏条件下相关性更高, 而营养物质含量则在常温条件下与褐变指数的相关性更高。这说明, 冷藏条件下褐变程度与浊汁口味的关系更大, 而常温贮藏下褐变程度与浊汁营养物质含量关系更大。贮藏温度为 4 °C 时, 褐变指数与芳香族化合物、碳氢化合

物、醇醛酮类化合物及烷烃和脂肪族的电子鼻传感器响应值在 0.01 水平(双侧)均呈现极显著正相关, 与氮和芳香化合物传感器响应值在 0.05 水平呈现显著正相关; 而与无机硫化物基本没有相关性。贮藏条件为 20 °C 时, 除了与芳香族化合物和碳氢化合物传感器的响应值在 0.05 水平(双侧)上呈现显著正相关, 与其余风味物质响应值均不显著。这说明, 冷藏条件下苹果浊汁的芳香族化合物、碳氢化合物、醇类和醛酮类化合物、烷烃类和脂肪族等挥发性风味变化与褐变指数的相关性较高, 而常温条件下浊汁的挥发性风味变化对褐变的程度也存在影响, 但影响较小。郝菊芳^[32]对不同贮藏条件下荔枝汁

表 2 苹果浊汁褐变与品质变化的相关性分析

Tab. 2 Correlation analysis of browning and quality change of cloudy apple juice

		可溶性固形物含量	可滴定酸含量	总酚含量	维生素 C 含量	芳香化合物	氮和芳香化合物	碳氢化合物	无机硫化物	醇醛酮类化合物	烷烃和脂肪族
褐变指数	4 °C										
	Pearson 相关性	-0.918 **	-0.925 **	-0.734 **	-0.671 **	0.645 **	0.612 *	0.672 **	-0.064	0.641 **	0.776 **
	显著性(双侧)	0.000	0.000	0.002	0.006	0.009	0.015	0.006	0.821	0.010	0.001
20 °C	Pearson 相关性	-0.787 **	-0.758 **	-0.924 **	-0.754 **	0.641 *	0.498	0.675 *	0.000	0.510	0.406
	显著性(双侧)	0.002	0.004	0.000	0.005	0.025	0.100	0.016	0.999	0.090	0.191

* 表示差异显著($P < 0.05$), ** 表示差异极显著($P < 0.01$)。

的研究中发现,冷藏对香气成分保留率高于常温贮藏。这说明低温贮藏有助于香气成分的保留,可能是由于低温延缓了贮藏过程中碳水化合物和脂肪酸的分解。

3 结 论

NFC 苹果浊汁在开封后短时间贮藏过程中色泽会随着贮藏时间的增加而加深,总酚和维生素 C 含量逐渐降低,可溶性固形物含量的降低和可滴定酸含量的上升导致了糖酸比下降,致使果汁口味变差。果汁的挥发性风味在贮藏期间变得逐渐浓厚,但是腐败的风味也在同时增加。温度是控制贮藏时间的关键要素,低温能在一定程度上减缓果汁的褐变。在 4 ℃贮藏前期果汁颜色、褐变指数和口味的变化均不明显,营养物质含量下降也较为缓慢,并延缓了苹果浊汁的风味劣变。品质指标与褐变指数之间有很强的相关性,其中冷藏条件下褐变程度与浊汁的风味关系较大,而常温贮藏下褐变程度与苹果浊汁营养品质的关系更大。

参考文献:

[1] 豆常潇. 中国苹果汁出口贸易研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015:1-5.
DOU C X. Exporting trade of Chinese apple juice [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015:1-5.

[2] PANZELLA L, PETRICCIONE M, REGA P, et al. A reappraisal of traditional apple cultivars from southern Italy as a rich source of phenols with superior antioxidant activity [J]. *Food Chemistry*, 2013,140(4):672-679.

[3] 易俊洁, 周林燕, 蔡圣宝, 等. 非浓缩还原苹果汁加工技术研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2019,40(16):336-342.
YI J J, ZHOU L Y, CAI S B, et al. Advances in processing technology of NFC apple juice [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019,40(16):336-342.

[4] 易俊洁. 基于清洁标签理念的苹果与猕猴桃复合浊汁品质研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2017:9-11.
YI J J. Quality changes in cloudy apple-kiwifruit mixed juice: innovative clean label concept [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017:9-11.

[5] 李顺峰, 李静, 王安建, 等. 真空充氮热处理对鲜切双孢蘑菇贮藏中褐变的影响 [J]. *食品科学技术学报*, 2016,34(5):64-69.
LI S F, LI J, WANG A J, et al. Effects of filling nitrogen

in vacuum combined with heat treatment on browning of fresh-cut *Agaricus bisporus* under cold storage [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016,34(5):64-69.

[6] 梁亚男, 叶发银, 雷琳, 等. 苹果汁褐变控制技术的研究进展 [J]. *食品与发酵工业*, 2018,44(3):280-286.
LIANG Y N, YE F Y, LEI L, et al. Advance in browning control technology of apple juice [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018,44(3):280-286.

[7] ZHU D, BAO P J, EUM H L, et al. Evaluation of the non-enzymatic browning in thermally processed apple juice by front-face fluorescence spectroscopy [J]. *Food Chemistry*, 2009,113(1):272-279.

[8] 李根, 初乐, 马寅斐, 等. 新型热和非热加工对非浓缩还原苹果汁品质影响的研究现状 [J]. *食品与发酵工业*, 2020,46(6):301-306.
LI G, CHU L, MA Y F, et al. Research status of effect of new thermal and non-thermal processing on the quality of NFC apple juice [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020,46(6):301-306.

[9] ILLERA A E, SANZ M T, BENITO-ROMAN O, et al. Effect of thermosonication batch treatment on enzyme inactivation kinetics and other quality parameters of cloudy apple juice [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018,47(12):71-80.

[10] ZHANG X, TAO N, WANG X, et al. The colorants, antioxidants, and toxicants from nonenzymatic browning reactions and the impacts of dietary polyphenols on their thermal formation [J]. *Food Function*, 2015,6(2):345-355.

[11] ROIG M G, BELLO J F, RIVERA Z S, et al. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice [J]. *Food Research International*, 1999,32(9):610-619.

[12] PARAVISINI L, PETERSO D G. Role of reactive carbonyl species in non-enzymatic browning of apple juice during storage [J]. *Food Chemistry*, 2018,245(12):1010-1017.

[13] CAO X, BI X, HUANG W, et al. Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2012,16(3):181-190.

[14] 廖小军, 辛乐, 胡小松. 鲜榨苹果汁工业化生产技术 [J]. *食品工业科技*, 1998,3(6):58-59.
LIAO X J, XIN L, HU X S. Industrial production technology of freshly squeezed apple juice [J]. *Food Industry Science and Technology*, 1998,3(6):58-59.

- [15] SHEN Y, ZHU D, XI P, et al. Effects of temperature-controlled ultrasound treatment on sensory properties, physical characteristics and antioxidant activity of cloudy apple juice [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 142(3): 111030.
- [16] YI J, KEBEDE B T, HAI DANG D N, et al. Quality change during high pressure processing and thermal processing of cloudy apple juice [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 75: 85–92.
- [17] 张梦月. 苹果汁在感应电场处理下的理化品质变化研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2018: 16–17.
- ZHANG M Y. Study on the change of physicochemical properties of apple juice treated by induced electric field [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018: 16–17.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会. 食品中抗坏血酸的测定: GB/T 5009. 86—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 9–11.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of ascorbic acid in food: GB/T 5009. 86—2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 9–11.
- [19] AINSWORTH E A, GILLESPIE K M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent [J]. *Nature Protocols*, 2007, 2(4): 875–877.
- [20] 马国为, 姚婷, 谈太聪, 等. 酿酒酵母 PDEs 基因缺失对蓝莓果酒抗氧化及挥发性物质的影响 [J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(6): 71–80.
- MA G W, YAO T, TAN T C, et al. Effects of PDEs gene deletion in *Saccharomyces cerevisiae* on antioxidant and volatile compounds in blueberry wine [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 37(6): 71–80.
- [21] ZHU D S, REN X J, WEI L W, et al. Collaborative analysis on difference of apple fruits flavour using electronic nose and electronic tongue [J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 260(27): 108879.
- [22] BHAT R, GOH K M. Sonication treatment convalesce the overall quality of hand-pressed strawberry juice [J]. *Food Chemistry*, 2017, 215(15): 470–476.
- [23] CSERHALMI Z, SASS-KISS A, TOTH-MARKUS M, et al. Study of pulsed electric field treated citrus juices [J]. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 2006, 7(12): 50–54.
- [24] 鲍若晗. 小白杏饮料的研制及加工和储藏过程中非酶褐变的研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012: 26–34.
- BAO R H. Preparation of apricot (*Prunus armenzaca*) nectar and its non-enzymatic browning during processing and storage [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2012: 26–34.
- [25] 陈春, 黎家妍, 黄泽鹏, 等. 氧化白藜芦醇对鲜切苹果及果汁褐变的影响 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40(20): 285–295.
- CHEN C, LI J Y, HUANG Z P, et al. Effects of oxyresveratrol on browning of fresh-cut apples and apple juice [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(20): 285–295.
- [26] 李京赞, 刘玉德, 石文天, 等. 植物果蔬的褐变及抑制的研究 [J]. *包装与食品机械*, 2019, 37(1): 63–68.
- LI J Z, LIU Y D, SHI W T, et al. Advances in research on browning and inhibition of plant fruits and vegetables [J]. *Packaging and Food Machinery*, 2019, 37(1): 63–68.
- [27] BURDURLU H S, KARADENIZ F. Effect of storage on nonenzymatic browning of apple juice concentrates [J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(1): 91–97.
- [28] BLASCO R, ESTEVE M J, FRIGOLA A, et al. Ascorbic acid degradation kinetics in mushrooms in a high-temperature short-time process controlled by a thermoresistometer [J]. *LWT-Food Science Technology*, 2004, 37(2): 171–175.
- [29] YI J, KEBEBE B T, HAI D N, et al. Quality change during high pressure processing and thermal processing of cloudy apple juice [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 75(2): 85–92.
- [30] 朱丽云, 张拥军, 何杰民, 等. 不同工艺热反应风味香料的电子鼻检测 [J]. *中国食品学报*, 2012, 12(2): 213–218.
- ZHU L Y, ZHANG Y J, HE J M, et al. Electronic nose detection of thermal reaction flavors from different processes [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2012, 12(2): 213–218.
- [31] TIAN X Y, CAI Q, ZHANG Y M. Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method [J]. *Sensors*, 2011, 12(12): 260–277.
- [32] 郝菊芳. 荔枝汁加工中营养和典型香气成分的变化研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 13–18.
- HAO J F. Study on the variation of nutrition and typical aroma of litchi juice during processing [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008: 13–18.

Study on Correlation of Browning and Quality of NFC Cloudy Apple Juice

SHEN Yusi, ZHU Danshi*, PAN Yue, CAO Xuehui, LIU He, LI Jianrong*

(College of Food Science and Technology, Bohai University/National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products/Food Safety Key Lab of Liaoning Province/The Fresh Food Storage and Processing Technology Research Institute of Liaoning Provincial Universities, Jinzhou 121013, China)

Abstract: Browning is one of the vital factors that deteriorate the quality of juice. In this study, the natural browning process of NFC cloudy apple juice was simulated during short-term storage at 4 °C and 20 °C in an unsealed and incompletely airtight state, and the changes in nutrition and flavor of cloudy apple juice during browning were analyzed. The results showed that the degree of browning during storage of NFC cloudy apple juice was affected by storage temperature and time directly. At the both two storage temperatures, the color of the cloudy apple juice was continuously deepening, and the contents of total phenol and vitamin C were gradually decreasing with the prolonged storage time. The decrease of soluble solids content and the increase of titratable acid led to a decrease in the sugar-acid ratio. Among them, the speed of juice quality deterioration relatively fast at 20 °C storage. However, at 4 °C storage, the quality change was not obvious at the initial stage of storage, which obviously accelerated at the later stage of storage. In the early stage of storage, the volatile flavor compounds of NFC cloudy apple juice, such as aromatic compounds and nitrogen oxide compounds decreased. However, in the later stage of storage, hydrocarbons, inorganic sulfides, alkanes and aliphatic substances gradually increased. Correlation analysis of browning and the quality indicators of cloudy apple juice showed that the degree of browning had a greater correlation with the taste and volatile flavor of cloudy apple juice at cold storage, while it had a greater correlation with the nutrient contents at room temperature storage. This study could enrich the juice storage mechanism and provide theoretical reference on study and control quality change of cloudy apple juice during processing and short-term storage after opening.

Keywords: NFC; cloudy apple juice; storage; browning; nutrition; flavor

(责任编辑:张逸群)