

不同焙烤条件的烤马铃薯条品质对比

刘淼, 王宝心, 祁立波, 姜鹏飞, 刘春雨, 温成荣

(大连工业大学食品学院, 国家海洋食品工程技术研究中心, 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 海洋活性多糖开发应用技术国家地方联合工程实验室, 辽宁大连 116034)

摘要: 为了探究烤马铃薯条的焙烤工艺, 对比分析了不同焙烤温度和时间组合下, 马铃薯条的水分含量、水分状态、抗氧化性、总酚含量、风味物质、色度及质构特性的变化规律。结果表明, 随着焙烤温度的升高和焙烤时间的缩短, 烤马铃薯条的水分流动性和水分含量均呈现降低的趋势, 硬度和咀嚼度呈现先下降后上升趋势, 抗氧化性和总酚含量呈现上升的趋势; 烤马铃薯条色泽逐渐加深。不同的焙烤条件组合对烤马铃薯条主要风味物质种类的影响不显著, 但对风味物质含量的影响较为明显。其中 160 °C 烤 25 min 条件下, 马铃薯条硬度为 1532.14 g; 而 DPPH 自由基清除率为 85.25%, 总酚含量为 279.18 mg/100 g, 相对较高; 且香味明显, 色泽鲜亮, 是比较合适的焙烤条件。该研究可为马铃薯在食用或加工中选择适宜的焙烤条件提供理论参考。

关键词: 焙烤; 马铃薯; 温度; 时间; 品质

文章编号: 1673-9078(2020)04-202-209

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.4.027

Quality Comparison of Baked Potato Strips under different Baking Conditions

LIU Miao, WANG Bao-xin, QI Li-bo, JIANG Peng-fei, LIU Chun-yu, WEN Cheng-rong

(National Engineering Research Center of Seafood, Collaborative Innovation Center of Provincial and Ministerial Co-construction for Seafood Deep Processing, National and Local Joint Engineering Laboratory for Marine Bioactive Polysaccharide Development and Application, School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: In order to investigate the baking process of baked potato strips, changes in moisture content, water state, antioxidative activity, total phenol content, flavor substances, degree of color and texture characteristics of potato strips prepared with different baking temperatures and baking times were analyzed. Increase of baking temperature and decrease of baking time could lead to the water moiility and moisture content of baked potato strips decreased, while the degree of hardness and chewing decreased at first and then increased. The antioxidant activity and total phenolic content showed an upward trend with gradually deepened color. There were no significant effects on the main flavor species of baked potato strips, but the influence on the content was obvious. Under the baking condition of 160 °C, 25 min, the hardness of potato strip was 1532.14 g, and the DPPH free radical scavenging rate was 85.25% and the total phenolic content was 279.18 mg/100 g, which were relatively high. The baked potato strips had bright flavor, bright color, indicating that this above baking condition was suitable. This study will provide a theoretical reference for selecting suitable baking conditions for the potato to be eaten or processed.

Key words: baking; potato; temperature; time; quality

引文格式:

刘淼,王宝心,祁立波,等.焙烤条件对烤马铃薯条品质的影响[J].现代食品科技,2020,36(4):202-209

LIU Miao, WANG Bao-xin, QI Li-bo, et al. Effects of baking conditions on the quality of baked potato strips [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 202-209

收稿日期: 2019-11-08

基金项目: 国家重点研发计划重点专项 (2016YFD0401300), 大连市科技之星 (2018RQ55)

作者简介: 刘淼 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏

通讯作者: 温成荣 (1984-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品资源开发与利用

马铃薯又称为“土豆”、“洋山芋”等^[1],在我国已经有400多年种植历史。其味道鲜美,营养丰富,深受人们的欢迎。马铃薯是碳水化合物、蛋白质和维生素极好的植物来源^[2],还含有酶、膳食纤维和一些酚醛类物质^[3]。此外,马铃薯还具有一些生理特性,例如调节血糖和血脂,提高免疫力,防止炎症甚至抗癌等,因而得到了广泛的关注和研究^[4]。作为世界第四大粮食作物^[5],马铃薯在多个国家作为主食,但在我国主要作为菜肴食用。近年来,在国家推动马铃薯主食化的背景下,我国马铃薯主食化产业迅猛发展,而加工方式是马铃薯主食化的关键^[6]。烘烤是重要的马铃薯加工方式。与蒸制和煮制相比,烘烤马铃薯的质构特性差异不显著^[7],但产生的风味物质种类更为丰富^[8,9],色泽更深,水分含量更低且马铃薯膳食纤维改变更小^[10]。此外,马铃薯品质特性与加工的温度和时间密切相关。研究发现干燥温度越高,马铃薯的失水速率越快^[11]。然而目前研究多集中于加工方式的选择,关于加工条件的变化对马铃薯水分、物性、风味物质、营养成分及其他方面品质的影响鲜见报道。薯条是一种常见的马铃薯加工产品。烤马铃薯条具有酥脆的口感,与油炸薯条相比有更低的脂肪含量,是一种健康美味的消费方式,更易被大众接受。目前市场油炸薯条较为常见,而鲜有烤薯条相关产品,因此其具有广阔的市场前景。

本文系统研究了5种不同温度和时间的条件组合下对烘烤马铃薯条(以下简称“烤薯条”)品质的影响。采用低场核磁(以下简称“LF-NMR”)技术分析烤马铃薯条的水分状态;采用电子鼻评价了烤马铃薯条挥发性风味物质;利用质构仪、测色仪对烤马铃薯条质构、色度进行测定并对其营养成分进行分析,综合评价温度和时间对烘烤马铃薯条品质的影响,分析其变化规律,可为马铃薯的烘烤加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯(大西洋),甘肃薯香园农业科技有限公司;干物质含量23%,淀粉含量16%,还原糖含量0.03%。

甲醇(分析纯)、乙醇(分析纯),北京宝希迪科技有限公司;75%乙醇,天津市大茂化学试剂厂;福林酚,生工生物工程股份有限公司;1,1-苯基-2-苦基肼自由基, Sigma-aldrich 贸易有限公司;抗坏血酸、无水碳酸钠、没食子酸,上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

NMI20-030H-I核磁成像分析仪,上海纽迈电子科技有限公司;TA.XT.Plus物性测试仪,英国SMS公司;UltraScan Pro测色仪,美国HunterLab公司;LPEN3电子鼻,德国Airsense公司;电子顺磁共振波谱仪,德国Bruker BioSpin有限公司;TU-1901双光束紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;MB27快速水分测定仪,奥豪斯仪器(常州)有限公司;550台式低速离心机,湖南湘仪实验仪器开发有限公司;WK-600A小型高微粉碎机山东省青州市精诚医药装备制造有限公司;SCC-WE101型万能蒸烤箱,德国Rational公司;电磁炉,广东美的生活电器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

将马铃薯洗净,去皮,用不锈钢切片机切成7 mm×7 mm×4 cm的马铃薯条,将薯条在流水中冲洗1 min以除去表面的淀粉,用滤纸除去表面的水。将马铃薯条放入预热至烘烤温度的烤箱中,烘烤完后取出冷却15 min,备用。烘烤条件分别为120℃烤35 min、140℃烤30 min、160℃烤25 min、180℃烤20 min及200℃烤15 min(烘烤条件以下分别简称为“A”、“B”、“C”、“D”和“E”)。

1.3.2 水分分布的测定

将烤薯条放入LF-NMR分析仪样品管中,磁场温度32℃,强度0.5 T。用CPMG脉冲序列测量的横向弛豫时间 T_2 ,CPMG实验参数设置为:SF(MH)=21, P1(μ s)=27, SW(kHz)=50, TW(ms)=1500, NS=4, P2(μ s)=54, Echocnt=2500。通过对序列指数衰减曲线图经分析软件进行批量反演,得到不同烘烤条件下烤薯条的横向弛豫时间 T_2 谱图。

1.3.3 水分含量的测定

将烤薯条研碎,取5.00 g放入快速水分测定仪铝盘中,测定其水分含量。

1.3.4 风味物质测定

称取5.00 g研碎的烤薯条,置于40 mL的样品瓶中,密封。使用PEN3电子鼻进行风味检测。样品间隔5 s,样品准备10 s,检测时间100 s,清洗时间2 min,气体流量400 mL/min,等待时间10 s。

1.3.5 质构的测定

采用质构仪的P100探头对烤薯条质构特性进行测定。选择TPA模式;测前速率、测试速率和测后速率均为1.00 mm/s;压缩比例为65%;触发力为5 g^[12]。

1.3.6 色泽品质的测定

用测色仪测定烤薯条表面的色度。对照为鲜薯,

色泽参数为 L_0 、 a_0 、 b_0 ，烤薯条色泽参数为 L^* 、 a^* 、 b^* 。此外，色度和总色差 (TCD) 按公式(1)、(2)计算^[13]。TCD 表示烤薯条与生马铃薯条色差的大小，用 ΔE 表示，TCD 越小代表色泽变化小，色泽越接近。

$$\text{色度} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (2)$$

1.3.7 总酚含量的测定

1.3.7.1 标准曲线的绘制

以没食子酸为标准，绘制多酚含量的标准曲线 ($y=0.018x+0.002$, $R^2=0.997$)。

1.3.7.2 总酚含量的测定

将冻干的烤薯条粉碎，称取 1.8 g，加入 25 mL 的 75%乙醇，80 °C 水浴加热 10 min 后 8000 r/min 离心 15 min，提取 3 次，提取液定容至 100 mL；取 1 mL 提取液，加 5 mL 水，2 mL 福林酚溶液，3 min 后，加 2 mL 的 7.5% Na_2CO_3 溶液，静置 1 h 后在 765 nm 处测定其吸光度^[14]。

1.3.8 抗氧化活性的测定(DPPH 自由基清除力)

参照吴晓敏等^[15]方法，称取 0.0197 g 的 DPPH，用乙醇溶解定容至 500 mL，配制 0.1 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液。将冻干的烤薯条粉碎，取 0.08 g，于 50 mL 离心管中，加 10 mL 甲醇，分别取 1 mL 于两组(a 组和 b 组)50 mL 离心管中，a 组管加 20 mL 无水乙醇，b 组管加 20 mL 的 DPPH 乙醇溶液；避光放置 30 min，

8000 r/min 离心 15 min，上清液转移入试管中，以乙醇为空白测定 518 nm 吸光度，分别记为 A_1 ， A_2 。测定 DPPH 乙醇溶液吸光度，记为 A_0 。DPPH 自由基清除率按公式(3)计算。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = [A_0 - (A_2 - A_1)] / A_0 \times 100\% \quad (3)$$

1.3.9 数据分析

实验数据以平均值±标准差表示，使用 SPSS 20.0 软件，结合 Duncan's 检验($p < 0.05$)进行显著性分析，使用 Origin 8.6 软件作图。每个实验重复 3 次。

2 结果与讨论

2.1 焙烤条件对烤薯条水分分布的影响

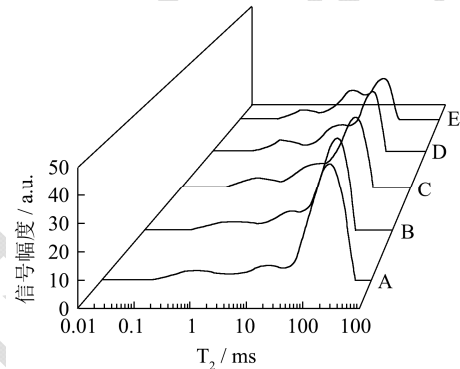


图 1 不同焙烤条件下薯条水分分布

Fig.1 Water distribution of potato strips under different baking conditions

注：A: 120 °C 烤 35 min; B: 140 °C 烤 30 min; C: 160 °C 烤 25 min; D: 180 °C 烤 20 min; E: 200 °C 烤 15 min。

表 1 不同焙烤条件下薯条横向弛豫时间(T_2)和峰面积(A_2)

Table 1 Transverse relaxation time (T_2) and peak area (A_2) of potato strips under different baking conditions

条件	T_2/ms			A_2		
	T_{21}	T_{22}	T_{23}	A_{21}	A_{22}	A_{23}
A	0.51±0.09 ^{ab}	13.76±1.91 ^a	145.53±18.06 ^a	89.06±4.71 ^a	115.97±12.30 ^a	1038.98±6.66 ^a
B	0.52±0.03 ^a	10.93±1.67 ^{ab}	79.85±8.31 ^b	132.73±17.57 ^b	154.59±5.36 ^{ab}	786.53±58.58 ^b
C	0.49±0.02 ^{ab}	8.57±0.33 ^{bc}	66.48±10.13 ^{bc}	105.35±10.49 ^{ab}	201.40±23.19 ^b	661.98±27.82 ^c
D	0.44±0.05 ^{ab}	9.11±1.59 ^{bc}	54.65±6.05 ^{cd}	128.12±16.51 ^b	216.08±59.29 ^b	551.01±37.16 ^d
E	0.42±0.02 ^b	6.98±1.89 ^d	34.88±3.41 ^d	105.32±22.94 ^{ab}	302.00±38.18 ^c	429.37±42.02 ^e

注：同一列标有不同的的小写字母表示有显著差异性， $p < 0.05$ 。A~E 分别代表 120 °C 烤 35 min、140 °C 烤 30 min、160 °C 烤 25 min、180 °C 烤 20 min 和 200 °C 烤 15 min 焙烤条件。

根据 NMR 原理，质子所处的化学环境不同，其弛豫时间 T_2 的长短便不相同，水分的自由度也不同^[16,17]。弛豫时间 T_2 越短表明水与物质结合越紧密，越难流动。由图 1 可以看出，不同焙烤条件下薯条的 T_2 谱都有 3 个峰，分别为 T_{21} (0.1~1 ms)、 T_{22} (1~30 ms)、 T_{23} (>30 ms)。其中 T_{21} 组分以吸附在淀粉颗粒外面的薄层水为主，可定义为结合水^[18,19]； T_{23} 组分的水流动

性好，定义为自由水； T_{22} 组分的水自由度介于结合水与自由水之间，容易发生转化，定义为不易流动水。随着焙烤温度的升高和时间的缩短， T_2 图谱整体向左移动，自由水峰面积不断减小，水分的流动性和含量均呈降低的趋势。表 1 中，随着焙烤温度的升高， T_{21} 变化很小，稳定在 0.5 ms 左右； T_{22} 、 T_{23} 呈显著降低趋势， T_{22} 由 A 的 13.76 ms 降至 E 的 6.98 ms， T_{23} 由

A 的 145.53 ms 降至 E 的 34.88 ms, 可以看出 T_2 逐渐向左移动, 自由水 T_{23} 逐渐减小并向不易流动水 T_{22} 迁移。峰面积 A_2 反映了相应的含水率^[20], 其中 A_{23} 显著降低, 由 A 的 1038.98 降至 E 的 429.37, 表明自由水含量显著下降($p<0.05$); A_{21} 无明显变化趋势; A_{22} 呈升高趋势, 由 A 的 115.97 升至 E 的 302.00。这是因为烤薯条内自由水的自由度大, 易被脱除, 受温度和时间影响更大; 不易流动水上升的可能原因其一是

自由水脱除的增加导致烤薯条内部黏度的升高, 进而对水分束缚作用增大, 不易流动水脱除幅度较小, 其二是, 随着温度的升高, 部分自由水转化为不易流动水, 因此呈上升趋势^[21]; 结合水键能较强, 流动性低, 温度对其影响较小, 因此变化幅度不明显^[22]。

2.2 焙烤条件对烤薯条水分含量的影响

表 2 不同焙烤条件下薯条水分含量(湿基)

Table 2 The moisture content of potato strips under different baking conditions (wet basis)

指标	条件					
	鲜薯	A	B	C	D	E
水分含量/%	74.26±2.26 ^a	53.35±2.55 ^b	46.99±3.75 ^c	41.26±1.39 ^d	36.67±3.17 ^d	23.26±1.42 ^e

注: 标有不同的小写字母表示有显著差异性, $p<0.05$ 。A: 120 °C 烤 35 min; B: 140 °C 烤 30 min; C: 160 °C 烤 25 min; D: 180 °C 烤 20 min; E: 200 °C 烤 15 min。

由表 2 数据可以看出, 随着焙烤温度的升高, 马铃薯水分含量逐渐降低。鲜薯的水分含量为 74.26%, 焙烤后马铃薯的水分含量从 A 的 53.35% 显著降低至 E 的 23.26%。此结果与水分状态变化趋势相符。焙烤温度对烤薯条水分含量影响大于焙烤时间。这可能是因为马铃薯在加工过程中会因细胞组织破坏导致其水分流失, 而高温焙烤使薯条内水分蒸发更快^[23]。

2.3 焙烤条件对烤薯条风味物质的影响

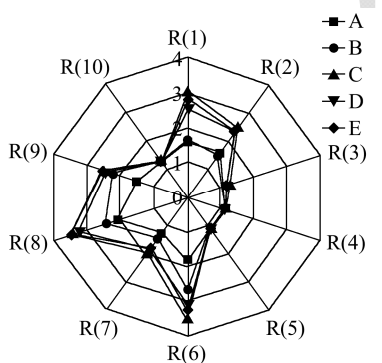


图 2 不同焙烤条件下薯条挥发性成分电子鼻雷达图

Fig.2 Electronic nasal radar diagram of volatile components of potato strips under different baking conditions

注: A: 120 °C 烤 35 min; B: 140 °C 烤 30 min; C: 160 °C 烤 25 min; D: 180 °C 烤 20 min; E: 200 °C 烤 15 min。

图 2 是烤薯条挥发性成分的电子鼻雷达图。5 种焙烤条件下马铃薯的雷达图轮廓相似, 主要风味物质基本相同。其中传感器 1、2、6、8、9 信号明显, 且传感器 6 和 8 的信号值最大。传感器 1 对芳烃化合物灵敏, 传感器 2 对氮氧化物很灵敏, 传感器 6 对甲基类灵敏, 传感器 8 对醇类、醛酮灵敏, 传感器 9 对芳香成分和有机硫化物灵敏^[24]。结合 PEN3 电子鼻传

感器类型, 说明焙烤马铃薯的风味物质可能含有芳烃、氮氧化物、烃类、醇类、醛酮、芳香成分和有机硫化物。但传热和传质过程的变化造成不同焙烤条件下风味物质的差异^[8]。相比于 A 和 B, 高温短时烘烤的薯条产生的挥发性风味物质使电子鼻传感器响应信号值偏高一些, 以传感器 6 为例, A 和 B 分别为 1.83 和 2.66, 而 C、D 和 E 分别为 3.55、3.13 和 3.28, 其他传感器值的变化趋势与其相似。在 C、D 和 E 条件下, 风味物质成分接近, 可能因为马铃薯内部相关的化学反应(脂质降解、美拉德反应、糖类物质分解)进行得更加彻底, 因此产生了更多的挥发性风味物质^[7]。

2.4 焙烤条件对烤薯条质构的影响

硬度和咀嚼度是果蔬重要质构特性, 能够直观反映加工条件对果蔬品质的影响^[25]。由图 3 可以看出, 烤薯条质构受到焙烤温度和时间的影响^[10], 随着焙烤温度的升高和时间的缩短, 烤薯条硬度和咀嚼度变化趋势相似, 先下降后上升。A 到 C 硬度和咀嚼度呈下降趋势($p<0.05$), 硬度值由 4557.53 g 下降到 1532.14 g, 咀嚼度值由 3587.18 下降到 714.50, 可能是因为开始时随着焙烤温度的不断增加, 马铃薯细胞持续失水, 细胞壁以及细胞膜发生不可逆性变化^[26]; 其中高分子量果胶聚糖增溶, 黏合细胞的果胶物质发生 β -消除反应, 导致细胞间的黏合性降低, 细胞分离, 薯条结构被破坏^[27], 因此硬度和咀嚼度降低。C、D 趋于平稳, D 到 E 继续呈上升趋势($p<0.05$), D 和 E 的硬度值分别为 1613.43 和 3760.66, 咀嚼度值分别为 1236.75 和 2821.17, 可能因为随着温度继续升高, 烤薯条内部水分继续降低, 但表面水分大量蒸发导致组织硬化, 硬度和咀嚼度再次升高。

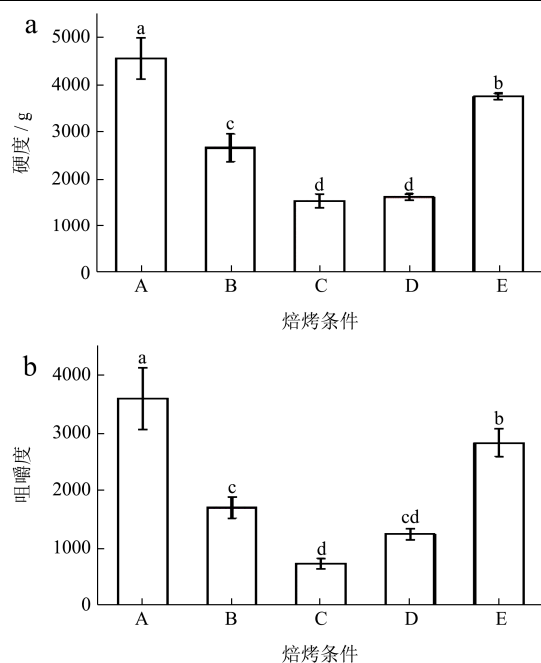


图3 不同焙烤条件下薯条硬度(a)和咀嚼度(b)

Fig. 3 The hardness (a) and chewiness (b) of potato strips under different baking conditions

注: 不同的小写字母表示有显著差异性, $p < 0.05$ 。A: 120 °C 烤 35 min; B: 140 °C 烤 30 min; C: 160 °C 烤 25 min; D: 180 °C

烤 20 min; E: 200 °C 烤 15 min.

2.5 焙烤条件对烤薯条色泽的影响

色度不仅是焙烤马铃薯的感官特性品质指标, 也影响着消费者对焙烤马铃薯的接受程度。由表 3 可知, 相比于对照, B 和 C 薯条的 L^* 值均显著增加; 所有条件焙烤后薯条 a^* 值均显著减小; B、C 和 E 薯条的 b^* 值出现显著性差异。

亮度增强、红色减弱和蓝色的改变, 可能因为薯条经焙烤后发生焦糖化与美拉德反应所致^[28]。C 中 L^* 值较高, a^* 值和 b^* 值均较低, 原因可能是该条件下美拉德反应进行程度比较低, 烤薯条呈现出鲜亮的颜色。条件 E 的 L^* 值为 59.78, 低于其他所有条件, 可能原因是相比其他焙烤条件此条件处理后马铃薯中的酚类物质含量较高^[29], 在酶的作用下会生成某些黑色素, 从而导致马铃薯表面色泽较暗。E 的薯条色泽较深, 与其他 4 种焙烤条件差异显著 ($p < 0.05$), 但 A 和 D 焙烤后的色泽差异不显著 ($p > 0.05$)。相比其他焙烤条件, D 中 ΔE 的值最小, 说明其最大限度地保留了鲜薯的色泽。不同焙烤条件烤薯条色泽由浅到深依次为: $C < D < A < B < E$ 。

表 3 不同焙烤条件下薯条色度

Table 3 The color of potato strips under different baking conditions

指标	条件					
	鲜薯	A	B	C	D	E
L^*	60.68±0.35 ^a	60.97±2.07 ^{ab}	63.88±1.84 ^{bc}	64.25±1.19 ^c	61.25±0.91 ^{ab}	59.78±1.92 ^a
a^*	-1.67±0.16 ^a	-3.56±0.24 ^d	-2.84±0.12 ^c	-3.92±0.45 ^e	-3.83±0.09 ^{de}	-2.32±0.19 ^b
b^*	12.05±0.79 ^c	12.44±0.31 ^{bc}	13.25±0.31 ^b	10.51±0.45 ^d	12.19±0.42 ^c	15.98±0.57 ^a
色度	12.16±0.76 ^{cd}	12.94±0.36 ^{bc}	13.55±0.32 ^b	11.22±0.40 ^d	12.78±0.41 ^{bc}	16.15±0.55 ^a
ΔE		2.54±0.60 ^a	3.63±1.68 ^{ab}	4.55±1.12 ^b	2.38±0.12 ^a	4.26±0.67 ^{ab}

注: 同一行标有不同的小写字母表示有显著差异性, $p < 0.05$ 。A: 120 °C 烤 35 min; B: 140 °C 烤 30 min; C: 160 °C 烤 25 min; D: 180 °C 烤 20 min; E: 200 °C 烤 15 min.

2.6 焙烤条件对烤薯条总酚含量的影响

烤薯条总酚含量如表 4 所示。总酚是马铃薯中酚类物质的总和, 对人体有潜在的益处, 如降低胆固醇、血糖、血脂和心血管病等。由表 4 可知, 与鲜薯中总酚含量相比, 焙烤后薯条中酚类物质含量显著下降,

说明加热对酚类物质有一定的破坏作用, 这和 Perla 等^[30]所报道的结论是一致的。但随着热处理强度的增加总酚含量呈上升趋势, 可能是加热过程中马铃薯部分组织软化并被破坏, 促进酚类物质从细胞基质中释放^[31]。E 测得的总酚含量值为 283.84 mg/100 g, 为所有条件中最高, 与色度测得的结果一致。

表 4 不同焙烤条件下薯条总酚含量(干基)

Table 4 The total phenolic content of potato strips under different baking conditions (dry basis)

指标	条件					
	鲜薯	A	B	C	D	E
总酚含量/(mg/100 g)	486.30±6.11 ^e	259.73±6.76 ^a	268.53±7.15 ^b	279.18±5.62 ^c	276.77±9.15 ^c	283.84±6.38 ^d

注: 标有不同的小写字母表示有显著差异性, $p < 0.05$ 。A: 120 °C 烤 35 min; B: 140 °C 烤 30 min; C: 160 °C 烤 25 min; D: 180 °C 烤 20 min; E: 200 °C 烤 15 min.

2.7 焙烤条件对烤薯条抗氧化活性(DPPH 自由基清除力)的影响

烤薯条 DPPH 自由基清除力如表 5 所示。DPPH 自由基清除率所反映的是烤薯条的抗氧化活性,清除率越高,表明烤薯条的抗氧化活性越强。由表 5 可以看出,鲜薯的 DPPH 自由基清除力为 23.19%,烤薯条

对 DPPH 的清除作用显著高于鲜薯,这与 Wang 等人^[32]的研究结果一致,他们指出熟化的甘薯对 DPPH 的清除作用远高于生甘薯。随着焙烤温度的升高和时间的缩短,烤薯条 DPPH 自由基清除率呈现上升趋势,由 79.70%逐渐上升至 87.14%,但不同焙烤组间差异并不大。花青素和酚类物质是影响 DPPH 自由基清除力的主要物质,DPPH 自由基清除率与总酚含量变化趋势一致,因此该结果可能是总酚含量增加所导致^[33]。

表 5 不同焙烤条件下薯条 DPPH 自由基清除力

Table 5 The DPPH free radical scavenging force of potato strips under different baking conditions

指标	条件					
	鲜薯	A	B	C	D	E
清除率/%	23.19±2.01 ^a	79.70±1.30 ^b	82.19±2.71 ^{bc}	85.25±0.61 ^{cd}	84.47±1.51 ^{cd}	87.14±0.66 ^d

注: 标有不同的小写字母表示有显著差异性, $p < 0.05$ 。A: 120 °C 烤 35 min; B: 140 °C 烤 30 min; C: 160 °C 烤 25 min; D: 180 °C 烤 20 min; E: 200 °C 烤 15 min。

3 结论

研究了不同焙烤温度和时间对烤马铃薯条的水分、抗氧化性、总酚含量、风味物质、色度及质构特性的影响。结果表明,随着温度的升高和时间的降低,烤薯条内部总水分含量和水分流动性均呈现降低的趋势,自由水下降趋势明显,与低温长时间焙烤相比,高温短时间焙烤更容易造成水分流失;采用不同焙烤温度和时间焙烤马铃薯条时,也会造成质构和营养素保留情况上的差异,随着温度的升高和时间的降低,烤薯条硬度和咀嚼度呈现先下降后上升趋势,抗氧化性、总酚含量呈上升趋势但整体变化幅度不大;此外,在 160 °C 烤 25 min、180 °C 烤 20 min、200 °C 烤 15 min 三个条件下风味物质整体成分和含量相似,表明在一定的时间和温度范围内,风味物质趋于稳定。综合各因素,在焙烤条件为 160 °C 烤 25 min 时,硬度和咀嚼度较小,颜色鲜亮,挥发性风味物质含量较高,并且较其他条件其总酚含量更高,可以做为马铃薯条合适的焙烤条件。

参考文献

[1] 桑树鹏. 浅析马铃薯高产栽培技术[J]. 种子科技, 2019, 37(2): 51-52
SANG Shu-peng. Analysis on high yield cultivation techniques of potato [J]. Seed Science & Technology, 2019, 37(2): 51-52

[2] 王颖, 潘哲超, 李先平, 等. 马铃薯的营养价值与人体健康[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(8): 5-8
WANG Ying, PAN Zhe-chao, LI Xian-ping, et al. The relationship between nutritional value of potato and human

health [J]. Food and Nutrition in China, 2017, 23(8): 5-8

[3] 赵祉强, 李晓龙. 浅议马铃薯的营养价值与功效[J]. 中国果菜, 2019, 39(1): 45-47
ZHAO Zhi-qiang, LI Xiao-long. The nutritional value and efficacy of potato [J]. Chinese Fruit & Vegetable, 2019, 39(1): 45-47

[4] 刘洋, 高明杰, 何威明, 等. 世界马铃薯生产发展基本态势及特点[J]. 中国农学通报, 2014, 30(20): 78-86
LIU Yang, GAO Ming-jie, HE Wei-ming, et al. Analysis on the basic trend and characteristics of world potatoes production [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(20): 78-86

[5] Tian J, Chen J, Lv F, et al. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes [J]. Food Chemistry, 2016: 1264-1270

[6] 伍玉菡, 尤逢惠, 万娅琼. 马铃薯贮藏·加工·主食化研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(29): 71-72
WU Yu-han, YOU feng-hui, WAN Ya-qiong. Research advances of potato storage, process and staple food industrialization [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(29): 71-72

[7] 刘娟, 梁延超, 隋景航, 等. 马铃薯块茎蒸煮品质、质构特性及加工型品系筛选[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4074-4084
LIU Juan, LIANG Yan-chao, SUI Jing-hang, et al. Screening for cooking-processing potato lines according to potato tuber qualities and properties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(21): 4074-4084

[8] 王榛, 陈雷, 潘超, 等. 不同熟化方法对紫色马铃薯挥发性风味物质形成的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(6): 128-133

- WANG Zhen, CHEN Lei, PAN Chao, et al. The effect of different cooking methods on volatile compounds of purple potato [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(6): 128-133
- [9] 杨军林,任亚梅,张武岗,等.基于主成分分析法的熟化马铃薯品质评价[J].食品科学,2018,39(19):70-77
YANG Jun-lin, REN Ya-mei, ZHANG Wu-gang, et al. Quality evaluation of cooked potatoes based on principal component analysis [J]. Food Science, 2018, 39(19): 70-77
- [10] Yang Y, Achaerandio I, Pujola M, et al. Effect of the intensity of cooking methods on the nutritional and physical properties of potato tubers [J]. Food Chemistry, 2016: 1301-1310
- [11] 汤尚文,马雪伟,于博,等.马铃薯红外干燥特性研究[J].保鲜与加工,2018,18(1):76-81,89
TANG Shang-wen, MA Xue-wei, YU Bo, et al. Infrared radiation drying characteristics of potato [J]. Storage and Process, 2018, 18(1): 76-81, 89
- [12] 张建辉,徐晓云,王克勤,等.油炸马铃薯条的感官评价与仪器测定指标的相关分析[J].食品科学,2013,34(14):237-240
ZHANG Jian-hui, XU Xiao-yun, WANG Ke-qin, et al. Correlation analysis between sensory evaluation and instrumental measurement of french fried potatoes [J]. Food Science, 2013, 34(14): 237-240
- [13] 李静,李顺峰,王安建,等.适宜热烫条件保持双孢蘑菇片品质和颜色[J].农业工程学报,2014,30(7):268-273
LI Jing, LI Shun-feng, WANG An-jian, et al. Appropriate water blanching treatment to keep quality and color of *Agaricus bisporus* slices [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(7): 268-273
- [14] 曹亚裙,谢淑丽,方堃,等.电蒸箱烹饪条件对蒸紫薯品质影响[J].食品工业,2017,38(1):61-64
CAO Ya-qun, XIE Shu-li, FANG Kun, et al. Effect of different cooking conditions with electric steamer on purple potatoes quality [J]. The Food Industry, 2017, 38(1): 61-64
- [15] 吴晓敏,韩利文,王希敏,等.不同产地新鲜紫色马铃薯中花色苷及总酚的含量测定[J].中国食物与营养,2014,20(5): 24-26
WU Xiao-min, HAN Li-wen, WANG Xi-min, et al. Quantitative determination of anthocyanin and total phenols in fresh purple potatoes from different habitats [J]. Food and Nutrition in China, 2014, 20(5): 24-26
- [16] Li W, Wang P, Xu X, et al. Use of low-field nuclear magnetic resonance to characterize water properties in frozen chicken breasts thawed under high pressure [J]. European Food Research and Technology, 2014, 239(2): 183-188
- [17] Hansen C L, Thybo A K, Bertram H C, et al. Determination of dry matter content in potato tubers by low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(19): 10300-10304
- [18] Tang H, Godward J, Hills B P, et al. The distribution of water in native starch granules - A multinuclear NMR study [J]. Carbohydrate Polymers, 2000, 43(4): 375-387
- [19] 郭婷.冻融对甘薯变温压差膨化干燥品质影响及机理研究[D].长沙:湖南农业大学,2014
GUO Ting. Research on effect and mechanism of freeze-thaw treatment on the quality of explosion puffing drying sweet potato at variable temperature and pressure difference [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014
- [20] 于勇,葛凌燕,苏光明,等.基于 LF-NMR 的压力和温度对鲜虾水分状态的影响[J].农业机械学报,2014,45(12):255-261
YU Yong, GE Ling-yan, SU Guang-ming, et al. Effect of pressure and temperature on water distribution in fresh shrimp using [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2014, 45(12): 255-261
- [21] 李定金,段振华,刘艳,等.利用低场核磁共振技术研究调味山药片真空微波干燥过程中水分的变化规律[J].食品科学,2019,40(5):116-123
LI Ding-jin, DUAN Zhen-hua, LIU Yan, et al. Variation in water content during vacuum microwave drying of flavored yam chips process analyzed by low-field nuclear magnetic resonance imaging [J]. Food Science, 2019, 40(5): 116-123
- [22] 张绪坤,祝树森,黄俭花,等.用低场核磁分析胡萝卜切片干燥过程的内部水分变化[J].农业工程学报,2012,28(22): 282-287
ZHANG Xu-kun, ZHU Shu-sen, HUANG Jian-hua, et al. Analysis on internal moisture changes of carrot slices during drying process using low-field NMR [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(22): 282-287
- [23] 赵晓珍,王雅,江解增,等.3种烹调方法对两种芋艿营养品质的影响[J].食品研究与开发,2016,37(14):154-157
ZHAO Xiao-zhen, WANG Ya, JIANG Jie-zeng, et al. Effects of three cooking methods on nutritional quality of two kinds of dasheen petiole [J]. Food Research and Development, 2016, 37(14): 154-157
- [24] LIU Peng, TU Kang. Prediction of TVB-N content in eggs based on electronic nose [J]. Food Control, 2012, 23(1): 177-183
- [25] Stoneham T R, Lund D B, Tong C H, et al. The use of fractional conversion technique to investigate the effects of

- testing parameters on texture degradation kinetics [J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(6): 968-973
- [26] 李慧,周芬,潘思轶,等.真空浸渍对大头菜腌制过程中品质变化的影响[J].*食品科学*,2018,39(14):36-41
LI Hui, ZHOU Fen, PAN Si-yi, et al. Effect of vacuum impregnation on quality changes of turnip during the pickling process [J]. *Food Science*, 2018, 39(14): 36-41
- [27] 车再全,夏延斌,任美,等.高温灭菌前热浸处理对白萝卜硬度及细胞壁物质的影响[J].*中国酿造*,2015,34(9):54-57
CHE Zai-quan, XIA Yan-bin, REN Mei, et al. Effect of blanching treatment before high temperature sterilization on hardness and cell-wall components of white radish [J]. *China Brewing*, 2015, 34(9): 54-57
- [28] 侯建设,梁歧,张明镒,等.温度和水分对大豆组织蛋白挤压成型和褐变的影响[J].*食品科学*,2002,23(8):38-40
HOU Jian-she, LIANG Qi, ZHANG Ming-di, et al. Effect of temperature and moisture on extrusion and browning of soybean tissue protein [J]. *Food Science*, 2002, 23(8): 38-40
- [29] 木泰华,李鹏高.马铃薯中生物活性成分及其功能[J].*食品科学*,2016,37(19):269-276
MU Tai-hua, LI Peng-gao. Bioactive components of potato and their functions [J]. *Food Science*, 2016, 37(19): 269-276
- [30] Perla V, Holm D G, Jayanty S S, et al. Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers [J]. *Lwt - Food Science and Technology*, 2012, 45(2): 161-171
- [31] Blessington T, Nzaramba M N, Scheuring D C, et al. Cooking methods and storage treatments of potato: Effects on carotenoids, antioxidant activity, and phenolics [J]. *American Journal of Potato Research*, 2010, 87(6): 479-491
- [32] Wang T, Chen B, Shen Y, et al. Influences of superheated steaming and roasting on the quality and antioxidant activity of cooked sweet potatoes [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2012, 47(8): 1720-1727
- [33] Teow C C, Truong V, Mcfeeters R F, et al. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours [J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(3): 829-838

(上接第 276 页)

- [24] 廉明,吕世懂,吴远双,等.三种不同发酵程度的台湾乌龙茶香气成分对比研究[J].*食品工业科技*,2015,36(3):297-302
LIAN Ming, LV Shi-dong, WU Yuan-shuang, et al. Comparative analysis of aroma characteristics of three kinds of Taiwan oolong tea from different fermentation degree [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(3): 297-302
- [25] Wei Chang Q, Liu Wen Y, Xi Wan P, et al. Comparison of volatile compounds of hot-pressed, cold - pressed and solvent - extracted flaxseed oils analyzed by SPME - GC/MS combined with electronic nose: Major volatiles can be used as markers to distinguish differently processed oils [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2015, 117(3): 320-330
- [26] 吕世懂,吴远双,姜玉芳,等.不同产区乌龙茶香气特征及差异分析[J].*食品科学*,2014,35(2):146-153
LYU Shi-dong, WU Yuan-shuang, JIANG Yu-fang, et al. Comparative analysis of aroma characteristics of oolong tea from different geographical regions [J]. *Food Science*, 2014, 35(2): 146-153
- [27] Schuh Christian, Schieberle Peter. Characterization of the key aroma compounds in the beverage prepared from Darjeeling black tea: Quantitative differences between tea leaves and infusion [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(3): 916-924
- [28] Gros Jacques, Lavigne Valerie, Thibaud Fannie, et al. Toward a molecular understanding of the typicality of chardonnay wines: Identification of powerful aromatic compounds reminiscent of hazelnut [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(5): 1058-1069
- [29] ZHANG Liang-zhen, NI Hui, ZHU Yan-bing, et al. Characterization of aromas of instant oolong tea and its counterparts treated with two crude enzymes from *Aspergillus niger* [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, 42(2): e13500
- [30] 肖凌.十种香型凤凰单丛茶香气成分分析[D].重庆:西南大学,2018
XIAO Ling. Study on aroma components of ten types of Fenghuang Dancong tea [D]. Chongqing: Southwest University, 2018