

原料特性对曲奇饼干品质和丙烯酰胺生成的影响

张静, 赵元元, 李小定, 荣建华

(华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 以面粉、油、糖为主要原料制作曲奇饼干, 通过测量其水分含量、色度、质地、感官和丙烯酰胺含量, 研究原料特性对曲奇饼干品质和丙烯酰胺生成的影响。实验表明: 面粉中蛋白质的含量显著影响曲奇饼干的品质和丙烯酰胺的生成。与高筋粉和中筋粉相比, 低筋粉粗蛋白含量仅为 7.67%, 其制作的曲奇饼干水分含量低, 硬度小, 柔软和酥松程度表现更好, 品质最佳且丙烯酰胺生成量最低。普通黄油和发酵黄油制作的曲奇饼干酥脆, 香味浓郁, 品质优良, 发酵黄油在焙烤过程脂肪氧化较为缓慢, 生成的丙烯酰胺含量低为 212 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。红糖制作的曲奇饼干呈棕褐色, 具有独特的香味, 但丙烯酰胺含量高达 828 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。白砂糖、冰糖和绵白糖制作的曲奇饼干品质差异较小, 其中白砂糖制作的曲奇饼干感官评价得分最高, 丙烯酰胺含量最低为 230 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。综上, 低筋面粉、发酵黄油和白砂糖制作的曲奇饼干品质较优, 丙烯酰胺生成量较少。

关键词: 曲奇; 原料特性; 品质; 丙烯酰胺

文章编号: 1673-9078(2020)06-190-197

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.6.1239

Effect of Raw Material Properties on Cookie Quality and Acrylamide Generation

ZHANG Jing, ZHAO Yuan-yuan, LI Xiao-ding, RONG Jian-hua

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Flour, butter and sugar were used as main raw materials to make cookies. Moisture content, color, texture, sensory and acrylamide content were measured to investigate the effects of raw material characteristics on cookie quality and acrylamide generation. The results showed that the protein content in the flour significantly affected the quality and acrylamide generation of the cookies. Compared with high-gluten flour and medium-gluten flour, the low-gluten flour had a crude protein of only 7.67%. The cookie produced from the low-gluten flour had low moisture content, low hardness, better softness and crispness. The cookies were of the best quality with the lowest level of acrylamide. Cookies made from ordinary butter and fermented butter were crispy, with rich fragrant and good quality. A slower oxidation of fat and a low acrylamide content of 212 $\mu\text{g}/\text{kg}$ were found in cookies made from fermented butter during baking. Cookies made from brown sugar were tan with a unique fragrance, but the acrylamide content reached as high as 828 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Cookies made from white sugar, rock sugar and soft sugar demonstrated slight difference in quality. Among them, cookies made from white sugar had the highest sensory evaluation score, and the lowest acrylamide content of 230 $\mu\text{g}/\text{kg}$. In summary, cookies made from low-gluten flour, fermented butter, and caster sugar were of better quality and had less acrylamide production.

Key words: cookies; raw material properties; quality; acrylamide

引文格式:

张静,赵元元,李小定,等.原料特性对曲奇饼干品质和丙烯酰胺生成的影响[J].现代食品科技,2020,36(6):190-197

ZHANG Jing, ZHAO Yuan-yuan, LI Xiao-ding, et al. Effect of raw material properties on cookie quality and acrylamide generate [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(6): 190-197

收稿日期: 2019-12-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0901005)

作者简介: 张静(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与技术

通讯作者: 荣建华 (1972-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品大分子结构与功能特性

2002年4月,斯德哥尔摩大学和瑞典国家食品管理局联合报告淀粉类食品在高温加工过程中会产生具有神经毒性、致癌性、生殖毒性和遗传毒性的物质-丙烯酰胺(acrylamide, AA)^[1,2]。饮食是人体吸收丙烯酰胺最快的途径,2005年3月,联合国粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)专家委员会警告公众关注食物中的丙烯酰胺,呼吁采取措施减少或抑制食品中丙烯酰胺的生成量,以确保食品的安全性。曲奇饼干作为广受欢迎的烘焙产品之一,其高糖、高油、高温烘烤的特点具备促使丙烯酰胺生成的条件。曲奇饼干含有丙烯酰胺已在一些研究报道中得到证实^[3-5],FAO/WHO统计数据显示:曲奇饼干中丙烯酰胺含量高达169~518 μg/kg。

食品中丙烯酰胺的形成是一个复杂的多级反应过程,其形成机理尚未完全明确,目前多数学者认为食品中丙烯酰胺的形成与天冬酰胺和还原糖在高温条件下发生的美拉德反应有关。因此,除加工条件外,食品原料中还原糖和天冬酰胺的存在和含量是影响丙烯酰胺形成的必要和重要因素^[6-8]。原料特性能显著影响食品品质和丙烯酰胺的生成^[9],但对曲奇饼干而言,其研究多局限于外源物质的添加抑制其丙烯酰胺的生成^[10,11],而对基本原料特性本身对曲奇饼干丙烯酰胺含量影响的研究鲜见报道。

因此本实验在曲奇饼干基本配方的基础上,探讨不同种类的面粉、油、糖等原料特性对曲奇饼干品质和丙烯酰胺生成的影响,在保证曲奇饼干品质前提下,从原料的角度来减少食品加工过程中丙烯酰胺的生成量,降低人类丙烯酰胺的暴露量,以期曲奇乃至焙烤类食品的安全生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

原料:面粉(低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉)、油(普通黄油、发酵黄油、人造黄油、植物油)、糖(白砂糖、冰糖、绵白糖、红糖)、鸡蛋(喀家土鸡蛋)均为市售,购自中百超市。

试剂:丙烯酰胺标准品(纯度≥99%),美国Sigma公司。

仪器:2695 高效液相色谱系统,美国waters公司;Hypercarb 色谱柱, Thermo 中国有限公司;Avanti J-26 高速冷冻离心机,美国贝克曼库尔特有限公司;722 型紫外分光光度计,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;

ATO-HB30HT 烤箱,北美电器(珠海)有限公司;Ultrascan VIS 台式分光测色仪,美国HunterLab公司;TA-XT plus 物性测试仪,美国Stable Micro System公司。

1.2 实验方法

1.2.1 曲奇饼干的制作

参照程璐^[4]等人的曲奇饼干制作方法,称取低筋粉150 g、黄油75 g、糖50 g、鸡蛋1个(约50 g),经搅拌、调粉、模具成型后制成4.82 cm×3.64 cm×0.5 cm的饼胚,选择AACC推荐的焙烤条件(上火205℃,下火150℃,烘烤12 min)。

1.2.2 营养指标的测定

水分含量的测定参照GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;灰分的测定参照GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》;粗脂肪的测定采用GB/T 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法;粗蛋白的测定采用GB/T 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法;淀粉含量参照王娟^[12]等人研究方法采用碘显色法测定;天冬氨酸的测定参照GB/T 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。

1.2.3 丙二醛的测定

丙二醛测定方法参考GB 5009.181-2016《食品中丙二醛的测定》的分光光度法。

1.2.4 曲奇饼干硬度的测定

参考马文慧^[13]等人研究方法,采用HDP-3PB探头,设置测试程序为三点弯曲试验,设置参数分别为:测前速度2 mm/s、测试速度2 mm/s、测后速度10 mm/s,下压百分比为50%,触发类型为自动,触发力为5 g。每组试验重复进行6次。

1.2.5 曲奇饼干色度的测定

参考陈璐^[4]等人研究方法,使用Ultrascan VIS台式分光测色仪测定曲奇饼干的色度,记录L、a、b值。每一组曲奇的色度测定重复6次。通过L、a、b值得到颜色值,公式如下:

$$\text{色度值: } E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2}。$$

1.2.6 曲奇饼干的感官评价

根据GB/T 20980-2007制定了曲奇饼干感官评分标准。由6名经过训练的食品专业学生参照表1中曲奇饼干质量评价标准,分别对曲奇饼干形态、色泽、香味、口感、组织和杂质6个方面进行综合评定^[14]。

表1 曲奇饼干感官评价评分标准

Table 1 Rating criteria for sensory evaluation of cookies

感官	评分标准/分
形态	外形完整, 大小基本均匀, 饼体摊散适度, 无连边(8~10)
	外形较完整, 大小较均匀, 饼体摊散较适度, 轻微连边(4~7)
	外形不完整, 大小不均匀, 饼体过紧或过散, 连边(1~3)
色泽	呈金黄色、棕黄色或该品种应有的色泽, 色泽基本均匀, 饼体边缘可有较深的颜色, 但不应有过焦、过白的现象(8~10)
	颜色较深或较浅, 色泽较均匀, 饼体边缘出现轻微过焦、过白现象(4~7)
	颜色过深或过浅, 色泽不均匀, 饼体边缘有较明显过焦、过白的现象(1~3)
香味	有明显的奶香味及该品种特有的香味, 无异味(8~10)
	奶香味或该品种特有的香味较浅, 有轻微异味(4~7)
	没有奶香味或该品种特有的香味, 有异味(1~3)
口感	甜度适中 口感酥松 不粘牙 或具有该品种特有的口感(8~10)
	甜度较适中 口感较酥松 略粘牙或稍有该品种特有的口感(4~7)
	甜度不适宜 口感较硬 粘牙或没有该品种特有的口感(1~3)
组织	断面结构呈多孔状或具有该品种添加的颗粒, 无较大孔洞(8~10)
	断面结构呈多孔状或具有该品种添加的颗粒, 有较大孔洞(4~7)
	断面结构呈多孔状或具有该品种添加的颗粒, 较大孔洞多(1~3)
杂质	无油污、无不可食用异物(8~10)
	有较少油污、无不可食用异物(4~7)
	有油污、有不可食用异物(1~3)

1.2.7 曲奇中丙烯酰胺含量的测定

1.2.7.1 样品处理方法

参考邵美丽^[15]等人的实验方法, 准确称取 4.00 g 研磨粉碎后的样品, 加入不同浓度的丙烯酰胺标准溶液用以加标回收率的研究。加入 30 mL 正己烷涡旋震荡 1 min 并静置 10 min, 弃去正己烷层, 重复一次后, 电吹风冷风吹干。向脱脂样品中加入 10 mL 3 mol/L 的氯化钠溶液和 1 mL 0.1% 的甲酸溶液, 40 °C 磁力搅拌 20 min, 40 °C 水浴超声 20 min, 4 °C 10000 r/min 高速离心 20 min, 取上清液, 重复此操作一次, 合并上清液于分液漏斗中, 加入 50 mL (上清液约 17 mL) 乙酸乙酯, 震荡 5 min 后, 收集上层溶液, 重复此操作 2 次。将收集到的萃取液置于 150 mL 梨形瓶中, 40 °C 减压浓缩至约 1 mL, 将浓缩液转移至 10 mL 玻璃试管中, 梨形瓶中加少量乙酸乙酯充分洗涤 3 次, 合并至试管中, 50 °C 氮气吹干, 迅速加入 2 mL 超纯水重溶并涡旋混合。重溶液过 0.45 μm 水系滤膜, 上机测定。

1.2.7.2 色谱条件

色谱柱: Hypercarb 色谱柱 (4.6×100 mm, 3 μm), 进样量: 30 μL, 进样温度 25 °C, 流速 0.8 mL/min, 流动相: 甲醇-0.1%甲酸水溶液 (5:95, V/V), 检测波长: 200 nm。

1.2.7.3 标准曲线

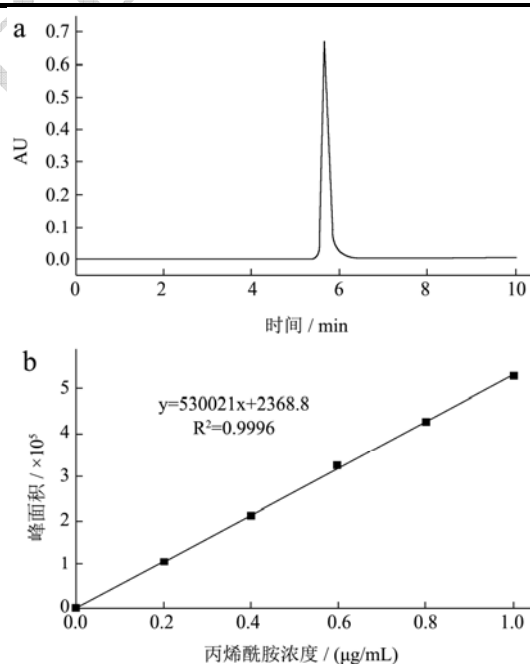


图1 丙烯酰胺标准液相色谱图 (a) 和标准曲线 (b)

Fig.1 Acrylamide standard liquid chromatogram (a) and standard curve (b)

丙烯酰胺标准液相色谱图由图 1a 所示。以丙烯酰胺标准品浓度为横坐标、峰面积为纵坐标做标准曲线, 保留时间定性, 峰面积定量, 得到丙烯酰胺标准曲线如图 1b。线性方程为 $y = 530021x + 2368.8$, $R^2 = 0.9996$ 。丙烯酰胺样品在 0.2 μg/mL~1.0 μg/mL 范围内具有良

好的线性关系, 该范围满足大部分食品中丙烯酰胺的含量, 能够满足本实验的分析要求。

含量最高为 0.53%, 低筋面粉最低为 0.28%。

表 2 面粉的基本组成

Table 2 Basic components of flour

项目	低筋面粉	中筋面粉	高筋面粉
水分/%	12.59±0.22 ^c	13.38±0.33 ^b	14.17±0.05 ^a
灰分/%	0.38±0.02 ^c	0.45±0.02 ^b	0.53±0.03 ^a
粗脂肪/%	1.19±0.13 ^a	1.12±0.02 ^a	1.13±0.05 ^a
粗蛋白/%	7.67±0.44 ^c	10.70±0.08 ^b	14.11±0.08 ^a
总淀粉/%	72.12±2.26 ^a	70.63±1.48 ^a	66.58±0.48 ^b
天冬氨酸/%	0.28±0.01 ^c	0.47±0.03 ^b	0.53±0.00 ^a

注: 同行小写字母不同, 表示差异显著 ($p < 0.05$)。

1.3 数据处理

所有数据以平均值±标准偏差 ($\bar{x} \pm s$)表示, 采用 Microsoft Office Excel 2007 和 SAS 9.2 软件对数据进行分析 and 处理, 各图由 Origin 8.6 绘制。

2 结果与讨论

2.1 原料的基本成分

2.1.1 面粉的基本成分

面粉按照筋力强弱分为高筋粉、中筋粉和低筋粉, 满足不同产品的需求。如表 2 所示, 不同筋力的面粉由于其加工工艺不同, 其水分、灰分、蛋白质和淀粉含量也存在着显著性差异。高筋面粉水分、灰分和蛋白质含量最高, 低筋面粉淀粉含量最高。面粉中天冬氨酸的含量也存在显著性差异, 高筋面粉中天冬氨酸

2.1.2 糖的基本组成

由表 3 可知, 四种糖的基本组成差异显著, 红糖中水分和灰分含量显著高于其它三种糖, 分别高为 3.00%和 1.45%。这与红糖的生产工艺, 加工精度低, 杂质含量高有关。与白砂糖和冰糖相比, 绵白糖水分含量也显著偏高为 1.27%, 绵白糖生产过程中会喷转化糖浆, 易吸收空气中的水分, 从而使水分含量偏高。

表 3 糖的基本组成

Table 3 Basic composition of powdered sugar

项目	白砂糖	冰糖	绵白糖	红糖
水分/%	0.09±0.00 ^c	0.04±0.00 ^c	1.27±0.02 ^b	3.00±0.04 ^a
蔗糖/%	95.09±1.52 ^a	98.06±0.45 ^a	97.77±0.98 ^a	85.81±2.45 ^b
灰分/%	-	-	-	1.45±0.03
铁/(mg/kg)	-	-	-	76.25±2.76

注: 同行小写字母不同, 表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.1.3 焙烤过程中油 TBA 值的变化

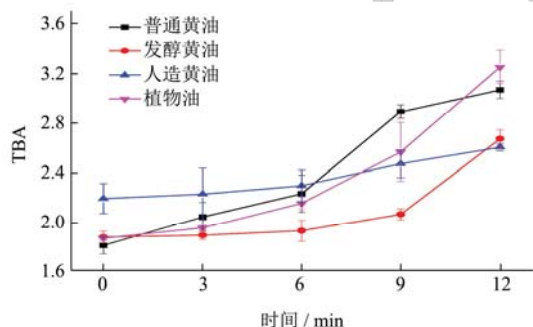


图 2 油在焙烤过程中 TBA 值的变化

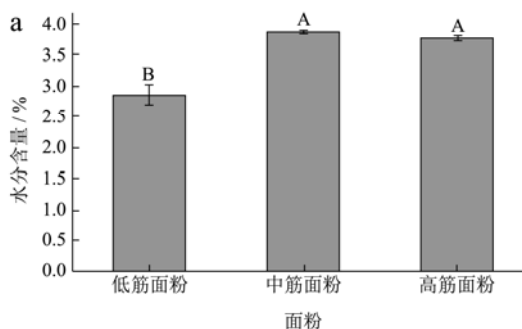
Fig.2 Variation of TBA content of fat during the baking process

TBA 值反映了油的氧化程度^[16,17], 不同油制作的曲奇饼干在焙烤过程中 TBA 含量的变化见图 1, TBA 值随着焙烤时间的延长而逐渐增大, 表明曲奇饼干中油的氧化程度逐渐加深。其中, 人造黄油制作的曲奇饼干在焙烤过程中 TBA 值变化最为缓慢, 这表明焙

烤过程中, 人造黄油脂肪氧化最为缓慢, 与刘翠芳^[18]等人研究结果一致。普通黄油和植物油制作的曲奇饼干在焙烤过程中 TBA 值上升较快, 这表明在相同条件下, 普通黄油和植物油的氧化速率高于人造黄油和发酵黄油。

2.2 不同原料对曲奇饼干品质的影响

2.2.1 不同原料对曲奇饼干水分含量的影响



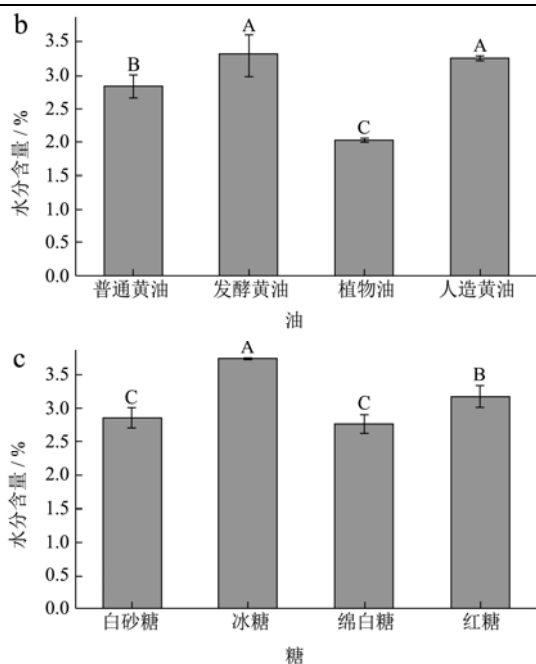


图3 不同原料制备曲奇饼干中的水分含量

Fig.3 Moisture content in cookies prepared from different raw materials

注：大写字母不同，表示差异显著 ($p < 0.05$)。

由图2可以看出，各组曲奇饼干的水分含量均小于4%，符合GB/T 20980-200《饼干》中对曲奇饼干水分的要求。原料中的蛋白、淀粉和油脂对曲奇中水分含量均有影响。相同条件下，中筋面粉和高筋面粉制作的曲奇饼干水分含量显著高于低筋面粉。这是因为面筋蛋白含量越高，其与水分结合能力越强，在烘焙过程中，单位时间内，面团蒸发水分所受的阻力越大^[19]。

油对曲奇水分含量影响较大，其中植物油制作的

曲奇饼干水分含量明显低于其它组，为2.04%。油具有很强的疏水性，当油与面粉接触时，它分布在蛋白质和淀粉颗粒的表面，在其表面形成一层油膜，起隔离作用，阻碍面筋蛋白质吸水，限制面筋网络的形成，从而影响面团的胀润度^[20]。与固态油相比，液态油流动性强，与面粉接触面更大，限制作用更强，故植物油制作的曲奇饼干水分含量最低。

不同糖粉制作的曲奇饼干的水分含量也有显著性差异，白砂糖和绵白糖制作的曲奇饼干水分含量最低分别为2.84%和2.77%，冰糖制作的曲奇饼干最高为3.72%，红糖居中为3.17%。

2.2.2 不同原料对曲奇饼干色度的影响

色泽是曲奇饼干烘烤过程中最重要的变化之一，也是曲奇饼干品质评价的重要感官指标之一。通过科学仪器对曲奇饼干色泽进行测定和评价相比于感官评价更加的精确和严谨。一般曲奇饼干表面呈金黄色，因此选择黄绿值b值和L、a、b均匀颜色空间对应的E值来表征曲奇的表面颜色，模拟人眼对颜色的感觉^[4]。低筋面粉制作的曲奇饼干颜色值高于中筋面粉和高筋面粉，这可能是中筋面粉和高筋面粉的蛋白质含量较高，使其制作的曲奇饼干明度值偏低，这与马文慧^[14]等人研究结果一致。油对曲奇饼干的色度也有一定影响，其中植物油制作的曲奇饼干黄度值和颜色值均最低。对于糖而言，白砂糖、冰糖和绵白糖制作的曲奇饼干色度差异较小，白砂糖制作的曲奇饼干黄度值和颜色值均最高。红糖本身呈红棕色，从而影响饼干色泽使其呈棕褐色，因此红糖曲奇黄度值和色度值均显著性偏小。

表4 不同原料制备曲奇饼干的色度

Table 4 Chroma of cookies prepared from different raw materials

		明度值/L	红绿值/a	黄蓝值/b	颜色值/E
面粉	低筋面粉	78.01±1.77 ^a	4.55±0.43 ^c	27.55±0.93 ^b	82.86±1.89 ^a
	中筋面粉	73.82±0.65 ^b	5.66±0.54 ^b	31.19±0.71 ^a	80.34±0.48 ^b
	高筋面粉	72.58±0.99 ^b	6.41±0.26 ^a	30.61±0.59 ^a	79.03±1.05 ^b
油	普通黄油	78.01±1.77 ^{ab}	4.55±0.43 ^b	27.55±0.93 ^a	82.86±1.89 ^a
	发酵黄油	78.23±1.65 ^a	3.52±0.26 ^c	26.03±1.22 ^b	82.53±1.87 ^a
	植物油	72.94±0.90 ^c	4.79±0.50 ^{ab}	23.13±0.76 ^c	76.67±1.02 ^b
	人造黄油	76.49±0.91 ^b	5.10±0.34 ^a	27.57±0.60 ^a	81.47±1.03 ^a
糖	白砂糖	78.01±1.77 ^a	4.55±0.43 ^c	27.55±0.93 ^a	82.86±1.89 ^a
	冰糖	77.26±1.17 ^a	3.35±0.27 ^d	25.52±0.60 ^b	81.44±1.02 ^a
	绵白糖	71.23±0.44 ^b	5.50±0.23 ^b	26.00±0.44 ^b	76.03±0.51 ^b
	红糖	52.15±0.81 ^c	8.05±0.22 ^a	12.53±0.65 ^c	54.23±0.87 ^c

注：同行小写字母不同，表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.2.3 不同原料对曲奇饼干硬度的影响

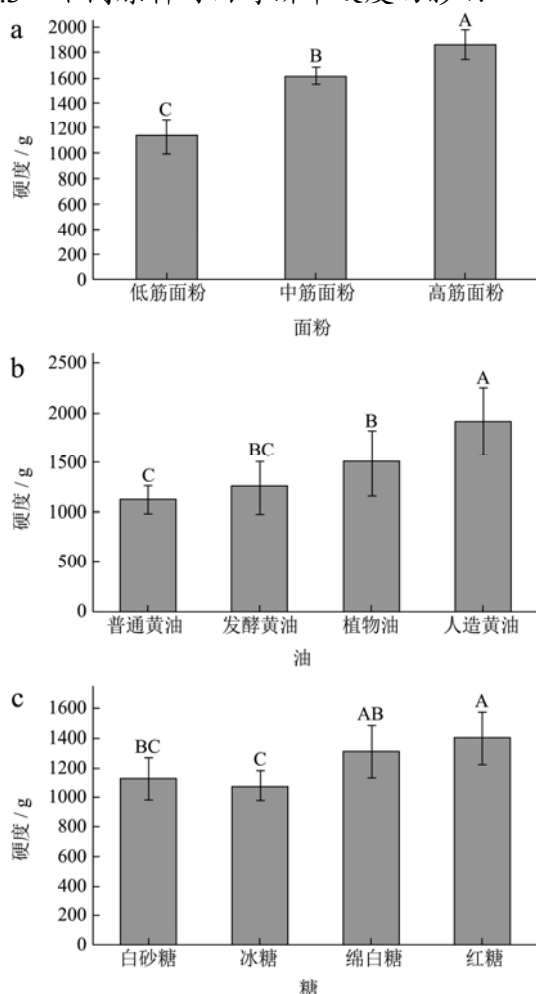


图4 不同原料制备曲奇饼干的硬度

Fig.4 Hardness of cookies prepared from different raw materials

注: 大写字母不同, 表示差异显著 ($p < 0.05$)。

硬度是使曲奇达到一定形变所需要的力, 是评价曲奇质地的主要指标之一。硬度直接影响曲奇饼干的品质质量和感官评价的同时, 也会影响曲奇的包装特性^[21]。有研究表明, 当饼干硬度大于 3000 g 时, 咬合时口感已经超出普通消费者能够接受的程度, 一般认为, 硬度在 1000 g 到 1400 g 的曲奇饼干柔软和酥松程度表现最好。不同筋力制作的曲奇饼干在硬度上有显著性差异。高筋面粉和中筋面粉制作的曲奇饼干硬度显著高于低筋面粉, 这可能是因为高筋面粉和中筋面粉调配的面团中蛋白质含量高, 烘烤出的饼干坚硬, 不易碎^[13]。油对曲奇饼干的硬度影响也较大, 人造黄油和植物油制作的曲奇饼干硬度较大, 分别高达 1923 g 和 1529 g。不同类型糖制作的曲奇饼干在硬度上存在显著性差异, 但就平均值而言, 差异不大。其中, 红糖制作的曲奇饼干硬度最大, 可能是由于红糖中所含杂质较多。

2.2.4 不同原料对曲奇饼干感官评价的影响

感官评价是曲奇饼干品质评价中的重要方法, 通过对曲奇饼干的形态、色泽、香味、口感、组织、杂质和总分来判断曲奇饼干品质的优劣^[14]。酥脆性是曲奇饼干独特的口感, 低筋面粉制作的曲奇饼干在组织和口感上显著优于高筋面粉和中筋面粉。油对曲奇饼干感官评价的影响主要在香味和口感, 动物来源的黄油其风味浓郁, 曲奇饼干得分较高。糖对曲奇饼干感官评价影响较小, 其中白砂糖制作的曲奇饼干综合评分最高。

表5 不同原料制备曲奇饼干的感官品质

Table 5 Sensory of cookies prepared from different raw materials

原料	形态	色泽	香味	口感	组织	杂质	总分	
面粉	低筋面粉	8.17±0.41 ^a	8.17±1.17 ^a	7.83±0.98 ^a	8.67±0.82 ^a	8.17±0.75 ^a	9.17±0.75 ^a	50.17±1.94 ^a
	中筋面粉	8.33±0.52 ^a	7.33±1.03 ^a	7.50±1.05 ^a	6.33±1.21 ^b	7.17±0.75 ^b	8.50±0.55 ^a	45.17±1.94 ^b
	高筋面粉	8.00±0.63 ^a	7.00±1.41 ^a	7.50±1.05 ^a	6.00±1.10 ^b	6.83±0.75 ^b	8.50±0.55 ^a	43.83±2.32 ^b
油	普通黄油	8.17±0.41 ^a	8.17±1.17 ^a	7.83±0.98 ^a	8.67±0.82 ^a	8.17±0.75 ^a	9.17±0.75 ^a	50.17±1.94 ^a
	发酵黄油	8.17±0.41 ^a	7.83±0.41 ^a	7.50±1.05 ^a	7.00±1.41 ^{ab}	8.17±0.98 ^a	8.67±0.82 ^a	47.33±2.07 ^{ab}
	植物油	7.83±0.75 ^a	7.17±0.75 ^a	5.67±1.51 ^b	5.67±2.07 ^b	8.33±1.21 ^a	8.33±1.03 ^a	43.00±3.03 ^b
	人造黄油	7.83±1.17 ^a	7.00±1.26 ^a	7.00±1.79 ^{ab}	6.67±1.03 ^b	8.17±0.75 ^a	8.33±1.03 ^a	45.00±5.51 ^b
糖	白砂糖	8.17±0.41 ^a	8.17±1.17 ^a	7.83±0.98 ^a	8.67±0.82 ^a	8.17±0.75 ^a	9.17±0.75 ^a	50.17±1.94 ^a
	冰糖	7.67±0.52 ^a	7.50±1.05 ^a	7.50±1.22 ^a	7.33±1.51 ^a	8.00±1.26 ^a	9.00±0.89 ^a	47.00±2.76 ^b
	绵白糖	7.67±0.82 ^a	7.67±1.03 ^a	7.67±0.82 ^a	8.17±0.41 ^a	8.00±0.89 ^a	9.00±0.63 ^a	48.17±2.04 ^{ab}
	红糖	8.00±0.89 ^a	6.67±1.51 ^a	6.83±1.47 ^a	7.50±1.05 ^a	8.17±0.98 ^a	8.67±0.82 ^a	45.83±1.83 ^b

注: 同行小写字母不同, 表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.3 不同原料对曲奇丙烯酰胺含量的影响

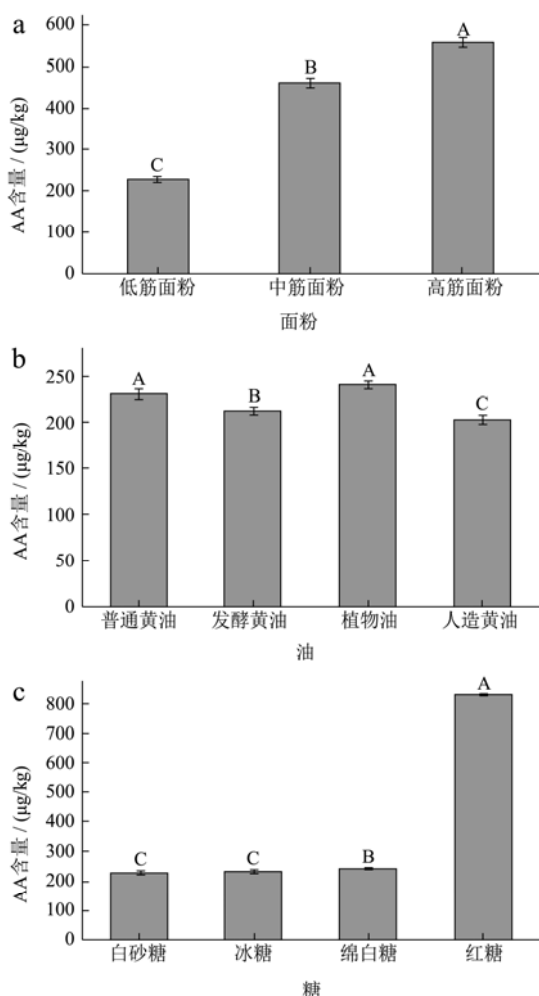


图5 不同原料制备曲奇饼干中的丙烯酰胺含量

Fig.5 Acrylamide content in cookies prepared from different raw materials

注: 大写字母不同, 表示差异显著 ($p < 0.05$)。

由图5可知, 不同原料制作的曲奇饼干, 其丙烯酰胺含量也不同。不同筋力制作的曲奇饼干生成的丙烯酰胺差异显著, 饼干中丙烯酰胺的含量随着面粉中蛋白质含量的提高而显著增加。曲奇饼干中丙烯酰胺含量一般在 169~518 μg/kg 之间, 而高筋面粉制得的曲奇饼干中丙烯酰胺含量高达 557 μg/kg, 高于最高水平。这可能是因为高筋面粉和中筋面粉中天冬氨酸含量较高, 而天冬氨酸能转化为天门冬酰胺直接与还原糖反应生成丙烯酰胺, 因此高筋面粉和中筋面粉制作的曲奇饼干中丙烯酰胺含量较高。油对曲奇饼干丙烯酰胺生成量也有影响, 发酵黄油和人造黄油制作的曲奇饼干略低于普通黄油和植物油。这是由于油氧化会促进丙烯酰胺的形成^[22], 在相同条件下, 普通黄油和植物油的氧化速率高于人造黄油和发酵黄油, 因而曲奇中丙烯酰胺生成量较高。红糖制得的曲奇饼干丙烯

酰胺含量显著高于其它组, 为 828 μg/kg, 这可能是由于红糖富含铁离子, 能有效促进曲奇烘烤过程中麦拉德反应^[23]的进行。

2.4 不同原料特性与曲奇品质间的相关性分析

以感官评价总分、硬度和丙烯酰胺含量表征曲奇品质, 与面粉和糖的基础指标做相关性分析, 结果见表6。由表可知, 对于面粉而言, 水分、灰分、粗蛋白和天冬氨酸含量与曲奇感官评价呈显著性负相关, 且天冬氨酸含量和水分含量相关系数最高; 水分、灰分、粗蛋白、总淀粉和天冬氨酸含量与曲奇硬度和丙烯酰胺含量均呈显著相关性, 且天冬氨酸含量和粗蛋白含量相关系数最高。对于糖而言, 水分、灰分和蔗糖与曲奇感官评价无显著性相关, 水分和灰分与曲奇硬度显著相关, 水分、灰分和蔗糖与曲奇丙烯酰胺含量显著相关, 且灰分相关系数最高。

表6 不同测定指标之间 pearson 相关系数表

Table 6 Pearson correlation coefficient between different measurement indicators (N=9 / N=12)

	感官评价	硬度	丙烯酰胺
面粉	水分	-0.87**	0.90**
	灰分	-0.73*	0.86**
	粗脂肪	0.50	-0.42
	粗蛋白	-0.83**	0.95**
	总淀粉	0.54	-0.74*
	天冬氨酸	-0.89**	0.97**
糖	水分	-0.53	0.77**
	灰分	-0.55	0.61*
	蔗糖	0.39	-0.46

注: *和**分别表示在 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平上相关性显著。

3 结论

本文研究了不同原料对曲奇饼干品质和丙烯酰胺生成的影响, 结果表明, 与高筋粉和中筋粉相比, 低筋粉制作的曲奇饼干品质佳, 丙烯酰胺生成量少。普通黄油和发酵黄油制作的曲奇饼干口感酥脆, 香味浓郁, 生成的丙烯酰胺量介于植物油和人造黄油之间。红糖制作的曲奇饼干有独特的风味, 但丙烯酰胺含量高。白砂糖制作的曲奇饼干品质好, 丙烯酰胺含量低。

参考文献

[1] Curtis T Y, Postles J, Halford N G. Reducing the potential for processing contaminant formation in cereal products [J]. Journal of Cereal Science, 2014, 59(3): 382-392

[2] Pedreschi F, Mariotti M S, Granby K. Current issues in

- dietary acrylamide: formation, mitigation and risk assessment [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(1): 9-20
- [3] Vural Gokmen, Palazoglu, Arda Serpen, et al. A new approach to evaluate the risk arising from acrylamide formation in cookie during baking: Total risk calculation [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(4): 642-648
- [4] 程璐. 曲奇中美拉德反应伴生危害物及其控制技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014
- CHENG Lu. Studies on maillard reaction-derived hazards and their control technology in a cookie system [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014
- [5] 须瑛敏, 孙圣涛, 夏红. 乳酸菌发酵对曲奇饼干品质的影响 [J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(6): 117-122
- XU Ying-min, SUN Sheng-tao, XIA Hong. Effect of lactic acid fermentation on the quality of cookies [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(6): 117-122
- [6] Alam S, Ahmad R, Pranaw K, et al. Asparaginase conjugated magnetic nanoparticles used for reducing acrylamide formation in food model system [J]. Bioresource Technology, 2018, 269: 121-126
- [7] Lee H, Pyo S. Acrylamide induces adipocyte differentiation and obesity in mice [J]. Chemico-biological Interactions, 2018, 298: 4-34
- [8] Huang L H, Liu Y, Sun Y, et al. Biochemical characterization of a novel L-Asparaginase with low glutaminase activity from *Rhizomucor miehei* and its application in food safety and leukemia treatment [J]. Applied Environmental Microbiology, 2014, 80(5): 1561-1569
- [9] Nira Muttucumaru, Stephen J Powers, J Stephen Elmore, et al. Acrylamide-forming potential of potatoes grown at different locations, and the ratio of free asparagine to reducing sugars at which free asparagine becomes a limiting factor for acrylamide formation [J]. Food Chemistry, 2017, 220: 76-86
- [10] Wang H Y, Feng F, Guo Y, et al. HPLC-UV quantitative analysis of acrylamide in baked and deep-fried Chinese foods [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 31(1): 7-11
- [11] Jin C, Wu X Q, Zhang Y. Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review [J]. Food Research International, 2013, 51(2): 611-620
- [12] 王娟, 王帆, 张鹤, 等. 烤烟烟叶淀粉含量 5 种测定方法的比较 [J]. 分子植物育种, 2019, 17(5): 1673-1678
- WANG Juan, WANG Fan, ZHANG Ge, et al. Comparison of five methods for starch measurement in tobaccos [J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(5): 1673-1678
- [13] 马文惠. 酥性饼干的实验室制作和品质评价方法的研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2012
- MA Wen-hui. Study on the laboratory-making and evaluating method of short biscuit [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012
- [14] 莎娜, 王国泽, 游新勇, 等. 莜麦曲奇饼干加工工艺研究 [J]. 粮食与油脂, 2014, 27(10): 47-49
- SHA Na, WANG Guo-ze, YOU Xin-yong, et al. Study on the technology of naked oat cookies [J]. Cereals & Oils, 2014, 27(10): 47-49
- [15] 邵美丽, 郝星宇, 刘巍, 等. 固相萃取-高效液相色谱法检测油炸猪肉中丙烯酰胺 [J]. 食品科学, 2015, 36(8): 231-235
- SHAO Mei-li, HAO Xing-yu, LIU Wei, et al. Determination of acrylamide in deep-fried pork by solid phase extraction-high performance liquid chromatography [J]. Food Science, 2015, 36(8): 231-235
- [16] Cheng A, Wan F, Xu T, et al. Effect of irradiation and storage time on lipid oxidation of chilled pork [J]. Radiat Phys Chem, 2011, 80: 475-480
- [17] 易志, 吴雪辉, 沈冰, 等. 温度及光照对亚麻籽油贮藏稳定性影响研究 [J]. 粮食与油脂, 2016, 29(6): 17-21
- YI Zhi, WU Xue-hui, SHEN Bing, et al. Effects of temperature and light on the storage stability of flaxseed oil [J]. Cereals & Oils, 2016, 29(6): 17-21
- [18] 刘翠芳, 毕艳兰, 刘太宇, 等. TBHQ 对不同饱和程度油脂的抗氧化性能比较研究 [J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 34(2): 23-28
- LIU Cui-fang, BI Yan-lan, LIU Tai-yu, et al. Comparison on antioxidant activity of TBHQ to oils and fats with different saturation degrees [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2013, 34(2): 23-28
- [19] 据亚丽, 刘国琴, 阎乃珺, 等. 增筋剂对小麦面筋蛋白持水力影响研究 [J]. 河南工业大学学报(自然科版), 2013, 34(2): 34-38, 88
- JU Ya-li, LIU Guo-qin, YAN Nai-jun, et al. Research on effect of gluten for tifier on water-holding capacity of wheat gluten [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2013, 34(2): 34-38, 88
- [20] 郭孝源, 陆启玉, 章绍兵, 等. 不同种类油脂对面粉品质的影响研究 [J]. 食品科技, 2013, 38(4): 160-164
- GUO Xiao-yuan, LU Qi-yu, ZHANG Shao-bing, et al. Effects of different kinds of oils on flour quality [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(4): 160-164