

不同干燥工艺对鲜玉米粉品质及风味的影响

康志敏¹, 郭东旭¹, 何梦影¹, 张 灿¹, 赵 迪¹, 肖亚冬², 张康逸^{1,*}

(1. 河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450008;

2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014)

摘要: 本文研究了煮后烘干、炒制和冻干加工对鲜玉米粉的基本成分、抗氧化性能和香气成分影响。结果表明: 不同干燥工艺鲜玉米粉的淀粉、总糖、总黄酮和总酚含量差异显著 ($P < 0.05$), 冷冻干燥鲜玉米粉总黄酮和总酚含量最高, 分别为 3.45 和 3.96 mg/g。冷冻干燥、煮后烘干的鲜玉米粉对 DPPH 自由基的清除率分别为 60.5%、50.8%, 对·OH 的清除率分别为 46.8% 和 39.6%。运用固相微萃取-气相色谱-质谱联用对鲜玉米粒和 3 种干燥工艺的鲜玉米粒的香气物质进行分析, 共鉴定出 79 种挥发性物质, 分别为醇类 3 种、醛类 11 种、酮类 8 种、烃类 24 种、酯类 8 种、杂环类 25 种。含苯环类芳香族化合物是鲜玉米的主体风味化合物。综合分析, 冷冻干燥和煮后烘干的鲜玉米粒抗氧化能力较高, 对于鲜玉米芳香族化合物也有较好保留。

关键词: 鲜玉米粉, 干燥工艺, 抗氧化性能, 风味

Effect of Different Drying Methods on the Quality and Flavor Profiles of Fresh Corn Flour

KANG Zhi-min¹, GUO Dong-xu¹, HE Meng-ying¹, ZHANG Can¹,
ZHAO Di¹, XIAO Ya-dong², ZHANG Kang-yi^{1,*}

(1. Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China;

2. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China)

Abstract: The effects of three drying methods (boiled then dring, baking and freeze drying) on the basic components, antioxidant properties and aroma components of fresh corn flour were studied. The results showed that the content of starch, total sugar, flavonoids and polyphenols in fresh corn flour produced by different drying methods were significantly different ($P < 0.05$), the contents of total flavonoids and polyphenols in the kernels prepared by freeze drying were the highest (3.45 and 3.96 mg/g). The freeze dring and boiled then dring fresh corn flour had DPPH free radical scavenging rates of 60.5% and 50.8%, respectively, ·OH scavenging rates of 46.8% and 39.6%. Solid phase micro extraction (SPME) gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to analyze the aroma components of fresh corn kernels and three processing corn flour. Seventy-nine compounds including 3 alcohols, 11 aldehydes, 8 ketones, 24 hydrocarbons, 8 esters and 25 heterocyclics were identified. Aromatic compounds containing benzene rings were the main flavor compounds of fresh corn. Comprehensive analysis showed that the fresh corn kernels dried by freeze and boiled after cooking had higher antioxidant capacity, and also had better retention of aromatic compounds of fresh corn.

Key words: fresh corn flour; drying methods; antioxidant properties; flavor profiles

中图分类号: TS213.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)18-0058-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.18.009

引文格式: 康志敏, 郭东旭, 何梦影, 等. 不同干燥工艺对鲜玉米粉品质及风味的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 58-63, 69.

鲜玉米粒是指玉米在乳熟期(即授粉后 20~22 d)采收, 经脱粒、清洗、漂烫、冷却、速冻加工而成的鲜食谷物食品。与成熟玉米相比, 鲜玉米籽粒饱满、口感鲜

香脆嫩, 富含蛋白质、淀粉、纤维素、多糖等营养物质^[1]及总酚、黄酮、花青素等多种抗氧化成分^[2-6], 还富含人体必需的氨基酸-赖氨酸^[7](成熟玉米中含量极少)和

收稿日期: 2019-09-16

作者简介: 康志敏(1986-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 食品营养与加工, E-mail: 576020324@qq.com。

* 通讯作者: 张康逸(1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品营养与加工, E-mail: kangyiz@163.com。

基金项目: 河南省重大科技专项(151100111300); 2019 年农业科技综合示范县建设项目(豫财农[2019]60 号)。

多种挥发性芳香物质。同时鲜玉米粒还含有大量的天然维生素和类黄酮^[8],有促进细胞分裂、延缓细胞衰老、降低血清胆固醇的功能。随着人民生活水平的不断提高,人们的膳食结构发生了很大变化。对鲜玉米的需求已从单一型向多元型转变。目前鲜玉米粒常见的食用方式为煮后直接食用^[9]、制作玉米饮料^[10]或制成菜肴食用^[11],深加工产品种类较少,限制了其在人们饮食中的作用,因此需不断丰富鲜玉米加工产品种类。将鲜玉米粒经干燥加工制作成粉,作为膳食调理配料添加到主食中,将拓宽其应用途径。

鲜果蔬的脱水和干燥是个复杂的传热传质过程,干燥方法、设备和工艺参数都对干制品品质产生影响。干燥可以抑制酶活性,延长果蔬保存期,还可以促进果蔬内部芳香物质的挥发,增加风味^[12]。许年历等^[13]研究不同干燥方式对蓝莓果实粉品质的影响,发现冷冻干燥的蓝莓果实粉品质较佳;张康逸等^[14]研究不同干燥工艺对捻转品质的影响,发现炒制能较好地保持捻转的品质和风味;胡云峰等^[15]研究了不同热风烘干温度对枸杞品质的影响,发现温度越高越有利于美拉德反应发生。不同干燥方式中低温烘干设备成本低、操作方便,烘干时间较长;冷冻干燥能较完整的保留物料的营养物质、外观与形状,但耗能较大。炒制干燥速度快,成本较低。目前关于干燥方式对鲜玉米的影响研究少见报道。本研究旨在探讨不同干燥工艺对鲜玉米粉的基本成分、抗氧化性及风味物质的影响,以期为鲜玉米深加工及工业化生产提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鲜玉米粒 安徽惠之园食品有限公司;芦丁标准品 上海源叶生物科技有限公司;乙醚、乙醇、浓硫酸、氢氧化钠、碳酸钠等 分析纯,国药集团。

DW-86W420 速冻机 海尔集团;BCD-202TD 冰箱 海信电器;DHG-9240A 鼓风干燥箱 上海精宏设备有限公司;电子天平 梅特勒-托利多仪器有限公司;Hunter color Flex EZ 型色差仪 美国 Hunter lab;A590 双光束紫外可见分光光度计 翱艺仪器有限公司;YSN-X1T 电热食品烘炉 广州优连食品加工机械有限公司;MY-010 型烘炒机 曲阜市明远机械厂;K1100 全自动凯式定氮仪、SOX500 型脂肪测定仪 山东海能科学仪器有限公司;7980A/5975 D GC-MS 联用仪 美国 Agilent 公司;MB45 水分测定仪 奥豪斯仪器(上海)有限公司;YP-N 型电子分析天平 上海精密仪器仪表有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 不同干燥工艺鲜玉米的制作 煮后烘干鲜玉米制作方法为鲜玉米粒经过清洗,沸水煮 20 min,55 ℃低温干燥 12 h;炒制鲜玉米,制作方法为鲜玉米粒经过清洗,设置油浴温度为 125 ℃炒制 4 h;冻干鲜玉米,制作方法为鲜玉米粒经过清洗,-4 ℃真空冷冻干燥 18 h;将三种干燥工艺制作的鲜玉米分别粉碎,过 100 目筛,得鲜玉米粉(以下简称鲜玉米),进行品质分析及风味测定。鲜玉米粒直接进行清洗

粉碎处理。

1.2.2 鲜玉米基本成分 水分、蛋白质、脂肪和淀粉含量测定分别根据 GB 5009.3-2016、GB 5009.5-2016、GB/T 5009.6-2016、GB/T 5009.9-2016;总糖含量参照 GB/T 15672-2009 方法测定。

1.2.3 鲜玉米总黄酮和总酚含量 称取 5.000 g 鲜玉米粉,加入过量乙醚,3000 r/min 离心 10 min,反复 3 次去除油脂。提取方法参照张沛敏等^[16]的方法。设置超声起始温度 30 ℃、超声功率 180 W、固液比 1:15 g/mL,以体积分数为 80% 的乙醇作为溶剂提取 45 min,3000 r/min 离心 10 min 得提取液。

总黄酮含量采用 NaNO₂-Al(NO₃)₃ 络合法,参考 Ma 等^[17]的方法稍作修改。取提取液 0.5 mL 与 0.5 mL 5% 的 NaNO₂ 溶液漩涡混匀,室温下放置 6 min,加入 0.5 mL 10% 的 AlCl₃ 溶液振荡,静置 6 min,再加入 2.5 mL 1 mol/L NaOH 溶液和 1 mL 蒸馏水混匀,室温下避光反应 15 min,在 510 nm 波长处测定吸光度。以芦丁含量(mg/mL)为横坐标,吸光度为纵坐标,得回归方程为 $y = 0.0429x - 0.0001$ ($R^2 = 0.9996$)。样品中总黄酮以芦丁当量来表示(mg/g)。

总酚含量采用 Folin-ciocalteu 法,参考 Hu 等^[18]的方法。取 0.1 mL 提取液于试管中,2.8 mL 去离子水和 0.1 mL 1.0 mol/L Folin-ciocalteu 试剂,混合均匀。静置 8 min 后加入 2 mL 75 g/L 碳酸钠溶液,摇匀,密封室温下避光,2 h 后于 765 nm 测定吸光度,平行测试 3 次,以 1% 的盐酸乙醇溶液(1 mL 盐酸用甲醇稀释至 100 mL)做空白,没食子酸做标准曲线,建立的回归方程为: $y = 0.0024x + 0.0258$ ($0 \leq x \leq 100 \mu\text{g/g}$, $R^2 = 0.9996$),式中 y 为吸光度值,x 为没食子酸质量分数($\mu\text{g/g}$),总酚含量以每克干燥样品中所含的相当于没食子酸的量表示。

1.2.4 鲜玉米抗氧化能力 参考 Arda 等^[19]的提取方法,取 2.0000 g 鲜玉米粉,加入 80 mL 体积分数 70% 乙醇溶液,于 80 ℃恒温避光浸提 30 min,提取液在 3000 r/min 室温离心 10 min,取上清液作为鲜玉米抗氧化物质提取液,置于冰箱备用。鲜玉米粉抗氧化能力根据 DPPH 自由基清除率、羟自由基($\cdot\text{OH}$)清除能力及总还原能力进行分析。

1.2.4.1 DPPH 自由基清除率 根据 Liu 等^[20]的提取方法,用乙醇配制浓度为 0.2 mmol/L 的 DPPH 溶液,避光备用。取 3.0 mL DPPH 溶液与 3.0 mL 鲜玉米抗氧化物质提取液摇匀,避光放置 30 min,在波长 517 nm 处测定吸光度 A_x 。同时将 3.0 mL DPPH 溶液与 3.0 mL 乙醇混合后避光放 30 min,在波长 517 nm 处测定吸光度 A_0 ,以乙醇为空白。按下面公式计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{DPPH}(\%) = (1 - A_x/A_0) \times 100$$

1.2.4.2 $\cdot\text{OH}$ 清除能力 根据 Sun 等^[21]的提取方法,在试管中加入 9.0 mmol/L 乙醇-水杨酸溶液、9.0 mmol/L FeSO₄ 各 1.0 mL,加入 1.0 mL 鲜玉米抗氧化物质提取液及 12 mL 去离子水,加入 1.0 mL 8.8 mmol/L H₂O₂ 溶液混匀,避光于 37 ℃水浴加热 15 min,在波长 510 nm 处测定吸光度 A_x (以蒸馏水

做空白调零)。同时以蒸馏水替代 H_2O_2 测定吸光度 A_{x_0} , 以蒸馏水替代抗氧化物质提取液测定吸光度 A_0 (参比溶液为不加 H_2O_2 的体系)。按下面公式计算 $\cdot OH$ 清除率。

$$\text{羟基自由基清除率}(\%) = A_0 - (A_x - A_{x_0}) / A_0 \times 100$$

1.2.4.3 总还原能力 参考 Sun 等^[22] 的提取方法, 在试管中加入 0.2 mol/L pH6.6 的磷酸缓冲液、质量分数为 1% 的铁氰化钾溶液各 2 mL, 加入鲜玉米抗氧化物质提取液 0.5 mL、混匀, 置于 50 °C 水浴锅中反应 20 min, 冷却至室温, 加入 10% 三氯乙酸溶液 2 mL 混匀, 使反应终止。另取一试管, 分别加入反应液 5 mL、去离子水 4 mL 及质量分数为 0.1% 的 $FeCl_3$ 溶液 0.5 mL, 混匀避光静置 10 min, 在波长 700 nm 处测其吸光度。

1.2.5 GC-MS 分析风味成分 设置进样口温度为 250 °C, 将固相微萃取头放入进样口活化 20 min; 称取 10 g 样品置于萃取瓶中, 60 °C 水浴加热 20 min, 然后将固相微萃取头放入萃取瓶 60 °C 萃取 100 min, 吸附样品中的挥发性物质。吸附结束后将萃取头放入进样口, 开始采集数据, 在进样口解吸 5 min 后, 拔出萃取头进行检测。

GC 条件: 色谱柱: 进样口温度 250 °C, HP-5MS 弹性石英毛细管柱 (30 m × 250 μm, 0.25 μm), 柱箱程序升温过程: 40 °C 保持 3 min, 以 10 °C/min 升到 90 °C, 再以 15 °C/min 升到 230 °C, 载气: 高纯氮气 (99.999%), 流速为 1.0 mL/min; 进样方式: 无溶剂延迟, 采用不分流进样。

MS 条件: 电子轰击式离子源 (EI), 电子能量 70 eV, 离子源温度 230 °C, 气质接口温度 250 °C, 定性与定量分析: GC-MS 图谱峰经计算机与人工检索与 NIST 08.LIT 谱库中的标准化合物检索鉴定, 匹配度大于 800 的为鉴定结果, 确定挥发性成分的化学组成, 按峰面积归一化法计算相对含量。

1.3 数据处理

采用 OriginPro 8.0 软件绘图。采用 SPSS 16.0 统计分析实验数据, 每组实验均重复 3 次, 取平均值, 数据结果以平均值 ± 标准偏差表示, 并进行单因素方差分析和相关性分析, 采用 t 检验, 当 $P < 0.05$ 时, 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同干燥工艺鲜玉米主要营养成分分析

由表 1 可知, 三种干燥工艺制作的鲜玉米淀粉、

总糖、总黄酮及总酚含量差异显著 ($P < 0.05$), 冻干鲜玉米的蛋白质、淀粉含量较高分别为 12.12%、28.89%, 炒制和煮后烘干加工制作的鲜玉米脂肪含量较高, 冻干鲜玉米脂肪含量较低。炒制加工制作的鲜玉米总糖含量最高为 27.53%, 煮后烘干的次之, 冻干处理含量最少。冷冻干燥鲜玉米中总黄酮和总酚含量分别为 3.45 和 3.96 mg/g, 显著高于其他 2 种加工方式 ($P < 0.05$); 鲜玉米总黄酮和总酚含量最高, 冻干鲜玉米、煮制干燥后的鲜玉米次之, 炒制鲜玉米两种抗氧化物质的含量最低, 说明炒制加工对鲜玉米营养成分变化影响较大, 这与吴琼等^[23] 研究一致, 这可能是由于炒制过程温度较高会导致如黄酮类和酚类等抗氧化物质的分解, 冷冻干燥由于处于低温条件, 对鲜玉米的黄酮及总酚破坏较少; 炒制加工条件下的黄酮及总酚含量损失较多^[24]。因此, 冷冻干燥、煮制后低温烘干对于鲜玉米上述营养成分保存较好。

2.2 不同干燥工艺鲜玉米抗氧化性的分析

DPPH 自由基是一种很稳定的氮中心的自由基, 有单电子, 在 517 nm 处有一强吸收, 其醇溶液呈紫色, 当有自由基清除剂存在时, 由于与其单电子配对而使其吸收逐渐消失, 其褪色程度与其接受的电子数量成定量关系, 因此可以利用分光光度计测定用于评价样品的体外抗氧化能力^[25]。由图 1A 可知, 鲜玉米清除 DPPH 自由基能力最强为 67.2%, 冻干鲜玉米次之, 炒制鲜玉米最弱。炒制与煮后烘干鲜玉米清除 DPPH 自由基能力无显著差异 ($P > 0.05$); 鲜玉米、冻干鲜玉米与另外两种加工方式制作的鲜玉米清除 DPPH· 自由基能力之间差异显著 ($P < 0.05$)。

羟基自由基 ($\cdot OH$) 是一种重要的活性氧, 是由氢氧根 (OH^-) 失去一个电子形成, 它是自然界中仅次于氟的氧化剂, 在人体内羟基自由基的含量较大, 危害也最严重。由图 1A 可以看出, 羟基自由基清除率最高的为鲜玉米为 62.7%, 炒制鲜玉米羟基自由基清除率最低, 鲜玉米、炒制鲜玉米、煮后烘干鲜玉米与冻干鲜玉米羟基自由基清除率之间差异显著 ($P < 0.05$)。

由图 1B 可知, 鲜玉米的还原力最大为 0.637, 冷冻干燥、煮后烘干的鲜玉米自由基清除力、还原力能力次之, 而炒制所得鲜玉米的抗氧化能力最低。物质还原力越大, 表明其抗氧化性越强, 说明冷冻干燥和煮后烘干加工的鲜玉米具有较强的还原性, 这与郭泽美等^[26] 的研究结果一致。上述结果与不同干燥工艺制作的样品总酚、总黄酮抗氧化物质含量变化

表 1 不同干燥工艺鲜玉米营养成分

Table 1 Main components of fresh corn subjected to different drying methods

干燥工艺	水分含量 (%)	蛋白质含量 (%)	脂肪含量 (%)	淀粉含量 (%)	总糖含量 (%)	总黄酮 (mg/g)	总酚 (mg/g)
煮后烘干鲜玉米	7.85 ± 0.02 ^b	12.05 ± 0.04 ^{ab}	7.68 ± 0.06 ^a	27.88 ± 0.15 ^b	24.37 ± 0.14 ^b	2.69 ± 0.05 ^b	2.89 ± 0.03 ^b
烘制鲜玉米	8.73 ± 0.02 ^a	11.96 ± 0.07 ^b	7.73 ± 0.09 ^a	27.02 ± 0.02 ^c	27.53 ± 0.19 ^a	2.08 ± 0.01 ^c	1.86 ± 0.02 ^c
冻干鲜玉米	6.88 ± 0.03 ^c	12.12 ± 0.01 ^a	5.64 ± 0.02 ^b	28.89 ± 0.14 ^a	20.66 ± 0.15 ^c	3.45 ± 0.04 ^a	3.96 ± 0.07 ^a
鲜玉米 (对照)		3.68 ± 0.03 ^c	4.51 ± 0.10 ^c				

注: 同列若字母相同, 表明差异不显著 ($P > 0.05$), 若字母不相同, 表明差异性显著 ($P < 0.05$)。

趋势一致。

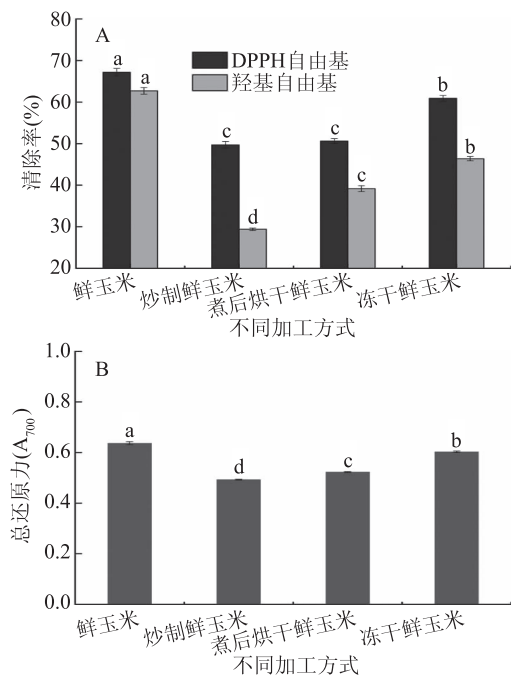


图1 不同干燥工艺对鲜玉米自由基清除能力(A)、总还原力(B)的影响

Fig.1 Effects of different drying methods on the free radical scavenging capacity (A) and total reducing power (B) of fresh corn

注:不同小写字母表示不同干燥工艺样品的抗氧化能力差异显著, $P < 0.05$ 。

2.3 GC-MS 挥发性风味成分分析

食品经不同干燥处理所含化学成分经相互作用,产生不同的风味物质^[27]。由表2可知,鲜玉米和3种不同干燥方式得到的鲜玉米的挥发性气体物质

共有79种,其中包括醇类3种、醛类11种、酮类8种、烃类24种、酯类8种、杂环类25种。鲜玉米、煮制后烘干的鲜玉米、炒制鲜玉米和冷冻鲜玉米各自鉴定出38、17、32种和8种挥发性香气成分。说明鲜玉米及鲜玉米经炒制加工,风味化合物的种类较多。煮制后烘干的鲜玉米风味物质种类数量较少,冻干的鲜玉米风味物质种类损失最多,数量最少。

由表2可知,鲜玉米产生的醇类物质有3种,相对含量为8.90%,芳香烃类物质有3种,相对含量高达42.38%,是鲜玉米的主要香味组成物质,鲜玉米中还含有丰富的挥发性化学成分烷烃类物质,相对含量为6.65%,如十三烷(0.17%)、正十四烷(0.66%)、戊基环丙烷(3.26%)等,这些烷烃化合物主要由饱和脂肪脂肪酸和不饱和脂肪酸经氧化形成的,对鲜玉米风味形成的作用较小,但在其风味形成过程中与酮、酸、醛和酯类等起着互补或调和的作用;另外鲜玉米产生的酯类物质有7种,相对含量为10.92%,酯类物质是脂肪氧化产生的游离脂肪酸和醇的相互作用形成的,主要呈现水果香味。煮制后烘干的鲜玉米产生的醛类物质有3种,相对含量为19.38%,杂环化合物类物质有3种,相对含量为20.73%,芳香烃类物质有6种,相对含量为52.38%,是煮制后烘干鲜玉米的主要香味组成物质。炒制鲜玉米产生的杂环类物质有19种,相对含量为79.12%,这可能是由于鲜玉米经过炒制处理,在加热的过程中发生美拉德反应,形成大量的杂环类香味化合物。冻干鲜玉米产生的醛类物质有3种,相对含量为52.90%。可以看出鲜玉米和煮制后烘干的鲜玉米芳香烃类物质含量最高,炒制鲜玉米杂环化合物类物质种类和含量最多,冻干加工的鲜玉米醛类物质含量最多。鲜玉米中的类酯类物质在加热过程中发生氧化反应,并分

表2 不同干燥工艺对鲜玉米香气成分的影响

Table 2 Effects of different drying methods on the relative contents of aromatic components in fresh corn

序号	挥发性风味物质	分子式	相对含量 (%)			
			鲜玉米 (对照)	煮后烘干 鲜玉米	炒制 鲜玉米	冻干 鲜玉米
1	3-辛醇	C ₈ H ₁₆ O	6.24	-	-	-
2	醇类	2-辛烯-1-醇	1.50	-	-	-
3		1-壬醇	1.16	-	-	-
	总和		8.90	-	-	-
4		正己醛	4.65	11.48	2.49	6.00
5		反-2-辛烯醛	2.14	-	-	-
6		2-壬烯醛	0.46	-	-	-
7		壬醛	1.34	6.36	3.02	-
8		2,4-壬二烯醛	0.19	-	-	-
9	醛类	癸醛	0.77	1.54	0.33	-
10		2-十三烯醛	0.42	-	-	-
11		反2-甲基-2-丁烯醛	-	-	0.56	-
12		苯甲醛	-	-	2.51	-
13		5-甲基呋喃醛	-	-	-	1.91
14		5-羟甲基糠醛	-	-	-	45.99
	总和		9.97	19.38	8.91	53.90

续表

序号	挥发性风味物质	分子式	相对含量(%)			
			鲜玉米 (对照)	煮后烘干 鲜玉米	炒制 鲜玉米	冻干 鲜玉米
15	3-辛烯-2-酮	C ₈ H ₁₄ O	2.04	1.59	-	-
16	3,5-辛二烯-2-酮	C ₈ H ₁₂ O	1.62	-	-	-
17	1-(6-甲基-7-噁双环[4.1.0]庚-3-基)-乙酮	C ₉ H ₁₄ O ₂	0.38	-	-	-
18	环十五酮	C ₁₆ H ₃₀ O	0.33	-	-	-
19	4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-基)-3-丁烯-2-酮	C ₁₃ H ₂₀ O	0.24	-	-	-
20	6,10-二甲基-5,9-十一烷二烯-2-酮	C ₁₃ H ₂₂ O	0.38	-	-	-
21	2,3-戊二酮	C ₅ H ₈ O ₂	-	-	0.66	-
22	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮	C ₆ H ₈ O ₄	-	-	-	10.90
	总和		4.99	1.59	0.66	10.90
23	(2-甲基亚丙基)环戊烷	C ₉ H ₁₆	2.30	-	-	-
24	戊基环丙烷	C ₈ H ₁₆	3.26	-	-	-
25	2,6,10-三甲基十四烷	C ₁₇ H ₃₆	0.26	-	-	-
26	2,4,6-三甲基辛烷	C ₁₁ H ₂₄	-	0.92	-	-
27	正十四烷	C ₁₅ H ₂₇ F ₃ O ₂	0.66	-	-	-
28	2,2,7,7-四甲基辛烷	C ₁₂ H ₂₆	-	-	1.07	-
29	十二烷	C ₁₂ H ₂₆	-	-	0.39	-
30	十三烷	C ₁₃ H ₂₈	0.17	-	-	-
31	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	-	0.57	-	-
	总和		6.65	1.49	1.46	0
32	10-甲氧基双环[4.4.1]十一碳-1,3,5,7,9-五烯	C ₁₁ H ₁₀	0.25	-	-	-
33	2-苯基-1-丙烯	C ₉ H ₁₀ O ₂	-	0.73	-	-
34	双戊烯	C ₁₀ H ₁₆	-	3.03	-	8.01
35	环丁烯	C ₇ H ₈	-	-	0.29	-
36	苯乙烯	C ₈ H ₈	-	-	0.50	-
37	5-(1-甲乙烯基)-1-甲基环己烯	C ₁₀ H ₁₆	-	-	0.76	-
	总和		0.25	3.76	1.55	8.01
38	乙苯	C ₈ H ₁₀	2.52	2.74	-	-
39	间二甲苯	C ₈ H ₁₀	39.20	-	4.36	10.67
40	1,3,5-三甲基苯	C ₉ H ₁₂	0.66	-	-	-
41	乙基苯	C ₈ H ₁₀	-	-	3.94	-
42	甲苯	C ₇ H ₈	-	0.51	-	-
43	邻二甲苯	C ₈ H ₁₀	-	34.10	-	-
44	对二甲苯	C ₈ H ₁₀	-	12.59	-	-
45	萘	C ₁₀ H ₈	-	1.55	-	1.65
46	1,4-二氢-1,4-甲桥萘	C ₁₁ H ₁₀	-	0.89	-	-
	总和		42.38	52.38	8.30	12.32
47	正丙酸乙酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	1.59	-	-	-
48	乙二醇丁醚醋酸酯	C ₈ H ₁₆ O ₃	0.90	-	-	-
49	1-甲基-4-(1-甲基亚乙基)环己醇乙酸酯	C ₁₀ H ₂₀ O	0.35	-	-	-
50	苯乙酸己醇酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	0.36	-	-	-
51	(1-羟基-2,4,4-三甲基戊-3-基)2-甲基丙酸酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	2.55	-	-	-
52	α-羟基丙酸甲酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	4.59	-	-	-
53	丁二酸二(2-甲基丙)酯	C ₁₂ H ₂₂ O ₄	0.58	-	-	-
54	棕榈酸乙酯	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	-	0.66	-	-
	总和		10.92	0.66	0	0
55	2-正戊基咪唑	C ₉ H ₁₄ O	7.15	10.56	6.25	-
56	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂	3.46	2.63	-	-
57	甲氧基苯胺	C ₈ H ₉ NO ₂	2.17	-	-	-

续表

序号	挥发性风味物质	分子式	相对含量(%)				
			鲜玉米 (对照)	煮后烘干 鲜玉米	炒制 鲜玉米	冻干 鲜玉米	
58	2,3,5-三甲基-6-异戊基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂	0.41	-	-	-	
59	2-甲氧基-4-乙基苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	2.73	-	-	-	
60	4-乙基-2-甲氧基苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	-	7.54	-	-	
61	1-甲基-1H-吡咯	C ₆ H ₉ N	-	-	1.04	-	
62	2-甲基吡嗪	C ₅ H ₆ N ₂	-	-	2.65	-	
63	2,5-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂	-	-	11.22	-	
64	4,5-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂	-	-	5.05	-	
65	2-乙基-6-甲基吡嗪	C ₇ H ₈ N ₂	-	-	4.60	-	
66	2-乙基-5-甲基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂	-	-	3.02	-	
67	2-乙基-3-甲基吡嗪	C ₇ H ₁₀ N ₂	-	-	9.33	-	
68	杂环 化合物	1-乙基-2-甲酰-1H-吡咯	C ₇ H ₉ NO	-	-	1.16	-
69		3-乙酰基-1H-吡咯啉	C ₆ H ₇ NO	-	-	2.18	-
70		3-乙基-2,5-甲基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂	-	-	23.65	-
71		2-乙基-3,5-甲基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂	-	-	0.61	-
72		2-甲基-5-(2-丙烯基)吡嗪	C ₈ H ₁₀ N ₂	-	-	0.68	-
73		3-乙基氨基苯酚	C ₈ H ₁₁ NO	-	-	0.43	-
74		2-丙酰基吡啶	C ₈ H ₉ NO	-	-	0.61	-
75		2,5-二甲基-3-丙基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂	-	-	3.74	-
76		2-乙酰基-3-乙基吡嗪	C ₈ H ₁₀ N ₂ O	-	-	0.69	-
77	2,5-二甲基-3-乙基吡嗪	C ₁₀ H ₁₆ N ₂	-	-	0.29	-	
78	4-乙基-2-甲氧基苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	-	-	1.92	-	
79	5-甲基咪啶	C ₅ H ₆ N ₂ O ₂	-	-	-	14.88	
总和			15.92	20.73	79.12	14.88	

解生成酮、醛、酸等挥发性羰基化合物。同时含苯环类芳香族化合物是鲜玉米的重要风味化合物,这和刘玉花等^[28]的研究结果一致。

3 结论

冻干加工的鲜玉米淀粉含量较高为 28.89%, 炒制和煮后烘干制作的鲜玉米脂肪含量较高, 炒制加工的鲜玉米总糖含量较高。与鲜玉米相比, 冻干加工的鲜玉米总黄酮和总酚含量最高, 其自由基清除力和还原力也最强, 而炒制所得鲜玉米的抗氧化能力最低。对其挥发性风味成分进行分析, 检测到鲜玉米和 3 种不同干燥工艺的鲜玉米挥发性气体物质共有 79 种, 包括醇类 3 种、醛类 11 种、酮类 8 种、烃类 24 种、酯类 8 种、杂环类 25 种。鲜玉米的主要香气成分为芳香烃类物质, 鲜玉米和煮后烘干加工芳香烃类物质含量最高, 炒制加工杂环化合物类物质种类和含量最多, 冻干加工的醛类物质含量最多; 比起炒制和冻干加工处理, 煮后烘干加工对鲜玉米的香气成分有更好的保留。众所周知冷冻干燥能耗较大, 因此, 鲜玉米的干燥加工可选择煮后烘干处理, 后期还需进一步研究比较其他干燥方式, 对比分析以便为鲜玉米寻找更加合适的加工与干燥方法。

参考文献

[1] 孟利, 刘峰, 金海涛, 等. 鲜甜玉米 520 主要营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(21): 358-361.

[2] 刘学铭, 陈智毅, 唐道邦. 甜玉米的营养功能成分、生物活性及保鲜加工研究进展[J]. 广东农业科学, 2010(12): 90-94.

[3] 高云. 黑甜玉米的营养成分分析及开发利用[J]. 食品科学, 2000, 21(12): 59-61.

[4] Schultz J A, Juvik J A. Current models for starch synthesis and the sugary enhancer1(sel) mutation in Zea mays[J]. Plant Physiol Biochem, 2004, 42: 457-464.

[5] 刘勋甲, 徐尚忠, 李建新, 等. 超甜玉米乳熟期营养成分及不同贮藏处理的含糖量与口感变化[J]. 长江蔬菜, 1999(11): 31-33.

[6] 乐素菊, 刘厚诚, 张璧, 等. 超甜玉米籽粒乳熟期碳水化合物变化及食用品质[J]. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2003, 24(2): 9-11.

[7] 郝小琴, 吴子恺, 赵刚. 鲜食甜糯玉米籽粒氨基酸含量的研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(6): 62-67.

[8] 冯发强, 王国华, 王青峰, 等. 甜玉米乳熟期籽粒维生素 A 源和维生素 E 组分的变异[J]. 作物学报, 2014, 40(7): 1227-1234.

[9] 佚名. 街头甜玉米能降低肝脏排毒功能[J]. 北京农业, 2009(29): 28-29.

[10] 程媛, 吴继军, 刘忠义, 等. 不同杀菌方式的甜玉米饮料挥发性风味成分分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(5): 281-288.

[11] 张静楷. 松子炒玉米降脂又降压[J]. 农村发展论坛, 2001

(下转第 69 页)

- 分布的影响[J].食品工业科技,2017,38(14):126-130.
- [7] Anwar N, Xing J Q, Xu Y S, et al. Influence of degree of hydrolysis on chemical composition, functional properties, and antioxidant activities of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) hydrolysates obtained by using alcalase 2.4 L [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2019, 28(6): 583-597.
- [8] 周航, 何强. 鲢鱼复合酶解产物的理化及功能特性研究[J].食品工业科技,2017,38(4):116-120.
- [9] 张晶晶, 郝惠娜, 章超桦, 等. 牡蛎蛋白分离组分的酶法改性[J].食品与发酵工业,2014,40(7):34-39.
- [10] 张典, 李龄佳, 崔春, 等. 牡蛎酶解工艺的响应面优化研究[J].中国调味品,2019,44(5):12-16.
- [11] Wang X Q, Yu H H, Xing R G, et al. Effect and mechanism of oyster hydrolytic peptides on spatial learning and memory in mice[J]. Rsc Advances, 2018, 8(11): 6125-6135.
- [12] 杨昭, 姚玉静, 黄佳佳, 等. 异丁醇萃取三种酶解产物苦味肽的研究[J].中国调味品,2018,43(12):41-48.
- [13] 姚玉静, 杨昭, 黄佳佳, 等. 乙醇萃取3种酶解液鲜味肽的研究[J].食品与机械,2018,34(3):161-166.
- [14] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J].食品科学,2019,40(10):243-250.
- [15] 王曜, 陈舜胜. 野生与养殖克氏原螯虾游离氨基酸的组成及比较研究[J].食品科学,2014,35(11):269-273.
- [16] 许劲, 孙丽滢, 郭吉泰. 扇贝裙边酶解过程中呈味组分的
- (上接第63页)
- (Z1):45.
- [12] Gao Jun. Newton-Gauss curvature matrix based c-DBN for online edible fungus drying prediction model [J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 81: 273-279
- [13] 许年历, 耿明, 齐璐璐, 等. 4种干燥方式制备蓝莓果粉的品质研究[J].园艺与种苗,2018,38(12):27-32.
- [14] 张康逸, 何梦影, 郭东旭, 等. 不同干燥工艺对捻转品质和挥发性风味成分的影响[J].食品工业科技,2018,39(2):81-86,91.
- [15] 胡云峰, 唐裕轩, 李宁宁, 等. 枸杞干制过程中褐变反应研究[J].食品工业科技,2016(37):163-167.
- [16] 张沛敏, 邵林生, 王俊花, 等. 不同品种鲜食玉米的营养成分及抗氧化活性比较[J].玉米科学,2016,24(4):110-115.
- [17] Ma Y J, Guo X D, Liu H, et al. Cooking, textural, sensorial, and antioxidant properties of common and tartary buckwheat noodles [J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(1): 153-159.
- [18] Hu Q P, Xu J G. Profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics, and antioxidant activity of selected colorwaxy corn grains during maturation [J]. J Agric Food Chem, 2011, 59: 2026-2033.
- [19] Arda S, Vural G, Alptekin K, et al. Phytochemical quantification and total antioxidant capacities of Emmer (*Triticum dicoccon* Schrank) and Einkorn (*Triticum monococcum* L.) wheat landraces [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(16): 7285-7292.
- 变化规律研究[J].现代食品科技,2019,35(7):121-126.
- [17] 侯清娥. 基于神经网络的牡蛎呈味肽制备及呈味特性研究[D].湛江:广东海洋大学,2011.
- [18] 崔沙沙, 钟俊楨, 方冲, 等. 不同低水解度的大米蛋白溶解性与结构变化的关系[J].食品工业科技,2016,37(7):86-91.
- [19] 刘远洋, 顾炜, 郭健, 等. 酶解程度对花生蛋白理化性质及功能特性的影响[J].中国粮油学报,2012,27(2):27-31.
- [20] 曹承旭, 赵春燕, 马越, 等. 复合风味蛋白酶酶解时间对籽瓜种子蛋白特性的影响[J].食品科技,2017,42(6):85-89.
- [21] 付学军, 金海珠. 酶解时间对海参肽抗氧化活性影响的研究[J].食品科技,2013,38(9):193-197.
- [22] 肖如武. 蓝蛤蛋白源鲜味肽的制备及分离研究[D].广州:华南理工大学,2010.
- [23] 陈怡颖, 丁奇, 赵静, 等. 鸡汤及鸡肉酶解液中游离氨基酸及呈味特性的对比分析[J].食品科学,2015,36(16):107-111.
- [24] 刘海梅, 陈静, 郝良文, 等. 葡萄糖-牡蛎酶解液美拉德反应体系的抗氧化活性[J].食品科学,2018,39(17):47-52.
- [25] 侯娜, 赵莉莉, 魏安智, 等. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J].食品科学,2017(18):120-125.
- [26] 王齐, 朱伟伟, 苏丹, 等. 蒲桃中氨基酸组成与含量对其营养与风味的影响[J].食品科学,2012,33(16):204-207.
- [27] 刘海梅, 陈静, 安孝宇, 等. 牡蛎酶解工艺参数优化及其产物分析与评价[J].食品科学,2017,38(14):240-244.
- [20] Liu J, Yan J, Lin S, et al. Purification and identification of novel antioxidant peptides from egg white protein and their antioxidant activities [J]. Central African Journal of Medicine, 2015, 175(9): 258-266.
- [21] Sun X, Sun Y, Zhang Q, et al. Screening and comparison of antioxidant activities of poly saccharides from *Coriolus versicolor* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 69(8):12-19.
- [22] Sun Y, Yang B, Wu Y, et al. Structural characterization and antioxidant activities of k-carrageenan oligosaccharides degraded by different methods [J]. Food Chemistry, 2015, 178: 311-318.
- [23] 吴琼, 刘奕, 吴庆园, 等. 不同干燥方式对葛根全粉抗氧化性能和香气成分的影响[J].食品科学,2017,38(6):202-208.
- [24] 常飞, 段旭昌, 王倩倩, 等. 不同干燥方法对葛根黄酮含量的影响研究[J].食品工业科技,2014,35(9):78-81.
- [25] 张利娟, 师俊玲. 无核白葡萄热风干燥过程中总酚与抗氧化活性的变化[J].食品科学,2013,34(5):55-59.
- [26] 郭泽美, 任章成, 陈腾, 等. 干燥方式对葡萄皮多酚及其抗氧化活性的影响[J].食品科学,2013,34(11):117-121.
- [27] Huang F, Guo Y, Zhang R, et al. Effects of drying methods on physicochemical and immunomodulatory properties of polysaccharide-protein complexes from litchi pulp [J]. Molecules, 2014, 19(8): 12760-12776.
- [28] 刘玉花, 宋江峰, 李大婧, 等. 速冻甜玉米风味物质 HS-SPME/GC-MS 分析[J].食品工业科技,2010,31(7):95-98.