

干燥方式对黄花菜粉营养、色泽及氨基酸含量的影响

杨双喜¹, 马尧¹, 张海红^{1*}, 郝慧慧¹, 杨静慧¹, 马雪梅¹, 张海波²

(¹宁夏大学食品与葡萄酒学院 银川 750021

²宁夏早康生物科技有限公司 宁夏中宁 755100)

摘要 以黄花菜加工过程中副产物——开花、断折、破损的黄花菜为原料制备黄花菜粉。采用 4 种干燥方式(自然干燥、热风干燥、真空冷冻干燥、喷雾干燥)制备并进行微细化处理,得到不同干燥方式加工的黄花菜粉,测定其营养、色泽、呈味物质等指标。对相应指标进行变异系数法加权分配,综合评分,以确定更优的干燥方式。最后将 4 种干燥方式进行聚类分析,结果表明,通过 4 种干燥方式处理的黄花菜粉的营养指标与色泽均有显著变化:热风干燥黄花菜粉的总蛋白、总糖与维生素 C 的保留更为完整,喷雾干燥黄花菜粉的色泽对其未来作为食品添加剂更为有利,自然干燥黄花菜粉的氨基酸含量及呈味氨基酸含量较高。干燥方式综合评价结果是自然干燥>真空冷冻干燥>热风干燥>喷雾干燥。自然干燥其受环境天气等方面的影响较大。真空冷冻干燥设备成本高,耗时、耗能。综合耗能及品质等多方面考虑,热风干燥是较为合适的黄花菜粉加工方式。

关键词 黄花菜粉; 干燥方式; 营养成分; 综合评价

文章编号 1009-7848(2022)10-0232-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.10.025

黄花菜(*Hemerocallis citrina* Baroni)又名萱草、金针菜,为百合科萱草属多年生草本宿根植物^[1],其营养丰富,风味独特,在我国有数千年栽种历史,是一种药食兼优的特色经济作物^[2]。除少部分鲜黄花菜直接投放市场用于消费外,大部分黄花菜通过干制而保存起来,以供淡季的需求^[3]。近年来,随着黄花菜产业的发展及政府的重视,关于黄花菜采后处理及药用途径方面的研究也日益增加^[2]。在《本草纲目》等中国医术上记载,黄花菜具有利膈、安五脏、清热、养心、抗菌、消炎、明目等功能。翟俊乐等^[4]、钱新华^[5]研究发现黄花菜富含黄酮类成分,具有抗氧化,抗抑郁,抗肥胖,抗高血压,下奶等多种功能。

在相关产品开发、研究及实际生产中,原料多以干制黄花菜为主。由于人工采摘的主观评断易造成已开花的、成熟的鲜黄花菜因无法制干而导致资源浪费。将已开花、断折、破损的黄花菜回收,并开发黄花菜加工的新工艺和新产品,对推动黄花菜产业发展具有重要意义。通过干燥制粉可以

提高其附加值,然而,在不同干燥方式下营养成分、粉体特性及挥发性风味物质差异较大。

自然干燥、热风干燥、真空冷冻干燥和喷雾干燥是 4 种常见的蔬菜制粉工艺。马琦等^[6]研究发现中短波红外干燥方式下,杏鲍菇的挥发性成分品质最好。蒋鹏飞等^[7]研究发现喷雾干燥和真空冷冻干燥处理的苦瓜粉品质优于热风干燥和日晒干燥。田震等^[8]采用不同干燥方式处理后的香葱叶片和叶柄中挥发性化合物种类和含量变化较大,联合干燥方法(微波联合热风干燥)制得的香葱干制品具有更浓郁的风味。目前关于黄花菜的研究多为其制干过程,缺少综合比较不同干燥方式的黄花菜粉营养成分及风味物质的研究报道。由于营养成分及风味物质共同决定黄花菜粉的品质及大众接受度^[9],为最大程度地保留黄花菜粉的营养物质与风味物质,本试验选择自然干燥、热风干燥、真空冷冻干燥和喷雾干燥制备黄花菜粉,分析其营养成分及风味物质,以期为黄花菜资源的合理开发和综合利用提供科学依据,为黄花菜粉新技术及装备的研发提供理论依据。

收稿日期: 2021-10-14

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划农业农村领域重点项目(2019BBF02001)

作者简介: 杨双喜(1996—),男,硕士生

通信作者: 张海红 E-mail: nxdwjyxx@126.com

1 材料与方法

1.1 材料及预处理

试验所用新鲜黄花菜采自宁夏回族自治区盐

池县红寺堡区周边,品种为“大乌嘴”,九成熟,长9~12 cm,单重为8~10 g,直径为0.8~10 mm,无病虫害的花蕾。挑选整理后进行干燥,之后立刻装入塑封袋密封,并置于4℃冰箱贮存。热风干燥、真

空冷冻干燥和喷雾干燥3种干燥方式制得样品水分含量均控制在10%以下。4种干燥方法的技术细节见表1。

表1 不同干燥方式黄花菜粉制备设备及参数、图片

干燥方式	设备型号	制作参数	图片
自然干燥+超微粉碎	-	在阳光充足的条件下,将盛有通过热烫处理的黄花菜物料盘置于阳光下晒干,铺料厚度为5 mm,自然晒干72 h	
热风干燥+超微粉碎	热泵干燥机(东莞市永淦节能科技有限公司)	将盛有通过热烫处理的黄花菜物料盘放入恒温鼓风箱中,铺料厚度为5 mm,干燥温度60℃,干燥时间6 h	
真空冷冻干燥+超微粉碎	专用冷冻机(ZDG-0.25型真空冻干机)	将热烫处理的黄花菜冷却后均匀铺散在托盘上,铺料厚度为5 mm,冷冻温度-30℃,冷冻时间4 h,真空13 Pa,冷阱温度-60℃,总运行时间24 h	
喷雾干燥	LPG-5离心喷雾干燥机(常州市日宏干燥设备有限公司)	将热烫的黄花菜加入骨泥磨制浆再利用高速匀浆机混合均匀,最后在喷雾干燥机中干燥,条件为进风温度135℃,出风温度81℃,蠕动泵转速350 mL/h,喷雾干燥完成后,收集干燥后的黄花粉末	

注:超微粉碎是用超微粉碎机对自然干燥、热风干燥、真空冷冻干燥制备的黄花菜梗束进行粉碎,每次粉碎时间1 min,每次间隔5 min,粉碎5次。

1.2 仪器及设备

L-8800型全自动氨基酸分析仪,日本日立公司;HR-2000型多功能粉体物理特性测试仪,丹东市恒瑞仪器有限公司;772紫外-可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;HD-200型万能粉碎机,上海比朗有限公司。

1.3 相关指标测定

1.3.1 可溶性蛋白及维生素C含量的测定 可溶性蛋白含量的测定采用基于考马斯亮蓝法试剂盒完成。维生素C含量的测定基于抗坏血酸(AsA)含量测试盒完成。

1.3.2 总糖测定 测定原理:总糖酸水解为还原糖,在氢氧化钠和丙三醇作用下,DNS试剂与还原糖共热后被还原成氨基化合物,在过量的氢氧化钠碱性溶液中呈桔红色,在波长540 nm处有最大吸收峰,以测定样品中的总糖含量。

1.3.3 色泽测定^[10-14] 使用色度分析仪对样品进行色泽的差异比较。采用便携式色差仪对平铺于白纸上的厚度为0.3~0.5 mm的黄花菜粉进行测定,每个样品测定3次取平均值,色度值用 $L^*a^*b^*$ 的值表示, L^* 值表示亮度,亮度从纯白到纯黑(0为黑,100为白); a^* 值表示红绿,正值代表红色,

负值代表绿色; b^* 值代表黄蓝,正值为黄色,负值为蓝色。按照式(1)计算色差(ΔE)。

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

所求得 ΔE , 可分类为不可见(0~0.5)、略明显(0.5~1.5)、明显(1.5~3.0)、易见(3.0~6.0)和较好(6.0~12.0)。同样,褐变指数(BI)是用测得的 L^* 、 a^* 和 b^* 值根据公式(2)计算。

$$BI = \frac{100 \times (X - 0.31)}{0.17} \quad (2)$$

$$X = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012 \times b^*} \quad (3)$$

1.3.4 氨基酸测定 氨基酸测定参照《食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124-2016)^[15],用氨基酸分析仪定性、定量分析其中 17 种氨基酸。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对黄花菜粉营养成分的影响

对比 4 种干燥方式下黄花菜粉的主要营养成分变化,由表 2 可知,各样品中不同营养成分差异

显著。究其原因可能是由于不同干燥方式导致黄花菜粉各组分产生相互转化以及分解所致^[16],从蛋白质含量变化来看,真空冷冻干燥>热风干燥>喷雾干燥>自然干燥,其中热风干燥与喷雾干燥数据较为接近,这可能是由于蛋白质发生美拉德反应的进行程度与温度有关,真空冷冻干燥过程中温度不高,使其蛋白质保留较为充分。热风干燥虽比自然干燥温度高,但其干燥时间较短,蛋白质保留相对自然干燥较好。总体来看各种干燥方式下,蛋白质含量均变化不大,其不能作为优选最佳干燥方式的唯一条件。从总糖含量变化幅度看,热风干燥>自然干燥>喷雾干燥>真空冷冻干燥,热风干燥总糖含量较高,可能是因为热风干燥温度较低且时间较短,美拉德反应程度不高,而喷雾干燥进风温度高达 180℃,美拉德反应较为充分。维生素 C 含量差异不显著,含量较为相近。这与 Anuradha 等^[17]研究结果一致。综上所述,营养成分并不能作为判断最佳干燥方式的唯一条件,还需要结合色泽、挥发性物质等数据共同分析。

表 2 不同干燥方式黄花菜粉蛋白质、总糖、维生素 C 含量

Table 2 Contents of protein, total sugar and vitamin C in different drying methods of cauliflower powder

干燥方式	蛋白质/mg prot·mL ⁻¹	总糖/mg·g ⁻¹	维生素 C/mg·L ⁻¹
自然干燥	4.63 ± 0.03 ^a	100.81 ± 3.00 ^a	23.94 ± 2.90 ^a
热风干燥	5.83 ± 0.52 ^a	176.98 ± 14.0 ^a	27.97 ± 4.90 ^a
真空冷冻干燥	6.58 ± 0.48 ^b	82.93 ± 2.40 ^b	24.81 ± 4.20 ^a
喷雾干燥	4.76 ± 0.50 ^a	83.71 ± 3.92 ^a	24.89 ± 2.80 ^a

注:同一指标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下表同。

2.2 干燥方式对黄花菜粉色泽的影响

色泽作为食品中重要的感官指标,对其作为添加剂或冲调饮料具有重要影响。表 3 中列出的颜色参数(L^* 、 a^* 、 b^* 、 ΔE 、BI)对照表 1 中黄花菜粉的外观变化,可知 L^* 所代表的亮度(亮度从纯白到纯黑,0 为黑,100 为白)表现顺序为喷雾干燥>真空冷冻干燥>自然干燥>热风干燥,这可能由于喷雾干燥过程中温度较高与真空冷冻干燥中干燥时间较长导致,而自然干燥与热风干燥处理温度较低,保持了黄花菜自身中主要的有色物质,如类胡萝卜素等。这与营养成分测定的结果相一致。喷雾干燥样品在 L^* 值的结果可能是由于其颗粒最小,比表面积较大,引起了反射因数的增大,导致

颜色变浅^[18],这与郭增旺等^[19]的试验结果相吻合。 a^* 所代表的颜色变化中(正值代表红色,负值代表绿色)喷雾干燥更接近绿色,自然干燥更接近红色。 b^* 在几种干燥方式中则没有表现出显著的差异。 ΔE 表示相对于新鲜样品,干燥样品中总体颜色的变化程度,质量优质的干燥产品应具有较低的 ΔE 值,干燥样品的 ΔE 值介于 55.54~88.74 之间。这也证实了干燥时间与温度和颜色变化存在正相关,这可能也是热风干燥 ΔE 值较低的原因。BI 显示了酶促和非酶促褐变过程中棕色的纯度。最高的 BI 值为热风干燥(86.99),而喷雾干燥的 BI 值最低为(25.40),从最大程度减少颜色变化来看,热风干燥是最佳的干燥方式,这与表 1 中图片

相一致。在实际生产中,色泽过深限制了其作为食品添加剂的潜在应用,总体来看喷雾干燥具有明显优势,其在浅色食品中应用前景更加广泛^[20]。

表 3 不同干燥方式黄花菜粉的色度值

Table 3 Chromaticity values of different drying methods of cauliflower powder

干燥方式	L^*	a^*	b^*	ΔE	BI
自然干燥	56.01 ± 2.24 ^a	8.97 ± 1.99 ^a	26.86 ± 1.17 ^a	62.761 ± 2.783 ^a	75.314 ± 2.518 ^a
热风干燥	48.04 ± 4.45 ^b	3.66 ± 0.14 ^b	27.64 ± 0.52 ^a	55.544 ± 4.114 ^b	86.997 ± 9.133 ^b
真空冷冻干燥	67.56 ± 2.35 ^c	-1.95 ± 0.04 ^c	30.64 ± 0.82 ^b	74.208 ± 2.479 ^c	55.859 ± 0.581 ^c
喷雾干燥	85.72 ± 4.36 ^d	-4.67 ± 0.16 ^d	22.48 ± 0.50 ^c	88.741 ± 4.346 ^d	25.404 ± 0.910 ^d

2.3 干燥方式对黄花菜粉氨基酸含量及组成的影响

氨基酸不仅可以促进蛋白质合成用于多种生理活动^[21],同样也是重要的呈味物质,根据游离氨基酸的呈味规律不同,将其分为鲜味、甜味、芳香

族氨基酸等,其中天冬氨酸、谷氨酸呈现很强的鲜味,甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸和脯氨酸表现出醇厚的甜味,芳香族氨基酸包括苯丙氨酸与酪氨酸^[22]。对不同干燥方式黄花菜粉呈味氨基酸组成进行分析,结果见表 5。

表 4 不同干燥方式黄花菜粉氨基酸含量及组成 (mg/g)

Table 4 Amino acid content and composition of cauliflower powder with different drying methods (mg/g)

氨基酸	自然干燥	热风干燥	真空冷冻干燥	喷雾干燥
天冬氨酸 Asp	12.55 ± 0.18 ^a	5.08 ± 0.08 ^b	8.52 ± 0.07 ^a	3.28 ± 0.11 ^a
苏氨酸 Thr*	2.71 ± 0.05 ^a	-	2.62 ± 0.01 ^b	0.69 ± 0.05 ^a
丝氨酸 Ser	2.9 ± 0.03 ^a	-	2.92 ± 0.01 ^a	0.81 ± 0.02 ^a
谷氨酸 Glu	9.8 ± 0.22 ^a	9.42 ± 0.36 ^b	8.45 ± 0.05 ^c	3.34 ± 0.04 ^a
甘氨酸 Gly	3.79 ± 0.19 ^a	3.88 ± 0.22 ^b	3.64 ± 0.04 ^a	1.16 ± 0.01 ^c
丙氨酸 Ala	4.76 ± 0.05 ^a	4.75 ± 0.06 ^b	4.27 ± 0.00 ^c	1.1 ± 0.01 ^a
缬氨酸 Val*	0.28 ± 0.01 ^a	0.56 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.01 ^c	0.24 ± 0.01 ^c
半胱氨酸 Cys	9.68 ± 0.33 ^a	10.02 ± 0.07 ^b	8.76 ± 0.21 ^c	2.88 ± 0.03 ^b
蛋氨酸 Met*	0.74 ± 0.04 ^a	0.97 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.03 ^a	0.83 ± 0.01 ^b
异亮氨酸 Ile*	3.49 ± 0.03 ^a	4.15 ± 0.11 ^b	3.77 ± 0.05 ^c	1.9 ± 0.05 ^c
亮氨酸 Leu*	6.27 ± 0.29 ^a	6.95 ± 0.32 ^b	6.9 ± 0.09 ^a	2.65 ± 0.03 ^a
酪氨酸 Tyr	2.23 ± 0.01 ^a	1.9 ± 0.03 ^b	2.37 ± 0.02 ^c	1.15 ± 0.09 ^c
苯丙氨酸 Phe*	4.89 ± 0.11 ^a	4.46 ± 0.03 ^b	4.94 ± 0.07 ^a	1.46 ± 0.04 ^a
赖氨酸 Lys*	5.26 ± 0.17 ^a	6.27 ± 0.31 ^b	6.3 ± 0.07 ^c	1.28 ± 0.01 ^b
组氨酸 His	1.34 ± 0.03 ^a	2.35 ± 0.03 ^b	2.55 ± 0.06 ^b	1.33 ± 0.00 ^a
精氨酸 Arg	5.29 ± 0.14 ^a	4.54 ± 0.07 ^b	5.1 ± 0.03 ^b	1.98 ± 0.01 ^b
脯氨酸 Pro	1.56 ± 0.11 ^a	2.52 ± 0.01 ^b	1.83 ± 0.01 ^c	1.01 ± 0.01 ^b
必需氨基酸	23.63 ± 0.11 ^a	23.36 ± 0.08 ^b	25.19 ± 0.21 ^c	9.06 ± 0.07 ^d
总量	77.55 ± 0.17 ^a	67.82 ± 0.13 ^b	73.59 ± 0.12 ^a	27.69 ± 0.94 ^c

注:*. 必需氨基酸;- . 未检出。

由表 5 可知,黄花菜粉中含有较高含量的鲜味氨基酸与甜味氨基酸,以及少量芳香族氨基酸,其中鲜味氨基酸含量稍高,这些氨基酸也共同组成了黄花菜特有的风味。同时,不同干燥方式下各

呈味氨基酸含量差异显著为:自然干燥>真空冷冻干燥>热风干燥>喷雾干燥,喷雾干燥对黄花菜粉呈味氨基酸损耗最大,这也导致喷雾干燥制备的黄花菜粉风味偏淡,对其在食品添加剂方面的应

用产生一定影响。与之相比,自然干燥与真空冷冻干燥制备的黄花菜粉的呈味氨基酸含量较高,风味保持更好^[21]。

表5 不同干燥方式黄花菜粉呈味氨基酸组成(mg/g)

Table 5 Composition of flavor amino acids in different drying methods of cauliflower powder (mg/g)

干燥方式	鲜味氨基酸	甜味氨基酸	芳香味氨基酸	呈味氨基酸	相对含量/%
自然干燥	22.36	13.01	7.12	42.49	0.55
热风干燥	14.5	11.15	6.36	32.01	0.47
真空冷冻干燥	16.97	12.66	7.31	36.94	0.50
喷雾干燥	6.62	4.68	2.61	13.91	0.50

2.4 蛋白质营养评价

氨基酸的种类、数量和组成比例共同决定了食物中蛋白质的营养价值,其组成比例越接近人体需要的氨基酸比例,则其营养品质越为突出。本

试验通过对不同干燥方式下黄花菜粉的氨基酸组成进行比较分析^[23],并与WHO/FAO标准模式谱进行对比,结果见表6,进而从营养价值层面判断最佳的干燥方式。

表6 不同干燥方式黄花菜粉必需氨基酸含量及组成

Table 6 Content and composition of essential amino acids in different drying methods of cauliflower powder

必需氨基酸	必需氨基酸占总氨基酸质量分数/%				WHO/FAO 标准模式谱
	自然干燥	热风干燥	真空冷冻干燥	喷雾干燥	
异亮氨酸	4.50	6.12	5.12	6.86	4.0
亮氨酸	8.09	10.25	9.47	9.57	7.0
赖氨酸	6.78	9.25	8.56	4.62	5.5
蛋氨酸+半胱氨酸	13.44	16.20	12.38	13.40	3.5
酪氨酸+苯丙氨酸	9.18	9.38	9.93	9.43	6.0
苏氨酸	3.49	0.00	3.56	2.53	4.0
缬氨酸	0.36	0.83	0.34	0.87	5.0
组氨酸*	1.73	3.47	3.47	4.80	1.5
合计	47.57	55.49	52.83	52.08	36.5

注:*. 组氨酸为婴儿或特定人群的必需氨基酸。

由表6可以看出,在几种干燥方式下占总氨基酸质量分数最高的是蛋氨酸+半胱氨酸分别为13.44%(自然干燥),16.20%(热风干燥),12.38%(真空冷冻干燥),13.40%(喷雾干燥),单一氨基酸含量最高的为亮氨酸,均超过WHO/FAO标准所要求的7.0,且热风干燥中含量最高,达到10.25%。4种干燥方式下的黄花菜粉,除缬氨酸与苏氨酸以外,其它氨基酸含量以及必需氨基酸占比均高于标准模式谱。且真空冷冻干燥中必需氨基酸表现较为均衡^[24],比较接近人体必需氨基酸的比例,营养价值更高。从单一必需氨基酸含量来看,4种干燥方式测得的婴儿必需氨基酸组氨酸的含量分

别为1.73%(自然干燥),3.47%(热风干燥),3.47%(真空冷冻干燥),4.80%(喷雾干燥),其中喷雾干燥下的黄花菜粉组氨酸含量是标准模式谱的3.2倍,表明黄花菜粉可用于婴儿或特殊人群的食品中,是补充组氨酸的好食材。

2.5 不同干燥方式下黄花菜粉品质的综合评分

由于等权分配具有不客观性,且评价指标存在量纲差异,因此选择变异系数法^[25-27]对蛋白质、总糖、维生素C、 ΔE 及17种所含氨基酸进行权重关系分配,再根据指标的顺逆性计算综合评分。计算出黄花菜粉各指标的标准差、平均数、变异系数、权重值以及各指标标准化数据,如表7所示。

表 7 不同干燥方式黄花菜粉各指标的标准差、平均数、变异系数、权重值以及各指标标准化数据
Table 7 Standard deviation, average, coefficient of variation, weight value and standardized data of each index of different drying methods of cauliflower powder

评价指标	各项指标的权重				指标标准化数据			
	标准差	平均数	变异系数	权重	自然干燥	热风干燥	真空冷冻干燥	喷雾干燥
蛋白质	0.802	5.450	0.147	0.020	-1.022	0.474	1.409	-0.860
总糖	38.697	111.108	0.348	0.047	-0.266	1.702	-0.728	-0.708
维生素 C	1.528	25.403	0.060	0.008	-0.957	1.680	-0.388	-0.335
ΔE	12.549	70.314	0.178	0.024	0.602	1.177	-0.310	-1.468
天冬氨酸 Asp	3.540	7.358	0.481	0.065	1.467	-0.643	0.328	-1.152
苏氨酸 Thr*	1.184	1.508	0.785	0.106	1.016	-1.273	0.940	-0.682
丝氨酸 Ser	1.285	1.658	0.775	0.104	0.967	-1.290	0.983	-0.660
谷氨酸 Glu	2.597	7.755	0.335	0.045	0.791	0.641	0.268	-1.700
甘氨酸 Gly	1.133	3.118	0.364	0.049	0.593	0.673	0.461	-1.727
丙氨酸 Ala	1.268	3.870	0.328	0.044	0.702	0.694	0.315	-1.711
缬氨酸 Val*	0.132	0.333	0.398	0.054	-0.397	1.721	-0.624	-0.700
半胱氨酸 Cys	2.898	7.835	0.370	0.050	0.637	0.754	0.319	-1.710
蛋氨酸 Met*	0.230	0.723	0.319	0.043	0.076	1.075	-1.619	0.467
异亮氨酸 Ile*	0.857	3.328	0.257	0.035	0.190	0.960	0.516	-1.666
亮氨酸 Leu*	1.789	5.710	0.313	0.042	0.313	0.693	0.704	-1.710
酪氨酸 Tyr	0.472	1.913	0.247	0.033	0.672	-0.026	0.969	-1.615
苯丙氨酸 Phe*	1.443	3.938	0.366	0.049	0.660	0.362	0.695	-1.718
赖氨酸 Lys*	2.062	4.778	0.432	0.058	0.234	0.724	0.738	-1.696
组氨酸 His	0.562	1.893	0.297	0.040	-0.983	0.814	1.170	-1.001
精氨酸 Arg	1.327	4.228	0.314	0.042	0.801	0.236	0.658	-1.694
脯氨酸 Pro	0.543	1.730	0.314	0.042	-0.313	1.454	0.184	-1.325

注:*. 必需氨基酸。

由表 7 可知,黄花菜粉的苏氨酸、丝氨酸、天冬氨酸、赖氨酸的权重值较大,分别为 0.106, 0.104, 0.065, 0.058, 表明这 4 个指标对黄花菜粉品质的评价占较大比重,干燥方式对这 4 个指标有较大影响。标准化指标后将各个指标分别与权重相乘,其中 ΔE 为逆指标,需将标准化后的数据正负号对调。综合计算得到 4 种干燥方式下黄花菜粉的综合评分。

由表 8 可知,自然干燥的综合评分最高(0.427)与排名第 2 的真空冷冻干燥的综合评分(0.422)差距不大,而这两种干燥方式各有所长,自然干燥的优势为不需设备投资,费用低廉,不受场地局限,能在产地和山区就地进行,还能促进尚未完全成熟的原料进一步成熟。然而其卫生指标及管理较为粗犷且受天气因素影响较大。真空冷

冻干燥虽能保持部分营养指标,然而其设备成本高,耗时、耗能,综合多方面因素考虑热风干燥是比较好的黄花菜粉加工干燥方式,适合工业化生产。

2.6 不同干燥方式下黄花菜粉热图与聚类分析^[20]

为进一步分析不同干燥方式下各营养指标的特点,将不同干燥方式处理的黄花菜粉样品的蛋白质、总糖、维生素 C、 ΔE 及 17 种所含氨基酸标准化后的数据进行热图与聚类分析。从结果可看出,自然干燥与真空冷冻干燥的品质较为接近,这与综合评价得出的结论相同,并且与前人研究结果一致,喷雾干燥与其它 3 种干燥方式相比,差距较大。自然干燥中含有较多的天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸,热风干燥种含有较多的蛋氨酸、脯氨酸、维生素、总糖、缬氨酸,真空冷冻干燥中含有较多

表 8 不同干燥方式黄花菜粉的综合评分
Table 8 Comprehensive score of different drying methods of cauliflower powder

评价指标	自然	热风	真空冷冻	喷雾
	干燥	干燥	干燥	干燥
蛋白质	-0.020	0.009	0.028	-0.017
总糖	-0.012	0.080	-0.034	-0.033
维生素 C	-0.008	0.014	-0.003	-0.003
ΔE	-0.014	-0.028	0.007	0.035
天冬氨酸 Asp	0.095	-0.042	0.021	-0.075
苏氨酸 Thr	0.107	-0.135	0.099	-0.072
丝氨酸 Ser	0.101	-0.135	0.103	-0.069
谷氨酸 Glu	0.036	0.029	0.012	-0.077
甘氨酸 Gly	0.029	0.033	0.023	-0.085
丙氨酸 Ala	0.031	0.031	0.014	-0.075
缬氨酸 Val	-0.021	0.092	-0.033	-0.037
半胱氨酸 Cys	0.032	0.038	0.016	-0.085
蛋氨酸 Met	0.003	0.046	-0.069	0.020
异亮氨酸 Ile	0.007	0.033	0.018	-0.058
亮氨酸 Leu	0.013	0.029	0.030	-0.072
酪氨酸 Tyr	0.022	-0.001	0.032	-0.054
苯丙氨酸 Phe	0.033	0.018	0.034	-0.085
赖氨酸 Lys	0.014	0.042	0.043	-0.099
组氨酸 His	-0.039	0.033	0.047	-0.040
精氨酸 Arg	0.034	0.010	0.028	-0.072
脯氨酸 Pro	-0.013	0.061	0.008	-0.056
综合评分	0.427	0.257	0.422	-1.107
排序	1	3	2	4

的蛋白质、组氨酸且色泽更适合作为食品添加剂。与综合品质评价得到的结果一致。

3 结论

制粉处理是目前解决黄花菜副产物较多,提高其附加值,丰富其加工方式的最好方法。本试验通过对自然干燥、热风干燥、真空冷冻干燥、喷雾干燥 4 种干燥方式与超微粉碎结合制作成黄花菜粉,并利用变异系数权重法对其营养成分与色泽等多个指标进行综合评价,并对其进行热图与聚类分析。结果表明自然干燥制成的黄花菜粉综合得分(0.427)较高,然而其受环境天气等方面的影响较大。评分排名第 2 的真空冷冻干燥(0.422)与排名第 1 的自然干燥得分较为相近,然而其设备

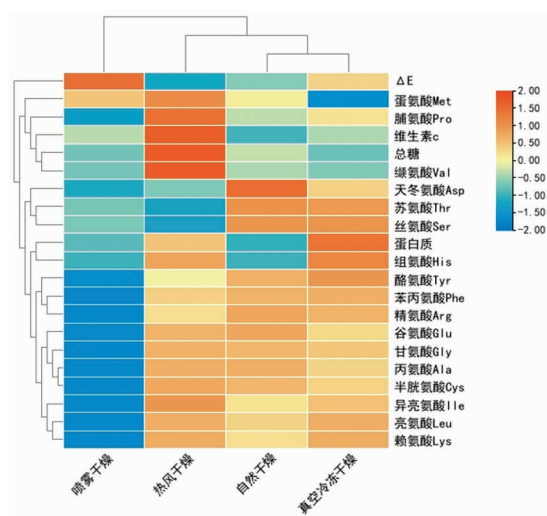


图 1 不同干燥方式黄花菜粉各指标热图与聚类分析

Fig.1 Heat map and cluster analysis of different drying methods for cauliflower powder

成本高,耗时、耗能。喷雾干燥虽然其色泽最适合作为食品添加剂,但其营养物质保留不够全面。综合耗能及品质等多方面考虑,热风干燥是较为合适的黄花菜粉加工方式。

参 考 文 献

- [1] 毛建兰. 黄花菜的营养价值及加工技术综述[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(3): 1197-1198.
MAO J L. Summary of the nutritional value and processing technology of day lily[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(3): 1197-1198.
- [2] 张运晖, 赵瑛, 欧巧明. 黄花菜采后加工及药用机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(20): 6-8.
ZHANG Y H, ZHAO Y, OU Q M. Research progress on postharvest processing and medicinal mechanism of day lily[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(20): 6-8.
- [3] 杨大伟, 夏延斌. 不同品种黄花菜的干制特性研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(10): 77-78.
YANG D W, XIA Y B. Study on the drying characteristics of different varieties of daylily[J]. Science and Technology of Food Industry, 2003, 24(10): 77-78.
- [4] 翟俊乐, 田欢, 李孟秋, 等. 黄花菜抗抑郁作用有效成分的筛选[J]. 中国食品添加剂, 2015(10): 93-97.
ZHAI J L, TIAN H, LI M Q, et al. Screening of

- effective components of day lily for antidepressant effect[J]. *China Food Additives*, 2015(10): 93-97.
- [5] 钱新华. 萱草花中类黄酮提取、纯化和成分分析[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2019.
- QIAN X H. Extraction, purification and composition analysis of flavonoids in *Hemerocallis* flower [D]. Shanghai: Shanghai University of Applied Sciences, 2019.
- [6] 马琦, 伯继芳, 冯莉, 等. GC-MS结合电子鼻分析干燥方式对杏鲍菇挥发性风味成分的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(14): 276-282.
- MA Q, BO J F, FENG L, et al. Analysis of the effect of drying methods on the volatile flavor components of *Pleurotus eryngii* by GC-MS combined with electronic nose [J]. *Food Science*, 2019, 40(14): 276-282.
- [7] 蒋鹏飞, 王赵改, 史冠莹, 等. 不同干燥方式的苦瓜粉品质特性及香气成分比较[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(3): 234-244.
- JIANG P F, WANG Z G, SHI G Y, et al. Comparison of quality characteristics and aroma components of balsam pear powder with different drying methods[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(3): 234-244.
- [8] 田震, 徐亚元, 李大婧, 等. 基于SPME-GC-MS分析不同干燥方式对香葱挥发性成分的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(4): 232-244.
- TIAN Z, XU Y Y, LI D J, et al. Analysis of the effects of different drying methods on the volatile components of chives based on SPME-GC-MS [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2021, 42(4): 232-244.
- [9] 唐秋实, 刘学铭, 池建伟, 等. 不同干燥工艺对杏鲍菇品质和挥发性风味成分的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(4): 25-30.
- TANG Q S, LIU X M, CHI J W, et al. Effects of different drying processes on the quality and volatile flavor components of *Pleurotus eryngii*[J]. *Food Science*, 2016, 37(4): 25-30.
- [10] NAJI -TABASI S, EMADZADEH B, SHAHIDI -NOGHABI M, et al. Physico - chemical properties of powder and compressed tablets based on barberry fruit pulp [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15: 2469-2480.
- [11] SHI Y, CHEN G J, CHEN K W, et al. Assessment of fresh star anise (*Illicium verum* Hook.f.) drying methods for influencing drying characteristics, color, flavor, volatile oil and shikimic acid[J]. *Food Chemistry*, 2020, 342: 128359.
- [12] CHEN D D, XING B C, YI H J, et al. Effects of different drying methods on appearance, microstructure, bioactive compounds and aroma compounds of saffron (*Crocus sativus* L.) [J]. *LWT*, 2020, 120: 108913.
- [13] SADOWSKA A, ŚWIDERSKI F, RAKOWSKA R, et al. Comparison of quality and microstructure of chokeberry powders prepared by different drying methods, including innovative fluidised bed jet milling and drying[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(4): 1073-1081.
- [14] INDRASARI Y P, KARYADI J N W, NUGRAHENI N F, et al. Effect of various drying methods on the physical characteristics of arrowroot powder[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 653(1): 012027.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-8.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. Determination of amino acids in food: GB 5009.124-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 1-8.
- [16] 盛金凤, 李丽, 李昌宝, 等. 不同干燥方式对火龙果花品质特性的影响[J]. *食品科技*, 2016, 41(2): 98-103.
- SHENG J F, LI L, LI C B, et al. The effects of different drying methods on the quality characteristics of dragon fruit flowers [J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(2): 98-103.
- [17] ANURADHA M, ASHUTOSH U, PRANITA J, et al. Effect of different drying method on the chemical and microstructural properties of Loquat slices [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(3): e15105.
- [18] ELLEUCH M, BEDIGIAN D, ROISEUX O, et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review[J]. *Food Chemistry*, 2010, 124(2): 411-425.
- [19] 郭增旺, 马萍, 刁静静, 等. 超微型大豆皮水不溶性膳食纤维理化及吸附特性[J]. *食品科学*, 2018, 39(5): 106-112.

- GUO Z W, MA P, DIAO J J, et al. Physicochemical and adsorption characteristics of water-insoluble dietary fiber from ultra-mini soybean hulls[J]. *Food Science*, 2018, 39(5): 106-112.
- [20] 易甜, 崔文文, 王明锐, 等. 锦橙皮渣膳食纤维微粉化及其功能特性分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(10): 8-14.
- YI T, CUI W W, WANG M R, et al. Micronization of dietary fiber from Jin orange peel residue and analysis of its functional characteristics[J]. *Food Science*, 2019, 40(10): 8-14.
- [21] 罗晓莉, 张沙沙, 曹晶晶, 等. 云南3种胶质食用菌营养成分分析与蛋白质营养价值评价[J/OL]. *食品工业科技*: 1-11 [2021-04-14]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090143>.
- LUO X L, ZHANG S S, CAO J J, et al. Analysis of nutritional components and evaluation of protein nutritional value of 3 kinds of gummy mushrooms in Yunnan[J/OL]. *Food Industry Science and Technology*: 1-11 [2021-04-14]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090143>.
- [22] 杨苞梅, 姚丽贤, 国彬, 等. 不同品种荔枝果实游离氨基酸分析[J]. *食品科学*, 2011, 32(16): 249-252.
- YANG B M, YAO L X, GUO B, et al. Analysis of free amino acids in fruits of different varieties of litchi[J]. *Food Science*, 2011, 32(16): 249-252.
- [23] 石芳, 李瑶, 杨雅轩, 等. 不同干燥方式对松茸品质的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(5): 141-147.
- SHI F, LI Y, YANG Y X, et al. The effect of different drying methods on the quality of matsutake [J]. *Food Science*, 2018, 39(5): 141-147.
- [24] 于士军, 何玲艳, 万国平, 等. 不同干燥方式对培养蝉花孢梗束品质的影响[J]. *基因组学与应用生物学*, 2020, 39(6): 2712-2721.
- YU S J, HE L Y, WAN G P, et al. The effect of different drying methods on the quality of cultivated cicada spore bundles[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2020, 39(6): 2712-2721.
- [25] 高琦, 李加恒, 韩昊廷, 等. 基于灰色关联分析法研究不同干燥方式对茈菁脆片的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(5): 95-101.
- GAO Q, LI J H, HAN H T, et al. Research on the effect of different drying methods on turnip chips based on grey relational analysis[J]. *Food Science*, 2019, 40(5): 95-101.
- [26] 高琦, 陈佳男, 张建超, 等. 基于灰色关联分析法综合评价不同干燥方式对山药脆片品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(16): 6-12.
- GAO Q, CHEN J N, ZHANG J C, et al. Comprehensive evaluation of the effects of different drying methods on the quality of yam crisps based on grey relational analysis [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2018, 39(16): 6-12.
- [27] 牛改改, 游刚, 王培, 等. 基于变异系数权重法评价三种干燥方法对牡蛎干品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(14): 68-73, 77.
- NIU G G, YOU G, WANG P, et al. Evaluation of the effects of three drying methods on the dry quality of oysters based on the coefficient of variation weight method[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2019, 40(14): 68-73, 77.
- [28] ZHANG Q, DING Y C, GU S Q, et al. Identification of changes in volatile compounds in dry-cured fish during storage using HS-GC-IMS[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109339.

Effects of Drying Methods on the Nutrition, Color and Amino Acid Content of Daylily Powder

Yang Shuangxi¹, Ma Yao¹, Zhang Haihong^{*}, Hao Huihui¹, Yang Jinghui¹, Ma Xuemei¹, Zhang Haibo²

¹School of Food and Wine, Ningxia University, Yinchuan 750021

²Ningxia Zaokang Biotechnology Co., Ltd., Zhongning 755100, Ningxia)

Abstract Daylily powder was prepared from the by-products in the processing of daylily, flowered, broken, and damaged daylily powder, which was prepared and refined by four drying methods (natural drying, hot air drying, vacuum freeze drying, spray drying) to obtain daylily powder processed by different drying methods. Determination its nutrition, color and taste substances and other indicators. And carried out the weighted distribution of the coefficient of variation method to the corresponding indicators and made a comprehensive score to determine a more superior drying method. Fi-

nally, the four drying methods were clustered and analyzed. The results showed that the nutrient index and color of daylily powder treated with four different drying methods had significant changes. Hot-air drying had more complete retention of total protein, total sugar and vitamin C. The color of spray drying was good for future use as food additives were more beneficial, and the contents of naturally dried amino acids and flavored amino acids were higher. The comprehensive evaluation result of the drying method was natural drying>vacuum freeze drying>hot air drying>spray drying. Natural drying is greatly affected by environmental weather and other aspects. Vacuum freeze-drying equipment is costly, time-consuming and energy-consuming. Considering many aspects such as energy consumption and quality, hot air drying is a more suitable processing method for day lily powder.

Keywords cauliflower powder; drying method; nutritional components; comprehensive evaluation