

加工及贮藏方式对菊花品质的影响

Effects of Processing and Storage methods on the Quality of Chrysanthemum

潘芸芸 王庆冉 聪侯凯 吴卫

PAN Yun-yun WANG Qing RAN Cong HOU Kai WU Wei

(四川农业大学农学院, 四川 成都 611130)

(Sichuan Agricultural University, Agronomy College, Chengdu, Sichuan 611130, China)

摘要:采用烘干和冻干菊花密封室温贮藏以及菊花鲜品于 4、-20 °C 贮藏的方式,以鲜菊花为对照,研究不同加工及贮藏方式对菊花主要化学成分含量的影响。结果表明,因加工贮藏方式不同,菊花中主要成分含量有所不同。与鲜菊花相比,烘干菊花中氨基酸和绿原酸含量较高,其余各成分含量均明显低于鲜菊花;冻干菊花中可溶性糖含量高于鲜菊花;4 °C 和 -20 °C 贮藏的菊花综合品质明显下降。综合各指标,食用菊花最好现采现食,从保障主要成分含量的角度,烘干菊花密封室温贮藏为食用菊花适宜的加工贮藏方式。

关键词:菊花;加工;贮藏;主要成分;含量

Abstract: Compared with fresh chrysanthemum, drying, freeze-drying, 4 °C and -20 °C storage of fresh chrysanthemum were used to study the effects of different processing and storage methods on the main chemical component of edible chrysanthemum. The results showed that the contents of main chemical component of edible Chrysanthemum were different for processing and storage in different way. Amino acid and chlorogenic acid contents of drying chrysanthemum were higher than those of the fresh chrysanthemum, while the other contents were obviously less than those the fresh chrysanthemum; soluble sugar content of freeze-drying chrysanthemum was higher than that of the fresh chrysanthemum. The comprehensive quality of chrysanthemum decreased obviously on 4 °C and -20 °C storage. In conclusion, fresh chrysanthemum is better as food. However, the drying was the suitable way to process and store the edible chrysanthemum from the perspective of safeguarding the main components.

Keywords: Chrysanthemum; Processing; Storage; Main chemical component; Content

菊花(*Dendrathera morifolium*)作为药食同源的植物,近年来已被广泛用于保健茶饮和食品行业,具有很大的发展

前景^[1]。近年来,随着人们生活水平的提高,花卉类食品已成为发展花卉产业的新潮流,以全面提高花瓣天然营养与抗氧化物含量、提升口感等为目的的优质高效栽培和调控技术的研究日益受到重视^[2]。目前,中国有关果蔬加工贮藏^[3]和食用菊花的栽培技术^[4]及活性成分提取^[5]报道较多,而对食用菊花保鲜和加工贮藏研究较少^[6],本研究与前人的研究相比,将食用菊花的食用和保健价值结合分析,并且系统地研究不同贮藏方式对其品质的影响。食用花卉分为食用鲜花和干花。本试验拟以新采摘的鲜菊花为对照,分别研究 4、-20 °C 冰箱贮藏后的鲜菊花、以及烘干和冻干后室温贮藏的干菊花的主要营养及功能保健性成分的含量,比较不同品种菊花在不同加工贮藏条件下的主要成分含量差异,以期筛选出菊花适宜的贮藏方法。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

2 个食用菊花品种:采自成都三圣乡七彩田野菊花园(引种自河南),试验地土壤条件:pH 值 6.89,速效磷、速效钾和碱解氮含量分别为 36.20,30.82,44.10 mg/g。挑选无病虫害、开放程度基本一致的食用菊花为试验材料;

水合茛三酮、乙酸钠、冰醋酸、亮氨酸、抗坏血酸、乙酸、蔗糖、萘酚、浓硫酸、牛血清白蛋白、考马斯亮蓝 G-250、乙醇、磷酸、草酸、2,6-二氯酚酞酚、芦丁、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

绿原酸标准品、黄芩苷标准品、槲皮素标准品:色谱纯,广州分析测试中心科力技术开发公司。

1.1.2 主要仪器设备

恒温水浴锅:HH-4 型,国华电器有限公司;
分光光度计:7200 型,尤尼科(上海)食品有限公司;
电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9245A 型,上海右一仪器有限公司;
分析天平:AW220 型,日本 Shimadzu 公司;
高效液相色谱仪:1100series 型,美国 Agilent 公司;

基金项目:四川农业大学“双支计划”(编号:03571121)

作者简介:潘芸芸,女,四川农业大学在读硕士研究生。

通信作者:吴卫(1970—),女,四川农业大学教授,博士生导师。

E-mail:ewuwei@sicau.edu.cn

收稿日期:2017-03-19

冷冻干燥机: SJIA-10N型, 宁波双嘉仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 2个品种的菊花分别编号为菊花1号(No.1)和菊花2号(No.2), 因新鲜菊花在室温下放置数日后逐渐霉变, 故取采集当天的鲜菊花作为对照(CK), 其他采取以下不同加工贮藏方式处理: ①在烘箱中以50℃烘干至恒重后, 密封室温保存, 为烘干菊花(烘干); ②-80℃冷冻干燥后, 密封室温保存, 为冻干菊花(冻干); ③新鲜菊花4℃冰箱贮藏(冷藏); ④新鲜菊花-20℃冰箱贮藏(冷冻)。每个处理重复3次, 20d后分别取样测定不同贮藏条件下食用菊花中氨基酸、可溶性糖、可溶性蛋白、总黄酮、抗坏血酸、绿原酸、槲皮素和黄芩苷含量。

1.2.2 水分含量测定 采用常压烘箱干燥法, 按GB/T 5009.3—2010《食品中水分的测定》执行。

1.2.3 营养成分含量测定

(1) 可溶性蛋白含量测定: 采用考马斯亮蓝G-250染色法^{[7]182-185}。

(2) 可溶性糖含量测定: 采用蒽酮比色法^{[7]195-197}。

(3) 氨基酸含量测定: 采用茚三酮溶液显色法^{[7]192-194}。

(4) 抗坏血酸含量测定: 采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^{[7]246-248}。

各成分含量均以折算后干品计, 其余功能性保健成分同。

1.2.4 功能性保健成分含量测定

(1) 总黄酮含量测定: 参照文献^[8]。

(2) 绿原酸、槲皮素和黄芩苷含量测定: 采用HPLC法, 参照文献^[9]的方法, 并加以改进, 修改如下: 色谱柱为Hypersil ODS C₁₈柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相: A为甲醇—体积分数0.4%乙酸溶液(体积比10:90), B为甲醇—体积分数2.5%乙酸溶液(体积比90:1); 梯度洗脱程序: 0~8 min 87% A→75% A, 8~25 min 75% A→30% A; 25~40 min 30% A; 流速1.0 mL/min; 检测波长337 nm; 柱温25℃; 进样量10 μL。

1.3 数据处理

试验结果统计与分析采用Excel、SPSS 12.0软件进行统计分析, LSD法(P<0.05和P<0.01)进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 菊花水分含量

2个品种新鲜食用菊花的水分含量均较高, 其中No.1水分含量为73.18%, No.2水分含量为80.08%。

2.2 不同贮藏条件下食用菊花营养成分比较

2.2.1 氨基酸含量比较 以氨基酸含量(X)为横坐标以吸光度(A)为纵坐标进行线性回归分析, 线性回归方程为: $A = 0.0045X - 0.01$, $r = 0.9970$, 在0~100 μg时线性关系良好, 其标准曲线见图1。

由表1可知, 在新鲜菊花中, No.1和No.2的氨基酸含量分别为7.95、13.70 mg/g, No.2的氨基酸含量比No.1高出72.3%。烘干菊花中的氨基酸含量极显著高于鲜菊花, 烘干

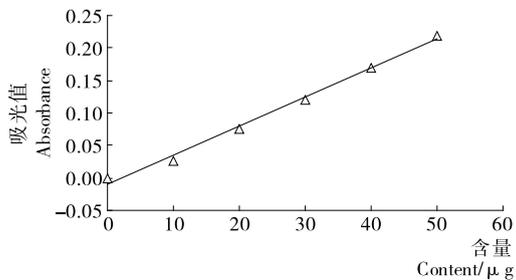


图1 氨基酸标准曲线

Figure 1 Standard curve of amino acids

后贮藏的No.1和No.2中氨基酸含量分别为鲜菊花中的199.7%和119.2%。冻干菊花、冷藏菊花和冷冻菊花中氨基酸含量则均极显著低于鲜菊花, 其中No.1的氨基酸含量分别比鲜菊花减少68.3%, 61.3%, 77.4%, No.2的氨基酸含量分别比鲜菊花减少86.9%, 75.0%, 82.3%, 这3种加工贮藏方式均显著降低了食用菊花中氨基酸含量。刘萍等^[10]发现不同菊花中总氨基酸含量在20~120 mg/g(DW), 而本试验中在不同贮藏方式下测得的菊花游离氨基酸含量为1.79~16.33 mg/g, 说明品种因素对菊花中氨基酸含量有显著影响, 同时, 本研究发现烘干的加工方式有助于提高菊花中氨基酸含量, 而冻干、冷藏和冷冻的加工贮藏方式下菊花中氨基酸成分损失较多。

2.2.2 可溶性糖含量比较 试验得到的吸光度与蔗糖含量的回归方程为: $A = 0.008X - 0.0269$, $r = 0.9993$, 在0~140 μg时性关系良好, 其标准曲线见图2。

由表1可知, 新鲜菊花中, No.1和No.2的可溶性糖含量分别为69.97、56.05 mg/g, No.1的可溶性糖含量比No.2高出24.8%。冻干菊花中的可溶性糖含量极显著高于鲜菊花,

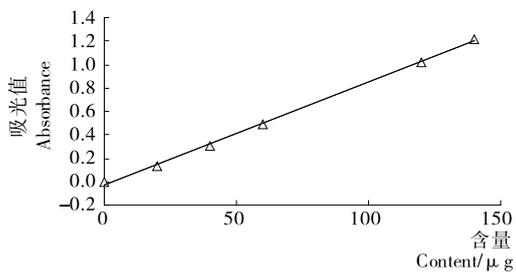


图2 可溶性糖标准曲线

Figure 2 Standard curve of soluble sugar

冻干后贮藏的No.1和No.2中可溶性糖含量分别为鲜菊花的119.1%和124.3%。烘干、冷藏和冷冻菊花中可溶性糖含量均显著低于鲜菊花, 其中, 冷冻菊花中可溶性糖含量最低, No.1与对照相比下降比例高达63.20%, 表明冷冻的加工贮藏方式不利于菊花中可溶性糖的贮存。糖作为一种重要的天然活性成分, 具有抗氧化、抗衰老、抗肿瘤、调血脂、降血糖以及提高机体免疫力的重要作用^[11], 同时, 可溶性糖也是高等植物光合作用的主要产物, 是决定菊花品质和风味的重要指标, 其含量直接影响菊花的口感和甜度, 从本试验研究结果可以看出冻干后的菊花口感和甜度更佳。

2.2.3 可溶性蛋白含量比较 试验得到的吸光度与蛋白质

含量的回归方程为: $A = 0.0035X - 0.0082$, $r = 0.9979$, 在 $0 \sim 100 \mu\text{g}$ 时线性关系良好, 其标准曲线见图 3。

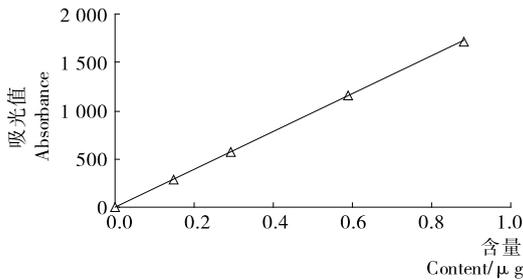


图 3 可溶性蛋白标准曲线

Figure 3 Standard curve of soluble protein

由表 1 可知, No.1 和 No.2 的可溶性蛋白在新鲜菊花的含量分别为 $50.23, 65.97 \text{ mg/g}$, No.2 中可溶性蛋白含量比 No.1 中高出 31.1% 。冷冻菊花中可溶性蛋白含量最高, No.1 和 No.2 的含量分别比鲜菊花高出 16.8% 和 25.7% , 表明 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 是适宜菊花中可溶性蛋白贮藏的理想温度。王茹华等^[12]测得不同品种食用菊花中蛋白质含量为 $15.74 \sim 197.64 \text{ mg/g(FW)}$, 本试验测得不同加工贮藏条件下食用菊花中可溶性蛋白含量为 $43.60 \sim 82.91 \text{ mg/g}$, 与上述报道基本一致。

2.2.4 V_C 含量比较 由表 1 可知, 新鲜菊花中, No.1 和 No.2 的 V_C 含量分别为 $95.58, 86.70 \mu\text{g/g}$, No.1 中 V_C 含量比 No.2 高出 10.2% 。烘干、冻干、 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 加工贮藏方式的食用菊花中 V_C 含量均极显著低于鲜菊花, 4 种加工贮藏方式下烘干菊花中 V_C 含量最高, 在 No.1 和 No.2 中的含量分别为 $41.34, 41.13 \mu\text{g/g}$, 仅为鲜菊花中的 43.3% 和 47.4% , 说明无论何种加工贮藏方式都不能对 V_C 起到良好的保存作用, 原因可能是 V_C 性质不稳定, 遇热、遇光易分解, 在加工贮藏过程中损耗较大。

2.3 不同贮藏条件下食用菊花功能性保健成分的比较

2.3.1 标准曲线绘制 根据沈维治等^[9]和袁琦等^[10]的方法, 绘制得到总黄酮、绿原酸、槲皮素和黄芩苷的标准曲线, 且均具有良好的线性关系, 见图 4~7。

2.3.2 总黄酮含量比较 由表 2 可知, 在新鲜菊花中, No.2 的总黄酮、绿原酸、槲皮素和黄芩苷含量均高于 No.1, 可见, 鲜菊花 No.2 的保健功能更好。

在新鲜菊花中, No.1 和 No.2 的总黄酮含量分别为 $62.53, 86.34 \text{ mg/g}$, No.2 中总黄酮含量比 No.1 高出 38.1% 。

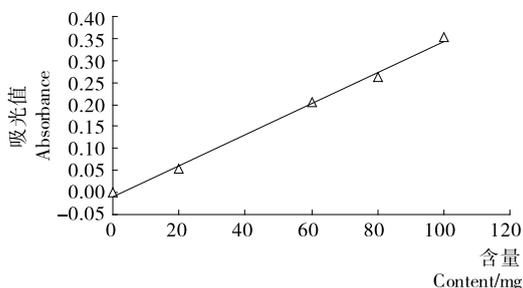


图 4 总黄酮标准曲线

Figure 4 Standard curve of flavonoids

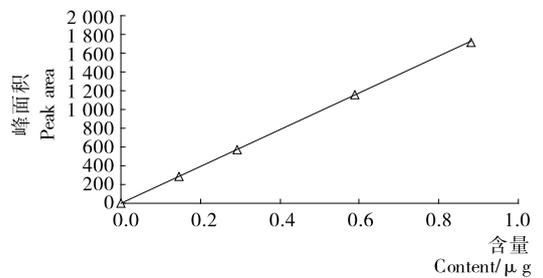


图 5 绿原酸标准曲线

Figure 5 Standard curve of chlorogenic acid

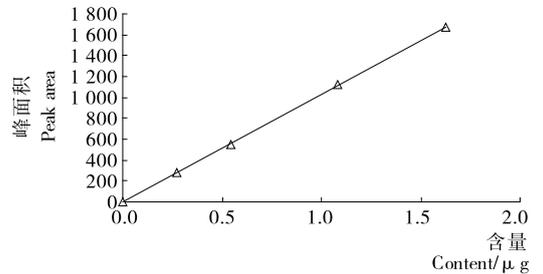


图 6 槲皮素标准曲线

Figure 6 Standard curve of quercetin

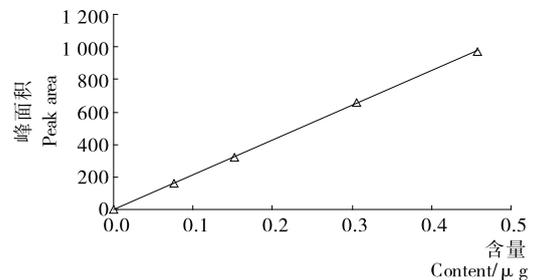


图 7 黄芩苷标准曲线

Figure 7 Standard curve of baicalin

冻干菊花与鲜菊花中总黄酮含量无显著差异, 在其他贮藏方式下食用菊花中的总黄酮含量极显著低于鲜样, 说明冻干后贮藏有利于保存食用菊黄酮类成分。同时, 黄酮是食用花卉的主要生物活性成分, 在防治心血管疾病、抗肿瘤、增强免疫功能、抗菌、消炎镇痛等方面有着潜在的疗效^[13]。苗苗等^[14]研究了 12 种食用花卉的总黄酮含量, 发现厚朴花中总黄酮含量最低, 为 1.64% , 丁香中含量最高, 为 13.06% 。本试验得到不同贮藏加工方式下食用菊花的总黄酮含量为 $20.34 \sim 88.28 \text{ mg/g}$, 发现食用菊花的总黄酮含量在食用花卉中属于正常偏高的水平。

2.3.3 绿原酸、槲皮素和黄芩苷含量比较 由表 2 可知, 鲜菊花 No.1 和 No.2 中绿原酸含量分别为 $1.23, 1.82 \text{ mg/g}$, No.2 中绿原酸含量比 No.1 高出 50.0% 。与对照和其他处理组相比, 烘干菊花中绿原酸含量最高, No.1 和 No.2 中的绿原酸含量分别比鲜菊花中高出 89.4% 和 31.1% , 可见, 烘干后贮藏有利于保存菊花中绿原酸含量。槲皮素和黄芩苷含量则是鲜菊花中最高, 烘干菊花和冻干菊花其次。鲜菊花 No.1 和 No.2 中槲皮素含量分别为烘干的 127.7% 和 128.2% , 而黄芩苷含量分别为烘干的 106.4% 和 106.6% 。而鲜菊花 No.1 和 No.2 中槲皮素含量分别比冻干菊花高出

表1 不同贮藏条件下食用菊花营养成分比较[†]

Table 1 Comparison of nutritional components of edible chrysanthemum under different storage conditions

贮藏方式	氨基酸含量/(mg·g ⁻¹)		可溶性糖含量/(mg·g ⁻¹)		可溶性蛋白含量/(mg·g ⁻¹)		Vc含量/(μg·g ⁻¹)	
	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2
CK	7.95±0.37 ^{bb}	13.70±0.30 ^{bb}	69.97±1.22 ^{bb}	56.05±0.49 ^{bb}	50.23±0.72 ^{bb}	65.97±1.07 ^{dc}	95.58±0.42 ^{aA}	86.70±1.30 ^{aA}
烘干	15.88±0.47 ^{aA}	16.33±0.54 ^{aA}	47.44±0.47 ^{bd}	51.23±0.57 ^{cc}	47.45±0.55 ^{cc}	53.92±0.84 ^{ed}	41.34±0.10 ^{bb}	41.13±0.10 ^{bb}
冻干	2.52±0.07 ^{cd}	1.79±0.06 ^{bd}	83.36±0.61 ^{aA}	69.66±0.92 ^{aA}	44.74±0.61 ^{cd}	76.70±0.62 ^{bb}	37.18±0.19 ^{cc}	32.36±0.14 ^{cc}
冷藏	3.08±0.20 ^{cc}	3.43±0.26 ^{cc}	52.23±0.41 ^{cc}	54.107±0.35 ^{bbc}	43.60±0.42 ^{bd}	72.95±1.02 ^{cb}	38.52±0.76 ^{cc}	28.68±0.48 ^{bd}
冷冻	1.80±0.02 ^{dc}	2.42±0.13 ^{cd}	25.75±0.39 ^{ee}	51.00±0.65 ^{cc}	58.68±0.72 ^{aA}	82.91±0.95 ^{aA}	24.72±0.55 ^{bd}	24.00±0.25 ^{ee}

[†] 数据为3次重复的平均值;同列不同小写和大写字母分别表示差异达显著(P<0.05)和极显著水平(P<0.01)。

表2 不同贮藏条件下食用菊花功能性保健成分的比较[†]

Table 2 Comparison of functional health components of edible chrysanthemum under different storage conditions mg/g

贮藏方式	总黄酮含量		绿原酸含量		槲皮素含量		黄芩苷含量	
	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2
CK	62.53±0.92 ^{aA}	86.34±0.78 ^{aA}	1.23±0.05 ^{bb}	1.82±0.06 ^{bb}	1.98±0.05 ^{aA}	2.77±0.09 ^{aA}	8.31±0.11 ^{aA}	11.60±0.16 ^{aA}
烘干	57.38±0.83 ^{bb}	80.94±0.22 ^{bb}	2.33±0.03 ^{aA}	2.64±0.02 ^{aA}	1.55±0.06 ^{bb}	2.16±0.09 ^{bb}	7.81±0.11 ^{bb}	10.88±0.02 ^{bb}
冻干	60.10±0.88 ^{aAB}	88.28±1.11 ^{aA}	0.77±0.01 ^{cc}	1.69±0.02 ^{cb}	1.55±0.05 ^{bb}	1.97±0.06 ^{bb}	6.19±0.09 ^{cc}	9.36±0.17 ^{cc}
冷藏	20.34±0.47 ^{bd}	57.41±0.53 ^{cc}	0.63±0.02 ^{dc}	0.95±0.03 ^{cd}	1.08±0.05 ^{cc}	1.11±0.06 ^{bd}	4.18±0.12 ^{cd}	5.66±0.12 ^{bd}
冷冻	40.19±0.92 ^{cc}	54.61±0.85 ^{dc}	0.68±0.01 ^{dc}	1.18±0.02 ^{dc}	1.51±0.04 ^{bb}	1.58±0.05 ^{cc}	5.83±0.10 ^{dc}	8.94±0.21 ^{cc}

[†] 数据为3次重复的平均值;同列不同小写和大写字母分别表示差异达显著(P<0.05)和极显著水平(P<0.01)。

27.7%和40.6%,黄芩苷含量则分别比冻干菊花高出34.2%和23.9%。4℃贮藏菊花中槲皮素和黄芩苷含量最低, No.1和No.2槲皮素含量仅为鲜菊花的54.5%和40.1%,而黄芩苷含量则仅为鲜菊花的50.3%和48.8%。

李宗等^[15]测得菊花中绿原酸含量为0.06%~0.467%,张彦丽等^[6]利用高效液相色谱得出昆仑雪菊中绿原酸和黄芩苷含量分别为6.41,12.30 mg/g,袁琦等^[9]的研究表明菊花中绿原酸、黄芩苷和槲皮素含量分别为0.38%,2.40%,0.2%。而本试验中新鲜食用菊花和不同加工贮藏方式下食用菊花中绿原酸、槲皮素和黄芩苷含量分别为0.063%~0.264%,0.108%~0.277%,0.418%~1.16%,发现鲜菊花和烘干菊花的这3种保健成分含量与上述报道基本一致,而冷藏和冷冻贮藏下的含量较低,在贮藏过程中损耗较大。总体上,烘干后贮藏的食用菊中总黄酮、绿原酸、槲皮素和黄芩苷含量比其他几种加工贮藏方法的高,可能是烘干时加热使黄芩苷酶等一些降解酶类失活,使这些成分得以较多地保存,甚至在烘干的过程中还有可能发生一些反应导致其绿原酸含量增加。4℃贮藏下,各种酶活性仍然存在,所以导致上述几种化合物不断降解,含量最低。

3 结论

采用不同的加工贮藏方式,菊花中主要成分含量变化不同。菊花鲜食最好现采用,如果食用干品,则以烘干和冻干为优,总体上更有利于保持菊花中的营养成分及功能性保健成分,从而保证菊花的品质。同时发现,食用菊2号的综合品质较1号更好。

贮藏过程中,菊花内部会发生一系列复杂的生理生化变

化,其主要成分含量会降低或者升高,导致菊花综合品质的改变。所以,采取适当的贮藏措施,保证其营养成分和功能保健成分含量,是目前亟待解决的问题,而中国科学家对这方面的研究甚少。本试验研究了食用菊花不同贮藏加工方式对其主要成分含量的影响,但并未深入研究不同贮藏时期下食用菊花主要成分含量的变化规律及其机制,这些可以作为下一步研究内容。

参考文献

- [1] 刘灵娣, 谢晓亮, 高雪飞, 等. 河北香菊绿原酸提取工艺研究[J]. 北方园艺, 2012(21): 152-154.
- [2] 徐慧颖, 丁义凤, 张国贞, 等. 不同菊花品种花瓣的食用价值分析[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(3): 530-532.
- [3] 程喜红, 朱东兴, 吴雷, 等. 速冻小松菜加工贮运中护绿技术研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 98-101.
- [4] 李传章, 高丽娟, 黄景, 等. 保水缓释肥料对食用菊花生长及养分吸收的影响研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(7): 265-269.
- [5] 时维静. 菊花鉴别与活性成分检测的研究进展[J]. 中国医药科学, 2012(15): 9-11.
- [6] 胡小松, 吴继红, 廖小军, 等. 我国果蔬贮藏与加工发展专题报告[J]. 食品与机械, 2007, 23(4): 3-7.
- [7] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [8] 沈慧治, 邹宇晓, 刘凡, 等. 雪菊与市售菊花活性成分的比较研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(12): 2 284-2 287.
- [9] 袁琦, 赵辉, 蒲晓辉, 等. HPLC法同时测定菊花中绿原酸、黄芩苷和槲皮素的含量[J]. 沈阳药科大学学报, 2014, 31(2): 112-115.

(下转第177页)

- 进展[J]. 生物技术通报, 2016(1): 65-68.
- [12] 吴蕾, 庞广昌, 陈庆森. 螺旋藻藻蓝蛋白的规模化提取和色谱纯化技术研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 461-463.
- [13] 肖海芳, 马海乐, 孙进良, 等. 不同破壁方法对条斑紫菜藻红蛋白提取效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(10): 54-56.
- [14] 姜剑锋, 赵丽芹, 陈涛, 等. 寇氏隐甲藻不同破壁方法的研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(8): 92-94.
- [15] GERDE J A, WANG Tong, YAO Lin-xing, et al. Optimizing protein isolation from defatted and non-defatted Nannochloropsis microalgae biomass, *Algal Research*, 2013, 2(2): 145-153.
- [16] GECIOVA J, BURY D, JELEN P. Methods for disruption of microbial cells for potential use in the dairy industry: a review[J]. *International Dairy Journal*, 2002, 12(6): 541-553.
- [17] BENNETT A, BOGORAD L. Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga[J]. *Journal of Cell Biology*, 1973, 58(2): 419-35.
- [18] SILVEIRA S T, BURKERT J F M, COSTA J A V, et al. Optimization of phycocyanin extraction from *Spirulina platensis*, using factorial design[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(8): 1 629-1 634.
- [19] 曲文娟, 马海乐, 张厚森. 钝顶螺旋藻藻蓝蛋白的脉冲超声辅助提取技术[J]. 食品科技, 2007, 32(5): 135-139.
- [20] 邵明飞, 张宏宇, 杨金萍, 等. 响应面法优化螺旋藻藻蓝蛋白的超声波提取工艺[J]. 生物学杂志, 2013, 30(4): 93-96.
- [21] 李潇飒, 江秀强, 邹宁, 等. 螺旋藻藻蓝蛋白在水和磷酸缓冲液中稳定性的对比研究[J]. 安徽农业科学, 2014(3): 657-657.
- [22] LAILA S, ANDREA H, ERIKSEN N T. Purification of the photosynthetic pigment C-phycocyanin from heterotrophic *Galdieria sulphuraria*[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2013, 93(12): 2 933-2 938.
- [23] SONI B, TRIVEDI U, MADAMWAR D. A novel method of single step hydrophobic interaction chromatography for the purification of phycocyanin from *Phormidium fragile*, and its characterization for antioxidant property[J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(1): 188-194.
- [24] YIN Lian-hong, XU Li-na, YU Kun, et al. Orthogonal test design for optimization of suitable conditions to separate C-phycocyanin from *Spirulina platensis* by high-speed counter-current chromatography using reverse micelle solvent system[J]. *Journal of Separation Science*, 2011, 34(11): 1 253-1 260.
- [25] 郑田要, 杨晓泉. 不同物理法提取高温大豆粕中蛋白的比较研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(12): 22-26.
- [26] 赵冰冰, 张发宇, 陈裕, 等. 不同冻融条件对破壁提取巢湖水华新鲜蓝藻中藻蓝蛋白的影响[J]. 安徽农业科学, 2014(17): 5 345-5 347.

(上接第 105 页)

温度升高时,膜组件的膜通量和热效率均可大幅提高,而热泵制热系数则有所减小,装置造水比在 66 ℃ 左右达到最大值。实际应用中宜根据料液和膜组件耐温特性选取适宜的工作温度。膜组件性能与理论值还有一定差距,可通过改善膜组件壳侧冷凝水流动状态,有望使装置综合性能更佳。

参考文献

- [1] 王兆春, 于超, 彭跃莲, 等. 直接接触膜蒸馏过程的模拟和实验研究[J]. 膜科学与技术, 2016, 36(4): 67-73.
- [2] 申龙, 高瑞昶. 膜蒸馏技术最新研究应用进展[J]. 化工进展, 2013, 33(2): 289-297.
- [3] 吕双江, 高启君, 武春瑞, 等. 减压分级式多效膜蒸馏过程的研究[J]. 天津工业大学学报, 2013, 32(2): 1-6.
- [4] 王平, 秦英杰, 刘晶, 等. 多效膜蒸馏技术用于深度浓缩多种无机盐水溶液[J]. 膜科学与技术, 2014, 34(4): 39-44.
- [5] 陈东, 李国盛, 谢继红, 等. 热泵型间歇式巴氏杀菌机的设计与性能分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 60-62.
- [6] 郝维维, 陈东, 谢继红, 等. 直接接触式膜蒸馏的技术方案分析[J]. 化工装备技术, 2015, 36(6): 5-8.
- [7] 于福荣, 陈东, 彭长章, 等. 热泵膜蒸馏系统及其特性分析[J]. 化工装备技术, 2013, 34(6): 1-4.
- [8] 赵欣慰, 陈东, 谢继红, 等. 热泵膜蒸馏系统结构及其优化分析[J]. 化工装备技术, 2014, 35(1): 6-10.
- [9] 谢继红, 彭跃莲, 陈东, 等. 热泵膜蒸馏装置的能量平衡分析[J]. 化工装备技术, 2016, 37(5): 19-23.
- [10] 张旸, 任建勋, 陈泽敬. 压缩式热泵膜蒸馏系统的分析与实验研究[J]. 工程热物理学报, 2005, 26(1): 107-109.
- [11] 贾晓敏. 热泵多效膜蒸馏系统的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2016: 28-37.

(上接第 144 页)

- [10] 刘萍, 张静, 丁义峰, 等. 水杨酸喷施对食用菊花主要营养成分含量的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(8): 86-89.
- [11] 李小平, 陈锦屏, 邓红, 等. 红枣多糖沉淀特性及抗氧化作用[J]. 食品科学, 2005, 26(10): 214-216.
- [12] 王茹华, 张启发, 徐森, 等. 不同食用菊花品种主要营养成分的比较[J]. 中国蔬菜, 2009(24): 52-54.
- [13] 张华, 张芳, 叶施水. 食用花卉的利用概况及其发展趋势[J]. 中国食品工业, 2000(7): 56-57.
- [14] 苗苗, 杨立刚, 荣莹, 等. 12 种市售食用花卉中总黄酮与总甾体的含量测定[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(12): 122-125.
- [15] 李宗, 陈在敏, 廖雷生, 等. 菊花中绿原酸的含量测定[J]. 中国中药杂志, 1999, 24(6): 330.
- [16] 张彦丽, 王艳, 李新霞, 等. 高效液相色谱法测定昆仑雪菊中绿原酸和黄芩苷的含量[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(4): 107-109.