

茅岩莓复合催熟剂对干燥黄花菜色泽及营养品质的影响

Effects of compound ripening agent with *ampelopsis grossedentata* on color and nutritional quality of dried day lily

杨大伟

YANG Da-wei

(湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128)

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:为促进黄花菜干燥前快速褪绿黄化,解决黄花菜机械干燥制品出现的返青问题,采用茅岩莓、乙烯利和焦亚硫酸钠3种催熟剂复合对黄花菜进行浸泡处理,再用PVC塑料袋密封,在一定温度下贮藏一段时间,对黄花菜的色泽变化和营养品质进行分析测定。结果表明,茅岩莓复合催熟剂浸泡黄花菜30 min,50℃密封包装贮藏5 h,黄花菜的褪绿黄化效果最好,营养品质最高;茅岩莓是一种具有保健功能的茶饮植物,安全性高于焦亚硫酸钠和乙烯利。

关键词:黄花菜;茅岩莓;复合催熟剂;黄化

Abstract: The dried day lily had ugly appearance about color because that the green of day lily had not been faded completely. In order to fade the green and improve the color quality of dried day lily, the lily was soaked with complex ripening agent for some time, then sealed with PVC plastic bags and stored at certain temperature for a period of time before the lily was dried, subsequently, the change of color and nutrient content of day lily were determined and analyzed. The results showed that fading green completely and better nutritional quality was obtained if day lily was treated by complex ripening agent with *ampelopsis grossedentata* and sealed with PVC plastic bags storing at 50℃ for 5 h, at the same time, *Ampelopsis grossedentata* was such plant with health functions that is safer than sodium metabisulfite and ethephon, which has greater practical value for large scale processing of dried day lily.

Keywords: day lily; *ampelopsis grossedentata*; complex ripening agent; yellowing

黄花菜(*Hemerocallis Fulva*)又名金针菜、金针花,为百

合科多年生草本植物,其食用部分为花蕾,是中国的特色蔬菜^[1]。黄花菜营养价值高,含糖类、蛋白质、维生素、无机盐及多种人体必需的氨基酸,味道鲜美,深受消费者喜爱。据报道^[2],2016年湖南祁东县黄花菜种植面积突破 1.06×10^4 hm²,涉及10万农户,占全国总面积的1/3以上,黄花菜总产量达 4.0×10^4 t,占全国总产量的70%以上,成为县域农村经济的第一大支柱产业。目前,商品黄花菜包括鲜菜和干菜两部分,而鲜菜销售的制约因素较多,规模很小,因此,大部分黄花菜必须加工成干菜。干菜加工常用的方法是晒干和机械烘干。

黄花菜日晒过程中,由于日光紫外线的漂白作用导致黄花菜的叶绿素降解,使得干品黄花菜的颜色美观。而机械干燥由于时间短,叶绿素降解不彻底,干菜会出现返青现象,成品颜色不美观,严重影响销售。因此,机械烘干过程中黄花菜的颜色褪绿黄化是亟待解决的一个问题。

乙烯利是蔬菜生产中常用的植物生长调节剂,具有促进蔬菜早熟的作用,过量食用含乙烯利的蔬菜会导致头晕、呕吐、腹泻等症状,其安全性日益受到广泛关注^[3]。尽管食品安全国家标准 GB 2760—2011 规定可以熏硫干制蔬菜,干品中二氧化硫残留量最大为200 mg/kg,但消费者对此还是有明显的心理抗拒。茅岩莓(显齿蛇葡萄)的多酚和黄酮化合物含量很高^[4-5],是一种具有保健功能的植物材料,通常用作茶饮,茅岩莓的抗氧化作用可以抑制黄花菜酶促褐变和色素氧化褐变;植酸可以抑制果蔬的气体交换,降低呼吸强度,阻止曝露于空气时的氧化作用,防止微生物的大量生长繁殖^[6];D-异抗坏血酸钠和L-半胱氨酸是非酶促褐变抑制剂^[7];EDTA和柠檬酸均具有抑制酶促褐变的作用^[8]。从物料功能性质出发,这些材料都有助于抑制黄花菜的褐变,有些已经在生产实践中使用^[9-11]。出于焦亚硫酸钠和乙烯利存在食品安全方面的问题,本研究拟选择乙烯利和焦亚硫酸

基金项目:湖南科技重点研发计划项目(编号:2016NK2119)

作者简介:杨大伟(1967—),男,湖南农业大学副教授,博士。

E-mail:2963772055@qq.com

收稿日期:2018-02-09

钠为对照,分别以茅岩莓、乙烯利和焦亚硫酸钠为基础物质,再添加酶促褐变抑制剂,配制3种复合催熟剂,对黄花菜进行浸泡处理,再密封包装,于一定温度下贮藏一段时间促进其褪绿黄化,通过对色泽变化及营养品质的观察、测定与分析,探讨茅岩莓复合催熟剂处理黄花菜的褪绿黄化效果,旨在为规模化机械干燥黄花菜提供绿色生产技术。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验样本

新鲜黄花菜:湖南祁东金萱生物科技有限公司;
干制茅岩莓(显齿蛇葡萄):市售。

1.1.2 试剂与药品

乙腈:色谱纯,上海阿拉丁试剂有限公司;
乙酸锌:分析纯,天津市化学试剂研究所;
亚铁氰化钾、硫酸钾、氢氧化钠:分析纯,上海阿拉丁试剂有限公司;
石油醚(沸程30~60℃)、95%乙醇、无水乙醚:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
硫酸铜、硼酸:分析纯,北京康普汇维科技有限公司;
硫酸:分析纯,成都万博化工有限公司;
盐酸:分析纯,郑州仁恒化工产品有限公司;
酒石酸钾钠、冰乙酸:分析纯,西陇化工股份有限公司;
乙烯利、L-半胱氨酸:分析纯,上海思域化工科技有限公司;
植酸:分析纯,天津市光复精细化工研究所;
EDTA:分析纯,北京天马华信化工有限公司;
D-异抗坏血酸钠:食品级,深圳市石金谷科技有限公司;
柠檬酸:食品级,广州市宁飞化工有限公司;
焦亚硫酸钠:食品级,长沙浩林化工有限公司;
那他霉素:食品级,河南亿达化工产品有限公司。

1.1.3 仪器与设备

台式离心机:TCL-16型,常州市华普达教学仪器有限公司;

高效液相色谱仪:LC-20A型,日本岛津公司;
自动凯氏定氮仪:ATN-300型,上海洪纪仪器设备有限公司;
电子分析天平:CP214型,上海豪斯仪器有限公司;
电热鼓风干燥箱:DHG-9240A型,上海飞越实验仪器有限公司;
自动测色色差计:WSE-Y型,北京光学仪器厂。

1.2 试验方法

1.2.1 温度对黄花菜褪绿黄化的影响 复合催熟剂由0.50%植酸、0.50% D-异抗坏血酸钠、0.12%乙烯利和0.30%那他霉素(以纯水的质量为基准)等物质组成。将黄花菜在复合催熟剂溶液中浸泡30 min,捞出沥干,再用PVC塑料袋包装密封,在室温和50℃电热鼓风干燥箱中贮藏,以不用复合催熟剂溶液浸泡,直接用PVC塑料袋包装密封,在室温下贮藏作为对照,5 h后观察黄花菜颜色的变化,探讨温度对黄花菜褪绿黄化的影响。

1.2.2 不同催熟剂对黄花菜褪绿黄化的影响 在1.2.1项下乙烯复合催熟剂配方的基础上,增加0.20% L-半胱氨酸、0.30% EDTA和0.10%柠檬酸,完善复合催熟剂的配方,加强褐变的抑制作用。同时,与焦亚硫酸钠和乙烯复合催熟剂处理比较,研究茅岩莓(显齿蛇葡萄)复合催熟剂处理对黄花菜褪绿黄化的影响,焦亚硫酸钠和茅岩莓处理浓度分别为0.02%和0.30%(与纯水的质量百分比),其他褐变抑制剂浓度与乙烯复合催熟剂相同。分别在3种复合催熟剂溶液中浸泡30 min后捞出,沥干,用PVC塑料袋包装密封,50℃贮藏5 h,观察黄花菜颜色的变化,用色差仪分别分析干制品花瓣和花梗的色差值。以仪器白板色泽为标准,依CIELAB表色系统测量样品的 L^* 、 a^* 和 b^* 值,其中 L^* 、 a^* 和 b^* 分别代表试样的明度、红绿度和黄蓝度($L^*=0$ 表示黑色, $L^*=100$ 表示白色。 $+a^*$ 表示偏红、 $-a^*$ 偏绿; $+b^*$ 偏黄、 $-b^*$ 偏蓝,值越大表示偏向越严重), ΔE 为实际的色空间两点距离,它与感官的关系见表1^[12]。

表1 ΔE 值与观察感觉之间的关系

Table 1 Relationship between ΔE value and observation

ΔE	0.0~0.5	0.5~1.5	1.5~3.0	3.0~6.0	6.0~12.0	12.0以上
感观色差	极小差异	稍有差异	感觉到差异	较显著差异	很明显差异	不同颜色

1.2.3 复合催熟剂处理对黄花菜营养品质的影响 将1.2.2项下不同复合催熟剂处理过的黄花菜进行营养成分含量测定与分析,分别测定黄花菜花瓣和花蕊的总糖、还原糖、蛋白质、 V_C 和总酸含量,同时以未处理的花瓣和花蕊为对照,共计6个处理,每个处理重复试验3次,对处理平均数进行多重比较。

1.2.4 营养成分测定方法

- (1) 总糖:按GB 5009.8—2016执行。
- (2) 还原糖:按GB 5009.7—2016执行。
- (3) 蛋白质:按GB 5009.5—2016执行。
- (4) V_C :按GB 5009.86—2016执行。
- (5) 总酸:按GB/T 12456—2008执行。

所有化学成分的含量均以湿基计。

1.2.5 统计分析方法 处理的显著差异性用方差分析,处理平均数差异性的比较用新复极差法(SSR)进行,均匀试验设计结果采用直观分析。

2 结果与分析

2.1 温度对黄花菜褪绿黄化效果的影响

研究发现,与对照相比,室温处理与50℃处理黄花菜,其褪绿黄化均有一定的效果,说明乙烯处理黄花菜具有催熟作用;但50℃处理的效果比室温更好,大部分绿色已褪去,黄化现象明显,这是温度可以加速乙烯向黄花菜内部的传递,同时高温也促进了黄花菜成熟与衰老;而室温处理的黄

花菜残留的绿色还较多,这是温度低,时间短的缘故。由于高温处理的效果比室温好,加上贮藏时间短,黄花菜不会腐烂变质,在接下来的研究中进一步探讨50℃处理的褪绿黄化效果,不再添加防腐剂(那他霉素)。

2.2 不同复合催熟剂处理黄花菜的褪绿黄化效果

研究发现,3个处理中褪绿黄化效果最好的是茅岩莓复合催熟剂,可能是其酚类物质含量高,酚类氧化的结果;其次是乙烯利处理,效果最差的是焦亚硫酸钠,这与其浓度太低有关。进一步用色差仪分析其色度值,结果见表2。

L^* 、 a^* 、 b^* 和 ΔE 的方差分析表明,3种复合催熟剂对黄花菜的褪绿黄化具有显著差异,茅岩莓的褪绿黄化效果最好,最差的是焦亚硫酸钠处理,测定的 L^* 、 a^* 、 b^* 和 ΔE 与实际的感官基本一致。

2.3 茅岩莓和乙烯利复合催熟剂处理对黄花菜营养品质的影响

2.3.1 总糖 茅岩莓和乙烯利复合催熟剂分别处理黄花菜,其花瓣和花蕊的总糖含量与对照相比见表3。

由表3可知,6个处理的总糖含量存在极显著差异。与对照相比,茅岩莓处理后花瓣和花蕊的总糖含量显著增加,同时,花蕊的总糖含量比花瓣高,这是因为黄花菜花蕊中的花粉比重很大,而花粉中的含糖量较高,约占干物质的1/3^[13]。

2.3.2 还原糖 茅岩莓和乙烯利复合催熟剂分别处理黄花菜,其花瓣和花蕊的还原糖含量与对照相比见表4。

还原糖是总糖的一部分,是指具有还原性的糖类,分子中含有游离醛基或酮基的单糖和含有游离醛基的二糖都具有还原性,包括葡萄糖、果糖、半乳糖、麦芽糖等。由表4可知,茅岩莓和乙烯利复合催熟剂处理黄花菜后还原糖含量极显著增加,而且前者比后者的增加量大,说明茅岩莓处理效果好于乙烯利。还原糖含量的增加提高了黄花菜的营养价值,但还原糖是美拉德非酶褐变反应的重要引物,还原糖含量越高非酶促褐变越严重^[14],该发现具有重要的加工意义,为未来黄花菜干燥过程中如何抑制非酶促褐变提供了理论依据。

表 2 复合催熟剂处理黄花菜的色差值[†]

Table 2 Value of chromatic aberration of day lily treated with complex ripening agents

复合催熟剂	L^*		a^*		b^*		ΔE	
	花瓣	花梗	花瓣	花梗	花瓣	花梗	花瓣	花梗
茅岩莓	67.23±5.47 ^a	78.35±3.11 ^a	31.43±0.69 ^a	0.52±0.08 ^a	88.25±3.77 ^a	81.75±1.35 ^a	1.42±0.26 ^a	2.64±0.34 ^a
焦亚硫酸钠	57.29±4.39 ^b	70.66±3.87 ^b	26.88±0.93 ^b	3.70±0.71 ^b	68.11±4.73 ^b	63.68±1.76 ^b	2.89±0.53 ^b	4.67±0.38 ^b
乙烯利	48.56±4.46 ^c	62.43±4.15 ^c	21.57±1.61 ^c	6.65±0.58 ^c	39.91±1.84 ^c	23.83±1.62 ^c	7.59±0.79 ^c	11.16±0.94 ^c

† 同列不同字母表示处理间有显著差异(P<0.05)。

表 3 茅岩莓和乙烯利处理黄花菜的总糖含量[†]

Table 3 Total sugar of day lily treated with ethephon and ampelopsis grossedentata

样品	总糖含量/%				F 值	$F_{0.01(5,12)}$
	1	2	3	平均值		
对照的花瓣	5.0	4.8	4.9	4.90±0.10 ^e	514.71	5.06
乙烯利处理的花瓣	7.5	7.5	7.4	7.47±0.06 ^c		
茅岩莓处理的花瓣	8.5	8.1	8.2	8.27±0.21 ^b		
对照的花蕊	6.5	6.6	6.5	6.53±0.06 ^d		
乙烯利处理的花蕊	8.2	8.0	8.2	8.13±0.12 ^b		
茅岩莓处理的花蕊	9.0	9.1	9.0	9.03±0.06 ^a		

† 同列不同字母表示处理间有极显著差异(P<0.01)。

表 4 茅岩莓和乙烯利处理黄花菜的还原糖含量[†]

Table 4 Reducing sugar of day lily treated with ethephon and ampelopsis grossedentata

样品	还原糖含量/%				F 值	$F_{0.01(5,12)}$
	1	2	3	平均值		
对照的花瓣	3.57	3.35	3.41	3.44±0.11 ^d	134.55	5.06
乙烯利处理的花瓣	4.14	4.11	4.17	4.14±0.03 ^c		
茅岩莓处理的花瓣	4.79	4.70	4.74	4.74±0.05 ^a		
对照的花蕊	4.26	4.46	4.37	4.36±0.10 ^b		
乙烯利处理的花蕊	4.14	4.06	4.14	4.11±0.05 ^c		
茅岩莓处理的花蕊	4.73	4.86	4.76	4.78±0.07 ^a		

† 同列不同字母表示处理间有极显著差异(P<0.01)。

2.3.3 蛋白质 茅岩莓和乙烯利复合催熟剂分别处理黄花菜,其花瓣和花蕊的蛋白质含量与对照相比见表5。

伴随植物的衰老,蛋白质含量有下降的趋势,林依侗等^[15]认为蛋白质丧失是叶片衰老的早期表现,吴光南等^[16]指出蛋白质降解是叶片衰老的基本特征。袁沛元等^[17]认为妃子笑荔枝现蕾开花期叶片蛋白质含量在盛花前缓慢增加,盛花期开始下降,直至谢花。由表5可知,茅岩莓和乙烯利复合催熟剂分别处理黄花菜后,无论是花瓣还是花蕊的蛋白质含量与对照相比均有下降,可能是贮藏催熟过程中,蛋白质降解引起的。

2.3.4 V_C 茅岩莓和乙烯利复合催熟剂分别处理黄花菜,其花瓣和花蕊的V_C含量与对照相比见表6。

一般来说,果蔬贮藏过程中,V_C会有损失,朱向秋等^[18]发现冬枣的V_C含量与呼吸强度呈负相关,随着呼吸高峰的出现,V_C含量急速下降。由表6可知,茅岩莓处理后,与对照

相比,花瓣的V_C没有损失,而乙烯利处理的V_C显著损失;2个处理的花蕊V_C均有损失,但茅岩莓的损失小一些。总体来看,茅岩莓处理的黄花菜V_C损失小,这与茅岩莓的抗氧化有关,抑制了V_C的氧化。

2.3.5 总酸 茅岩莓和乙烯利复合催熟剂分别处理黄花菜,其花瓣和花蕊的总酸含量与对照相比见表7。

对于活性食品来讲,成熟度越大,总酸含量越低,张群等^[19]发现随着贮藏时间的延长,特早熟柑橘的总酸呈下降趋势;同时,活性食品在贮藏过程中由于无氧呼吸导致总酸含量升高,随着贮期的延长,总酸和可溶性固形物含量有所上升。由表7可知,2个处理的总酸含量的变化与相关报道^[20]一致。

3 结论

为解决黄花菜机械干燥过程出现的返青问题,用不同复合催熟剂对黄花菜进行预处理,通过黄花菜色泽和营养品质

表5 茅岩莓和乙烯利处理黄花菜的蛋白质含量[†]

Table 5 Protein of day lily treated with ethephon and ampelopsis grossedentata

样品	蛋白质含量/%				F 值	F _{0.01(5,12)}
	1	2	3	平均值		
对照的花瓣	1.93	1.91	1.95	1.93±0.020 ^c	2 086.31	5.06
乙烯利处理的花瓣	1.71	1.71	1.72	1.71±0.004 ^d		
茅岩莓处理的花瓣	1.57	1.55	1.56	1.56±0.005 ^e		
对照的花蕊	2.61	2.58	2.63	2.61±0.252 ^a		
乙烯利处理的花蕊	1.97	1.96	1.97	1.97±0.004 ^b		
茅岩莓处理的花蕊	1.96	1.96	1.96	1.96±0.003 ^b		

† 同列不同字母表示处理间有极显著差异(P<0.01)。

表6 茅岩莓和乙烯利处理黄花菜的V_C含量[†]

Table 6 Vitamins C of day lily treated with ethephon and ampelopsis grossedentata

样品	V _C 含量/(10 ⁻² mg·g ⁻¹)				F 值	F _{0.01(5,12)}
	1	2	3	平均值		
对照的花瓣	4.953	4.771	5.014	4.913±0.126 ^d	8 941.44	5.06
乙烯利处理的花瓣	3.691	3.686	3.700	3.692±0.007 ^e		
茅岩莓处理的花瓣	5.069	5.158	5.119	5.115±0.045 ^d		
对照的花蕊	19.760	20.160	19.870	19.930±0.207 ^a		
乙烯利处理的花蕊	9.414	9.408	9.343	9.388±0.039 ^e		
茅岩莓处理的花蕊	13.329	13.576	13.538	13.481±0.133 ^b		

† 同列不同字母表示处理间有极显著差异(P<0.01)。

表7 茅岩莓和乙烯利处理黄花菜的总酸含量[†]

Table 7 Total acid of day lily treated with ethephon and ampelopsis grossedentata

样品	总酸含量/(g·kg ⁻¹)				F 值	F _{0.01(5,12)}
	1	2	3	平均值		
对照的花瓣	3.079	3.032	3.092	3.067±0.032 ^d	1 814.7	5.06
乙烯利处理的花瓣	4.654	4.742	4.654	4.683±0.051 ^b		
茅岩莓处理的花瓣	5.005	5.005	5.093	5.034±0.051 ^a		
对照的花蕊	2.604	2.613	2.583	2.600±0.154 ^e		
乙烯利处理的花蕊	5.005	5.093	5.005	5.034±0.051 ^a		
茅岩莓处理的花蕊	4.556	4.478	4.478	4.504±0.045 ^c		

† 同列不同字母表示处理间有极显著差异(P<0.01)。

的测定分析,探索黄花菜干燥预处理方法。研究结论:

(1) 相同条件下,采用茅岩莓复合催熟剂浸泡黄花菜 30 min,再用 PVC 塑料袋密封,50 °C 贮藏 5 h,黄花菜的褪绿黄化效果与营养品质比乙烯利复合催熟剂和焦亚硫酸钠复合催熟剂处理好。

(2) 茅岩莓是一种具有保健功能的植物材料,其食品安全性远高于焦亚硫酸钠和乙烯利,并且茅岩莓的褪绿黄化效果与处理品质也比焦亚硫酸钠和乙烯利好,因此,茅岩莓复合催熟剂褪绿黄化的方法对机械规模化干制黄花菜具有一定指导价值。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 匡滢.湖南祁东打造“黄花菜之乡”首届黄花菜节吸引数万游客[EB/OL].(2016-07-04)[2017-05-29].<http://hn.people.com.cn/n2/2016/0704/c337651-28607371.html>.
- [3] 徐爱东.蔬菜中乙烯利使用现状、残留量测定及安全性评价[J].北方园艺,2011(2):36-39.
- [4] 王岩,周莉玲,李锐,等.显齿蛇葡萄化学成分的研究[J].中药材,2002,25(4):154-156.
- [5] 熊皓平,何国庆,杨伟丽,等.显齿蛇葡萄生化成分分析[J].中国食品学报,2004,4(3):68-71.
- [6] 万忠民.植酸对草莓保鲜的研究[J].食品科学,2008,29(10):619-621.
- [7] 崔霖芸.野木瓜果汁非酶褐变复配抑制剂的优化[J].食品与机械,2017,33(4):194-197.
- [8] 毕家钰,代曜伊,郑炯.褐变抑制剂对干制香蕉片护色效果的影响[J].食品与机械,2016,32(11):184-188.
- [9] 崔霖芸.野木瓜果汁非酶褐变复配抑制剂的优化[J].食品与机械,2017,33(4):184-189.
- [10] 李红涛.木糖醇低糖柿子果酱生产工艺研究[J].农产品加工:学刊,2014(12):26-29.
- [11] 覃海元.钙和褐变抑制剂对鲜切菠萝影响的初步研究[J].广西轻工业,2005(6):23-25.
- [12] 余翔,苗修港,张贝贝,等.热烫处理对南瓜叶化学成分及色泽的影响[J].食品科学,2016,37(7):44-49.
- [13] 林亲录,邓放明.园艺产品加工学[M].北京:中国农业出版社,2003:13-14.
- [14] 武奕宏,蔡菁华,黄漫青,等.板栗非酶促褐变的基础物质及产物分析[J].中国农学通报,2012,28(30):267-271.
- [15] 林依偲,郝艳玲.植物衰老的生理特征[J].畜牧与饲料科学,2009,30(5):8-10.
- [16] 吴光南,刘宝仁,张金渝.水稻叶片蛋白水解酶的某些理化特性及其与衰老的天系[J].江苏农业学报,1985,1(1):128-129.
- [17] 袁沛元,潘建平,曾杨.妃子笑荔枝现蕾开花期叶片碳水化合物和蛋白质含量变化研究[J].福建果树,2009(1):25-28.
- [18] 朱向秋,刘长江,魏建梅.冬枣采后果实呼吸强度和 V_C、糖含量变化的研究[J].特产研究,2006(4):39-43.
- [19] 张群,刘伟,吴跃辉,等.特早熟柑橘贮藏期间物性与理化品质变化及相关性分析[J].湖南农业科学,2016(1):71-76.
- [20] 朱文慧,车凤斌,郑素慧,等.无核白葡萄干在不同温度贮藏中品质和生理的变化[J].新疆农业科学,2015,52(6):1 050-1 055.
- [1] 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.
- [2] 匡滢.湖南祁东打造“黄花菜之乡”首届黄花菜节吸引数万游客[EB/OL].(2016-07-04)[2017-05-29].<http://hn.people.com.cn/n2/2016/0704/c337651-28607371.html>.
- [3] 徐爱东.蔬菜中乙烯利使用现状、残留量测定及安全性评价[J].北方园艺,2011(2):36-39.
- [4] 王岩,周莉玲,李锐,等.显齿蛇葡萄化学成分的研究[J].中药材,2002,25(4):154-156.
- [5] 熊皓平,何国庆,杨伟丽,等.显齿蛇葡萄生化成分分析[J].中国食品学报,2004,4(3):68-71.
- [6] 万忠民.植酸对草莓保鲜的研究[J].食品科学,2008,29(10):619-621.
- [7] 崔霖芸.野木瓜果汁非酶褐变复配抑制剂的优化[J].食品与机械,2017,33(4):194-197.
- [8] 毕家钰,代曜伊,郑炯.褐变抑制剂对干制香蕉片护色效果的影响[J].食品与机械,2016,32(11):184-188.
- [9] 崔霖芸.野木瓜果汁非酶褐变复配抑制剂的优化[J].食品与机械,2017,33(4):184-189.
- [10] 李红涛.木糖醇低糖柿子果酱生产工艺研究[J].农产品加工:学刊,2014(12):26-29.
- [11] 覃海元.钙和褐变抑制剂对鲜切菠萝影响的初步研究[J].广西轻工业,2005(6):23-25.
- [12] 余翔,苗修港,张贝贝,等.热烫处理对南瓜叶化学成分及色泽的影响[J].食品科学,2016,37(7):44-49.
- [13] 林亲录,邓放明.园艺产品加工学[M].北京:中国农业出版社,2003:13-14.
- [14] 武奕宏,蔡菁华,黄漫青,等.板栗非酶促褐变的基础物质及产物分析[J].中国农学通报,2012,28(30):267-271.
- [15] 林依偲,郝艳玲.植物衰老的生理特征[J].畜牧与饲料科学,2009,30(5):8-10.
- [16] 吴光南,刘宝仁,张金渝.水稻叶片蛋白水解酶的某些理化特性及其与衰老的天系[J].江苏农业学报,1985,1(1):128-129.
- [17] 袁沛元,潘建平,曾杨.妃子笑荔枝现蕾开花期叶片碳水化合物和蛋白质含量变化研究[J].福建果树,2009(1):25-28.
- [18] 朱向秋,刘长江,魏建梅.冬枣采后果实呼吸强度和 V_C、糖含量变化的研究[J].特产研究,2006(4):39-43.
- [19] 张群,刘伟,吴跃辉,等.特早熟柑橘贮藏期间物性与理化品质变化及相关性分析[J].湖南农业科学,2016(1):71-76.
- [20] 朱文慧,车凤斌,郑素慧,等.无核白葡萄干在不同温度贮藏中品质和生理的变化[J].新疆农业科学,2015,52(6):1 050-1 055.

(上接第 93 页)

和 L 之间有交互作用,且 a 与 L 的交互作用影响更显著;对于 E_{mean} 和 $E_{\text{max}}/E_{\text{mean}}$, a 与 L 之间存在交互作用。通过最优化响应器获得了单波导矩形微波喷动床结构的最优化组合 a 为 427 mm, H 为 200 mm, L 为 1 000 mm。该结构可以使微波腔内具有较高的平均电场强度,较好的电场分布均匀性和较小的局部电场集聚现象。

参考文献

- [1] FENG Hao, TANG Jun-ming. Microwave finish drying of diced apples in spouted bed[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(4): 679-683.
- [2] FENG Hao, TANG Jun-ming, CAVALIERI R P. Combined microwave and spouted bed drying of diced apples: effect of drying conditions on drying kinetics and product temperature[J]. Drying Technology, 1999, 17(10): 1 981-1 998.
- [3] FENG Hao, TANG Jun-ming. Analysis of microwave assisted fluidized bed drying of particulate product with a simplified heat and mass transfer model[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2002(29): 1 021-1 028.
- [4] NINDO C I, SUN T, WANG S W, et al. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.)[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2003, 36(5): 507-516.
- [5] YAN Wei-qiang, ZHANG Min, HUANG Lue-lue, et al. Study of the optimisation of puffing characteristics of potato cubes by spouted bed drying enhanced with microwave[J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(8): 1 300-1 307.
- [6] 颜伟强.颗粒状切割块茎类蔬菜微波喷动均匀干燥特性及模型的研究[D].无锡:江南大学,2011:29-45.
- [7] ZHAO Si-ming, QIU Cheng-guang, XIONG Shan-bai, et al. A thermal lethal model of riceweevils subjected to microwave irradiation[J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(4): 430-434.
- [8] 王建中.茭白颗粒微波喷动床干燥特性及工艺研究[D].上海:上海海洋大学,2013:10-21.
- [9] LEYLA N K, SERPIL S, GULUM S. Spouted bed and microwave-assisted spouted bed drying of parboiled wheat[J]. Food and Bioproducts Processing, 2012, 90: 301-308.
- [10] 姚文龙,平雪良,胡大华,等.高压脉冲电场同轴处理室的仿真优化[J].食品与机械,2015,31(3):82-86.
- [11] 周云龙,杨宁,李洪伟,等.变倾角柱锥体喷动床颗粒流速与浓度分布特性[J].工程热物理学报,2014,35(8):1 554-1 558.
- [12] MEHRDAD Mehdizadeh. Microwave/RF applicators and probes for material heating, sensing, and plasma generation[M]. 2nd ed. Oxford: Mehrdad Mehdizadeh, 2015: 154-180.
- [13] 梁伟玲,张钦德,吴君.正交试验优化麒麟血竭中血竭素的超声提取工艺[J].中国生化药物杂志,2015,35(4):158-160.