

应用SPME-GC-MS分析变温压差膨化干燥香蕉脆片香气成分

李宝玉¹, 杨君¹, 尹凯丹¹, 毕金峰^{2,*}

(1.广东农工商职业技术学院, 广东 广州 510507;

2.中国农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

摘要: 为了对比新鲜香蕉片、变温压差膨化前香蕉片、变温压差膨化香蕉脆片的香气成分变化规律, 采用固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术分别对其香气成分进行检测分析。这3种香蕉样品中所含香气成分种类和含量都有很大的差异。变温压差膨化干燥会使香蕉原有的酯类物质含量减少, 并生成4,5-辛二酚、2,7-乙烷、2-壬炔、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮、2-戊酮、苯乙酮、3-辛烯-2-酮一系列有独特风味的香气成分。

关键词: 香蕉; 风味物质; 固相微萃取和气相色谱质谱; 变温压差膨化干燥

Analysis of Aroma Components of Banana Slices before and after Explosion Puffing Drying at Modified Temperature and Pressure by SPME and GC-MS

LI Bao-yu¹, YANG Jun¹, YIN Kai-dan¹, BI Jin-feng^{2,*}

(1. Guangdong AIB Polytechnic College, Guangzhou 510507, China;

2. Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The aroma components of fresh, vacuum-dried and further explosion-puffed banana slices were analyzed and compared by solid phase micro-extraction (SPME) coupled with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The varieties and amounts of aroma components in the three banana samples were quite different. The explosion puffing drying at modified temperature and pressure reduced the content of esters in banana, but at the same time generated a series of unique aroma components.

Key words: bananas; aroma components; solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry; explosion puffing drying at variable temperature and pressure

中图分类号: TS255.42

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)14-0184-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201414036

香蕉主要盛产于我国南方的热带和亚热带地区, 目前全球有104个国家和地区栽培香蕉, 中国香蕉产量居世界第3位^[1]。它具有丰富的营养, 富含碳水化合物、蛋白质、膳食纤维、磷、钾、VA和VC, 其中膳食纤维能改善肠胃蠕动, 利于排便; VC具有抗氧化, 减少自由基生产, 对改善皮肤色泽和提高人体免疫能力有辅助作用^[2]。变温压差膨化干燥是利用食品中的自由水分的蒸发带动物料的膨化的一种绿色的最少加工(minimum processing, MP)非油炸干燥技术^[3-6]。利用该技术生产的香蕉脆片, 具备营养丰富、口感酥脆、易于携带、食用方便等特点^[7]。

国内外的研究机构和学者对果蔬变温压差膨化干燥

进行了研究。国外对此研究较多的机构是美国农业部东部研究中心, 对其工艺、影响因子、以及与其他干燥方式对比等方面进行了研究^[8-14], 国内石启龙等^[15-18]对枸杞、胡萝卜、枣的膨化工艺进行了研究。毕金峰等^[19-25]对苹果、哈密瓜、柑橘、马铃薯、甘薯等原料进行了系统研究, 优化了其干燥工艺参数, 并对其机理进行了初步探索。

赖必辉^[26]以海南凯特芒果为原料, 纵向对比研究了变温压差膨化干燥前后香气成分的变化, 横向与热风干燥、微波真空干燥和真空冷冻干燥风味物质的差异。丁媛媛^[27]研究新鲜甘薯、膨化干燥前后甘薯片的风味物质的变化。朱虹等^[28]采用顶空固相微萃取技术和气相色谱-

收稿日期: 2014-01-16

作者简介: 李宝玉(1976—), 男, 高级技师、中级工程师, 硕士, 研究方向为食品加工与食品安全。E-mail: lbysdyx@126.com

*通信作者: 毕金峰(1970—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为果蔬精深加工与综合利用技术。E-mail: bijinfeng2010@163.com

质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 技术分析研究3种极性不同的萃取头对香蕉香气成分萃取的影响, 研究表明, 不同成熟度的香蕉处于阶段香气成分的种类和相对含量具有明显差异, 在香蕉绿熟阶段分析测定适宜采用DVB/CAR/PDMS型萃取头, 黄熟阶段采用PDMS型萃取头, 过熟阶段采用CW/DVB型萃取头。陶晨等^[29]利用固相微萃取和GC-MS仪对香蕉香气成分进行分析研究, 从香蕉的香气成份中共鉴定出39种化学成分, 占总峰面积的82.46%。张文灿等^[30]利用蒸馏萃取 (distillation extraction, DE) 法和GC-MS, 分别研究对比了香蕉全果汁和香蕉果肉果汁中特征香气成分, 研究表明全果汁与果肉果汁风味基本相似。

对变温压差膨化干燥香蕉脆片香气成分的研究还未见报道。本实验采用鲜香蕉片、变温压差膨化前香蕉片、变温压差膨化后香蕉片为原料, 采用固相微萃取以及GC-MS技术检测分析香蕉膨化各阶段香气成分的种类和变化, 旨在寻找变温压差膨化干燥香蕉脆片的香气成分变化规律。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

香蕉 (产地: 海南, 品种: 哇头大蕉) 市购。

1.2 仪器与设备

QDPH10-1变温压差果蔬膨化设备 天津市勤德新材料科技有限公司; FA-200切片机 广东省南海市德丰电热设备厂; DZF-6020真空干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; AOC5000自动进样器 瑞士PAL公司; 65 μm DVB/PDMS萃取头 美国Supelco公司; QP2010Plus气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 香蕉样品的制备

新鲜香蕉片的制备: 新鲜香蕉经落疏、洗涤、分级、过称、风干、薄膜保鲜处理后包装, 进行常温运输。选用成熟度8~9成的香蕉, 洗净剥皮, 用切片机切割成厚度8 mm一致的圆片备用。

膨化前香蕉样品制备: 选用成熟度8~9成的香蕉, 洗净剥皮, 用切片机切割成厚度8 mm一致的圆片, 然后将圆片放入真空干燥箱中, 80 $^{\circ}\text{C}$ 干燥3 h后取出, 即制得膨化前香蕉产品。

膨化香蕉片样品制备: 取膨化前处理好的香蕉圆片, 放入果蔬变温压差膨化机中膨化, 膨化温度86~91 $^{\circ}\text{C}$, 膨化压力差0.16~0.24 MPa, 抽空温度83~87 $^{\circ}\text{C}$, 抽空时间2 h, 制得样品备用。

1.3.2 香蕉香气成分固相微萃取 (solid phase micro-extraction, SPME)

取制备好的样品, 经充分粉碎后放入萃取瓶内, 密

封, 恒温水浴, 温度60 $^{\circ}\text{C}$, 搅拌速率250 r/min, 同时将萃取头插入到萃取瓶内吸附40 min, 再将萃取头插入气相色谱仪中, 在温度250 $^{\circ}\text{C}$ 时解吸2 min, 进行数据采集。

1.3.3 GC-MS分析条件

色谱条件: RTX-5MS弹性石英毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm), 进样口温度250 $^{\circ}\text{C}$; 进样模式: 载气He; 不分流; 总流量50.0 mL/min; 柱流量1.49 mL/min; 起始柱温40 $^{\circ}\text{C}$, 保持3 min, 然后以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至120 $^{\circ}\text{C}$, 随后再以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至230 $^{\circ}\text{C}$ 。

质谱条件: 离子源温度200 $^{\circ}\text{C}$; 接口温度250 $^{\circ}\text{C}$; 电子电离 (electron ionization, EI) 源; 电子能量70 eV; 起始时间2 min; 结束时间32 min; 扫描模式: 全扫描。

定性分析: 取固相微萃取的香气成分, 用气相色谱-质谱联用仪进行分析鉴定。通过G2090BA化学工作站数据处理系统, 检索NIST 05谱图库, 并分别与八峰索引及EPA/NIH质谱图集的标准谱图进行对照, 复合, 再结合有关文献进行人工谱图解析, 确定香气各化学成分。

定量分析: 通过G2090BA化学工作站数据处理系统, 按峰面积归一化法进行定量分析, 分别求得各化学成分在香气成分中的相对含量。

2 结果与分析

2.1 香蕉膨化前后的总离子流图

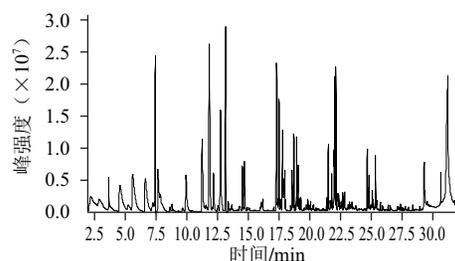


图1 鲜香蕉片总离子流图

Fig.1 Total ion current GC-MS profile of volatile compounds in fresh banana

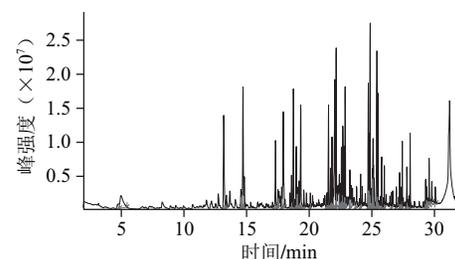


图2 膨化前香蕉片总离子流图

Fig.2 Total ion current GC-MS profile of volatile compounds in (vacuum-dried) banana before explosion puffing

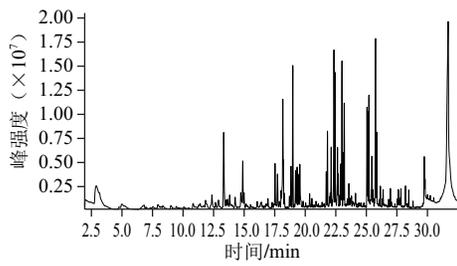


图3 变温压差膨化香蕉片总离子流图

Fig.3 Total ion current GC-MS profile of volatile compounds in banana subjected to explosion puffing drying at variable temperature and pressure

采用SPME-GC-MS检测和质谱库检索分析比对, 得到鲜香蕉片、膨化前香蕉片、膨化后香蕉片3种样品风味物质种类及其相对含量, 图1~3分别为3种香蕉样品的总离子流图。

2.2 鲜香蕉片及膨化前后风味物质和相对含量

表1 鲜香蕉片及膨化前后风味物质和相对含量

Table 1 Relative amounts and identification of volatile compounds in banana subjected to explosion puffing drying at variable temperature and pressure

序号	化合物名称	相对含量/%		
		样品1	样品2	样品3
1	醋酸异丁酯	4.53		
2	醋酸正丁酯	5.45		
3	2-戊醇乙酸酯	4.76		
4	3-甲基-1-丁醇乙酸酯	6.04		
5	丁内酯	0.15		
6	丁酸-2-甲基丙酯	2.55		
7	丁酸丁酯	4.34		
8	乙酸己酯	10.34	1.96	
9	丁酸-1-甲基丁酯	1.98		
10	丁酸-3-甲基丁酯	6.68	4.44	4.37
11	2-甲基丁酸-3-甲基丁酯	1.63	0.68	0.94
12	3-甲基丁酸-3-甲基丁基酯	1.85	4.73	2.36
13	乙酸庚酯	0.16		
14	2-甲基丙酸己酯	0.13		
15	己酸-2-甲基丙酯	0.26		
16	戊酸-3-甲基丁酯	0.22		
17	(Z)-丁酸-3-己烯酯	0.09		
18	丁酸己酯	5.93	2.4	
19	乙酸环己基乙酯	6.18	1.49	2.62
20	1-丁酸酯	1.18		0.5
21	2-甲基丁酸己酯	1.67	1.26	1.76
22	3-甲基丁酸己(基)酯	2.26	3.66	5.61
23	己酸异戊酯	2.25	1.84	1.57
24	乙基戊酸酯	1.98		
25	2,4-二异酸甲苯酯	0.50	0.57	1.28
26	抗坏血酸二棕榈酸酯	1.6	0.73	2.12
27	酞酸二丁酯	0.23	0.46	0.99
28	月桂酸异辛酯	0.69		
29	2-甲基-醋酸	0.49		
30	(E)-3-己烯酸	0.41		
31	顺-3-辛烯-1-醇	0.33		
32	10-十一烯-1-醇	0.22		

续表1

序号	化合物名称	相对含量/%		
		样品1	样品2	样品3
33	4,5-二甲基-1-己烯	1.47	0.6	1.61
34	1,2,3-三甲氧基-5-苯	1.34		
35	2-十一烷酮	1.22	0.4	0.76
36	4-烯丙基-2,6-二甲氧基苯酚	1.32		
37	2,3-丁二醇		2.29	
38	丁酸1-甲基-己基酯	4.18	6.91	
39	戊酸	0.49		
40	1-乙烯基己基丁酸酯	1.78	1.86	
41	乙酸癸酯	0.81		
42	(Z)-3-甲基丁酸-3-己烯酯	3.81	4.28	
43	十二酸乙酯	0.92		
44	癸酸-3-甲基丁酯	1.19	0.58	
45	月桂酸异丁酯	0.44		
46	十二烷酸-3-甲基丁酯	1.54	0.48	
47	棕榈酸乙酯	0.97		
48	月桂酸-3-甲基丁酯	0.31		
49	9,11-十二二亚乙基三胺醋酸	1.23		
50	(Z)-5-十二烯-1-基醋酸	1.56		
51	3-癸烯-1-醇	0.66	0.43	
52	1-癸醇	0.64		
53	(Z)-9-十四碳烯-1-醇	1.14	0.85	
54	乙烯基环己烷	1.88	4.56	
55	二丁基羧基甲苯	0.76		
56	1,2,3-三甲氧基-5-(2-丙烯基)苯	3.58	3.2	
57	2-十三酮	0.84		
58	3-烯丙基-6-甲氧基苯酚	2.98	2.53	
59	4-烯丙基-2,6-二甲氧基苯酚	6.18	7.67	
60	4,5-辛二酮-2,7-乙烷			0.44
61	2-壬炔			0.6
62	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮			0.35
63	2-戊酮			7.4
64	苯乙酮			0.41
65	3-辛烯-2-酮			0.37

注: 样品1. 新鲜香蕉样品; 样品2. 膨化前香蕉样品; 样品3. 变温压差膨化干燥香蕉样品。下同。

表2 各样品中不同种类香气成分含量及种数比较

Table 2 Relative amounts of different chemical groups of volatile compounds in banana samples

化合物类别	风味物质相对含量/%			种数		
	样品1	样品2	样品3	样品1	样品2	样品3
酯类	75.63	41.55	40.19	31	25	18
烃类	1.47	2.48	6.61	2	4	6
醇类	0.55	2.44	1.28	2	3	2
酮类	1.22	1.24	8.94	1	2	4
酸类	0.90	2.29	—	2	3	—
酚类	2.66	13.50	14.35	1	3	3

注: 一. 未检出。

从表1、2可知, 3种香蕉样品共检测出65种风味物质。鲜香蕉片共检测出48种, 这些风味物质占总风味物质82.43%, 其中酯类物质占75.63%, 酸类物质占0.9%, 醇类物质占0.55%, 烃类物质占2.81%, 酮类物质占1.22%, 酚类物质占1.32%。膨化前香蕉片的风味物质共

检测出57种, 占总风味物质比重为63.70%, 其中酯类物质占41.55%, 酸类物质占2.29%, 醇类物质占2.44%, 烃类物质占7.82%, 酮类物质占1.24%, 酚类物质占9.16%。膨化后香蕉片的风味物质共检出43种, 占总风味物质比重为71.37%, 其中酯类物质占40.20%, 醇类物质占1.28%, 烃类物质占10.76%, 酮类物质占8.94%, 酚类物质占10.20%。

从表1可知, 膨化前香蕉片消失的风味物质有21种分别是: 醋酸异丁酯、醋酸正丁酯、2-戊醇乙酸酯、3-甲基-1-丁醇乙酸酯、丁内酯、丁酸-2-甲基丙酯、丁酸丁酯、乙酸庚酯、2-甲基丙酸己酯、己酸-2-甲基丙酯、戊酸-3-甲基丁酯、(Z)-丁酸-3-己烯酯、1-丁酸酯、乙基戊酸酯、月桂酸异辛酯、2-甲基-醋酸、(E)-3-己烯酸、顺-3-辛烯-1-醇、10-十一烯-1-醇、1,2,3-三甲氧基-5-苯、4-烯丙基-2,6-二甲氧基苯酚; 膨化后消失的风味物质有33种分别是: 醋酸异丁酯、醋酸正丁酯、2-戊醇乙酸酯、3-甲基-1-丁醇乙酸酯、丁内酯、丁酸-2-甲基丙酯、丁酸丁酯、乙酸庚酯、乙酸庚酯、2-甲基丙酸己酯、己酸-2-甲基丙酯、戊酸-3-甲基丁酯、(Z)-丁酸-3-己烯酯、乙基戊酸酯、月桂酸异辛酯、2-甲基-醋酸、(E)-3-己烯酸、顺-3-辛烯-1-醇、10-十一烯-1-醇、1,2,3-三甲氧基-5-苯、4-烯丙基-2,6-二甲氧基苯酚、2,3-丁二醇、戊酸、乙酸癸酯、十二酸乙酯、月桂酸异丁酯、棕榈酸乙酯、月桂酸-3-甲基丁酯、9,11-十二亚乙基三胺醋酸、(Z)-5-十二烯-1-基醋酸、1-癸醇、二丁基羟基甲苯、2-十三酮; 膨化后生成的特殊风味物质分别是: 4,5-辛二酚、2,7-乙烷、2-壬炔、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮、2-戊酮、苯乙酮、3-辛烯-2-酮。

从表2可知, 香蕉鲜样中以酯类为主, 占75.63%, 经过预干和膨化干燥后, 含量进一步降低, 这可能是香蕉在加热时酯类转化成酮类等物质。酸类和醇类物质呈现先升高后降低的趋势, 这可能是这两类物质在膨化干燥过程中转化成酮类物质所致。烃类、酮类和酚类物质呈现升高的趋势, 是由于酸类、酯类或醇类的前提物质在加热状态下发生的转化所致。

3 讨论

鲜香蕉片中风味物质中酯类含量最高, 经过加热膨化后, 酯类含量降低较多, 酸类和醇类物质含量呈现先升高后降低的变化规律, 烃类、酮类、酚类物质呈现升高的趋势。出现上述变化趋势可能有一下几个方面因素的变化导致的。1) 酯类物质在发生法水解反应生成酸类和醇类; 2) 焦糖化反应可以生产部分酚类和酮类物质; 3) 还原糖与氨基酸、蛋白质或含氮化合物一起加热时, 这使得

美拉德反应向着更为复杂的方向进行, 产生大量酮类等化合物; 4) 酸类加热失水和脱羧生产酮类物质; 5) 烃类物质受热后发生氧化反应会生成酸类和酮类物质^[31]。

风味物质研究的方法可以粗分为经典法、顶空法、吸附与热解吸法、超临界二氧化碳萃取法及热体二氧化碳萃取法。其中顶空法具有简便快捷分析结果比较准确的特点, 但是一些挥发性成分浓度太低或样品中部分组分沸点较高, 导致一些风味物质未能被检测出来。评价呈香物质作用大小不是由香气物质的浓度确定, 而是由其香气值来决定的。香气值=呈香物质的浓度/香气阈值, 由此可知要想准确评价一种呈香物质的香气值不但要知道其浓度, 而且要知道其阈值。采用SPME-GC-MS只能测出香蕉的香气成分的相对含量, 无法准确评价每种香气成分的绝对值。所以不能根据香气物质的含量来确定主体的呈香成分。那么, 变温压差膨化干燥香蕉的主体呈香物质是什么, 此类呈香物质又是从何转化而来的呢, 变温压差膨化干燥中温度和压力的变化对香气成分的影响如何变化的机理有待于进一步的研究。

4 结论

4.1 鲜香蕉片中的香气成分以酯类物质为主, 加工后酯类物质减少, 膨化前处理阶段使酯类物质相对含量从76.63%减少到41.55%, 膨化后其含量减少到40.20%。这些酯类物质发生了一系列的化学反应形成醛、酮、醇、酸等其他物质。

4.2 香蕉经变温压差膨化干燥后, 其香气成分种类变化趋势是, 鲜香蕉片中有48种, 膨化干燥前有57种, 膨化干燥后有43种。

4.3 膨化前后香蕉片消失的风味物质分别有21种和33种, 膨化后生成的特殊风味物质分别是: 4,5-辛二酚、2,7-乙烷、2-壬炔、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮、2-戊酮、苯乙酮、3-辛烯-2-酮。

参考文献:

- [1] 朱瑜安. 香蕉及其保健功能[J]. 中国食物与营养, 2006(3): 51-52.
- [2] 杨公明, 王娟. 香蕉粉的功能加工现状及新技术[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(5): 121-127.
- [3] ZMAMER C M. Gun-puffed vegetable snacks: a new way to eat your veggies[J]. Food Technology, 1995, 49(10): 64-65.
- [4] SULLIVAN J F, CRAIG J C. The development of explosion puffing[J]. Food Technology, 1984, 38(2): 52-55.
- [5] SULLIVAN J F, EGOVILLE M J, KONSTANCE R P, et al. Storage stability of continuous explosion puffed potatoes[J]. Food Science and Technology, 1983, 16(2): 76-77.
- [6] VARNALIS A I, BRENNAN J G, MACDOUGALL D B. A proposed mechanism of high-temperature puffing of puffing. Part I. The influence of blanching and drying condition on the volume of puffed cubes[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48(2): 361-367.

- [7] 毕金峰. 果蔬变温压差膨化干燥技术[J]. 农产品加工, 2007(7): 26-27.
- [8] SULLIVAN J F, CRAIG J C, KONSTANCE R P. Continuous explosion-puffing of apples[J]. Food Science, 1980, 45(4): 1550-1555.
- [9] STROLLE E O, CORDING J, Jr, MCDOWELL P E. Effect of sucrose on crispness of explosion-puffed apple pieces exposed to high humidities[J]. Food Science, 1970, 35(7): 338-342.
- [10] SULLIVAN J F, KONSTANCE R P, DELLAMONICA E S. Carrot dehydration-optimization process studies on the explosion-puffing process[J]. Food Science, 1981, 46(5): 1537-1542.
- [11] SULLIVAN J F, KONSTANCE R P, ACETO N C, et al. Continuous explosion of potatoes[J]. Food Science, 1977, 42(3): 1462-1464.
- [12] NATH A, CHATTOPADHYAY P K, MAJUMDAR G C. High temperature short time air puffed ready-to-eat potato snakes: process parameter optimization[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(7): 770-780.
- [13] SACA S A, LOZANO J E. Explosion puffing of bananas[J]. International Journal of Food Science and Technology, 1992, 27(2): 419-426.
- [14] KOZEMPEL M F, SULLIVAN J F, CRAIG J C, et al. Explosion puffing of fruits and vegetables[J]. Journal of Food Science, 1989, 54(3): 772-773.
- [15] 石启龙, 张培正. 气流膨化果蔬脆片生产中存在的问题及对策[J]. 山东食品科技, 2000(6): 28-29.
- [16] 王荣梅, 张培正, 李坤, 等. 低温气流膨化酥脆胡萝卜的研制[J]. 现代食品科技, 2005, 22(1): 45-47; 50.
- [17] 王荣梅, 张培正, 李坤, 等. 低温气流膨化枸杞子的研究[J]. 食品科技, 2006, 31(1): 42-45.
- [18] 王荣梅, 张培正, 李坤, 等. 气流膨化空心脆枣的研制[J]. 食品工业, 2004, 25(5): 36-38.
- [19] 毕金峰. 影响柑橘变温压差膨化干燥的因素研究[J]. 核农学报, 2007, 21(5): 483-487.
- [20] 毕金峰. 响应面分析法优化马铃薯变温压差膨化干燥工艺研究[J]. 食品科学, 2007, 28(11): 236-240.
- [21] 马立霞. 苹果片低温高压膨化干燥技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院农产品加工研究所, 2006: 1-43.
- [22] 马立霞, 毕金峰, 魏益民. 苹果低温高压膨化影响因素研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(12): 88-90; 93.
- [23] 王秋, 毕金峰, 孟宪军. 哈密瓜变温压差膨化干燥技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2008, 29(3): 286-289.
- [24] 毕金峰, 魏益民, 王秋, 等. 哈密瓜变温压差膨化干燥工艺优化研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 232-237.
- [25] 毕金峰, 魏益民. 果蔬变温压差膨化干燥技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 308-312.
- [26] 赖必辉. 芒果变温压差膨化干燥技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012: 32-45.
- [27] 丁媛媛. 甘薯变温压差膨化干燥技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院农产品加工研究所, 2011: 41-50.
- [28] 朱虹, 陈玉芬, 李雪萍, 等. 顶空固相微萃取气质联用分析香蕉的香气成分[J]. 园艺学报, 2007, 34(2): 485-488.
- [29] 陶晨, 王道平, 杨小生, 等. 固相微萃取气相色谱质谱法分析香蕉中的香气成分[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(4): 139-141.
- [30] 张文灿, 林莹, 刘小玲, 等. 香蕉全果果汁香气成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(4): 139-141.
- [31] OWEN R F. 食品化学[M]. 王璋, 许时婴, 江波, 等, 译. 3版. 北京: 中国轻工业出版社, 2003: 632.