

烘干温度对大枣香气成分及理化指标的影响

吕 珊¹, 凌 敏², 董浩爽¹, 孟明佳¹, 曹 真¹, 刘孟军³, 敖常伟^{1,*}

(1.河北农业大学食品科技学院, 河北 保定 071000; 2.河北农业大学植物保护学院, 河北 保定 071000;

3.河北农业大学 中国枣研究中心, 河北 保定 071000)

摘 要: 为比较不同烘干温度条件下大枣香气成分的变化, 采用气相色谱-质谱-嗅觉 (gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry, GC-MS-O) 测量法对80~160 ℃烘干大枣的香气成分进行分析鉴定, 并对不同烘干温度条件下大枣的总糖、还原糖、氨基酸及色泽变化进行分析。结果表明: GC-MS-O共鉴定出99种物质, 其中经嗅觉测量法检测出61种。典型的随温度升高相对含量逐渐升高的物质为糠醛、5-甲基呋喃醛、5-羟甲基糠醛、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮、糠醇、2-乙酰基呋喃、3,5-二氢-2-甲基-4H-吡喃-4-酮、4-环戊烯-1,3-二酮。酸类物质如醋酸、2-甲基丁酸、正己酸、正庚酸、羊脂酸、苯甲酸、正癸酸、月桂酸随温度升高相对含量逐渐降低。糖与氨基酸含量随温度升高逐渐降低, 色差指数表明当温度超过140 ℃时, 大枣褐变反应剧烈, 会产生焦糊。

关键词: 气相色谱-质谱-嗅觉测量法; 大枣; 烘干; 还原糖; 氨基酸; 色泽

Effect of Drying Temperature on the Aroma Components and Physiochemical Properties of Jujube

LÜ Shan¹, LING Min², DONG Haoshuang¹, MENG Mingjia¹, CAO Zhen¹, LIU Mengjun³, AO Changwei^{1,*}

(1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;

2. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;

3. Research Center of Chinese Jujube, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: The volatile compounds in dried jujube obtained in the temperature range of 80–160 ℃ were characterized by gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O). The total sugars, reducing sugars, amino acids and color parameters were determined as well to evaluate the effect of drying temperature on jujube quality. A total of 99 volatile compounds were identified by GC-MS, 61 compounds of which were verified as aroma-active compounds by olfactometry. The main compounds, furfural, 5-methyl furfural, 5-hydroxymethylfurfural, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4H-pyran-4-one, furfuryl alcohol, 2-acetyl furan, 3,5-dihydroxy-2-methyl-4H-pyran-4-one, and 1,3-dione-cyclopent-4-ene, were generated at high drying temperature in a temperature-dependent manner. Some acids, such as acetic acid, glacial, 2-methyl butyric acid, hexanoic acid, heptanoic acid, octanoic acid, benzoic acid, and lauric acid, as well as sugar and amino acid contents, were decreased as the temperature increased. Color parameters showed that the browning reaction was enhanced, leading to a burnt flavor when the temperature was over 140 ℃.

Key words: gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O); jujube; drying; reducing sugar; amino acid; color
DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702023

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 02-0139-07

引文格式:

吕珊, 凌敏, 董浩爽, 等. 烘干温度对大枣香气成分及理化指标的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(2): 139-145. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702023. <http://www.spkx.net.cn>

LÜ Shan, LING Min, DONG Haoshuang, et al. Effect of drying temperature on the aroma components and physiochemical properties of jujube[J]. Food Science, 2017, 38(2): 139-145. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702023. <http://www.spkx.net.cn>

枣属 (*Ziziphus* Mill.) 是鼠李科 (Rhamnaceae) 植物 50多个属中经济价值最高的一个属^[1]。枣树在我国分布范

围广泛, 品种丰富, 产量大^[2]。大枣除了具有较好的营养功能外, 其具有的特殊枣香味也是被人们喜爱的原因。

收稿日期: 2016-06-28

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目 (2013BAD14B03)

作者简介: 吕珊 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: 13832212632@163.com

*通信作者: 敖常伟 (1971—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为食品化学。E-mail: aocw@163.com

但由于不同加热温度对枣香味的形成影响显著,而且会形成不同的焦香风味,因此研究不同高温条件对大枣香气成分的组成及变化影响有非常重要的意义。

前人关于枣香的分析认为其香气的产生主要有2个途径:一是大枣生长过程中自身生物合成的香气物质;二是大枣中的化学成分在人为烘烤或加热过程中形成的非酶反应香味产物^[3],如美拉德反应。美拉德反应主要是羰基与氨基之间的反应,可以生成复杂的芳香类化合物。大枣中有丰富的还原糖及氨基酸,为美拉德反应提供了丰富的底物。另外,大枣中一些其他成分的分解及氧化也是香气成分的产生途径之一,如脂肪酸的氧化,抗坏血酸的分解等^[4-5]。

以前对于挥发性成分的分析主要利用气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)或者GC-氢火焰检测器^[6]。Fuller等^[7]在1964年最早提出GC-嗅闻(GC-olfactometry, GC-O),1976年GC-O得到了进一步发展,直到现在GC-O技术已发展成为一种先进的检测方法^[8]。GC-MS-O检测法是在GC柱末端安装分流装置,将样品以1:1(根据仪器设定)的分流比分流到MS检测器与嗅觉检测器。首先将前处理样品经进样口注入色谱柱,复杂样品经色谱柱分离后通过分流装置分成两路,一路进入MS检测器,另一路经过专用的传输线进入嗅觉检测器,并最终从嗅觉检测器出口流出,通过载气流量,传输管路内径及长度的设计,嗅闻时间与物质保留时间基本保持一致。嗅闻人员在嗅觉检测器出口进行嗅闻分析,记录所闻到的气味与相应保留时间,通常用一个或几个词语来描述他们对所闻气味的感觉^[9-10]。本实验将GC的分离能力与人灵敏的嗅觉结合起来对香味活性成分进行鉴定,可以弥补MS的不足。而对于大枣香气成分的研究报道主要集中于干制方式、提取方法,以及品种对大枣香气成分的影响^[11-13],干制方式也多为低温加热(50~70℃)^[14]。本实验在此基础上采取高温加热方式对大枣进行烘干处理,旨在能够得到独特、浓郁的焦香风味枣香气,通过比较不同烘干温度对大枣香气成分及理化指标的影响,发现大枣中16种典型香气成分随烘干温度的变化,以及糖类、氨基酸、色泽指标随烘干温度的变化,这一研究为大枣的加工利用及新型枣香精及枣香味产品的开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

枣原料收集于河北省保定市阜平县枣种植园,品种为婆枣。

硫酸铜、亚甲基蓝、氢氧化钠、酒石酸钾钠、亚铁氰化钾、乙酸锌、冰醋酸、葡萄糖、盐酸、邻苯二甲酸

氢钾、酚酞指示剂、碳酸钠、碳酸氢钠、2,4-二硝基氯苯、乙酸钠、三乙胺、乙醇(均为分析纯) 天津市科密欧化学试剂有限公司;乙腈(色谱纯) 赛默飞世尔科技(中国)有限公司;天冬氨酸、谷氨酸、组氨酸、丝氨酸、精氨酸、甘氨酸、苏氨酸、牛磺酸、脯氨酸、丙氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、胱氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、酪氨酸标准品(均为色谱纯) 北京拜尔迪生物技术公司;醋酸、正己酸、糠醛、5-羟甲基糠醛标准品(均为色谱纯) 阿拉丁试剂(上海)有限公司;C₅~C₃₀正构烷烃标准品 美国AccuStandard公司。

1.2 仪器与设备

DHG-101-1A电热恒温鼓风干燥箱 宁波东南仪器有限公司;85-2A测速数显恒温磁力搅拌器 常州朗越仪器制造有限公司;7890B-5977A型GC-MS联用仪、HP-Innowax毛细管色谱柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm) 美国Agilent公司;ODP3型嗅闻仪 德国Gerstle公司;CR-400色差计 日本Conica Minolta公司;1525高效液相色谱仪、Universil C₁₈液相色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm) 美国Waters公司。

1.3 方法

1.3.1 样品加热烘干处理

选择大小均匀、完整、无腐烂、病虫害的大枣原料6份,去核,剪碎为约5 mm×5 mm的颗粒。其中5份分别置于80、100、120、140、160℃条件下恒温热风烘干30 min,含水率分别为3.9%、2.2%、1.5%、1.6%、1.4%。1份于40℃条件下恒温干燥至含水率约为5%作为对照。将干燥的样品用组织粉碎机粉碎,密封4℃冷藏保存。

1.3.2 不同烘干温度条件下大枣挥发性成分的GC-MS-O分析

香气成分的萃取:顶空固相微萃取法。由于不同萃取头对香气成分的吸附效果影响显著,实验参考闫忠心^[15]对干枣挥发性物质的提取方法,选择50/30 μm二乙基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS)萃取头。准确称取3.5 g枣粉于20 mL顶空瓶中,密封。萃取前,将装有样品的顶空瓶置于50℃水浴中预热平衡10 min。然后将活化好的萃取头(50/30 μm DVB/CAR/PDMS, 270℃活化30 min)插入样品瓶,推出纤维头,50℃萃取40 min,每个样品做3次平行处理。

GC条件:HP-Innowax毛细管色谱柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm);升温程序:50℃保持2 min,以7℃/min升至250℃,保持13 min;载气(He)流速1.45 mL/min;进样口温度240℃;不分流。

MS条件:电子电离源;离子源温度230℃;四极杆

温度150 ℃；电子能量70 eV；采集类型：全扫描；质量扫描范围 m/z 33~350；辅助加热器温度250 ℃。

嗅闻仪条件：辅助气 N_2 ，传输线温度250 ℃。实验时选择3人对样品进行嗅闻分析，同一种物质被2人以上嗅闻到并且有相似嗅觉描述时，其结果可被计入最终数据分析。通过预实验结果分析，选择了4种气味明显的化合物，分别为醋酸、正己酸、糠醛、5-羟甲基糠醛，将这4种化合物标准品用二氯甲烷稀释至50、100、500、1 000 $\mu\text{g/mL}$ ，嗅闻人员事先以这4种标准品溶液进行嗅闻训练，记录闻到气味的时间，嗅闻时间比保留时间大约滞后0.1 min，并通过训练熟练掌握嗅闻仪的使用。

定性及定量分析：各组分与NIST 14标准谱库进行对照分析，采用 $C_5\sim C_{30}$ 正构烷烃标准品对各组分保留指数（retention index, RI）进行计算，用匹配度及RI定性，采用峰面积归一化法计算各组分相对含量。

1.3.3 不同烘干温度条件下大枣中还原糖及总糖含量的测定

还原糖及总糖的提取与测定参考文献[16]。

1.3.4 不同烘干温度条件下大枣中氨基酸含量的测定

参考尤晓蒙^[17]对氨基酸的测定方法，样品预处理及衍生方法如下。

样品预处理：称取约1 g样品于20 mL水解管中，加入10.00 mL 6 mol/L盐酸，混匀，密封，将水解管放入110 ℃的恒温干燥箱中，水解20 h。水解完成后，将水解液离心，取上清液保存。准确量取1.00 mL上清液于试管中，在80~90 ℃条件下用真空泵抽干，再用2.00 mL 0.1 mol/L盐酸溶解，旋涡混合后过无机膜（0.45 μm ），过膜后放入1.5 mL的离心管中待衍生。每个样品做3次平行处理。

氨基酸的衍生：准确量取100 μL 样品溶液及氨基酸标准品溶液，放入扎孔的小离心管中，加入200 μL 缓冲盐溶液，100 μL 2,4-二硝基氯苯衍生剂，混匀后90 ℃恒温水浴加热90 min，然后冷却至室温加入体积分数10%乙酸溶液50 μL ，再加入550 μL 纯净水定容至1 mL，混匀后排气泡，取上清液过有机膜（0.45 μm ），密封保存待测。

高效液相色谱条件：Universil C_{18} 色谱柱（4.6 mm $\times$ 250 mm，5 μm ）；柱温40 ℃；流动相A：乙酸钠-三乙胺-冰乙酸-纯净水（2.5:1.5:1.17:1 000， $V/V/V$ ）；流动相B：100%纯乙腈；检测波长360 nm；进样量10 μL 。

1.3.5 不同烘干温度条件下大枣的色泽变化

采用CR-400色差计对枣粉色泽变化进行测定， L^* 为亮度指数， $L^*=100$ 为白色， $L^*=0$ 为黑色， a^* 值表征红绿， $+a^*$ 越大越接近红色， $-a^*$ 越小越接近绿色， b^* 值表征黄蓝， $+b^*$ 越大越接近黄色， $-b^*$ 越小越接近蓝色。

1.4 数据处理

采用SPSS 19.0对实验数据进行方差及显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同烘干温度条件下大枣中挥发性成分的GC-MS-O分析

表1 不同烘干温度条件下大枣中挥发性成分的GC-MS-O分析结果
Table 1 Results of GC-MS-O analysis of dried jujube at different temperatures

序号	化合物	相对含量/%						RI	气味描述	鉴定方法
		未处理	80℃ 烘干	100℃ 烘干	120℃ 烘干	140℃ 烘干	160℃ 烘干			
醛类										
1	异戊醛	—	—	—	0.20	0.44	—	933	果香味	MS、RI、odor
2	正己醛	0.48	0.67	0.40	0.37	—	—	1 099	药草味	MS、RI、odor
6	(E)-2-己烯醛	—	0.17	0.15	0.12	—	—	1 238	药草味、树叶味	MS、RI、odor
9	正辛醛	0.06	0.12	0.05	0.13	0.13	—	1 304	柠檬味、橘子皮味	MS、RI、odor
11	顺-庚烯醛	0.22	0.23	0.19	0.30	0.21	0.08	1 346	木头味	MS、RI、odor
17	壬醛	0.89	0.41	0.29	0.28	0.35	0.28	1 409	柑橘味、西瓜味	MS、RI、odor
20	(E)-2-辛烯醛	0.11	0.13	0.17	0.15	—	—	1 451	酸味、青草味	MS、RI、odor
23	糠醛	0.77	0.76	2.66	10.48	21.32	20.94	1 490	面包味、甜味	MS、RI、odor
25	癸醛	0.59	0.23	0.20	0.16	0.18	0.30	1 515	橘子味	MS、RI、odor
30	苯甲醛	0.55	0.21	0.26	0.36	0.14	0.08	1 560	杏仁味	MS、RI、odor
34	5-甲基呋喃醛	0.76	0.55	1.04	2.25	5.09	6.22	1 604	焦糖味	MS、RI、odor
41	2-苯基乙醛	—	0.15	0.21	0.18	—	—	1 682	花香、甜味、蜂蜜味	MS、RI、odor
82	5-乙酰氧基甲基呋喃醛	—	0.06	0.03	0.09	0.10	0.37	2 234	花香	MS、RI、odor
92	5-羟甲基糠醛	—	—	0.09	0.74	3.61	7.00	2 560	焦糖味、清新味	MS、RI、odor
酮类										
10	3-羟基-2-丁酮	1.96	0.93	0.35	0.38	0.16	—	1 309	黄油、奶油、蘑菇味	MS、RI、odor
12	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.83	0.22	0.07	0.12	0.22	0.11	1 353	燕麦味、橘子味	MS、RI、odor
16	甲基庚基甲酮	—	0.10	0.37	0.17	—	—	1 403	果香	MS、RI、odor
35	2-十一酮	0.20	0.49	1.07	0.57	0.20	0.33	1 613	果香、清新、略带尘土味	MS、RI、odor
36	4-环戊烯-1,3-二酮	—	—	—	—	0.67	1.86	1 625		MS、RI
43	2-十三烷酮	0.11	0.25	0.26	0.33	0.15	0.23	1 701	药味	MS、RI、odor
59	香叶基丙酮	0.56	0.16	0.09	0.12	0.11	0.08	1 874	花香、木兰花	MS、RI、odor
60	4-羟基-2,5-二甲基-3-(2H)-呋喃酮	0.13	0.13	0.09	0.13	0.14	0.47	1 899	焦糖、甜、草莓味	MS、RI、odor
85	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮	—	0.12	0.39	3.24	12.66	16.52	2 323		MS、RI
86	3,5-二氢-2-甲基-4H-吡喃-4-酮	—	—	—	0.20	1.19	1.42	2 334		MS、RI
酸类										
22	醋酸	28.58	21.02	14.23	11.84	0.07	0.11	1 465	酸味、非常酸	MS、RI、odor
28	草酸	0.27	0.11	0.32	0.33	0.58	0.38	1 541		MS、RI
29	丙酸	0.66	0.33	0.23	0.17	0.28	0.14	1 557	果香	MS、RI、odor
32	异丁酸	0.72	0.40	0.22	0.17	0.09	0.09	1 585	奶酪味	MS、RI、odor
39	2-丙烯酸	0.19	0.12	0.18	0.14	0.27	0.19	1 661		MS、RI
42	2-甲基丁酸	3.99	1.93	1.05	1.45	0.45	0.13	1 688	发酵味、酸味	MS、RI、odor
49	正戊酸	1.43	0.64	0.42	0.30	0.15	0.08	1 756	酸味、汗酸味	MS、RI、odor
50	2,3-二甲基马来酸酐	0.07	0.09	0.10	0.10	0.03	0.11	1 774	香菜味	MS、RI、odor
53	2-丁烯酸	0.28	0.06	0.06	0.07	0.11	—	1 797		MS、RI
58	正己酸	18.44	9.43	6.44	4.67	2.39	0.69	1 863	奶酪味、甜味	MS、RI、odor
67	正庚酸	3.23	2.08	1.69	1.12	0.52	0.11	1 970	奶酪味	MS、RI、odor
68	(E)-3-己烯酸	0.20	0.08	0.12	—	—	0.16	1 977	微酸味、花香	MS、RI、odor
69	(E)-2-己烯酸	0.67	0.33	0.37	0.19	0.16	—	1 990	发霉的味道	MS、RI、odor
76	羊脂酸	4.58	4.31	3.68	2.52	0.94	0.63	2 076	花蜜、甜香	MS、RI、odor
79	7-辛烯酸	0.64	0.48	0.29	0.16	0.06	—	2 142		MS、RI
80	壬酸	1.13	0.59	0.94	0.87	1.32	1.15	2 183	青草味、酸味	MS、RI、odor

续表1

序号	化合物	相对含量/%						RI	气味描述	鉴定方法
		未处理	80 ℃ 烘干	100 ℃ 烘干	120 ℃ 烘干	140 ℃ 烘干	160 ℃ 烘干			
81	2-辛烯酸	0.35	0.52	0.59	0.43	0.22	0.06	2 206		MS、RI
83	正癸酸	5.47	19.23	21.50	19.91	10.38	5.31	2 290	刺鼻的花香味	MS、RI、odor
88	十一烷酸	—	0.28	0.37	0.46	0.53	0.66	2 395		MS、RI
90	苯甲酸	2.23	1.44	1.63	1.86	1.48	0.43	2 484	较浓异味	MS、RI、odor
91	月桂酸	1.39	8.72	9.92	10.37	9.10	5.61	2 502	芳香味	MS、RI、odor
95	氢化肉桂酸	0.44	0.40	0.51	0.47	0.30	0.10	2 720	枣味、微酸味	MS、RI、odor
96	肉豆蔻酸	—	0.16	0.25	0.19	0.31	0.17	2 776		MS、RI
97	(Z)-11-十四烯酸	—	0.68	1.35	1.32	1.57	0.99	2 860	清新	MS、RI、odor
醇类										
21	蘑菇醇	0.20	0.20	0.19	0.19	—	—	1 454	牛奶味	MS、RI、odor
26	甲基庚基甲醇	—	0.10	0.23	0.14	—	—	1 521		MS、RI
40	糠醇	0.89	0.85	0.32	0.74	3.93	6.97	1 678	丁香花味	MS、RI、odor
46	5-甲基-2-呋喃甲醇	—	0.04	0.06	0.19	0.89	0.31	1 738	清新	MS、RI、odor
70	麦芽醇	0.11	—	—	0.08	0.17	0.37	2 007	甜香	MS、RI、odor
酯类										
37	正癸酸乙酯	2.44	1.90	3.56	2.19	0.80	1.08	1 646	奶酯味	MS、RI、odor
47	γ-己内酯	1.77	0.85	0.77	0.70	0.46	0.20	1 748		MS、RI
55	月桂酸甲酯	0.75	0.58	0.99	0.80	0.70	0.71	1 812	枣味、微酸	MS、RI、odor
56	丁位己内酯	0.54	0.35	0.30	0.28	0.21	0.09	1 846	果香、甜味	MS、RI、odor
57	月桂酸乙酯	1.16	1.09	2.78	1.59	0.80	1.07	1 851	树叶味、青涩果实味	MS、RI、odor
62	2-甲烯基丁内酯	—	—	—	—	0.14	0.12	1 922		MS、RI
66	丙位辛内酯	0.32	0.12	0.21	0.15	—	—	1 965	花香、酸味	MS、RI、odor
72	肉豆蔻酸甲酯	—	—	0.13	0.05	0.06	0.06	2 019		MS、RI
74	肉豆蔻酸乙酯	0.24	0.05	0.17	0.08	—	—	2 056	焦糖味	MS、RI、odor
75	肉豆蔻脑酸甲酯	0.16	0.16	0.32	0.40	0.82	1.06	2 062	焦糖味	MS、RI、odor
77	9-十六碳烯酸乙酯	0.27	0.48	0.88	0.38	0.18	0.29	2 099	花香味	MS、RI、odor
78	亚硫酸己十五酯	—	—	—	—	0.11	0.15	2 117		MS、RI
84	9-十六碳烯酸乙酯	—	—	0.45	0.18	0.30	0.11	2 308		MS、RI
89	二氢猕猴桃内酯	0.04	0.05	0.07	0.06	0.05	0.05	2 435		MS、RI
烷烃类										
4	十二烷	0.95	0.51	0.34	0.40	0.45	0.18	1 200		MS、RI
8	正十三烷	—	0.09	0.05	0.12	0.28	0.19	1 299		MS、RI
13	3-甲基-十三烷	—	—	—	—	0.13	0.09	1 366		MS、RI
15	正十四烷	—	—	—	—	0.50	0.36	1 398		MS、RI
18	2,6,10-三甲基十三烷	—	0.13	0.19	0.06	0.20	0.20	1 434		MS、RI
24	正十九烷	0.06	0.08	0.12	0.13	0.22	0.20	1 497		MS、RI
33	正十六烷	—	—	0.11	—	0.13	0.09	1 598		MS、RI
54	2,6-二甲基癸烷	—	—	—	—	0.17	0.19	1 803		MS、RI
93	3,6-二甲基癸烷	—	—	—	0.37	0.13	—	2 668	巧克力味	MS、RI、odor
94	1-氟十五烷	—	—	—	—	—	0.06	2 711		MS、RI
99	3,6-二甲基癸烷	0.26	0.30	0.20	0.14	0.28	0.14	3 000		MS、RI
萜烯类										
5	右旋萜二烯	—	0.08	—	—	—	—	1 215		MS、RI
14	(Z)-1,6-三癸二烯	—	—	0.07	0.09	—	—	1 382	蘑菇、微酸	MS、RI、odor
31	1,11-十二碳二烯	—	—	—	—	—	0.06	1 575		MS、RI
44	(Z)-β-法尼烯	—	—	—	0.22	—	0.16	1 710	柑橘味、青草味	MS、RI、odor
45	γ-衣兰油烯	—	0.11	0.07	—	—	0.13	1 719		MS、RI
51	毕澄茄烯	0.64	2.32	0.17	0.10	0.07	1.87	1 787	药草味	MS、RI、odor
65	α-甜旗烯	0.09	0.07	0.11	0.05	—	0.11	1 960	木头味	MS、RI、odor
其他										
7	2-正戊基呋喃	0.53	0.41	0.50	1.00	0.42	0.69	1 243	草莓、果香味	MS、RI、odor
27	2-乙酰基呋喃	0.19	0.14	0.37	0.76	1.62	1.70	1 534	坚果味、焦糖味	MS、RI、odor
3	二乙基二甲基铅	2.65	6.90	9.79	6.85	3.91	4.39	1 128		MS、RI
19	异丙基苯甲酰胺	1.50	1.69	1.02	0.56	1.12	1.19	1 448		MS、RI
38	2-甲基呋喃	0.05	0.06	—	—	—	—	1 654		MS、RI

续表1

序号	化合物	相对含量/%						RI	气味描述	鉴定方法
		未处理	80 ℃ 烘干	100 ℃ 烘干	120 ℃ 烘干	140 ℃ 烘干	160 ℃ 烘干			
48	正辛基醚	0.29	—	—	—	—	—	1 753		MS、RI
52	萘	0.34	0.26	0.16	0.15	0.50	0.24	1 792	甜香	MS、RI、odor
61	2-甲基萘	0.19	0.12	0.09	0.09	0.16	0.24	1 906	芳香、花香	MS、RI、odor
63	2,6-二叔丁基对甲酚	—	—	—	—	0.38	0.32	1 932		MS、RI
64	1-甲基萘	—	—	—	—	0.08	0.13	1 945	芳香	MS、RI、odor
71	2-乙酰基吡咯	—	—	—	0.17	0.69	0.24	2 011	坚果味	MS、RI、odor
73	3,5-二羟基甲苯	—	—	—	—	0.28	0.43	2 025		MS、RI
87	2,3-二氢噻吩	0.19	0.23	0.27	0.35	0.28	0.15	2 389		MS、RI
98	5,6,7,8-四氢-2,5-二甲基-8-(1-甲基乙基)-1-萘酚	—	0.11	—	—	—	—	2 943		MS、RI

注：—,未检出；odor.嗅辨分析仪。

采用顶空固相微萃取结合GC-MS-O对不同烘干温度条件下大枣中的挥发性成分分析，结果如表1所示。通过NIST 14谱库检索，对匹配度不小于80%的99种化合物进行统计，其中包括醛类14种、酮类10种、酸类24种、醇类5种、酯类14种、烷烃类11种、萜烯类7种、其他14种。表2统计了不同烘干温度条件下的大枣中各类挥发性物质种类及其相对含量。在这99种化合物中，其中61种至少经2名以上嗅闻人员通过嗅闻仪闻到具有不同强度的气味。

表2 各类物质数量及相对含量
Table 2 Numbers and total relative contents of volatile compounds belonging to different classes

样品	醛类		酮类		酸类		醇类		酯类		烷烃类		萜烯类		其他	
	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%
未处理	9	4.43	6	3.79	21	74.96	3	1.20	10	7.69	3	1.27	2	0.73	9	5.93
80 ℃烘干	12	3.69	8	2.40	24	73.43	4	1.19	10	5.63	5	1.11	4	2.58	9	9.92
100 ℃烘干	13	5.74	8	2.69	24	66.46	4	0.80	12	10.63	6	1.01	4	0.52	7	12.20
120 ℃烘干	14	15.81	9	5.26	23	59.11	5	1.34	12	6.86	6	1.22	4	0.46	8	9.93
140 ℃烘干	10	31.57	9	15.50	23	31.31	3	4.99	12	4.63	10	2.49	1	0.07	11	9.44
160 ℃烘干	8	35.27	8	21.02	21	17.30	3	7.65	12	4.99	10	1.70	5	2.33	11	9.72

由表2可以看出，未高温烘干的大枣中酸类物质种类及相对含量最高，是大枣中的主要挥发性物质。由表1可知，在酸性成分中，乙酸相对含量最高，一方面由于大枣在树上糖心过程中发酵产生部分乙酸，另一方面是一些长链脂肪酸在烘干过程中热氧化分解的结果^[18]。随烘干温度的升高，酸类物质的种类变化不明显，但相对含量迅速下降，这主要是由于酸类物质尤其是乙酸容易挥发引起的。除乙酸外，经嗅闻人员鉴定，异丁酸、2-甲基丁酸、正戊酸、正己酸、正庚酸具有发酵酸味或者汗酸味等不愉快的气味^[19]。这些不愉快的气味在烘干过程中相对含量逐渐降低有利于大枣烘干香气的形成。其他部分酸类物质呈淡果香、花香或青草味，且相对含量较低。

烘干温度升高至140~160 ℃时，酸类物质相对含

量迅速下降,相反,醛类物质成为热风烘干大枣中的主要挥发性成分。醛类物质相对含量在烘干过程中不断上升,其中糠醛的生成对醛类物质的增加起主要作用,糠醛在前人有关枣挥发性成分的研究中均有报道,尤其在加热处理后的枣中含量较高^[20-21]。糠醛是抗坏血酸在热、氧条件下降解生成的低分子醛类物质^[22]。此外5-甲基呋喃醛、5-羟甲基糠醛也随烘干温度升高而逐渐生成。烘干食物中生成的醛类物质又称为Strecker醛类,该类物质的生成与Maillard和Strecker降解密切相关, α -氨基酸和还原糖在加热条件下按Strecker降解途径可以生成各种醛类物质,这类物质与食物的褐变及香气的形成均有关^[23]。经嗅闻人员鉴定糠醛、5-甲基呋喃醛、5-羟甲基糠醛据具有不同程度的焦香气味及糖果味。这类物质对烘干食物香气的形成至关重要,许多能够促进人食欲的香味就来源于此类物质。其他一些醛类物质也具有不同程度的果香味及香甜味,但相对含量较低,并且随温度变化不明显。可能是枣果成熟过程中生物合成的一类挥发性成分。

由表2可以看出,酮类物质相对含量也随烘干温度的升高而增加,但其数量变化并不明显。与高温烘干处理的大枣相比,未经高温烘干处理的大枣酮类物质相对含量较低,天然存在于大枣中的酮类物质典型合成途径是脂肪酸在脂氧合酶作用下降解^[24]。由表1可以看出,2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮对酮类物质相对含量的增加贡献最大。酮类物质为Maillard反应的中间产物,通过Strecker降解产生。3-羟基-2-丁酮及4-羟基-2,5-二甲基-3(2H)-呋喃酮均呈焦糖味或香甜味道,其中3-羟基-2-丁酮在未加热处理的大枣中相对含量较高,在热风烘干条件下其相对含量降低,160℃烘干时未检出。

醇类物质中糠醇是在烘干过程中产生的一种芳香性物质,经嗅闻人员鉴定为花香味,且在高温烘干的大枣中相对含量较高。相关研究也报道过大枣中糠醇的存在,但含量较低^[25]。本研究在高温烘干条件下生成的糠醇相对含量较高。说明糠醇的生成与加热条件有关。其他醇类物质如5-甲基-2-呋喃甲醇只存在于热风烘干大枣中,未经高温烘干处理的大枣未检出,说明该物质也是在加热过程中形成的,与糠醇类似呈清新或者花香味。

酯类化合物是果品香气成分中最主要的一类物质,成熟的果品香气主要取决于酯类物质,赵峰等^[26]研究了金丝小枣在成熟过程中酯类成分的变化规律,发现酯类成分的数量随果实的成熟逐渐增加,在半红熟期种类最多。月桂酸甲酯呈典型的枣香味,肉豆蔻酸乙酯和肉豆蔻脑酸甲酯呈典型的焦香风味。这几类物质都被鉴定为大枣中典型的香气成分^[27]。其他酯类如正癸酸乙酯、丁位己内酯、9-十六碳烯酸乙酯也是构成大枣香气成分的重要物质^[28]。

萜烯类物质相对含量较低,且结合表1、2可以看出,该类物质的相对含量与烘干条件关系不大,萜烯类物质广泛存在于植物及其精油中,是植物中天然存在的一类物质。在本研究中(Z)-1,6-三癸二烯、(Z)- β -法尼烯、毕澄茄烯、 α -甜旗烯均可通过嗅闻仪闻到香味,但其香味各不相同。除此之外,本研究中也鉴定出了较多的烷烃类物质,但烷烃类物质一般无气味,对枣香气的形成贡献不大。另外,2-正戊基呋喃、2-乙酰基呋喃、2-乙酰基吡咯呈焦糖味、甜味及坚果味。呋喃、吡咯类物质为Maillard反应的终产物,是赋予焙烤类物质焦香味的重要成分。

2.2 大枣中典型挥发性物质随烘干温度的变化

已鉴定出的99种挥发性成分中,有16种是在烘干过程中变化比较典型的挥发性物质,分别为糠醛、5-甲基呋喃醛、5-羟甲基糠醛、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮、糠醇、2-乙酰基呋喃、3,5-二氢-2-甲基-4H-吡喃-4-酮、4-环戊烯-1,3-二酮、醋酸、2-甲基丁酸、正己酸、正庚酸、羊脂酸、苯甲酸、正癸酸、月桂酸。其中糠醛、5-甲基呋喃醛、5-羟甲基糠醛、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮、糠醇、2-乙酰基呋喃、3,5-二氢-2-甲基-4H-吡喃-4-酮、4-环戊烯-1,3-二酮相对含量随烘干温度的升高呈上升趋势;醋酸、2-甲基丁酸、正己酸、正庚酸、羊脂酸、苯甲酸、正癸酸、月桂酸相对含量随烘干温度的升高呈下降趋势。呈上升趋势的物质大多是在高温烘干条件下的副产物,如醛类、呋喃、吡喃类物质等,这些物质多为芳香性物质,是构成高温烘干大枣风味的主要成分。呈下降趋势的物质大多为酸类物质,这一类物质天然存在于大枣中,由于其易挥发的性质,在高温烘干过程中不断下降,部分物质最终相对含量极低,酸类物质也是构成大枣香气成分的一类主要物质,但其相对含量较高时刺激性较强,有些酸类物质在低浓度时可以呈现令人愉快的芳香性果香气味。

2.3 不同烘干温度条件下大枣理化指标的变化

2.3.1 高温烘干对总糖、还原糖及氨基酸含量的影响

表3 不同烘干温度条件下总糖及还原糖含量的变化
Table 3 Changes in total sugar and reducing sugar contents of dried jujube at different temperatures

指标	未处理	80℃烘干	100℃烘干	120℃烘干	140℃烘干	160℃烘干
还原糖	66.41±0.45 ^a	61.00±0.54 ^b	59.37±0.63 ^c	58.06±0.06 ^d	57.13±0.52 ^e	45.52±0.15 ^f
总糖	76.40±0.34 ^a	76.02±0.81 ^a	74.22±1.29 ^b	73.61±0.55 ^b	71.74±0.18 ^c	63.19±0.96 ^d

注:同行不同肩标小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

糖是大枣中重要的营养成分之一,也是评价大枣品质的重要指标,高温烘干虽然可以增加大枣的香气成分,但对糖类物质的影响也不容忽略。由表3可以看出,还原糖及总糖含量均随烘干温度的升高而降低,未处理,80、

100、120、140、160 ℃烘干的大枣还原糖含量差异显著，未处理的大枣与80 ℃烘干的大枣总糖含量差异不显著，100 ℃与120 ℃烘干的大枣总糖含量差异不显著。

表 4 不同烘干温度条件下氨基酸含量的变化
Table 4 Changes in amino acid contents of dried jujube at different temperatures

氨基酸	未处理	80 ℃烘干	100 ℃烘干	120 ℃烘干	140 ℃烘干	160 ℃烘干
天冬氨酸	0.599 0±0.015 8 ^a	0.628 9±0.076 5 ^a	0.603 4±0.057 0 ^a	0.637 8±0.025 0 ^a	0.325 2±0.007 4 ^b	0.247 4±0.009 9 ^b
谷氨酸	0.264 9±0.000 8 ^a	0.261 2±0.002 0 ^a	0.261 1±0.006 2 ^a	0.268 1±0.006 6 ^a	0.230 3±0.010 0 ^a	0.217 2±0.018 0 ^b
组氨酸	0.020 0±0.00 1 ^a	0.020 4±0.000 6 ^a	0.020 7±0.000 7 ^a	0.020 6±0.000 1 ^a	0.013 0±0.000 6 ^b	0.015 1±0.000 8 ^b
丝氨酸	0.120 9±0.001 1 ^a	0.111 4±0.001 6 ^b	0.115 3±0.000 5 ^a	0.114 9±0.000 2 ^b	0.099 9±0.001 8 ^b	0.091 2±0.003 9 ^d
精氨酸	0.014 9±0.001 2 ^a	0.016 7±0.002 0 ^a	0.013 2±0.000 8 ^a	0.009 8±0.001 1 ^a	0.011 3±0.001 6 ^a	0.013 2±0.000 8 ^a
甘氨酸	0.110 9±0.000 2 ^a	0.116 2±0.000 9 ^a	0.116 2±0.000 4 ^a	0.112 0±0.005 2 ^a	0.107 2±0.003 7 ^b	0.101 8±0.002 1 ^b
苏氨酸	0.100 9±0.000 4 ^a	0.102 5±0.002 0 ^a	0.102 2±0.011 0 ^a	0.103 3±0.001 6 ^a	0.087 6±0.001 6 ^b	0.088 5±0.000 2 ^c
牛磺酸	0	0	0	0	0	0
脯氨酸	0.842 6±0.052 6 ^a	0.675 9±0.002 0 ^b	0.668 9±0.006 4 ^b	0.646 7±0.002 0 ^b	0.400 6±0.002 2 ^c	0.126 3±0.001 2 ^d
丙氨酸	0.097 0±0.004 1 ^a	0.099 7±0.001 5 ^a	0.103 5±0.007 4 ^a	0.097 4±0.002 7 ^a	0.093 7±0.002 4 ^a	0.084 2±0.001 1 ^b
缬氨酸	0.074 8±0.003 9 ^a	0.078 0±0.002 3 ^a	0.078 4±0.000 1 ^a	0.075 9±0.000 3 ^a	0.078 1±0.000 8 ^a	0.077 0±0.000 1 ^a
甲硫氨酸	0.173 5±0.001 0 ^a	0.172 4±0.000 8 ^a	0.167 2±0.000 5 ^a	0.164 8±0.001 1 ^a	0.156 5±0.001 2 ^a	0.143 0±0.000 3 ^a
胱氨酸	0	0	0	0	0	0
异亮氨酸	0.029 7±0.000 2 ^a	0.029 3±0.001 1 ^a	0.023 9±0.002 5 ^a	0.013 8±0.000 7 ^b	0.015 0±0.003 9 ^b	0.017 0±0.003 5 ^b
亮氨酸	0.077 9±0.002 1 ^a	0.076 1±0.000 1 ^a	0.075 6±0.000 1 ^a	0.075 7±0.001 3 ^a	0.073 5±0.000 6 ^a	0.056 4±0.001 7 ^b
色氨酸	0.272 1±0.002 8 ^a	0.269 1±0.002 5 ^a	0.273 3±0.003 1 ^a	0.270 0±0.000 7 ^a	0.267 8±0.004 9 ^a	0.270 9±0.003 5 ^a
苯丙氨酸	0.061 3±0.004 5 ^a	0.059 2±0.002 1 ^a	0.065 6±0.002 1 ^a	0.065 0±0.002 5 ^a	0.063 0±0.001 0 ^a	0.057 6±0.001 8 ^a
赖氨酸	0.073 2±0.001 5 ^a	0.074 6±0.001 7 ^a	0.070 7±0.000 6 ^a	0.040 6±0.000 7 ^b	0.025 6±0.001 8 ^c	0.023 3±0.003 1 ^c
酪氨酸	0.233 8±0.002 4 ^a	0.230 2±0.001 3 ^a	0.176 6±0.001 5 ^a	0.179 4±0.000 6 ^a	0.182 4±0.005 0 ^a	0.152 2±0.001 5 ^b
总量	3.163 5±0.579 1 ^a	3.016 2±0.070 4 ^a	2.939 4±0.031 8 ^a	2.889 3±0.007 1 ^b	2.220 2±0.022 6 ^c	1.780 9±0.009 1 ^c

由表4可以看出，精氨酸、缬氨酸、色氨酸、苯丙氨酸这4种氨基酸在不同烘干温度条件下含量变化无显著性差异。天冬氨酸、脯氨酸、酪氨酸、谷氨酸这4种氨基酸含量相对较高，且当温度升高至140~160 ℃时，其含量变化存在显著性差异。从氨基酸总量变化来看，随烘干温度的升高，氨基酸总量呈下降趋势。未经高温烘干处理的大枣与高温烘干处理的大枣相比，氨基酸总量存在显著性差异。100、120 ℃烘干处理的大枣之间氨基酸总量无显著性差异，但与140、160 ℃相比存在显著性差异。

大枣中天然存在的香气成分主要是挥发酸，热风烘干处理可使枣香浓郁，这主要是加热促进了香气成分的挥发以及大枣所含的各种营养成分之间在加热等其他条件下也可以合成新的香味物质，弥补其本身香味的缺陷。实验研究了烘干大枣中糖类及氨基酸这两类主要物质的含量随温度的变化。结果显示，大枣中糖含量较高，且含有种类丰富的氨基酸，其本身这些特征为香气的形成提供了良好的物质基础，所以烘干大枣中糖类及氨基酸含量的变化与其香气的产生密切相关。美拉德反应主要与氨基酸和糖的种类、温度、水分、pH值等相关，食物中氨基酸及糖种类越丰富，所形成的风味也就越丰富^[29]。研究发现，大枣在烘干过程中，还原糖、总糖及氨基酸总量随烘干温度的升高而降低，这一变化与

大枣烘干过程中典型香气成分形成密切相关。风味物质形成的同时，高温烘干处理也会造成大枣营养成分的损失。由表3可以看出，温度超过140 ℃后，总糖及还原糖含量急剧下降，由表4可以看出，温度超过120 ℃后，含量较高的天冬氨酸与脯氨酸含量急剧下降，氨基酸总量也在120 ℃后急剧下降。以上结果说明高温烘干处理可使枣香浓郁，但过高温度会造成大枣营养价值的急剧下降。

2.3.2 高温烘干对大枣色泽的影响

表 5 不同烘干温度条件下大枣色泽的变化
Table 5 Changes in color parameters of dried jujube at different temperatures

烘干条件	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
未处理	67.23	11.51	17.54
80 ℃	65.15	11.46	19.75
100 ℃	64.67	11.29	20.49
120 ℃	63.80	11.45	21.24
140 ℃	62.30	13.10	22.15
160 ℃	55.18	13.41	23.59

大枣在高温烘干条件下容易发生非酶褐变反应，这类反应不仅能够产生独特的香气成分，对食品色泽也会产生影响。本研究对不同烘干温度条件下大枣枣粉的色泽进行分析旨在从色泽参数方面对烘干温度进行控制，防止温度过高产生焦糊。如表5所示，*L**值随烘干温度升高逐渐降低，说明枣粉在烘干过程中颜色逐渐偏暗，黑色程度逐渐升高，这主要是由Maillard反应引起的^[30]。当烘干温度由140 ℃升至160 ℃时，*L**值迅速下降，说明该温度条件下Maillard反应剧烈，容易发生焦糊，应控制烘干温度不超过140 ℃。*a**值和*b**值随温度升高呈逐渐增加趋势，说明枣粉随烘干温度的升高，黄色和红色程度加深，*a**值在温度超过120 ℃以后升高迅速，该温度条件也应严格控制，以免发生焦糊。

3 结 论

本实验采用GC-MS-O法对烘干大枣中挥发性成分的组成及变化进行了鉴定与分析，共检测到99种化合物，其中61种经嗅觉测量法鉴定为风味活性成分，将烘干过程中大枣香气成分的变化与糖含量，氨基酸含量的变化结合分析，鉴定出8种主要的挥发性成分是在高温烘干中产生的，分别为：糠醛、5-甲基呋喃醛、5-羟甲基糠醛、2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4*H*-吡喃-4-酮、糠醇、2-乙酰基呋喃、3,5-二氢-2-甲基-4*H*-吡喃-4-酮、4-环戊烯-1,3-二酮。这些物质大多为美拉德反应的产物，并且大多呈焦香味或香甜味，是烘干大枣的主要香气物质。除此之外，一些大枣本身含有的酸类挥发性成分如醋酸、2-甲基丁酸、正己酸、正庚酸、羊脂酸、苯甲酸、正癸酸、

月桂酸随高温烘干过程逐渐降低,这一过程改善了天然大枣挥发性成分中的一些不愉快的刺激性酸味,有利于大枣香气的形成。大枣在烘干过程中不仅香气成分发生变化,由于美拉德反应产物类黑精的产生,其色泽也会发生褐变,对大枣色泽的分析显示,在本实验条件下,超过140℃褐变反应剧烈,容易焦糊,不利于大枣香气的形成。上述结果对于研究大枣香气的形成途径,香气的优化,富集和强化及焦香风味大枣香精的研发提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 刘孟军. 枣属植物分类学研究进展: 文献综述[J]. 园艺学报, 1999, 26(5): 302-308. DOI:10.3321/j.issn:0513-353X.1999.05.005.
- [2] 刘孟军, 王玖瑞, 刘平, 等. 中国枣生产与科研成就及前沿进展[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1683-1698. DOI:10.16420/j.issn.0513-353X.2015-0538.
- [3] 卢愿. 枣香气成分提取与含量研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.
- [4] 王颢, 张子德, 张占忠, 等. 枣挥发油的提取及其化学成分的气相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 1998, 19(2): 38-40.
- [5] 秦召, 吴月娇, 谷令彪, 等. 大枣香气成分研究进展[J]. 香料香精化妆品, 2015(5): 63-67. DOI:10.3969/j.issn.1000-4475.2015.05.015.
- [6] ELLIS S E. Measuring and controlling paper package odors[J]. Radtech Report, 1999: 55-59.
- [7] FULLER G H, STELLENCAMP R, TISSERAND G A. The gas chromatograph with human sensor: perfume model[J]. Academy of Sciences, 1964, 116: 711-724. DOI:10.1111/j.1749-6632.1964.tb45106.x.
- [8] NIEBLER J, BUET A. Pyrolysis-GC-MS-olfactometry: a new approach to identify thermally generated odorants in frankincense[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2015, 113: 690-700. DOI:10.1016/j.jaap.2015.04.018.
- [9] 夏玲君, 宋焕禄. 香味检测技术——GC/O的应用[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(1): 83-87. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2006.01.020.
- [10] 张青, 王锡昌, 刘源. GC-O法在食品风味分析中的应用[J]. 食品科学, 2009, 30(3): 284-287. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.03.064.
- [11] 李焕荣, 徐晓伟, 许淼. 干制方式对红枣部分营养成分和香气成分的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 330-333. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2008.10.075.
- [12] WOJDY P A, FIGIEL A, LEGUA P, et al. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method[J]. Food Chemistry, 2016, 207: 170-179. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.03.099.
- [13] 王淑贞, 赵峰, 孙家正, 等. CO₂超临界萃取法提取不同成熟度鲁北冬枣香气组分[J]. 山东农业科学, 2011(7): 54-58. DOI:10.3969/j.issn.1001-4942.2011.07.017.
- [14] 穆启运, 陈锦屏. 红枣挥发性物质在烘干过程中的变化研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 99-101. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2001.04.023.
- [15] 闫忠心. 干制对红枣香气物质和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [16] 谢笔钧. 食品分析[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [17] 尤晓蒙. 饲料中氨基酸的HPLC检测方法研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [18] 鲁周民, 闫忠心, 刘坤, 等. 不同温度对干制红枣香气成分的影响[J]. 深圳大学学报(理工版), 2010, 27(4): 490-496. DOI:10.3969/j.issn.1000-2618.2010.04.020.
- [19] PUNTER P H. Measurement of human olfactory thresholds for several groups of structurally related compounds[J]. Chemical Senses, 1983, 7(3/4): 215-235. DOI:10.1093/chemse/7.3-4.215.
- [20] 朱晓兰, 时亮, 刘百战, 等. 利用GC和GC/MS分析枣子酮挥发性化学成分[J]. 分析仪器, 2000(4): 41-43. DOI:10.3969/j.issn.1001-232X.2000.04.012.
- [21] 崔璨, 高哲, 李喜悦, 等. 枣烘焙挥发性组分的GC-MS鉴定和主成分分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 65-69. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.12.005.
- [22] 黄梅丽, 王俊卿. 食品色香味化学[M]. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
- [23] 冯大炎, 周运友. Maillard反应与Strecker降解及其对食品风味与食品营养的影响[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 1993(2): 79-84. DOI:10.14182/j.cnki.1001-2443.1993.02.018.
- [24] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002.
- [25] 穆启运, 陈锦屏, 张保善. 红枣挥发性芳香物的气相色谱-质谱分析[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 251-255.
- [26] 赵峰, 张雪丹, 祝恩元, 等. 金丝4号枣成熟过程中香气成分的变化及分析[J]. 山东农业科学, 2010(6): 29-34. DOI:10.3969/j.issn.1001-4942.2010.06.008.
- [27] 邓红, 王玉珠, 史乐伟, 等. 清涧红枣香气成分的分析鉴定[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(24): 201-205. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2013.24.054.
- [28] 毕金峰, 于静静, 丁媛媛, 等. 固相微萃取GC-MS法测定不同干燥方式下枣产品的芳香成分[J]. 现代食品科技, 2011, 27(3): 354-360. DOI:10.3969/j.issn.1673-9078.2011.03.029.
- [29] 吴惠玲, 王志强, 韩春, 等. 影响美拉德反应的几种因素研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(5): 441-444. DOI:10.3969/j.issn.1673-9078.2010.05.003.
- [30] 董志俭, 李世伟, 李冬梅, 等. 热反应虾味香精制备过程中的色泽变化及抑菌性研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 58-60. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.03.033.