

柑橘花不同部位香气成分的测定及主成分分析

Determination and principal component analysis of volatile compounds in different parts of *Citrus reticulata* Blanco. flowers

李福香¹ 明建^{1,2} 敖森¹ 李富华^{1,2} 曾凯芳^{1,2}

LI Fu-xiang¹ MING Jian^{1,2} AO Miao¹ LI Fu-hua^{1,2} ZENG Kai-fang^{1,2}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学食品贮藏与物流研究中心, 重庆 400715)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Research Center of Food Storage & Logistics, Southwest University, Chongqing 400715, China)

摘要:应用顶空—固相微萃取—气相色谱—质谱联用法(headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)分离鉴定柑橘花4个部位(花瓣、花托、雌蕊、雄蕊)的香气成分,运用主成分分析法(PCA)评价柑橘花的主要香气成分及各部位香气成分差异程度。结果表明,烃类和醇类是柑橘花的主要香气类物质;花瓣、花托、雌蕊挥发性香气成分以芳樟醇、桉烯、柠檬烯、 β -月桂烯、 α -罗勒烯为主,而雄蕊以芳樟醇、桉烯、橙花叔醇、 β -月桂烯为主;主成分分析表明,柑橘花4个部位香气成分差异程度较大,桉烯、柠檬烯、 α -侧柏烯、 β -月桂烯、顺- β -金合欢烯为主的烯烃类是导致花托与雄蕊香气成分差异较大的物质,香茅醛、反式-柠檬醛、4-萜烯醇、 α -松油醇为主的醛醇类是导致花瓣与雌蕊香气成分差异较大的物质。

关键词:柑橘花;顶空—固相微萃取;气相色谱—质谱联用;香气成分;主成分分析

Abstract: The volatile compounds in four parts of the citrus flowers (petals, torus, pistils, stamens) were analyzed by headspace-solid-phase microextraction (HS-SPME) combined with GC-MS, the main aroma substances and aroma differences parts of citrus flowers were evaluated by principal component analysis (PCA). Studies showed that hydrocarbons and alcohols were the main aromas of citrus flowers. Linalool, terpene, nerolidol, β -myrcene and α -ocimene were mainly in petals, torus and pistils, while linalool, terpene, nerolidol and β -myrcene were the main components of stamens. The principal component analysis showed large differences of aroma compounds in the four parts of citrus blossoms. The hydrocarbons such as terpene,

limonen, α -thujene, β -myrcene and *cis*- β -farnesene were the main substances that caused the differences between aromatic components of torus and stamens. The Hydrocarbons and alcohols such as citronellal, *trans*-citral, 4-terpinenol and α -terpineol were the main substances that caused the differences between aromatic components of petals and pistils.

Keywords: *Citrus reticulata* flowers; headspace-solidphase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry; aroma components; principal component analysis

食用花卉营养丰富,富含蛋白质、氨基酸、脂肪、维生素及微量元素,具有清热解毒、增强免疫力、美容养颜等多种生理功能^[1-2]。据不完全统计,中国可食用的花卉约97个科,100多个属,180多种^[3-4]。柑橘花作为一种传统食用花卉,其香味轻淡、纤巧、清新,具有催眠、安抚调节情绪作用,越来越受到人们的青睐。柑橘花中有70%~80%为雄蕊退化的不育花和畸形花,作为药用,具有顺气提神、缓解疲劳之功效^[5-6]。袁果等^[7]采用水蒸气蒸馏与气质联用技术分析了脐橙花精油的化学成分,然而关于柑橘花天然花香成分尚未见报道。明确柑橘花天然花香成分,是开发柑橘花香精、香水等产品的前提。顶空—固相微萃取是一种简便、快速、破坏程度小的挥发性成分提取技术^[8],已广泛用于白兰花^[9]、茉莉花^[10-11]、雪菊^[12]、腊梅^[13]等鲜花的香气成分提取。

本研究拟选取柑橘品种北碚447号锦橙花为原料,采用顶空—固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术,分析柑橘花不同部位(花瓣、花托、雄蕊、雌蕊)的香气成分。旨在全面分析柑橘花的香气成分,为柑橘花香模拟及产品开发应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

柑橘花样品:北碚447号锦橙花,2017年4月10日采摘

基金项目:重庆市社会事业与民生保障科技创新专项项目(编号: cstc2016shms-ztx80005, cstc2017shms-xdny80058)

作者简介:李福香,女,西南大学在读硕士研究生。

通信作者:明建(1972—),男,西南大学教授,博士。

E-mail: mingjian1972@163.com

收稿日期:2018-05-07

于重庆市北碚区歇马镇缙云山柑橘园。

1.2 仪器与设备

气相色谱-质谱联用仪:GC-MS 2010 型,配有电子电离源及 GC-MS solution 2.50 工作站,日本岛津公司;

固相微萃取装置:Supelco 57330-U 型,配有 50/30 μm DVB/CAR/PDMS,长度 2 cm 的萃取头,美国 Supelco 公司。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理 集北碚锦橙 447 未完全开放的花蕾,将柑橘花样品花瓣、花托、雌蕊、雄蕊分离并单独分装,立即检测。

1.3.2 顶空-固相微萃取 取 1 g 样品,置于 25 mL 顶空-固相微萃取专用样品瓶中,于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷却 30 min,加入 3 mL 纯水,于高速分散器中均质 3 min,加入 1.08 g NaCl 固体(使溶液形成 NaCl 饱和溶液),用聚四氟乙烯隔垫密封,在 40 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡 15 min。将萃取头通过聚四氟乙烯隔垫插入样品瓶中,顶空吸附 50 min。缩回纤维头后从样品瓶中拔出萃取头,将萃取头插入 GC-MS 进样口,250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 5 min,同时启动仪器采集数据。

1.3.3 GC-MS 分析

(1) 色谱条件:DB-5MS 石英毛细色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm,0.25 μm);柱箱温度 40 $^{\circ}\text{C}$;进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;升温程序为初始柱温 40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3 min,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 70 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 160 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min,以 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 220 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3 min;进样方式为不分流;载气为高纯 He (99.999%);流速 0.8 mL/min。

(2) 质谱条件:电子电离源;检测器电压 830 eV;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;数据采集方式 Scan;扫描速率 769 u/s;扫描范围 m/z 40~400。

1.3.4 挥发性成分的定性定量分析

(1) 定性分析:根据检测结果,在软件所配置的 NIST05 和 NIST05s 谱库中自动检索,并结合试验测定保留指数及相关文献共同确定,本研究只分析匹配度 $>75\%$ 的组分。

(2) 定量分析:采用面积归一化法进行相对含量的确定。

1.4 数据分析

采用 SPSS 20.0 对柑橘花香气成分进行主成分分析(principal component analysis, PCA),以相对百分含量为响应变量对柑橘花香气成分进行 PCA 分析,其中变量为 4(部位) $\times$ 26(香气成分)。通过 PCA 降维所得载荷图和不同部位的样品得分图,分析柑橘花主要香气成分及不同部位香气成分的差异。

2 结果与分析

2.1 柑橘花的香气成分分析

图 1 为顶空-固相微萃取-气质联用技术对柑橘花香气成分进行提取和分析的 GC-MS 色谱图。采用峰面积归一化法对各组分进行定性定量分析,结果见表 1。由表 1 可知,从柑橘花的花瓣、花托、雌蕊、雄蕊的香气成分中共检测出 26

种化合物,包括 14 种烃类、5 种醛类、6 种醇类、1 种芳香族类。其中,花瓣香气的主要成分为芳樟醇(25.01%)、桉烯(21.64%)、柠檬烯(11.61%),其次为 β -月桂烯、 α -罗勒烯、吡嗪、 α -松油醇、顺- β -金合欢烯等;花托香气的主要成分为桉烯(33.99%)、芳樟醇(14.15%)、柠檬烯(11.64%),其次为 α -罗勒烯、 β -月桂烯、顺- β -金合欢烯、 α -侧柏烯、 β -蒎烯等;雌蕊香气的主要成分为柠檬烯(32.33%)、桉烯(26.62%)、芳樟醇(15.12%),其次为 α -罗勒烯(7.1%)、 β -月桂烯(4.23%)等;雄蕊香气的主要成分为芳樟醇(55.79%),其次为吡嗪、反式-2-己烯醛、桉烯、橙花叔醇、己醛、 β -月桂烯、1-己醇等。由此可知,花瓣、花托、雌蕊以较高的芳樟醇、桉烯、柠檬烯、 β -月桂烯、 α -罗勒烯为主,而雄蕊除了较高含量的芳樟醇外,主要以桉烯、橙花叔醇、 β -月桂烯为主。

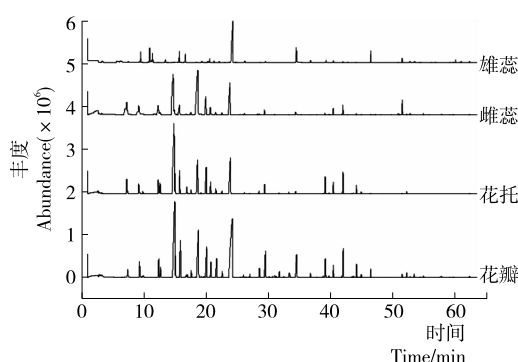


图 1 柑橘香气成分的 GC-MS 色谱图

Figure 1 GC-MS chromatogram of aroma compounds in flowers of *Citrus reticulata* Blanco

2.2 柑橘花香气成分统计分析

由图 2 可知,柑橘花的香气成分以烃类和醇类物质为主。其中,烃类是花瓣、花托和雌蕊香气成分中含量最高、种类最多的物质,分别占总香气成分的 57.40%, 78.46%, 77.22%, 而雄蕊香气成分中含量最高的物质是醇类(64.44%)。

结合表 1 可知,烃类化合物含量、种类丰富,是构成柑橘花香气成分的主要物质。含量较高的桉烯、 α -罗勒烯使柑橘花具有新鲜柑橘的香气^[13-14],柠檬烯具有柠檬香^[15],这些物质可能代表了柑橘花香气的头香成分,主要存在于花瓣和花托中。醇类化合物具有温和的调和性,大多具有清新、淡甜的气味且兼具扩散性好等特点。柑橘花中含量较高的芳樟醇,兼具玫瑰木的木青香气和铃兰、紫丁香的花香,香气轻扬柔和,但留香能力较差^[16],其主要存在于雄蕊中。这些香韵多的醇类物质间相互协调,使得柑橘花香气浓郁、清新甜美,令人愉快。另外,根据检测结果,赋予柑橘花清甜持久感觉的香茅醛主要存在于花瓣中^[13,28]。检测到的芳香族类化合物吡嗪,主要存在于花瓣和雄蕊中,其留香能力强的浊香,可能是柑橘花后段香气的主要物质。

2.3 柑橘花香气成分主成分分析

图 3、4 分别为柑橘花香气成分的载荷图和不同部位样品的得分图。由图 3 可知,提取的前 2 个主成分可以解释

表 1 柑橘花挥发性成分的鉴定结果

Table 1 Identified volatile compounds in flowers of *Citrus reticulata* Blanco

香气成分	保留指数			相对含量/%		
	实测值	参考值	花瓣	花托	雌蕊	雄蕊
己醛	805	806 ^[14]	1.08	1.97	1.04	4.55
2-己烯醛	848	847 ^[15]	—	1.13	1.15	—
反式-2-己烯醛	852	855 ^[16]	2.15	—	0.87	7.53
顺式-2-己烯-1-醇	861	862 ^[17]	—	—	—	0.46
1-己醇	864	865 ^[18]	—	0.30	—	3.14
α -侧柏烯	920	925 ^[16]	2.21	3.44	1.17	0.81
α -蒎烯	925	929 ^[19]	1.00	2.08	—	—
桉烯	966	970 ^[20]	21.64	33.99	26.62	5.18
β -蒎烯	968	971 ^[19]	1.66	3.01	1.11	—
β -月桂烯	982	987 ^[19]	4.89	4.56	4.23	4.01
α -松油烯	1 011	1 013 ^[19]	0.77	0.84	—	—
柠檬烯	1 026	1 026 ^[16]	11.61	11.64	32.33	—
α -罗勒烯	1 044	1 046 ^[21]	4.44	6.56	7.10	1.73
γ -松油烯	1 053	1 054 ^[16]	1.63	2.16	1.70	—
异松油烯	1 078	1 079 ^[21]	0.50	0.45	—	—
芳樟醇	1 100	1 102 ^[19]	25.01	14.15	15.12	55.79
香茅醛	1 146	1 148 ^[16]	0.22	—	—	—
4-萜烯醇	1 172	1 178 ^[16]	0.80	0.40	—	—
α -松油醇	1 188	1 188 ^[22]	3.69	1.56	0.96	—
反式柠檬醛	1 260	1 267 ^[23]	0.63	—	—	—
吲哚	1 281	1 289 ^[17]	3.83	—	—	9.45
β -榄香烯	1 377	1 375 ^[24]	1.80	2.85	—	—
β -石竹烯	1 405	1 405 ^[25]	1.05	1.94	1.18	—
顺- β -金合欢烯	1 441	1 438 ^[25]	3.03	3.70	1.78	—
α -金合欢烯	1 491	1 501 ^[26]	1.17	1.24	—	—
橙花叔醇	1 546	1 555 ^[27]	0.65	—	—	5.05
总量			95.46	97.97	96.36	97.70

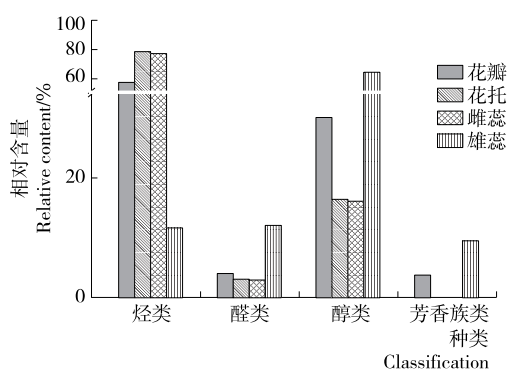


图 2 柑橘花香气类物质比较

Figure 2 Comparison of aroma compounds in flowers of *Citrus reticulata* Blanco

88.77%的总变异,其中第1主成分可以解释65.20%的总变异。 γ -松油烯、 β -蒎烯、 β -石竹烯、桉烯、顺- β -金合欢烯、 α -侧柏烯、 β -月桂烯、 α -松油烯、 α -金合欢烯与主成分1有很大的正相关,反式-2-己烯醛、橙花叔醇、芳樟醇、1-己醇、顺-2-己

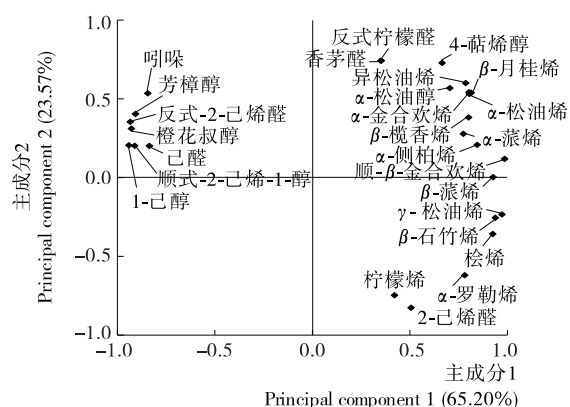


图 3 柑橘花香气成分的载荷图

Figure 3 Loading plots of aroma compounds in flowers of *Citrus reticulata* Blanco

烯-1-醇、己醛、吡啶与主成分 1 有很大负相关;结合图 4 知,花托与主成分 1 有很高的正相关,雄蕊与主成分 1 有很大负相关,可以反映出柑橘花花托与雄蕊 2 个部位香气差异程度

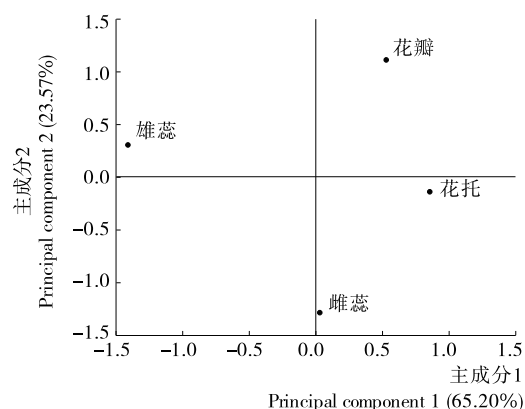


图4 柑橘花不同部位样品香气成分得分图

Figure 4 PC scores plots of aroma compounds in different parts of flowers of *Citrus reticulata* Blanco

较大。这表明桉烯、柠檬烯、 α -侧柏烯、 β -月桂烯、顺- β -金合欢烯为主的烯烃类是导致花托与雄蕊香气成分差异较大的物质。香茅醛、反式-柠檬醛、4-萜烯醇、 α -松油醇、异松油烯、 β -月桂烯、 α -松油烯、 α -金合欢烯与主成分2有很大正相关,2-己烯醛、柠檬烯、 α -罗勒烯与主成分2有很大负相关;结合图4,花瓣与主成分2有很大正相关,雌蕊与主成分2有很大负相关,表明柑橘花花瓣与雌蕊2个部位香气差异程度较大。这表明香茅醛、反式-柠檬醛、4-萜烯醇、 α -松油醇为主的醛醇类是导致花瓣与雌蕊香气成分差异较大的物质。

3 结论

通过 SPME-GC-MS 技术对柑橘花 4 个部位(花瓣、花托、雄蕊、雌蕊)的香气成分进行分析,共鉴定出 26 种成分,主要由烃类和醇类物质组成,使柑橘花呈现独特的香气。其中烃类以桉烯、柠檬烯为主,是花瓣、花托、雌蕊中的主要香气成分;而醇类以芳樟醇为主,是雄蕊的主要香气成分。主成分分析表明,柑橘花 4 个部位香气成分差异程度较大,其中,桉烯、柠檬烯、 α -侧柏烯、 β -月桂烯、顺- β -金合欢烯为主的烯烃类是导致花托与雄蕊香气成分差异较大的物质,香茅醛、反式-柠檬醛、4-萜烯醇、 α -松油醇为主的醛醇类是导致花瓣与雌蕊香气成分差异较大的物质。但关于柑橘花香气物质中的特征呈香物质和活性香气物质还有待进一步研究。

参考文献

- [1] MLCEK J, ROP O. Fresh edible flowers of ornamental plants: A new source of nutraceutical foods[J]. Trends in Food Science and Technology, 2011, 22(10): 561-569.
- [2] CHEN Nai-hua, WEI S. Factors influencing consumers' attitudes towards the consumption of edible flowers[J]. Food Quality and Preference, 2017, 56: 93-100.
- [3] 冯玉珠. 食用花卉的应用途径[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(21): 6 431-6 491.
- [4] 曹明菊, 郑晓燕. 我国食用花卉的研究现状及发展前景[J]. 南方农业, 2007(4): 56-58.
- [5] 江苏新医学院. 中药大辞典: 下册[M]. 上海: 上海人民出版社, 1977: 2 561-2 565.
- [6] HELLER S R, MILNE G W A. EPA/NIH mass spectral database: V 1-4[M]. Washington: US Government Printing Office, 1978: 186-273.
- [7] 袁果, 吴静斌, 袁家谟, 等. 华盛顿脐橙花精油化学成分研究[J]. 贵州农业科学, 1996(6): 23-24.
- [8] 谢建春, 孙宝国, 刘玉平, 等. 固相微萃取在食品香味分析中的应用[J]. 食品科学, 2003, 24(8): 229-233.
- [9] 刘扬岷, 王利平, 袁身淑, 等. 固相微萃取气质联用分析白兰花的香气成分[J]. 无锡轻工大学学报, 2001, 20(4): 427-429.
- [10] 李丽华, 郑玲, 刘晓松. 固相微萃取气质联用分析茉莉花的香气成分[J]. 化学分析计量, 2006, 15(2): 37-39.
- [11] 陈青, 姚蓉君, 张前军. 固相微萃取气质联用分析野茉莉花的香气成分[J]. 精细化工, 2007, 24(2): 159-161.
- [12] 沈维治, 邹宇晓, 刘凡, 等. 顶空固相微萃取气质联用分析比较雪菊与市售菊花的挥发性成分[J]. 热带作物学报, 2013, 34(4): 771-776.
- [13] 蔡宝国, 蒋晓薇, 陈宇. 鄱陵腊梅香气成分的固相微萃取-气质联用分析[J]. 上海应用技术学院学报, 2016, 16(3): 257-261.
- [14] YU E J, KIM T H, KIM K H, et al. Aroma-active compounds of *Pinus densiflora* (red pine) needles[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2004, 19(6): 532-537.
- [15] SU Yue, WANG Cheng-zhong, GUO Yin-long. Analysis of volatile compounds from *Mentha hapioealyx* Briq by GC-MS based on accurate mass measurement and retention index[J]. Acta Chimica Sinica, 2009, 67(6): 546-554.
- [16] ZHENG Cheng-hao, KIM K H, KIM T H, et al. Analysis and characterization of aroma-active compounds of *Schizandra chinensis* (omija) leaves[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85: 161-166.
- [17] ZHU M, LI E, HE H. Determination of volatile chemical constituents in tea by simultaneous distillation extraction, vacuum-hydrodistillation and thermal desorption[J]. Chromatographia, 2008, 68: 603-610.
- [18] MAIA J G S, ANDRADE E H A, ZOGHBI M G B. Volatile constituents of the leaves, fruits and flowers of cashew (*Anacardium occidentale* L.)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2000, 13(3): 227-232.
- [19] KIM T H, LEE S M, KIM Y S, et al. Aroma dilution method using GC injector split ratio for volatile compounds extracted by headspace solid phase microextraction [J]. Food Chemistry, 2003, 83: 151-158.
- [20] BARRA A, CORONEO V, DESSI S, et al. Characterization of the volatile constituents in the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from different origins and its antifungal and antioxidant activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(17): 7 093-7 098.
- [21] CONGIU R, FALCONIERI D, MARONGIU B, et al. Extraction and isolation of *Pistacia lentiscus* L. essential oil by supercritical CO₂[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2002, 17(4): 239-244.
- [22] BOULANGER R, CROUZET J. Free and bound flavour components of Amazonian fruits: 3-glycosidically bound components of cupuacu[J]. Food Chemistry, 2000, 70(4): 463-470.

(下转第 85 页)

- 1994(2): 109-114.
- [4] 杨永平, 魏庆朝, 张鲁新, 等. 青藏铁路多年冻土地区热管路基三维数值分析[J]. 中国铁道科学, 2005(2): 20-24.
- [5] 张明安, 蒲传奋, 张岩, 等. 自然冷源在果蔬贮藏保鲜中的应用效果研究[J]. 食品科技, 2010, 35(3): 44-47.
- [6] 张岩, 姜文利, 邵焕霞, 等. 小型热管低温储粮系统的应用试验[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(9): 79-81, 86.
- [7] 马一太, 张国莉. 紧迫的氟利昂大气污染问题及其解决措施[J]. 制冷技术, 1990(2): 17-21.
- [8] 王越, 陈东, 刘振义, 等. 国内分离式热管概况与热环研究的小结及展望[J]. 节能技术, 2000, 18(3): 5-6.
- [9] JWO C, TING C, WANG Wei-ru. Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants[J]. Measurement, 2009, 42(5): 697-701.
- [10] MACLAINE-CROSS I L. Usage and risk of hydrocarbon refrigerants in motor cars for Australia and the United States[J]. International Journal of Refrigeration, 2004, 27(4): 339-345.
- [11] 吴青松, 杨良根. 高新科技全新节能环保空调雪种 HCR-22 碳氢制冷剂的应用分析[J]. 企业技术开发, 2011, 30(6): 11-13.
- [12] 刘金光, 熊旭波, 王世清, 等. 低温热管中无氟制冷剂 HCR-22 的蓄冷效果[J]. 农业工程学报, 2016, 32(19): 268-273.
- [13] 孙国华, 陈国邦. 二级塑料斯特林制冷机的热力设计探讨[J]. 浙江大学学报, 1991, 3(25): 272-283.
- [14] 颜健, 刘妮. 导热塑料管在冷却塔中应用的可行性分析[J]. 制冷与空调, 2008(5): 76-78.
- [15] 田树生, 李建人, 王永冈. 建筑热水塑料管传热系数的探讨[J]. 给水排水, 2008, 31(5): 77-79.
- [16] 陈小平, 陈子煜, 范林, 等. 塑料盘管应用在蓄冰槽上的传热分析[J]. 流体机械, 2004, 32(4): 66-68.
- [17] 张雪东. 塑料管单效溴化锂吸收式制冷机系统设计及传热性能分析[J]. 应用能源技术, 2011(2): 36-39.
- [18] 张雪东. 塑料管单效溴化锂吸收式制冷机理论与实验研究[J]. 制冷, 2009(2): 10-14.
- [19] 吴源, 白成德, 赵海波, 等. 预制保温 PE-RT 管道系统在小区二次热力管网中的使用[J]. 供热制冷, 2016(2): 22-24.
- [20] 修方珑, 张岩, 王世清, 等. 基于热管技术的储粮仓温度特征及其抑虫效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 256-261.
- [21] 李新宇, 熊旭波, 张岩, 等. 热管低温储粮技术对小麦品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 107-111.
- [22] 张红, 杨峻, 庄骏. 热管节能技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 36-125.
- [23] 刘效洲, 惠世恩, 徐通模, 等. 分离式热管换热器的工作原理及其在电厂余热回收中的应用[J]. 热能动力工程, 2001, 16(4): 375-376, 379-380.
- [24] TING Chenching, LEE Jingnang, CHEN Chienchi. Heat transfer characterizations of heat pipe in comparison with copper pipe[J]. Journal of Heat Transfer, 2009, 131(33): 1-6.
- [25] MOHAMMAD Hamdan, EMAD Elnajjar. Loop heat pipe: Simple thermodynamic[J]. International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering, 2010, 2(4): 111-117.
- [26] 朱志昂. 热管自然蓄冷低温储粮探索[J]. 粮食储藏, 2011, 40(1): 51-52.
- [27] 宋庆武, 张岩, 张志伟, 等. 自然冷源贮冷设备的研究开发[J]. 食品科技, 2007(6): 158-161.
- [28] 汤广发, 刘娣, 赵福云, 等. 分离型热管充液率运行边界探讨[J]. 湖南大学学报, 2005, 32(1): 63-68.
- [29] 王一平, 邓林, 朱莉, 等. 铜-R22 分离式热管传热特性的实验研究[J]. 节能技术, 2007(3): 234-236.
- [30] 洪光, 张春辉, 罗晴, 等. 常温小温差下的分离式热管换热器充液率研究[J]. 节能, 2011(1): 24-27, 2.

(上接第 34 页)

- [23] KOBAYASHI K, SANDA K, GUYON C, et al. *In vitro* cytotoxic activity of *Cymbopogon citratus* L. and *Cymbopogon nardus* L. essential oils from Togo[J]. Bangladesh Journal of Pharmacology, 2009, 4: 29-34.
- [24] PAZ LIMA M, SILVA T M D, DA SILVA J D, et al. Essential oil composition of leaf and fine stem of *Aniba canelilla* (Kunth) Mez from Manaus, Brazil[J]. Acta Amazonica, 2004, 34(2): 329-330.
- [25] BAGCI E, BASER K H C. Study of the essential oils of *Thymus haussknechtii* Velen and *Thymus kotschyianus* Boiss. et *Hohen var. kotschyianus* (Lamiaceae) taxa from the eastern Anatolian region in Turkey[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2005, 20(2): 199-202.
- [26] SHIMIZU Y, IMAYOSHI Y, KATO M, et al. Volatiles from leaves of field-grown plants and shoot cultures of *Gynura bicolor* DC[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2009, 24(5): 251-258.
- [27] CHERCHI G, DEIDDA D, DE GIOANNIS B, et al. Extraction of *Santolina insularis* essential oil by supercritical carbon dioxide: influence of some process parameters and biological activity[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2001, 16: 35-43.
- [28] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 84-85.

(上接第 39 页)

- [27] 杨鲜, 祝慧凤, 王涛, 等. 重庆巫山等多地党参氨基酸及营养价值比较分析[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 251-257.
- [28] 彭瑛, 蔡力创. 精氨酸的保健作用及其调控研究进展[J]. 湖南理工学院学报: 自然科学版, 2011, 24(1): 59-62.
- [29] 陈亚军, 齐玉梅. 精氨酸免疫营养作用的研究进展[J]. 中国临床营养杂志, 2007, 15(5): 310-314.
- [30] 王齐, 朱伟伟, 苏丹, 等. 蒲桃中氨基酸组成与含量对其营养与风味的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 204-207.
- [31] 钱爱萍, 林虬, 颜孙安, 等. 乌饭树叶蛋白质中氨基酸含量及营养价值评价[J]. 福建农业学报, 2008, 23(3): 306-309.
- [32] SOLMS J. Taste of amino acids, peptides, and proteins[J]. Agricultural and Food Chemistry, 1969, 17(4): 686-688.
- [33] 鲁敏, 安华明, 赵小红. 无籽刺梨与刺梨果实中氨基酸分析[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 118-121.
- [34] 蒋滢, 徐颖, 朱庚伯. 人类味觉与氨基酸味道[J]. 氨基酸和生物资源, 2002, 24(4): 1-3.