

网络出版时间:2015-03-12 14:17

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2015.04.008

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150312.1417.008.html>

东北扁豆挥发性成分的 HS-SPME/GC-MS 分析

王 艳, 张 越, 陈姗姗, 赵春波, 赵 靖, 宋述尧

(吉林农业大学 园艺学院, 吉林 长春 130118)

【摘 要】 【目的】明确东北地区扁豆挥发性物质的化学组成, 筛选主要风味物质, 为其优质栽培提供参考。【方法】采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱(GC-MS)法, 对东北扁豆果荚热加工前后的挥发性物质组成进行检测与分析。【结果】从未经热加工的东北扁豆青荚中共鉴定出挥发性成分 40 种, 其中醛类 10 种、醇类 6 种、酮类及酯类各 8 种、烃类 3 种、羧酸类及杂环类各 2 种、酚类 1 种; 40 种挥发性成分主要为 1-壬醇(相对含量为 27.46%)、青叶醛(21.75%)、己醛(8.04%)、2,5,5-三甲基-2-环己烯酮(4.89%)、反-2-壬烯醛(4.14%)等。从热加工后的东北扁豆熟荚中共鉴定出挥发性成分 25 种, 其中醛类及酮类各 4 种、醇类和烃类各 5 种、酯类 6 种、杂环类 1 种; 25 种挥发性成分主要为 1-辛烯-3-醇(29.90%)、2,5,5-三甲基-2-环己烯酮(13.59%)、叶绿醇(10.94%)、9-二十炔(7.22%)及茶香螺烷(6.04%)等。东北扁豆经热加工后, 其挥发性成分消失 25 种、新增 10 种, 同时 14 种化合物相对含量增加, 1 种化合物相对含量降低。1-壬醇、青叶醛及己醛是东北扁豆青荚的主要挥发性风味物质, 其与反-2-, 顺-6-壬二烯醛、反-2-壬烯醛、反-2, 顺-6-壬二烯醇、己酸己酯、2,3-辛二酮、丁香酚、(反, 反)-2,4-庚二烯醛、肉豆蔻醛及 2-正戊基呋喃等物质共同作用形成扁豆青豆荚的特殊气味。1-辛烯-3-醇是东北扁豆熟荚主要风味物质, 其与茶香螺烷、风信子醛、壬醛、二氢猕猴桃内酯、石竹烯、癸醛、 β -环柠檬醛及香叶基丙酮等共同作用形成扁豆熟荚的特异香气。【结论】东北扁豆的主要风味物质为 1-辛烯-3-醇, 热加工后扁豆豆荚挥发性成分的化学组成发生明显变化。

【关键词】 扁豆; 挥发性物质; 顶空固相微萃取(HS-SPME); 气相色谱-质谱法(GC-MS)

【中图分类号】 S643.5

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)04-0079-06

Analysis of volatile components of lablab (*Dolichos lablab* L.) from Northeast China using HS-SPME/GC-MS

WANG Yan, ZHANG Yue, CHEN Shan-shan,
ZHAO Chun-bo, ZHAO Jing, SONG Shu-yao

(College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: 【Objective】 The aim of this investigation was to analyze volatile components of lablab (*Dolichos lablab* L.) from Northeast China to provide theoretical information for lablab cultivation. 【Method】 Combination of headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME) with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was applied to study the volatile compounds of crude and cooked lablab pods. 【Result】 A total of 40 volatile compounds, including 10 aldehydes, 6 alcohols, 8 ketones, 8 esters, 3 Hydrocarbons, 2 acids, 2 heterocycles, and 1 Phenols, were identified in crude pods, among which 1-nonanol (27.46%), (E)-2-hexenal (21.75%), hexanal (8.04%), 2,5,5-trimethylcyclohex-2-enone (4.89%), and (E)-2-Nonenal (4.14%) were the major ones. A total of 25 volatile compounds, including 4 aldehydes, 5 alcohols, 4 ketones, 6 esters, 5 hydrocarbons, and 1 heterocycles, were identified in cooked pods, among which

【收稿日期】 2013-12-09

【基金项目】 吉林省现代农业产业技术体系项目(2012016); 吉林省教育厅科学技术研究项目(2013075)

【作者简介】 王 艳(1978-), 女, 吉林农安人, 实验师, 在读博士, 主要从事蔬菜品质生理研究。E-mail: wangyan2322@126.com

【通信作者】 宋述尧(1957-), 男, 吉林四平人, 教授, 硕士, 博士研究生导师, 主要从事蔬菜生理研究。E-mail: ssyjlau@126.com

1-octen-3-ol(29.90%), 2,5,5-trimethylcyclohex-2-enone(13.59%), phytol(10.94%), 9-eicosyne(7.22%), and 2,6,10,10-tetramethyl-1-oxa-spiro [4.5] dec-6-ene(6.04%) were the major ones. Twenty-five volatile compounds of lablab pods disappeared after cooking, while 10 new compounds were generated. Relative contents of 14 volatile compounds of lablab pods increased after cooking, and that of one compound decreased. 1-nonanol, (E)-2-hexenal and hexanal majorly contributed to green pods odor and they interacted with (E,Z)-2,6-nonadienal, (E)-2-nonenal, (E,Z)-2,6-nonadien-1-ol, hexanoic acid, hexyl ester, 2,3-octanedione, eugenol, (E,E)-2,4-heptadienal, tetradecanal, and 2-pentyl-furan to form the special odor. 1-octen-3-ol contributed the most to aroma of cooked pods and it acted with 2,6,10,10-Tetramethyl-1-oxa-spiro [4.5] dec-6-ene, benzeneacetaldehyde, nonanal, (R)-5,6,7,7a-tetrahydro-4,4,7a-trimethyl-2(4H)-benzofuranone, 2,6,6-trimethyl-1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, caryophyllene, decanal, and (E)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one to form the special flavor of cooked pods. 【Conclusion】 The main flavor compounds of lablab from Northeast China was identified as 1-Octen-3-ol. Volatile composition of lablab pods changed significantly after cooking.

Key words: lablab (*Dolichos lablab* L.); volatile compounds; headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

扁豆(*Dolichos lablab* L.),豆科,扁豆属,1年生蔓生植物,在东北地区扁豆又称“猪耳豆”,以嫩荚为食用器官,可制干菜及速冻蔬菜。东北扁豆营养丰富,风味独特,并以其独特的香气性质而日益受到人们的青睐,近年来市场占有率越来越大。

香气成分可以客观地反映果实的风味特点,是评价果实商品品质的重要指标^[1]。目前果蔬的挥发性成分分析主要采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱(GC-MS)的方法进行^[2-6]。固相微萃取技术是近年来发展起来的一种样品预处理技术,其集采样、萃取、浓缩与进样为一体,无需使用溶剂,操作简单,萃取样品后可直接进行色谱进样分析,现已广泛应用于食品、生物、环境、医药等领域^[7-10]。

目前,关于扁豆风味品质的研究鲜见报道,因此本研究采用 HS-SPME/GC-MS 方法对扁豆果荚的挥发性物质进行检测分析,旨在明确东北扁豆挥发性物质的化学组成,筛选主要风味物质,为扁豆的优质栽培提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品制备 2013-09 取露地种植的扁豆果荚,蒸馏水洗净,吸干水分备用。对扁豆青荚(未经加工的鲜果荚)、熟荚(沸水煮 8 min 的熟果荚)分别匀浆,各取 10 g 样品于顶空瓶中,封口,待测。

1.1.2 仪器及设备 6890N/5975 气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司),65 μm PDMS/DVB 萃

取头(美国 Supelco 公司),20 mL 钳口顶空样品瓶。

1.2 方法

将老化好的纤维头插入样品瓶中顶空部分萃取 40 min,萃取温度为青荚 60 $^{\circ}\text{C}$,熟荚 80 $^{\circ}\text{C}$ 。然后将纤维头插入气相色谱-质谱联用仪进样口,250 $^{\circ}\text{C}$ 解析 5 min,进行 GC-MS 检测。色谱条件:色谱柱为 Agilent HP-5 气相毛细管柱(30 m $\times$ 250 μm $\times$ 0.25 μm);进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,载气 He,流速 1.0 mL/min;升温程序为:起始温度 50 $^{\circ}\text{C}$ (保持 3 min),以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升至 100 $^{\circ}\text{C}$,再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升至 250 $^{\circ}\text{C}$ (保持 20 min)。质谱条件:EI 电离源,电离电压 70 eV;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$ 。

定性分析:各组分经 NIST2008 标准谱库和计算机比较后,根据质谱的保留指数及匹配因子鉴定。各组分相对含量采用峰面积归一化法进行计算。

2 结果与分析

2.1 东北扁豆果荚挥发性物质的 HS-SPME/GC-MS 分析

图 1 为用顶空固相微萃取-气质联用法对东北扁豆果荚挥发性成分分析的总离子流图,其组分分析结果见表 1。由表 1 可知,未经加工的扁豆青荚中共鉴定出 40 种挥发性化合物,其中醛类物质 10 种、醇类 6 种、酮类及酯类各 8 种、烃类 3 种、羧酸类及杂环类各 2 种、酚类 1 种。醛类物质相对含量最高,为 40.40%,其次为醇类(33.69%)。鉴定出的 40 种化合物中,1-壬醇相对含量最高,为 27.46%,

其次为青叶醛(21.75%),再次为己醛(8.04%)、(4.14%)。2,5,5-三甲基-2-环己烯酮(4.89%)和反-2-壬烯醛

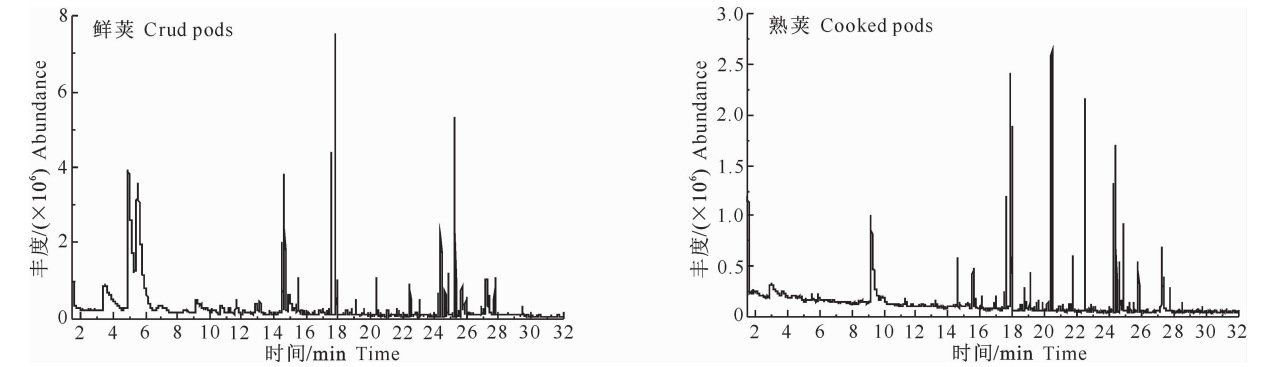


图 1 东北扁豆果荚挥发性物质的 HS-SPME/GC-MS 总离子流图

Fig.1 HS-SPME/GC-MS total ion chromatogram of volatile compounds in lablab pods from Northeast China

表 1 东北扁豆果荚挥发性成分的组成分析

Table 1 Volatile components in lablab pods from Northeast China

化合物名称 Component name	保留时间/min RT	保留指数 RI	匹配度 MF	分子式 Molecular formula	相对含量/% Relative content	
					鲜荚 Crude pods	熟荚 Cooked pods
醛类 Aldehydes						
己醛 Hexanal	3.492	806	814	C ₆ H ₁₂ O	8.04	—
青叶醛 2-Hexenal, (E)-	4.937	811	914	C ₆ H ₁₀ O	21.75	—
(反,反)-2,4-己二烯醛 2,4-Hexa- dienal, (E,E)-	6.902	862	876	C ₆ H ₈ O	2.27	—
(反,反)-2,4-庚二烯醛 2,4-Hepta- dienal, (E,E)-	10.127	998	868	C ₇ H ₁₀ O	0.78	—
风信子醛 Benzeneacetaldehyde	11.282	1 048	758	C ₈ H ₈ O	—	1.78
壬醛 Nonanal	13.173	1 081	797	C ₉ H ₁₈ O	—	1.44
反-2-,顺-6-壬二烯醛 2,6-Nonadie- nal, (E,Z)-	14.506	1 108	911	C ₉ H ₁₄ O	2.58	—
反-2-壬烯醛 2-Nonenal, (E)-	14.671	1 112	922	C ₉ H ₁₆ O	4.14	—
癸醛 Decanal	15.716	1 183	880	C ₁₀ H ₂₀ O	0.22	0.95
(反,反)-2,4-壬二烯醛 2,4-Nona- dienal, (E,E)-	15.913	1 188	852	C ₉ H ₁₄ O	0.18	—
β-环柠檬醛 1-Cyclohexene-1-car- boxaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	16.068	1 204	876	C ₁₀ H ₁₆ O	0.15	1.51
肉豆蔻醛 Tetradecanal	23.077	1 795	863	C ₁₄ H ₂₈ O	0.27	—
总计 Total					40.40	5.67
醇类 Alcohols						
1-壬醇 1-Nonanol	5.535	815	792	C ₉ H ₂₀ O	27.46	—
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	9.122	953	934	C ₈ H ₁₆ O	0.85	29.90
4-甲基-5-癸醇 4-Methyl-5-decanol	12.910	1 071	706	C ₁₁ H ₂₄ O	1.13	—
反-2-,顺-6-壬二烯醇 2,6-Nonadien- 1-ol, (E,Z)-	14.933	1 132	804	C ₉ H ₁₆ O	2.06	—
2,4,7,9-四甲基-5-癸炔-4,7-二醇 2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyn-4,7-diol	19.352	1 408	779	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	—	0.46
异植醇 Isophytol	25.536	1 938	835	C ₂₀ H ₄₀ O	—	0.52
叶绿醇 Phytol	27.234	2 104	904	C ₂₀ H ₄₀ O	1.82	10.94
3,7,11,15-四甲基-1-十六碳炔-3- 醇 1-Hexadecyn-3-ol, 3,7,11,15- tetramethyl-	27.405	2 131	720	C ₂₀ H ₃₈ O	0.37	2.52
总计 Total					33.69	44.34
酮类 Ketones						
2,3-辛二酮 2,3-Octanedione	9.227	969	818	C ₈ H ₁₄ O ₂	1.17	—
3-丁基-环己酮 Cyclohexanone, 3- butyl-	13.146	1 078	738	C ₁₀ H ₁₈ O	0.81	—

续表 1 Continued table 1

化合物名称 Component name	保留时间/min RT	保留指数 RI	匹配度 MF	分子式 Molecular formula	相对含量/% Relative content	
					鲜茱 Crude pods	熟茱 Cooked pods
2,4-壬烷二酮 2,4-Nonanedione	16.549	1 240	723	C ₉ H ₁₆ O ₂	0.14	—
2,5,5-三甲基-2-环己烯酮 2,5,5-Trimethylcyclohex-2-enone	17.857	1 318	754	C ₉ H ₁₄ O	4.89	13.59
α紫罗兰酮 3-Buten-2-one,4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-	19.565	1 413	866	C ₁₃ H ₂₀ O	0.15	0.52
香叶基丙酮 5,9-Undecadien-2-one,6,10-dimethyl-,(E)-	19.860	1 428	833	C ₁₃ H ₂₂ O	0.08	0.46
β紫罗兰酮 3-Buten-2-one,4-(2,6,6-trimethyl-1-cyclohexen-1-yl)-,(E)-	20.387	1 463	888	C ₁₃ H ₂₀ O	0.63	—
2-羟基-环十五烷酮 Cyclopentadecanone,2-hydroxy-	21.071	1 675	757	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	0.19	—
植酮,6,10,14-三甲基-2-十五烷酮 2-Pentadecanone,6,10,14-trimethyl-	24.480	1 838	797	C ₁₈ H ₃₆ O	—	0.77
总计 Total					8.05	15.34
酯类 Esters						
水杨酸甲酯 Methyl salicylate	15.523	1 176	931	C ₈ H ₈ O ₃	1.41	2.09
环丙烷酸癸酯 Cyclopropanecarboxylic acid,decyl ester	16.192	1 205	749	C ₁₄ H ₂₆ O ₂	0.18	—
2-甲基丙酸-3-羟基-2,4,4-三甲基丙酯 Propanoic acid,2-methyl-,3-hydroxy-2,4,4-trimethylpentyl ester	18.756	1 381	858	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	—	1.72
己酸己酯 Hexanoic acid,hexyl ester	18.863	1 389	795	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	0.24	—
二氢猕猴桃内酯 2(4H)-Benzofuranone,5,6,7,7a-tetrahydro-4,4,7a-trimethyl-,(R)-	21.078	1 677	813	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	—	0.60
2-甲基丙酸-1-(1,1-二甲基)-2-甲基-1,3-丙双酯 Propanoic acid,2-methyl-,1-(1,1-dimethylethyl)-2-methyl-1,3-propanediyl ester	21.759	1 761	859	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	—	2.43
棕榈酸甲酯 Hexadecanoic acid,methyl ester	25.302	1 908	930	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	2.81	0.79
棕榈酸乙酯 Hexadecanoic acid,ethyl ester	25.961	1 978	888	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	0.36	—
8,11-十八碳二烯酸甲酯 8,11-Octadecadienoic acid,methyl ester	26.949	2 084	850	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	0.15	—
反式-9-十八碳烯酸甲酯 9-Octadecenoic acid,methyl ester	26.999	2 085	835	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	0.16	—
棕榈酸丁酯 Hexadecanoic acid,butyl ester	27.749	2 157	903	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0.58	1.73
总计 Total					5.88	9.34
烃类 Hydrocarbons						
十三烷 Tridecane	17.474	1 300	836	C ₁₃ H ₂₈	—	0.86
十四烷 Tetradecane	19.055	1 400	892	C ₁₄ H ₃₀	0.28	1.58
石竹烯 Caryophyllene	19.510	1 412	825	C ₁₅ H ₂₄	—	0.42
9-二十炔 9-Eicosyne	24.412	1 836	810	C ₂₀ H ₃₈	1.13	7.22
1,4-二十双烯 1,4-Eicosadiene	24.858	1 889	813	C ₂₀ H ₃₈	0.68	3.87
总计 Total					2.08	13.95
羧酸类 Acids						
辛酸 Octanoic Acid	15.394	1 154	803	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.65	—
棕榈酸 n-Hexadecanoic acid	25.698	1 968	905	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0.65	—
总计 Total					1.30	0
杂环类 Heterocycles						
2-正戊基呋喃 Furan,2-pentyl-	9.453	977	843	C ₉ H ₁₄ O	0.91	—
茶香螺烷 2,6,10,10-Tetramethyl-1-oxa-spiro [4.5] dec-6-ene	17.566	1 316	925	C ₁₃ H ₂₂	2.95	6.04
总计 Total					3.85	6.04
酚类 Phenols						
丁香酚 Eugenol	18.525	1 362	824	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	0.18	—

注:“—”表示未检出。
Note:“—” not detected.

热加工后的扁豆熟荚中共鉴定出挥发性化合物 25 种,其中酯类 6 种,醇类及烃类各 5 种,醛类及酮类各 4 种,杂环化合物 1 种。醇类化合物总相对含量最高(44.34%),其次为酮类(15.34%)、烃类(13.95%),再次为酯类(9.34%)、杂环类(6.04%)及醛类(5.67%)。这 25 种化合物中,1-辛烯-3-醇相对含量最高(29.90%),其次为 2,5,5-三甲基-2-环己烯酮(13.59%)、叶绿醇(10.94%),再次为 9-二十炔(7.22%)和茶香螺烷(6.04%)。

2.2 扁豆果荚热加工后挥发性物质的变化

扁豆果荚经热加工后,其挥发性物质种类及相

表 2 热加工后东北扁豆果荚挥发性化合物种类的变化

Table 2 Changes of number of volatile components in lablab pods after cooking

化合物种类 Component type	消失化合物 Disappeared component	新增化合物 New component	化合物种类 Component type	消失化合物 Disappeared component	新增化合物 New component
醛类 Aldehydes	8	2	羧酸类 acids	2	0
醇类 Alcohols	3	2	杂环类 Heterocycles	1	0
酮类 Ketones	5	1	酚类 Phenols	1	0
酯类 Esters	5	3	合计 Total	25	10
烃类 Hydrocarbons	0	2			

3 讨论与结论

东北扁豆是需要经过热加工才可食用的荚用豆类蔬菜,因具有独特的挥发性风味品质而日益受到人们的青睐。挥发性风味品质是人通过嗅觉对食品产生的感觉的品质,可以客观地反映食品的特点。果蔬的香气品质影响因素较多,如品种^[3,11-12]、栽培环境和措施^[13-14],以及不同部位、不同生育期^[15-16]和贮藏加工方式^[17-18]等。扁豆的青荚及可食用熟荚均具有一定的香气特征,本研究通过顶空固相微萃取结合气质联用方法,对 2 种状态的东北扁豆果荚的挥发性物质进行了鉴定分析。

1-壬醇、青叶醛及己醛等是扁豆青荚中的主要挥发性物质,且热加工后消失。1-壬醇具有强烈的玫瑰、橙花香气及油脂气息,青叶醛呈现浓郁的新鲜水果及绿叶清香气,己醛是形成大豆豆腥味的主要成分^[19],同时具有青草、苹果及生油脂气味。扁豆经热加工后青豆荚气味消失,因此可认为 1-壬醇、青叶醛、己醛是扁豆青荚气味的主要贡献物质。同时,反-2-,顺-6-壬二烯醛是黄瓜的特征香气物质^[20],反-2-壬烯醛呈鸡和烤猪肉香气,反-2-,顺-6-壬二烯醇具有未成熟绿色蔬菜气味,己酸己酯呈青刀豆香气和生水果香味,2,3-辛二酮有甜的奶油香,丁香酚有强烈的丁香香气和温和的辛香香气,(反,反)-2,4-庚二烯醛、肉豆蔻醛、2-正戊基呋喃等也具有不同的芳

对含量均发生变化。由表 1 和表 2 可以看出,扁豆中有 25 种化合物在热加工后消失,其中醛类物质最多,有 8 种,其次为酯类及酮类(各 5 种),再次为醇类(3 种);热加工后消失的化合物主要包括 1-壬醇(27.46%)、青叶醛(21.75%)、己醛(8.04%)等。同时热加工后新增了 10 种化合物,包括酯类 3 种,醛类、醇类及烃类各 2 种,酮类 1 种。另有 15 种化合物在鲜荚及熟荚中均有检出,14 种物质在热加工后相对含量增加,其中 1-辛烯-3-醇、叶绿醇、2,5,5-三甲基-2-环己烯酮及茶香螺烷的相对含量增加明显;1 种化合物相对含量降低。

香性质,以上物质均存在于扁豆青荚中,且热加工后消失,可认为他们与扁豆青荚气味形成有关。

东北扁豆热加工后 1-辛烯-3 醇相对含量最高,是熟荚中的主要挥发性物质。1-辛烯-3 醇具有蘑菇、薰衣草及玫瑰香气,是以亚油酸为生物合成前体,经脂肪氧合酶及氢过氧化物裂合酶作用形成的脂肪族不饱和醇^[21],同时在菜豆果荚中含量也较高^[22-23]。茶香螺烷具有松木样木香及薄荷脑样气息,风信子醛有浓郁的玉簪花香气,壬醛有玫瑰香气,二氢猕猴桃内酯有香豆素样香气,石竹烯具有辛香、木香、柑橘香、樟脑香。癸醛、β-环柠檬醛、香叶基丙酮也各具不同的香气,以上物质均存在于热加工后的扁豆熟荚中,其共同作用形成了熟东北扁豆特异的芳香性质。

本研究发现,东北扁豆挥发性化合物主要包括醛类、醇类、酮类、羧酸类、酯类及杂环化合物等。未经加工的青荚中鉴定出 40 种挥发性成分,1-壬醇、青叶醛及己醛是其主要挥发性风味物质,与反-2-,顺-6-壬二烯醛、反-2-壬烯醛、反-2-,顺-6-壬二烯醇、己酸己酯、2,3-辛二酮、丁香酚、(反,反)-2,4-庚二烯醛、肉豆蔻醛及 2-正戊基呋喃等物质共同作用形成青豆荚的特殊气味。热加工后的熟荚中鉴定出 25 种挥发性化合物,主要挥发风味物质为 1-辛烯-3-醇,其与茶香螺烷、风信子醛、壬醛、二氢猕猴桃内酯、石竹烯、癸醛、β-环柠檬醛及香叶基丙酮等共同

作用形成扁豆熟莢的特异香气性质。

[参考文献]

- [1] 张上隆,陈昆松.果实品质形成与调控的分子生理[M].北京:中国农业出版社,2007:184.
Zhang S L, Chen K S. Molecular physiology of the formation and regulation in fruit quality [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007: 184. (in Chinese)
- [2] Valette L, Fernandez X, Loiseay A M, et al. Volatile constituents from Romanesco cauliflower [J]. Food Chemistry, 2003, 80(3): 353-358.
- [3] Incilay G, Ihsan K. SPME-GC-MS detection of volatile compounds in apricot varieties [J]. Food Chemistry, 2012, 132(2): 1098-1102.
- [4] 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.
Zhu H, Chen Y F, Li X P, et al. Determination of volatiles in harvested banana fruit by HS-SPME and GC-MS [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(2): 485-488. (in Chinese)
- [5] Qin G H, Tao S T, Wu J Y, et al. Evaluation of the volatile profile of 33 *Pyrus ussuriensis* cultivars by HS-SPME with GC-MS [J]. Food Chemistry, 2012, 134(4): 2367-2382.
- [6] 李瑜.新鲜南瓜和南瓜汁挥发性风味物质的成分比较[J].食品科学,2010,31(2):208-210.
Li Y. Solid phase microextraction followed by GC-MS analysis of volatile flavor compounds in fresh pumpkin and pumpkin juice [J]. Food Science, 2010, 31(2): 208-210. (in Chinese)
- [7] Steffen A, Paw L. Analysis of flavor volatiles using headspace solid-phase micro-extraction [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(8): 2187-2193.
- [8] Hiroyuki K, Heather L, Janusz P. Applications of solid-phase microextraction in food analysis [J]. Journal of Chromatography A, 2000, 880(1/2): 35-62.
- [9] Stashenko E E, Martinez J R. Sampling volatile compounds from natural products with headspace/solid-phase micro-extraction [J]. Journal of Biochemical and Biophysical Methods, 2007, 70(2): 235-242.
- [10] Vas G, Vekey K. Solid-phase microextraction; A powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2004, 39(3): 233-254.
- [11] Wang Y J, Yang C X, Li S H, et al. Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS [J]. Food Chemistry, 2009, 116(2): 356-364.
- [12] Andreia P, Oliverira A, Luis R, et al. Volatile profiling of ficus carica varieties by HS-SPME and GC-IT-MS [J]. Food Chemistry, 2010, 123(2): 548-557.
- [13] 宋廷宇,吴春燕,侯喜林,等.薹菜风味物质的顶空固相微萃取-气质联用分析[J].食品科学,2010,31(8):185-188.
Song T Y, Wu C Y, Hou X L, et al. SPME and GC-MS analysis of volatile components in three Tai-tsai cultivars [J]. Food Science, 2010, 31(8): 185-188. (in Chinese)
- [14] 吴春燕,何启伟,宋廷宇,等.大白菜风味物质的气相色谱-质谱分析[J].食品科学,2009,30(4):145-148.
Wu C Y, He Q W, Song T Y, et al. GC-MS analysis of volatile components in Chinese cabbages [J]. Food Science, 2009, 30(4): 145-148. (in Chinese)
- [15] 秦改花,张虎平,陶书田,等.早熟梨果实不同成熟阶段的香气组成[J].食品科学,2012,33(6):220-224.
Qin G H, Zhang H P, Tao S T, et al. Aromatic composition of early-maturity pears in different maturity stages [J]. Food Science, 2012, 33(6): 220-224. (in Chinese)
- [16] 张春雨,李亚东,张志东,等.高丛越橘果实香气成分不同发育阶段的变化[J].中国农业科学,2009,42(9):3216-3223.
Zhang C Y, Li Y D, Zhang Z D, et al. Changes of aroma components of different developmental fruits of high-bush blueberry [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(9): 3216-3223. (in Chinese)
- [17] 李杨昕,王贵禧,梁丽松.‘大久保’桃常温贮藏过程中香气成分变化及其与乙烯释放的关系[J].园艺学报,2011,38(1):35-42.
Li Y X, Wang G X, Liang L S. The changes of volatile compositions of ‘Okubo’ peach and its relationship with ethylene and relevant enzymes stored at ambient temperature [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(1): 35-42. (in Chinese)
- [18] 卓成龙,李大婧,宋江峰,等.微波烫漂与热水烫漂毛豆仁风味成分比较[J].食品科学,2010,31(18):321-324.
Zhuo C L, Li D J, Song J F, et al. Comparison of the flavor of green soybean with microwave and hot water blanching [J]. Food Science, 2010, 31(18): 321-324. (in Chinese)
- [19] 张晓鸣.食品风味化学[M].北京:中国轻工业出版社,2009:51.
Zhang X M. Food flavor chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009: 51. (in Chinese)
- [20] 刘春香,何启伟,刘扬岷.黄瓜香气成分的顶空固相微萃取气质联用分析[J].园艺学报,2002,29(6):581-583.
Liu C X, He Q W, Liu Y M. Head-space solid phase microextraction and GC-MS analysis of fragrance of cucumber [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(6): 581-583. (in Chinese)
- [21] Assaf S, Hadar Y, Dosoretz C G. 1-Octen-3-ol and 13-hydroperoxylinoleate are products of distinct pathways in the oxidative breakdown of linoleic acid by *Pleurotus pulmonarius* [J]. Enzyme and Microbial Technology, 1997, 21(7): 484-490.
- [22] Barra A, Baldovini N, Loiseay A M, et al. Chemical analysis of French beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation/extraction (SDE) [J]. Food Chemistry, 2007, 101(3): 1279-1284.
- [23] Saskia M, Jacques P, Jan L, et al. Volatile compounds of rehydrated French beans, bell peppers and leeks. II: Gas chromatography/sniffing port analysis and sensory evaluation [J]. Food Chemistry, 1995, 54(1): 1-7.