

硼对“金棚1号”番茄果实挥发性成分的影响

徐伟南¹, 张鑫¹, 张静^{1,2}, 丁明¹, 甄爱¹, 常晓晓¹, 白永娟¹, 胡晓辉^{1,*}

(1.西北农林科技大学园艺学院, 农业部西北设施园艺工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2.西北农林科技大学园艺实验教学中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 探讨硼肥对番茄果实挥发性物质的影响, 以陕西地区主栽番茄品种“金棚1号”为实验材料, 采用叶面喷施(L)、营养液混施(W)2种不同施硼方式和1.9、3.8、5.7 mg/L的3种不同硼酸质量浓度处理, 以不含硼酸营养液为对照(CK), 利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术测定其挥发性物质成分和含量。结果表明: 7种处理的番茄果实共检测出79种挥发性成分, 主要包含醛类、酯类、醇类、烯烃类和酮类等物质。挥发性物质成分总含量从高到低顺序依次为: 不含硼酸营养液+叶面喷施1.9 mg/L硼酸(L1) > 含3.8 mg/L硼酸营养液(W2) > 含1.9 mg/L硼酸营养液(W1) > 不含硼酸营养液+叶面喷施5.7 mg/L硼酸(L3) > 含5.7 mg/L硼酸营养液(W3) > 不含硼酸营养液+叶面喷施3.8 mg/L硼酸(L2) > 不含硼酸营养液(CK); 且共包含了14种特征香气物质, 其特征香气成分总含量从高到低排序为: W2 > L1 > L3 > W1 > W3 > L2 > CK。此外, 相同硼肥质量浓度不同施用方式和相同施用方式不同硼肥质量浓度水平对番茄特征效应化合物影响不同, 含3.8 mg/L硼酸营养液处理番茄果实检测出全部14种特征香气物质, 包含果香型、青香型和花香型3种类型香气成分, 且果香型香气成分含量最高, 其中对香气含量贡献最大的为6-甲基-5-庚烯-2-酮, 因而香气成分表现丰富。因此, 施用含3.8 mg/L硼酸营养液可以使番茄果实的果香味浓厚且香气物质丰富。

关键词: 番茄; 硼肥; 挥发性物质; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用

Effects of Boron Fertilizer on Volatiles of “Jinpeng No.1” Tomato Fruit

XU Weinan¹, ZHANG Xin¹, ZHANG Jing^{1,2}, DING Ming¹, ZHEN Ai¹, CHANG Xiaoxiao¹, BAI Yongjuan¹, HU Xiaohui^{1,*}

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University, Key Laboratory of Protected Horticultural Engineering in Northwest, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China; 2. National Experimental Teaching Demonstration Center of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Boron fertilizer applications by foliar spraying (L) and nutrient solution application (W) at different levels of boron (1.9, 3.8, and 5.7 mg/L H_3BO_3), respectively, were performed to investigate the effects of boron fertilizer on volatiles of tomato (cv. “Jinpeng No.1”) fruit using boron-free nutrient solution treatment as control (CK). The composition and content of aroma compounds were measured using solid phase microextraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). The results showed that a total of 79 volatiles were detected in seven treatment groups of tomato fruits, with aldehydes, esters, alcohols, hydrocarbons and ketones being the predominant compounds. The decreasing order of total volatile component contents was as follows: L1 > W2 > W1 > L3 > W3 > L2 > CK. Meanwhile, 14 of these were characteristic aroma components and their total contents were in the descending order: W2 > L1 > L3 > W1 > W3 > L2 > CK. Different application methods for the same concentration of boron and different boron levels applied in the same way had different effects on the characteristic compounds of tomato. All 14 characteristic aroma components and 3 types of aroma components (‘fruity aroma’, ‘green aroma’ and ‘floral aroma’) were detected in the treatment group of 3.8 mg/L H_3BO_3 nutrient solution, with fruity aroma being the most predominant as well as 6-methyl-5-hepten-2-one being the biggest contributor to the aroma, suggesting the presence of a wide range of aroma compounds in the tomato fruits. Therefore, the application of 3.8 mg/L H_3BO_3 nutrient solution can result in the formation of a wide variety of aroma compounds responsible for the strong fruity aroma in tomato.

收稿日期: 2015-12-12

基金项目: 陕西省农业科技创新与攻关项目(2015NY102); 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2015KTTSNY03-03); 杨凌示范区科技计划项目(2014NY-17)

作者简介: 徐伟南(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为设施园艺生理生态。E-mail: xuweinan0817@163.com

*通信作者: 胡晓辉(1977—), 女, 教授, 博士, 研究方向为设施园艺生理生态。E-mail: hxxh1977@163.com

Key words: tomato; boron fertilizer; volatiles; SPME; GC-MS

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201616024

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 16-0149-07

引文格式:

徐炜南, 张鑫, 张静, 等. 硼对“金棚1号”番茄果实挥发性成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 149-155. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201616024. <http://www.spkx.net.cn>

XU Weinan, ZHANG Xin, ZHANG Jing, et al. Effects of boron fertilizer on volatiles of “Jinpeng No.1” tomato fruit[J]. Food Science, 2016, 37(16): 149-155. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201616024. <http://www.spkx.net.cn>

番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 在我国种植广泛, 有着独特的风味品质^[1], 是人们日常食用的一种水果型蔬菜。随着人们的生活水平不断提高, 商品市场的激烈竞争, 番茄种植技术参差不齐, 人们对市场上出售的番茄的风味品质感到不满^[2], 因此, 只有提高番茄的风味品质才能适应未来市场的发展。人们常说的果实风味, 主要是果实中所含的芳香物质, 其主要包括醛类、酮类、醇类、酯类、萜类及一些含硫化合物等。这些物质香气不相一致, 主要包含果香、甜香、酸香、青香等, 只有将这些成分组成一个整体时, 才能产生果品所具有的特征香气。近年来一些研究表明, 番茄的果实风味除受其本身的遗传因素影响外, 微量元素的施用也是影响其风味品质的重要因素^[3-4]。侯雷平等^[5]研究表明不同锌浓度处理改变了番茄果实芳香物质的种类组成, 多锌处理的芳香物质的总数量比正常锌处理多8种, 主要表现在烃类、酯类和醇类物质数量上, 适宜的锌水平保证番茄有较好的风味品质。甘霖等^[6]研究发现3%秸秆源品质改良因子对番茄果实喷施处理后, 顺-3-己烯醛、反-2-己烯、6-甲基-5-庚烯-2-酮、水杨酸甲酯含量提高, 酯、酮类物质增加; 拌肥处理番茄果实芳香物质中顺-3-己烯醛、反-2-己烯、(E,E)-2,4-己二烯醛、水杨酸甲酯含量提高。硼是植物必需的六大微量元素之一, 对促进细胞壁的形成、核酸和蛋白质的合成、糖类运输、维持细胞膜功能、参与植物体内酶和生长调节剂反应、受精和结实过程等方面具有特殊的生理、生化功能。目前, 大多研究主要涉及硼肥对番茄产量、抗氧化性、可溶性蛋白含量、VC含量、可溶性糖和酸含量等生理品质的研究。王永珍等^[7]研究表明施硼可促进番茄早熟、增产, 改善番茄果实品质, 提高了果实可溶性固形物、还原糖及VC含量, 降低有机酸含量; 但是硼等微量元素对番茄果实风味品质方面的研究鲜有报道, 仅有李梅兰等^[4]研究结果显示不同硼肥质量浓度处理条件下, 番茄果实的芳香物质组成成分都有减少。但是不同施肥量会因品种和地域的不同可能会导致效果不同。因此, 本实验以陕西杨凌地区主栽番茄的“金棚1号”为试材, 以不含硼酸的营养液处理为对照, 利用固相微萃取-气相色谱-质谱 (solid phase microextraction-gas chromatography-mass

spectrometry, SPME-GC-MS) 联用技术, 分析不同硼肥质量浓度水平及不同施硼方式对番茄果实挥发性物质成分的影响, 以期筛选出适宜的硼肥施用质量浓度及施用方式, 为改善当地设施农业番茄果实品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验在陕西杨凌西北农林科技大学南校区园艺场进行, 供试番茄品种为“金棚1号”(杨凌农城种业提供)。采用穴盘育苗, 幼苗长至5~6片真叶时定植于塑料盆中(直径30 cm, 高25 cm), 每盆定植1株。塑料盆随机摆放, 株行距为30 cm×60 cm, 采取单干整枝, 病虫害防治及植株调整同一般管理。

设7个处理, 植株缓苗结束后至第1穗花坐果每隔6 d处理一次, 每次施用300 mL营养液; 以后每隔4 d处理一次, 每次施用500 mL营养液, 对使用的营养液配方^[8]略作修改: 不含硼酸营养液(CK)、不含硼酸营养液+叶面喷施1.9 mg/L硼酸(L1)、不含硼酸营养液+叶面喷施3.8 mg/L硼酸(L2)、不含硼酸营养液+叶面喷施5.7 mg/L硼酸(L3)、含1.9 mg/L硼酸营养液(W1)、含3.8 mg/L硼酸营养液(W2)和含5.7 mg/L硼酸营养液(W3), 每个处理7株, 3次重复, 每个处理为1个小区, 随机排列。果实成熟期各处理随机采取5个第3穗果进行品质分析。

1.2 仪器与设备

SL3001N型电子天平、ISQ型GC-MS联用仪 美国Thermo Fisher Scientific公司; HP-INNOWAX弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)、恒温磁力搅拌器 美国Troemner公司; SPME手动进样手柄、75 μm PDMS、固相微萃取头 美国Supelco公司; 匀浆机 荷兰飞利浦公司。

1.3 方法

1.3.1 果实挥发性成分测定

1.3.1.1 SPME取样

每个处理分别取大小均匀的5个果实, 用匀浆机打成匀浆, 称取(15±0.1) g果肉匀浆, 并加入3 g无

水氯化钠,同时加入20 μL 0.25 mg/mL的2-壬酮标样于30 mL的螺丝口样品瓶中,立即用锡箔纸密封瓶口并旋紧瓶盖,置于45 °C恒温磁力搅拌器上,磁力搅拌速率为300 r/min,平衡10 min,然后固相微萃取吸附30 min,立即插入色谱气化室,250 °C解吸3 min,进行GC-MS分析^[9-11]。每个处理3次重复,取其平均值。

1.3.1.2 仪器参数

参照杨明慧^[12]、郝丽宁^[13]等的方法,并略作修改。

GC条件:色谱柱为HP-INNOWAX弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),进样口温度:250 °C;进样方式:不分流进样;升温程序:40 °C保持2.5 min,10 °C/min升至110 °C,然后以6 °C/min升温至230 °C,维持8 min;载气为高纯He(99.999%),流速为1.0 mL/min^[14]。

MS条件:电子电离方式;电离能量70 eV;离子源温度250 °C;SM离子扫描,质量扫描范围35~500 u。

1.3.2 果实挥发性成分定性及定量分析

样品经过GC进行分离后,形成不同的色谱峰。运用计算机检索并与图谱库(NIST 2011)的标准质谱图对照,参考正反匹配度以及相关文献^[9-11],当匹配度和纯度大于800(最大值1 000)的鉴定结果才予以报道。各组分质谱经NIST/Wiley检索及资料分析,再结合有关文献进行人工图谱分析以确定各化学成分。

果实中挥发性物质的定量采用内标法分析:以2-壬酮作为内标进行计算^[10-11,14-16]。计算^[16-18]如下式所示:

$$\text{组分含量}/(\mu\text{g/kg}) = \frac{\text{各组峰面积} \times \text{内标质量浓度}/(\mu\text{g/mL}) \times 1\,000}{\text{内标峰面积} \times \text{样品量/g}}$$

2 结果与分析

2.1 硼肥对“金棚1号”番茄果实挥发性成分含量及种类的影响

由表1可知,7种处理的“金棚1号”番茄果实中共检测出79种挥发性物质。每种处理挥发性物质成分的总含量从高到低顺序依次为:L1>W2>W1>L3>W3>L2>CK。

表2 不同硼肥质量浓度及施用方式条件下“金棚1号”番茄果实各类挥发性成分的数量

Table 2 Numbers of volatile components of “Jinpeng No.1” tomato fruit under different boron fertilization rates and methods

类别	CK	L1	L2	L3	W1	W2	W3
醛类 aldehydes	23	28	27	26	26	29	29
烃类 hydrocarbons	5	7	6	6	7	4	8
醇类 alcohols	13	13	13	14	14	12	13
酮类 ketones	9	8	8	8	8	8	8
酯类 esters	2	1	3	3	3	2	2
其他	6	8	7	7	8	8	8
总计	58	65	64	64	66	63	68

表1 不同硼肥质量浓度及施用方式条件下番茄果实挥发性成分半定量结果

Table 1 Semi-quantitative analysis of volatile components of tomato fruit under different boron fertilization rates and methods

序号	挥发物质成分	保留时间/min	正匹配度	反匹配度	含量/(μg/kg)						
					CK	L1	L2	L3	W1	W2	W3
1	3-甲基丁醛 3-methyl-butanal	2.53	846	862	—	20.33	—	—	—	32.89	15.63
2	醋酸异丙酯 isopropyl acetate	2.58	799	827	—	—	91.71	205.50	—	—	—
3	1-戊烯-3-酮 1-penten-3-one	3.00	874	888	287.51	636.39	575.42	566.01	530.09	530.09	530.09
4	3-戊酮 3-pentanone	3.10	867	869	400.75	—	—	—	—	—	—
5	戊醛 pentanal	3.14	795	839	—	561.00	328.66	—	—	217.11	230.10
6	异戊腈 3-methyl-butanenitrile	3.75	827	866	31.98	60.66	25.86	47.06	38.28	29.06	22.24
7	3-甲基丁醇 3-methyl-1-butanol	3.86	917	922	53.15	144.48	61.72	183.45	119.18	44.85	124.51
8	2-乙基-4-戊烯醛 2-ethyl-4-pentenal	4.04	745	826	—	76.86	—	—	45.43	112.49	49.75
9	反-2-戊烯醛 (E)-2-pentenal	4.30	881	887	228.46	298.57	228.31	178.68	205.87	168.57	151.35
10	正戊醇 1-pentanol	4.63	925	935	582.50	1 073.46	766.42	412.55	594.05	572.44	575.77
11	顺-3-己烯醛 (Z)-3-hexenal	5.28	903	903	24.70	38.63	20.39	41.81	24.69	40.02	7.62
12	己醛 hexanal	5.41	900	903	5 406.28	22 752.57	16 273.62	18 758.43	15 924.35	27 474.29	16 710.61
13	反-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	6.65	818	855	174.64	—	269.05	598.72	388.67	732.85	346.73
14	顺-2-己烯醛 (Z)-2-hexenal	6.97	877	878	4 366.52	13 165.04	7 091.31	12 626.89	9 805.11	13 932.94	9 838.62
15	顺-3-己烯-1-醇 (Z)-3-hexen-1-ol	7.02	931	940	1 794.47	5 847.27	3 239.07	3 600.38	4 228.15	2 744.64	2 355.75
16	反-2-己烯-1-醇 (E)-3-hexen-1-ol	7.30	825	885	111.45	215.33	116.47	133.79	73.27	33.10	82.51
17	正己醇 1-hexanol	7.47	902	904	4 548.62	12 427.32	5 571.71	5 020.72	13 083.82	4 212.37	5 180.80
18	反-2-癸烯 (E)-2-decene	7.67	704	876	—	—	—	28.30	—	—	—
19	3-甲基丁基-环氧乙烷 (3-methylbutyl)-oxirane	7.97	635	823	—	63.10	30.17	—	52.64	34.63	30.25
20	烯丙基甲醚 allyl methyl ether	8.18	745	851	24.85	—	32.59	22.17	52.11	—	34.10
21	庚醛 heptanal	8.36	904	916	423.41	823.62	329.78	360.59	343.60	493.77	366.05
22	甲氧基苯基肟 methoxy-phenyl-oxime	8.53	808	838	294.68	402.06	202.01	—	144.58	211.95	242.66
23	3-庚烯-1-醇 3-hepten-1-ol	8.69	634	837	—	—	52.39	26.39	—	—	—
24	(E,E)-2,4-己二烯醛 (E,E)-2,4-hexadienal	8.72	651	854	—	101.26	—	114.44	—	75.35	—

续表1

序号	挥发物质成分	保留 时间/min	正匹 配度	反匹 配度	含量/($\mu\text{g/kg}$)						
					CK	L1	L2	L3	W1	W2	W3
25	反-2-庚烯醛 (<i>E</i>)-2-heptenal	10.14	940	954	2 031.77	3 044.99	2 331.98	2 337.79	2 934.15	2 952.85	2 417.57
26	苯甲醛 benzaldehyde	10.25	876	917	131.80	—	278.40	484.98	355.02	472.54	245.46
27	顺-2-庚烯-1-醇 (<i>Z</i>)-2-hepten-1-ol	10.50	796	837	58.23	138.26	113.46	—	244.93	—	—
28	3,5-二甲基-1-己烯 3,5-dimethyl-1-hexene	10.57	812	884	—	118.61	50.33	80.89	236.10	68.60	65.59
29	1-辛烯-3-酮 1-octen-3-one	10.75	888	910	178.46	557.01	214.75	252.89	435.13	670.94	366.58
30	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	10.89	950	959	282.07	590.11	138.65	53.59	199.19	250.62	161.00
31	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	11.02	854	908	2 989.32	5 775.30	2 593.25	3 604.59	5 139.03	6 290.40	3 935.44
32	2-正戊基呋喃 2-pentyl-furan	11.15	833	882	602.64	878.87	435.45	438.13	1 101.97	816.69	889.63
33	6-甲基-5-庚烯基-2-醇 6-methyl-5-hepten-2-ol	11.28	847	935	—	699.02	322.54	603.70	648.67	478.53	287.16
34	3-乙基-1,4-己二烯 3-ethyl-1,4-hexadiene	11.37	778	902	—	1 452.46	539.41	—	529.37	—	—
35	1-乙基-5-甲基环戊烯 1-ethyl-5-methylcyclopentene	11.38	769	901	495.77	—	1 243.86	421.90	—	—	585.35
36	<i>R</i> -2-辛醇 (<i>R</i>)-2-octanol	11.56	920	931	1 311.76	1 405.05	—	1 384.12	6 065.79	2 985.86	1 781.15
37	(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛 (<i>E,E</i>)-2,4-heptadienal	11.84	784	879	—	200.82	—	—	—	—	—
38	3-乙基-1,4-己二烯 3-ethyl-1,4-hexadiene	11.86	632	897	141.21	—	—	89.77	162.93	134.72	93.71
39	4-甲基-3-环己烯-1-甲醛 4-methyl-3-cyclohexene-1-carboxaldehyde	12.42	846	911	172.66	294.32	134.69	140.16	410.52	—	154.07
40	2-异丁基噻唑 2-isobutylthiazole	12.53	914	915	—	3 274.68	1 731.40	4 121.32	3 911.71	2 933.36	2 013.82
41	苯乙醛 benzeneacetaldehyde	12.84	840	872	—	163.77	35.22	157.25	—	130.80	115.34
42	2-辛炔-1-醇 2-octyn-1-ol	12.93	717	824	256.98	421.61	217.85	127.06	330.44	211.15	192.49
43	2,6-二甲基-2,6-辛二烯 2,6-dimethyl-2,6-octadiene	13.07	747	813	50.54	147.22	50.33	—	141.84	155.52	126.09
44	2-十一炔 2-undecyne	13.21	811	857	70.54	138.51	—	79.07	69.54	—	91.38
45	反-2-辛烯醛 (<i>E</i>)-2-octenal	13.35	868	868	2 703.89	4 982.77	3 144.39	2 251.63	4 664.59	4 942.56	3 342.29
46	反-2-辛烯-1-醇 (<i>E</i>)-2-octen-1-ol	13.61	901	925	249.03	542.03	312.70	188.10	685.82	185.13	207.26
47	1-辛醇 1-octanol	13.70	803	834	205.19	559.76	55.56	—	—	—	129.00
48	愈创木酚 2-methoxy-phenol	14.14	860	890	125.31	128.93	125.81	65.75	62.37	105.98	35.75
49	芳樟醇 linalool	14.58	744	828	—	—	—	—	14.51	—	—
50	2-壬醇 2-nonanol	14.65	916	929	—	—	523.52	59.59	217.39	—	102.25
51	壬醛 nonanal	14.74	906	906	624.86	1 017.01	71.33	686.83	910.39	1 237.38	507.26
52	苯乙醇 phenylethyl alcohol	15.04	822	900	135.73	183.71	—	314.34	203.99	198.02	160.98
53	苄基腈 (isocyanomethyl)-benzene	15.74	743	913	—	199.63	83.92	158.98	165.39	163.71	113.23
54	顺-2-壬烯醛 (<i>Z</i>)-2-nonenal	16.41	829	916	168.06	392.76	136.65	131.43	283.98	335.83	202.53
55	2-癸烯-1-醇 2-decen-1-ol	16.70	767	848	18.48	—	—	31.65	—	50.11	—
56	水杨酸甲酯 methyl salicylate	17.40	918	922	2 512.67	2 554.83	2 083.22	4 122.20	2 998.88	4 420.65	1 966.95
57	癸醛 decanal	17.75	897	902	358.20	433.17	411.89	554.17	492.45	518.39	291.45
58	2,4-壬二烯醛 2,4-nonadienal	18.05	911	932	150.41	323.50	70.75	—	184.65	212.21	132.76
59	β -环柠檬醛 1-cyclohexene-1-carboxaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	18.13	879	913	112.30	211.28	132.63	168.67	199.70	204.46	151.53
60	3-甲基-3-(4-甲基-3-戊烯)-环氧甲醛 oxiranecarboxaldehyde, 3-methyl-3-(4-methyl-3-pentenyl)-	18.45	729	927	—	142.97	—	58.76	123.55	103.76	79.17
61	(<i>Z</i>)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛 (<i>Z</i>)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	18.67	871	879	94.62	260.89	89.29	111.85	263.69	243.80	117.79
62	反式-2-癸烯醛 (<i>E</i>)-2-decenal	19.34	916	953	253.20	723.82	162.26	128.02	328.54	292.76	234.94
63	(<i>E</i>)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛 (<i>E</i>)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	19.47	910	911	361.04	846.53	354.83	437.22	654.58	856.15	602.24
64	2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal	20.26	867	900	873.69	1 296.81	1 144.30	840.30	1 696.73	1 262.81	1 212.34
65	十一醛 undecanal	20.60	791	971	65.52	73.04	61.28	88.27	80.63	68.55	48.82
66	(<i>E,E</i>)-2,4-癸二烯醛 (<i>E,E</i>)-2,4-decadienal	20.90	874	901	393.15	910.81	446.48	322.93	762.96	536.67	298.90
67	(<i>E,E</i>)-2,4-十二碳二烯醛 (<i>E,E</i>)-2,4-dodecadienal	21.75	778	846	24.60	106.03	31.71	27.70	51.21	59.99	34.67
68	丁香酚 eugenol	21.82	892	907	114.87	139.72	67.84	40.38	86.50	146.71	33.08
69	2-十一烯醛 2-undecenal	22.12	914	933	151.18	377.65	89.54	71.17	188.27	154.40	129.45
70	4,5-环氧-反-2-癸烯醛 <i>cis</i> -4,5-epoxy-(<i>E</i>)-2-decenal	22.57	778	801	—	—	294.76	158.98	163.49	—	353.56
71	十二醛 dodecanal	23.28	834	948	31.68	47.64	36.30	36.71	50.45	47.97	25.09
72	α -紫罗酮 3-buten-2-one, 4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-yl)-	23.62	818	891	31.13	79.39	32.85	24.76	40.36	59.09	26.01
73	香叶基丙酮 (<i>E</i>)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one,	24.26	904	904	1 591.99	3 513.55	1 147.87	1 475.51	3 939.13	2 872.16	2 048.57
74	β -紫罗酮 <i>trans</i> - α -ionone	25.04	835	884	138.62	249.62	109.93	87.79	178.21	131.78	97.94
75	4-[2,2,6-三甲基-7-氧杂二环[4.1.0]庚-1-基]-3-丁烯-2-酮 3-buten-2-one, 4-(2,2,6-trimethyl-7-oxabicyclo[4.1.0]hept-1-yl)-	25.13	850	896	21.75	51.32	24.21	28.28	41.08	38.01	26.29
76	十六烷 hexadecane	27.79	803	856	24.78	49.50	—	20.49	39.01	24.30	27.93
77	二十烷 eicosane	29.52	808	852	—	46.61	14.01	—	—	—	31.75
78	原膜散酯 homosalate	32.07	807	865	—	—	—	—	34.63	14.69	—
79	法尼基丙酮 (<i>E,E</i>)-5,9,13-pentadecatrien-2-one, 6,10,14-trimethyl-,	32.32	831	858	28.01	72.47	22.27	25.50	33.98	80.14	47.73
挥发性物质总计含量					39 091.65	98 526.35	57 020.36	70 021.02	88 411.32	89 814.15	63 236.48

注：—未检出。

表2显示,不施硼肥番茄果实中只检测出58种挥发性成分,其他处理均检测出不少于63种挥发性成分,其中含5.7 mg/L硼酸营养液番茄果实检测出最多的68种挥发性成分。从结果可以看出,施硼肥后果实的挥发性成分种类均高于不施硼肥的果实,但不同施硼水平及施硼方式间存在一定差异,除含3.8 mg/L硼酸营养液番茄果实中挥发性物质种数少于叶面喷施处理番茄果实,其余均超过叶面喷施处理检测出挥发性物质种数。

此外,7种处理共有挥发性成分为39种,分别为18种醛类物质、8种醇类物质、8种酮类物质、1种酯类物质及4种其他物质。各处理共有物质含量从高到低顺序依次为:L1>W2>W1>L3>W3>L2>CK,其顺序与挥发性物质总含量趋势一致。共有物质包含9种番茄特征芳香化合物^[19],分别为1-戊烯-3-酮、3-甲基丁醇、顺-3-己烯醛、顺-3-己烯醇、己醛、顺-2-庚烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、水杨酸甲酯、 β -紫罗酮;不共有挥发性成分为40种,其中醛类物质12种、醇类和炔类物质9种、酯类物质3种、1种酮类物质及6种其他物质;在CK、L1、L3、W1这4种处理中各有一种特有成分,其含量较低,分别为3-戊酮、(E,E)-2,4-庚二烯醛、芳樟醇、反-2-癸烯。说明施用硼肥番茄果实中的挥发性物质成分发生了变化,不同质量浓度硼肥处理及不同的施用方式番茄果实间的芳香物质成分含量也存在一定差异,其主要体现在醛类、醇类、炔类及酯类物质种类上。

2.2 硼肥对“金棚1号”番茄果实各类挥发性成分含量的影响

表3 不同硼肥质量浓度及施用方式条件下“金棚1号”番茄果实各类挥发性成分的含量

Table 3 Contents of volatile components in “Jinpeng No.1” tomato fruit under different boron fertilization rates and methods

类别	$\mu\text{g/kg}$						
	CK	L1	L2	L3	W1	W2	W3
酮类 ketones	5 667.52	10 935.06	4 720.55	6 065.33	10 337.01	10 672.61	7 078.65
醛类 aldehydes	19 153.97	53 251.17	33 865.12	41 675.45	41 003.20	57 810.39	38 180.46
醇类 alcohols	9 607.66	24 247.42	11 492.06	12 139.43	26 709.19	11 966.83	11 340.61
炔类 hydrocarbons	782.84	1 952.92	1 897.95	720.40	1 178.79	383.14	1 021.79
酯类 esters	2 537.52	2 554.83	2 207.52	4 349.87	3 085.62	4 435.34	2 001.05
其他	1 342.14	5 584.95	2 837.16	5 070.54	6 097.51	4 545.84	3 613.91
总计	39 091.65	98 526.35	57 020.36	70 021.02	88 411.32	89 814.15	63 236.48

由表3可知,“金棚1号”番茄果实的挥发性物质主要为醛类、醇类、酮类、炔类和酯类。其中醛类含量最高,醇类和酮类次之,炔类和酯类物质较低,其中还包含一些其他未分类化合物。硼肥处理后,L2处理酮类和酯类物质含量、L3和W2处理炔类物质含量及W3处理酯类物质含量少于对照处理同类物质含量,其余各处理炔类、酯类、酮类物质含量均高于对照。各处理醇类和醛类物质含量都明显高于对照,说明不同硼肥处理及不同施肥方式对“金棚1号”番茄果实的挥发成分含量有一定的影响。

从表3可以得到,相同质量浓度硼肥不同施用方式下各处理挥发性物质含量有较大差异,L1处理除醇类和酯类物质含量低于W1处理外,其他物质含量均高于W1处理;W2处理除炔类物质含量低于L2处理外,其他物质含量均高于L2处理;L3处理除酮类和炔类含量低于W3处理外,其他挥发性物质含量均高于W3处理。此外,还可得知相同施肥方式施用不同质量浓度硼肥各处理中果实挥发性物质含量也存在较大差异,叶面喷施硼肥,随着硼肥质量浓度升高各物质含量大体呈先降低再升高的趋势,其中L1处理中各挥发性物质含量均为最高,L1、L2、L3各处理挥发性物质含量差异较大,按从高到低顺序为:L1>L3>L2;营养液混施硼肥,随着硼肥质量浓度增加各物质含量大体呈先升高后下降的趋势,其中W2处理除醇类和炔类物质外其余物质含量均为最高,W1、W2处理挥发性物质总含量差异较小,W3含量最低,按高低顺序为:W2>W1>W3。由此表明,不同硼肥处理及不同施肥方式番茄果实之间的挥发性物质含量存在一定差异,硼肥处理以及施肥方式的改变均可以对番茄果实挥发性物质含量及种类造成一定影响。

2.3 硼肥对“金棚1号”番茄果实特征香气成分含量的影响

表4 不同硼肥质量浓度及施用方式条件下“金棚1号”番茄果实的特征香气成分及其含量

Table 4 Characteristic aroma components and their contents in “Jinpeng No.1” tomato fruit under different boron fertilization rates and methods

序号	挥发物质成分	风味描述	$\mu\text{g/kg}$						
			CK	L1	L2	L3	W1	W2	W3
1	3-甲基丁醛 butanal, 3-methyl-	苹果香	—	20.33	—	—	—	32.89	15.63
7	3-甲基丁醇 1-butanol, 3-methyl-	杏仁香	53.15	144.48	61.72	183.45	119.18	44.85	124.51
11	顺-3-己烯醛 3-hexenal	果香	24.70	38.63	20.39	41.81	24.69	40.02	7.62
31	6-甲基-5-庚烯-2-酮 5-hepten-2-one, 6-methyl-	果香	2 989.32	5 775.30	2 593.25	3 604.59	5 139.03	6 290.40	3 935.44
13	反式-2-己烯醛 2-hexenal, (E)- 果香味含量总计	绿苹果香	174.64	—	269.05	598.72	388.67	732.85	346.73
			3 241.81	5 978.75	2 944.42	4 428.57	5 671.57	7 141.00	4 429.93
15	顺-3-己烯-1-醇 (Z)-3-hexen-1-ol	青叶香	1 794.47	5 847.27	3 239.07	3 600.38	4 228.15	2 744.64	2 355.75
25	反-2-庚烯醛 (E)-2-heptenal	青草香	2 031.77	5 044.99	2 331.98	2 337.79	2 934.15	2 952.85	2 417.57
12	己醛 hexanal	青草香	5 406.28	22 752.57	16 273.62	18 758.43	15 924.35	27 474.29	16 710.61
40	2-异丁基噻唑 2-isobutylthiazole	绿叶香	—	3 274.68	1 731.40	4 121.32	3 911.71	2 933.36	2 013.82
56	水杨酸甲酯 methyl salicylate	冬青叶香	2 512.67	2 554.83	2 083.22	4 122.20	2 998.88	4 420.65	1 966.95
	青香味含量总计		11 745.19	39 474.34	25 659.29	32 940.11	29 997.23	40 525.78	25 464.7
41	苯乙醛 benzeneacetaldehyde	玉簪花香	—	163.77	35.22	157.25	—	130.80	115.34
52	苯乙醇 phenylethyl alcohol	玫瑰香	135.73	183.71	—	314.34	203.99	198.02	160.98
74	β -紫罗酮 trans- α -ionone	桂花香	138.62	249.62	109.93	87.79	178.21	131.78	97.94
	花香味含量总计		274.35	597.11	145.15	559.38	382.20	460.61	374.26
3	1-戊烯-3-酮 1-penten-3-one	刺激性气味	287.51	636.39	575.42	566.01	530.09	530.09	530.09
	特征香气含量总计		15 548.85	46 686.58	29 324.28	38 494.07	36 581.09	48 657.47	30 798.98

由表4可知,7种处理“金棚1号”番茄果实中共检测出14种特征香气成分^[19]。其中,CK、L2和W1处理、L1和L3处理、W2和W3处理的番茄果实种分别检测出11、12、13、14种特征香气成分。此外,本实验7种处

理的番茄果实中检测出9种共有特征香气成分,分别为1-戊烯-3-酮、3-甲基丁醇、顺-3-己烯醛、顺-3-己烯醇、己醛、反-2-庚烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、水杨酸甲酯、 β -紫罗酮,各处理间共有特征香气成分含量存在差异,其中,3-甲基丁醇、顺-3-己烯醛和2-异丁基噻唑在L3处理中含量最高;L1处理番茄果实的顺-3-己烯醇、反-2-庚烯醛、 β -紫罗酮和1-戊烯-3-酮含量最高;其余成分均为W2处理含量最高。

由表4还可得知,7个处理番茄果实的特征香气总含量从高到低排序为:W2>L1>L3>W1>W3>L2>CK。Baldwin等^[19-20]研究不同挥发性成分对番茄整体风味的具体贡献时发现,牻牛儿苗酮与番茄的风味和甜味相关;乙醛、乙酮、 β -紫罗兰酮、乙醇以及顺-3-己醇等与酸味相关,顺-3-己烯醛、1-戊烯-3-酮与苦味具有相关性;顺-3-己烯醛和涩味关系较密切,而2,3-二甲基丁醇、6-甲基-5-庚烯-2-酮与番茄风味、整体满意度、腐败味等相关联。将检测出的14种特征香气成分根据各种香气描述分为3类:果香型、青香型和花型,结果表明:不施硼肥处理各类型香气含量均为最低,除花型含量在L1处理中含量最高,W2处理次之,其余两种类型香味含量均在W2处理中最高,L1处理次之。不同处理间特征香气成分含量存在较大差异,6-甲基-5-庚烯-2-酮作为番茄红素的前体物质对番茄果实品质有较大影响,除L2处理含量低于对照,其余处理均显著高于对照,其中在W2处理中含量最高,L1处理次之。由此可见,施硼处理后番茄果实的特征芳香物质种类和含量均高于不施硼的处理,不同施硼水平、不同施硼方式对特征香气成分与含量也有一定影响,叶片喷施1.9 mg/L硼酸和3.8 mg/L硼酸营养液处理番茄果实中特征香气成分含量较高,3.8 mg/L硼酸营养液与5.7 mg/L硼酸营养液处理番茄果实包含检测出所有14种特征香气成分。因此,比较各处理结果,L1、W2处理番茄果实香气表现较为丰富。

3 讨论

目前,在番茄中已报道了超过400种挥发性物质,主要包括醇类、醛类、酮类、酯类等^[21],但是只有30种挥发物质含量大于1 nL/L^[22]。1993年,Buttery^[23]确定了番茄果实中挥发性物质含量大于1 nL/L的29种物质的浓度、阈值、对数阈值单位等,在这些成分中,对数阈值单位大于0的有16种,Baldwin等^[19]认为这16种成分就是番茄的主要特征效应化合物。本实验利用SPME-GC-MS联用技术对新鲜番茄果实进行分析鉴定,共检测出79种挥发性物质,其中包含14种特征效应化合物,分别为:3-甲基丁醛、3-甲基丁醇、顺-3-己烯醛、顺-3-己烯醇、6-甲基-5-庚烯-2-酮、反-2-己烯醛、反-2-庚烯醛、己醛、

2-异丁基噻唑、水杨酸甲酯、苯乙醛、苯乙醇、 β -紫罗酮、1-戊烯-3-酮,而 β -大马酮、1-硝基-2-乙基苯等一些特征效应化合物在本实验中未能检出,可能是番茄品种和栽培条件不同所致。

Buttery等^[23]的研究表明,顺-3-己烯醛、顺-3-己烯醇、己醛、1-戊烯-3-酮、3-甲基丁醇、反-2-己烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、2-异丁基噻唑、水杨酸甲酯、 β -紫罗酮这10种物质在适当的用量条件下混合,就可以获得新鲜成熟番茄的芳香味道。本研究发现,3.8 mg/L硼酸营养液处理番茄果实上述成分含量最高,叶片喷施1.9 mg/L硼酸处理次之,不施硼肥的番茄果实含量最低,说明不同施硼水平及施硼方式会影响番茄的风味。李梅兰等^[4]的研究表明,番茄红素作为番茄中主要的活性物质,硼会影响番茄红素的合成,适量提高施加的硼肥质量浓度会提高番茄中番茄红素的含量,过量硼肥会降低番茄红素的含量。挥发性物质中6-甲基-5-庚烯-2-醇和6-甲基-5-庚烯-2-酮的前体物质均为番茄红素^[24-25],本实验不施硼肥番茄果实中6-甲基-5-庚烯-2-酮含量最低,营养液混施硼肥处理的6-甲基-5-庚烯-2-酮含量的趋势与李梅兰等^[4]研究结果一致,而叶面喷施硼肥其含量呈先上升后下降趋势,其可能是不同施硼水平和施硼方式对番茄中硼的吸收与转运有一定影响。类胡萝卜素作为番茄中重要风味物质的前体,是番茄中重要活性物质之一,而香叶基丙酮前体就是类胡萝卜素^[26],它是番茄特征效应化合物之一,此外2-异丁基噻唑、 β -紫罗酮、1-戊烯-3-酮作为番茄特征效应化合物对番茄风味品质有重要作用^[24,27],施用硼肥对上述物质含量均有一定影响,尤其在3.8 mg/L硼酸营养液和叶片喷施1.9 mg/L硼酸处理中含量较高,说明不同施硼水平和施硼方式对番茄特征效应化合物的合成有影响,可能影响了番茄中的活性物质合成。多种挥发性物质共同作用形成番茄特有风味^[28-29],目前硼肥是否会影响番茄果实香气物质的合成基因有待进一步的研究与验证。

4 结论

本实验采用叶片喷施和营养液混施硼肥对“金棚1号”番茄进行不同硼肥方式处理,以不含硼肥处理为对照,利用SPME-GC-MS技术测定各处理挥发性物质。7种处理番茄果实中共鉴定出挥发性物质79种,主要由醛类(31种)、烃类(10种)、醇类(17种)、酮类(9种)、酯类(4种)和其他物质(8种)组成,挥发性物质总含量从高到低顺序依次为:L1>W2>W1>L3>W3>L2>CK;挥发性物质中还包含了14种特征香气物质,其总含量从高到低排序为:W2>L1>L3>W1>W3>L2>CK。此外,施用硼肥增加了番茄果实中挥发

性物质种类与含量,不同施硼水平和不同施硼方式对番茄果实的香气影响不同,叶片喷施硼肥方式中叶片喷施1.9 mg/L硼酸处理的番茄挥发性物质含量及特征香气成分含量最高;而营养液混施方式中含3.8 mg/L硼酸营养液处理效果最好。各处理中以叶片喷施1.9 mg/L硼酸和3.8 mg/L硼酸营养液处理的番茄果实挥发性物质含量和特征香气成分含量较高,而3.8 mg/L硼酸营养液处理检测出14种特征香气成分,香气表现更为丰富。因此,采用含3.8 mg/L硼酸营养液方式可以使番茄果实的果香味浓厚且香气物质丰富,提高番茄的风味品质。

参考文献:

- [1] BUTTERY R G, SEIFERT R M, GUADAGNI D G, et al. Characterization of additional volatile of tomato[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1971, 19(3): 524-529. DOI:10.1021/jf60175a011.
- [2] KRUMBEIN A, PETERS P, BRÜCKNER B. Flavour compounds and a quantitative descriptive analysis of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) of different cultivars in short-term storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32: 15-28. DOI:10.1016/j.postharvbio.2003.10.004.
- [3] 刘明池,郝静,唐晓伟,等.番茄果实芳香物质的研究进展[J].中国农业科学,2008,41(5):1444-1451. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2008.05.024.
- [4] 李梅兰,吴俊华,李远新,等.不同供硼水平对番茄产量及风味品质的影响[J].核农学报,2009,23(5):875-878.
- [5] 侯雷平,吴俊华,李梅兰,等.供锌水平对番茄果实抗氧化性及风味品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(3):763-767. DOI:10.11674/zwyf.2010.0336.
- [6] 甘霖,申琳,生吉萍,等.秸秆源品质改良因子采前处理对番茄果实品质的影响[J].食品科学,2013,34(4):221-224.
- [7] 王永珍,张剑国,范树仁,等.日光温室番茄栽培施硼效应[J].山西农业科学,2011,39(8):823-825. DOI:10.3969/j.issn.1002-2481.2011.08.15.
- [8] 孙敏红,许益娟.不同营养液配方对番茄幼苗生长的影响[J].广东农业科学,2011,38(8):55-57. DOI:10.3969/j.issn.1004-874X.2011.08.023.
- [9] 张祖麟,陈伟琪,洪华生.固相微萃取法的应用及其进展[J].环境科学进展,1998,7(5):52-59.
- [10] 刘春香,何启伟,付明清.番茄、黄瓜的风味物质及研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2003,34(2):193-198. DOI:10.3969/j.issn.1000-2324.2003.02.009.
- [11] 赖毅东,宁正祥.固相微萃取技术及其在食品挥发性物质分析中的应用[J].食品与机械,2002(5):36-38. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2002.05.017.
- [12] 杨明惠,陈海丽,唐晓伟,等.不同栽培季节番茄果实芳香物质的比较[J].中国蔬菜,2009(18):8-13.
- [13] 郝丽宁,陈书霞,王聪颖,等.不同基因型黄瓜果实芳香物质组成及含量差异研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(6):139-146.
- [14] BALDWIN E A, NISPEROS-CARRIEDO M A, BAKER R, et al. Quantitative analysis of flavor parameters in six florida tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39: 1135-1140. DOI:10.1021/jf00006a029.
- [15] SCHWAB W, DAVIDOVICH-RIKANATI R, LEWINSOHN E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds[J]. The Plant Journal, 2008, 54(4): 712-732. DOI:10.1111/j.1365-313X.2008.03446.x.
- [16] 张红梅,常明勋,何玉静.固相微萃与GC-MS联用分析水蜜桃挥发性成分[J].食品科学,2009,30(20):391-393.
- [17] 常培培,梁燕,张静,等.5种不同果色樱桃番茄品种果实挥发性物质及品质特性分析[J].食品科学,2015,35(22):215-221. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201422042.
- [18] 常培培,张静,杨建华,等.紫色番茄果实挥发性风味物质分析[J].食品科学,2014,35(14):165-169. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201414032.
- [19] BALDWIN E A, SCOTT J W, SHEWMAKER C K, et al. Flavor trivia and tomato aroma: biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components[J]. Hortscience, 2000, 35(6): 1013-1022. DOI:10.1002/9781444302493.ch5.
- [20] BALDWIN E A, SCOTT J W, EINSTEIN M A, et al. Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1998, 123(5): 906-915. DOI:10.17660/ActaHortic.2003.600.70.
- [21] BUTTERY R G, TAKEOKA G R. Some unusual minor volatile components of tomato[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(20): 6264-6266. DOI:10.1021/jf040176a.
- [22] AZOUDANLOU R, DARBELLAY C, LUISIER J L, et al. Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots[J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36: 223-233. DOI:10.1016/S0023-6438(02)00204-9.
- [23] BUTTERY R G. Quantitative and sensory aspects of flavour of tomato and other vegetables and fruits[M]//ACREE T E, TERANISHI R. Flavor science: sensible principles and techniques. American Chemical Society, Washington DC, 1993: 259-285.
- [24] BALDWIN E, GOODNE R K, PLOTTO A. Interaction of volatiles, sugars, and acids on perception of tomato aroma and flavor descriptors[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(6): 294-307. DOI:10.1111/j.1750-3841.2008.00825.x.
- [25] ORTIZ-SERRANO P, GIL J V. Quantitative comparison of free and bound volatiles of two commercial tomato cultivars (*Solanum lycopersicum* L.) during ripening[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 58(2): 1106-1114. DOI:10.1021/jf903366r.
- [26] TIEMAN D M, ZEIGLER M, SCHMELZ E A, et al. Identification of loci affecting flavour volatile emissions in tomato fruits[J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(4): 887-896. DOI:10.1093/jxb/erj074.
- [27] PIOMBINO P, SINESIO F, MONETAE E, et al. Investigating physicochemical, volatile and sensory parameters playing a positive or a negative role on tomato liking[J]. Food Research International, 2012, 50(1): 409-419. DOI:10.1016/j.foodres.2012.10.033.
- [28] LECOMTE L, GAUTIER A, LUCIANI A, et al. Recent advances in molecular breeding: the example of tomato breeding for flavor traits[J]. Acta Horticulturae, 2004, 637: 231-242. DOI:10.17660/ActaHortic.2004.637.28.
- [29] KIRKP M, CANNON P F, DAVID J C, et al. Ainsworth and baby's dictionary of fungi[M]. 9th ed. Wallingford: CAB International, 2001.