

# 不同类型钾肥对‘新梨7号’果实风味品质的影响

魏树伟, 王少敏\*, 董肖昌, 张勇, 董冉, 冉昆, 王宏伟

(山东省果树研究所, 山东泰安 271000)

**摘要:**【目的】探讨不同类型钾肥对梨果实糖酸、香气等风味品质的影响。【方法】以‘新梨7号’为研究对象, 不同类型钾肥试验设置了3个处理: T1 氯化钾、T2 硫酸钾、T3 硝酸钾, 以不施用钾肥为对照, 于生长季节进行土施。【结果】不同类型钾肥处理‘新梨7号’果实的总糖含量显著高于对照, 以T2 硫酸钾处理果实总糖含量最高, 较对照提高34.55%, 其次为T3 硝酸钾处理, 再次为T1 氯化钾处理。硫酸钾处理果实果糖、葡萄糖、蔗糖含量均为最高, 分别比氯化钾处理提高了15.96%、27.32%、52.81%, 比硝酸钾处理提高了11.36%、27.75%、20.45%。不同类型钾肥处理‘新梨7号’果实的总酸含量均高于对照, 以T3 硝酸钾处理果实总酸含量最高, 较对照提高103.68%, 其次为T2 硫酸钾处理, 再次为T1 氯化钾处理。对照和钾处理‘新梨7号’果实均以苹果酸含量最高, 除氯化钾处理以富马酸含量最低外, 其余均以酒石酸含量最低。不同类型钾肥处理对‘新梨7号’果实有机酸含量的影响不同。钾肥处理‘新梨7号’果实的挥发性香气物质种类和含量均显著高于对照。不同类型钾肥处理对‘新梨7号’果实香气物质种类存在差异, 其中氯化钾处理果实香气物质种类最多, 为78种, 果实香气物质总含量以硫酸钾处理最高, 为746.8 ng·g<sup>-1</sup>。【结论】钾肥处理提高了‘新梨7号’梨果实糖酸、香气等风味品质, 以硫酸钾处理效果最好。

**关键词:**‘新梨7号’梨; 钾; 果实; 糖; 酸; 香气

中图分类号: S661.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)Suppl.-101-08

## Effect of different K fertilizers on fruit flavor quality of ‘Xinli No. 7’ pears

WEI Shuwei, WANG Shaomin\*, DONG Xiaochang, ZHANG Yong, DONG Ran, RAN Kun, WANG Hongwei

(Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271000, Shandong, China)

**Abstract:** 【Objective】The experiment was performed to investigate the effect of different potassium fertilizers on fruit flavor quality of ‘Xinli No. 7’ pears. 【Methods】Three treatments of potassium chloride (T1), potassium sulfate (T2) and potassium nitrate (T3), were applied in the soil during the growing season, with no K fertilizer for comparison (CK). 【Results】The results showed that sugar contents of in the fruit with different types of K fertilizer treatments were significantly higher than the control, fruits of T2 potassium sulfate had the highest total sugar content, which increased by 34.55%, compared to the control, followed by T3 potassium nitrate, and T1 potassium chloride treatment. Fructose, glucose and sucrose contents of fruits treated with potassium sulfate were 15.96%, 27.32%, 52.81%, and were higher than those of potassium chloride treatment, respectively, and were 11.36%, 27.75% and 27.75% higher than potassium nitrate treatment. Total acid contents of the fruit treated with different types of potassium were higher than those of the control, total acid content in fruits treated with T3 potassium nitrate was the highest, 103.68% higher than the control, followed by T2 potassium sulfate treatment, and again for T1 potassium chloride treatment. Malic acid content was the highest in CK and potassium-treated pear fruits. Except the fumaric acid content in the fruit treated with potassium chloride was the lowest, the

收稿日期: 2018-11-06 接受日期: 2018-12-28

基金项目: 国家梨产业技术体系(CARS-28-36); 山东省农科院农业科技创新工程(CXGC2018F03); 山东省重大科技创新工程(2018CXGC0208); 国家自然科学基金(31601708); 山东省农业良种工程(2016LZGC034); 山东省农科院青年基金(2015YQN40); “十二五”农村领域国家科技计划(2014BAD16B03-4)

作者简介: 魏树伟, 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事梨栽培育种研究。E-mail: weishuwei2018@shandong.cn

\*通信作者 Author for correspondence. E-mail: wangshaomin@shandong.cn

content of tartaric acids with the rest treatments was the lowest. The effects of different types of K fertilizer treatments on organic acid contents of ‘Xinli No. 7’ pear fruits varied with different varieties, and the content of aroma volatile with K fertilizer treated fruits were significantly higher than the control. The change of fruit aroma volatile with different types of K fertilizer treatment was different, among them the types of aroma volatile materials in the fruit treated with potassium chloride were up to 78, and the total content of fruit aroma volatile with potassium sulphate treatment was up to 746.8 ng·g<sup>-1</sup>.

**【Conclusion】**The K fertilizer treatment improves the sugar and acid contents as well as aroma flavor quantity of ‘Xinli No.7’ pear fruits, and the potassium sulfate treatment is the most reasonable.

**Key words:** ‘Xinli No. 7’ pear; Potassium; Fruit; Sugar; Acid; Fragrance

钾是植物代谢最重要的营养元素之一<sup>[1]</sup>,在植物生长发育过程起着重要作用,梨树生长发育各个阶段都需要有钾的存在。钾对果树的作用主要表现在影响果实品质和光合能力上,所以被称为“品质元素”。何忠俊等<sup>[2]</sup>研究表明,钾可以提高‘砀山’酥梨百叶质量和叶绿素含量,提升果实品质。孙骞等<sup>[3]</sup>研究发现,猕猴桃施用钾肥可增加叶片叶绿素含量,提高光合能力。曲桂敏等<sup>[4]</sup>在苹果上的研究表明,施用钾肥可以通过提高光合效率、降低蒸腾效率来改善苹果树的水分利用效率。余倩倩等<sup>[5]</sup>研究表明,合理施用钾肥可以提升锦橙幼树的株高及各组织的钾含量。王英珍等<sup>[6]</sup>研究表明,在适宜的浓度下,钾可以促进梨树生长,提高叶片光合效率。武晓等<sup>[7]</sup>研究表明,施钾促进了‘黄冠梨’树体对钾素的吸收,果实产量和品质随施钾量增加有不同程度的提高。

以上研究结果表明,钾对果树叶片生长和果实发育具有重要作用,但是钾肥对梨果实香气等风味品质的影响却未见报道。鉴于此,笔者以‘新梨7号’梨果实为试验材料,研究了不同类型钾肥对梨果实糖酸、香气等风味品质的影响,旨在为梨树生产中合理施用钾肥、提高梨果实品质提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

本试验于2017—2018年在山东省果树研究所金牛山试验基地梨园进行。梨园土壤基本养分状况见表1,常规管理。‘新梨7号’梨树5 a(年)生,砧木杜梨,株行距1 m×4 m,管理水平中等,中庸树势,每666.7 m<sup>2</sup>产量为2 000 kg左右,单株产量12 kg左右。选择树相、负载量等相近的树进行试验,每个处理5株树,试验设3次重复。

表 1 试验梨园土壤基本养分状况

Table 1 The nutrient elements of the soil in the experimental orchard

土壤深度 Soil depth/cm	pH	w(有机质) Organic matter content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(全氮) Total N content/ (g·kg <sup>-1</sup> )	w(有效磷) Available P content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(速效钾) Available K content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(有效硼) Available B content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(有效铁) Available Fe content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(有效铜) Available Cu content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	w(有效锌) Available Zn content/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
0~25	7.28	16.13	1.10	49	219	0.66	11.10	6.01	2.34
25~50	7.30	8.67	0.90	14	156	0.43	7.12	2.30	1.01

不同类型钾肥试验处理参考王英珍等<sup>[6]</sup>、武晓等<sup>[7]</sup>的方法,试验设置3个处理,分别为T1硫酸钾、T2硝酸钾、T3氯化钾,以不施用钾肥为对照(CK)。钾肥施用量参考武晓等<sup>[7]</sup>300 kg·hm<sup>-2</sup>。T1、T3处理根据T2处理补充同量的氮肥。试验处理钾肥分别于萌芽前和膨大期按照60%:40%的比例施入。

试验树的其他管理措施一致,7月25日左右采收果实,从每棵树东、南、西、北四个方位采集果实样品。每个处理挑选成熟度适宜,无病虫、无机械损伤、具有该品种典型特征的果实采收,混匀,每处理

选100个果实运回实验室,立即进行处理。果实去核切碎,一部分用于果实糖酸含量测定,一部分用于果实香气测定。

### 1.2 试验测定指标及方法

果实糖酸、香气参考魏树伟等<sup>[8]</sup>的方法测定。

果实糖酸组分的提取与测定。准确称取5 g果肉,用15 mL 80%(φ)酒精研磨后,水浴(75 ℃)30 min,然后离心(4 000 r·min<sup>-1</sup>)5 min,将上清液转至25 mL容量瓶中,余下的沉淀再加入10 mL 80%酒精继续水浴(75 ℃)30 min,离心(4 000 r·min<sup>-1</sup>)5

min后,转移上清液至上述25 mL容量瓶中并定容,将该提取液于60 °C条件下蒸干,残渣用5 mL重蒸水溶解,待测。测定采用高效液相色谱法,分析仪器为美国510型Waters高效液相色谱仪。用于糖组分分析的色谱柱为氨基柱Kromasil 250 mm×4.6 mm,流动相为乙腈:水(80:20);流速:1 mL·min<sup>-1</sup>;进样量:15 μL;使用RID 10-A示差折光检测器。用于有机酸分析的色谱柱为C18 Kromasil 250 mm×4.6 mm;流动相为10 mmol·L<sup>-1</sup>磷酸二氢铵(磷酸调pH至2.8):甲醇(97:3);流速:0.9 mL·min<sup>-1</sup>;进样量:10 μL,使用Waters 2487双波长紫外检测器,检测波长:214 nm。利用N2000色谱工作站(Ver.3.30)计算糖酸组分含量。

果实挥发性香气物质测定,果实采用四分法去除果核后迅速切成碎块(长宽高均0.2 cm左右)并混匀,准确称取5 g样品放入样品瓶中,在10 mL样品瓶底部加入内标物3-壬酮(0.4 mg·mL<sup>-1</sup>)10 μg,用聚四氟乙烯丁基合成橡胶隔片密封。果实挥发性成分的提取与测定分别利用Perkin Elmer Turbo Matrix 40 Trap顶空进样器和Shimadzu GCMS-QP2010气相色谱-质谱联用仪,采用静态顶空气相质谱联用技术进行。挥发性成分的定性方法:未知化合物质谱图经计算机检索同时与NIST05质谱库相匹配,并

结合人工图谱解析及资料分析,确认各种挥发性成分;定量方法:按峰面积归一化法求得各化合物相的质量百分含量,并选择3-壬酮为内标进行精确定量。

试验数据用Microsoft Excel 2010处理。采用DPS数据处理软件进行方差、相关性分析,用t检测进行平均数的显著检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型钾肥处理对‘新梨7号’果实糖酸的影响

研究表明(表2),钾肥处理‘新梨7号’果实的总糖含量均显著高于对照,其中T2硫酸钾处理果实总糖含量最高,较对照提高34.55%,其次为T3硝酸钾处理,较对照提高15.67%,再次为T1氯化钾处理,较对照提高12.16%。不同类型钾肥处理‘新梨7号’果实的总酸含量高于对照,其中T3硝酸钾处理果实总酸含量最高,较对照提高103.68%,其次为T2硫酸钾处理,较对照提高53.16%,再次为T1氯化钾处理,较对照提高38.96%。

研究表明,对照和钾处理‘新梨7号’果实均以果糖含量最高,葡萄糖次之,蔗糖含量最低。硫酸钾处理果实果糖、葡萄糖、蔗糖含量均为最高,分别比氯化钾处理提高了15.96%、27.32%、52.81%,比硝酸

表2 钾素形态对‘新梨7号’果实糖酸的影响

Table 2 Effects of different potash fertilizers on sugar and acid of ‘Xinli No. 7’ pear fruit

处理 Treatment	CK	T1	T2	T3
w(蔗糖) Sucrose content/(mg·g <sup>-1</sup> )	0.45 D	0.94 C	1.43 A	1.19 B
w(葡萄糖) Glucose content/(mg·g <sup>-1</sup> )	13.25 C	18.15 B	23.11 A	18.09 B
w(果糖) Fructose content/(mg·g <sup>-1</sup> )	39.89 D	41.02 C	47.57 A	42.71 B
w(总糖) Total sugar content/(mg·g <sup>-1</sup> )	53.59 D	60.11 C	72.10 A	61.99 B
w(苹果酸) Malic acid content/(μg·g <sup>-1</sup> )	310.11 D	415.02 C	510.09 B	852.35 A
w(草酸) Oxalate content/(μg·g <sup>-1</sup> )	145.23 D	241.55 A	172.47 B	167.87 C
w(酒石酸) Tartaric acid content/(μg·g <sup>-1</sup> )	4.68 C	8.34 A	4.85 B	4.56 D
w(奎宁酸) Quinic acid content/(μg·g <sup>-1</sup> )	145.63 D	183.53 B	212.37 A	175.38 C
w(柠檬酸) Citric acid content/(μg·g <sup>-1</sup> )	20.31 D	25.28 C	54.22 B	81.49 A
w(富马酸) Fumaric acid content/(μg·g <sup>-1</sup> )	7.00 C	5.87 D	15.44 A	7.55 B
w(总酸) Total acid content/(μg·g <sup>-1</sup> )	632.96 D	879.59 C	969.45 B	1 289.20 A

注:不同大写字母表示在 $\alpha=0.01$ 水平上差异显著。

Note: Different small letters indicate significant difference at  $\alpha=0.01$ .

钾处理提高了11.36%、27.75%、20.45%。

对照和钾处理‘新梨7号’果实均以苹果酸含量最高,除氯化钾处理以富马酸含量最低外,其余均以酒石酸含量最低。不同类型钾肥处理对‘新梨7号’果实有机酸含量的影响不同,硝酸钾处理果实中苹

果酸、柠檬酸含量最高,氯化钾处理果实中草酸和酒石酸含量最高,硫酸钾处理果实中奎宁酸含量最高。

### 2.2 不同类型钾肥处理对‘新梨7号’果实香气的影响

由表3可知,钾肥处理‘新梨7号’果实的挥发性

表 3 不同类型钾肥形态对‘新梨 7 号’果实香气的影响  
 Table 3 Effect of different potash fertilizers on aroma of ‘Xinli No. 7’ pear fruits

化合物名称 Volatiles	T1	T2	T3	CK
酯类 Esters				
己酸乙酯 Caproic acid vinyl ester	0	0	8.626±0.800	0
(Z)甲酸-3-己烯-1-酯 3-Hexen-1-ol, formate, (Z)-	0	35.700±1.350	0	0
甲酸庚酯 Formic acid, heptyl ester	0	0.804±0.020	0	0
乙酸己酯 Acetic acid, hexyl ester	9.646±0.680	11.53±1.050	5.129±0.420	2.382±0.130
乙酸辛酯 Acetic acid, octyl ester	0	0.117±0.080	0	0
丙酸己酯 Propanoic acid, hexyl ester	0.107±0.060	0.041±0.010	0	0
2-甲基丙酸-4-甲基戊酯 Propanoic acid, 2-methyl-, 4-methylpentyl ester	0.206±0.020	0.238±0.018	0	0
丁酸-4-己烯-1-酯 Butanoic acid, 4-hexen-1-yl ester	1.520±0.120	6.624±0.580	2.875±0.180	0.559±0.040
丁酸己酯 Butanoic acid, hexyl ester	2.173±0.180	4.329±0.110	1.501±0.130	0.378±0.020
辛酸乙酯 Octanoic acid, ethyl ester	0.665±0.050	1.140±0.070	0.671±0.040	0
7-辛烯酸甲酯 7-Octynoic acid, methyl ester	0	0	0	0.089±0.010
壬酸乙酯 Nonanoic acid, ethyl ester	0	0.501±0.020	0.212±0.010	0
2-甲基丁酸己酯 Butanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester	0.221±0.010	0	0.229±0.011	0
2-甲基丙酸-3-羟基-2,2,4-三甲基戊酯 Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester	4.741±0.250	1.502±0.130	1.629±0.130	0.432±0.020
十一-10-羧酸十二酯 Undec-10-ynoic acid, dodecyl ester		0	0.058±0.010	0
己酸-4-己烯-1-酯 Hexanoic acid, 4-hexen-1-yl ester	0.510±0.030	0	0.495±0.030	0.176±0.020
己酸己酯 Hexanoic acid, hexyl ester	0.487±0.020	1.170±0.030	0.342±0.020	0.124±0.010
十七酸乙酯 Heptadecanoic acid, ethyl ester		0	0.043±0.001	0
棕榈酸甲酯 Ethyl 14-methyl-hexadecanoate	0	0	0.029±0.008	0
十六酸甲酯 Hexadecanoic acid, methyl ester	0	0	0.070±0.002	0
十二酸壬酯 Dodecyl nonyl ether	0.413±0.030	0	0	0
十三酸酯乙酯 Ethyl tridecanoate	0.270±0.015	0.402±0.021	0	0
二十酸辛酯 Eicosyl octyl ether	0.399±0.015	0.192±0.011	0	0
十五酸乙酯 Pentadecanoic acid, ethyl ester	0.074±0.005	0	0	0
十四酸乙酯 Tetradecanoic acid, ethyl ester	0.036±0.003	0	0	0
二十七酸甲酯 Heptacosanoic acid, methyl ester	0.057±0.002	0.114±0.008	0	0
醇类 Alcohols				
乙醇 Ethanol	0	0.436±0.018	0.233±0.012	0
1-庚醇 1-Heptanol	0	0	0.725±0.026	0
2-辛醇 2-Octanol	91.140±2.800	215.000±5.800	185.400±4.500	20.360±3.800
2-乙基-1-己醇 1-Hexanol, 2-ethyl-	0	1.445±0.120	0.720±0.056	0
2-乙基-1-癸醇 1-Decanol, 2-ethyl-	0.492±0.022	0	0	0
1-辛醇 1-Octanol	0.467±0.024	0.861±0.055	0.851±0.64	0
1,2-庚二醇 1,2-Heptanediol	0	1.144±0.059	0	0
2,3,4-三甲基-5-己烯-3-醇 2,3,4-Trimethyl-5-hexen-3-ol	0.196±0.016	0	0	0
3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol, (Z)-	0	0	0	13.110±0.800
2-己烯-1-醇 2-Hexen-1-ol, (Z)-	0	0	0	2.523±0.170
5-甲基-2-庚醇 2-Heptanol, 5-methyl-	0	0	0	67.990±3.600
1-壬烯-4-醇 1-Nonen-4-ol	0.858±0.054	0	2.635±0.130	0.469±0.022
乙酸-2-辛醇 2-Octanol, acetate	0.097±0.002	0.134±0.079	0.127±0.060	0
1-壬醇 1-Nonanol	0	0.647±0.036	0.699±0.043	0.123±0.011
1-己醇 1-Hexanol	0	0	0	24.480±2.800
1-十二醇 1-Dodecanol	0	0.070±0.005	0	0
顺式-7-十二烯-1-醇 <i>Cis</i> -7-Dodecen-1-ol	0	0.082±0.030	0	0
<i>E</i> -11,13-十四基二烯-1-醇 <i>E</i> -11,13-Tetradecadien-1-ol	0.663±0.045	0.185±0.013	0	0
1-十一醇 1-Undecanol	0.042±0.002	0.076±0.001	0	0
异薄荷醇 dl-Isopulegol	0	0.066±0.001	0	0
2,2-二甲基-1-癸醇 1-Decanol, 2,2-dimethyl-	0	0	0.288±0.015	0
<i>n</i> -十三-1-醇 <i>n</i> -Tridecan-1-ol	0.580±0.012	0.818±0.02	0.559±0.018	0
薄荷醇 <i>o</i> -Mentha-1(7),8-dien-3-ol	0	0.447±0.021	0	0

表3(续) Table 3 (continued)

w/(ng·g<sup>-1</sup>)

化合物名称 Volatiles	T1	T2	T3	CK
2-甲基环丁醇 Octadecane, 2-methyl-	0	0.203±0.013	0	0
2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentenediol diisobutyrate	1.553±0.060	0.57±0.028	0.514±0.026	0
n-十五醇 n-Pentadecanol	0.245±0.017	0	0	0
6,11-二甲基-2,6,10-十二碳三烯-1-醇 6,11-Dimethyl-2,6,10-dodecatrien-1-ol	0.104±0.006	0	0.064±0.002	0
醛类 Aldehydes				
2-甲基正丁醛 Butanal, 2-methyl-	0.125±0.011	1.208±0.070	0	0
己醛 Hexanal	249.400±2.800	217.800±3.100	238.600±3.600	124.880±0.450
反式-2-己烯醛 2-Hexenal, (E)-	285.400±3.500	172.500±2.400	149.600±1.600	31.660±1.300
(E,E)-2,4-十六二烯醛 2,4-Hexadienal, (E, E)-	14.050±0.560	11.680±0.370	6.960±0.290	1.350±0.070
2-庚烯醛 2-Heptenal, (Z)-	0.348±0.022	0	0	0
2,4-壬二醛 2,4-Nonadienal	1.878±0.060	0	0	0
(E)-2-辛烯醛 2-Octenal, (E)-	0.073±0.002	0.479±0.003	0.295±0.011	0
2-己烯醛 2-Hexenal	0	0	0	54.170±1.900
壬醛 Nonanal	4.579±0.170	11.280±0.390	9.271±0.280	0.943±0.030
(R)-3,7-二甲基-6-辛烯醛 6-Octenal, 3,7-dimethyl-, (R)-	0	0	0.075±0.002	0
13-甲基四醛 13-Methyltetradecanal	0.101±0.009	0.238±0.011	0.183±0.007	0
十二醛 Dodecanal	0.522±0.013	1.130±0.087	1.009±0.036	0
(Z)-2-癸烯醛 2-Decenal, (Z)-	0	0.080±0.001	0.077±0.003	0
(Z)-14-甲基-8-十六烯醛 8-Hexadecenal, 14-methyl-, (Z)-	0.124±0.005	0	0	0
酮类 Ketones				
2-己炔-1-酮 2-Hexyn-1-ol	2.162±0.050	1.351±0.060	1.165±0.040	0.130±0.010
4-己烯-1-酮 4-Hexen-1-ol	0	0	49.340±1.350	0
2,5-辛二酮 2,5-Octanedione	8.150±0.560	0	0	0
2-甲基-1-庚烯-6-酮 1-Hepten-6-one, 2-methyl-	0	7.873±0.320	0	0
2,3-二辛酮 2,3-Octanedione	0	0	0	2.279±0.090
2-辛酮 2-Octanone	5.239±0.130	11.680±0.250	9.008±0.120	1.286±0.050
3-辛酮 3-Octanone	0	0	0.218±0.010	0
3-(羟基甲基)-2-壬酮 2-Nonanone, 3-(hydroxymethyl)-	0	0	0.662±0.012	0
2-癸酮 2-Decanone	0	0	0.230±0.008	0
2-甲基-6-甲烯辛基-7-烯-4-酮 2-Methyl-6-methyleneoct-7-en-4-one	0.405±0.013	0	0	0
2-壬酮 2-Nonanone	0.703±0.034	0.612±0.024	0	0
2-十一酮 2-Undecanone	0.295±0.007	0.351±0.011	0	0
(E)-6,10-二甲基-5,9-甲二烯-2-酮 5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	0.399±0.014	0.407±0.022	0.263±0.013	0
反式-β-紫罗酮 <i>Trans</i> -β-Ionone	0	0.371±0.011	0	0
其他 Others				
环丙烷三甲烯 Cyclopropane, trimethylmethylene-	1.360±0.080	0	0	0
2,6-二甲基壬烷 Nonane, 2,6-dimethyl-	0	0.707±0.013	0	0
2,3,6-三甲基辛烷 Octane, 2,3,6-trimethyl-	0	0.182±0.006	0	0
十一烷 Undecane	0	0.079±0.003	0	0
4-甲基癸烷 Decane, 4-methyl-	0.633±0.012	0	0	0.192±0.005
5-丁基-壬烷 Nonane, 5-butyl-	0.217±0.013	0.474±0.011	0.201±0.007	0
3,7-二甲基癸烷 Decane, 3,7-dimethyl-	0.072±0.002	0	0	0.250±0.009
3-乙基-3-甲基庚烷 3-Ethyl-3-methylheptane	0	0	0.149±0.007	0
5-(2-甲丙基)-壬烷 Nonane, 5-(2-methylpropyl)-	0.095±0.002	0	0.060±0.002	0
十二烷 Dodecane	1.719±0.112	1.569±0.090	1.748±0.080	0.120±0.030
2-甲基二十四烷 2-Methyltetracosane	0.649±0.005	0.475±0.004	0.175±0.003	0
2-甲基二十六烷 2-Methylhexacosane	0	0	0.133±0.006	0
2-甲基癸烷 Decane, 2-methyl-	0	0	0	0.258±0.005
6-丙基十三烷 Tridecane, 6-propyl-	0	0	0	0.272±0.003
9-环己二十烷 Eicosane, 9-cyclohexyl-	0.122±0.006	0	0	0
7-甲基十七烷 Heptadecane, 7-methyl-	0.101±0.007	0	0	0
十四烷 Tetradecane	7.153±0.24	8.940±0.270	7.778±0.310	1.910±0.040

表3(续) Table 3 (continued)

化合物名称 Volatiles	T1	T2	T3	CK
庚炔环己烷 Heptylcyclohexane		0.078±0.002	0.073±0.001	0
10-甲基-二十烷 Eicosane, 10-methyl-	0	0.254±0.007	0.255±0.006	0
1-己基-3-甲基环十五烷 Cyclopentane, 1-hexyl-3-methyl-	0.700±0.014	0.720±0.013	0.687±0.015	0
3,5,24-三甲基-四十烷 Tetracontane, 3,5,24-trimethyl-	0	0.115±0.008	0.075±0.002	0
7,9-二甲基-十六烷 Hexadecane, 7,9-dimethyl-	0	0.096±0.003	0	0
6,10,14-三甲基-2-十五烷酮 2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl-	0	0.088±0.002	0.342±0.011	0
4-甲基壬烷 Nonane, 4-methyl-	0.128±0.003	0	0	0
2,6,11-三甲基十三烷 Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	0.143±0.005	0	0	0.082±0.002
十六烷 Hexadecane	0.308±0.007	0	0	0
2,6,10-三甲基十三烷 2,6,10-Trimethyltridecane	0.808±0.013	0	0.476±0.011	0
5-(1-甲基丙基)-壬烷 Nonane, 5-(1-methylpropyl)-	0.292±0.009	0	0	0
1-戊基-2-丙基-环戊烷 Cyclopentane, 1-pentyl-2-propyl-	0	0	0.039±	0
10-甲基-二十一烷 Heneicosane, 10-methyl-	0.327±0.011	0.291±0.013		0
5-甲基-十四烷 Tetradecane, 5-methyl-	0.482±0.002	0.764±0.003	0.457±0.005	0
4-甲基-十四烷 Tetradecane, 4-methyl-	0.459±0.013	0.177±0.008	0.152±0.007	0
3-甲基十四烷 Tetradecane, 3-methyl-	0.239±0.008	0.229±0.009	0.272±0.011	0
癸基-环丙烷 Cyclohexane, decyl-	0	0	0.404±0.014	0
十五烷 Pentadecane	1.296±0.090	1.386±0.110	1.354±0.080	0.110±0.030
5,8-二甲基-十二烷 Dodecane, 5,8-diethyl-	0	0	0	0.075±0.003
2,4-二甲基-十一烷 Undecane, 2,4-dimethyl-	0	0	0	0.068±0.002
2,4-二甲基十二烷 2,4-Dimethyldodecane	0	0	0.252±0.009	0
2,4-二甲基二十烷 Eicosane, 2,4-dimethyl-	0.312±0.013	0	0.139±0.007	0
7-己基-二十烷 Eicosane, 7-hexyl-	0.317±0.012	0	0	0
3-甲基十五烷 Pentadecane, 3-methyl-	0.356±0.011	0	0.209±0.010	0
4-环己基-十三烷 Tridecane, 4-cyclohexyl-	0	0.391±0.002	0.246±0.006	0
4-环己基-十一烷 Undecane, 4-cyclohexyl-	0.083±0.001	0	0	0
二十烷 Eicosane	1.614±0.060	2.164±0.011	1.709±0.012	0
5,15-二甲基十九烷 5,15-Dimethylnonadecane	0.111±0.005	0	0	0
1,3,5-环三己烯 1,3,5-Cycloheptatriene	0	0.188±0.01	0	0
2,3,3-三甲基-1-戊烯 1-Pentene, 2,3,3-trimethyl-	0.201±0.003	0	0	0
2-乙基-己酸 Hexanoic acid, 2-ethyl-	0.197±0.001	0.151±0.002	0	0
4-乙基-3-十七烯 3-Heptene, 4-ethyl-	0	0	0.399±0.012	0
1-壬炔 1-Nonyne	0	0	0.261±0.003	0
1-壬烯 1-Nonene	0	0	0.156±0.011	0
1-十三烯 1-Tridecene	0	0	0.102±0.002	0
顺-3-己基- $\alpha$ -甲基丁 顺-3-Hexenyl- $\alpha$ -methylbutyrate	0.221±0.009	0.360±0.012	0.267±0.006	0
壬酸 Nonanoic acid	0	0.273±0.009	0.170±0.005	0
n-癸酸 n-Decanoic acid	0.232±0.008	0	0	0
$\alpha$ -金合欢烯 $\alpha$ -Farnesene	0.406±0.015	0.830±0.021	0.287±0.011	0
二羟基-丙二酸 Propanedioic acid, dihydroxy-	0	0	0	13.990±0.860
总量 Total	713.268	746.609	700.707	365.190

香气物质种类和含量均显著高于对照。不同类型钾肥处理‘新梨7号’果实香气物质种类存在差异,其中以氯化钾处理果实香气物质种类最多,为78种,其次为硝酸钾处理(73种),再次为硫酸钾处理(72种),对照仅为33种。不同类型钾肥处理‘新梨7号’果实香气物质种类差异主要来自于其他类物质(包括烯烃类、酸类等),最多的氯化钾处理为32种,其次硝酸钾处理为31种,而最少的硫酸钾处理为25种。不同钾肥处理‘新梨7号’果实中,酯类物质种类最多的是硫酸钾处理,为15种,其次氯化钾、硝酸

钾处理,均为14种,对照仅为7种;醇类最多的是硫酸钾处理,为16种,其次氯化钾、硝酸钾处理,均为12种,对照仅为7种;醛类处理最多的氯化钾处理为11种,硫酸钾、硝酸钾处理均为9种,对照仅为5种。

不同类型钾肥处理‘新梨7号’果实香气物质含量也存在差异,果实香气物质总含量以硫酸钾处理最高,为746.609 ng·g<sup>-1</sup>,其次为氯化钾处理(713.268 ng·g<sup>-1</sup>),再次为硝酸钾处理(700.707 ng·g<sup>-1</sup>),分别较对照提高了104.44%、95.31%、91.87%。不同钾肥处理‘新梨7号’果实中,酯类物质含量最多的是硫酸

钾处理,为 $64.404 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其次为氯化钾、硝酸钾处理,分别为 $21.525$ 和 $21.909 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,分别为对照的 $15.55$ 、 $5.197$ 、 $5.29$ 倍;醇类物质含量最多的是硫酸钾处理,为 $222.184 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其次为硝酸钾处理( $192.815 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ),氯化钾处理最低,为 $96.437 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,分别为对照的 $172.16\%$ 、 $149.41\%$ 、 $74.73\%$ ;醛类物质含量最多的氯化钾处理为 $556.6 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其次为硫酸钾处理( $416.395 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ),最低的硝酸钾处理为 $406.07 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,分别为对照的 $2.613$ 倍、 $1.95$ 倍、 $1.91$ 倍;酮类物质含量最高的是硝酸钾处理,其次为硫酸钾处理,再次为氯化钾处理,分别为对照的 $16.48$ 倍、 $6.13$ 倍、 $4.70$ 倍;其他物质含量最高的是氯化钾处理,其次为硫酸钾处理,硝酸钾处理最低,分别为对照的 $140.60\%$ 、 $138.15\%$ 、 $125.28\%$ 。

### 3 讨 论

钾元素是植物中不能缺少的主要营养元素之一,钾素营养状况与果树的生长发育和果实品质密切相关<sup>[1]</sup>。钾离子作为植物中含量最多的阳离子之一,参与多个植物生长发育的生理过程,如水分代谢、光合作用、同化转运、酶活性等。钾元素是多种酶的活化剂,既可以促进蛋白酶及其辅酶的结合<sup>[9]</sup>,进而加速酶的活化,也可以与蛋白酶的活化位点结合而促使蛋白变构,进而导致蛋白酶的活化部位增多,蛋白催化反应速率增加。

前人研究表明,钾元素与果实中可溶性糖密切相关,施入适量的钾元素可以显著促进苹果<sup>[10]</sup>以及草莓<sup>[11]</sup>中蔗糖的合成。本研究结果与前人基本一致,钾元素促进了‘新梨7号’果实中蔗糖、葡萄糖、果糖的合成。推测其原因可能是,钾元素通过提高蔗糖磷酸合酶活性促进果实中果糖、蔗糖和葡萄糖积累<sup>[11]</sup>,同时钾元素还可以调节磷酸果糖激酶、淀粉合成酶以及 $\alpha$ -淀粉酶,进而影响糖代谢。同时本研究还发现,不同类型钾元素以硫酸钾提高果实可溶性糖效果最为明显,其机制尚需进一步研究。

钾元素对果实有机酸的影响存在不同意见,有研究认为钾元素可以促进果实内有机酸的积累<sup>[12]</sup>,也有研究认为钾元素降低了果实中有机酸含量<sup>[13]</sup>,还有研究认为钾元素对果实有机酸含量的影响不显著<sup>[14]</sup>。本研究结果表明,钾元素处理提高了‘新梨7号’果实有机酸含量,但不同种类有机酸响应钾处理的程度存在差异,且不同类型钾肥处理对‘新梨7

号’果实有机酸含量的影响也不同。钾元素影响果实有机酸含量的机制尚需进一步研究。

有研究表明,叶面喷施钾肥(磷酸二氢钾)可以增加苹果果实香气物质种类和含量<sup>[15]</sup>,且在一定的浓度范围内,随喷施浓度的增加,果实挥发性物质含量和种类呈逐渐增加的趋势。本研究结果也证实,施用钾肥显著提高了‘新梨7号’挥发性果实香气物质的种类和含量。推测其原因认为,果实香气物质的产生是以脂肪酸(如亚油酸、亚麻酸)、氨基酸、单糖和糖苷等营养物质为基础,在酶的直接或间接催化下合成的。钾肥处理提高了梨果实香气底物单糖等物质含量的增加,进而促进了挥发性香气物质的合成,具体机制尚需进一步研究。

### 参考文献 References:

- [1] 张绍铃. 梨学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 453-455.  
ZHANG Shaoling. Pear Science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 453-455.
- [2] 何忠俊, 同延安, 张国武, 马路军, 李小平, 张广林. 钾对黄土区砀山酥梨产量及品质的影响[J]. 果树学报, 2002, 19(1): 8-11.  
HE Zhongjun, TONG Yan'an, ZHANG Guowu, MA Lujun, LI Xiaoping, ZHANG Guanglin. Effect of potash application on the output and quality of Dangshan Suli pear variety in loess area [J]. Journal of Fruit Science, 2002, 19(1): 8-11.
- [3] 孙骞, 杨军, 张绍阳, 张凤琪, 丁士林. 钾营养对中华猕猴桃叶片光合作用及叶绿素荧光的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2007, 34(2): 256-261.  
SUN Qian, YANG Jun, ZHANG Shaoyang, ZHANG Fengqi, DING Shilin. Potassium nutrition on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in Actinidia chinensis Planch leaves[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2007, 34(2): 256-261.
- [4] 曲桂敏, 束怀瑞, 王鸿霞. 钾对苹果树水分利用效率及有关参数的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 257-262.  
QU Guimin, SHU Huairui, WANG Hongxia. Effect of potassium on water use efficiency and relevant parameters of apple trees[J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(2): 257-262.
- [5] 余倩倩, 邓烈, 何绍兰, 郑永强, 谢让金, 吕强, 姚珍珍, 韦献果, 易时来. 施钾对锦橙幼树生长及钾吸收利用的影响[J]. 中国南方果树, 2015, 44(5): 1-4.  
YU Qianqian, DENG Lie, HE Shaolan, ZHENG Yongqiang, XIE Rangjin, LÜ Qiang, YAO Zhenzhen, WEI Xianguo, YI Shilai. Effect of K fertilization on growth potassium uptake and utilization of young Jincheng sweet orange tree[J]. South China Fruits, 2015, 44(5): 1-4.
- [6] 王英珍, 张虎平, 黄小三, 王纪忠, 程瑞, 陈国栋, 张绍铃. 钾在梨树内的分配及对梨树生长和叶片光合能力的影响[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(1): 60-67.

- WANG Yingzhen, ZHANG Huping, HUANG Xiaosan, WANG Jizhong, CHENG Rui, CHEN Guodong, ZHANG Shaoling. Effect of potassium supply on plant potassium distribution and growth and leaf photosynthetic capacity of *Pyrus pyrifolia*[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2017, 40(1): 60-67.
- [7] 武晓, 申长卫, 丁易飞, 伍从成, 董彩霞, 徐阳春. 黄冠梨果实和叶片钾素积累特征及其对施钾的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1425-1432.
- WU Xiao, SHEN Changwei, DING Yifei, WU Congcheng, DONG Caixia, XU Yangchun. Potassium accumulation in 'Huangguan' pear fruits and leaves and their response to different potassium application[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(5): 1425-1432.
- [8] 魏树伟, 张勇, 王宏伟, 高华君, 王少敏. 施有机肥及套袋对鸭梨果实风味品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1269-1276.
- WEI Shuwei, ZHANG Yong, WANG Hongwei, GAO Huajun, WANG Shaomin. Effects of organic fertilizer and bagging on taste quality of *Pyrus bretschneideri*[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(5): 1269-1276.
- [9] CERA E D. A structural perspective on enzymes activated by monovalent cations[J]. Journal of Biological Chemistry, 2006, 281: 1305-1308.
- [10] MOSA W F A E, EL-MEGEED N A A, PASZT L S. The effect of the foliar application of potassium, calcium, boron and humic acid on vegetative growth, fruit set, leaf mineral, yield and fruit quality of 'Anna' apple trees[J]. American Journal of Experimental Agriculture, 2015, 8(4): 224-234.
- [11] MEHTA K D, SMITH M. Dose optimization of potassium (k) for yield and quality increment of strawberry (*Fragaria × Ananassa* Duch.) chandler[J]. American Journal of Experimental Agriculture, 2014, 264(4): 1526-1535.
- [12] 湛琛, 同延安, 路永莉, 高义民. 不同钾肥种类对苹果产量、品质及耐贮性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 216-224.
- SHEN Chen, TONG Yan'an, LU Yongli, GAO Yimin. Effect of different potassium fertilizer types on yield, quality and storage resistance of apple[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2016, 22(1): 216-224.
- [13] 郭雯. 灌溉施钾对红富士苹果叶片光合特性和矿质营养及果实品质影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- GUO Wen. Effect of potassium irrigation on photosynthetic characteristics, mineral nutrition and fruit quality of red Fuji apple leaves[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2009.
- [14] 刘亚男, 马海洋, 洗皑敏, 石伟琦. 施钾对菠萝产量和果实品质的影响[J]. 中国果树, 2015(5): 55-58.
- LIU Yanan, MA Haiyang, XIAN Kaimin, SHI Weiqi. Effect of potassium application on yield and fruit quality of pineapple[J]. China Fruits, 2015(5): 55-58.
- [15] 唐岩, 宋来庆, 孙燕霞, 赵玲玲, 刘美英, 宋世志, 姜中武. 叶面喷施磷酸二氢钾对红将军苹果叶片性状、果实品质和香气成分的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(5): 82-85.
- TANG Yan, SONG Laiqing, SUN Yanxia, ZHAO Lingling, LIU Meiyang, SONG Shizhi, JIANG Zhongwu. Effect of potassium dihydrogen phosphate sprayed on leaf surface on leaf character, fruit quality and aroma components of red apple[J]. Shandong Agricultural Science, 2017, 49(5): 82-85.