

维生素 B6 施用时间和剂量对富士苹果品质的影响

王安然¹, 倪蔚茹¹, 贺锡燕¹, 徐金¹, 王金政², 毛志泉¹, 沈向^{1*}

(1 山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018;

2 山东省果树研究所, 山东泰安 271000)

摘要: 【目的】探讨不同时期土施不同剂量维生素 B6 后对果实营养品质和香气品质的影响, 为提高富士果实品质提供新的营养途径。【方法】于 2013 年和 2014 年在山东蒙阴县进行了富士苹果田间试验。试验设两个施用时间分别为 4 月和 6 月, 在富士苹果距主干 60 cm 处土施维生素 B6, 剂量分别为 0、3、5、7 g/plant。果实成熟时测定果实的氮磷钾含量、可溶性固形物、Vc 等营养品质指标及香气物质成分。【结果】2013 年和 2014 年果实中氮、磷、钾含量均以 4 月份施 B6 7 g/plant 处理最高, 与对照差异显著。4 月、6 月份土施 B6 7 g/plant 处理的各项品质指标基本都显著高于对照, 同等剂量不同施用时间果实各测定指标 4 月与 6 月份之间差异显著(除 2014 年硬度外)。2013 年和 2014 年施用 7 g/plant 处理的总酯类挥发性物质的相对含量都显著高于对照。酯类物质中 2-甲基丁酸乙酯的相对含量在 2013 年和 2014 年的所有处理(除 2013 年 4 月施用 3 g/plant 和 2014 年 6 月施用 7 g/plant 处理外)都明显高于当年对照。两年中 4 月施用 7 g/plant 处理果实中的 2-甲基丁酸乙酯的含量在当年处理中最高, 并与其它处理存在显著差异。果实中丁酸乙酯、己酸乙酯、2-甲基丁酸丁酯、2-甲基丁酸异丙酯相对含量在 2013 年和 2014 年 4 月和 6 月施用 7 g/plant 处理中都明显高于对照。【结论】4 月施用维生素 B6 提高果实的营养品质和单果重效果最佳, 6 月施用提高果实的香气品质更佳; 本研究条件下, 维生素 B6 的适宜用量为 5~7 g/plant。

关键词: 维生素 B6; 富士苹果; 营养品质; 香气

中图分类号: S605

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2016)05-1348-08

Effects of vitamin B6 application time and doses on fruit quality of Fuji

WANG An-ran¹, NI Wei-ru¹, HE Xi-yan¹, XU Jin¹, WANG Jin-zheng², MAO Zhi-quan¹, SHEN Xiang^{1*}

(1 College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology;

2 Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong, 271018, China)

Abstract: 【Objectives】The effects of soil application of different doses of vitamin B6 on the fruit quality were studied in order to provide a new method to improve fruit quality of Fuji. 【Methods】The doses of vitamin B6 of 0 (control), 3, 5 and 7 g per plant were added into soil 60 cm away from the Fuji apple trunk, and two application time of April and June were set in 2013 and 2014. Contents of nitrogen, phosphorus, potassium, soluble solids, vitamin C and aroma components of the fruits were determined when the fruits were ripe. 【Results】The total nitrogen, phosphorus and potassium contents in treatment of 7 g plant in April were the highest of 2013 and 2014, which were to significantly higher than the control. The quality indicators of 7 g per plant in both April and June treatments were significantly higher than those of the control in both 2013 and 2014, and the difference in the quality indicators between the two application time were significant (except the hardness indicator of 2014). In 2013 and 2014, the relative content of total esters in 7 g per plant treatment was significantly higher than that of the control. The relative content of ethyl-2-methyl butyrate in esters was significantly higher than that of the control (except 3 g per plant in April 2013 and 7 g per plant in June 2014). The content of ethyl-2-

收稿日期: 2015-09-23 接受日期: 2016-01-04

基金项目: 支撑计划专项经费(2014BAD16B02); 国家现代农业技术体系专项经费(CARS-28); 山东省2013年重大创新项目资助。

作者简介: 王安然(1990—), 女, 河南卫辉人, 硕士研究生, 主要从事果树生物学方面研究。E-mail: anranjing123@163.com

* 通信作者 Tel: 0538-8249140, E-mail: shenx@sdau.edu.cn

methyl butyrate of 7 g per plant in April was the highest in the current year, and the differences with other treatments were significant. The relative content of ethyl butyrate, ethyl caproate, butyl 2-methyl butyrate, isopropyl 2-methyl butyrate in treatment of 7 g per plant in both application times in 2013 and 2014 were significantly higher than that of the control, and also significantly higher than those of other does treatments.

【 Conclusions 】 Application of vitamin B6 7 g/plant in April performs best in improving the fruit nutritional quality and single fruit weight, but application of B6 7 g/plant in June performs best in improving the quality of fruit aroma. Therefore the doses of vitamin B6 of 5 g or 7 g/plant is recommended under the conditions of this study.

Key words: vitamin B6; Fuji fruit; nutritional quality; aroma

苹果是我国重要的经济作物, 种植面积和产量居世界首位。但不恰当的生产施肥技术使果实品质下降、风味变淡。提高果实品质增加产量, 提升其在国际市场的竞争能力, 使农民增加收入, 获得更好的经济效益是目前苹果生产的核心问题^[1-2]。

化肥对提高农作物的产量和品质发挥着重要的作用。随着在农业生产中化肥的施用量逐年增加, 土壤中重金属累积、土壤微生物活性降低、土壤酸化等现象日益严重, 并且影响农产品的品质和产量^[3-5]。目前我国各种研究都在提倡合理施用有机肥, 来改善土壤状况, 减少对土壤污染, 改善作物产量及其品质^[6-7]。但有机肥中的有机营养物质, 多以缓效的方式存在, 需要经过长时间的分解, 转化为小分子物质(如维生素类、糖类、萜类等)才能被植物自身吸收利用^[8]。作为土壤重要小分子物质的维生素, 是植物生长发育过程中不可缺少的营养物质和生长调节剂。维生素在植物体内作为多种酶的辅基, 在植物的代谢过程中发挥巨大的作用。王厚德^[9]发现单独在培养基中添加维生素 B6, 使灵芝的菌丝产量增加了 13.2%。李振轮等^[10]研究表明, 使用不同剂量的维生素对甜玉米进行浸种, 显著提高了其萌发率和根活力。同时有研究表明, 外源使用维生素对小麦、黄瓜等农作物的产量和品质提高具有显著影响并且对增强其抗逆性也发挥显著的作用^[11-13]。有研究者证明, 外源维生素可以改变植物营养缺乏的现象, 对缺镁的玉米喷施维生素 B6、B2 后可以在一定程度上恢复玉米的生长发育^[27]。维生素处理后对作物生长发育及其产量的影响虽然研究不少, 但对苹果等木本植物的各方面的影响鲜有报道。夏燕飞等^[8]对采集的 168 个苹果园土壤样品进行分析, 发现土壤中普遍含有一定量的维生素, 其中的维生素 B6 含量与富士苹果的可溶性糖、维生素 C、可溶性固形物等营养品质存在显著相关性, 我们在其研究基础上选用土壤中有有机营养物质维生素 B6 作为土壤调节

物质对富士苹果树进行处理, 并且在果实采收后, 采用顶空固相萃取等技术, 分析不同时期施用不同量维生素 B6 后对苹果营养及香气品质的影响, 从而为土壤肥料种类的选择提供新思路。

1 材料与方 法

1.1 试验点概况和供试材料

试验果园位于临沂蒙阴县野店镇烟庄村, 供试果园耕层土壤养分含量分别为: 有机质含量 1.5%、有效氮 124.60 mg/kg、有效磷 51.29 mg/kg、速效钾 141.21 mg/kg。

苹果品种为 15 年生盛果期以平邑甜茶为砧木的红富士, 落花 35 d 后套袋, 株行距 3 m × 4 m。试验处理所用为生物学试剂维生素 B6(盐酸吡哆醇含量 ≥ 98%)。

1.2 试验设计

距果树主干 60 cm 处, 分别在行间、行内四个方位挖深 25 cm、宽 15 cm 的坑进行维生素 B6 土施。设置 4 个梯度, 每个梯度为一个处理, 每个处理的维生素 B6 施用量分别为 0 (对照)、3、5、7 g/plant。并在 2013 年和 2014 年的 4 月、6 月份两个时期在同一果园进行施用。每个处理设 3 个重复, 进行随机区组排列, 每个小区 10 株。日常按常规管理方式进行管理。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 样品采集 在果实成熟期(2013 年和 2014 年 10 月中旬)进行采收, 每个处理在树冠中部四个方向采摘, 每个处理共摘取 30 个, 保存于 4℃ 冰箱备用。

果实香气品质测定采用顶空固相萃取 (SPME) 技术提取果实香气成分。经气相色谱-质谱联用仪(岛津公司, Shimadzu GCMS-QP2010)进行测定分析。每个处理任意取 5 个苹果去皮, 取果肉切成 1 mm³

大小碎块混合,称取 20 g 于锥形瓶中,加入内标 3-壬酮(0.4 g/L) 5 μ L 密封。插入在进样口老化 30 min 的萃取头进行吸附,同时将锥形瓶放在 45 $^{\circ}$ C 磁力搅拌加热板上加热 40 min。吸附完成后,插进进样口进行解吸。GC-MS 分析:采用美国 Finnigan Trace MS 气相色谱-质谱联用仪分析进样;色谱条件:色谱柱, 30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m 毛细管柱。进样口温度 250 $^{\circ}$ C, 初始温度 35 $^{\circ}$ C, 保持 4 min, 然后以 6 $^{\circ}$ C/min 升至 120 $^{\circ}$ C 保持 1 min, 然后以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 180 $^{\circ}$ C 后以 20 $^{\circ}$ C/min 升至 250 $^{\circ}$ C 保持 7 min。载气为 He (99.9%), 流量为 0.8 mL/min, 电离方式为 EI, 电子能量为 70 Ev, 离子源温度 200 $^{\circ}$ C, 进样不分流。

1.4 数据处理

经 GC-MS 测定后,通过 NIST/WILLEY 谱库检索确定其香气成分,对其相对含量通过面积归一化法进行计算。对其挥发性物质的定量,根据以下公式^[19-20]计算:

$$\text{含量} = \text{单峰面积/内标峰面积} \times \text{内标物含量}$$

数据采用 Microsoft Excel 2003 处理, DPS7.05 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 维生素 B6 不同施用时期和剂量对富士苹果果实矿质养分的影响

表 1 结果表明,2013 年和 2014 年的所有维生素 B6 处理果实中的全氮、全磷、全钾都明显高于对照,其中每年的 4 月 7 g/plant 的处理氮、磷、钾含量最高。2013 年、2014 年 4 月份 7 g/plant 处理中的全氮含量分别高出对照 23.14%、24.25%,全磷含量分别高出对照 32.97%、33.54%,全钾含量分别高出对照 30.08%、23.79%。

2.2 维生素 B6 不同施用时间和剂量对富士苹果品质的影响

土施不同剂量维生素 B6 后果实的各项品质指标都明显高于当年对照(表 2),其中两年 4 月和 6 月份 7 g/plant 处理各项指标都显著高于同年的其它处理。其中 4 月份与 6 月份的 7 g/plant 处理的各项品质指标相比,除 2014 年硬度差异不显著外,4 月份的效果明显高于 6 月份。从表 2 可看出,两年 4、6 月份的 7 g/plant 处理的单果重都高于对照,其中 2013 年明显高出对照 7.47%、6.31%,2014 年明显高出对照 8.46%、6.57%。

表 1 2013 年和 2014 年施用维生素 B6 的富士苹果果实氮、磷、钾含量 (g/kg)

Table 1 N, P, K content of Fuji apple effected of vitamin B6 in 2013 and 2014

年份 Year	月份 Month	施用剂量 (g/plant) Dose	N	P	K
2013		0	0.657 f	0.185 f	1.639 f
	4	3	0.708 e	0.221 c	1.834 e
		5	0.752 c	0.236 b	2.029 b
		7	0.809 a	0.246 a	2.132 a
		7	0.791 b	0.217 cd	2.038 b
	6	3	0.696 e	0.200 e	1.865 d
		5	0.735 d	0.213 d	1.953 c
7		0.791 b	0.217 cd	2.038 b	
2014		0	0.631 f	0.164 e	1.749 f
	4	3	0.691 d	0.191 cd	1.846 e
		5	0.716 c	0.197 b	2.111 b
		7	0.784 a	0.219 a	2.165 a
		7	0.757 b	0.201 b	2.073 c
	6	3	0.656 e	0.187 d	1.773 f
		5	0.703 cd	0.192 c	1.923 d
7		0.757 b	0.201 b	2.073 c	

注 (Note): 同列数据后不同小写字母表示同年不同处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著 Values followed by different small letters in a column are significantly different among different treatments in the same year at $P < 0.05$ level.

表 2 2013 年和 2014 年施用维生素 B6 富士苹果果实营养品质
Table 2 Effect of Vitamin B6 on the nutritional quality of Fuji apple in 2013 and 2014

年份 Year	月份 Month	施用剂量 Dose (g/plant)	可溶性固形物 Soluble solid (%)	花色苷 Anthocyanin (mg/kg)	维生素 C Vc (mg/kg)	可滴定酸 Titration acid (%)	可溶性糖 Soluble sugar (%)	硬度 Firmness (kg/cm ²)	单果重 Single fruit weight (g)
2013		0	13.824 f	14.608 d	13.317 e	0.213 f	12.567 f	7.887 f	262.363 e
	4	3	15.425 d	15.554 c	15.444 c	0.278 d	13.433 de	8.484 e	268.158 d
		5	15.733 c	16.743 b	16.579 b	0.311 bc	13.967 bc	8.661 c	276.293 b
		7	17.238 a	17.407 a	17.791 a	0.354 a	14.500 a	8.877 a	281.958 a
	6	3	14.405 e	14.707 d	14.589 d	0.236 e	13.200 e	8.482 e	267.443 d
		5	15.411 d	15.613 c	15.588 c	0.306 c	13.700 cd	8.562 d	271.700 c
		7	16.588 b	16.844 b	16.596 b	0.329 b	14.100 b	8.748 b	278.928 ab
2014		0	13.125 e	14.400 e	11.763 g	0.216 d	12.036 f	7.624 c	264.170 d
	4	3	15.350 bc	17.550 d	15.500 bc	0.322 bc	13.466 e	7.873 bc	273.290 c
		5	16.117 ab	19.520 b	16.623 b	0.332 b	14.683 c	8.252b c	277.122 bc
		7	16.758 a	20.230 a	18.290 a	0.351 a	15.565 a	9.266 a	286.520 a
	6	3	14.058 d	14.717 e	13.093 f	0.220 d	13.325 e	8.413 b	272.000 cd
		5	14.350 d	17.787 d	14.237 e	0.315 c	14.242 d	8.468 b	274.100 bc
		7	15.200 c	18.867 c	15.463 d	0.330 b	15.094 b	9.166 a	281.520 ab

注 (Note): 同列数据后不同小写字母表示同年不同处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著 Values followed by different small letters in a column are significantly different among different treatments in the same year at $P < 0.05$ level.

2.3 不同时期施用不同剂量维生素 B6 对果实香气品质的影响

果实的香气品质目前已经成为衡量果实品质重要标准之一, 它主要决定果实的嗅感。根据香气成分区分, 富士果实为“酯香型”^[21]。

维生素 B6 处理富士的主要香气物质的相对含量和含量都得到了明显提高, 在改善果实香气品质方面发挥了重要的作用。表 3 表明, 果实中的主要香气成分为酯类物质, 其中 2013 年和 2014 年 4、6 月份施用 7 g/plant 维生素 B6 处理果实总酯类挥发性物质的相对含量分别为 97.82%、92.55% 和 94.87%、96.10%, 并且它们都明显高于对照。因为富士属于“酯香型”, 果实中的酯类物质含量对香气品质影响发挥主导作用。其中酯类挥发性物质对果实拥有果香和甜香特征发挥着巨大的作用^[22-23]。虽然在果实中检测到大量的酯类化合物, 但只有 2-甲基丁酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、2-甲基丁酸丁酯、2-甲基丁酸异丙酯等小部分脂类物质对苹果果实的风味发挥着主要作用^[24-25]。以上这些酯类挥发性物质在维生素 B6 处理过的富士果实的果肉中均被检测出。除 2013 年 4 月份 3 g/plant、2014 年 6 月份 7 g/plant 处

理, 香气阈值低感知度高的 2-甲基丁酸乙酯的相对含量在两年 4、6 月份的处理都明显高于对照。2013 年和 2014 年 4 月和 6 月的 7 g/plant 处理中 2-甲基丁酸乙酯的含量分别显著高出对照 1.2 倍、0.6 倍、0.18 倍、0.12 倍 (表 4)。其中 2013 年和 2014 年中的 4 月的 7 g/plant 处理果实中的 2-甲基丁酸乙酯的含量在当年处理中最高, 并与其它处理存在显著差异。丁酸乙酯、己酸乙酯和 2-甲基丁酸丁酯都具有苹果果实所特有的甜香气和果香气。丁酸乙酯相对含量在 2013 年和 2014 年 4 月和 6 月的 7 g/plant 处理的果实中都高于对照, 其含量分别高出对照 2.1 倍、1.5 倍、1.8 倍、3.7 倍, 并且都与对照存在显著性差异。己酸乙酯的相对含量在 2013 年和 2014 年 4 月和 6 月的 7 g/株处理都明显高于对照, 其含量分别高出对照 1.1 倍、1.4 倍、2.0 倍、14 倍, 并与对照存在显著性差异。2-甲基丁酸丁酯在 2013 年和 2014 年 4 月份、6 月的 7 g/plant 处理的相对含量都高于当年对照, 其含量也都明显高于对照, 分别高出对照 1.6、0.6、0.49、0.8 倍, 并与当年对照存在显著性差异。2-甲基丁酸异丙酯具有果实清香气, 它的相对含量在 2013 年和 2014 年 4 月、6 月的 7 g/plant 处理都

表 3 2013 年和 2014 年施用维生素 B6 的富士果实主要酯类挥发物质种类及相对含量(%)
Table 3 Contents of volatile substances of major esters of Fuji affected by vitamin B6 in 2013 and 2014

年份 Year	月份 Month	施用剂量 Dose (g/plant)	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	2-甲基丁酸乙酯 Ethyl 2-methyl butyrate	己酸乙酯 Ethyl caproate	2-甲基丁酸丁酯 Butyl 2-methyl butyrate	2-甲基丁酸异丙酯 Isopropyl 2-methyl butyrate	脂类物质相对含量 The relative content of lipids
2013		0	5.71	34.94	3.02	3.60	4.72	82.05
	4	3	2.90	34.20	2.20	1.98	3.31	84.61
		5	8.98	46.09	4.39	4.29	6.01	94.48
		7	11.11	48.44	4.05	5.79	5.85	97.82
	6	3	4.98	45.46	5.30	3.85	5.88	89.96
		5	12.72	46.00	4.74	3.96	5.94	95.67
		7	11.69	45.71	5.81	4.74	6.57	92.55
2014		0	1.64	27.17	0.52	3.08	2.45	83.32
	4	3	1.04	43.51	0.31	3.14	2.79	91.96
		5	3.87	34.02	1.97	3.61	9.06	92.20
		7	4.38	30.76	1.47	4.38	4.91	94.87
	6	3	7.21	27.93	6.97	3.72	4.26	93.21
		5	8.65	36.13	5.13	3.66	4.40	94.13
		7	6.25	24.82	6.33	4.53	4.78	96.10

表 4 2013 年和 2014 年施用维生素 B6 的富士果实主要酯类挥发物质含量 ($\mu\text{g}/100\text{g}$, FW)
Table 4 Contents of major esters volatile substances of Fuji affected by vitamin B6 in 2013 and 2014

年份 Year	月份 Month	施用剂量 Dose (g/plant)	丁酸乙酯 Ethyl butyrate	2-甲基丁酸乙酯 Ethyl 2-methyl butyrate	己酸乙酯 Ethyl caproate	2-甲基丁酸丁酯 Butyl 2-methyl butyrate	2-甲基丁酸异丙酯 Isopropyl 2-methyl butyrate
2013		0	28.27 g	172.97 g	14.95 g	17.82 g	23.37 g
	4	3	29.59 e	348.98 b	22.45 f	20.20 e	33.78 d
		5	53.14 d	272.72 d	25.98 d	25.38 c	35.56 c
		7	87.46 a	381.42 a	31.89 b	45.59 a	46.06 a
	6	3	25.94 f	236.77 f	27.60 c	20.05 f	30.63 f
		5	67.66 c	244.68 e	25.23 e	21.06 d	31.59 e
		7	70.85 b	277.03 c	35.21 a	28.73 b	39.82 b
2014		0	25.63 f	424.53 c	8.13 f	48.13 c	38.28 f
	4	3	9.81 g	410.47 d	2.92 g	29.62 f	26.32 g
		5	48.67 e	341.78 e	16.33 e	48.67 c	100.67 a
		7	71.80 d	504.26 a	24.10 d	71.80 b	80.49 c
	6	3	83.84 b	324.77 f	81.05 b	43.26 d	49.53 d
		5	77.93 c	325.50 f	46.22 c	32.97 e	39.64 e
		7	120.19 a	477.31 b	121.73 a	87.12 a	91.92 b

注 (Note): 同列数据后不同小写字母表示同年不同处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著 Values followed by different small letters in a column are significantly different among different treatments in the same year at $P < 0.05$ level.

明显高于对照, 其含量也都明显高于对照, 分别高出 1.0、0.7、1.1、1.4 倍。并与对照存在显著性差异。以上结果说明施用维生素 B6 后使果实的甜香和果香更浓郁, 在一定程度提高果实的香气品质。综合主要酯类物质相对含量比较, 6 月的丁酸乙酯、己酸乙酯、2-甲基丁酸丁酯分别比 4 月的高出 59.55%、138.25%、5.48%, 2-甲基丁酸乙酯、2-甲基丁酸异丙酯 4 月的相对含量虽然比 6 月的处理高, 但是它们的相对含量的差异很小, 因此总酯类物质 6 月的处理相对含量也高于 4 月。

3 讨论与结论

维生素对植物的正常生长发育起着至关重要的作用, 外源维生素能够作用于植物细胞、藻类、菌类等低等植物的培养, 或将其施用于高等作物提高其产量、品质及抗逆性。维生素参与植物体内的氧化还原反应, 并且直接影响无机营养在植物体内的运转^[26]。有研究表明使用外源维生素可以使植物自身缺乏无机营养得到改善, 同时也能提高植物自身的无机营养物质的含量^[27]。本试验结果表明施用维生素 B6 后, 7 g/plant 处理果实中全氮的含量比对照增加了 18.79%~19.52%, 全磷含量比对照高出 24.80%~25.11%, 全钾含量高出对照 19.21%~23.12%。无机营养对果实的营养品质有着显著的影响, 有研究结果表明果实中氮含量的提高可以提高果实中可滴定酸的含量, 施用磷肥可以提高富士的产量, 也可以减少其在贮藏时期的生理病害, 钾可以增加果实的色泽还可以提高果实的含糖量及其香味、风味^[28]。本试验在施用了维生素 B6 后, 果实中的氮磷钾含量增加的同时, 果实的产量、糖酸比、花色苷等营养品质指标都明显高于对照。同时维生素作为辅酶, 参与关系植物生命活动关键酶的活动, 参与植物细胞蛋白质、脂肪、糖酸的代谢活动, 影响着植物本身的正常生长发育, 同时影响着植物果实各种营养物质及其糖酸物质的积累^[29]。本试验运用维生素 B6 后, 也可能通过维生素作为辅酶参与各种代谢活动从而提高富士苹果产量及其花色苷、糖酸、硬度等营养品质。

果实的香气是果实风味重要的一部分, 有研究表明富士苹果果肉能够检测到 300 多种挥发性物质, 因为富士果实为“酯香型”品种, 其中酯类占峰面积的 78%~92%。本研究结果表明, 在进行了维生素 B6 处理后的果实中酯类挥发性物质最高可占峰面积的 96.1%。果实中酯类特征香气成分多通过氨基

酸合成途径产生, 有研究显示草莓^[30]和香蕉^[31]等果实的部分酯类香气成分是通过丙氨酸转化而成的。这些酯类物质通过前体物质氨基酸在转氨酶和丙酮酸脱氢酶这两种关键酶的共同作用下, 进行转氨基和脱羧基合成的^[32-33]。而维生素 B6 作为转氨作用的辅酶, 同时具有脱羧作用, 从而促进了其体内各种前体物质氨基酸在关键酶的作用下转化成果实果肉内的酯类物质。也有研究表明, 醇类化合物和醛类化合物也是影响果实香气风味的重要物质, 但在本次试验中富士果实果肉中仅检测到少量的醇类物质, 而醛类物质很少或没有检出。这可能是果实套袋后使其调控酯类化合物合成的关键酶活化, 促进醇类和脂肪酸向酯类化合物的方向转化, 增加了酯类挥发性物质在果实体内的积累。同时套袋抑制了调控醛类物质合成的关键酶 PDC 的活性, 抑制了其在果实果肉的合成和积累^[34]。因而使其醇类物质和醛类物质很少检出或检不出。

综合以上研究结果表明, 对于该年龄段富士苹果果实营养品质和香气品质而言施用维生素 B6 的最佳剂量为 7 g/plant。可能增加使用量效果会更加明显, 但从目前的效果分析, 受到投入产出比例的限制, 从经济角度, 施用 5 g/plant 维生素 B6, 对果实的各项品质促进作用也很显著, 因此, 5 g/plant 的施用量为最经济的施用量。4 月份施用维生素 B6 可以明显提高富士苹果果实的营养品质, 而 6 月份施用可以明显提高果实的香气品质。施用维生素 B6 增产增质的机理还亟需深入, 特别是对于维生素 B6 施用后是对其树体周围土壤环境的影响, 还是被其树体直接吸收而发挥生理作用还需进一步的实验进行验证。

参 考 文 献:

- [1] Widmer A, Krebs C. Influence of planting density and tree form on yield quality of "Golden delicious" and "Ryal Gala" apple[J]. *Acta Horticulturae*, 2001, 557: 235-241.
- [2] Wertheim S J, Wagenmakers P S, Bootsma J H, *et al.* Orchard systems for apple and pear: condition for success[J]. *Acta Horticulturae*, 2001, 557: 209-227.
- [3] 樊小林, 刘芳, 廖照源, 等. 我国控释肥研究的现状和展望[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(2): 463-473.
Fan X L, Liu F, Liao Z Y, *et al.* The status and out look for the study of controlled-release fertilizers in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(2): 463-473.
- [4] 肖军, 秦志伟, 赵景波. 农田土壤化肥污染及对策[J]. *环境保护科学*, 2005, 31(131): 32-34.
Xiao J, Qin Z W, Zhao J B. Status and countermeasures of farmland soil polluted by chemical fertilizer [J]. *Environmental Protection Science*, 2005, 31(131): 32-34.

- [5] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 唐才贤. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 374-378.
Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, Tang C X. Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(4): 374-378.
- [6] 焦蕊, 于丽辰, 贺丽敏, 等. 土壤有机质对“红富士”苹果产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2011, (14): 25-26.
Jiao R, Yu L C, He L M, *et al.* Effect of soil organic matter on yield and quality of "Fuji" apple[J]. Northern Horticulture, 2011, (14): 25-26.
- [7] 赵会纳, 潘文杰, 雷波, 等. 有机营养液对烟苗根系发育与生理特征的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(6): 1863-1866.
Zhao H N, Pan W J, Lei B, *et al.* Effect of organic nutrient solutions on root development and physiological feature of flue-cured tobacco seedling [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2010, 23(6): 1863-1866.
- [8] 夏燕飞, 张文会, 王荣, 等. 土壤有机营养对“红富士”苹果果实产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 868-877.
Xia Y F, Zhang W H, Wang R, *et al.* Effect of soil organic nutrition matter on yield and quality of Fuji apple [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(4): 868-877.
- [9] 王厚德. B族维生素对灵芝生长发育的影响 [J]. 山东大学学报(自然科学版), 1983, (2): 93-103.
Wang H D. Vitamins B affect the growth and development of *Ganoderma lucidum*[J]. Journal of Shandong University (Natural Edition), 1983, (2): 93-103.
- [10] 李振轮, 何凯, 石纹豪, 朱运峰. 外源维生素浸种对甜玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2014, 42(6): 48-54.
Li Z L, He K, Shi W H, Zhu Y F. Effects of seed soaking with exogenous vitamin on seed germination and seedling growth of sweet corn[J]. Journal of Northwest A&F University, 2014, 42(6): 48-54.
- [11] Brar Z S, Singh M. Effect of plant regulators on biomass and productivity of cotton *cossypium* [J]. Indian of Ecology, 1983, 10: 254-259.
- [12] Tomar R P S, Singh B P, Chaudhary B S. Effect of modes application of growth regulators on wheat[J]. Indian Journal of Agricultural Research, 1977, 5: 41-44.
- [13] 杨萍, 罗庆熙, 张珂珂, 等. 外源维生素对盐胁迫下黄瓜种子发芽特性的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版)2010, 35(3): 103-105.
Yang P, Luo Q X, Zhang K K, *et al.* Effect of exogenous vitamins on seed germination of cucumber under salt stress [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2010, 35(3): 103-105.
- [14] 张强, 魏钦平, 蒋瑞山, 等. 富士苹果矿质营养含量与几个主要品质指标的相关性分析[J]. 园艺学报, 2011, 38(10): 1963-1968.
Zhang Q, Wei Q P, Jiang R S, *et al.* Correlation analysis of fruit mineral nutrition contents with several key quality indicators in 'Fuji' apple[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(10): 1963-1968.
- [15] 霍琳琳, 苏平, 吕英华. 分光光度法测定桑葚总花色苷含量的研究 [J]. 酿酒, 2005, 32(4): 88-89.
Huo L L, Su P, Lü Y H. Measurement of total anthocyanins in mulberry by UV Visible Spectroscopy[J]. Liquor Making: 2005, 32(4): 88-89.
- [16] 李红玉. 钼蓝比色法测定水果中还原型维生素C[J]. 天津化工, 2002, (1): 31-32.
Li H Y. Molybdenum blue colorimetric determination of reduced vitamin C in fruit[J]. Tianjin Chemical, 2002, (1): 31-32.
- [17] 全月澳, 周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 118-130.
Tong Y A, Zhou H J. Fruit tree nutrition diagnosis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998. 118-130.
- [18] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002. 83-85.
Zhao S J, Shi G A, Dong X C. Experimental direction of plant physiology[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2002. 83-85.
- [19] Zhang Y, Bei G, Zhang M W, *et al.* Pulsed electric field processing effects on physicochemical properties, flavor compounds and microorganisms of longan juice[J]. Journal of Food Processing and Presevation, 2010, 34(6): 1121-1138.
- [20] Li C M, Hao J F, Zhong H Z, *et al.* Aroma components at various stages of litchi juice processing [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(14): 2405-2414.
- [21] Drawert F, Kle R A, Berger R G. Biotechnological flavor production. I. Optimization of (E)-2-hexen-1-al yields in plant tissue homogenates[J]. Lebensmittel wissenschaft and Technologie, 1986, 19: 426-431.
- [22] Matsui K, Shibata Y, Tateba H, Kajiwara T. Changes of lipoxygenase and fatty acid hydroperoxide lyase activities in bell pepper fruits during maturation [J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 1997, 61: 199-201.
- [23] Zhang X M, Jia H J. Changes in aroma volatile compounds and ethylene production "Huijingmilu" peach (*Prunus persica* L.) fruit development [J]. Acta Photophysiological Sinica 2005, 31(1): 41-46.
- [24] Yahia E M. Apple flavor[J]. Horticultural Reviews, 1994, 16: 197-234.
- [25] Plotto A M, Daniel M R. Charecterization of Gala apple aroma and differences between controlled atmosphere and air storage [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1999, 124(4): 416-423.
- [26] 唐瑞, 吴瑜. 维生素对小麦生长及生理功能的调节作用研究进展 [J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(6): 869-873.
Tang R, Wu Y. Regulating effect of vitamin on growth and physiological function of wheat[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2006, 12(6): 869-873.
- [27] 王本昌, 刘云龙. 外源维生素对植物的调节作用[J]. 生物学教学, 1995, (11): 6-7.
Wang B C, Liu Y L. Regulation of exogenous vitamins on plants [J]. Biology Teaching, 1995, (11): 6-7.
- [28] 徐慧, 陈欣欣, 王永章, 等. 富士苹果果实矿质元素与品质指标的相关性与通径分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(25): 116-121.
Xu H, Chen X X, Wang Y Z, *et al.* Correlation and path analysis between mineral element and quality indicators of 'Fuji'apple fruits[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(25):

- 116-121.
- [29] 李浚明. 植物组织培养教程[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002. 163-169.
- Li J M. Plant tissue culture tutorials[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2002. 163-169.
- [30] Ana G Perez, Jose J Rios, Carlos Sanz, *et al.* Aroma components and free amino acids in the strawberry variety Chanlder during ripening [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40(11): 2232-2235.
- [31] Myers M J, Issenberg P, Wick E L. Leucine as a precursor alcohol and isoamyl acetate, volatile aroma constituents of ofisoamyl banana fruit discs[J]. *Phytochemistry*, 1693-1700.
- [32] 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. 184-191.
- Zhang S L, Chen K S. Molecular physiology of fruit quality development and regulation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007. 184-191.
- [33] Knee M. Fruit quality and its biological basis[M]. Sheffield, USA: Academic Press, 2002. 93-97.
- [34] 李慧峰, 王海波, 李林光, 等. 套袋对“寒富”苹果果实香气成分的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(4): 843-847.
- Li H F, Wang H B, Li L G, *et al.* Effects of bagging on “Hanfu” apple aroma compounds[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(4): 843-847.