



不同时期追肥对桃果实品质的影响

张斌斌¹, 王晓俊^{1,2}, 郭磊¹, 马瑞娟¹, 俞明亮^{1,*}

¹江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京210014

²南京农业大学园艺学院, 南京210095

*通信作者(mly1008@aliyun.com)

摘要: 追肥是保证果树正常生长发育、改善果实品质的主要手段。探讨分次追肥对桃果实品质的影响, 能够为合理追肥提供依据。以桃品种‘霞晖8号’和‘霞脆’为试材, 在等量追施氮磷钾复合肥条件下, 设置一次追肥、二次追肥、三次追肥3个处理, 采收成熟期果实, 测定品质指标。结果表明: 不同追肥次数对2个桃品种的单果重无显著影响。二次追肥条件下, 2个桃品种的去皮硬度、可溶性固形物含量均显著高于一次追肥; 山梨醇和总糖含量显著升高, 柠檬酸含量降幅明显, 糖酸比提高。试验第1年, 二次追肥处理的‘霞晖8号’果皮红色饱和度、红色饱和度与黄色饱和度比值、花色苷含量均显著高于一次追肥; 试验第2年, 不同处理的2个桃品种果皮的色差指标、色素含量均无显著差异。二次追肥与一次、三次追肥处理相比具有较高的果实硬度、可溶性固形物、可溶性糖含量及较低的有机酸含量, 可有效改善桃果实内在品质。在桃果实生长发育过程中, 于果实膨大期和成熟前期分二次追肥有利于提高品质。

关键词: 桃; 复合肥; 分次追肥; 果实品质

Effects of fertilizers topdressing in different stages on fruit quality of peach

ZHANG Binbin¹, WANG Xiaojun^{1,2}, GUO Lei¹, MA Ruijuan¹, YU Mingliang^{1,*}

¹Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China

²College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

*Corresponding author (mly1008@aliyun.com)

Abstract: Topdressing is the main method used to ensure the normal growth and development of fruit trees and improve fruit quality. Here, the effects of split topdressing on peach fruit quality were investigated to support reasonable practices. Peach cultivars ‘Xiahui 8’ and ‘Xiacui’ were used as test materials. Using a fertilizer containing same amount of nitrogen, phosphorus and potassium, an experiment with three treatments (single, double and triple topdressing applications) was performed. Fruits were harvested during the ripening stage, and the fruit qualities were determined. The results showed that the topdressing frequency did not significantly affect the single fruit weight of the two peach cultivars. For the double topdressings treatment, firmness without skin and soluble solids content of the two peach cultivars were higher than single topdressing treatment. The sorbitol and total sugar contents of the two peach cultivars

收稿 2021-08-09 修定 2021-11-24

资助 江苏省重点研发计划(现代农业)项目(BE2018389)、国家重点研发计划(2018YFD0201400)、江苏现代农业产业技术体系建设项目(JATS[2019]401、JATS[2020]379)和国家现代农业产业技术体系(CARS-30)。

increased significantly, whereas the citric acid content decreased significantly. Additionally, the sugar to acid ratio increased. In the first trial year, the red saturation, red to yellow saturation ratio, and anthocyanin content of the peel of 'Xiahui 8' treated with double topdressings were significantly greater than those receiving a single topdressing. In the second trial year, there were no significant differences in the color difference indexes, nor the pigments contents, in peels of the two peach cultivars among treatments. Compared with single and triple topdressing applications, the double topdressing applications resulted in a greater fruit firmness, higher soluble solids and soluble sugar contents, and a lower organic acid content, which effectively improved the internal quality of the peach fruit. Fractional topdressing during the expansion and the pre-maturity stages is beneficial in improving peach fruit quality.

Key words: peach; compound fertilizer; split topdressing; fruit quality

果树的施肥分为基肥和追肥两种方式。基肥一般以有机肥如堆肥、粪肥、厩肥、圈肥、作物秸秆等为主,通过充分腐熟,将有机物转化为无机物,有机肥腐熟过程中产生的热量可降低基肥中杂草种子的生命力,起到杀灭病菌、卵、幼虫的作用,腐熟过程中产生的酸性物质可中和盐碱,促进磷元素的吸收,提高果树的抗逆性。除基肥外,追肥也是保证树体正常生长发育、改善果实品质的主要手段。合理的施肥配合灌水,对促进树体生长、增强叶片光合能力、改善果实品质、提高水肥利用效率至关重要(张蕊等2016; 张效星等2018)。生产上果农一次性追肥的现象普遍存在,容易造成树体生长发育与养分供应同步性差,雨季肥料淋溶现象严重,肥料利用率低(刘之广等2014),土壤有效养分难以满足树体、叶片、果实的生长发育所需。树体由于所处生长发育时期如树体生长、叶片发育、萌芽、开花、坐果、果实膨大、成熟等阶段不同,对外源肥料的需求量也存在差异,抓住果树生长发育的关键时期进行分次施肥,是达到精准施肥、提高肥效的主要途径。

平衡施肥对提高果树的肥料利用率、促进高产稳产作用明显(王玫等2017)。氮、磷、钾元素是果树生命周期中所需的主要大量元素,氮肥可提高叶片光合效能、促进花芽分化、影响树体形态建成、提高产量(Raese等2007; 肖元松等2014),磷元素与果树产量(Li等2020)、幼苗生长、叶片光合效率密切相关(杨为海等2019),施钾可提高果实可溶性固形物含量、改善品质、提高耐贮性(Valentinuzzi等2017; Amkha等2018)。在追施肥料方面,相关研

究表明,‘红富士’苹果嫁接苗三次追施氮肥的植株总氮量、吸收的 ^{15}N 量及 ^{15}N 肥料利用率均最大(丁宁等2012),采用根区分次注射平衡追肥提高了渭北旱塬苹果树体对氮磷钾等养分的吸收利用效率,达到了节肥、稳产与提质的效果(章伟等2018)。在菠萝生长发育阶段进行二次氮肥施用可起到提高产量、保持较好品质的作用,多于二次则对果实品质产生不利影响(石伟琦等2012),在等量施肥的前提下,施肥次数并非越多越好。在桃树生产上,于果实采收后、翌年膨大期分次施用氮磷钾复合肥时,减少氮肥用量、增施磷钾肥可提高黄肉桃产量和果实糖度,果实采后配施少量有机肥效果更明显(钱非凡等2008);在花后、采后和秋季进行氮磷钾配合施肥,可显著提高设施油桃叶片的光合作用和果实品质,其中,氮、钾分别对生长和品质影响显著(吴月燕和刘秀莲2007)。桃果实生长发育关键时期如硬核期、成熟前期等阶段追肥效果鲜见报道。本研究连续2年对桃树分次追肥与果实品质的关系进行了探讨,以期为桃园合理追肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于2015年—2016年在江苏省农业科学院桃试验园(32°2'N, 118°52'E, 海拔11 m)进行,该园地处亚热带季风性气候区,年降水量1 000~1 100 mm,年平均气温15.7°C,年积温约4 800°C,平均日照时间1 900 h,全年无霜期220~240 d。

1.2 试验材料

供试桃[*Prunus persica* (L.) Batsch]品种为中熟

桃‘霞脆’和晚熟桃‘霞晖8号’盛果期植株, 树龄6年, 各品种树体生长势基本一致, 树形为三主枝自然开心形, 采用起垄栽培模式, 南北行向, 株行距3 m×5 m, 正常进行田间管理。试验连续进行2年, 2015年采用品种为‘霞晖8号’(7月30日采收), 2016年采用品种为‘霞晖8号’(8月1日采收)和‘霞脆’(7月8日采收)。每年的秋季每株树穴施35 kg羊粪作为基肥。

1.3 试验设计

试验分为3个处理, 每处理9株, 每3株为1个小区, 随机区组设计, 3次重复。田间试验进行过程中, 在树下垄两侧顺行向覆盖不透水的黑色地膜, 每次进行处理时揭开地膜进行浇水或施肥, 完成后将地膜盖好。所施肥料为K₂SO₄复合肥(N、P₂O₅、K₂O质量比为15:15:15, 由江苏华昌化工股份有限公司生产), 在距主干1 m处环施, 施肥深度20 cm。处理1 (对照, 常规追肥方式, 一次追肥): 在果实膨大期株施复合肥1.5 kg。处理2 (二次追肥): 分别在果实膨大期、成熟前期(果实成熟前10 d左右)株施复合肥0.75 kg。处理3 (三次追肥): 分别在硬核期、果实膨大期、成熟前期株施复合肥0.5 kg (2个桃品种的具体施肥日期见表1)。每株树追肥后均立即浇水灌透, 相应时期不进行施肥处理的植株也浇灌等量水分。

1.4 果实品质指标测定

果实成熟期, 于晴朗天气上午8:00采收树体中部外围生长发育较一致的果实, 立即带回实验室, 测定果皮色差指标、单果重、果实硬度、果肉可溶性

固形物含量。削下果皮, 测定花色苷和叶绿素含量, 切碎果肉, 匀浆, 测定可溶性糖和有机酸组分。

用0.01 g感量的电子天平测定单果重。用Color Quest XE色差计测定果实赤道部位的横径、侧径端点处(4个测量点)的亮度值(*L*)、红色饱和度(*a*^{*})和黄色饱和度(*b*^{*}), 并计算色饱和度($C=\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$)和色调角[$h=\arctan(b^*/a^*)$] (Voss 1992; Koukounaras等2009), 取4个点的平均值作为单个果实的相应指标值。用TA. XT. Plus型质构仪测定果实的带皮硬度和去皮硬度, 测定部位为果实赤道部位侧径端点, 质构仪所采用的探头直径为8 mm, 贯入速度为1 mm·s⁻¹, 测试深度为5 mm。利用ATAGO便携数显折光仪PAL-1测定果实赤道部位侧径端点处果肉的可溶性固性物含量(Infante等2011), 单位以°Brix表示(Nichols等2003)。用Agilent 1100高效液相色谱仪测定果肉中蔗糖、葡萄糖、果糖、山梨醇、苹果酸、奎尼酸和柠檬酸含量(Zhang等2015)。总糖含量为各可溶性糖组分含量的总和, 总酸含量为各有机酸组分含量的总和, 根据总糖、总酸含量计算糖酸比。用95%乙醇避光提取果皮中的叶绿素, 并采用UV-6300PC型分光光度计测定665 nm和649 nm处的吸光值, 计算叶绿素含量(Lichtenthaler和Wellburn 1983)。果皮花色苷含量的测定方法为: 用甲醇、水、磷酸、三氟乙酸体积比为70:27:2:1的提取液提取花色苷, 在避光条件下用超声波破碎, 4℃下离心10 min, 用0.22 μm有机滤头过滤后以Agilent 1100高效液相色谱仪搭载VWD紫外检

表1 追肥日期
Table 1 Dtae of topdressing

品种	年份	处理	施肥日期		
			硬核期	膨大期	成熟前期
‘霞晖8号’	2015年	一次追肥	—	7月7日	—
		二次追肥	—	7月7日	7月21日
		三次追肥	5月26日	7月7日	7月21日
	2016年	一次追肥	—	7月8日	—
		二次追肥	—	7月8日	7月20日
		三次追肥	5月20日	7月8日	7月20日
‘霞脆’	2016年	一次追肥	—	6月21日	—
		二次追肥	—	6月21日	6月29日
		三次追肥	5月20日	6月21日	6月29日

测器和Agilent ZORBAX SB-C18色谱分析柱(4.6 mm×250 mm, 5 μ m)检测花色苷色谱图, 其中流动相A为甲醇、磷酸、三氟乙酸以体积比97:2:1混合, 流动相B为水、磷酸、三氟乙酸以体积比97:2:1混合, 检测波长525 nm, 柱温25°C, 流速1.0 mL·min⁻¹, 根据标准曲线计算花色苷含量。

1.5 数据分析

采用Microsoft Excel 2016软件进行数据处理和作图, 采用SPSS 23.0进行方差分析, 所有数据经邓肯氏新复极差测验。

2 实验结果

2.1 追肥对桃单果重影响

由图1可见, 在2年的试验中, 不同追肥次数下, ‘霞晖8号’和‘霞脆’的单果重均无显著差异, 表明不同的追肥时期对桃果实大小未产生显著影响。

2.2 追肥对桃果实硬度的影响

不同追肥次数下桃果实硬度差异见图2。对‘霞晖8号’而言, 在2年的试验中, 不同处理间果实的带皮硬度、去皮硬度均表现为二次追肥的处理最高, 一次、三次追肥的处理较低, 且二者差异不显著。不同年份间比较, 3个追肥处理的第1年的带皮硬度均显著高于第2年, 但去皮硬度未见明显差异。不同追肥次数对‘霞脆’果实的带皮硬度无显著影响, 二次、三次追肥处理的去皮硬度无显著差异, 但均显著高于一次追肥。上述结果表明, 仅一次追肥情况下桃果实的果肉硬度较低, 二次追肥可保证较好的果实硬度。

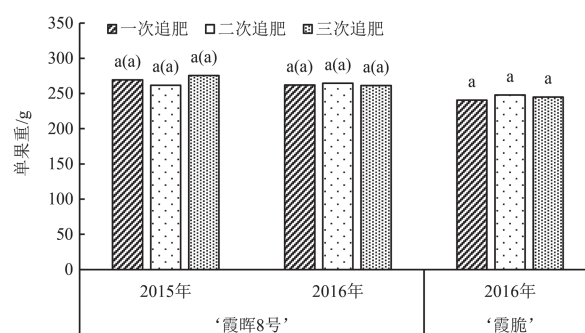


图1 追肥次数对桃单果重的影响

Fig. 1 Effects of topdressing frequency on single fruit weight of peach

柱上括号外不同小写字母表示相同年份不同处理间在5%水平差异显著, 括号内不同字母表示不同年份相同处理间在5%水平差异显著。下同。

2.3 追肥对桃果实可溶性固形物含量的影响

从图3可以看出, 在2年的试验中, 二次、三次追肥的‘霞晖8号’果实的可溶性固形物含量(SSC)无显著差异, 但均显著高于一次追肥。不同年份间, 3个追肥处理中, 相同处理果实的SSC无显著差异。对‘霞脆’而言, 二次追肥果实的SSC显著高于一次追肥, 而三次追肥与一次追肥果实的SSC无显著差异。说明增加追肥次数可提升‘霞晖8号’桃的果实内含物水平, 但对‘霞脆’而言, 在二次追肥情况下果实的内含物水平最高, 增加追肥次数则不能使内含物水平提高。

2.4 追肥对桃果实可溶性糖含量的影响

追肥次数对桃果实可溶性糖组分含量的影响

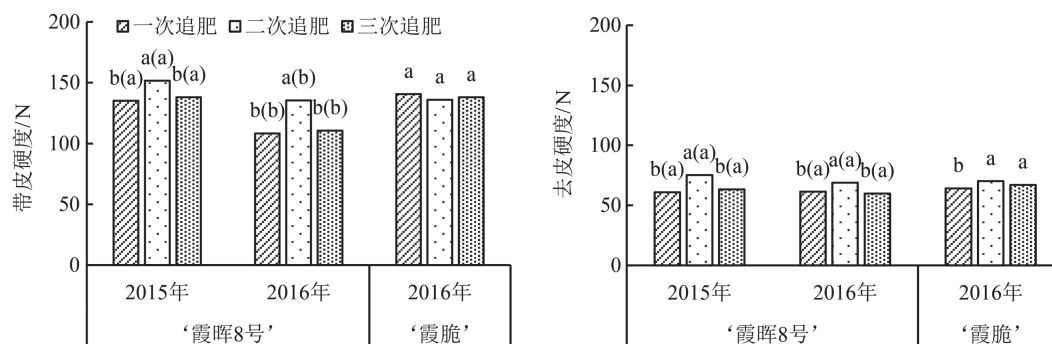


图2 追肥次数对桃果实硬度的影响

Fig. 2 Effects of topdressing frequency on firmness of peach fruit

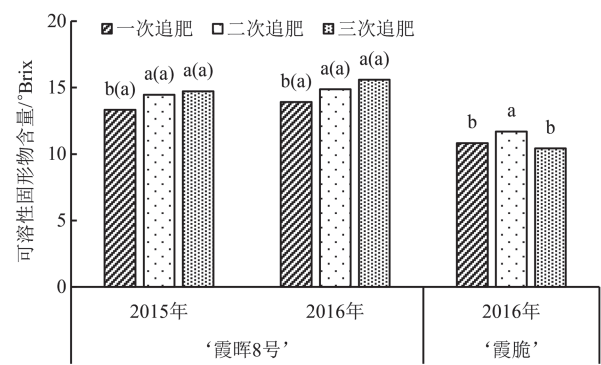


图3 追肥次数对桃果实可溶性固形物含量的影响
Fig. 3 Effects of topdressing frequency on soluble solids content of peach fruit

如表2所示。试验第1年, 二次追肥处理的‘霞晖8号’果实蔗糖含量与一次追肥差异不显著, 但三次追肥则显著高于二者, 而次年则为二次、三次追肥处理果实的蔗糖含量差异不显著, 但均显著高于一次追肥。3个处理的葡萄糖含量均差异不显著。二次、三次追肥的果糖含量在第1年试验中均显著高于一次追肥, 但第2年数据则显示3个处理间无显著差异。二次、三次追肥处理果实的山梨醇、总糖含量差异不显著, 但均显著高于一次追肥。试验第2年‘霞晖8号’果实的蔗糖、葡萄糖、山梨醇和总糖含量均显著高于第1年; 一次追肥处理的果糖含量在2年试验中差异不显著, 而试验第2年二次、

三次追肥处理的果糖含量则显著低于第1年。对‘霞脆’而言, 二次追肥处理果实的蔗糖、山梨醇含量均显著高于一次追肥, 但三次追肥则相反; 二次追肥处理果实的葡萄糖、果糖、总糖含量均显著高于一次追肥, 但三次追肥则与一次追肥无显著差异。

2.5 追肥对桃果实有机酸含量的影响

不同处理的‘霞晖8号’果实有机酸含量显示(表3), 第1年试验中二次追肥处理果实的苹果酸含量显著低于一次追肥, 而三次追肥则与一次追肥差异不显著; 二次、三次追肥处理果实的奎尼酸、总酸含量差异不显著但均显著低于一次追肥; 二次、三次追肥处理果实的柠檬酸含量均显著低于一次追肥, 而三次追肥的处理也显著低于二次追肥。在第2年试验中, 3个处理‘霞晖8号’果实的苹果酸、奎尼酸含量均无显著差异, 柠檬酸、总酸含量比较结果与上一年一致。不同年份间比较, 相同追肥处理的‘霞晖8号’果实的苹果酸、总酸含量无显著差异; 3个处理第2年果实的奎尼酸含量均显著低于上一年, 而柠檬酸含量则相反。对‘霞脆’而言, 3个追肥处理的果实有机酸组分含量均表现为一次追肥>二次追肥>三次追肥($P<0.05$)。表明增加追肥次数可使桃果实有机酸含量降低, 有利于改善果实口感。

2.6 追肥对桃果实糖酸比的影响

不同追肥次数下‘霞晖8号’和‘霞脆’果实的糖

表2 追肥次数对桃果实可溶性糖含量的影响
Table 2 Effects of topdressing frequency on soluble sugar content of peach fruit

			g·kg ⁻¹ (FW)				
品种	年份	处理	蔗糖	葡萄糖	果糖	山梨醇	总糖
‘霞晖8号’	2015年	一次追肥	50.95 ^{b(b)}	11.67 ^{a(b)}	13.88 ^{b(a)}	3.88 ^{b(b)}	80.38 ^{b(b)}
		二次追肥	52.58 ^{b(b)}	12.72 ^{a(b)}	15.38 ^{a(a)}	6.85 ^{a(b)}	87.53 ^{a(b)}
		三次追肥	55.96 ^{a(b)}	12.30 ^{a(b)}	14.82 ^{a(a)}	5.72 ^{a(b)}	88.80 ^{a(b)}
	2016年	一次追肥	54.80 ^{b(a)}	14.77 ^{a(a)}	13.93 ^{a(a)}	4.63 ^{b(a)}	88.13 ^{b(a)}
		二次追肥	59.96 ^{a(a)}	14.61 ^{a(a)}	13.35 ^{a(b)}	7.18 ^{a(a)}	95.10 ^{a(a)}
		三次追肥	62.20 ^{a(a)}	14.57 ^{a(a)}	13.07 ^{a(b)}	7.92 ^{a(a)}	97.76 ^{a(a)}
‘霞脆’	2016年	一次追肥	45.33 ^b	8.83 ^b	7.53 ^b	2.24 ^b	63.93 ^b
		二次追肥	56.59 ^a	13.99 ^a	11.54 ^a	4.35 ^a	86.47 ^a
		三次追肥	39.37 ^c	7.08 ^b	6.52 ^b	1.32 ^c	54.29 ^b

同列数字后括号外不同小写字母表示相同年份不同处理间在5%水平差异显著, 括号内不同字母表示不同年份相同处理间在5%水平差异显著。下同。

表3 追肥次数对桃果实有机酸含量的影响
Table 3 Effects of topdressing frequency on organic acid content of peach fruit

			g·kg ⁻¹ (FW)			
品种	年份	处理	苹果酸	奎尼酸	柠檬酸	总酸
‘霞晖8号’	2015年	一次追肥	2.54 ^{a(a)}	1.17 ^{a(a)}	0.89 ^{a(b)}	4.60 ^{a(a)}
		二次追肥	2.38 ^{b(a)}	1.05 ^{b(a)}	0.66 ^{b(b)}	4.09 ^{b(a)}
		三次追肥	2.49 ^{a(a)}	1.06 ^{b(a)}	0.43 ^{c(b)}	3.98 ^{b(a)}
	2016年	一次追肥	2.28 ^{a(a)}	0.83 ^{a(b)}	1.31 ^{a(a)}	4.42 ^{a(a)}
		二次追肥	2.12 ^{a(a)}	0.85 ^{a(b)}	1.19 ^{b(a)}	4.16 ^{b(a)}
		三次追肥	2.23 ^{a(a)}	0.82 ^{a(b)}	1.06 ^{c(a)}	4.11 ^{b(a)}
‘霞脆’	2016年	一次追肥	3.04 ^a	0.90 ^a	0.87 ^a	4.81 ^a
		二次追肥	1.61 ^b	0.40 ^b	0.64 ^b	2.65 ^b
		三次追肥	1.12 ^c	0.22 ^c	0.51 ^c	1.85 ^c

酸比如图4所示。试验结果显示, 二次、三次追肥处理间果实的糖酸比无显著差异, 但均显著高于一次追肥。不同年份间比较, 相同追肥处理果实的糖酸比无显著差异。说明增加追肥次数有利于提高桃果实中总可溶性糖与总有机酸含量的比值, 起到改善风味的作用。

2.7 追肥对桃果皮色差的影响

由表4可知, 试验第1年, 二次追肥处理的‘霞晖8号’果皮 a^* 、 a/b 均显著高于一次追肥, 而三次追肥则与一次追肥无显著差异。对 b^* 、 h 而言, 二次追肥处理的‘霞晖8号’显著低于一次追肥, 而三次追肥则与一次追肥差异不显著, 不同处理间 L 、 C 均无显著差异。试验第2年, 不同处理的‘霞晖8号’和

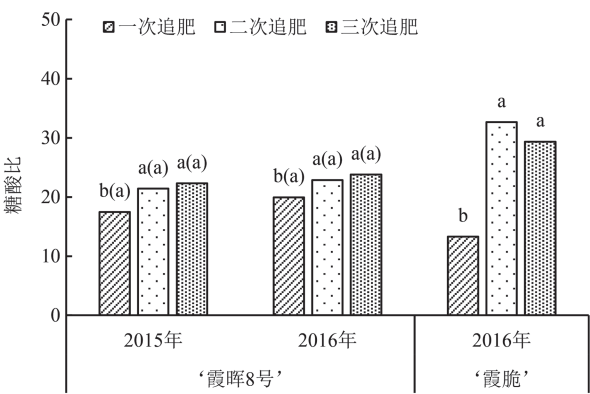


图4 追肥次数对桃果实糖酸比的影响
Fig. 4 Effects of topdressing frequency on sugar to acid ratio of peach fruit

表4 追肥次数对桃果皮色差的影响
Table 4 Effects of topdressing frequency on color difference of pericarp of peach fruit

品种	年份	处理	<i>L</i>	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>C</i>	<i>h</i>	<i>a/b</i>
‘霞晖8号’	2015年	一次追肥	56.33 ^{a(a)}	26.79 ^{b(a)}	20.58 ^{a(a)}	33.79 ^{a(a)}	39.93 ^{a(a)}	1.31 ^{b(a)}
		二次追肥	53.39 ^{a(a)}	30.47 ^{a(a)}	18.69 ^{b(a)}	35.83 ^{a(a)}	31.77 ^{b(a)}	1.64 ^{a(a)}
		三次追肥	57.86 ^{a(a)}	25.76 ^{b(a)}	20.58 ^{a(a)}	33.44 ^{a(a)}	39.54 ^{a(a)}	1.29 ^{b(a)}
	2016年	一次追肥	51.90 ^{a(a)}	28.60 ^{a(a)}	19.06 ^{a(a)}	34.62 ^{a(a)}	34.00 ^{a(a)}	1.55 ^{a(a)}
		二次追肥	54.51 ^{a(a)}	28.20 ^{a(a)}	19.30 ^{a(a)}	34.55 ^{a(a)}	34.85 ^{a(a)}	1.52 ^{a(a)}
		三次追肥	52.70 ^{a(a)}	27.43 ^{a(a)}	18.41 ^{a(a)}	33.57 ^{a(a)}	34.50 ^{a(a)}	1.57 ^{a(a)}
‘霞脆’	2016年	一次追肥	63.20 ^a	15.26 ^a	20.38 ^a	26.77 ^a	55.48 ^a	0.80 ^a
		二次追肥	62.73 ^a	16.73 ^a	20.94 ^a	27.70 ^a	52.94 ^a	0.84 ^a
		三次追肥	60.59 ^a	17.92 ^a	19.34 ^a	27.80 ^a	50.14 ^a	1.01 ^a

‘霞脆’果实果皮的所有色差指标均无显著差异。不同年份间比较, 相同追肥处理的果皮色差指标均差异不显著。表明追肥次数对桃果实的外观着色、果皮光洁程度、鲜艳程度等影响较小。

2.8 追肥对桃果皮色素含量的影响

由图5可以看出, 试验第1年, ‘霞晖8号’果实果皮的花色苷含量表现为二次追肥处理显著高于一次追肥, 但三次追肥则与一次追肥差异不显著, 与 a^* 、 a/b 趋势一致。试验第2年的数据显示, 2个品种不同追肥处理果实的果皮花色苷含量均无显著差异。不同年份间比较, ‘霞晖8号’一次、三次追肥处理的花色苷含量在2年间无显著差异, 而二次追肥处理试验第2年的花色苷含量则显著低于第1年。从果皮叶绿素含量看, 2个品种的不同处理间均无显著差异。对‘霞晖8号’而言, 第2年的果皮叶绿素含量较第1年显著降低。表明追肥次数对桃果实的果皮色素含量影响不明显, 增加追肥次数并不能显著改善外观品质。

3 讨论

产量和果实品质是衡量果树生产能力的重要指标, 在施用基肥的基础上, 翌年进行合理追肥是保证产量、改善外观品质和内在品质的主要途径。在果实生长发育过程中追肥, 一般多施用速效性的化学肥料, 以达到促进花芽分化、持续提高树体产能、改善果实品质的目的。相关研究表明, 当前农业生产上重氮、偏磷、轻钾施肥方式仍未明显

改观(王探魁等2011; 赵佐平等2012; 石健等2015)。过量的氮肥投入影响土壤环境, 加重土壤氮负荷, 土壤氮素淋失加剧, 有机质含量显著降低(Byju和Anand 2009; Liu等2013; 杨江波等2019)。施用高氮高磷肥料易使果实品质变差, 减少氮磷肥施用, 则可提高果实综合品质(位高生等2018)。长期重氮肥而轻钾肥, 易导致土壤逐渐酸化, 加剧钾素养分流失, 甚至出现严重的土壤钾素供应不足现象(袁紫倩等2020)。合理施用氮磷钾肥能提高果园的土壤肥力和环境效益(尹兴等2013; Rafael等2019), 明显促进果树树体生长发育、提高产量、改善果实品质(鲁剑巍等2004)。

已有研究表明, 与不施肥相比, 增施复合肥可起到提高产量的作用。史春余等(2004)研究表明, 施用氮磷钾复合肥可增加番茄后期产量所占比例, 显著提高产量; 樊卫国等(2006)发现, 提高复合肥施用量可使脐橙树体叶片营养元素含量值达到营养诊断分析适宜值范围, 产量较高。而在等量施肥的前提下, 产量变化因作物类型而异。菠萝单果重随着氮肥施用次数的增加而变大, 氮肥后移对获取高产更有利(石伟琦等2012); 而本研究则表明, 分次追肥并未对‘霞晖8号’和‘霞脆’2个桃品种的单果重产生显著影响, 产量稳定, 在等量灌水情况下, 追肥时期、次数并非桃果实膨大的决定因素。

硬度是衡量果实成熟程度和品质的重要参数(Peng和Lu 2006; Diezma-Iglesias等2006; Zhang等2017), 对耐贮性评价、耐运输特性分析等具有重

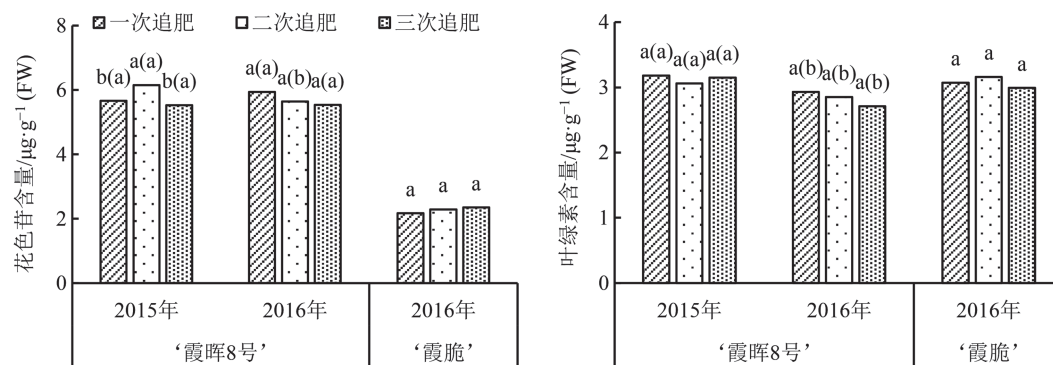


图5 追肥次数对桃果皮色素含量的影响

Fig. 5 Effects of topdressing frequency on pigment content in pericarp of peach fruit

要参考意义(Giménez等2015)。有研究表明,根系生长发育及活力的提高可促进植株对钙元素的吸收(杨洪强等2003; Dobbss等2007), 进而提高果实硬度(Casero等2005; 廖亚运等2016)。本研究中, 二次追肥均可使‘霞晖8号’和‘霞脆’果实与一次追肥相比保持较高的果肉硬度, 推测果实膨大期和成熟前期增施复合肥使根系活力提高, 根系生长发育和代谢活动旺盛, 促进了植株对土壤中钙元素的吸收, 进而提高了果实硬度。

本研究所采用的复合肥含有等比例的氮、磷、钾元素, 二次追肥条件下, ‘霞晖8号’和‘霞脆’果实的可溶性固形物、山梨醇及总糖含量都显著升高, 3种有机酸中柠檬酸含量降幅明显, 糖酸比提高, 不同时期分次追肥具有明显的“提糖降酸”效果, 推测分次追肥给植株根系提供了较稳定的肥源和持续的元素供应, 叶片光合效率提高, 衰老进程延缓(Oaks等1977; 彭福田等2003), 叶片对光能的吸收、传递能力增强, 通过光合作用生产的碳水化合物增加, 从而使果实可溶性糖含量提高。而仅在果实膨大期一次追肥导致植株根系附近短期内氮、磷、钾元素供应过量, 不利于果实可溶性糖的积累, 还易导致有机酸含量升高, 从而使果实具有较低的糖酸比, 与郑章云等(2018)在桑果上的研究结果一致。本研究还发现, 三次追肥条件下‘霞脆’果实的可溶性固形物、可溶性糖及有机酸组分含量均处于较低水平, 可能与硬核期果实生长发育对营养元素需求量低, 膨大期、成熟前期需肥量较大但此时肥料供应量不足产生“脱肥”现象有关。

在果实外观品质方面, 史星雲等(2019)研究发现, 滴灌施肥条件下, 水肥调控对酿酒葡萄果皮色泽参数无显著影响; 周琳等(2015)的研究表明, 对蓝莓追施不同量的复合肥未对果实花色苷含量产生明显影响; 本研究也发现, 追施不同次数氮磷钾复合肥未对桃果实外观色差及色素含量产生显著影响, 与上述研究结果一致。但也有研究表明, 适时平衡施入氮磷钾肥, 可提高果实品质, 促进果实着色, 提高花色苷含量(金会翠等2007; 赵佐平等2013)。果实的外观品质受肥料类型、施肥次数、施肥量以及果树类型等因素的综合影响, 应结合实际对果实生长发育阶段需肥情况进行外观品质

变化探讨。

硬核期、果实膨大期、成熟前期均为桃果实生长发育的重要阶段, 也是通过追肥改善果实品质的关键时期。在施用等量氮磷钾复合肥进行追肥的条件下, 不同的追肥次数对桃果实单果重、产量及外观品质不产生显著影响, 但对果实硬度及内含物含量等内在品质指标的影响显著。合理的追肥时期与追肥次数, 是稳定桃树根部养分供给、提高内在品质的主要途径。在本试验中, 与一次、三次追肥相比, 二次追肥条件可使2个桃品种保持较高的果实硬度、可溶性固形物和可溶性糖含量, 具有明显的“提糖降酸”效果, 较大幅度地改善了桃果实内在品质。在桃果实生长发育过程中, 在果实膨大期和成熟前期分次追肥有利于提高品质。

参考文献(References)

- Amkha S, Saengkai K, Rungcharoenthong P (2018). Gibberellin application and potash fertilizer on yield and quality of ‘White Malaga’ grape. *Acta Hort*, 1206: 51–56
- Byju G, Anand HM (2009). Differential response of short- and long-duration cassava cultivars to applied mineral nitrogen. *J Plant Nutr Soil Sci*, 172 (4): 572–576
- Casero T, Benavides A, Puy J, et al (2005). Relationships between leaf and fruit nutrients and fruit quality attributes in golden smoothee apple using multivariate regression techniques. *J Plant Nutr*, 27 (2): 313–324
- Diezma-Iglesias B, Valero C, Garcia-Ramos FJ, et al (2006). Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods. *J Food Eng*, 77 (4): 926–935
- Ding N, Jiang YM, Peng FT, et al (2012). Effect of topdressing nitrogen application on leaf senescence and ^{15}N -urea of absorption, distribution and utilization in potted ‘Fuji’ apple. *Sci Agric Sin*, 45 (19): 4025–4031 (in Chinese with English abstract) [丁宁, 姜远茂, 彭福田等(2012). 等氮量分次追施对盆栽红富士苹果叶片衰老及 ^{15}N -尿素吸收、利用特性的影响. *中国农业科学*, 45 (19): 4025–4031]
- Dobbss LB, Medici LO, Peres LEP, et al (2007). Changes in root development of *Arabidopsis* promoted by organic matter from oxisols. *Ann Appl Biol*, 151 (2): 199–211
- Fan WG, Yang SA, Liu GQ, et al (2006). Effects of fertilizer application level on the yield, quality and economic return of navel orange. *J Mount Agric Biol*, 25 (3): 194–196 (in Chinese with English abstract) [樊卫国, 杨胜安, 刘国琴等(2006). 不同施肥水平对脐橙产量、品质和经济

- 效益的影响. 山地农业生物学报, 25 (3): 194–196]
- Giménez MJ, Valverde JM, Valero D, et al (2015). Methyl salicylate treatments of sweet cherry trees improve fruit quality at harvest and during storage. *Sci Hortic*, 197: 665–673
- Infante R, Contador L, Rubio P, et al (2011). Postharvest sensory and phenolic characterization of ‘Elegant Lady’ and ‘Carson’ peaches. *Chilean J Agric Res*, 71 (3): 445–451
- Jin HC, Zhang LS, Li BZ, et al (2007). Effect of potassium on the leaf nutrition and quality of red Fuji apple. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 16 (3): 100–104 (in Chinese with English abstract) [金会翠, 张林森, 李丙智等(2007). 增施钾肥对红富士苹果叶片营养及果实品质的影响. 西北农业学报, 16 (3): 100–104]
- Koukounaras A, Siomos AS, Sfakiotakis E (2009). Impact of heat treatment on ethylene production and yellowing of modified atmosphere packaged rocket leaves. *Postharvest Biol Technol*, 54 (3): 172–176
- Li D, Li X, Han QZ, et al (2020). Phosphorus application improved the yield of citrus plants grown for three years in an acid soil in the Three Gorges Reservoir Area. *Sci Hortic*, 273 (17): 109596
- Liao YY, Zhang BB, Ma RJ, et al (2016). Calcium absorption and cell ultrastructure of Jinlinghuanglu peach in response to pre-harvest calcium solutions spraying. *Jiangsu J Agric Sci*, 2 (5): 1171–1176 (in Chinese with English abstract) [廖亚运, 张斌斌, 马瑞娟等(2016). 采前喷钙对金陵黄露桃钙吸收及细胞超微结构的影响. 江苏农业学报, 32 (5): 1171–1176]
- Lichtenthaler HK, Wellburn AR (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochem Soc Trans*, 11 (7): 591–592
- Liu XJ, Zhang Y, Han WX, et al (2013). Enhanced nitrogen deposition over China. *Nature*, 494 (7438): 459–462
- Liu ZG, Chen BC, Zhang M, et al (2014). Nitrogen and phosphorus leaching of peach orchard in Zhihugang region of Tai lake with different fertilization treatments under simulated condition. *J Soil Water Conserv*, 28 (3): 227–231 (in Chinese with English abstract) [刘之广, 陈宝成, 张民等(2014). 模拟条件下太湖直湖港地区桃园土壤不同施肥处理氮磷淋失特征. 水土保持学报, 28 (3): 227–231]
- Lu JW, Chen F, Wang YH, et al (2004). Effect of N, P, K fertilization on young citrus tree growth, fruit yield and quality in area of red soil. *J Plant Nutr Fert*, 10 (4): 413–418 (in Chinese with English abstract) [鲁剑巍, 陈防, 王运华等(2004). 氮磷钾肥对红壤地区幼龄柑橘生长发育和果实产量及品质的影响. 植物营养与肥料学报, 10 (4): 413–418]
- Nichols JJ, Mitchell GL, Good GW (2003). The reliability and validity of hand-held refractometry water content measures of hydrogel lenses. *Optom Vis Sci*, 80 (6): 447–453
- Oaks A, Aslam M, Boesel I (1977). Ammonium and amino acid as regulators of nitrate reductase in corn roots. *Plant Physiol*, 59 (3): 391–394
- Peng FT, Jiang YM, Gu MR, et al (2003). Effect of nitrogen on apple fruit hormone changing trends and development. *J Plant Nutr Fert*, 9 (2): 208–213 (in Chinese with English abstract) [彭福田, 姜远茂, 顾曼如等(2003). 氮素对苹果果实内源激素变化动态与发育进程的影响. 植物营养与肥料学报, 9 (2): 208–213]
- Peng YK, Lu RF (2006). Improving apple fruit firmness predictions by effective correction of multispectral scattering images. *Postharvest Biol Technol*, 41 (3): 266–274
- Qian FF, Wang H, Shen JF, et al (2008). Preliminary study on application of different fertilizers to peach. *Acta Agric Shanghai*, 24 (3): 120–122 (in Chinese with English abstract) [钱非凡, 王华, 沈金芳等(2008). 不同配方肥对黄桃施用效果的初步研究. 上海农业学报, 24 (3): 120–122]
- Raese JT, Drake SR, Curry EA (2007). Nitrogen fertilizer influences fruit quality, soil nutrients and cover crops, leaf color and nitrogen content, biennial bearing and cold hardiness of ‘Golden Delicious’. *J Plant Nutr*, 30 (10): 1585–1604
- Rafael RBA, Fernández-marcos ML, Cocco S, et al (2019). Benefits of biochars and NPK fertilizers for soil quality and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in an acid arenosol. *Pedosphere*, 29 (3): 311–333
- Shi CY, Zhang FD, Zhang SQ, et al (2004). Effects of organic-inorganic compound fertilizers on yield, quality and some related physiological characteristics in tomato. *Sci Agric Sin*, 37 (8): 1183–1187 (in Chinese with English abstract) [史春余, 张夫道, 张树清等(2004). 有机-无机复合肥对番茄产量、品质和有关生理特性的影响. 中国农业科学, 37 (8): 1183–1187]
- Shi J, Li WQ, Hou LL, et al (2015). Effects of N, P, K combined application on the yield, nutrition absorption and utilization characteristics of *Allium fistulosum*. *Plant Physiol J*, 51 (6): 847–852 (in Chinese with English abstract) [石健, 李炜嵩, 侯丽丽等(2015). 氮磷钾配施对大葱产量及养分吸收利用特性的影响. 植物生理学报, 51 (6): 847–852]
- Shi WQ, Sun GM, Lu XH, et al (2012). Effects of split application of nitrogen on yield and quality of pineapple. *J Plant Nutr Fert*, 18 (6): 1524–1529 (in Chinese with English abstract) [石伟琦, 孙光明, 陆新华等(2012). 分次施氮对菠萝产量和品质的影响. 植物营养与肥料学报, 18 (6): 1524–1529]
- Shi XY, Li Q, Zhang J, et al (2019). Effects of water and fertilizer coupling on growth and quality of wine grape

- under drip irrigation. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 28 (2): 225–236 (in Chinese with English abstract) [史星雲, 李强, 张军等(2019). 滴灌条件下水肥耦合对酿酒葡萄生长发育及果实品质的影响. *西北农业学报*, 28 (2): 225–236]
- Valentinuzzi F, Maver M, Fontanari S, et al (2017). Foliar application of potassium-based fertilizer improves strawberry fruit quality. *Acta Hort*, 1217: 379–384
- Voss DH (1992). Relating colorimeter measurement of plant color to the *Royal Horticultural Society Colour Chart*. *HortScience*, 27 (12): 1256–1260
- Wang M, Jiang WT, Sun SY, et al (2017). Effects of appropriate N and P fertilizer on growth and soil environments of replanted apple (*Malus hupehensis*) seedlings. *Plant Physiol J*, 53 (9): 1687–1694 (in Chinese with English abstract) [王玫, 姜伟涛, 孙申义等(2017). 添加适宜氮磷对连作平邑甜茶幼苗生长及土壤环境的影响. *植物生理学报*, 53 (9): 1687–1694]
- Wang TK, Ji YZ, Zhang LJ, et al (2011). Characteristics of water and fertilizer inputs in different production levels vineyards and soil-tree nutrient characteristics analyse. *J Soil Water Conserv*, 25 (3): 136–141 (in Chinese with English abstract) [王探魁, 吉艳芝, 张丽娟等(2011). 不同产量水平葡萄园水肥投入特点及其土壤-树体养分特征分析. *水土保持学报*, 25 (3): 136–141]
- Wei GS, Hu CX, Tan QL, et al (2018). The effect of nitrogen and phosphorus fertilizer reduction on yield and quality of Guanxi pomelo. *J Plant Nutr Fert*, 24 (2): 471–478 (in Chinese with English abstract) [位高生, 胡承孝, 谭启玲等(2018). 氮磷减量施肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 24 (2): 471–478]
- Wu YY, Liu XL (2007). Effects of different N, P, K doses on the growth and fruitage of nectarine under plastic tunnel in Southern China. *Acta Agric Shanghai*, 23 (2): 85–89 (in Chinese with English abstract) [吴月燕, 刘秀莲(2007). 氮磷钾对南方设施油桃生长和结果的影响. *上海农业学报*, 23 (2): 85–89]
- Xiao YS, Peng FT, Fang L, et al (2014). Effects of fertilization area size on absorption and utilization of ^{15}N and growth of young peach trees. *J Plant Nutr Fert*, 20 (4): 957–964 (in Chinese with English abstract) [肖元松, 彭福田, 房龙等(2014). 树盘施肥区域大小对 ^{15}N 吸收利用及桃幼树生长的影响. *植物营养与肥料学报*, 20 (4): 957–964]
- Yang HQ, Zhang LZ, Qi JL, et al (2003). The kinetics of calcium uptake in apple rootstock roots. *Acta Hort Sin*, 30 (3): 253–257 (in Chinese with English abstract) [杨洪强, 张连忠, 戚金亮等(2003). 苹果砧木根系钙素吸收动力学研究. *园艺学报*, 30 (3): 253–257]
- Yang JB, Zhang J, Li JJ, et al (2019). Effects of nitrogen application levels on nutrient, yield and quality of tarocco blood orange and soil physicochemical properties in the Three Gorges Area of Chongqing. *Sci Agric Sin*, 52 (5): 893–908 (in Chinese with English abstract) [杨江波, 张绩, 李俊杰等(2019). 三峡重庆库区施氮水平对塔罗科血橙树体养分、产量品质及土壤理化性质的影响. *中国农业科学*, 52 (5): 893–908]
- Yang WH, Zeng LZ, Zeng H, et al (2019). Response characteristics of the mineral element contents of young macadamia trees to different phosphorus levels. *Chin J Trop Crops*, 40 (10): 2034–2040 (in Chinese with English abstract) [杨为海, 曾利珍, 曾辉等(2019). 澳洲坚果幼树矿质元素含量对不同供磷水平的响应特征. *热带作物学报*, 40 (10): 2034–2040]
- Yin X, Ji YZ, Ni YX, et al (2013). Status of soil fertility in vineyard-producing areas of Hebei Province. *Sci Agric Sin*, 46 (10): 2067–2075 (in Chinese with English abstract) [尹兴, 吉艳芝, 倪玉雪等(2013). 河北省葡萄主产区土壤养分丰缺状况. *中国农业科学*, 46 (10): 2067–2075]
- Yuan ZQ, Ye ZQ, Li H, et al (2020). Main soil fertility factors and their critical ranges for Chinese walnut (*Carya cathayensis* Sarg.) production. *J Plant Nutr Fert*, 26 (1): 163–171 (in Chinese with English abstract) [袁紫倩, 叶正钱, 李皓等(2020). 影响山核桃林地土壤生产性能的主要肥力因子及其临界区间. *植物营养与肥料学报*, 26 (1): 163–171]
- Zhang BB, Guo JY, Ma RJ, et al (2015). Relationship between the bagging microenvironment and fruit quality in ‘Guibao’ peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *J Hort Sci Biotechnol*, 90 (3): 303–310
- Zhang BB, Peng B, Zhang CH, et al (2017). Determination of fruit maturity and its prediction model based on the pericarp index of absorbance difference (I_{AD}) for peaches. *PLOS One*, 12 (5): e0177511
- Zhang R, Wang YX, Zhao XH, et al (2016). Effects of different seaweed fertilizer levels on soil fertility and fruit quality of ‘Feicheng’ peach. *Plant Physiol J*, 52 (12): 1819–1828 (in Chinese with English abstract) [张蕊, 王钰馨, 赵雪惠等(2016). 海藻有机肥不同施用量对土壤肥力及‘肥城’桃品质的影响. *植物生理学报*, 52 (12): 1819–1828]
- Zhang W, Shi JL, Chen YL, et al (2018). Effects of balanced dressing of N, P and K fertilizers by injecting fertilizer solution into root zone on apple yield and quality in Wei-bei Dryland. *J Northwest A&F Univ (Nat Sci Ed)*, 46 (5): 59–68 (in Chinese with English abstract) [章伟, 师江澜, 陈艳龙等(2018). 根区注射平衡追肥对旱塬苹果产量及品质的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 46 (5): 59–68]
- Zhang XX, Fan Y, Jia Y, et al (2018). Effect of water deficit on

- photosynthetic characteristics, yield and water use efficiency in *Shiranui citrus* under drip irrigation. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 34 (3): 143–150 (in Chinese with English abstract) [张效星, 樊毅, 贾悦等(2018). 水分亏缺对滴灌柑橘光合和产量及水分利用效率的影响. *农业工程学报*, 34 (3): 143–150]
- Zhao ZP, Gao YM, Liu F, et al (2013). Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on the leaf nutrition, quality and yield of Fuji apple. *Acta Horti Sin*, 40 (11): 2229–2236 (in Chinese with English abstract) [赵佐平, 高义民, 刘芬等(2013). 化肥有机肥配施对苹果叶片养分、品质及产量的影响. *园艺学报*, 40 (11): 2229–2236]
- Zhao ZP, Tong YA, Liu F, et al (2012). Assessment of current conditions of household fertilization of apples in Weibei Plateau. *Chin J Eco-Agric*, 20 (8): 1003–1009 (in Chinese with English abstract) [赵佐平, 同延安, 刘芬等(2012). 渭北旱塬苹果园施肥现状分析评估. *中国生态农业学报*, 20 (8): 1003–1009]
- Zheng ZY, Zhang MH, Li ZN, et al (2018). Effects of applying N, P and K fertilizer at different proportions on mulberry fruit quality. *Sci Sericul*, 44 (5): 787–791 (in Chinese with English abstract) [郑章云, 张明海, 李智念等(2018). 氮磷钾肥施用量及配比对桑果品质的影响. *蚕业科学*, 44 (5): 787–791]
- Zhou L, Zhang HH, Wei DW, et al (2015). Effects of fertilization on plant growth, leaves chlorophyll fluorescence parameters and fruit quality of blueberry. *Bull Bot Res*, 35 (6): 854–859 (in Chinese with English abstract) [周琳, 张会慧, 魏殿文等(2015). 施肥对蓝莓植株生长、叶片叶绿素荧光特性和果实品质的影响. *植物研究*, 35 (6): 854–859]