

基于猕猴桃树体养分携出量确定果园合理施肥量——以周至县俞家河流域为例

路永莉, 周建斌, 海龙, 高晶波, 张春红, 李林芝, 冯家玉

引用本文:

路永莉, 周建斌, 海龙, 等. 基于猕猴桃树体养分携出量确定果园合理施肥量——以周至县俞家河流域为例[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(8): 1765–1772.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0206>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

陕西秦岭北麓猕猴桃主产区水质动态变化研究

王时茂, 曲婷, 胡皓翔, 徐肖阳, 高晶波, 陈竹君, 周建斌

农业环境科学学报. 2020, 39(12): 2853–2859 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0726>

氮肥品种对露地蔬菜 NH_3 挥发及经济效益的影响

李晓明, 居静, 夏永秋, 钱晓晴, 颜晓元, 周伟

农业环境科学学报. 2021, 40(6): 1337–1343 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1482>

京津冀化肥投入特征与污染防控对策研究

串丽敏, 郑怀国, 王爱玲, 赵静娟, 颜志辉, 齐世杰

农业环境科学学报. 2021, 40(1): 54–61 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0737>

张掖绿洲农田地膜残留量分布特征及影响因素

杜泽玉, 孙多鑫, 杨荣, 苏永中

农业环境科学学报. 2020, 39(12): 2789–2797 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0690>

清液肥对滴灌棉田 NH_3 挥发和 N_2O 排放的影响

王方斌, 刘凯, 殷星, 廖欢, 孙嘉璘, 闵伟, 侯振安

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2354–2362 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0067>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

路永莉, 周建斌, 海龙, 等. 基于猕猴桃树体养分携出量确定果园合理施肥量——以周至县俞家河流域为例[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(8): 1765–1772.

LU Y L, ZHOU J B, HAI L, et al. Determination of optimal fertilizer quantities based on nutrient removal in kiwi vines: A case study of Yujiahe catchment, in Zhouzhi County[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(8): 1765–1772.



开放科学 OSID

基于猕猴桃树体养分携出量确定果园合理施肥量——以周至县俞家河流域为例

路永莉¹, 周建斌², 海龙¹, 高晶波², 张春红¹, 李林芝¹, 冯家玉³

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 兰州 730070; 2. 西北农林科技大学资源环境学院/农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 白银市平川区宝积镇人民政府, 甘肃 白银 730913)

摘 要:为定量年生长周期内猕猴桃树体各器官养分含量及养分携出量, 确定猕猴桃果园年养分需求量和合理施肥量, 在猕猴桃年生长周期内采集秦美、亚特和华优3个品种猕猴桃树体各器官样品, 测定养分含量, 计算养分携出量。同时在参照研究区成熟果园树体养分贮藏量的基础上, 通过果园养分吸收量推算猕猴桃果园合理施肥量。结果表明: 不同品种猕猴桃果实产量、单果质量、单叶质量及叶个数、枝条修剪量间均没有显著差异, 各器官氮(N)、磷(P)、钾(K)养分含量亦无显著差异。猕猴桃果园每生长1 kg叶片吸收的养分量为N 2.81 g、P 0.31 g、K 2.13 g; 每收获1 kg鲜果移出的养分量为N 1.40 g、P 0.47 g、K 2.23 g; 每修剪1 kg枝条移出的养分量为N 3.70 g、P 0.47 g、K 2.94 g。年生长周期内果园因叶片吸收、果实收获、枝条修剪和树体贮藏的总养分量为N 162 kg·hm⁻²·a⁻¹、P 36 kg·hm⁻²·a⁻¹、K 146 kg·hm⁻²·a⁻¹, 其中来自肥料的养分量为N 38.0 kg·hm⁻²·a⁻¹、P 5.4 kg·hm⁻²·a⁻¹、K 20.0 kg·hm⁻²·a⁻¹。研究表明, 不同品种成熟猕猴桃果园的推荐施肥量均为N 380 kg·hm⁻²·a⁻¹、P 77 kg·hm⁻²·a⁻¹、K 87 kg·hm⁻²·a⁻¹, N:P₂O₅:K₂O为1:0.5:0.3。

关键词:猕猴桃果园; 养分含量; 养分携出量; 施肥量

中图分类号: S663.4 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2021)08-1765-08 doi:10.11654/jaes.2021-0206

Determination of optimal fertilizer quantities based on nutrient removal in kiwi vines: A case study of Yujiahe catchment, in Zhouzhi County

LU Yongli¹, ZHOU Jianbin², HAI Long¹, GAO Jingbo², ZHANG Chunhong¹, LI Linzhi¹, FENG Jiayu³

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University/Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-Environment in Northwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling 712100, China; 3. People's Government of Baoji Town, Pingchuan District, Baiyin 730913, China)

Abstract: The objective of this study was to determine the annual nutrient requirement of kiwi vines by quantifying their nutrient content and uptake during the annual growth cycle, providing a scientific basis for rational fertilization in kiwi orchards. The different kiwi vine organ samples were collected during the annual kiwi vine growth cycle, the nutrient content was analyzed, and the nutrient uptake by the different organs was calculated. The recommended fertilization amount for kiwi orchards was then calculated in Yujiahe catchment based on the nutrient storage capacity of mature orchards. The results indicated no significant differences in the fruit yield, single fruit weight,

收稿日期: 2021-02-22 录用日期: 2021-05-25

作者简介: 路永莉(1987—), 女, 甘肃白银人, 博士, 主要从事果园养分综合管理及农业面源污染防控方面的研究。E-mail: yongli1210@126.com

基金项目: 公招博士科研启动基金(2017RCZX-33); 甘肃省高等学校创新基金项目(2021B-126); 学科建设专项基金项目(GAU-XKJS-2018-196)

Project supported: Scientific Research Start-up Funds for Openly-recruited Doctors (2017RCZX-33); Innovation Capacity Improvement Project for Colleges and Universities in Gansu Province (2021B-126); Special Funds for Discipline Construction (GAU-XKJS-2018-196)

single-leaf weight, leaf number, and branch pruning among the three kiwifruit varieties in the research area. Moreover, no significant differences could be observed in the N, P, and K nutrient contents in the various organs and in the fruit yield, leaf number, and branch pruning. In the kiwifruit orchard, 2.81, 0.31, and 2.13 g N, P, and K were absorbed by 1 kg leaves, 1.40, 0.47, and 2.23 g N, P, and K were removed by the harvest of 1 kg fresh fruits, and 3.70, 0.47, and 2.94 g N, P, and K were removed by the pruning of 1 kg branches, respectively. During the annual growth cycle, the total N, P, and K nutrient uptake from leaf absorption, fruit harvest, branch pruning, and tree storage were 162, 36, and 146 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively, among which the applied fertilizer-derived nutrients were 38.0, 5.4, and 20.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively. In conclusion, the different kiwifruit varieties could be fertilized using the same recommended fertilizer quantities comprising 380 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ of N, 77 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ of P, and 87 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ of K, with the N, P_2O_5 , K_2O ratio of 1:0.5:0.3.

Keywords: kiwi orchard; nutrient content; nutrient uptake; fertilization

与粮食作物相比,经济作物生产中高养分投入普遍存在^[1-3]。据统计,全世界果树和蔬菜所消耗的化肥量占全球化肥总施用量的15%^[4-5]。中国作为世界上最大的化肥消费国,其中用于果树和蔬菜生产的比例已超过30%^[6]。调查结果显示,1998—2008年我国园艺类作物的平均化肥施用量为633 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[7],其中果树的平均化肥用量高达869 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[8]。2012—2013年连续2 a对陕西省周至县猕猴桃主产区化肥用量调查的结果显示,猕猴桃果园氮肥平均纯氮用量为891 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,远超世界其他国家的化肥用量(200~250 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[9]和我国的推荐施肥量(N 350~500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 186~266 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O 286~350 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[10]。大量调查研究结果表明,陕西省有近80%的果园氮肥投入过量,而约30%的果园磷钾肥投入不足^[2,11-12]。果园长期大量及不平衡养分投入导致果园土壤养分失调、果实产量不高、果品质量不佳、资源耗竭严重、环境污染加剧等一系列生产及生态环境问题^[12-18]。

针对果园长期大量化肥投入及生态环境危害的问题,优化果园施肥显得极为重要。掌握果园肥料养分的去向和树体养分吸收量是优化果园合理施肥的前提和关键。在果园生产体系中,年生长周期内从果园携出养分的主要途径包括:叶片生长吸收、果实收获携出、枝条修剪移出、树体吸收贮存及通过其他各种途径(径流、淋溶及气态)进入环境而损失。但目前对猕猴桃果树年生长周期内通过叶片生长吸收、果实收获移出、枝条修剪带走等途径所需养分量尚不明确。因此,有必要对猕猴桃果园年生长周期内树体养分携出量进行研究。

鉴于此,本研究以我国猕猴桃主产区陕西省周至县俞家河流域为研究区域,监测年生长周期内猕猴桃果园因叶片生长吸收、果实收获和枝条修剪而携出的实际养分含量,评估果园年生长周期内养分

的需求量,并结合养分实际利用效率反推施肥量,旨在为优化果园施肥管理、减轻农业生态环境负荷提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于秦岭北麓陕西省周至县俞家河流域(107°39'~108°37'E, 33°42'~34°14'N)。该流域面积为412.37 hm^2 ,域内海拔482~680 m,属温带大陆性季风气候,年均气温13.2 $^{\circ}\text{C}$,无霜期约225 d,年均降水量665 mm,且75%集中于5—9月,年均光照时数2 154.7 h,日照充足,光热资源丰富,灌溉方便,是猕猴桃优质栽种区域(图1)。

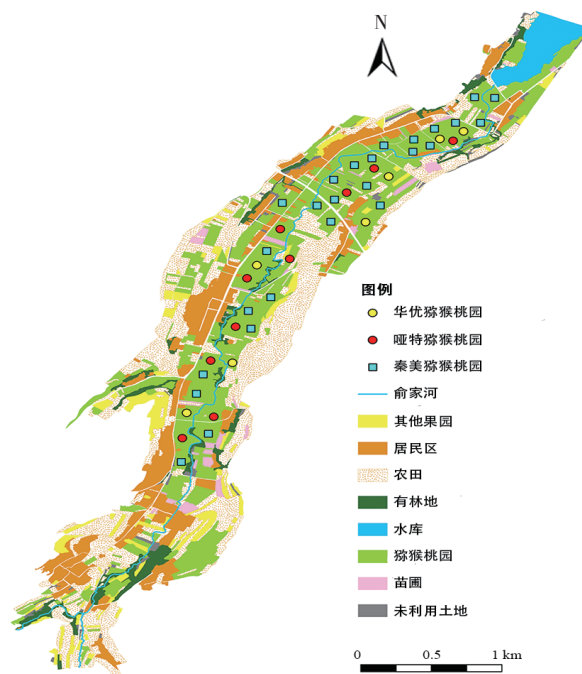


图1 俞家河流域土地利用现状及样点分布情况

Figure 1 Land use status of Yujiache catchment and sampling sites in this catchment

1.2 研究方法 with 测定项目

1.2.1 研究方法

本研究采用调查与采样分析相结合的方法。于2013—2016年在整个流域内选取了46个盛果期果园(树龄7~19 a),其中秦美品种29个、哑特品种10个、华优品种7个,具体样点布设如图1所示。成龄猕猴桃果园的土壤基本理化性状见表1。

在果实收获期(9月下旬—10月上旬)实地记录所选果园果实采摘量,同时随机选取3棵果树全部采摘并记录总质量和果实个数,通过总质量与果实个数计算单果质量。

1.2.2 果实样品采集与测定

果实收获期(9月下旬—10月上旬)在选定果园中随机选择4棵果树,并从每株果树的东、西、南、北4个方向随机采摘果实10~15个,组成混合样带回实验室,测定果实养分含量。养分含量测定时先将果实切片,烘干至恒质量,计算含水量,然后粉碎过0.25 mm筛备用。处理好的果实样品采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}_2$ 消解,用全自动流动分析仪(AA3, Bran and Luebbe, 德国)测定果实N含量,钒钼黄比色法测定果实P含量,火焰光度计测定果实K含量^[19]。

1.2.3 叶片样品采集与测定

叶片凋落后(1月上中旬),在选定猕猴桃果园中随机选出同品种果园各3个,并在各果园中选取3 m×6 m的样方3个,统计单位面积果园上的落叶数,平均单个叶片质量,并采集落叶混合样品带回实验室分析其养分含量。具体分析方法与果实样品一致。

1.2.4 枝条样品采集与测定

在冬季果树集中修剪时(1月上中旬)记录各果园枝条修剪量,并于树体生长的各个方向按照不同生长年限枝条的大致比例采集各生长年限的枝条样品,组成混合样品约1 kg,带回实验室,剪碎烘干至恒质量,计算含水量,然后粉碎过0.25 mm筛备用,测定枝

条中养分含量。具体分析方法与果实样品一致。

1.3 果园施肥量的确定

在测定果园果实收获携出养分量、枝条修剪携出养分量、叶片养分吸收量的基础上,参考年生长周期内树体贮存养分量,获取年生长周期内果树养分总吸收量。考虑到果树吸收的养分部分来自土壤供应,部分来自外源肥料提供,故从树体吸收总养分量中减去土壤供应量,即可确定肥料供应量。由于施入果园的肥料在当季并不会被果树全部吸收,因此可利用养分利用率反推果园施肥量(图2)。

果实养分携出量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)=果实产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)×[1-果实水分含量(%)]×果实养分含量(% ,干质量)×10

修剪枝条养分携出量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)=枝条修剪量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)×[1-枝条水分含量(%)]×枝条养分含量(% ,干质量)×10

叶片吸收养分量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)=单位面积叶片数(个· m^{-2})×10 000×单个叶片质量(g)×[1-叶片水分含量(%)]×叶片养分含量(% ,干质量)×10

果园推荐施肥量(N/P/K)=[果实N/P/K携出量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)+修剪枝条N/P/K携出量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)+叶片吸收N/P/K量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)+树体N/P/K贮量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)-土壤提供N/P/K量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)]÷N/P/K肥利用效率(%)

1.4 数据统计

本研究中数据均采用平均值(标准差)表示,采用Excel 2016软件整理和计算,采用Origin 8.5(Origin-Lab Corporatio, USA)软件绘图,采用SPSS V19.0软件进行方差分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同品种猕猴桃果实产量、单果质量、单叶质量、叶个数和修剪枝条量

如表2所示,秦美、哑特和华优3个猕猴桃品种在

表1 俞家河流域成龄果园土壤基础理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of kiwi-orchard soil in Yujiahe catchment

土层 Soil layers/cm	有机质 Organic matter/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮 Total nitrogen/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷 Available phosphorus/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾 Available potassium/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH	硝态氮累积量 $\text{NO}_3\text{--N}$ accumulation/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	铵态氮累积量 $\text{NH}_4\text{--N}$ accumulation/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
0~20	16.97(3.81)	1.19(0.22)	87.67(15.80)	361.88(109.01)	7.66(0.17)	14.10(5.80)	6.02(2.50)
20~40	11.59(2.21)	0.81(0.13)	51.50(14.36)	241.67(95.55)	7.79(0.11)	37.47(11.43)	8.01(4.32)
0~100	—	—	—	—	—	466.42(148.51)	54.04(18.82)
100~200	—	—	—	—	—	377.52(156.40)	37.34(12.31)

注:表中的数据由平均值(标准差)组成;“—”表示未测该土层的相应指标。

Note: The data in the table indicates mean(standard deviation); “—” indicates the corresponding index of the soil layer was not measured.

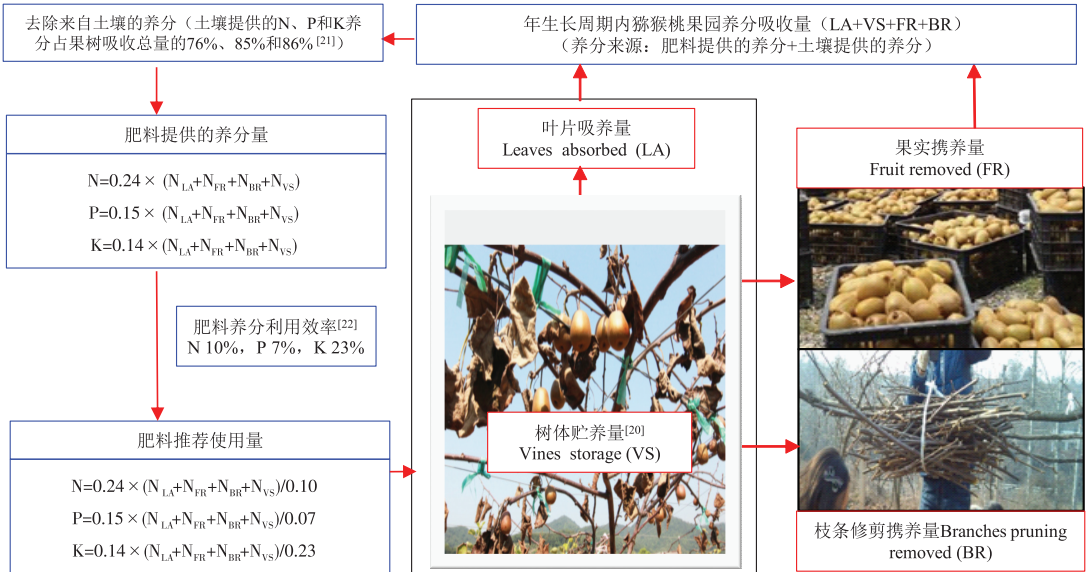


图 2 果园推荐施肥量确定示意图

Figure 2 Schematic diagram of recommended fertilization amount in orchard

果实产量、单果质量、单叶质量、单位面积叶片数及枝条修剪量间均未表现出显著差异($P>0.05$)。秦美、哑特和华优 3 个品种的果实产量平均值分别为 34.51、34.23 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 33.94 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$,单果质量的平均值分别为 128.93、123.24 g 和 122.41 g,单叶质量的平均值分别为 2.76、2.66 g 和 2.67 g,每平方米面积上的落叶数平均值分别为 542.32、565.33 个和 555.41 个,年生长周期内叶片生物量分别为 15.14、15.03 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和

14.82 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。秦美、哑特和华优 3 个品种年生长周期内单株树体枝条修剪量的平均值分别为 4.40、3.95 kg 和 4.03 kg,修剪枝条的生物量分别为 7.90、8.30 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 8.46 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2.2 叶片、果实及修剪枝条的营养含量

不同品种猕猴桃叶片、果实及修剪枝条中的养分含量见表 3。由表 3 可知,各品种叶片、果实及修剪枝条中养分含量间没有显著差异($P>0.05$)。猕猴桃叶

表 2 不同品种猕猴桃果实产量、单果质量、单叶质量、叶个数及枝条修剪量

Table 2 Fruit yield, single fruit weight, single leaf weight, leaf number and pruning branches in different kiwifruit varieties

品种 Variety	果实产量 Fruit yield/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单果质量 Single fruit weight/g	单叶质量 Single leaf weight/g	叶个数 Leaf number/ ($\text{个}\cdot\text{m}^{-2}$)	叶片生物量 Leaf weight/ ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)	单株枝条修剪量 Pruning branches per vine/kg	每公顷枝条修剪量 Pruning branches per hectare/kg
秦美 Qinmei	34.51(4.93)a	128.93(7.92)a	2.76(0.29)a	542.32(80.91)a	15.14(0.22)a	4.40(0.45)a	7.90(0.80)a
哑特 Yate	34.23(4.42)a	123.24(8.13)a	2.66(0.20)a	565.33(117.84)a	15.03(0.24)a	3.95(0.93)a	8.30(1.95)a
华优 Huayou	33.94(4.22)a	122.41(12.03)a	2.67(0.10)a	555.41(58.93)a	14.82(0.06)a	4.03(0.67)a	8.46(1.40)a

注:表中的数据由平均值(标准差)组成,相同字母表示不同品种相同指标间无显著差异($P>0.05$)。下同。
Note: The data in the table represents mean (standard deviation). The same letter indicates no significant difference in the same index among the different varieties at 0.05 level. The same below.

表 3 不同品种猕猴桃叶片、果实及修剪枝条中的养分含量(%)

Table 3 The nutrient concentrations of kiwifruit, leaves and pruning branches in different varieties(%)

项目 Item	秦美 Qinmei			哑特 Yate			华优 Huayou		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
叶片 Leaves	2.15(0.14)a	0.22(0.03)a	1.65(0.40)a	2.12(0.21)a	0.24(0.03)a	1.63(0.18)a	2.22(0.22)a	0.25(0.02)a	1.65(0.30)a
果实 Fruits	0.87(0.12)a	0.29(0.04)a	1.43(0.21)a	0.89(0.07)a	0.30(0.04)a	1.42(0.13)a	0.81(0.02)a	0.28(0.04)a	1.38(0.22)a
修剪枝条 Pruning branches	0.83(0.07)a	0.12(0.04)a	0.70(0.09)a	0.79(0.15)a	0.09(0.05)a	0.64(0.18)a	0.79(0.21)a	0.10(0.01)a	0.53(0.13)a

片中平均养分含量呈现 $N(2.12\% \sim 2.22\%) > K(1.63\% \sim 1.65\%) > P(0.22\% \sim 0.25\%)$, 果实平均养分含量呈 $K(1.38\% \sim 1.43\%) > N(0.81\% \sim 0.89\%) > P(0.28\% \sim 0.30\%)$, 修剪枝条中平均养分含量为 $N(0.79\% \sim 0.83\%) > K(0.53\% \sim 0.70\%) > P(0.09\% \sim 0.12\%)$ 。

2.3 每生产单位质量叶片、果实和修剪枝条吸收的养分量

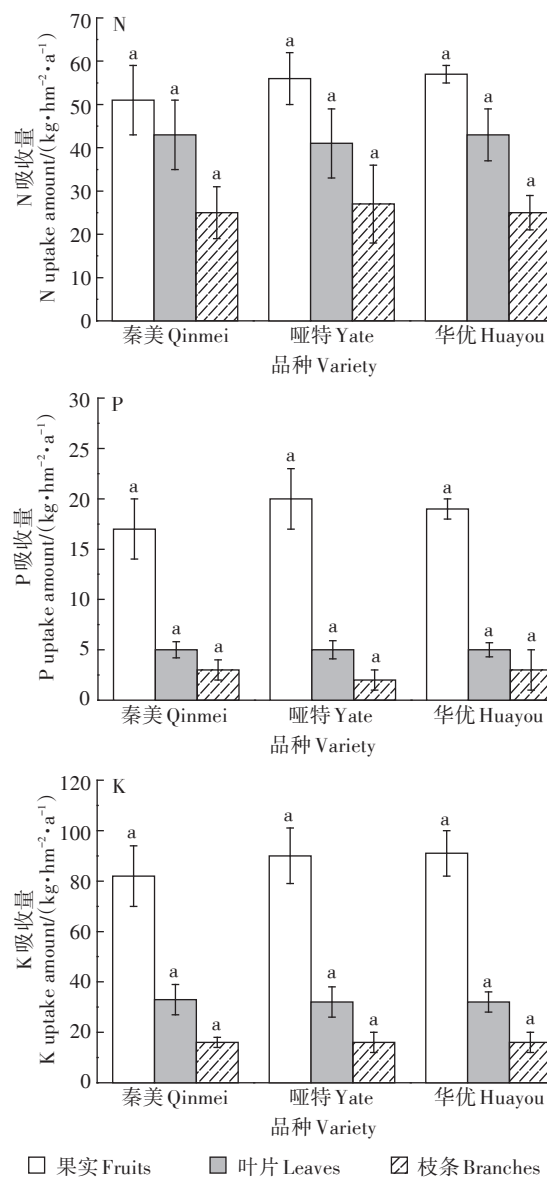
不同猕猴桃品种每千克叶片、果实及修剪枝条吸收的养分量见表4。秦美、哑特和华优3个猕猴桃品种每千克叶片、果实及修剪枝条吸收的养分量间均没有表现出显著差异($P>0.05$)。每千克猕猴桃叶片平均吸收的N、P和K的量分别为2.81、0.31 g和2.13 g; 每千克猕猴桃鲜果平均吸收的N、P和K的量分别为1.40、0.47 g和2.23 g; 每千克修剪枝条平均吸收的N、P和K的量分别为3.70、0.47 g和2.94 g。

2.4 不同品种猕猴桃年生长周期内各器官养分携出量

年生长周期内,不同品种猕猴桃叶片吸收、果实采摘携出及枝条修剪携出的养分量如图3所示。由图3可知,不同品种间的猕猴桃在叶片、果实和枝条养分吸收量上均无显著差异。叶片生长吸收的N、P和K的平均量分别为42.3、4.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和32.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 因果实采摘而携出的N、P和K的平均量分别为54.7、18.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和87.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 因枝条修剪而携出的N、P和K的平均量分别为25.7、2.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和16.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

2.5 研究区猕猴桃果园N、P、K的推荐施用量

在测定年生长周期内猕猴桃叶片养分吸收量、果实养分携出量及修剪枝条养分携出量的基础上,参考年生长周期内猕猴桃树体N贮藏量37.8 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、P 10.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和K 9.4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ [20],获得年生长周期内猕猴桃树体N、P和K养分总吸收量分别为162、36 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和146 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (表5)。其中来自土壤的N、P和K养分量为123.2、30.6 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和125.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,来自肥料的养分量为38.0、5.4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和20.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。依据N、P和K的肥料



图中相同字母表示不同品种相同指标间无显著差异($P>0.05$)
The same letter in the figure indicates no significant difference in the same index among the different varieties at 0.05 level

图3 不同品种猕猴桃年生长周期内叶片吸收、果实采摘和枝条修剪携出的养分量

Figure 3 Nutrients removal by leaf uptake, fruit harvest and branch pruning for different kiwifruit varieties in the annual growth cycle of kiwi vines

表4 不同品种猕猴桃1 kg叶片、果实及修剪枝条携出的养分量(g)

Table 4 Nutrients removal by the harvest of 1 kg of leaves, fresh fruit, fresh pruning branches(g)

项目 Item	秦美 Qinmei			哑特 Yate			华优 Huayou		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
叶片 Leaves	2.80(0.18)a	0.29(0.04)a	2.14(0.50)a	2.76(0.27)a	0.31(0.04)a	2.11(0.23)a	2.88(0.28)a	0.33(0.02)a	2.15(0.40)a
果实 Fruits	1.30(0.20)a	0.42(0.07)a	2.06(0.36)a	1.44(0.10)a	0.51(0.07)a	2.30(0.03)a	1.45(0.04)a	0.48(0.03)a	2.34(0.24)a
修剪枝条 Pruning branches	3.54(0.30)a	0.52(0.18)a	3.00(0.41)a	3.54(0.65)a	0.41(0.20)a	2.86(0.81)a	4.02(0.74)a	0.48(0.15)a	2.97(0.31)a

表5 猕猴桃果园N、P和K养分吸收量及推荐施肥量

Table 5 N, P and K absorption and recommended fertilization rates in kiwi orchard

养分 Nutrient	果实采摘 Fruit removal/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	修剪枝条 Branches pruning removed/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	叶片吸收 Leaves absorption/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	树体贮藏 ^[20] Vines storage/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	土壤供应 ^[21] ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	肥料供应/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	养分利用效率 ^[22] Fertilizer utilization rate/%	推荐施肥量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
N	54.7(3.2)	25.7(1.2)	42.3(7.0)	37.8	123.2	38.0	10	380
P	18.7(1.5)	2.7(0.6)	4.7(0.8)	10.2	30.6	5.4	7	77
K	87.7(4.9)	16.0(0.3)	32.2(5.3)	9.4	125.0	20.0	23	87

利用效率为10%、7%和23%，确定成龄猕猴桃果园施肥量为N 380 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、P 77 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和K 87 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

3 讨论

3.1 不同品种猕猴桃年生长周期内各器官养分含量及生物量

本研究结果表明,不同品种猕猴桃叶片、果实及修剪枝条中养分含量间无显著差异($P>0.05$)。其中叶片中含量为N 2.12%~2.22%、P 0.22%~0.25%、K 1.63%~1.65%,该结果与王健^[20]和来源等^[23]的研究结果一致。果实中含量为N 0.81%~0.89%、P 0.28%~0.30%、K 1.38%~1.43%,其中P含量高于新西兰猕猴桃果实P含量(0.13%)^[24-25],这与研究区果园土壤P背景值较高有关(表1)。修剪枝条中含量为N 0.79%~0.83%、P 0.09%~0.12%、K 0.53%~0.70%,这与新西兰猕猴桃修剪枝条中养分含量吻合^[24-25]。年生长周期内,不同品种猕猴桃在果实产量、叶片生物量及枝条修剪量间均无显著差异($P>0.05$)。秦美、哑特和华优3个品种果实产量分别为34.51、34.23 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和33.94 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,叶片生物量分别为15.14、15.03 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和14.82 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,枝条修剪量分别为7.90、8.30 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和8.46 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。不同品种猕猴桃树体因各器官生物量及其养分含量间均无显著差异,所以年生长周期内不同品种猕猴桃各器官生长所需养分一致,因此不同品种猕猴桃果园可采用统一的养分管理模式。

3.2 猕猴桃年生长周期内各器官养分吸收量及合理施肥量

年生长周期内,猕猴桃叶片累积生物量为15.0 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,吸N 42.3 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、P 4.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、K 32.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;研究区平均果实产量为34.2 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,每年因果实收获所携出养分为N 54.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、P 18.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、K 87.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;因冬季枝条修剪移出的养分为N 25.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、P 2.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、K 16.0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;因树体生长而贮藏的养分为N 37.8 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、P 10.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、

K 9.4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[20]。本研究结果显示,树体各器官养分吸收量呈现果实N/K吸收>叶片N/K吸收>树体N/K贮藏>枝条修剪N/K移出;果实P吸收>树体P贮藏>叶片P吸收>枝条修剪P移出。

年生长周期内,猕猴桃树体各器官所需养分主要来自土壤和外源肥料,其中土壤养分供应量遵循斯坦福土壤供肥公式,且土壤养分供应量与土壤实际测定值呈正相关关系^[26]。大量研究表明,果园施肥量远高于农田,长期大量的肥料投入已造成果园土壤养分大量累积^[1,15,27],本研究区果园土壤速效磷和速效钾含量高达87.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和361.9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,0~100 cm土壤剖面内 NO_3^- -N的累积量为466.4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表1)。刘芬^[21]通过对陕西省不同区域111个果园“3414”试验点进行数据分析,获得果园土壤养分贡献率分别为N 76.6%、P 85.1%、K 86.2%。果园土壤较高的养分供应量导致肥料养分贡献率较低,同时长期果园养分累积与盈余造成果园肥料利用率极低,BELLARBY等^[22]的研究报道,近30 a我国山东果园平均肥料利用率为N 10%、P 7%、K 23%。本研究在测定猕猴桃年生长周期内养分需求量的基础上,区分了土壤供应量和肥料供应量,结合果园实际肥料利用率确定成龄猕猴桃果园施肥量为N 380 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 P_2O_5 176 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 K_2O 106 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,N: P_2O_5 : K_2O 为1:0.5:0.3,这与前人研究中猕猴桃果园施肥量(N 413 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 P_2O_5 211 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 K_2O 168 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[20]及N、P、K比例(1:0.3:0.5)^[27]相比,N肥用量基本一致,P肥稍有降低,K肥用量及比例明显降低,其主要原因在于:(1)以往果树推荐施肥量多以果实养分吸收量这一指标来衡量^[28],忽略了土壤养分供应量;(2)果树作为多年生木本植物,因长期大量肥料施入造成土壤有效养分含量增加,土壤贡献率大幅提高^[15,21];(3)北方石灰性土壤是富K土壤,土壤K背景值较高^[27]。

3.3 果园养分优化管理与生态环境健康

目前,果园过量施肥问题已非常普遍,关于优化果园养分管理及合理施肥量前人已做了大量的研究,

如KLEIN等^[28]的研究指出,果园施N量一般应为果实吸N量的3~4倍,赵佐平等^[11]基于果农实际N素投入量及特点分析果园N负荷,结果表明果园N负荷增加且环境风险较大。路永莉等^[10]调查研究表明,俞家河流域50%以上的果园肥料施用过量,造成果园土壤养分大量累积,并随水向下层土壤乃至地下水迁移。GAO等^[29]的研究表明,与农田相比,研究区猕猴桃果园0~10 m土壤剖面内平均硝态氮累积量为 $7\ 113\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,97%的地下水样品的硝态氮浓度超过了WHO标准。本研究在测定猕猴桃树体各器官养分需求量的基础上,不仅考虑果树生长对养分的需要,还考虑土壤养分的持续供应,最终确定了果园的合理施肥量。本研究结果显示,不同品种成龄猕猴桃果园养分管理可采用统一管理模,年生长周期内需施N $380\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $176\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $106\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, N:P₂O₅:K₂O为1:0.5:0.3,其可作为该流域兼顾产量和环境生态健康的推荐施肥量。

4 结论

(1)不同品种猕猴桃(秦美、哑特和华优)单叶质量、叶片量、果实产量、单果质量和修剪枝条量间均无显著差异;叶片、果实及修剪枝条中的养分含量也无显著差异。因此,不同品种成龄猕猴桃果园可采用统一的养分管理模式。

(2)年生长周期内果园因叶片吸收、果实收获、枝条修剪和树体贮藏的总养分为N $162\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、P $36\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、K $146\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其中来自肥料提供的养分为N $38.0\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、P $5.4\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和K $20.0\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。结合土壤供肥比例及果园肥料利用效率,确定果园施肥量分别为N $380\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 P_2O_5 $176\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 K_2O $106\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, N:P₂O₅:K₂O为1:0.5:0.3。

参考文献:

- [1] LU Y L, KANG T T, GAO J B, et al. Reducing nitrogen fertilization of intensive kiwifruit orchards decreases nitrate accumulation in soil without compromising crop production[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(6):1421-1431.
- [2] 王小英,同延安,刘芬,等.陕西省苹果施肥状况评价[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(1):206-213. WANG X Y, TONG Y A, LIU F, et al. Evaluation of the situation of fertilization in apple fields in Shaanxi Province[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(1):206-213.
- [3] GAO J J, BAI X L, ZHOU B, et al. Soil nutrient content and nutrient balances in newly-built solar greenhouses in northern China[J]. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 2012, 94:63-72.
- [4] DE R, ROWLINGS D W, BIALA J, et al. Effect of organic and mineral N fertilizers on N₂O emissions from an intensive vegetable rotation[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2016, 52:895-908.
- [5] IFA (International Fertilizer Industry Association). Assessment of fertilizer use by crop at the global level 2010—2010/11[EB/OL]. [2021-02-22]. <http://www.fertilizer.org/ifa/statistic.asp>
- [6] ZHANG X, DAVIDSON E A, MAUZERALL D L, et al. Managing nitrogen for sustainable development[J]. *Nature*, 2015, 528(7580):51-59.
- [7] 栾江,仇焕广,井月,等.我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(11):1869-1878. LUAN J, QIU H G, JING Y, et al. Decomposition of factors contributed to the increase of China's chemical fertilizer use and projections for future fertilizer use in China[J]. *Journal of Natural Resource*, 2013, 28(11):1869-1878.
- [8] XIN L J, LI X B, TAN M H. Temporal and regional variations of China's fertilizer consumption by crops during 1998—2008[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(4):643-652.
- [9] MELGAR J C. Optimizing fertilization rates for young peach orchards in the southeastern united states[J]. *Hortscience*, 2018, 53(9):486.
- [10] 路永莉,康婷婷,张晓佳,等.秦岭北麓猕猴桃果园施肥现状与评价:以周至县俞家河流域为例[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(2):380-387. LU Y L, KANG T T, ZHANG X J, et al. Evaluation of current fertilization status in kiwifruit orchards on the northern slope of Qinling Mountains: A case study of Yujiahe catchment, in Zhouzhi County[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2016, 22(2):380-387.
- [11] 赵佐平,闫莎,刘芬,等.陕西果园主要分布区氮素投入特点及氮负荷风险分析[J]. *生态学报*, 2014, 34(19):5642-5649. ZHAO Z P, YAN S, LIU F, et al. Analysis of nitrogen inputs and soil nitrogen loading in different kinds of orchards in Shaanxi Province[J]. *Acta Ecological Sinica*, 2014, 34(19):5642-5649.
- [12] SETE P B, COMIN J J, CIOTTA M N. Nitrogen fertilization affects yield and fruit quality in pear[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 258:108782.
- [13] JU X T, KOU C L, ZHANG F S, et al. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 143:117-125.
- [14] JU X T, XING G X, CHEN X P. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *PNAS*, 2009, 106(9):3041-3046.
- [15] LU Y L, CHEN Z J, ZHANG X J, et al. Land-use changes from arable crop to kiwi-orchard increased nutrient surpluses and accumulation in soils[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016, 223:270-277.
- [16] ZHOU J Y, GU B J, SCHLESINGER W H, et al. Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6:25088.
- [17] KHALSA S D S, SMART D R, MUHAMMAD S. Intensive fertilizer

- use increases orchard N cycling and lowers net global warming potential[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 722:137889
- [18] BELLARBY J, SURRIDGE B, HAYGARTH P, et al. Inefficiency and environmental risks associated with nutrient use in agriculture within China and the UK[R/OL]. (2015-10-13) [2021-05-20]. <https://www.researchgate.net/publication/301380923>.
- [19] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. BAO S D. Chemical analysis in soil and plant[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [20] 王建. 猕猴桃树体生长发育、养分吸收利用与累计规律[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008:28-41. WANG J. The growth, nutrients uptake, utilization and accumulation in kiwifruit tree[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008:28-41.
- [21] 刘芬. 陕西省土壤养分与肥料资源利用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015:45-49. LIU F. Study on soil nutrient and fertilizer resources utilization in Shaanxi Province[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015:45-49.
- [22] BELLARBY J, SURRIDGE B W J, HAYGARTH P M, et al. The stocks and flows of nitrogen, phosphorus and potassium across a 30-year time series for agriculture in Huantai County, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 619:606-620.
- [23] 来源, 同延安, 陈黎岭, 等. 施肥对猕猴桃产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(10):171-176. LAI Y, TONG Y A, CHEN L L, et al. Effect of fertilization on kiwifruit yield and quality[J]. *Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed)*, 2011, 39(10):171-176.
- [24] GREENHAM D W P. Nutrient cycling: The estimation of orchard nutrient uptake[J]. *Acta Horticulturae*, 1980, 92:345-352.
- [25] FERGUSO A R, EISEMAN J A. Estimated annual removal of macronutrients in fruit and prunings from a kiwifruit orchard[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1983, 26:115-117.
- [26] 谭金芳. 作物施肥原理与技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011:46-50. TAN J F. Principle and technology of crop fertilization [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011:46-50.
- [27] 姜远茂. 北方落叶果树养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007:195-199. JIANG Y M. Theory and practice of comprehensive management of nutrient resources of deciduous fruit trees in North China[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2007:195-199.
- [28] KLEIN I, LEVIN I, BAR YOSEY B, et al. Drip nitrogen fertigation of 'Staking Delicious' apple trees[J]. *Plant Soil*, 1989, 119:305-314.
- [29] GAO J B, WANG S M, LI Z Q, et al. High nitrate accumulation in the vadose zone after land-use change from croplands to orchards[J]. *Environmental Science & Technology*, 2021. doi:10.1021/acs.est.0c06730.