



高柱, 陈璐, 张小丽, 等. ‘红阳’猕猴桃果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(2): 358–367.

GAO Z, CHEN L, ZHANG X L, et al. Multivariate analysis and optimization of relationship between soil nutrients and fruit quality in hongyang kiwifruit orchard[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(2): 358–367.

‘红阳’猕猴桃果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案

高柱^{1,2}, 陈璐², 张小丽², 毛积鹏¹, 樊志鹏², 卢玉鹏¹, 王小玲^{1*}

(1. 江西省科学院 生物资源研究所, 江西 南昌 330096; 2. 井冈山生物技术研究院, 江西 吉安 343016)

摘要:【目的】为阐明猕猴桃果园土壤养分对果实品质形成的影响, 探讨适宜生产优质‘红阳’猕猴桃果园的土壤养分方案, 为果园提质增效提供理论依据。【方法】对江西省奉新县5个10年生‘红阳’猕猴桃果园土壤养分、果实品质进行测定, 采用典型相关性分析、多元回归、线性规划等多元统计分析方法, 筛选影响果实品质的主要土壤养分因子。【结果】(1) 5个供试果园土壤pH为4.74~5.11的酸性土壤, 有机质含量与养分含量总体水平充足, 其中有效态铁、有效态锰、有效态锌和有效态铜等微量元素含量处于高量水平。(2) 相关性分析结果显示, 果实品质受土壤养分种类及含量影响差异显著。果实外观指标、单果质量及内在品质指标(除可滴定酸外)与多数土壤养分因子呈不同程度的正相关, 其中单果质量与交换性镁含量呈显著正相关, 干物质含量与有效态铁、pH呈显著正相关, 可溶性糖与交换性镁、有效铁含量及土壤水分呈正相关, 抗坏血酸含量与速效钾、有效硼含量呈显著正相关。(3) 典型相关性分析和多元回归分析显示, 果实品质是土壤养分综合作用的结果, 其中有效态铜含量对果实品质表现为负向效应影响, 而交换性镁、有效硼、有效态铁、有机质含量及pH对果实品质提升具有正向促进效应。(4) 通过线性规划求解出当果园土壤有机质含量大于20.47%、交换性镁为336.87~437.49 mg/kg、有效态铁为59.1 mg/kg、有效态铜为1.12~2.19 mg/kg、有效硼为1.58 mg/kg、pH为6.5时, ‘红阳’猕猴桃果实品质可达最佳。【结论】奉新县‘红阳’猕猴桃果园中大量元素供给水平较高, 微量元素含量充足, 今后栽培管理应加强土壤pH调节, 控制微量元素铜肥的施用, 同时平衡施用镁、铁、硼肥等矿质养分, 可达到提高果园产量、提升果实品质的目标。

关键词: ‘红阳’猕猴桃; 土壤养分; 果实品质; 多元统计分析; 优化方案

中图分类号: S663.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2022)02-0358-10

Multivariate Analysis and Optimization of Relationship between Soil Nutrients and Fruit Quality in Hongyang Kiwifruit Orchard

GAO Zhu^{1,2}, CHEN Lu², ZHANG Xiaoli², MAO Jipeng¹,
FAN Zhipeng², LU Yupeng¹, WANG Xiaoling^{1*}

(1. Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China; 2. Jinggangshan Institute of Biotechnology, Ji'an, Jiangxi 343016, China)

收稿日期: 2021-05-28 修回日期: 2021-10-16

基金项目: 江西省重点研发计划项目(20212BBF61006, 20181BBF60009, 2021YSBG21019)

Project supported by Topics of Jiangxi Key R&D Program(20212BBF61006, 20181BBF60009, 2021YSBG21019)

作者简介: 高柱, orcid.org/0000-0001-8788-9970, jxauzg2008@126.com; *通信作者: 王小玲, 研究员, 博士, 主要从事园艺植物高值利用研究, orcid.org/0000-0001-6413-884, wangxiaoling1979@126.com。

Abstract: [Objective] This study aims to clarify the effects of soil nutrients on fruit quality in kiwifruit orchards. By exploring the soil nutrient scheme suitable for the production of high quality Hongyang kiwifruit orchard, this study provides a theoretical basis for improving quality and efficiency of orchard production. [Method] The soil nutrients and fruit quality of five orchards planting 10-year-old Hongyang kiwifruit in Fengxin County, Jiangxi Province were measured. Typical correlation analysis, multiple regression, linear programming and other multivariate statistical analysis methods were used to screen out the main soil nutrient factors affecting fruit quality. [Result] (1) The soil pH of five tested orchards was 4.74–5.11, the level of organic contents and soil nutrients were adequate, and the contents of trace elements such as available Fe, available Mn, available Zn and available Cu were all at a high level. (2) Correlation analysis showed that fruit quality was affected by the contents and types of soil nutrients. Fruit shape index, fruit mass and internal quality index (except titratable acid) were in positive correlation with most soil nutrient factors to varying degrees. Specifically, fruit mass and content of exchangeable Mg content were in significantly positive correlation; dry matter content and content of effective Fe, pH was also in significantly positive correlation; soluble sugar and content of exchangeable Mg, available Fe and soil moisture were in positive correlation; ascorbic acid content was also positively correlated with content of available K and available B. (3) Typical correlation analysis and multiple regression analysis showed that the fruit quality was the result of the comprehensive effect of soil nutrients. Content of available Cu had a negative effect on fruit quality, while content of exchangeable Mg, available B, available Fe, organic matter and pH had a positive effect on fruit quality improvement. (4) Linear programming was used to solve the pH and nutrient range of orchard soil. When organic matter content was above 20.47%, exchangeable Mg was 336.87–437.49 mg/kg, available Fe 59.1 mg/kg, available Cu 1.12–2.19 mg/kg, available B 1.58 mg/kg and pH 6.5, Hongyang kiwifruit was with the best quality. [Conclusion] The supply level of a large number of elements in the kiwi orchard in Fengxin County was high, and the content of trace elements was sufficient. The cultivation management of the orchard should strengthen the adjustment of soil pH, control the application of trace element Cu fertilizer, and balancing the application of mineral nutrients such as Mg, Fe and B fertilizer in this way, the yield as well as the fruit quality could be improved in the orchard.

Keywords: Hongyang kiwifruit; soil nutrient; fruit quality; multivariate statistic analysis; optimum proposal

【研究意义】猕猴桃(*Actinidia*)因其果实酸甜可口,富含各种维生素、矿物质等营养物质,被誉为“果中之王”,具有极高的营养、经济价值,是世界主流消费水果之一^[1-2]。中国是猕猴桃的起源与分布中心,在陕西、四川、贵州、湖南、江西等地广泛栽培,成为欠发达地区脱贫致富的支柱产业。我国猕猴桃产量与种植面积已连续10年稳居世界第一,截止2019年底,中国猕猴桃栽培面积达29万hm²,总产量300万t,是猕猴桃生产大国。然而随着猕猴桃产业迅猛发展,引发猕猴桃栽培管理水平不均衡、产量质量不稳定、采后商品化技术滞后等一系列问题和矛盾,导致猕猴桃优果率不高,单产较低,单位面积收益显著低于世界平均水平。研究表明,我国猕猴桃单产世界排名第17位,是世界水平的74.35%、新西兰的32.15%,可见我国猕猴桃产业发展潜力巨大^[3-4]。奉新县地处江西省西北部,九岭山脉东南翼,属典型的亚热带湿润气候,拥有适宜猕猴桃自然生长的自然地理条件和气候环境,不仅野生猕猴桃资源十分丰富,而且是我国六大猕猴桃优势产区之一,素有“中华猕猴桃之乡”的美称。奉新县猕猴桃生产以家庭农户生产经营模式居多,土壤管理水平差异较大,导致果实品质与产量相差甚远,提质增效仍是全县猕猴桃产业发展亟待解决的关键问题之一^[5]。【前人研究进展】FALLAH^[6]和KHATTLK等^[7]研究表明,果树生长发育所需的营养物质主要来源于土壤养分,果园养分状况与果树生长、果实品质及产量密切相关。【本研究切入点】国内外猕猴桃科研工作者在土壤养分与果实品质关系方面的研究结果表明,加强果园土、肥、水管理是提高猕猴桃果实品质和平均单产水平的最直接途径^[8-10]。【拟解决的关键问题】以奉新县主栽‘红阳’猕猴桃为试验材料,采用典型相关性分析、多元回归、线性规划等多元统计分析方法,分析‘红阳’猕猴桃果

园土壤养分、果实品质,筛选出影响‘红阳’猕猴桃果实品质的关键土壤因子,探析果园土壤管理存在的问题,提出适宜生产优质‘红阳’猕猴桃的果园土壤养分方案,旨在为‘红阳’猕猴桃果园科学施肥、高效生产与品质提升提供理论依据。

1 材料与方法

试验地位于江西省奉新县(海拔64.35 m,28°40′17″N,115°18′31″E),试验地属于亚热带湿润气候,四季分明,年平均气温17.3℃,年均降雨量1 612 mm,年日照时数长达1 803 h,无霜期260 d左右。

1.1 土壤采集

随机选取5个10年生‘红阳’猕猴桃果园为试验点(江西省科学院产业基地、江西博科农业开发有限公司果园、奉新格越科技有限公司果园、江西菲乐奇果农业开发有限公司果园、刘小宁家庭农场果园),果园结果稳定、树体生长良好,水平大棚架栽培,沙壤土,地势较为平坦。2020年对试验果园进行统一标准管理、定点调查与采样,每个果园随机布点选取长势相对一致的5株树并做好标记,于2020年8月分别在树冠的东、南、西、北4个方位,用土钻采集距树冠滴水线内侧10 cm处0~40 cm土壤,去除枯枝腐叶等杂质后混合均匀,装入密封袋带回实验室。土壤样风干后过2 mm筛,用于土壤养分测定。

1.2 果实采集

2020年8月下旬,用手持数显式糖度计测定果实含糖量,可溶性固形物含量达8.0%以上时开始采收‘红阳’果实。在土样标记的猕猴桃样树东、南、西、北4个方位,随机采集果实40个,用于果实品质测定。

1.3 土壤养分测定

土壤有机质、全氮、水解性氮、全钾、速效钾、全磷、有效硼、有效磷、有效态锌、铁、锰、铜,交换性钙、镁以及土壤pH等指标参考黄春辉等^[5]、曹胜等^[11]方法,略有改进。

1.4 果实品质测定

将用于品质测定的果实带回实验室后,用电子天平称量单果质量,数显式游标卡尺测果实纵径、横径与侧径,烘干法测定果实干物质含量,果实其他内在品质指标待室温自然软熟后(果实硬度约为1.0 kg/cm²)进行测定。

利用ATAGO(PAL-1)手持数显式糖度计测定可溶性固形物含量,蒽酮比色法测定可溶性糖含量,NaOH中和滴定法测定可滴定酸含量(以柠檬酸含量表示,系数0.07),2,6-二氯酚法测定抗坏血酸含量,固酸比用可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值表示,糖酸比用可溶性糖含量与可滴定酸含量的比值表示。

1.5 数据分析

利用Excel 2010对果园土壤养分与猕猴桃果实品质进行初步分析,用SPSS 20.0软件对果园土壤理化指标与猕猴桃果实品质进行差异性分析、相关性分析及多元回归分析,同时用LINGO 13.0软件建立线性规划方程组优化土壤养分方案。

2 结果与分析

2.1 果园土壤理化性状与果实品质概况

2.1.1 果园土壤理化性质概况及丰缺评价 5个‘红阳’猕猴桃果园土壤理化指标分析结果见表1。参照刘科鹏^[12]的猕猴桃果园土壤理化性状分析方法,对供试‘红阳’猕猴桃果园土壤理化性状分析结果表明,‘红阳’猕猴桃果园中土壤养分种类不同,其含量水平范围差异较大。其中,土壤有机质(15.26%~30.09%)与交换性钙含量(1 723.35~3 566.94 mg/kg)处于适量水平;土壤pH(4.74~5.11)处于低量水平;速效钾(371.00~736.00 mg/kg)、有效态锌(5.44~15.80 mg/kg)、有效态铁(40.50~59.10 mg/kg)、有效态锰(22.20~71.90 mg/kg)、有效态铜含量(1.12~4.47 mg/kg)均处于高量水平;碱解氮(92.40~217.40 mg/kg)、有效磷(42.80~102.61 mg/kg)、交换性镁(243.05~437.49 mg/kg)、有效硼含量(0.99~1.58 mg/kg)在适量与高量水平均有分布,且分布频率不一。进一步对土壤理化性状变异分析表明,不同因子间的变异范围较大,其中有效态铜含量变异系数最大,为55.10%,其次为有效态锌(42.69%)、有效态锰(36.60%)、碱解氮

(35.12%)和全钾(29.30%),有机质(25.96%)、交换性钙(24.87%)、速效钾含量(22.06%)与电导率(23.12%),变异范围较小的是全磷(18.48%)、交换性镁(19.66%)、有效硼含量(15.78%)以及水分(13.24%),土壤pH变异系数最小,为3.17%。由此可见,供试果园土壤养分供给处于中等偏上水平,总体养分含量较为充足,但土壤偏酸(土壤pH 4.5~5.5为酸性土壤)。

2.1.2 ‘红阳’猕猴桃果实品质分析 不同土壤理化性状对‘红阳’猕猴桃果实不同品质的影响存在显著差异。从表2的单因素方差分析结果可以看出,不同理化性状下的果实纵径、单果质量、抗坏血酸含量存在显著差异,果实横径、干物质含量无显著差异,说明土壤理化性状对果实纵径、单果质量、抗坏血酸含量影响较大,对果实横径、干物质影响很小。变异分析结果显示(表2),不同品质性状间的变异系数差异较大,其中抗坏血酸的变异系数最大,达31.00%,糖酸比、单果质量、固酸比、可滴定酸的变异系数次之,分别为17.44%、11.95%、11.35%、11.21%;果实横径的变异系数最小(1.73%)。综合分析结果可知,‘红阳’猕猴桃果实抗坏血酸含量、糖酸比、单果质量、固酸比等指标受土壤养分种类和含量的影响大于其他品质指标。

表 1 ‘红阳’猕猴桃果园土壤养分概况及丰缺评价
Tab.1 Soil nutrients and evaluation of ‘Hongyang’ kiwifruit orchards

土壤养分因子 Soil nutrients factors	均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准差 SD	变异系数 CV	适宜范围 ^[12-13] Sufficiency range	低量水平/% Low level	适量水平/% Sufficiency level	高量水平/% High level
有机质/% Organic matter	20.47	30.09	15.26	5.31	25.96	15.00~40.00	0.00	100.00	0.00
全氮/(mg·kg ⁻¹) Total N	1 126.00	1 705.00	836.00	308.77	27.42	—	—	—	—
全钾/% Total K	0.73	1.09	0.45	0.21	29.30	—	—	—	—
全磷/% Total P	0.16	0.21	0.13	0.03	18.48	—	—	—	—
碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available N	128.42	217.40	92.40	45.10	35.12	75.00~140.00	0.00	80.00	20.00
有效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P	76.53	102.61	42.80	21.42	27.98	30.00~60.00	0.00	20.00	80.00
速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available K	592.60	736.00	371.00	130.75	22.06	150.00~300.00	0.00	0.00	100.00
交换性钙/(mg·kg ⁻¹) Exchangeable Ca	2 468.80	3 566.94	1 723.35	613.91	24.87	1 000.00~3 600.00	0.00	100.00	0.00
交换性镁/(mg·kg ⁻¹) Exchangeable Mg	335.41	437.49	243.05	65.94	19.66	120.00~360.00	0.00	60.00	40.00
有效态锌/(mg·kg ⁻¹) Available Zn	9.35	15.80	5.44	3.99	42.69	1.00~5.00	0.00	0.00	100.00
有效态铁/(mg·kg ⁻¹) Available Fe	48.14	59.10	40.50	7.29	15.14	10.00~20.00	0.00	0.00	100.00
有效态锰/(mg·kg ⁻¹) Available Mn	47.94	71.90	22.20	17.55	36.60	5.00~20.00	0.00	0.00	100.00
有效态铜/(mg·kg ⁻¹) Available Cu	2.19	4.47	1.12	1.20	55.10	0.50~1.00	0.00	0.00	100.00
有效硼/(mg·kg ⁻¹) Available B	1.38	1.58	0.99	0.22	15.78	0.50~1.00	0.00	20.00	80.00
电导率/(mS·m ⁻¹) Electrical conductivity	21.30	29.60	15.90	4.93	23.12	—	—	—	—
水分/% Moisture	3.84	4.20	2.90	0.51	13.24	—	—	—	—
pH	4.92	5.11	4.74	0.16	3.17	5.50~6.50	100.00	0.00	0.00

表 2 ‘红阳’猕猴桃果实品质描述性分析
Tab.2 Descriptive analysis of ‘Hongyang’ kiwifruit quality

品质指标 Quality indicators	HY01	HY02	HY03	HY04	HY05	均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准差 SD	变异系数 CV
纵径/mm Longitudinal diameter	55.90 a	53.07 b	51.04 c	44.72 d	53.87 b	51.72	55.90	44.72	3.83	7.41
横径/mm Transverse diameter	47.27 a	46.86 a	45.43 a	45.35 a	46.87 a	46.36	47.27	45.35	0.80	1.73
侧径/mm Lateral diameter	42.91 a	42.08 a	41.54 a	39.26 b	43.12 a	41.78	43.12	39.26	1.38	3.31
单果质量/g Fruit mass	66.71 ab	63.95 bc	61.57 c	48.62 d	70.50 a	62.27	70.50	48.62	7.44	11.95
果形指数 Fruit shape index	1.18 a	1.13 a	1.13 a	0.99 b	1.15 a	1.12	1.18	0.99	0.07	5.88
可溶性固形物/% Soluble solids content	17.40 ab	18.78 a	17.25 ab	16.50 b	18.10 ab	17.61	18.78	16.50	0.78	4.41
干物质/% Dry matter	19.00 a	20.73 a	18.89 a	18.38 a	20.70 a	19.54	20.73	18.38	0.98	5.03
可溶性糖/% Soluble sugar	19.40 a	19.83 a	17.34 b	16.44 b	19.66 a	18.53	19.83	16.44	1.38	7.44
可滴定酸/% Titratable acid	0.78 b	0.83 b	0.98 a	1.05 a	0.85 b	0.90	1.05	0.78	0.10	11.21
抗坏血酸/(mg·100g ⁻¹) Ascorbic acid	68.80 c	89.44 ab	80.27 ab	34.40 d	103.20 a	75.22	103.20	34.40	23.32	31.00
糖酸比 Soluble sugar/ Titratable acid	24.87 a	23.89 a	17.69 b	15.66 c	23.13 a	21.05	24.87	15.66	3.67	17.44
固酸比 Soluble solids content/ Titratable acid	22.31 a	22.63 a	19.16 b	16.43 c	21.29 a	20.36	22.63	16.43	2.31	11.35

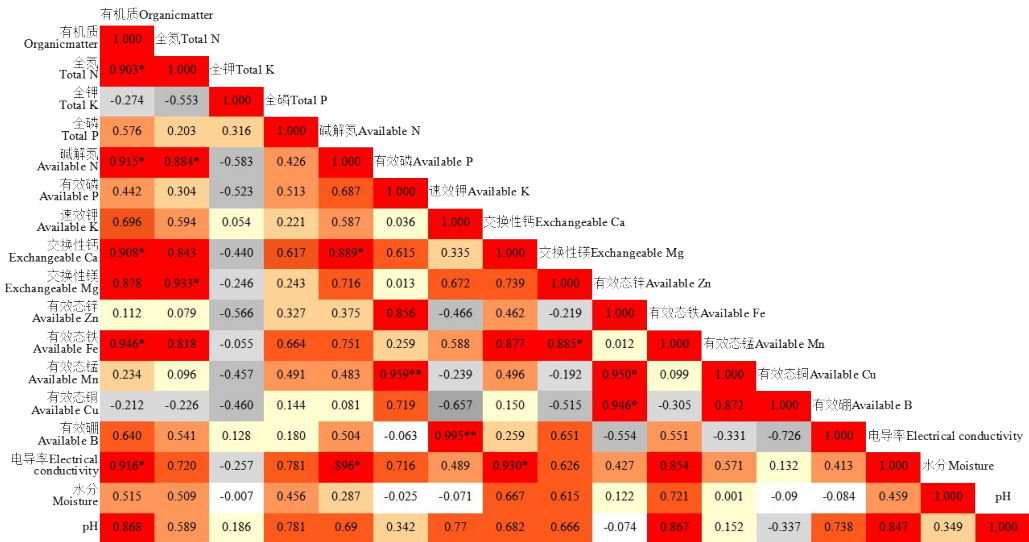
表内同一行数字后不同字母表示差异性显著, $P \leq 0.05$ 。
The values followed by different letters in the same line indicate significance difference at $P \leq 0.05$.

2.2 果实品质与果园土壤养分因子的相关性分析

2.2.1 土壤养分因子间的相关性 供试果园土壤养分因子之间的相关性分析结果显示(图 1):土壤有机质含量与全钾、有效态铜含量呈负相关;与其他因子呈正相关,其中与全氮、碱解氮、交换性钙、有效态铁含量及电导率呈现显著正相关,相关系数分别为 0.903、0.915、0.908、0.946、0.916,说明提高土壤有机质含量有助于养分因子含量的协同提高。全磷含量与其他养分指标呈现正相关;全钾含量与除全磷、速效钾、有效硼含量及 pH 之外的指标呈现负相关。在一定范围内,大多数土壤养分因子间存在两两协同作用,其中有机质-全氮-碱解氮、有机质-碱解氮-交换性钙、有机质-交换性镁-有效态铁、有机质-电导率-碱解氮、有机质-电导率-交换性钙、有效磷-有效态铁-有效态锌等三者之间存在协同作用,有机质-电导率-碱解氮-交换性钙、有机质-全氮-碱解氮-交换性钙等四者之间存在协同作用,但有效硼-有效铜之间存在拮抗作用,可见土壤养分因子间存在着不同程度的协同与拮抗作用,生产中应根据果园实际养分结构调节土壤养分。

2.2.2 果实品质与土壤养分因子的相关性分析 果园土壤养分含量与果实品质关系密切。不同果园土壤养分因子与果实品质的相关性如图 2 所示,果实外观指标(纵径、横径、侧径、果形指数)、单果质量及内在品质指标(可溶性固形物、干物质、可溶性糖、抗坏血酸含量、糖酸比及固酸比)与果园土壤养分因子(有机质、全氮、碱解氮、速效钾、交换性钙、交换性镁、有效态铁、有效硼含量及 pH、水分、电导率)呈现不同程度的正相关性,说明这些土壤养分因子可促进果实品质提升;而与土壤有效态锌、有效态铜含量呈不同程度的负相关。可滴定酸与有效磷、有效态锌、有效态锰及有效态铜含量呈正相关,与其他养分指

标呈负相关。单果质量与交换性镁含量(0.925)呈显著正相关,与有机质(0.725)、全氮(0.767)、速效钾(0.806)、有效态铁(0.745)、有效硼含量(0.817)呈正相关;可溶性固形物含量与土壤pH(0.888)呈显著正相关;干物质含量与有效态铁含量(0.944)及pH(0.965)分别呈显著正相关;可溶性糖含量与交换性镁(0.863)、有效态铁含量(0.855)和土壤水分(0.742)呈正相关;抗坏血酸含量与有机质、速效钾、交换性镁、有效硼等含量及土壤pH的相关系数均大于0.7,其中与速效钾、有效硼含量呈显著正相关;糖酸比(0.812)、固酸比(0.760)与交换性镁含量的相关系数大于其他土壤养分因子的相关系数;可滴定酸含量与有效磷、有效态锌、有效态锰及有效态铜等含量呈正相关,与其他土壤养分因子呈负相关性。综上所述,‘红阳’猕猴桃果实不同品质与不同土壤养分因子的相关性存在较大差异,同一土壤养分因子对不同果实品质的影响不同,简单的双变量相关性分析不能较好地全面解释土壤养分与果实品质间的复杂关系,还需借助多元统计进一步分析其相关性。

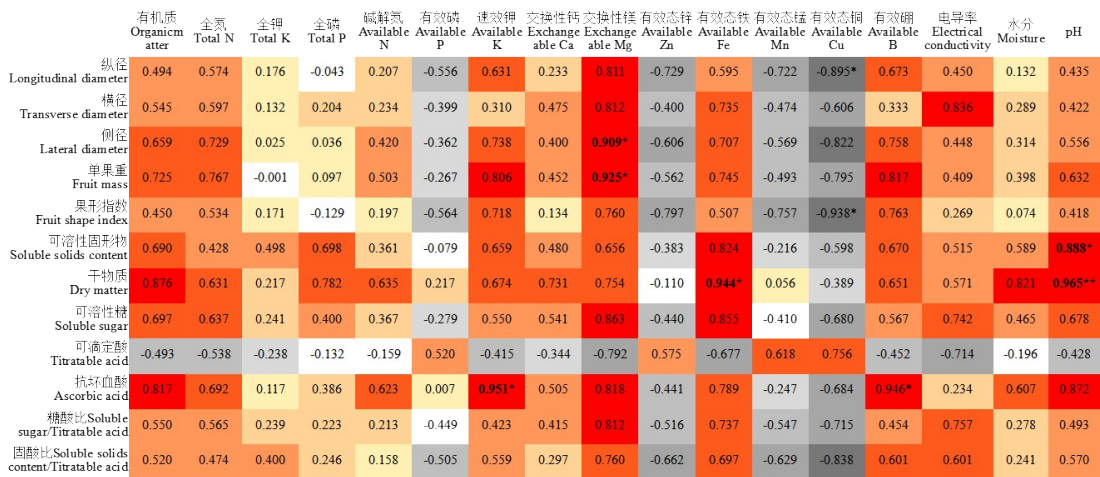


颜色深浅程度与相关系数成正比。正相关显示为红色,负相关显示为灰色。*表示在0.05水平的显著性,**表示在0.01水平的显著性。

The depth of color is proportional to the correlation coefficient. Positive correlations are shown in red and negative correlations are shown in gray. * means significant correlation at the level of $P \leq 0.05$, ** means extremely significant correlation at the level of $P \leq 0.01$.

图1 猕猴桃果园土壤养分因子间的相关性

Fig.1 Correlation coefficients among soil nutrients factors of kiwifruit orchard



颜色深浅程度与相关系数成正比。正相关显示为红色,负相关显示为灰色。*表示在0.05水平的显著性,**表示在0.01水平的显著性。

The depth of color is proportional to the correlation coefficient. Positive correlations are shown in red and negative correlations are shown in gray. * means significant correlation at the level of $P \leq 0.05$, ** means extremely significant correlation at the level of $P \leq 0.01$.

图2 果实品质与土壤养分因子的相关性

Fig.2 Correlation coefficients between fruit quality parameters and soil nutrients factors

2.3 影响猕猴桃果实品质的土壤养分主要因子筛选及回归方程建立

猕猴桃果实品质受土壤养分等理化性状的综合影响。果园土壤养分与果实品质为两个不同的正态总体,属于多自变量与多因变量相互作用的关系,相关性分析中土壤因子间相关性达到显著(或极显著),且相关系数大于0.70的有15项(图1),说明各因子间存在着多重共线性关系。因此采用偏最小二乘回归方法进行典型相关性分析,以土壤养分因子为自变量,以果实品质指标为因变量,通过典型相关性分析建立的土壤养分与果实品质间回归方程(表5),并对求得的回归方程进行显著性检验。

从表5可知,果实外观指标、单果质量受土壤中交换性镁、有效硼含量影响,其中果实侧径、单果质量与交换性镁含量呈显著正相关,纵径、果形指数与有效态铜含量呈显著负相关。干物质含量受有机质、有效态铁含量与pH影响,与有效态铁含量呈显著正相关,与pH呈极显著正相关。抗坏血酸受有效硼含量影响,与速效钾、有效硼含量呈显著正相关。糖酸比受交换性镁影响,与交换性镁呈正相关;固酸比受有效态铜含量影响,与有效态铜含量呈负相关。以上结果表明,‘红阳’猕猴桃果实品质受土壤养分影响,结合猕猴桃需肥特性,交换性镁、有效态铜是影响‘红阳’猕猴桃果实品质的关键土壤因子,其次为有机质、有效态铁与土壤pH。典型相关性分析筛选出的影响果实品质的土壤养分因子与依据简单线性相关性分析的相关系数选择的土壤养分因子存在差异,说明不同果实品质指标受不同土壤养分因子间共同作用的影响,土壤养分对猕猴桃果实品质的影响存在协同作用。

表5 影响猕猴桃果实品质的土壤养分主要因子的筛选及回归方程

Tab.5 Screening of soil nutrient factors affecting fruit quality and regression equations				
果实品质 Fruit quality (Q)	回归方程 Regression equation	F值 F value	R ²	
Q ₁ 纵径 Longitudinal diameter	$Q_1 = 46.952 + 0.028 * S_9 - 2.066 * S_{13}$	29.847*	0.968	
Q ₂ 横径 Transverse diameter	$Q_2 = 43.039 + 0.01 * S_9$	5.817*	0.660	
Q ₃ 侧径 Lateral diameter	$Q_3 = 38.343 + 0.014 * S_9 - 0.553 * S_{13}$	253.317**	0.996	
Q ₄ 单果质量 Fruit mass	$Q_4 = 41.570 + 0.079 * S_9 - 2.679 * S_{13}$	139.106*	0.993	
Q ₅ 果形指数 Fruit shape index	$Q_5 = 1.228 - 0.51 * S_{13}$	22.163*	0.881	
Q ₇ 干物质 Dry matter	$Q_7 = -4.969 + 4.286 * S_{15} + 0.089 * S_1 + 0.109 * S_{11}$	1 149.306*	0.84	
Q ₁₀ 抗坏血酸 Ascorbic acid	$Q_{10} = -64.490 + 101.535 * S_{14}$	25.318*	0.859	
Q ₁₁ 糖酸比 Soluble sugar/Titratable acid	$Q_{11} = 5.891 + 0.045 * S_9$	5.804*	0.546	
Q ₁₂ 固酸比 Soluble solids content/Titratable acid	$Q_{12} = 23.879 - 1.609 * S_{13}$	7.083*	0.603	

S₁:有机质;S₉:交换性镁;S₁₁:有效态铁;S₁₃:有效态铜;S₁₄:有效硼;S₁₅:pH。

S₁:Organic matter;S₉:Exchangeable Mg;S₁₁:Available Fe;S₁₃:Available Cu;S₁₄:Available B;S₁₅:pH.

2.4 果园土壤养分含量优化方案

为了进一步探明‘红阳’猕猴桃果实品质最优时土壤养分含量范围,在果实品质(Q)与土壤养分(S)正态分布总体中,以果实某一品质最大值(Q_{max})为目标函数(A),其他品质指标与土壤养分为约束条件(B),建立求解各果实品质指标最大时的线性规划方程组。当求解某一果实品质指标最大时,确保其他果实品质指标达到优质,同时给定土壤养分因子一定的约束范围。本研究中参照曹胜等^[14]方法,以供试果园中的‘红阳’猕猴桃果实品质指标平均值为果实品质限制条件的下限,以调查果园土壤养分因子最大值为土壤养分上限,调查果园平均值为下限,以pH 5.5~6.5为猕猴桃生长的土壤pH范围。

以果实品质干物质含量最大值(Q_{1max})为例,其果实品质与土壤养分规划方程组如下:

$$Q_{1max} = 0.028 * S_9 - 2.066 * S_{13} + 46.952 \quad (1)$$

$$0.028 * S_9 - 2.066 * S_{13} + 46.952 \geq 51.72 \quad (2)$$

$$0.01 * S_9 + 43.039 \geq 46.356 \quad (3)$$

$$0.014 * S_9 - 0.553 * S_{13} + 38.343 \geq 41.78 \quad (4)$$

$$41.570 + 0.079 * S_9 - 2.679 * S_{13} \geq 62.27 \quad (5)$$

$$1.228 - 0.51 * S_{13} \geq 1.116 \quad (6)$$

$$-4.969 + 4.286 * S_{15} - 0.089 * S_1 + 0.109 * S_{11} \geq 19.54 \quad (7)$$

$$-64.490 + 101.535 * S_{14} \geq 75.222 \quad (8)$$

$$5.891+0.045*S_9 \geq 21.05 \quad (9)$$

$$23.879-1.609*S_{13} \geq 20.36 \quad (10)$$

其中, $20.47 \leq S_1 \leq 30.09$; $335.41 \leq S_9 \leq 437.49$; $48.14 \leq S_{11} \leq 59.10$; $2.19 \leq S_{13} \leq 4.47$; $1.38 \leq S_{14} \leq 1.58$; $5.50 \leq S_{15} \leq 6.50$ 。

应用相同的方法,可建立求解横径最大值($Q_{2\max}$)、侧径最大值($Q_{3\max}$)、单果质量最大值($Q_{4\max}$)、果形指数最大值($Q_{5\max}$)、干物质含量最大值($Q_{7\max}$)、抗坏血酸最大值($Q_{10\max}$)、糖酸比($Q_{11\max}$)和固酸比最大值($Q_{12\max}$)的线性规划方程。当猕猴桃果园土壤酸碱度和养分范围:有机质(S_1)大于20.47%、交换性镁(S_9)为336.87~437.49 mg/kg、有效态铁(S_{11})为59.1 mg/kg、有效态铜(S_{13})为1.12~2.19 mg/kg、有效硼(S_{14})为1.58 mg/kg、pH(S_{15})为6.5时,得到果实品质的最优值:果实纵径54.69 mm、横径47.41 mm、侧径43.26 mm、单果质量70.28 g、果形指数1.12、干物质27.51%、抗坏血酸95.94 mg/100 g、糖酸比25.58、固酸比20.36。

3 讨论与结论

3.1 ‘红阳’果园土壤营养动态

土壤养分是果树生长所需营养物质的重要来源,直接影响果实生长与果实品质,而土壤理化性质影响着土壤的保肥能力与植物吸收养分的能力^[6-7,15],通过调查、评价与分析果园土壤理化性状,可以找出果园在土壤管理方面存在的问题。‘红阳’猕猴桃果园土壤有机质平均含量处于适量水平,高于该地区‘金魁’猕猴桃果园的有机质含量^[5]。土壤有机质中含有大量植物生长所必需的大量与微量元素,也是衡量土壤肥力的关键指标。本研究中土壤有机质含量与大多数的土壤养分因子(除全钾、有效态铜外)呈正相关关系,土壤有机质可以有效改善果园土壤理化性状,提高土壤有机质含量有利于提升土壤中大量元素与微量元素的含量。与第二次土壤普查的全国性土壤数据集^[13]及刘科鹏^[12]的研究数据相比,供试果园整体养分含量较为充足,其中有效态锌、有效态铁、有效态铜与有效态锰等微量元素处于高量水平,总体微量元素含量丰富。土壤pH在4.74~5.11属于酸性土壤,酸性土壤环境不利于土壤中矿质养分的释放,影响根系对土壤养分的吸收,造成部分营养元素的缺乏甚至产生毒害作用,因此生产中应加强果园土壤pH调节,使之维持在有利于土壤养分释放的范围内,可通过施用石灰、改用生理碱性肥料、增施有机肥等方式调节土壤pH,全面改善土壤理化性状。

3.2 土壤营养与果实品质形成相关

土壤有机质不仅能调节土壤中的营养成分、改善理化性状,还能促进果实品质的提升^[16]。本研究中有机质含量与诸多果实品质(如可溶性固形物、干物质、糖酸比等)均呈正相关(相关系数均大于0.40),同时与可滴定酸呈负相关,有机质含量的提高可以达到提升品质、增糖降酸的效果,与有机质对灵武长枣^[16]、马家柚^[17]、葡萄^[18]等果实品质的影响和结论相似。土壤养分与果实品质研究表明,果实品质受土壤养分多因子综合作用的影响,石榴园土壤有机质、速效钾、全氮含量与石榴果实中可溶性糖、可溶性固形物及抗坏血酸含量呈正相关,与可滴定酸含量呈负相关^[19];土壤磷含量与‘白玉’枇杷果实中可溶性固形物含量、固酸比呈负相关,与可滴定酸呈正相关^[20]。‘红阳’猕猴桃果实品质与土壤养分的相关性分析结果显示,有机质、全氮、速效钾、交换性镁、有效硼、pH、水分、电导率等土壤理化性状与单果质量、可溶性固形物、干物质、可溶性糖、抗坏血酸呈正相关,与可滴定酸呈负相关,说明这些土壤养分对果实品质有正向促进作用,有利于风味品质的形成;土壤速效钾、有效硼与抗坏血酸含量呈显著正相关性,相关系数高达0.951、0.946,猕猴桃喜钾,适量的钾肥有助于提升猕猴桃果实品质,能够维持贮藏期的果实硬度^[21],土壤速效钾对抗坏血酸含量提升具有显著作用。本研究还发现土壤养分因子间的协同与拮抗作用共同影响着猕猴桃果实的品质。

3.3 土壤养分与果实品质相关的优化

供试果园的土壤养分因子间的相关系数在0.70以上有35项,说明土壤因子间存在较强的多重共线性;‘红阳’猕猴桃果实品质指标与土壤养分间相关系数差异较大,其中相关系数大于0.50以上有86项,大于0.70有41项,果实品质与土壤养分间存在很强的正负相关性,简单线性相关性分析得出的结果并不科学,土壤养分因子间的相互作用共同影响着果实的品质。近代回归分析理论指出当正态分布总体中的因子间相关系数 ≥ 0.70 时,就存在多重共线性问题,在一定程度上可能无法客观、全面地反映土壤养分因子与果实品质之间的关系,甚至分析结果与实际情况矛盾,通过典型性相关分析等回归分析方法消除

正态总体中的多重共线性问题^[22],该方法在猕猴桃^[9-10]、柑橘^[11,14]、甜柿^[23]等果实品质与土壤养分间的多元分析中得到了广泛应用。研究通过典型相关性分析获得了果实品质的主要土壤养分影响因子并建立回归方程,回归方程的系数可以判断出土壤养分因子对果实品质影响的重要程度与正负效应,奉新县‘红阳’猕猴桃果实品质主要受交换性镁、pH、有机质、有效硼与有效态铁含量的正向效应影响,而有效态铜含量表现为负向效应。供试果园土壤有效态铜含量处于高量水平,可能与果园管理时大量使用波尔多液、铜制剂等杀菌剂有关;相关性分析中有效态铜含量与果实品质呈现负向效应影响,可以看出有效态铜含量过量不利于果实品质的提升,而交换性镁、有效硼、有效态铁、有机质含量则呈现正向促进果实品质提升的效应,这些土壤养分是今后奉新‘红阳’猕猴桃果园土壤管理的关注点,与在猕猴桃^[5,9-10]、冰糖橙^[14]等其他研究具有相似结论。因此,在果园土壤管理中应增施有机肥,尽量控制带铜的肥料或药剂的施用,同时平衡施用镁、铁、硼肥。

3.4 结论

果实品质受土壤养分多因子综合作用的影响,不同土壤因子对果实品质的影响不一,不同果实品质对土壤因子的响应也存在差异。研究通过土壤养分与果实品质概况分析、典型相关性分析等多元分析,筛选出影响‘红阳’猕猴桃果实品质的主要土壤养分因子,分别为有机质、交换性镁、有效态铁、有效态铜、有效硼以及pH,通过建立线性规划方程组求得果实品质最佳时的土壤养分适宜范围,提出施肥优化方案。但土壤养分与果实品质关系较为复杂,还应进一步结合树体营养、果实,及土壤环境整体设计,深入探明生产优质‘红阳’猕猴桃的土壤养分适宜范围,根据猕猴桃生长特性及果实品质形成机制,实现土壤科学施肥、精准化管理,达到高产、优质、高效的培育目的。

致谢:江西省科学院高端科技人才专项(2020GDRC1)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] 陈双双,贺艳群,徐小彪,等.不同采收期对‘奉黄1号’猕猴桃果实品质的影响[J].江西农业大学学报,2021,43(6):1259-1268.
CHEN S S, HE Y Q, XU X B, et al. Effect of different harvest time on fruit quality of ‘Fenghuang No.1’ kiwi fruit[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(6): 1259-1268.
- [2] 王小玲,于一尊,高柱,等.羽扇豆套种对猕猴桃叶片和果实丙二醛含量的影响[J].北方园艺,2018,41(24):54-58.
WANG X L, YU Y Z, GAO Z, et al. Effects of intercropping lupin on malondialdehyde content in kiwifruit leaf and fruit[J]. Northern horticulture, 2018, 41(24): 54-58.
- [3] 钟彩虹,黄文俊,李大卫,等.世界猕猴桃产业发展及鲜果贸易动态分析[J].中国果树,2021,62(7):101-108.
ZHONG C H, HUANG W J, LI D W, et al. World kiwifruit industry development and fresh fruit trade dynamic analysis[J]. China fruits, 2021, 62(7): 101-108.
- [4] 齐秀娟,郭丹丹,王然,等.我国猕猴桃产业发展现状及对策建议[J].果树学报,2020,37(5):754-763.
QI X J, GUO D D, WANG R, et al. Development status and suggestions on Chinese kiwifruit industry[J]. Journal of fruit science, 2020, 37(5): 754-763.
- [5] 黄春辉,曲雪艳,刘科鹏,等.‘金魁’猕猴桃园土壤理化性状、叶片营养与果实品质状况分析[J].果树学报,2014,31(6):1091-1099.
HUANG C H, QU X Y, LIU K P, et al. Analysis of soil physicochemical properties, leaf nutrients and fruit qualities in the orchards of ‘Jinkui’ kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) [J]. Journal of fruit science, 2014, 31(6): 1091-1099.
- [6] FALLAHI E, FALLAHI B, PEREYEA F J, et al. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples [J]. Acta horticulturae, 2010, 868(59): 49-60.
- [7] KHATTAK R A, HUSSAIN Z. Evaluation of soil fertility status and nutrition of orchards [J]. Soil & environment, 2007, 26(1): 22-32.
- [8] 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),2011,75(10):179-184.
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 (natural science edition), 2011, 75(10): 179-184.
- [9] 刘科鹏,黄春辉,冷建华,等.猕猴桃园土壤养分与果实品质的多元分析[J].果树学报,2012,29(6):1047-1051.
LIU K P, HUANG C H, LENG J H, et al. Multivariate analysis between soil nutrients and fruit qualities in kiwifruit orchard

- [J].Journal of fruit science,2012,29(6):1047-1051.
- [10] 陈美艳,赵婷婷,彭珏,等.‘东红’猕猴桃果园土壤养分与果实品质的多元分析[J].植物科学学报,2021,39(2):193-200.
CHEN M Y,ZHAO T T,PENG J,et al.Multivariate analysis of relationship between soil nutrients and fruit quality in ‘Dong-hong’ kiwifruit (*Actinidia chinensis* var. *chinensis*) orchards[J].Plant science journal,2021,39(2):193-200.
- [11] 曹胜,欧阳梦云,周卫军,等.湖南温州蜜柑果实矿质养分与土壤养分、pH的多元分析与模拟[J].果树学报,2019,36(8):1029-1039.
CAO S,OU-YANG M Y,ZHOU W J,et al.Multivariate analysis and modeling of fruit mineral nutrient,soil nutrient and pH in *Satsuma mandarin* citrus orchards in Hunan province[J].Journal of fruit science,2019,36(8):1029-1039.
- [12] 刘科鹏.猕猴桃果实品质与土壤、叶片营养的关系[D].南昌:江西农业大学,2013.
LIU K P.Fruit quality of kiwifruit and its correlation with soil and leaf nutrition[D].Nanchang:Jiangxi Agricultural university,2013.
- [13] 施建平,宋歌.中国土种数据库:基于第二次土壤普查的全国性土壤数据集[J].中国科学数据(中英文网络版),2016,2.
SHI J P,SONG G.Soil type database of China:a nationwide soil data set based on the second national soil survey[J].Scientific data in China,2016,2.
- [14] 曹胜,周卫军,刘沛,等.冰糖橙果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J].土壤,2021,53(1):97-104.
CAO S,ZHOU W J,LIU P,et al.Multivariate analysis and optimization of relationship between soil nutrients and fruit quality in *C.sinensis* (L.)Osbeck orchard[J].Soils,2021,53(1):97-104.
- [15] 曹裕,居玛汗·卡斯木,范鹏,等.陕西洛川旱塬苹果园地深层土壤水分和养分特征[J].应用生态学报,2013,23(2):88-96.
CAO Y,JU M H,FAN P,et al.Moisture and nutrient characteristics of deep layer soil in apple orchards on the Luochuan highland of Shaanxi, Northwest China[J].Chinese journal of applied ecology,2013,23(2):88-96.
- [16] 马亚平,曹兵,王艳.灵武长枣土壤养分与果实品质间的相关性分析[J].经济林研究,2017,35(4):111-117.
MA Y P,CAO B,WANG Y.Correlation analysis between soil nutrients and fruit quality in *Ziziphus jujuba* Lingwuchangzao [J].Nonwood forest research,2017,35(4):111-117.
- [17] 张涓涓,杨莉,刘德春,等.土壤养分状况与马家柚果实品质相关性的多元分析[J].经济林研究,2015,32(4):25-31.
ZHANG J J,YANG L,LIU D C,et al.Correlation analysis between fruit quality of majia pumelo and soil nutrients,leaf and fruit mineral nutrients[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2015,37(5):811-818.
- [18] 张静文,岳朝阳,刘爱华,等.新疆玛纳斯葡萄土壤养分与果实品质关系多元分析[J].西南农业学报,2017,30(7):1606-1611.
ZHANG J W,YUE C Y,LIU A H,et al.Multivariate analysis of relationship between soil nutrients and grape qualities for grapery in Xinjiang Manasi[J].Southwest China journal of agricultural sciences,2017,30(7):1606-1611.
- [19] 孔婷婷,刘爱华,张静文,等.石榴园土壤养分与果实品质的多元分析[J].河南农业大学学报,2017,51(3):318-323.
KONG T T,LIU A H,ZHANG J W,et al.Multivariate analysis between soil nutrients and fruit qualities in pomegranate orchard[J].Journal of Henan agricultural university,2017,51(3):318-323.
- [20] 黄霄,姚丹,陆爱华,等.江苏不同产地‘白玉’枇杷果实品质与果实和土壤中矿质元素含量的相关性分析[J].植物资源与环境学报,2018,27(2):85-92.
HUANG X,YAO D,LU A H,et al.Correlation analysis on fruit quality of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ from different locations in Jiangsu Province with mineral element contents in fruit and soil[J].Journal of plant resources and environment,2018,27(2):85-92.
- [21] 王仁才,夏利红,熊兴耀,等.钾对猕猴桃果实品质与贮藏的影响[J].果树学报,2006,23(2):200-204.
WANG R C,XIA L H,XIONG X Y,et al.Effects of applying potassium on kiwifruit eating quality and storage life[J].Journal of fruit science,2006,23(2):200-204.
- [22] 韩萍.近代回归分析及其应用[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2007,25(2):31-34.
HAN P.Modern regression analysis and its application[J].Journal of Xinjiang normal university (natural sciences edition),2007,25(2):31-34.
- [23] 刘同祥,龚榜初,徐阳,等.‘次郎’甜柿土壤养分、叶片养分与果实品质的多元分析及优化方案[J].林业科学研究,2017,30(5):812-822.
LIU T X,GONG B C,XU Y,et al.Multivariate analysis and optimum proposals of soil nutrient and leaf nutrient with fruit qualities in ‘Jiro’ persimmon orchard[J].Forest research,2017,30(5):812-822.