

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

杨江波, 张绩, 李俊杰, 郑永强, 吕强, 谢让金, 马岩岩, 邓烈, 何绍兰, 易时来

(西南大学柑桔研究所/中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400712)

摘要:【目的】通过在三峡重庆库区典型代表性柑橘园研究不同施氮水平对晚熟柑橘塔罗科血橙树体养分吸收、果实产量品质及土壤理化性质的影响, 为三峡重庆库区晚熟柑橘优质丰产提供理论依据。【方法】以 7 年生枳橙砧塔罗科血橙为试材, 研究在 0 (N0)、1 (N1)、1.5 (N2)、2 (N3)、2.5 (N4) 和 3 kg/株 (N5) 6 个施氮水平处理下树体枝梢干物质积累量、枝叶与果实养分吸收、果实产量和品质以及土壤理化性质的差异。【结果】本试验结果表明, 不同施氮水平处理后, 血橙各时期叶片和枝条干物质质量变化趋势相似, 均表现为随着施氮量的增加显著增加, 但春梢叶片干物质质量在 N3—N5 处理差异不显著。不同时期的枝叶干物质质量均表现为春梢大于秋梢, 叶片干物质质量要远大于枝条。春梢的氮、磷、钾养分吸收量在 N0 处理下均为最低, 随着氮肥施入, 吸收量显著增加, 其中叶片的氮吸收量在 N2 处理达到峰值, 磷、钾吸收量在 N3 处理达到峰值, 随后有所下降, 但差异不显著, 枝条的养分吸收量一直在增加, N3—N5 处理差异不显著。秋梢叶片和枝条的氮吸收量随着施氮量增加显著增加, 在 N5 处理达到最大值, 磷和钾吸收量在 N0 处理时略高于低氮处理 (N1、N2), 而高氮 (N3—N5) 处理显著增加。果实氮和钾含量随施氮量增加呈先增后降趋势, 在 N2 处理达到最大值, 各处理的果实磷含量差异不显著。果肉中氮和钾含量远高于果皮, 而果皮中的磷含量高于果肉。不同施氮处理的果实养分带走量差异显著, 随着施氮量的增加, 果实氮、磷、钾养分带走量以 N2 处理最高, 显著高于其他各处理; 果实养分带走量顺序为钾>氮>磷。随着氮肥投入增加, 土壤有机质含量显著下降, 碱解氮和有效磷含量显著增加, 速效钾含量在 N3 处理达到最大值后开始降低。土壤硝态氮淋溶作用随着施氮量增加而增大, 0—20 cm 土层内以 N2 处理硝态氮含量最高, 显著高于 N5 处理; 铵态氮含量比较稳定, 与施氮量呈正相关; 20—40 cm 土层内各处理间的硝态氮、铵态氮含量差异均不显著; 40—60 cm 土层内高氮处理下硝态氮含量显著增加, 而铵态氮含量变化不明显。果皮厚度与施氮量呈正相关, 果实纵径、横径、单果重和产量均随着施氮量增加先增加后降低, N3 处理纵、横径显著高于其他处理, 而 N2 处理的单果重和产量最高。可溶性固形物含量随施氮量增加呈先增后降趋势, 各处理间差异不显著; 随施氮量的增加, 可滴定酸含量增加, 固酸比下降; 维生素 C 和花色苷含量变化趋势相似, 在 N2 处理达到最大值, 随后显著降低。果实着色在 N3 处理下相对较好。相关性分析表明, 叶片氮含量与果实可滴定酸含量和果皮厚度呈正相关, 与固酸比呈负相关, 土壤碱解氮含量与可滴定酸含量和果皮厚度呈极显著正相关, 与固酸比呈极显著负相关。【结论】综合考虑, 在三峡重庆库区柑橘园中, 纯氮推荐用量为 0.63—0.86 kg/plant, 可保证果园较高的产量和果实品质水平, 有利于血橙树体的养分吸收利用, 同时果园土壤环境污染风险相对较小。

关键词: 三峡重庆库区; 塔罗科血橙; 施氮水平; 氮肥减量; 养分; 果实产量与品质

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

YANG JiangBo, ZHANG Ji, LI JunJie, ZHENG YongQiang, LÜ Qiang, XIE RangJin, MA YanYan, DENG Lie, HE ShaoLan, YI ShiLai

收稿日期: 2018-10-22; 接受日期: 2018-12-28

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0200104, 2018YFD0700602)、重庆市社会事业保障与民生科技创新专项 (cstc2016shmszx80006, cstc2017shms-kjfp80036)、重庆市重点产业共性关键技术创新专项 (cstc2015zdcy-ztzx80001)

联系方式: 杨江波, E-mail: yjb0602@qq.com. 通信作者易时来, E-mail: yishilai@126.com

(Citrus Research Institute, Southwest University/Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences,
Chongqing 400712)

Abstract: 【Objective】 This study investigated effects of different nitrogen application levels on nutrient uptake, fruit yield and quality, soil physical and chemical properties of late ripening citrus Tarocco blood orange in typical citrus orchards to provide a theoretical basis for the high-quality and high-yield of late-maturing citrus in the Three Gorges area of Chongqing city. 【Method】 Six different nitrogen treatments (N0 (0), N1 (1 kg/plant), N2 (1.5 kg/plant), N3 (2 kg/plant), N4 (2.5 kg/plant) and N5 (3 kg/plant)) were performed to study its effects on nutrient absorption of branches and leaves and fruit, fruit quality and yield and soil physicochemical properties using 7-year-old Tarocco blood orange grafted on *Poncirus trifoliata* (L.). 【Result】 Results showed that the increased nitrogen levels except N2 group significantly increased the dry matter amount of leaves and branches in different periods of blood orange with higher level in spring shoots than autumn shoots as well as higher level in leaves than branches. The nutrient absorption of nitrogen, phosphorus and potassium in spring shoots was the lowest under N0 treatment, and the absorption of nitrogen in leaves was significantly increased by the added nitrogen fertilizer with a peak level under N2 treatment while the absorption of phosphorus and potassium with a peak level under N3 treatment. Nitrogen application significantly increased the amount of nitrogen uptake of leaves and branches of autumn shoots with a maximum level under N5 treatment. High nitrogen treatments (N3-N5) significantly increased the amounts of phosphorus and potassium uptake of leaves and branches. Nitrogen first increased then decreased the nitrogen and potassium content of fruit with the maximum level under N2 treatment. The content of nitrogen and potassium in pulp was much higher than that of peel, while the phosphorus content was opposite. The maximum nutrient removal amount of nitrogen, phosphorus and potassium was found under N2 treatment with a significant increase, and the amount of nutrient removal was potassium>nitrogen>phosphorus. The pH value and content of organic matter of soil decreased significantly by adding nitrogen fertilizer while the content of available nitrogen and phosphorus of soil increased significantly with the maximum available potassium content under N3 treatment. Nitrogen increased the leaching of nitrate nitrogen in soil within 0-20 cm with the highest level under N2 treatment. Ammonium nitrogen was positively correlated with the nitrogen application rate. There was no significant difference among the content of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen under all treatments within 20-40 cm soil layer. The content of nitrate nitrogen in 40-60 cm soil layer increased significantly under high nitrogen treatments, while the ammonium nitrogen content did not change. Nitrogen application first enhanced the thickness of pericarp, the longitudinal diameter, transverse diameter, average weight and yield, and then decreased with the highest level of the longitudinal and transverse diameter under N3 treatment and the highest weight and yield under N2 treatment. Nitrogen application first increased then decreased the total soluble solid (TSS) content without significant difference. Nitrogen input increased titratable acid (TA) content and but decreased TSS/TA ratio. N2 group had the highest vitamin C and anthocyanin content. Fruit coloration was relatively good between N2 and N3 treatments. Correlation analysis showed that the nitrogen content in leaves was positively corrected with the TA content of fruit and the thickness of pericarp, and negatively correlated with the ratio of TSS/TA, and the content of available N in soil was positively correlated with TA content and pericarp thickness, which was significantly negatively correlated with TSS/TA ratio of fruit. 【Conclusion】 Considering and analyzing, in the citrus orchard of the Three Gorges area of Chongqing, the recommended pure nitrogen application rate was ranged from 0.63 to 0.86 kg/plant which can guarantee a high level of yield and fruit quality, and is beneficial to the nutrient absorption and utilization of blood orange tree, while the risk of orchards' soil environmental pollution was relatively low.

Key words: Three Gorges area of Chongqing city; Tarocco blood orange; nitrogen application level; nitrogen reduction; nutrition; fruit yield and quality

0 引言

【研究意义】柑橘是世界第一大宗水果，中国是柑橘的生产、消费和出口大国，根据国家统计局《中国统计年鉴（2017年）》统计，2016年我国柑橘以栽培总面积 $2.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，总产量 $3.76 \times 10^{11} \text{ t}$ ，连续多

年位居世界首位。三峡重庆库区柑橘园面积为 $2.03 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ，产量 $2.42 \times 10^{10} \text{ t}$ ，柑橘产业已成为三峡重庆库区的支柱产业之一。在当前柑橘产业中化肥的作用举足轻重，尤其是氮肥，其对柑橘生长发育有十分重要的影响^[1]。氮素营养与树体生长和果实产量、品质有着密切关系，因此导致生产过程中常为追求高

产而过量投入氮肥,氮肥过量后又易导致树体生长紊乱、果实产量品质下降^[2],同时对生态环境也造成不良影响^[3]。因此,如何通过控制氮肥投入而平衡柑橘树体生长、果实产量和品质以及环境污染之间的关系是当前库区柑橘产业发展的关键问题。【前人研究进展】鲁剑巍等^[4]的研究显示,合理施用氮、磷、钾肥能明显促进幼龄柑橘树体生长发育,同时能提高柑橘产量和改善果实品质;而氮肥的过量和缺乏均会产生不良影响,过量施氮令植株徒长、抗性下降,果实内外品质变差,而施用不足会使枝梢发育不良,造成减产或大小年,果小且回青严重^[5];凌丽俐等^[6]和杨生权等^[7]的研究表明果实总酸含量与叶片氮含量呈显著正相关;李信五^[8]通过温州蜜柑氮肥试验发现,氮素过量会诱导果实皮厚、贪青、风味变淡;巴西柑橘施氮 0.25 kg/株时会增产 32%,提高到 0.50 kg/株时则没有进一步增产^[9];BYJU 等^[10]认为,不合理的氮肥投入会导致养分吸收和肥料利用率下降;氮肥表现利用率在 10%—18%,随施氮量增加略有降低^[11];周鑫斌等^[12]通过三峡重庆库区柑橘园的调查发现,果园土壤氮素盈余严重超标,库区柑橘园已成为氮污染高风险区;刘相超等^[13]的调查也发现,库区地表水的硝酸盐氮污染表现为沿地表径流从上游至下游呈现出加重趋势。【本研究切入点】目前我国柑橘施肥研究大多集中于宽皮柑橘的幼龄果树,且关于养分吸收与转化机理研究较多,而针对结果盛期的晚熟甜橙类品种的研究报道鲜见,尤其系统研究分析施氮对树体养分吸收、果实产量品质以及对土壤环境影响等的综合报道少见。【拟解决的关键问题】选择三峡重庆库区具有代表性的盛产期晚熟甜橙园,以氮素为对象,系统研究施氮水平对塔罗科血橙树体养分吸收、果实产量品质以及土壤理化性质的影响,通过施氮量与产量、品质拟合模型寻找最佳施肥方案,为三峡重庆库区的晚熟甜橙优质丰产施肥技术提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地点与试验材料

试验在重庆市万州区甘宁镇重庆蕤丰园农业有限公司玫瑰香橙园进行。该地区位于北纬 30°40′、东经 108°15′,平均海拔 333 m,气候属亚热带季风气候型,年均气温 17.7℃,平均年日照 1 485 h,年均降水量 1 200 mm 以上,雨季主要集中在每年 6—9 月。果园土壤为水稻土,土壤 pH 6.0、有机质 13.92

g·kg⁻¹、全氮 0.76 g·kg⁻¹、碱解氮 64.84 mg·kg⁻¹、有效磷 56.45 mg·kg⁻¹、速效钾 185.75 mg·kg⁻¹。

试验树为 7 年生‘卡里佐’枳橙 (*Citrus sinensis* × *Poncirus trifoliata*) 砧‘塔罗科’血橙 (*C. sinensis* ‘Tarocco’),果园采用起垄栽植,垄面宽 3 m,垄沟宽 2.5 m、深 0.5 m,株行距为 2.5 m×5.5 m,栽植密度为 660 株/hm²。试验用化学肥料尿素、过磷酸钙和硫酸钾的有效养分含量分别为 N 46%、P₂O₅ 12%以及 K₂O 51%。

1.2 试验设计与方法

试验共设 6 个施氮水平处理,分别为 N0 (0)、N1 (1.0 kg/株,尿素,其余同)、N2 (1.5 kg/株)、N3 (2 kg/株)、N4 (2.5 kg/株)和 N5 (3 kg/株),对应纯氮施用量分别为 0、0.46 kg/株、0.69 kg/株、0.92 kg/株、1.15 kg/株、1.38 kg/株。N3 处理的施氮量根据重庆地区近几年柑橘园氮肥投入量及土壤基础肥力确定,其他各处理分别在此基础上上、下浮动 25%—50%。各处理过磷酸钙和硫酸钾用量一致,过磷酸钙 2.5 kg/株,硫酸钾 1.5 kg/株。每处理一行,选择生长健壮、长势中庸一致的树 17 株,头和尾各一株分别为保护树(采样时避开此树),每 5 株为 1 重复,共 3 个重复。尿素在 3 月萌芽期和 7 月膨大期分 2 次/年施用,比例为 50 : 50;过磷酸钙于 3 月萌芽期、7 月膨大期和 10 月转色期分 3 次/年施用,比例为 20 : 20 : 60;硫酸钾施用次数和时间与过磷酸钙一致,比例为 25 : 50 : 25。施肥方式 3 月为沟施,沿树体两侧滴水线处挖长×宽×深为 1 m×0.2 m×0.2 m 的条沟,肥料施入后用锄头将肥料与土壤混匀回填并灌水;7 月和 10 月为撒施,施肥后松土,同时与肥料充分混匀并灌水,其他病虫害等田间管理按常规生产技术进行。本试验不同氮水平处理已进行 3 年(2016—2018),由于塔罗科血橙为 2—3 月成熟的晚熟品种,试验收集的数据以 2017—2018 年度最为齐全,故本论文中以该年度观测数据为例。

分别于果实膨大期(第 2 次施肥时)和果实转色期(第 3 次施肥时)按单株树调查当年生春梢和秋梢数量并记录,于果实成熟期(翌年 2 月)按单株树调查实际产量。

1.3 采样与项目测定

1.3.1 枝梢采样与养分测定 分别于果实膨大期和果实转色期枝梢老熟时采集当年生春梢和秋梢,沿树冠外围每个方位采 2 个枝条,每 5 株树混合为一个样品,3 次重复,立即放入冰盒保存。将叶片和枝条分

离,去离子水洗净后擦干,烘箱中 105℃ 杀青 30 min,然后调至 60—80℃ 烘至恒重并分别称干重,计算树体枝梢干物质重。样品磨细并过 0.5 mm 筛,干燥器保存。植株样品采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 法消煮,氮、磷、钾含量分别采用半微量凯氏定氮法、钼锑抗比色法、火焰光度法测定^[14]。

1.3.2 果实品质与养分测定 于成熟期采集果实样品,树体上、中、下及四周等各部位采 1 个果,5 株树为一个混合样品,3 次重复,立即带回实验室测定单果重和果实纵、横径等。果实用去离子水洗净后擦干,采用 CR-10 手持色差计(日本柯尼卡美能达公司)测定果面色差(Lab 色差模型),即以 L 值表示果面果皮亮度,值越大表示果皮亮度越高,a 值表示红绿色差,值越大表示红色较深,b 值表示黄蓝色差,值越大表示黄色较深^[15]。再用游标卡尺测定果皮厚度,样品榨汁后采用 PAL-1 数显糖度仪(日本 ATAGO 公司)测定可溶性固形物含量(total soluble solid, TSS),NaOH 中和滴定法测定可滴定酸含量(titratable acid, TA),比值法计算固酸比(TSS/TA),2,6-二氯苯酚吲哚酚钠滴定法测定维生素 C(vitamin C, Vc)含量,pH 示差法测定总花色苷含量。果实测定品质后果皮样品前处理与叶片相同,同时将果渣与果汁混合打碎搅匀后用于测定含水量,果皮、果肉分别测定氮、磷、钾含量。

1.3.3 土壤采集与测定 采果前采集土壤样品。田间用环刀法测定 0—20 cm 土层容重,用土钻分别取

0—20 cm、20—40 cm、40—60 cm 土壤剖面样品,每处理取 6 点,每 2 点混合为一个样品,立即放入冰盒并带回实验室,样品混匀后去除石子和植物根系等杂物,立即取 5 g,加入 50 mL 1 mol·L⁻¹ KCl 溶液,震荡浸提 30 min 后过滤,滤液用德国 DeChem-Tech 全自动间断化学分析仪(CleverChem380)测定铵态氮和硝态氮含量。将 0—20 cm 土层样品风干后磨细并过 20 目尼龙筛,用于测定有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量。同时用烘干法测定土壤含水量。

1.4 计算公式及统计方法

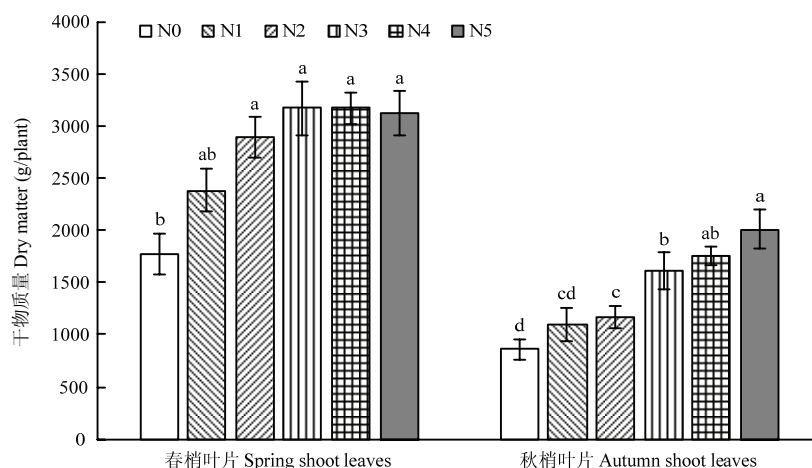
养分吸收量为施肥到采样时期内单株树(枝、叶、果)氮(磷、钾)的吸收量;根据当年新生枝梢数量和样品干物质质量(水分含量)计算树体当年生新梢的干物质总量;根据枝梢养分含量及干物质质量计算其养分吸收量。根据果实产量(或果实干物质重)及果实养分含量计算果实养分带走量。

数据采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 19.0 软件进行统计分析,差异显著性采用邓肯氏新复极差法分析。

2 结果

2.1 施氮水平对塔罗科血橙树体枝梢干物质质量和养分吸收利用的影响

2.1.1 施氮对血橙枝梢干物质积累的影响 由图 1 可知,氮肥投入能够显著提高血橙树体叶片的干物质质量。在不同施氮水平下,春梢叶片干物质质量随着施氮



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同 Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$). The same as below

图 1 施氮对血橙叶片干物质积累的影响

Fig. 1 Effects of nitrogen application on dry matter accumulation of blood orange leaves

量的增加先快速增加，然后平缓增加至 N5 处理时又呈下降趋势；与对照（N0）相比，N3 处理的叶片干物质量提高了 79.6%，差异达显著水平。与春梢叶片相似，秋梢叶片的干物质量随施氮量增加呈缓慢增加趋势，在 N5 处理达到最大值，与其他处理（N4 除外）差异达显著水平。枝条的干物质量要远小于叶片，春、秋梢枝条的干物质量随着施氮量的增加呈显著增加趋势，在 N5 处理均达到最大值，分别为 717.66 g/株和 582.96 g/株，显著高于其他处理（图 2）。春梢的干物质量整体都明显高于秋梢。经曲线拟合得到施氮量与

春梢叶片干物质量的方程为 $y=-856.03x^2+2242.5x+1713.6$ ($R^2=0.97$, $P=0.006$)，与春梢枝条干物质量的方程为 $y=-20.064x^2+276.5x+383.02$ ($R^2=0.92$, $P=0.0023$)，与秋梢叶片干物质量的方程为 $y=348.16x^2+385.86x+847.52$ ($R^2=0.97$, $P=0.005$)，与秋梢枝条干物质量的方程为 $y=135.46x^2+73.259x+222.31$ ($R^2=0.96$, $P=0.007$)，相关性均达到极显著水平。可以进一步看出施氮对血橙枝梢的干物质量积累有明显促进作用，其中春梢叶片的最适年纯氮用量为 1.31 kg/株。

2. 1. 2 施氮对血橙枝梢养分吸收量的影响 从表 1

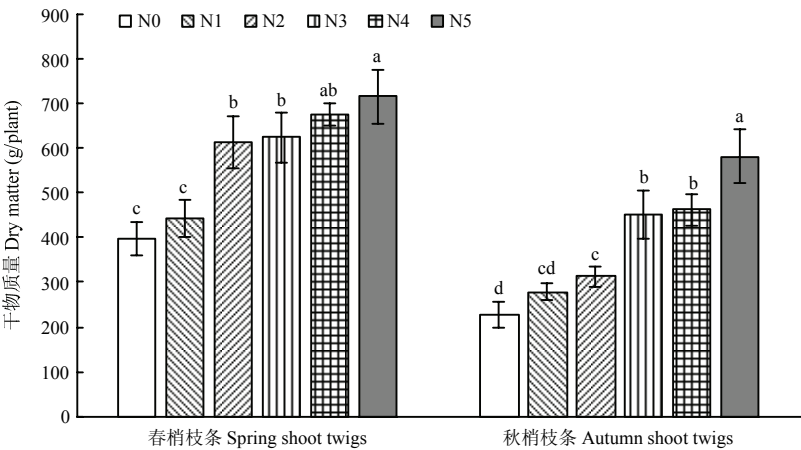


图 2 施氮对血橙枝条干物质积累的影响

Fig. 2 Effects of nitrogen application on dry matter accumulation of blood orange twigs

表 1 施氮对血橙枝梢养分吸收的影响

Table 1 Effects of nitrogen application on nutrient uptake of blood orange shoots

枝梢类型 Shoot type	处理 Treatment	叶片 Leaves (g/plant)			枝条 Twigs (g/plant)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
春梢 Spring shoot	N0	40.39±7.14c	5.42±0.88c	16.90±2.02c	4.26±0.31c	0.97±0.11c	2.00±0.39c
	N1	59.55±6.42b	7.83±0.38b	26.28±3.26b	5.08±0.82c	1.35±0.11b	3.03±0.43b
	N2	81.81±9.93a	9.20±0.77a	25.97±2.64b	6.71±0.63b	1.44±0.07ab	3.50±0.12ab
	N3	70.47±6.00ab	9.67±0.27a	36.20±3.61a	6.62±0.48b	1.55±0.15a	3.29±0.47ab
	N4	72.79±5.75ab	9.61±0.92a	36.08±2.96a	7.12±0.30ab	1.62±0.10a	4.04±0.52a
	N5	78.54±7.56a	9.29±0.83a	37.02±3.73a	7.86±0.55a	1.63±0.10a	3.76±0.41ab
秋梢 Autumn shoot	N0	18.97±1.85c	5.17±0.60c	12.66±0.61c	2.48±0.78c	0.98±0.11c	2.12±0.22b
	N1	19.86±2.24c	3.67±0.30d	8.88±0.68d	2.92±0.19c	0.71±0.08d	1.50±0.14b
	N2	22.61±2.20c	4.68±0.66cd	11.23±1.51cd	3.14±0.74c	0.80±0.12cd	2.07±0.48b
	N3	33.49±3.34b	6.82±0.87b	16.98±1.89b	4.54±0.69b	1.30±0.09b	3.28±0.29a
	N4	34.66±4.24b	7.75±0.56b	19.64±1.51a	4.66±0.79b	1.32±0.18b	3.59±0.51a
	N5	46.88±2.68a	9.17±0.65a	20.14±1.93a	6.22±0.62a	1.60±0.19a	3.91±0.58a

不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同 Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$). The same as below

可以看出,不同施氮水平下塔罗科血橙树体春梢和秋梢的氮、磷、钾养分吸收量存在明显差异。春梢生长期,血橙处于枝梢大量抽发阶段,养分集中向叶片运转。与 N0 相比,施氮能够显著增加叶片吸氮量,随着施氮量增加,春梢叶片吸氮量呈先增加后降低再增加的趋势;随施氮量增加,磷素吸收先增后降;而钾素吸收量与施氮量呈正相关,但 N4、N5 处理增加较少。磷和钾的吸收量远小于吸氮量,表明此时树体处在氮素吸收高峰期,需要大量氮素供给叶片生长。秋梢叶片的氮、磷、钾吸收量整体低于春梢叶片;随着施氮量增加,秋梢氮素吸收量呈显著增加趋势,与 N0 相比,中氮量(N3)和高氮量(N5)处理下差异均达到显著水平,分别增加了 76.5%和 147.1%。秋梢叶片的磷、钾吸收量 N0 处理的比低氮水平处理(N1、N2)的略高,而其他施氮处理下的磷、钾吸收量随施氮量增加呈显著增加趋势。春梢枝条的吸氮量整体略高于秋梢枝条,磷素和钾素吸收量差异不大。随着施氮量的增加,春梢枝条氮、磷吸收量均呈显著增加趋势,但钾素吸收量在 N5 处理时有所下降。秋梢枝条的磷、钾吸收与叶片类似,N0 处理略高于低氮处理(N1、N2)。同一枝梢类型间,叶片养分吸收量要远远大于枝条的吸收量。

柑橘栽培施肥管理中一般选择老熟春梢叶片作为营养诊断的样品,通过拟合得到施氮量与春梢叶片吸氮量间的方程: $y=-27.601x^2+63.512x+40.467$,决定系数为 0.84 ($P<0.05$),当叶片吸氮量最大时,对应年纯氮用量为 1.15 kg/株。

2.2 施氮对塔罗科血橙果实养分吸收的影响

2.2.1 血橙果实养分含量

由图 3 可知,血橙果皮的氮含量要明显高于果肉。在一定范围内,随着施氮量的增加,果肉和全果氮含量呈上升趋势,N5 处理有所下降。果皮中氮含量随施氮量增加呈先上升后下降再上升的趋势,各处理间的差异均不显著。

与氮素不同,血橙果实吸磷量相对较小,果肉磷含量高于果皮。不同施氮水平下,血橙果肉磷含量变动幅度为 0.40—0.45 g·kg⁻¹,各处理间差异不显著。果皮磷含量相对较低,变幅为 0.35—0.40 g·kg⁻¹。果实(全果)磷含量与果肉类似(图 4)。

从图 5 可以看出,血橙果实吸钾量与吸氮量相似,远高于吸磷量。不同施氮处理的果皮钾含量均高于果肉,随着供氮水平增加,果皮中钾素含量先增后降,在 N2 处理时达到最大,分别较不施氮(N0)和高氮(N5)处理提高了 46.5%和 40.2%,各施氮处理的果肉钾含量差异不显著。对于全果实,钾素含量同样随施氮量增加先增后降,在 N2 处理达到最大之后逐渐降低,与 N0 和 N5 相比,钾含量分别提高了 21.1%和 17.8%,差异达显著水平。

2.2.2 施氮对血橙果实养分带走量的影响

果实在成熟过程中会带走大量的氮、磷、钾等养分,与枝叶相比,果实对养分的需求量大大提高,由于柑橘生长周期内养分主要由果实带走,“以果定肥”对指导柑橘施肥具有重要意义。由图 6 可以看出,血橙果实对氮、磷、钾的需求量大小顺序为钾>氮>磷。N0

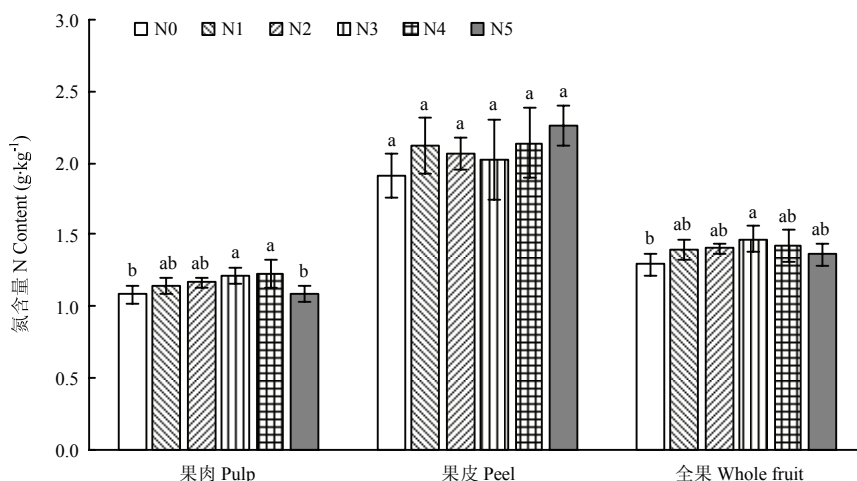


图 3 施氮对血橙果实氮含量的影响

Fig. 3 Effects of nitrogen application on nitrogen content of blood orange fruit

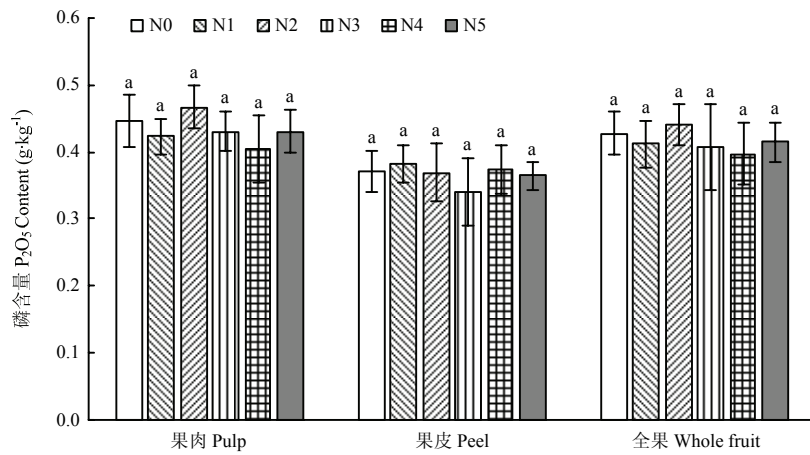


图 4 施氮对血橙果实磷含量的影响

Fig. 4 Effects of nitrogen application on P_2O_5 content of blood orange fruit

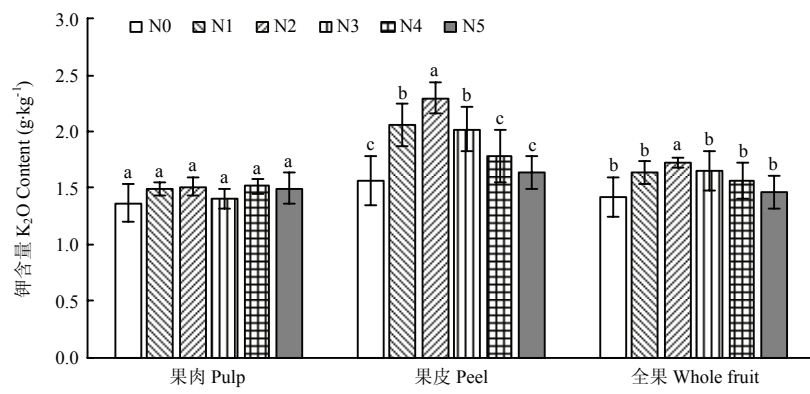


图 5 施氮对血橙果实钾含量的影响

Fig. 5 Effects of nitrogen application on K_2O content of blood orange fruit

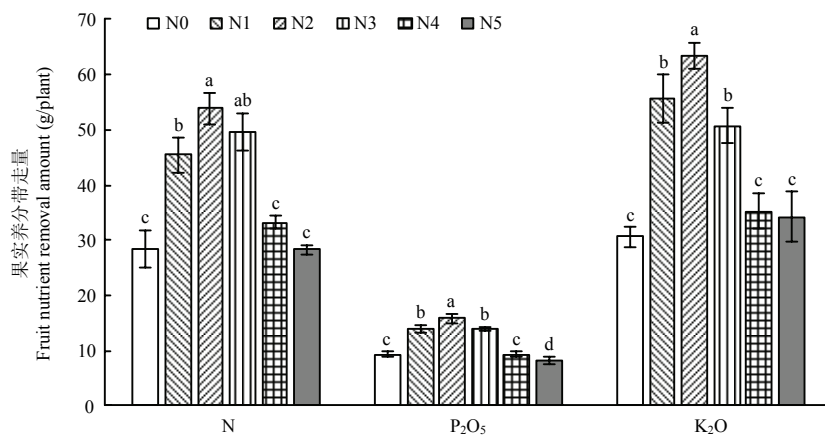


图 6 施氮对血橙果实养分带走量的影响

Fig. 6 Effects of nitrogen application on nutrient removal amount of blood orange fruit

处理下, 果实的氮、磷、钾带走量分别为 28.37、9.35 和 30.72 g/株, 在 N2 处理达到最大值, 分别为 53.82、15.92 和 63.31 g/株, 较 N0 分别增加了 89.8%、70.3%和 106.2%, 差异均达到显著水平。但随着施氮量增加, 果实养分带走量同样出现了下降, 与 N2 相比, N3 处理的氮、磷、钾带走量分别下降了 7.6%、11.8%和 20.0%, N4 处理的氮、磷、钾带走量分别下降了 38.3%、41.1%和 44.2%, N5 处理的氮、磷、钾带走量分别下降了 47.5%、48.3%和 45.8%。同时经曲线拟合后得出, 施氮量与果实氮、磷、钾带走量间具有显著相关性, 决定系数达到 0.88 以上, 相应的最适年纯氮用量分别为 0.67、0.63 和 0.67 kg/株 (表 2)。

表 2 施氮量与果实氮、磷、钾带走量的数学关系
Table 2 Mathematical relationship between nitrogen application and fruit N, P₂O₅ and K₂O removal amount

养分	方程	拐点	R ²	P
Nutrient	Equation	Inflection point		
N	$y=-48.976x^2+65.859x+28.176$	0.67	0.89	0.034
P ₂ O ₅	$y=-13.444x^2+17.035x+9.4192$	0.63	0.88	0.039
K ₂ O	$y=-55.59x^2+74.182x+32.222$	0.67	0.88	0.045

2.3 施氮对血橙园土壤理化性质的影响

2.3.1 血橙园土壤性质及有效养分含量 表 3 显示,

不同氮水平处理后土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量均有明显差异。随着施氮量的增加有机质含量明显下降, 与 N0 相比, N4、N5 高氮处理的有机质含量分别降低了 42.4%和 44.1%, 差异达显著水平。土壤碱解氮含量随施氮水平增加而增加, 其中 N5 处理的最高, 为 81.13 mg·kg⁻¹, 除与 N4 处理差异不明显外, 与其他各处理差异均显著。与土壤碱解氮含量趋势相似, 土壤有效磷含量随施氮量增加而增加, 并且在 N4、N5 处理下明显增加, 其含量分别为 116.08 和 130.24 mg·kg⁻¹, 显著高于其他低氮处理。速效钾含量呈现先升高后下降的趋势, 在 N3 处理下达到最大值, 为 348.96 mg·kg⁻¹, 分别比 N0 和 N5 处理高 113.7%和 41.3%, 差异达显著水平。各施氮处理的土壤容重差异不显著。

2.3.2 血橙园剖面土壤硝态氮和铵态氮含量 氮在土壤中主要以硝态氮和铵态氮两种形式存在。由图 7 可知, 不同供氮水平下不同土层的硝态氮含量存在差异, 由于硝态氮主要带负电荷, 在土壤溶液中流动性强, 易被淋失。0—20 cm 土层中硝态氮含量随着施氮量增加呈现先增加后明显下降的趋势, 在 N2 处理达到最大值, 而 N4 处理最小, 各处理平均含量为 1.34 mg·kg⁻¹; 20—40 cm 土层中, 硝态氮平均含量为 1.32 mg·kg⁻¹, 整体比较稳定, 以 N4 处理相对较低; 40—60 cm 土层中, 硝态氮含量增加趋势明显, 在 N5 处理最

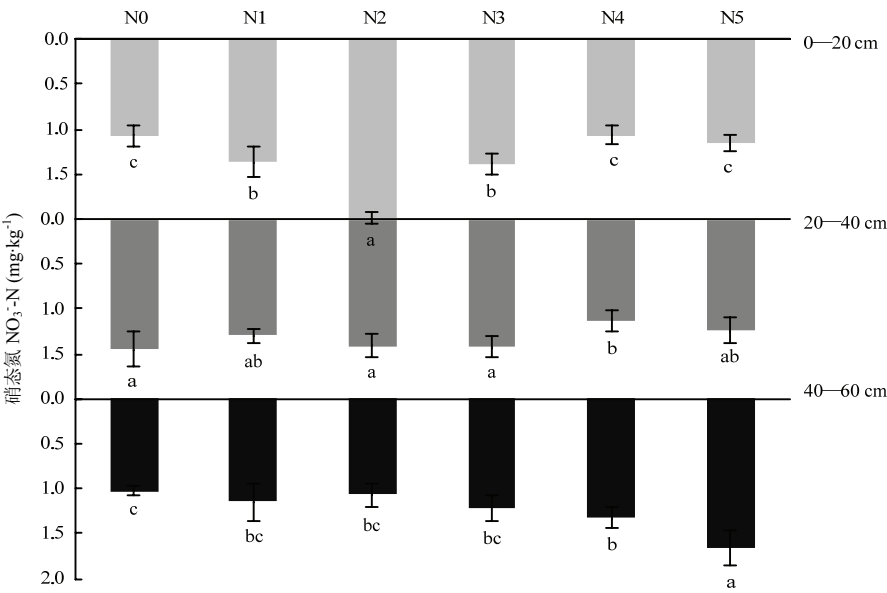


图 7 施氮对不同土层硝态氮含量的影响

Fig. 7 Effects of nitrogen application on NO₃-N content in different soil layers

表 3 施氮对血橙园土壤理化性质的影响

Table 3 Effects of nitrogen application on soil physicochemical properties of blood orange orchard

处理	土壤容重	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
Treatment	Soil bulk density (g·cm ⁻³)	Organic matter (g·kg ⁻¹)	Available N (mg·kg ⁻¹)	Available P (mg·kg ⁻¹)	Available K (mg·kg ⁻¹)
N0	1.42±0.22a	12.00±0.85a	55.91±4.14c	56.50±3.33bc	163.26±8.26d
N1	1.40±0.09a	10.07±0.75b	56.68±2.49c	52.04±5.03c	249.95±9.13c
N2	1.52±0.04a	8.72±1.75bc	60.10±7.45c	68.83±11.74b	261.51±8.57c
N3	1.35±0.09a	9.50±1.00b	71.79±2.20b	72.32±9.91b	348.96±7.45a
N4	1.46±0.13a	6.91±0.71cd	79.24±3.49ab	116.08±12.59a	297.41±10.54b
N5	1.42±0.18a	6.71±0.72d	81.13±6.89a	130.24±3.88a	246.96±7.18c

大, 分别比 N0、N1、N2、N3、N4 处理显著高出 62.1%、44.3%、55.7%、36.8%和 24.8%, 而平均含量为 1.24 mg·kg⁻¹。可见适宜的氮肥投入会提高表层土壤中的硝态氮含量, 促进血橙树体生长发育, 而过量投入会加剧淋溶作用, 易造成硝态氮流失, 对柑橘生产不利, 同时给土壤及地下水污染带来潜在风险。

铵态氮与硝态氮不同, 其带正电荷, 易被土壤胶体吸附和固定, 在土壤中流动性较小。图 8 显示, 在 0—20 cm 土层中铵态氮含量与施氮量呈正相关, 施氮量增加后铵态氮含量有所提高, 与 N0、N1、N2 处理相比, N5 处理铵态氮含量提高了 40.1%、32.9%、26.6%, 差异达到显著水平; 20—40 cm 土层中各处理铵态氮含量差异并不明显, 以 N1 处理

相对较低; 40—60 cm 土层中以 N3 处理铵态氮含量较高。不同土层间以表层土 (0—20 cm) 的铵态氮平均含量最高, 达到 8.17 mg·kg⁻¹, 20—40 cm 平均为 7.12 mg·kg⁻¹, 最下层为 6.04 mg·kg⁻¹, 进一步说明施氮能够提高表层土壤的铵态氮含量, 随着施氮量增加, 铵态氮含量有所增加, 而增加幅度较小。整体来看, 纯氮用量 0.69 kg/株/年对土壤养分及理化性质有较好改善。

2.4 施氮对塔罗科血橙果实产量与品质的影响

2.4.1 施氮对血橙产量及构成因素的影响 由表 4 可知, 不同氮肥施用量对血橙产量以及产量构成因素有明显影响。与 N0 相比, 施氮处理明显促进果实膨大, 增加果实纵径、横径, 血橙纵、横径在 N3

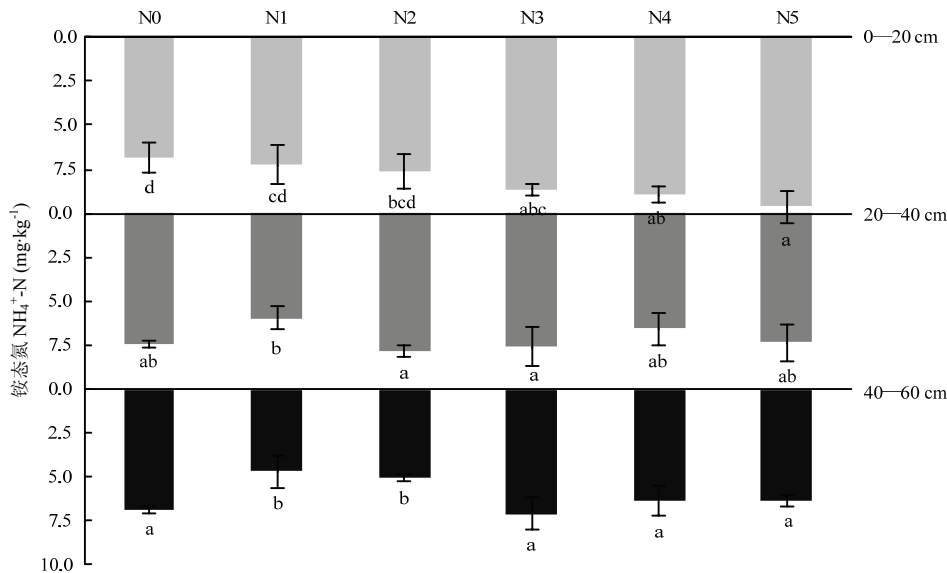


图 8 施氮对不同土层铵态氮含量的影响

Fig. 8 Effects of nitrogen application on NH₄⁺-N content in different soil layers

表 4 施氮对血橙果实大小和果皮厚度的影响

Table 4 Effects of nitrogen application on fruit size and peel thickness of blood orange

处理 Treatment	纵径 Vertical diameter (mm)	横径 Transverse diameter (mm)	果形指数 Shape index	果皮厚度 Pericarp thickness (mm)
N0	69.28±1.85c	71.50±2.46b	0.97±0.01a	2.88±0.33c
N1	70.83±0.44bc	71.67±0.88b	0.99±0.03a	3.34±0.20bc
N2	73.22±0.51b	73.50±1.09ab	1.00±0.03a	3.34±0.30bc
N3	77.11±2.50a	76.50±1.42a	1.01±0.02a	3.74±0.30b
N4	74.50±1.27b	74.00±2.00ab	1.01±0.03a	4.52±0.11a
N5	73.89±1.59b	73.22±1.51b	1.01±0.01a	4.69±0.53a

处理达到最大值，随着施氮量进一步增加果实大小反而减小；果形指数在各处理间比较稳定，差异不显著。果皮厚度对氮素的反应比较敏感，果皮厚度与施氮量呈正相关，各施氮处理的果皮厚度大小顺序为 N5>N4>N3>N2>N1>N0，且 N5、N4 高氮处理的果皮厚度与 N3、N2、N1、N0 之间差异达显著水平。

施氮对血橙单果质量和单株产量均有显著影响。在适宜施氮范围内，单果质量随着供氮增加而增加，在 N2 处理后出现了下降，但差异并不显著，与各处

理相比，N2 处理的血橙单果质量分别比 N0、N1、N3、N4、N5 高 21.2%、5.4%、9.7%、8.7%、10.5%；产量与单果质量情况类似，随施氮量增加产量呈先增后减趋势，在 N2 处理达到最高产量，为 38.62 kg/株，随着施氮量的进一步增加反而出现减产趋势，且差异显著，N4、N5 高氮处理的产量比 N2 处理的分别减产 41.9%和 43.5%。由图 9 可知，经曲线拟合后，相对最大单果质量和最高产量对应的年纯氮用量分别为 0.78 和 0.67 kg/株。

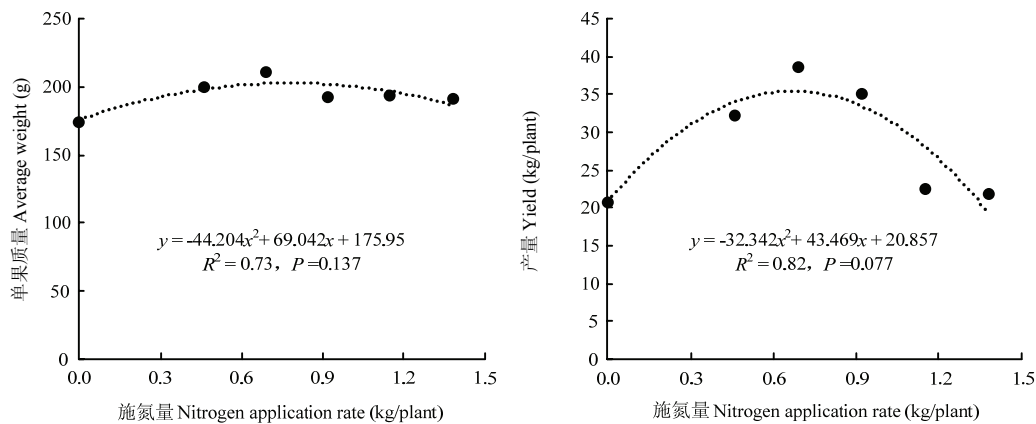


图 9 施氮对血橙单果质量（左）和株产（右）的影响

Fig. 9 Effects of nitrogen application on average weight (left) and plant yield (right) of blood orange

2.4.2 施氮对血橙果实品质的影响 表 5 显示，随着施氮量增加，血橙可溶性固形物含量呈先增后降趋势，N0 处理的最低，为 10.83%，N3 处理最高，达 11.27%，较 N0 提高了 4%，但差异不显著，随着施氮量进一步增加可溶性固形物略微降低。可滴定酸含量随施氮量增加呈增加趋势，与 N0 相比，N5

处理可滴定酸含量增加了 19.7%，差异达显著水平。N0 处理的固酸比最高，达到 15.21，主要是由于可滴定酸含量较低，各施氮处理固酸比整体趋势与可溶性固形物含量变化相似，N1 处理相对较高，显著高于 N5 处理。

血橙 Vc 含量随着施氮量的增加呈先增后降趋

势，除与 N0 处理差异显著外，其他各处理间差异均不显著。花色苷与 Vc 相似，是一种广泛存在于蔬菜、水果中的具有强抗氧化性的物质，而在柑橘类中，血橙是唯一含有花色苷的品种^[16]。在一定量的施氮范围内，血橙花色苷含量随着施氮量的增加而增加，由图 10 可知，血橙花色苷含量 N2>N1>N0；但随着施氮量进一步增加，花色苷含量反而呈显著下降趋势，即 N2>N3>N4>N5。经拟合后，可得到 Vc 和花色苷对应的年最佳纯氮用量分别为 0.86、0.72 kg/株。

表 5 施氮对血橙果实内在品质的影响
Table 5 Effects of nitrogen application on fruit intrinsic quality of blood orange

处理 Treatment	可溶性固形物 TSS (%)	可滴定酸 TA (%)	固酸比 TSS/TA
N0	10.83±0.50a	0.71±0.02b	15.21±0.40a
N1	11.07±0.21a	0.77±0.04ab	14.39±0.56a
N2	11.20±0.36a	0.82±0.12a	13.60±0.40ab
N3	11.27±0.25a	0.80±0.02ab	14.03±0.50ab
N4	10.73±0.23a	0.83±0.05a	12.97±0.19b
N5	10.67±0.55a	0.85±0.02a	12.57±0.04b

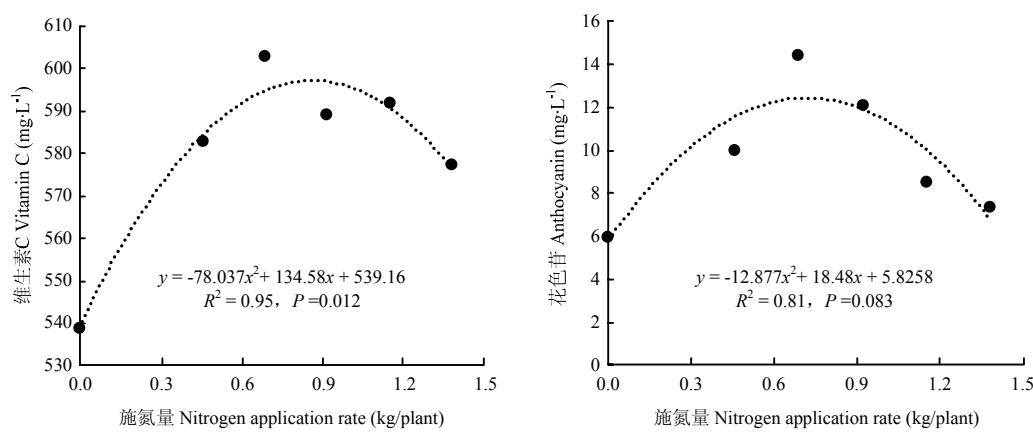


图 10 施氮对血橙果实维生素 C（左）和花色苷（右）含量的影响

Fig. 10 Effects of nitrogen application on vitamin C (left) and anthocyanin (right) content of blood orange

由表 6 可知，施氮对血橙果皮着色有显著影响。与不施氮相比，施入氮肥可以降低血橙果皮亮度（L）和黄色度（b），红色度（a）和着色度（a/b）增加，果皮颜色更红且更均匀。施氮量增加后，亮度有上升趋势，红色度和着色度呈现先增后降，而黄色度先降后增。N3 处理对血橙果皮的着色效果相

对较好，亮度和黄色度较低，红色较深。

2.5 不同成分间的相关性

2.5.1 土壤、叶片氮含量与果实养分间的相关性 从表 7 可以看出，春梢和秋梢叶片的氮含量与果实氮、钾含量以及果实的养分带走量呈正相关，而与果实磷含量呈负相关，总体相关性未达显著水平；土壤碱解

表 6 施氮对血橙果面颜色的影响

Table 6 Effects of nitrogen application on color of blood orange fruit surface

处理 Treatment	L	a	b	a/b
N0	65.08±0.61a	25.45±0.33c	34.97±0.44a	0.73±0.02d
N1	59.66±1.54d	27.81±0.26ab	32.35±0.30cd	0.86±0.02b
N2	61.13±0.44cd	27.38±0.57b	32.91±1.38bc	0.83±0.05bc
N3	61.97±0.90bc	28.83±0.72a	31.26±1.03d	0.93±0.05a
N4	62.02±1.79bc	27.82±0.99ab	32.95±0.60bc	0.84±0.04bc
N5	64.04±1.34ab	27.23±0.70b	34.39±0.95ab	0.79±0.03cd

表 7 土壤、叶片氮含量与果实养分间的相关性
Table 7 Correlation between nitrogen content in soil and leaves and fruit nutrients (n=18)

成分 Parameters	果实养分含量 Nutrient content in fruit			果实养分带走量 Nutrient removal amount of fruit		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
春梢叶氮含量 Nitrogen content in spring leaves	0.082	-0.041	0.329	0.376	0.296	0.366
秋梢叶氮含量 Nitrogen content in autumn leaves	0.306	-0.184	0.151	0.113	0.021	0.288
碱解氮含量 Available Nitrogen content	0.254	-0.192	-0.167	-0.323	-0.482*	-0.372

*表示在 5%水平显著相关。下同 *indicate significant correlation at 5% level. The same as below

氮含量除与果实氮含量呈正相关外，与其他指标均呈负相关，其中和果实磷带走量相关性达到显著水平，相关系数为-0.482 ($r_{0.05}=0.456$)。

2.5.2 土壤、叶片氮含量与果实品质的相关性 表 8 结果显示，土壤、叶片氮含量与果实品质具有一定的相关性。春梢和秋梢的叶片氮含量与 TSS 含量、固酸比呈负相关，与其余指标呈正相关，其中秋梢叶片氮含量与 TA 含量和果皮厚度显著正相关，相

关系数分别为 0.493、0.520，与固酸比的相关系数为-0.568，春梢叶片氮含量与果皮厚度同样达到显著相关性。土壤碱解氮含量与果实 TA 含量和果皮厚度间均达到极显著正相关，相关系数分别为 0.635 和 0.917 (n=18, $r_{0.01}=0.575$)，与固酸比极显著负相关，该结果与位高生等^[17]的结果一致。进一步说明叶片、土壤中氮的含量显著影响果实的风味和果皮厚度。

表 8 土壤、叶片氮含量与果实产量、品质的相关性
Table 8 Correlation between Nitrogen content in soil and leaves and fruit yield and quality (n=18)

成分 Parameters	可溶性固形物 TSS	可滴定酸 TA	固酸比 TSS/TA	维生素 C Vc	花色苷 Anthocyanin	果皮厚度 Pericarp thickness	产量 Yield
春梢叶氮含量 Nitrogen content in spring leaves	-0.257	0.358	-0.278	0.103	0.246	0.568*	0.394
秋梢叶氮含量 Nitrogen content in autumn leaves	-0.319	0.493*	-0.568*	0.137	0.149	0.520*	0.345
碱解氮含量 Available nitrogen content	-0.353	0.635**	-0.719**	0.264	-0.047	0.917**	-0.206

**1%水平显著相关 ** indicate significant correlation at 1% level

3 讨论

3.1 适量施氮促进塔罗科血橙树体新生部位干物质的积累

已有研究表明，施氮可以显著促进植物地上部的生长^[18]。据报道，甜橙树体树干和枝条的干物质重占总干物质的 55%左右，果实约占 13%，根系约占 32%^[19]。在柑橘中春梢生长量最大，同时也是树体重要的结果母枝和营养枝组，可为地上部提供大量的光合养分，而秋梢是翌年开花结果的基础，也具有重要地位。本研究中，N2 和 N3 处理促进了血橙新生枝梢的干物质质量积累，随着施氮量的进一步增加，干物质质量增加不明显。过多的氮素造成枝梢徒长，不利于树体花芽分化与开花结果，同时造成肥料的浪费。因此，

在满足血橙正常生长需要的情况下，N2 和 N3 处理相对能够节约更多的成本。这与卢晓鹏^[20]采用过量氮肥和氮胁迫对枳壳生长的研究结果类似。

3.2 适量施氮增加了塔罗科血橙当年生枝、叶、果等器官的养分吸收利用

柑橘当年新生器官的生长发育所需要的养分基本能够反应树体养分吸收情况，对指导科学合理施肥也有重要意义。柑橘中枝干和枝条中的氮约占树体总氮的 40%，根约占 20%，叶片约占 25%，果实约占 15%^[21]。植物吸收营养元素时，不同元素间存在相互拮抗和协同作用。在本试验中，随着施氮量增加，春梢和秋梢叶片吸氮量均呈增加趋势，且春梢叶片氮、磷、钾吸收量在 N3 水平均达到最大；枝条氮、磷、钾吸收量规律与叶片类似。由此说明，过量氮肥投入会抑制树

体对磷、钾的吸收,这与申玉香^[22]、赵丹等^[23]在其他作物上的研究规律一致。本试验中 N0 处理的秋梢枝条和叶片的磷、钾吸收量高于 N1、N2 处理,而 N3—N5 处理的磷、钾吸收与施氮量趋势一致,这可能是因为秋梢抽生的同时,果实也处于膨大生长阶段,此时期血橙树体对磷、钾的需求量相对大于氮,从而促使树体吸收更多的磷和钾。

柑橘除特殊情况需要修剪或每年只需少量修剪处理外,柑橘果实是树体养分携出的唯一器官,因此,通过“以果定肥”或“以果定氮”进行柑橘养分推荐施肥可望成为柑橘果树养分推荐施肥的重要依据^[24]。柑橘果实对不同养分的需求量不同,在生长前期,对氮、磷的吸收快速增加,到膨大期后增长缓慢,而钾的吸收迅速增加。通常情况下,果实各元素的吸收量占树体总吸收量的一大部分,对肥料中氮素的吸收也达到了 50%左右^[25],而在果树生长后期施用过多的氮素容易出现营养生长与果实生殖生长之间争夺养分问题,反而影响果实产量与品质的提升,过旺的营养生长易导致抽生晚秋梢难以老熟而使树体遭受冻害^[26]。也有研究显示,施氮能够增加果实中的氮含量及降低磷、钾吸收量^[27]。本试验结果显示,血橙果实氮含量随施氮量的增加而增加,磷含量虽然有下降趋势,但整体差异并不显著,钾含量对供氮量的增加反应比较敏感,在 N2 处理达到较大值,随后出现下降,这可能和元素间的拮抗作用有关。血橙果实氮、磷、钾带走量随着施氮量的增加均呈先增后降的趋势,以 N2 处理的氮、磷、钾带走量最高,过量施氮,其带走量显著降低。可见,过量氮肥投入既影响树体的生长,又不利于果实产量和品质的提高,还给土壤生态环境带来潜在风险。

3.3 合理施氮有利于塔罗科血橙果实生长发育与品质形成

柑橘果实品质的好坏直接影响其商品性的高低。温州蜜柑在施氮量 100—900 kg·hm⁻² 内,氮肥施用越多产量越高,伏令夏橙产量在施氮量 150—450 kg·hm⁻² 内与其呈显著正相关^[28]。本试验条件下,一定施氮范围内血橙果实产量、纵横径、单果重、TSS 含量、固酸比、Vc 以及花色苷含量与施氮量呈正相关;过量施氮后,各指标出现不同程度的下降,其中果实产量下降达显著水平。果皮厚度和 TA 含量随施氮量的增加而增加,高氮处理的果皮着色程度相对较差,这与 NAKHLLA 等^[29]和 OBREZA 等^[30]的研究结果一致。综合分析各指标曲线拟合结果可知,三峡重

庆库区塔罗科血橙年最适纯氮用量范围为 0.63—0.86 kg/株。

3.4 过量施氮带来了三峡重庆库区橘园土壤与水体环境污染的风险

早在 20 世纪 70 年代,BINGHAM 等^[31]研究发现加利福尼亚甜橙果园的年氮淋失量达到 67 kg·hm⁻²,而经后人研究提出柑橘园纯 N 投入一般在 150—300 kg·hm⁻² 较好^[32]。三峡重庆库区柑橘园早在 2010 年平均纯 N 投入就达到了 409.7 kg·hm⁻²,其中化学氮肥更是占到 94.4%^[12],橘园生产体系中过量的氮肥投入会直接影响土壤环境,加重土壤氮负荷,从而造成土壤氮素淋失加剧和水体富营养化,使三峡重庆库区成为硝酸盐污染高风险区^[33]。本试验结果显示,随着供氮水平增加,血橙园的土壤有机质含量显著降低,土壤碱解氮和有效磷含量升高,而速效钾含量在 N3 处理达到最大值后也显著降低。氮和磷的增加随着土壤淋溶作用会直接影响库区水体,增加水体富营养化的风险^[34-35]。通过不同土壤剖面层硝态氮含量检测结果发现,在高氮处理(N4 和 N5)下,40—60 cm 土层的硝态氮含量明显高于 0—20 cm 土层,进一步说明过量施氮是导致硝态氮向深层土壤移动的主要原因之一,由于硝态氮的易移动性以及重庆地区的集中性降雨量,橘园土壤中过多的硝态氮会随着降水产生的径流而大量损失^[36]。另外,表层土壤的铵态氮含量同样随着施氮量的增加而增加,而对于喜硝态氮的柑橘来说,以硝态氮为氮源的根系生长量明显大于铵态氮,且地上部的生长也表现同样的趋势^[37]。因此,适量施氮不仅可以降低库区氮污染风险,还能够增加表层土壤硝态氮含量,更有利于柑橘生长。

4 结论

与不施氮肥相比,施氮能够显著增加塔罗科血橙的枝梢干物质量、果实产量,树体对氮、磷、钾的吸收量也随之上升,土壤中的有效性养分也有所增加。随着氮肥的过量投入,果实产量和品质降低、枝梢抽发过旺,同时对土壤理化性质产生了不良影响,土壤有机质含量下降,有效钾含量的降低以及硝态氮的淋失作用增强。过量氮肥投入还会造成更多的养分流失,在污染环境的同时还破坏树体的养分平衡,导致果实发育后期梢、果对养分的争夺,推迟果实的发育成熟甚至由于抽生冬梢不老熟而易发生冻害。本研究表明,年纯氮用量在 0.63—0.86 kg/株较为适宜,N2 处理(0.69 kg/株)较其他处理提高血橙果实的品质,平均

增产达 44%，树体的养分吸收量和果实养分带走量达到较高水平，土壤养分状况稳定，有利于血橙优质丰产栽培。

References

- [1] 黄成能, 卢晓鹏, 李静, 肖玉明, 孙敏红, 谢深喜. 柑橘氮素营养生理研究进展. 湖南农业科学, 2013(15): 76-79.
HUANG C N, LU X P, LI J, XIAO Y M, SUN M H, XIE S X. Advances in nutrient and physiology of nitrogen in citrus. *Hunan Agricultural Sciences*, 2013(15): 76-79. (in Chinese)
- [2] 黄成能. 氮胁迫对柑橘营养生长及 GS/GOGAT 循环酶基因表达影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
HUANG C N. Effect of nitrogen stress on citrus vegetative growth and expression of enzyme genes in cycle of GS/GOGAT [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [3] NGUYEN H, SCHOENAU J J, VAN REES K, NGUYEN D, QIAN P. Long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of cassava influences soil chemical properties in North Vietnam. *Canadian Journal of Soil Science*, 2001, 81(4): 481-488.
- [4] 鲁剑巍, 陈防, 王运华, 刘东碧, 万运帆, 余常兵. 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, 2004, 10(4): 413-418.
LU J W, CHEN F, WANG Y H, LIU D B, WAN Y F, YU C B. Effect of N, P, K fertilization on young citrus tree growth, fruit yield and quality in area of red soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(4): 413-418. (in Chinese)
- [5] IWAKIRI T, NAKAHARA M. Nitrogen fertilization programs in Satsuma mandarin groves in Japan. *Proceedings of the International Society of Citriculture*, 1983(2): 571-574
- [6] 凌俐俐, 彭良志, 淳长品, 江才伦, 曹立. 赣南脐橙叶片营养状况对果实品质的影响. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 947-954.
LING L L, PENG L Z, CHUN C P, JIANG C L, CAO L. The relationship between leaf nutrients and fruit quality of navel orange in southern Jiangxi province of China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(4): 947-954. (in Chinese)
- [7] 杨生权. 土壤和叶片养分状况对柑橘产量和品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
YANG S Q. Studies on the influence of soil and leaf nutrient on citrus fruit's output and quality [D]. Chongqing: Southwest University, 2008. (in Chinese)
- [8] 李信五. 温州蜜柑 7 月施氮过量会诱发产生青浮皮果. 湖北农业科学, 1987(6): 12.
LI X W. The excessive application of nitrogen in Wenzhou mandarin orange in July will induce the production of green floating fruit. *Hubei Agricultural Sciences*, 1987(6): 12. (in Chinese)
- [9] ALVA A K, FARES A, DOU H. Managing citrus trees to optimize dry mass and nutrient partitioning. *Journal of plant nutrition*, 2003, 26(8): 1541-1559.
- [10] BYJU G, ANAND M H. Differential response of short- and long-duration cassava cultivars to applied mineral nitrogen. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2009, 172(4): 572-576.
- [11] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 622-627.
ZHAO Y, TONG Y A, ZHAO H B. Effects of different N rates on nutrients accumulation, transformation and yield of summer maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(5): 622-627. (in Chinese)
- [12] 周鑫斌, 温明霞, 王秀英, 樊晓翠, 孙彭寿, 石孝均, 李伟, 戴亨林. 三峡重庆库区柑橘园氮素平衡状况研究. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 88-94.
ZHOU X B, WEN M X, WANG X Y, FAN X C, SUN P T, SHI X J, LI W, DAI H L. Soil nitrogen balance in citrus orchards of the Three Gorges area in Chongqing. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1): 88-94. (in Chinese)
- [13] 刘相超, 祖波, 宋献方, 夏军, 唐常源, 张依章. 三峡库区梁滩河流域水化学与硝酸盐污染. 地理研究, 2010, 29(4): 629-639.
LIU X C, ZU B, SONG X F, XIA J, TANG C Y, ZHANG Y Z. Water chemistry and nitrate pollution in the Liangtan river basin in the Three Gorges reservoir area. *Geographical Research*, 2010, 29(4): 629-639. (in Chinese)
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 263-270.
BAO S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis: 3rd ed.* Beijing: China Agriculture Press, 2000: 263-270. (in Chinese)
- [15] 徐娟. 几个柑桔产区果实色泽评价及红肉脐橙(*Citrus sinensis* L.cv.Cara cara)果肉呈色机理初探[D]. 武汉: 华中农业大学, 2002.
XU J. Fruit color evaluation among citrus product areas and preliminary study on the mechanism of pigment accumulation in the flesh of Red flesh navel oranges (*Citrus sinensis* L.cv. Cara cara) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2002. (in Chinese)
- [16] 曹少谦, 潘思轶. 血橙花色苷研究进展. 食品科学, 2006, 27(9): 278-281.

- CAO S Q, PAN S Y. Review of anthocyanins from blood orange. *Food Science*, 2006, 27(9): 278-281. (in Chinese)
- [17] 位高生, 胡承孝, 谭启玲, 朱东煌, 李潇彬. 氮磷减量施肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响. *植物营养与肥科学报*, 2018, 24(2): 471-478.
- WEI G S, HU C X, TAN Q L, ZHU D H, LI X B. The effect of nitrogen and phosphorus fertilizer reduction on yield and quality of Guanxi pomelo. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2018, 24(2): 471-478 (in Chinese)
- [18] 姜琳琳, 韩立思, 韩晓日, 战秀梅, 左仁辉, 吴正超, 袁程. 氮素对玉米幼苗生长、根系形态及氮素吸收利用效率的影响. *植物营养与肥科学报*, 2011, 17(1): 247-253.
- JIANG L L, HAN L S, HAN X R, ZHAN X M, ZUO R H, WU Z C, YUAN C. Effects of nitrogen on growth, root morphological traits, nitrogen uptake and utilization efficiency of maize seedlings. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1): 247-253. (in Chinese)
- [19] 江秋菊, 周鑫斌, 石孝均, 周永祥. 甜橙氮素营养研究进展. *安徽农业科学*, 2013, 41(2): 575-577, 580.
- JIANG Q J, ZHOU X B, SHI X J, ZHOU Y X. Research progress on orange nitrogen nutrition. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(2): 575-577, 580. (in Chinese)
- [20] 卢晓鹏, 李静, 黄成能, 肖玉明, 谢深喜. 氮素胁迫对枳生长发育及其氨基酸含量的影响. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 39(6): 615-620.
- LU X P, LI J, HUANG C N, XIAO Y M, XIE S X. Effects of nitrogen stress on the development and amino acid content of trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.). *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2013, 39(6): 615-620. (in Chinese)
- [21] MARTÍNEZ-ALCÁNTARA B, QUIÑONES A, PRIMO-MILLO E, LEGAZ F. Nitrogen remobilization response to current supply in young citrus trees. *Plant and Soil*, 2011(342): 433-443.
- [22] 申玉香, 栾文婷. 氮素水平对小麦幼苗性状和营养元素含量的影响. *中国农学通报*, 2009, 25(24): 196-199.
- SHEN Y X, LUAN W T. Effect of different nitrogen levels on wheat seedling trait and nutrient content. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24): 196-199. (in Chinese)
- [23] 赵丹, 莫良玉, 刘铭, 周瑞阳. 氮胁迫对红麻生理生化特性及干茎产量的影响. *南方农业学报*, 2011, 42(6): 609-611.
- ZHAO D, MO L Y, LIU M, ZHOU R Y. Effect of nitrogen stress on physio-biochemical characteristics and dry stem yield of *Hibiscus cannabinus* L. *Journal of Southern Agriculture*, 2011, 42(6): 609-611. (in Chinese)
- [24] 李文涛, 杨江波, 余倩倩, 田旺海, 普金安, 陈磊, 邓烈, 何绍兰, 易时来. 柑橘施肥养分推荐方法研究进展. *安徽农业科学*, 2017, 45(28): 7-10.
- LI W T, YANG J B, YU Q Q, TIAN W H, PU J A, CHEN L, DENG L, HE S L, YI S L. Research progress on methods of nutrient recommendation for fertilization in citrus. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(28): 7-10. (in Chinese)
- [25] 李清南, 曹淑燕, 古咸杰, 熊博, 叶霜, 邱霞, 汪志辉. 两种施肥模式下柑橘树体氮素吸收与运转机制的研究. *浙江农业学报*, 2016, 28(1): 51-55.
- LI Q N, CAO S Y, GU X J, XIONG B, YE S, QIU X, WANG Z H. Study on nitrogen absorption and operation mechanism of citrus tree in two fertilization modes. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2016, 28(1): 51-55. (in Chinese)
- [26] 束怀瑞. 果树栽培生理学. 北京: 中国农业出版社, 1997: 304.
- SHU H R. *The Pomology Physiology*. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 304. (in Chinese)
- [27] PAPP J. Effect of nitrogen dressings to Jonathan apple trees in a long-term experiment. *International Journal of Horticultural Science*, 2000, 6(1): 128-130.
- [28] 廖炜, 李先信, 阳志慧, 卜范文. 氮磷肥对柑橘的影响研究进展. *湖南农业科学*, 2010(24): 34-35.
- LIAO W, LI X X, YANG Z H, BU F W. Research progress on the effects of nitrogen phosphate fertilizer on citrus. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010(24): 34-35. (in Chinese)
- [29] NAKHLLA, F G, ISMAIL A E, ABOUL H Z. Effect of some organic and inorganic nitrogen fertilizers on growth and productivity of Balady orange trees in relation to infection of citrus nematode *Tylenchulus semipenetrans*. *Pakistan Journal of Nematology*, 1998, 16(2): 111-126.
- [30] OBREZA T A, ROUSE R E, SHERROD J B. Economics of controlled-release fertilizer use on young citrus trees. *Journal of Production Agriculture*, 1999, 12(1): 69-73.
- [31] BINGHAM F T, DAVIS S, SHADE E. Water relations, salt balance, and nitrate leaching losses of a 960-acre citrus watershed. *Soil Science*, 1971, 112(6): 410-418.
- [32] ALVA A K, PARAMASIVAM S, OBREZA T A, SCHUMANN A W. Nitrogen best management practice for citrus trees: I. Fruit yield, quality, and leaf nutritional status. *Scientia Horticulturae*, 2006, 107(3): 233-244.

- [33] 朱波, 汪涛, 况福虹, 徐泰平, 唐家良, 武永峰. 紫色土坡耕地硝酸盐淋失特征. 环境科学学报, 2008, 28(3): 525-533.
- ZHU B, WANG T, KUANG F H, XU T P, TANG J L, WU Y F. Characteristics of nitrate leaching from hilly cropland of purple soil. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(3): 525-533. (in Chinese)
- [34] 白荣, 郎南军, 邵智. 不同土地类型氮磷的输出及富营养化风险分析. 水土保持学报, 2011, 25(6): 211-215.
- BAI R, LANG N J, SHAO Z. Analysis N, P output and eutrophication risk under the different land use types. *Journal of Soil and Water Conversation*, 2011, 25(6): 211-215. (in Chinese)
- [35] 王艳丽, 张冬梅, 李春阳. 农田氮磷流失对水体富营养化的影响及防治对策. 现代农业科技, 2012(3): 305.
- WANG Y L, ZHANG D M, LI C Y. Effects of N, P loss on eutrophication of water body and its control countermeasures in farmland. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2012(3): 305. (in Chinese)
- [36] 付玉芹, 雷玉平, 郑力, 耿清国. 不同施氮水平下深层土壤硝态氮淋失特征研究. 中国农学通报, 2006, 22(6): 245-248.
- FU Y Q, LEI Y P, ZHENG L, GENG Q G. Nitrate leaching characteristics in deep soil layer for different fertilization methods. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(6): 245-248. (in Chinese)
- [37] 樊卫国, 葛会敏. 不同形态及配比的氮肥对枳砧脐橙幼树生长及氮素吸收利用的影响. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2666-2675.
- FAN W G, GE H M. Effects of nitrogen fertilizer of different forms and ratios on the growth, nitrogen absorption and utilization of young Navel orange trees grafted on *Poncirus Trifoliata*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(13): 2666-2675. (in Chinese)

(责任编辑 赵伶俐)