

DOI:10.12403/j.1001-1498.20230237

有机-无机肥配施对新疆核桃园土壤和叶片养分的影响

王 祺¹, 周荣飞², 李宝鑫¹, 张俊佩¹, 张 强³, 裴 东¹, 白永超^{1*}

(1. 林木遗传育种国家重点实验室, 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;

2. 喀什地区林果产业工作站, 新疆 喀什 844000; 3. 新疆林业科学院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: [目的] 研究有机-无机肥配施对核桃园土壤和叶片养分的影响, 筛选影响叶片养分的主要土壤化学因子, 为新疆核桃园土壤养分资源高效管理提供科学依据。[方法] 以新疆喀什地区叶城县核桃主栽区的 10 年生‘温 185’核桃为研究对象, 采用单因素完全随机区组设计, 以当地主要的化肥施用类型 (磷酸氢二铵和硫酸钾, YD) 为对照, 探究有机-无机肥配施 (矿源黄腐酸钾和中量元素水溶肥, YZ) 对核桃园土壤化学特性和叶片矿质元素的影响。[结果] 与 YD 施肥措施相比, YZ 处理显著降低了土壤 pH、盐离子含量, 提高了叶片矿质元素含量, 但具有季节性差异。其中, 5 月, YZ 处理显著提高了土壤 NO_3^- -N (460.22%)、AK (46.46%) 和叶片 N (12.16%)、K (17.46%)、Zn (21.88%) 元素含量; 7 月, YZ 处理显著降低了土壤 pH (2.21%)、EC (27.25%)、 Cl^- -S (23.37%)、 NH_4^+ -N (61.09%)、AP (30.03%)、 Na^+ (13.24%) 和叶片 Cl^- -L (15.94%) 元素含量 ($p < 0.05$), 相反, 显著提高了叶片 N (4.16%)、P (13.25%)、Ca (20.73%)、Mg (44.04%)、Na (66.67%)、Fe (24.62%)、Mn (52.47%)、B (31.85%) 元素含量 ($p < 0.05$); 9 月, YZ 处理显著降低了土壤 EC (20.45%)、 NH_4^+ -N (37.31%)、AP (21.74%)、 Na^+ (11.36%) 含量 ($p < 0.05$), 相反, 显著提高了 OM (22.17%)、 NO_3^- -N (59.09%)、AK (56.47%) 含量 ($p < 0.05$)。线性回归分析结果表明, 土壤 pH、 Na^+ 和 Cl^- -S 是新疆核桃园中影响核桃叶片矿质元素含量的重要土壤化学因子, 增施有机肥并且降低土壤 pH, 有利于叶片 N、P、K、Na、Fe、Zn 元素的积累。[结论] YD 处理提高了土壤 EC、 Na^+ 、 Cl^- -S、 NH_4^+ -N 等盐离子含量, 长期施用可能会加剧新疆核桃园的土壤盐渍化水平; YZ 处理可显著降低土壤 pH、 Na^+ 、EC、 NH_4^+ -N 等盐离子含量, 提高了叶片 N、P、K、Fe 等矿质元素含量, 建议在新疆核桃主栽区核桃园, 7 月之前可通过有机-无机肥配施降低土壤盐渍化水平来减轻盐碱危害, 同时平衡叶片矿质元素含量, 而应尽量避免长期单一施用化肥。

关键词: 核桃园; 有机-无机肥配施; 土壤化学特性; 叶片矿质营养; 盐碱地

中图分类号: S714.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2024)02-0178-11

核桃 (*Juglans regia* L.) 为胡桃科 (*Juglandaceae*) 核桃属 (*Juglans* L.) 多年生落叶经济林木, 是我国重要木本油料树种之一, 被誉为“四大坚果”之首^[1]。当前, 我国大部分核桃产区规模扩张结束、面积趋于稳定, 产业发展势头良好。然而, 随着人们对核桃高营养价值的青睐以及

我国粮油结构性短缺问题的严峻, 在我国主栽区种植扩张面积趋于稳定的形势下^[2], 化学肥料因具有提高单位面积产量的功能而成为了农林业生产中最基础且最重要的物质投入^[3]。基于此, 种植户常以“大水大肥”的管理模式来提高产量, 对土地、水资源进行长期的掠夺性经营^[4], 这样不仅忽视了土壤

收稿日期: 2023-06-03 修回日期: 2024-01-16

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFD1000102); 新疆维吾尔自治区“揭榜挂帅”项目; 国家重点研发计划 (2022YFD2200402)

* 通讯作者: 白永超, 博士, 助理研究员, 主要研究方向: 特色经济林逆境生物学, E-mail: baiyuchao@163.com

养分状况和树体自身的营养规律, 亦没有考虑树体与土壤养分之间的平衡关系, 致使施用的化肥仅有 10%~40% 可被植物吸收利用, 残留的大部分化肥加剧了土壤盐渍化水平, 植物所需营养元素严重失衡, 对土壤环境和果实品质造成严重的负面影响^[5-8], 极大地限制了我国农林业的可持续健康发展。然而, 有机肥作为补充或替代化肥的一种高有机质含量肥料, 对土壤结构改善、土壤团粒形成、土壤肥力保持和有益土壤微生物丰度具有积极的促进作用。但是, 由于有机肥的速效养分含量、养分释放率普遍低于化肥, 短期内见效慢, 加之有机肥施用费时耗力, 使得有机肥施用量大幅减少^[9]。因此, 本研究拟开展有机-无机肥配施, 并探究其对核桃园土壤养分资源高效管理和树体健康的影响。

近年来, 有机-无机肥配施被广泛用于探究其对改善土壤酶活性、根系分泌物、根际微生物群落组成结构及其功能特性的影响^[10-11]。张倩^[12]等研究表明, ‘香玲’核桃园中化肥、有机肥和生物有机肥混合配施可显著改善土壤肥力, 提高核桃产量及改善坚果品质; 杜天宇^[13]等研究结果表明, 核桃园中化肥、有机肥和生物有机肥配施能增加土壤有机质、提高土壤肥力和核桃产量, 改善坚果品质; Stamatiadis 等^[14]研究认为, 施用有机肥可有效调节土壤酸碱环境, 改善植物根系微环境的水、肥、气、热及土壤结构等条件。矿源黄腐酸钾作为一种新兴的腐殖酸有机肥, 富含大量腐殖酸、黄腐酸钾、有机质等有机组分, 既能调控土壤酸碱度、提高土壤肥力^[15], 又能作为调节剂增强植物抗性、促进植物生长^[16]。同时, 矿源黄腐酸钾与大中微量元素混合施用, 既可沟施也可冲施, 可降低人工成本。张亚飞等^[17]研究表明, 黄腐酸钾与化肥控释可提高氮肥利用率, 提高根系活力; 庄振东^[18]研究结果表明, 腐植酸氮肥可减少土壤氮素淋溶损失, 提高作物氮素利用率; 此外, 黄腐酸有机肥还可缓解盐碱胁迫下刺槐生理干旱^[19], 提高平邑甜茶和八棱海棠的耐盐性^[20]。上述研究为核桃园合理施肥提供了参考。然而, 新疆核桃主要分布在干旱和半干旱地区, 土壤类型以砂土为主, 常年气候干旱、降水稀少、蒸发量大, 是典型的灌溉农业区与盐渍化严重发生区^[21]。当前, 新疆核桃主栽区以单施化肥、少施或不施有机肥的土肥管理措施为主,

致使核桃园盐渍化不断加重, 盐离子不断增加, 土壤有机质严重匮乏, 植物所需的营养元素严重失衡^[22-23], 植物逆境胁迫程度加剧, 生长发育受阻, 核桃焦叶症现象呈现逐年扩张且加重的趋势^[24-25]。土壤理化指标与叶片矿质元素含量丰缺状况作为核桃园科学施肥的重要依据, 针对南疆核桃主栽区有机-无机肥配施对核桃园的土壤化学特性和叶片矿质元素的影响研究鲜见报道。因此, 明确有机-无机肥配施对土壤化学特性与叶片矿质元素的影响及其相关性对指导新疆核桃合理施肥和树体健康生长具有重要的理论意义。

本研究以新疆主栽品种 10 年生‘温 185’核桃为试材, 在喀什地区叶城县核桃主栽区选取树势基本一致的核桃园进行有机-无机肥配施, 分析有机-无机肥配施对土壤化学特性和叶片矿质元素的变化, 筛选影响叶片养分的关键土壤化学因子, 将为新疆核桃园土壤改良、合理施肥、叶片养分平衡等高效养分资源和树体健康管理提供理论基础和指导方案。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区位于新疆喀什地区叶城县洛克乡 (37°53'39" N, 77°37'57" E), 海拔 1 360 m, 紧连塔克拉玛干大沙漠, 属于暖温带大陆性干旱气候, 年均气温在 12.0 °C 以下, 年均降雨量约 50.0 mm, 年均无霜期约 235 d, 土壤为砂质土壤, 地势平坦, 无防护林带干扰 (图 1)。

1.2 供试材料与试验设计

供试植物材料为 10 年生‘温 185’核桃树, 长势均一, 树势中庸, 树高 (6.0 ± 0.5) m、地径 (10.4 ± 0.7) cm、东西冠幅 (3.9 ± 0.6) m、南北冠幅 (4.4 ± 0.5) m, 树形为小冠疏散分层形, 东西向栽植, 株行距 5 × 7 m, 灌溉方式以大水漫灌为主。在研究区以放射状施肥方式进行 2 个施肥处理 YZ 和 YD, 其中, YZ 是有机-无机肥处理, YD 措施是当地主要的化肥施用类型。YZ 为矿源黄腐酸钾 (黄腐酸钾 ≥ 33%、腐殖酸 ≥ 35%、有机质 ≥ 60%、N ≥ 10%、P₂O₅ + K₂O ≥ 8%) 和中量元素水溶肥 (Ca + Mg ≥ 10%, EDTA-Zn ≥ 0.1%, EDTA-Fe ≥ 0.02%, B ≥ 0.05%), YD 为磷酸氢二铵 (N + P₂O₅ ≥ 64%) 和硫酸钾 (K₂O ≥



图 1 研究区分布位置

Fig. 1 Study area distribution location

52%, $Cl^- \leq 1.5\%$, $S \geq 17\%$), 每种施肥处理间设置防水畦, 防止两个处理间发生灌溉水交换。每种处理设置 5 亩试验地, 3 次施肥位置示意图如

图 2 所示。施肥时通过 4 条放射状沟施 (长、宽、深分别为 100 cm、50 cm、30 cm), 施肥时间见表 1。

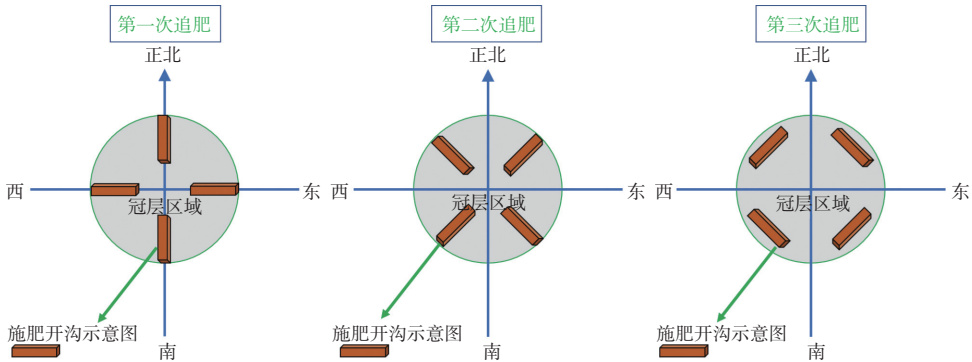


图 2 3 次放射状施肥区域示意图

Fig. 2 three diagrams of radial fertilization areas

表 1 3 次施肥时间及每棵树的施肥量

Table 1 Time and amount of three rounds of fertilization

	YZ			YD		
	有机物料 (棉籽粕经堆沤腐熟) /kg	矿源黄腐 酸钾/g	中量元素 水溶肥/g	有机物料 (棉籽粕经堆沤腐熟) /kg	磷酸氢 二铵/g	硫酸钾/ g
第1次施肥(休眠期至树液流动期, 3月中旬前)	6	800	200	6	600	400
第2次施肥(坐果期, 5月下旬前)	—	400	100	—	300	200
第三次施肥(果实膨大期, 7月上旬前)	—	400	100	—	300	200

1.3 样品采集

分别在第 1 次、第 2 次、第 3 次施肥前及核桃成熟采收前采集土壤和叶片样品。按照“S”型取样方式在试验区选取 5 个点 (每个点随机选取 3 棵树, 每棵树采集 4 个方位混合为一个样本) 进行根系集中分布层土壤样品采集 ($N=5$), 在采集土壤对应的树体上随机采集 4 个方位的当年生营养枝上的成熟复叶 (每个点随机选取 3 棵树, 每棵树采集 4 个方位混合为一个样本, $N=5$), 采集土壤

样品时避开施肥区域。将采集的叶片一部分经干冰运输至实验室储存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱用于叶片 Cl^-L 的测定, 其余叶片经 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温烘干、粉碎、过筛后, 用于叶片矿质元素含量分析^[26]; 将采集的土壤带回实验室后除去根系、砾石等杂质后, 一部分保存在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中用于分析铵态氮和硝态氮, 另一部分经自然晾干、分级过筛后用于土壤化学特性分析。

1.4 测定指标及方法

土壤铵态氮和硝态氮采用紫外分光光度法测

定; 土壤有效磷、钾采用 Mehlich (M3) 浸提剂浸提后, 有效磷采用紫外分光光度法测定, 有效钾采用原子吸收分光光度计测定, 钠离子 (Na^+) 采用 $\text{NH}_4\text{OAc}-\text{NH}_4\text{OH}$ 火焰光度法^[27]。土壤有机质 (OM)、pH、电导率 (EC)、土壤氯离子 (Cl^- -S) 和叶片 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、B、Na 元素的测定参照《土壤农化分析》并使用电感耦合等离子光谱仪测定^[27-28], 叶片氯离子 Cl^- -L 含量测定采用离子色谱法。

1.5 数据分析

采用 Excel 2019、SPSS 19.0 和 Origin 9.1 软件进行数据处理与统计学分析, 采用单因素方差分析 ($p < 0.05$), Duncan 法进行多重比较。

应用典型相关分析方法, 探究叶片矿质元素 (氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、钠 (Na)、铁 (Fe)、锰 (Mn)、锌 (Zn)、硼 (B)、叶片氯离子 (Cl^- -L)) 和土壤化学因子 (pH、电导率 (EC)、有机质 (OM)、土壤氯离子 (Cl^- -S)、硝态氮 (NO_3^- -N)、铵态氮 (NH_4^+ -N)、有效磷 (AP)、速效钾 (AK)、钠离子 (Na^+)) 中各指标之间及叶片 (氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、钠 (Na)、氯离子 (Cl^- -L)、铁 (Fe)、锰 (Mn)、锌 (Zn)、硼 (B)) 与土壤之间的相关性; 应用多元线性回归分析方法筛选影响叶片矿质元素的主要土壤化学因子, 以土壤 pH (x_1)、EC (x_2)、OM (x_3)、 Cl^- -L (x_4)、 NO_3^- -N (x_5)、 NH_4^+ -N (x_6)、AP (x_7)、AK (x_8)、 Na^+ (x_9) 为一个总体, 核桃叶片矿质元素 N (y_1)、P (y_2)、K (y_3)、Ca (y_4)、Mg (y_5)、Na (y_6)、 Cl^- -L (y_7)、Fe (y_8)、Mn (y_9)、Zn (y_{10})、B (y_{11}) 为另一个总体, 建立多元线性回归方程, 通过 F 检验, 土壤化学因子中呈显著水平的指标被确定为影响核桃叶片矿质元素含量的重要土壤因子。同时对所建立的线性回归方程进行显著性检验, 当 F 值呈显著 ($p < 0.05$) 或极显著 ($p < 0.01$) 水平说明建立的回归方程可靠。

2 结果与分析

2.1 有机-无机肥配施对桃园土壤化学特性的影响

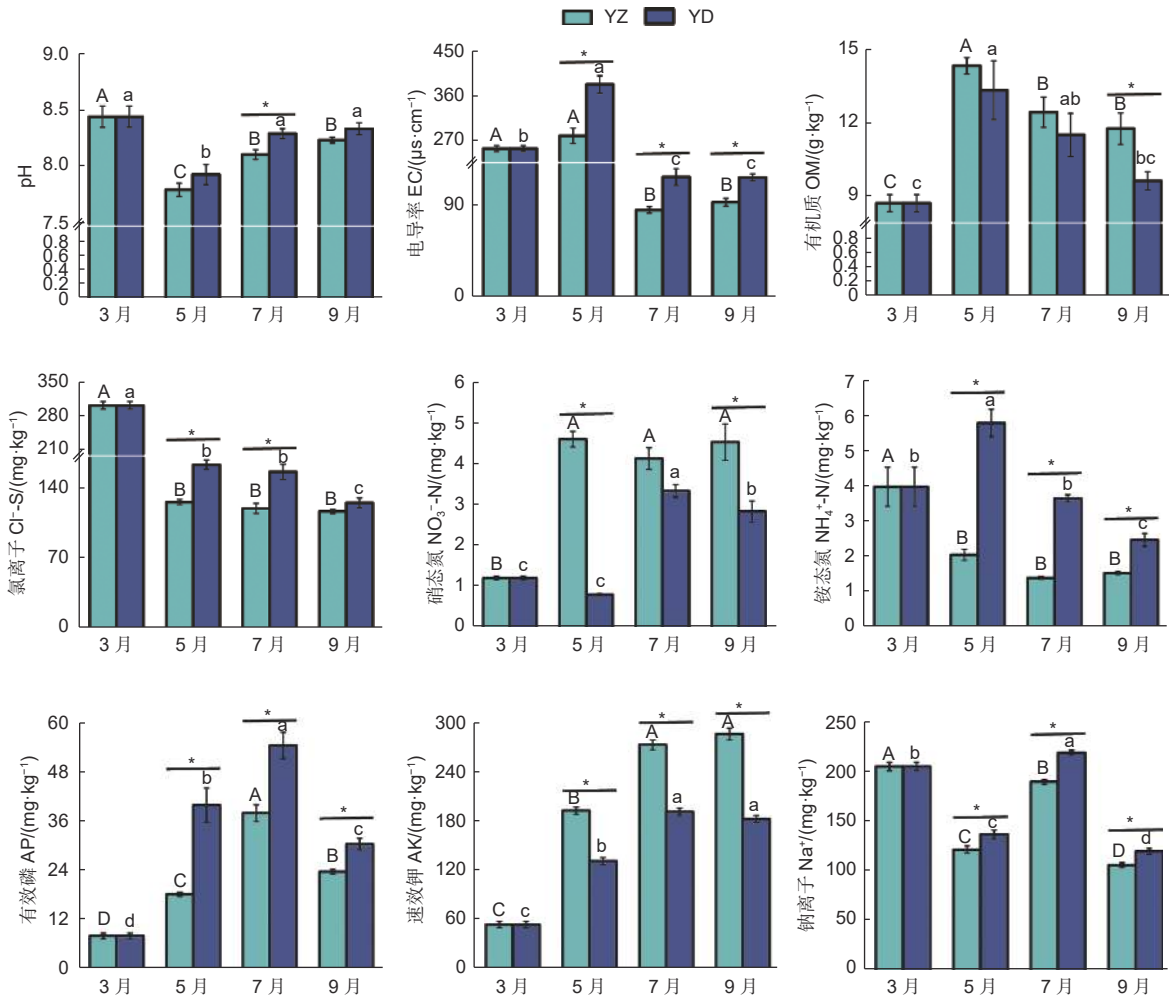
2.1.1 有机-无机肥配施对桃园土壤化学特性的影响 有机-无机肥配施对桃园土壤化学特性影

响的分析结果显示 (图 3), 在 5 月, YZ 处理中土壤 NO_3^- -N 和 AK 含量显著高于 YD 处理 (分别高出 460.22%、46.46%, $p < 0.05$, 下同), 相反, 土壤 EC、 Cl^- -S、 NH_4^+ -N、AP、 Na^+ 含量显著低于 YD 处理 (27.02%、22.86%、64.19%、53.82%、11.12%, $p < 0.05$); 在 7 月, YZ 处理中土壤 AK 含量显著高于 YD 处理 (42.35%, $p < 0.05$), 而土壤 pH、EC、 Cl^- -S、 NH_4^+ -N、AP、 Na^+ 含量则显著低于 YD 处理 (2.21%、27.25%、23.37%、61.09%、30.03%、13.24%, $p < 0.05$); 在 9 月, YZ 处理中土壤 OM、 NO_3^- -N、AK 含量显著高于 YD 处理 (22.17%、59.09%、56.47%, $p < 0.05$), 而土壤 EC、 NH_4^+ -N、AP、 Na^+ 含量显著低于 YD 处理 (20.45%、37.31%、21.74%、11.36%, $p < 0.05$)。综上, 有机-无机肥配施 (YZ) 可显著降低桃园土壤 pH、 Cl^- -S、 Na^+ 等因子含量, 提高土壤 NO_3^- -N、OM、AK 等有效养分含量, 由此说明 YZ 处理可有效降低桃园次生盐渍化水平。

2.1.2 土壤化学因子间的相关性分析 土壤化学特性是决定土壤肥力的重要组成部分, 研究土壤化学因子间的相互关系, 可为桃园配方或精准施肥技术提供依据。桃园土壤化学因子间的相关性分析结果如图 4 所示, 土壤 pH 与 OM, 土壤 EC 与 AK, 土壤 Cl^- -S 与 NO_3^- -N、AK, 土壤 NO_3^- -N 与 NH_4^+ -N, 土壤 NH_4^+ -N 与 AK 均呈显著或极显著负相关; 土壤 Cl^- -S 与 NH_4^+ -N、AP, 土壤 NO_3^- -N 与 AK, 土壤 NH_4^+ -N 与 AP, 土壤 AP 与 Na^+ 均呈显著或极显著正相关, 其他因子间的相关性较弱。由此可知, 土壤化学因子的各指标之间可能存在协同或拮抗, 在桃园中开展配方或精准施肥时应考虑土壤化学因子间的相互作用。

2.2 有机-无机肥配施对桃园叶片矿质元素含量的影响

叶片矿质元素含量丰缺状况可间接反映植株生长发育和果实品质的优良程度, 有机-无机肥配施对核桃叶片矿质元素含量影响的分析结果如图 5 所示。从 5 月—9 月, 在 YZ 处理下, 叶片中 N (2.90%~3.32%)、K (1.76%~2.29%)、Na (0.01%~0.06%)、Fe (345.33~622.67 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、Zn (7.72~12.70 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 元素含量均呈下降趋势, Cl^- -L (0.46%~0.88%)、Ca



注：不同大写字母表示 YZ 施肥处理下不同月份间存在显著差异 ($p < 0.05$)；不同小写字母表示 YD 施肥处理下不同月份间存在显著差异 ($p < 0.05$)；*表示同一时间 YZ 和 YD 处理间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。下同

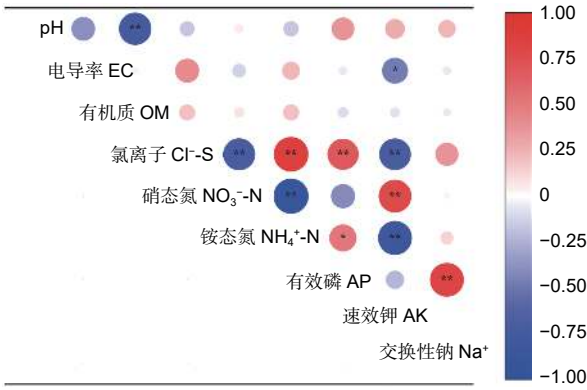
Notes: Different uppercase letters indicate significant differences among different months under YZ fertilization treatments ($p < 0.05$). Different lowercase letters indicate significant differences among different months under YD fertilization treatments ($p < 0.05$). * Indicates a significant difference between YZ and YD treatments at the same time ($p < 0.05$). The same below

图 3 不同施肥处理下土壤化学特性的年变化

Fig. 3 Annual changes of soil chemical factors under different fertilization treatments

(2.45%~3.28%)、Mn (152.00~280.67 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 元素含量均呈上升趋势, P (0.21%~0.28%)、B (98.60~187.67 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 元素含量均呈先上升后下降的趋势, 7月时达最高值; 在 YD 处理下, 叶片中 N (2.75%~2.96%)、P (0.20%~0.25%)、K (1.24%~1.95%)、Na (0.01%~0.04%)、Fe (337.67~548.10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、Mn (97.43~128.33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、Zn (7.01~11.23 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 元素含量均呈下降趋势, Ca (2.12%~3.07%) 元素含量呈上升趋势, Cl⁻-L (0.55%~0.86%)、Mg (0.55%~0.75%)、B (112.33~142.33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 元素含量呈波动趋势, 其中,

Cl⁻-L (0.55%)、Mg (0.55%) 元素含量在 7 月时最低, 而 B (142.33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 元素含量在 7 月达到最高值。YZ 与 YD 处理相比, 在 5 月, YZ 施肥处理下的叶片 N、K、Zn 元素含量均显著高于 YD (分别高出 12.16%、17.46%、21.88%, $p < 0.05$, 下同), 相反, Cl⁻-L 含量则显著低于 YD (28.20%, $p < 0.05$); 在 7 月, YZ 施肥处理下的叶片 N、P、Ca、Mg、Na、Fe、Mn、B 元素含量均显著高于 YD (4.16%、13.25%、20.73%、44.04%、66.67%、24.62%、52.47%、31.85%, $p < 0.05$), 相反, Cl⁻-L 含量则显著低于 YD (15.94%, $p < 0.05$); 在 9 月, YZ 施肥处理下的



注: *表示 $p < 0.05$ 显著水平; **表示 $p < 0.01$ 显著水平。下同

Notes: * stands for $p < 0.05$ significantly level; ** stands for $p < 0.01$ significantly level. The same below

图 4 核桃园土壤化学因子间的相关性

Fig. 4 Correlation coefficients between soil chemical factors in walnut orchards

叶片 K、Na、Mn 元素含量均显著高于 YD (42.28%、75.00%、188.06%, $p < 0.05$)。整体而言, YZ 比 YD 处理具有更丰富的叶片矿质元素含量 (Cl-L 除外), 由此推测 YZ 处理下的叶片矿质元素含量水平更均衡。

2.3 影响叶片矿质元素的主要土壤化学因子筛选

2.3.1 核桃叶片矿质元素与土壤化学因子间的相关性分析 土壤养分是核桃树生长发育中必需矿质元素的主要来源, 研究土壤化学因子与叶片矿质元素之间的相关性, 可以更好地了解施肥对核桃叶片矿质元素的影响。土壤化学因子与叶片矿质元素之间的相关性分析结果如图 6 所示, 叶片 N、K、Na、Fe、Zn 与土壤 pH, 叶片 B 与土壤 EC, 叶片 Cl-L 与土壤 OM, 叶片 Ca、Mg、Mn 与土壤

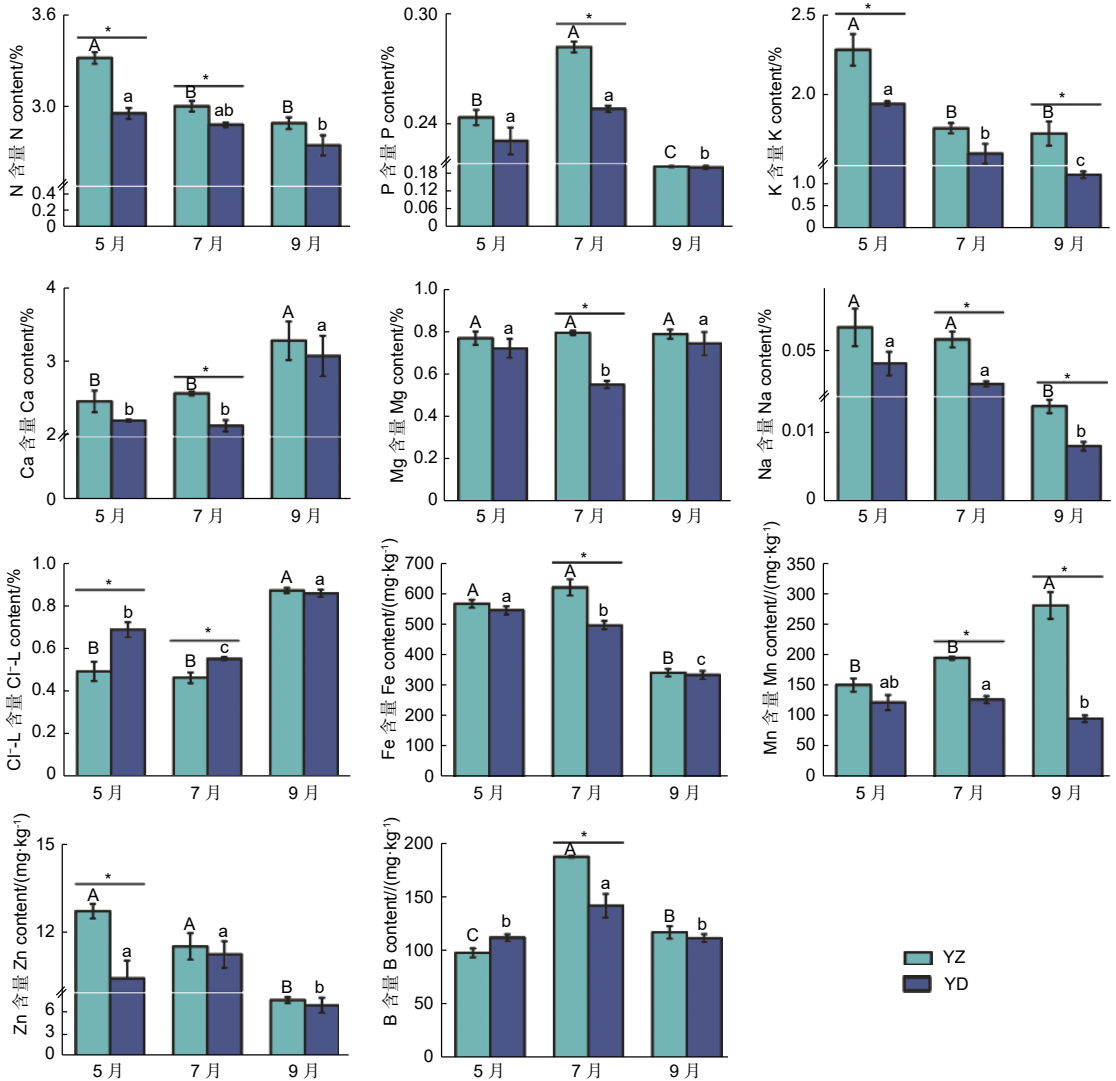


图 5 不同施肥处理下叶片矿质元素含量的年变化

Fig. 5 Annual changes of leaf mineral element content under different fertilization treatments

Cl⁻-S, 叶片 Ca、Mn 与 NH₄⁺-N, 叶片 Ca、Mg 与土壤 AP, 叶片 Ca、Mg、Cl⁻-L 与土壤 Na⁺均呈显著或极显著负相关; 反之, 叶片 Cl⁻-L 与土壤 pH, 叶片 K 与土壤 EC, 叶片 N、K、Na、Fe、Zn 与土壤 OM, 叶片 Mn 与土壤 NO₃⁻-N, 叶片 B 与土壤 AP, 叶片 Ca、Mn、B 与土壤 AK, 叶片 P、Fe、Zn、B 与土壤 Na⁺均呈显著或极显著正相关。然而, 核桃叶片中的其他元素与土壤化学因子间的关系较为复杂, 为进一步明确土壤化学因子与核桃叶片矿质元素间的相互关系, 需借助多元统计分析方法研究其相关性。

2.3.2 核桃叶片矿质元素与土壤化学因子间的多元线性回归分析 通过建立回归方程并对其进行显著性检验, 方程均达到显著差异水平, 说明建立的回归方程可靠。由表 2 可知, 土壤 pH、Na⁺和 Cl⁻-S 是影响核桃叶片矿质元素含量的重要土壤化学因子。其中, 土壤 pH 显著影响叶片中 N、P、K、Na、Fe、Zn 含量 ($p < 0.05$), 降低土壤 pH 有利

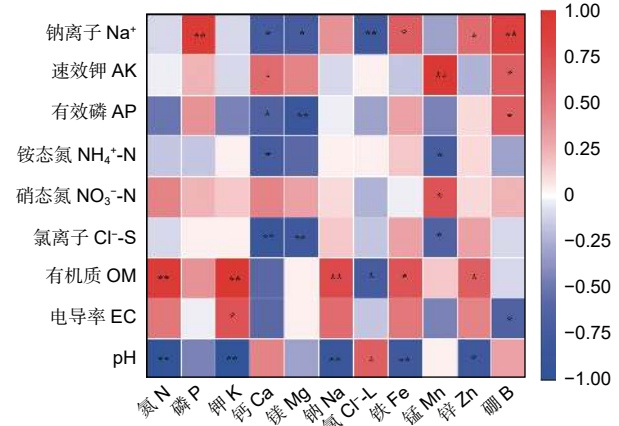


图 6 核桃果园土壤理化因子与叶片矿质元素相关性分析
Fig. 6 Correlation coefficients between soil physicochemical factors and leaf mineral elements in walnut orchards

于叶片 N、P、K、Na、Fe、Zn 元素的积累; 叶片 Fe、Zn、B 含量受到土壤 Na⁺的显著影响 ($p < 0.05$), 并且随土壤 Na⁺含量的增加而升高; 降低土壤 Cl⁻-S 含量可能促进叶片 Ca 元素的积累。

表 2 影响核桃叶片矿质元素含量的土壤化学因子筛选及回归方程建立

Table 2 Screening of soil chemical factors affecting mineral element content in walnut leaves and establishment of regression equation

叶片矿质元素 Leaf mineral elements	土壤化学因子 Soil chemical factors	回归方程 Regression equation	F值 F-value
Y ₁	X ₁ , X ₅	y ₁ =8.312-0.680x ₁ +0.052x ₅	19.154***
Y ₂	X ₁ , X ₄ , X ₉	y ₂ =0.892-0.083x ₁ -0.001x ₄ +0.001x ₉	56.304***
Y ₃	X ₁	y ₃ =11.951-1.253x ₁	28.039***
Y ₄	X ₄	y ₄ =4.892-0.017x ₄	13.120**
Y ₅	X ₇	y ₅ =0.911-0.005x ₇	12.807**
Y ₆	X ₁	y ₆ =0.611-0.075x ₁	13.734***
Y ₇	X ₁ , X ₄ , X ₉	y ₇ =-4.095+0.608x ₁ +0.003x ₄ -0.004x ₉	44.110***
Y ₈	X ₁ , X ₉	y ₈ =3530.364-407.968x ₁ +1.800x ₉	31.256***
Y ₉	X ₂ , X ₈	y ₉ =-183.766+0.298x ₂ +1.396x ₈	24.890***
Y ₁₀	X ₁ , X ₉	y ₁₀ =67.485-7.694x ₁ +0.034x ₉	19.838***
Y ₁₁	X ₅ , X ₈ , X ₉	y ₁₁ =-11.500-10.386x ₅ +0.480x ₈ +0.499x ₉	20.942***

注/Notes: x₁: pH; x₂: EC; x₃: OM; x₄: Cl⁻-S; x₅: NO₃⁻-N; x₆: NH₄⁺-N; x₇: AP; x₈: AK; x₉: Na⁺; y₁: N; y₂: P; y₃: K; y₄: Ca; y₅: Mg; y₆: Na; y₇: Cl⁻-L; y₈: Fe; y₉: Mn; y₁₀: Zn; y₁₁: B

3 讨论

3.1 有机-无机肥配施对核桃园土壤化学特性的影响

与第二次全国土壤养分分级标准相比^[29], 试验区的土壤在施肥前 pH、EC、Cl⁻-S 和 Na⁺含量普

遍偏高 (图 3, 3 月), 属于中度盐碱土, 而土壤 OM 和碱解 N (NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N) 含量则偏低, 分别处于 5 级和 6 级, 属于缺乏状态, 由此可知, 本研究区域的核桃园土壤肥力低, 有效养分不足, 盐碱化较严重, 可能引起植物出现盐碱危害现象^[30], 在该区域进行合理的土壤养分资源管理对核

桃健康生长发育非常必要。本研究结果表明, 有机-无机肥配施可显著改善核桃园的土壤化学特性(图3), 提高叶片矿质元素含量水平(图5)。根据前人的研究结果, 施用有机肥可以显著提高土壤有机质含量^[30-32], 在本试验中, 春季施用腐熟油渣后, YZ和YD处理(5月)的有机质含量相比施肥前(3月)分别提高了64.39%和52.92%, 说明腐熟油渣可作为有机肥替代农家肥施用提高土壤有机质含量, 降低施肥成本, 具有较好的应用潜力。然而, 在植物生长季, YZ和YD处理对土壤化学特性的影响各异, YZ处理可显著提高核桃园土壤N、P、K等有效养分, 而YD处理提高了EC、pH、Na⁺、Cl⁻-S、NH₄⁺-N等可能加剧土壤次生盐渍化致使核桃树发生盐害现象的盐碱因子的含量, 两种施肥处理产生的差异可能是由于YZ和YD中的主成分和元素间的相互作用所致(图4)。对于YZ处理显著提高土壤肥力的现象, 推测可能是因为YZ中的矿源黄腐酸钾含有丰富的腐殖酸、黄腐酸钾、有机质等有机组分, 可改善土壤微生物群落结构及其功能特性和土壤酶活性^[15,33], 富集根际硝化细菌群落^[34]或是降低土壤盐碱化程度而促进了硝化作用^[35], 从而提高了土壤中的NO₃⁻-N含量, 也可能是由于黄腐酸钾具有较强的螯合能力和腐熟油渣缓慢的氮素释放速率, 改善了土壤团聚体和阳离子交换能力, 增强了对N素的固持作用, 减少了NO₃⁻-N的淋溶。此外, YZ处理中的矿源黄腐酸钾中含有丰富的K₂O, 可能对盐碱土壤中的Na⁺毒害有一定的缓解作用^[36]。更重要的是YZ处理显著降低了Cl⁻-S、Na⁺等土壤盐离子和土壤pH(5月), 这与前人研究含黄腐酸钾的肥料可减轻盐碱对植物根系胁迫的研究结果一致^[37]; 在7月, YZ处理中土壤pH、EC、Cl⁻-S、NH₄⁺-N、AP、Na⁺因子含量分别比YD处理低2.21%、27.25%、23.37%、61.09%、30.03%、13.24%(图3, $p < 0.05$), 并且这些盐离子含量处于核桃树可耐受的最大范围内^[38], 说明有机-无机肥配施可显著降低土壤盐离子含量, 推测YZ措施的应用将对新疆盐碱地核桃园土壤改善具有较好的促进作用, 但在不同季节间表现出不同的效果, 建议在7月前进行2次有机-无机肥配施。

3.2 有机-无机肥配施对核桃叶片矿质元素含量的影响

土壤养分亏缺或过量对果树生长发育或产量形成均有负面影响, 合适的土壤肥力水平是植物健康

生长的基础, 是经济林木稳产、高产与产品优质的重要前提。对于多年生经济林木而言, 童期至初果期阶段, 土壤肥力是树体长势、冠幅形成及枝干增粗拉长等营养生长期重要的果园影响因子, 进入盛果期后, 矿质元素的丰缺与平衡是影响产量形成和品质提高的重要因子。本研究结果表明, 有机-无机肥配施显著改善了核桃叶片矿质元素含量水平, 尤其YZ处理, 显著提高了5月至7月期间的叶片N、K、Zn等元素含量, 而叶片中的Cl⁻-L含量显著低于YD处理, 这可能是因为YZ处理中土壤NO₃⁻-N、AK含量显著高于YD处理, 其土壤养分易被核桃根系吸收利用。同时, YZ处理中土壤EC、Cl⁻-S等盐离子显著低于YD处理, 减轻了盐性离子对其他矿质离子吸收的影响(图3), 因此, YZ处理中叶片矿质元素含量相对YD处理较高。氯作为植物必需生长元素之一, 约0.1%即可满足植物正常生长发育需要^[39], 前人^[38]研究表明, 在美国加州地区核桃叶片中, Cl⁻-L含量超过0.3%时, 核桃树体会出现氯毒害现象, 然而, 本研究中YZ和YD处理下的叶片Cl⁻-L含量均高于0.3%, 但均未出现氯毒害现象, 这可能是因为对Cl⁻-L耐受强度的差异可能与品种、树龄、环境等因素有关^[40]。但是, 在新疆半干旱沙漠地区, 盐碱化较严重, 合理的水肥管理措施降低叶片Cl⁻-L含量对树体的正常生长发育极其重要^[41], YZ措施显著提高了土壤NO₃⁻-N含量, 可能抑制根系对Cl⁻-S的吸收^[42]。进一步研究发现(表2), 根系分布层土壤养分显著影响核桃叶片N、P、K、Fe、Zn元素和Cl⁻-L含量, 但叶片中多数元素与对应的土壤化学因子间无显著相关性, 与前人对笃斯越橘(*Vaccinium uliginosum* L.)^[43]、甜橙(*Citrus sinensis* (L.) Osbeck)^[44]等研究结果较一致。多元线性回归分析结果表明(表2), 叶片矿质元素含量主要受根系层土壤pH、Na⁺和Cl⁻-S的影响, 尤其土壤pH显著影响叶片中N、P、K、Na、Fe、Zn含量($p < 0.05$), 降低土壤pH有利于叶片N、P、K、Na、Fe、Zn元素的积累, 这可能是因为在新疆半干旱荒漠化地区的耕地土壤以高盐碱为主^[21], 而盐离子(Na⁺和Cl⁻-S)和高pH是制约植物健康生长的主要限制因子^[45]。本研究中有有机-无机肥配施后, 黄腐酸钾中的腐殖酸、有机质等有机组分对土壤pH具有较强的缓冲能力和阳离

子交换能力^[46],除了可以显著改善土壤肥力外,还能减少氮肥施用和促进植物对其矿质养分的吸收利用,平衡树体营养水平^[47],但需进一步研究明确增施矿源黄腐酸钾等高碳含量的有机肥对土壤微生物过程和养分循环的影响,为可持续生产系统下提高林果产量提供施肥参考。

4 结 论

有机-无机肥配施显著影响新疆核桃园土壤和叶片养分,YZ处理显著提高了土壤养分含量,降低了盐性离子含量,同时平衡了叶片矿质元素含量,相反,YD处理显著提高了土壤盐性离子含量,表明YZ处理对新疆核桃园土壤改良和叶片矿质元素平衡具有积极的促进作用。此外,提高土壤 NO_3^- -N、OM、AK含量,降低土壤pH、 Na^+ 、 Cl^- -S含量是核桃生长发育期的关键土肥管理技术,在今后的核桃园养分资源管理中,尤其在新疆核桃主栽区,应避免长期单一施用化肥,有机-无机肥配施将对解决南疆核桃主栽区次生盐渍化问题和缓解盐害发生提供有效保障。

参 考 文 献:

[1] 张志华,裴东. 核桃学[M]. 北京:中国农业出版社,2018.

[2] 裴东,郭宝光,李丕军,等. 我国核桃市场与产业调查分析报告[EB/OL]. 中国农业监测预警,2020.

[3] WANG Q, NIAN J Q, XIE X Z, *et al.* Genetic variations in ARE1 mediate grain yield by modulating nitrogen utilization in rice[J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 735.

[4] LIU Y Q, WANG H R, JIANG Z M, *et al.* Genomic basis of geographical adaptation to soil nitrogen in rice[J]. *Nature*, 2021, 590(7847): 600-605.

[5] CHEN X P, CUI Z L, FAN M S, *et al.* Producing more grain with lower environmental costs[J]. *Nature*, 2014, 514(7523): 486-489.

[6] WANG F, GE S F, XU X X, *et al.* Multiomics analysis reveals new insights into the apple fruit quality decline under high nitrogen conditions[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(19): 5559-5572.

[7] BROWN R W, CHADWICK D R, ZANG H D, *et al.* Use of metabolomics to quantify changes in soil microbial function in response to fertilizer nitrogen supply and extreme drought[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2021, 160: 108351.

[8] WU L P, WANG Y D, ZHANG S R, *et al.* Fertilization effects on microbial community composition and aggregate formation in saline - alkaline soil[J]. *Plant and Soil*, 2021, 463(1-2): 523-

535.

[9] SANWAL S K, LAXMINARAYANA K, YADAV R K, *et al.* Effect of organic manures on soil fertility, growth, physiology, yield and quality of turmeric[J]. *Indian Journal of Horticulture*, 2007, 64(4): 444-449.

[10] NEWCOMB C J, QAFOKU N P, GRATE J W, *et al.* Developing a molecular picture of soil organic matter-mineral interactions by quantifying organo-mineral binding[J]. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 396.

[11] ZHENG X H, OBA B T, WANG H, *et al.* Organo-mineral complexes alter bacterial composition and induce carbon and nitrogen cycling in the rhizosphere[J]. *Science of The Total Environment*, 2022, 836: 155671.

[12] 张倩,翟梅枝,杜天宇,等. 不同施肥处理对核桃产量品质及土壤肥力的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2022, 42(5): 39-46.

[13] 高飞,张婷婷,杜天宇,等. 配施有机肥对‘香玲’核桃生长、产量和坚果品质的影响[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(10): 83-86.

[14] STAMATIADIS S, WERNER M, BUCHANAN M. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California)[J]. *Applied Soil Ecology*, 1999, 12(3): 217-225.

[15] 孙海燕,孙义卓,周变,等. 化肥减量配施腐植酸生物肥对土壤生物学性质和玉米干物质质量的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33(3): 677-684.

[16] 张水勤,袁亮,林治安,等. 腐植酸促进植物生长的机理研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 1065-1076.

[17] 张亚飞,罗静静,彭福田,等. 黄腐酸钾与化肥控释袋促进桃树生长及氮肥吸收利用[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 998-1005.

[18] 庄振东. 冬小麦-夏玉米轮作体系氮肥去向及平衡状况研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.

[19] 高云晓,庞元湘,毛培利,等. 黄腐酸有机肥对盐胁迫下刺槐幼苗生长的影响[J]. 西南林业大学学报, 2019, 39(2): 36-43.

[20] 杨澜. 黄腐酸对平邑甜茶和八棱海棠耐盐生理特性的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.

[21] HASSANI A, AZAPAGIC A, SHOKRI N. Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, 117(52): 33017-33027.

[22] ZHANG H M, ZHU J H, GONG Z Z, *et al.* Abiotic stress responses in plants[J]. *Nature Reviews Genetics*, 2022, 23(2): 104-119.

[23] ZHAO S X, SCHMIDT S S, GAO H J, *et al.* A precision compost strategy aligning composts and application methods with target crops and growth environments can increase global food production[J]. *Nature Food*, 2022, 3(9): 741-752.

[24] 张计峰,梁智,邹耀湘,等. 新疆南疆核桃叶缘枯病成因分析研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(7): 1261-1265.

- [25] 白永超. 新疆核桃焦叶症成因与防控研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2022.
- [26] 曹永庆, 任华东, 王开良, 等. 油茶叶片氮磷钾含量与经济性状的关联分析[J]. 林业科学研究, 2021, 34 (1): 165-172.
- [27] 张 莉, 陈 军, 荆瑞俊. 电感耦合等离子体-原子发射光谱法测定莲子芯中的12种元素含量[J]. 光谱实验室, 2009, 26 (2): 316-319.
- [28] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版, 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [29] 国家统计局. 全国第二次土壤普查养分分级标准[Z]. 1982.
- [30] 解雪峰, 濮励杰, 沈洪运, 等. 滨海重度盐碱地改良土壤盐渍化动态特征及预测[J]. 土壤学报, 2022, 59 (6): 1504-1516.
- [31] BANGER K, KUKAL S S, TOOR G, *et al.* Impact of long-term additions of chemical fertilizers and farm yard manure on carbon and nitrogen sequestration under rice-cowpea cropping system in semi-arid tropics[J]. *Plant and Soil*, 2009, 318(1): 27-35.
- [32] 申 巍, 杨水平, 姚小华, 等. 施肥对油茶生长和结实特性的影响[J]. 林业科学研究, 2008, 21 (2): 239-242.
- [33] LIU E K, YAN C R, MEI X R, *et al.* Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China[J]. *Geoderma*, 2010, 158(3-4): 173-180.
- [34] DINESH R, SRINIVASAN V, HAMZA S, *et al.* Short-term incorporation of organic manures and biofertilizers influences biochemical and microbial characteristics of soils under an annual crop [Turmeric (*Curcuma longa* L.)][J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(12): 4697-4702.
- [35] LAZCANO C, GÓMEZ-BRANDÓN M, REVILLA P, *et al.* Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, 49(6): 723-733.
- [36] 杨 易, 黄立华, 肖 扬, 等. 苏打盐碱化稻田土壤氮素矿化和硝化特征及其影响因子[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28 (10): 1816-1827.
- [37] CARDEN D E, WALKER D J, FLOWERS T J, *et al.* Single-cell measurements of the contributions of cytosolic Na⁺ and K⁺ to salt tolerance[J]. *Plant Physiology*, 2003, 131(2): 676-683.
- [38] 李 森, 冯 棣, 张敬敏, 等. NaCl溶液水培下黄腐酸钾对樱桃萝卜出芽及幼苗生长的影响[J]. *中国农学通报*, 2022, 38 (5): 48-53.
- [39] DAVID E. RAMOS. Walnut production manual[M]. UCANR Publications, 1998.
- [40] 涂书新, 郭智芬, 孙锦荷. 土壤氯研究的进展[J]. *土壤*, 1998, 30 (3): 125-130.
- [41] 熊 健, 周明园, 汪晓丽, 等. 氯对水稻幼苗根系生长和形态特征的影响[J]. *分子植物育种*, 2019, 17 (22): 7476-7481.
- [42] XIAO Q Y, CHEN Y, LIU C W, *et al.* MtNPF6.5 mediates chloride uptake and nitrate preference in *Medicago* roots[J]. *The EMBO Journal*, 2021, 40(21): e106847.
- [43] 白永超, 卫旭芳, 陈 露, 等. 笃斯越橘果实、叶片矿质元素和土壤肥力因子与果实品质的多元分析[J]. *中国农业科学*, 2018, 51 (1): 170-181.
- [44] YOGESH K, HARINDER S R, WASAKHA S D, *et al.* Soil fertility and nutritional status of Kinnow orchards grown in aridisol of Punjab, India[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2012, 7(33): 4692-4697.
- [45] 王 雷, 郭 岩, 杨淑华. 非生物胁迫与环境适应性育种的现状及对策[J]. *中国科学: 生命科学*, 2021, 51 (10): 1424-1434.
- [46] SIDDIQUE M, SIDDIQUE M T, ALI S, *et al.* Macronutrient assessment in apple growing region of Punjab[J]. *Soil & Environment*, 2009, 28(2): 184-192.
- [47] 廖逸宁, 郭素娟, 王芳芳, 等. 有机-无机肥配施对板栗园土壤肥力及根系功能性状的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2021, 45 (5): 84-92.

Effects of Combined Application of Organic-Inorganic Fertilizer on Soil and Leaf Nutrients in Walnut Orchards in Xinjiang

WANG Qi¹, ZHOU Rong-fei², LI Bao-xin¹, ZHANG Jun-pei¹,
ZHANG Qiang³, PEI Dong¹, BAI Yong-chao¹

(1. State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Silviculture of National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, China; 2. Forest and Fruit Industry Workstation, Kashgar 844000, Xinjiang, China; 3. Institute of Economic Forestry, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

Abstract: [Objective] The effects of combined application of organic-inorganic fertilizer on soil and leaf nutrients in walnut orchards were studied, and the main soil chemical factors affecting leaf nutrients were screened, which provides scientific evidence for the efficient management of soil nutrient resources in walnut orchards in Xinjiang. [Method] Based on the 10-year-old walnut 'Wen 185' (*Juglans regia*) at walnut main planting areas in Yecheng County, Kashgar, Xinjiang, a single factor completely random plot design was adopted to explore the chemical properties of soil and leaf mineral elements changes of walnut orchard under organic-inorganic compound fertilizer (Mineral source potassium fulvic acid and medium element water-soluble fertilizer, YZ) with the local conventional fertilization (Diammonium hydrogen phosphate and potassium sulfate, YD). [Results] Compared to YD fertilization measure, YZ treatment significantly reduced soil pH and salt ion content, and increased leaf mineral element content, but there were seasonal differences. In May, the contents of soil NO_3^- -N, AK and leaves N, K and Zn (460.22%, 46.46%, 12.16%, 17.46%, 21.88%, $p < 0.05$) increased significantly under YZ treatment. However, in July, the contents of soil pH, EC, Cl^- -S, NH_4^+ -N, AP, Na^+ and leaf Cl^- -L (2.21%, 27.25%, 23.37%, 61.09%, 30.03%, 13.24%, 15.94%, $p < 0.05$) significantly reduced. The content of N, P, Ca, Mg, Na, Fe, Mn and B elements in the leaves increased significantly (4.16%, 13.25%, 20.73%, 44.04%, 66.67%, 24.62%, 52.47%, 31.85%, $p < 0.05$). In September, the soil EC, NH_4^+ -N, AP and Na^+ (20.45%, 37.31%, 21.74%, 11.36%, $p < 0.05$) reduced significantly under YZ treatment, while the contents of OM, NO_3^- -N and AK were significantly higher than those under YD treatment (22.17%, 59.09%, 56.47%, $p < 0.05$). The results of linear regression analysis showed that soil pH, Na^+ and Cl^- -S were the important soil chemical factors affecting the content of mineral elements in walnut leaves at walnut orchards in Xinjiang. Increasing the application of organic fertilizer and reducing soil pH were beneficial to the accumulation of N, P, K, Na, Fe, Zn elements in walnut leaves. [Conclusion] The YD treatment increases the salt ion content of soil EC, Na^+ , Cl^- -S, NH_4^+ -N, etc., and long-term application may aggravate the level of soil salinization in walnut orchards in Xinjiang. YZ treatment can significantly reduce soil pH, Na^+ , EC, NH_4^+ -N and other salt ion content, and improve the content of mineral elements such as N, P, K, Fe and other mineral elements. It is recommended that in walnut orchards in the main walnut planting area of Xinjiang, the combined application of organic-inorganic fertilizer can reduce the level of soil salinization to reduce the harm of salinity before July. In addition, balancing the mineral element content of leaves, and avoiding long-term single application of chemical fertilizer as much as possible will be helpful for soil.

Keywords: walnut orchards; organic-inorganic fertilizer combination; chemical properties of soil; leaf mineral nutrition; saline-alkali land