

新疆叶城两种主栽红枣土壤养分、 微生物多样性与营养品质的比较分析

王玉苗¹, 王志慧², 刘 军³, 付建红^{1*}, 秦新政^{2*}

(1. 新疆师范大学生命科学学院/新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室/干旱区植物逆境生物学实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054;

2. 新疆农业科学院微生物应用研究所/新疆特殊环境微生物实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091;

3. 新疆大学生命科学与技术学院/新疆生物资源基因工程重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要 比较新疆叶城两种主栽红枣—骏枣与灰枣的土壤养分、微生物多样性和枣营养品质之间的差异, 分析土壤养分、微生物与枣营养品质之间的相关性, 从土壤养分、微生物角度研究枣营养品质的影响因素。通过化学分析法测定叶城骏枣与灰枣土壤养分、枣营养品质指标, 高通量测序分析土壤微生物多样性, 将土壤养分和微生物优势门属微生物进行冗余分析, 研究枣营养品质指标与土壤养分、微生物功能类群的相关性。结果显示, 新疆叶城两种主栽红枣土壤的全氮、速效氮、有机质含量显著不同; 细菌群落变化的主要原因是土壤 TN (全氮) 值, 真菌群落变化的主要原因是土壤 AN (速效氮) 值。两种主栽红枣土壤微生物多样性显示, 骏枣土壤微生物在细菌水平上具有更高的物种丰富性和多样性, 薄壁杆菌属 (*Gracilibacillus*)、芽胞杆菌目 (*Bacillales*) 等溶磷微生物、固氮微生物等功能土壤微生物相对丰度和占比较高, 差异显著; 枣营养品质, 尤其是不可溶膳食纤维、Fe、K、Zn 的含量差异明显。而不可溶膳食纤维、K、蔗糖含量与 TP (全磷)、OM (有机质) 存在显著负相关; Fe、Zn 含量与薄壁杆菌属、芽胞杆菌目等九类功能微生物存在显著正相关; Mg、可溶性糖、可溶性膳食纤维含量与 *Paenibacillaceae* 存在显著负相关。相关性结果表明, 新疆叶城两种主栽红枣的枣营养品质与土壤养分、微生物功能类群具有密切的联系, 土壤养分和微生物的共同作用也影响着枣果的营养品质。

关键词 红枣; 土壤养分; 微生物多样性; 营养品质; 相关性; 微生物功能类群

中图分类号 Q938.1⁺3

文献标识码 A

文章编号 1005-7021(2024)02-0053-09

doi:10.3969/j.issn.1005-7021.2024.02.005

Comparative Analysis of Soil Nutrient, Microbial Diversity and Nutrient Quality of Two Main Varieties of Jujube in Yecheng, Xinjiang

WANG Yu-miao¹, WANG Zhi-hui², LIU Jun³, FU Jian-hong^{1*}, QIN Xin-zheng^{2*}

(1. Coll. of Life Sci., Xinjiang Normal Uni./Xinjiang Lab. of Conserv. & Regul. Biol. of Spec. Environ. Species/Xinjiang Lab. of Plant Stress Biology in Arid Zone, Urumqi 830054; 2. Inst. of Microb. Applic., Xinjiang Acad. of Agric. Sci./Xinjiang Spec. Environ.

Microbiol. Lab., Urumqi 830091; 3. Coll. of Life Sci. & Technol., Xinjiang Uni./Xinjiang

Key Lab. of Bio-Res. & Genetic Engin., Urumqi 830046)

Abstract The differences of soil nutrients, microbial diversity and nutritional quality of jujube were compared between Junzao and Huizao, two main types of jujube planted in Yecheng, Xinjiang. The correlation between soil nutrients, microorganisms and nutritional quality of jujube was analyzed, and the influencing factors of nutritional quality of jujube were studied from the perspective of soil nutrients and microorganisms. Soil nutrients and nutrient quality indexes of jujube were determined by chemical analysis, and soil microbial diversity was analyzed by high-throughput se-

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFD1100603)

作者简介:王玉苗 女,硕士研究生。研究方向为微生物学。E-mail:1173306979@qq.com

* 通讯作者。付建红,女,博士,教授。研究方向为微生物学。E-mail:fjh_719@163.com

秦新政,男,研究员。研究方向为微生物与食品营养。E-mail:qinxinzheng@163.com

收稿日期:2023-12-16

quencing. The correlation between nutrient quality indexes of jujube and soil nutrients and microbial functional groups was studied by redundancy analysis of soil nutrients and microbial dominant phyla and genera. The results showed that the contents of total nitrogen (TN), available nitrogen (AN) and organic matter in soil of two main jujube in Yecheng, Xinjiang were significantly different. The main reason for the change of bacterial community was soil TN value, and the main reason for the change of fungal community was soil AN value. The soil microbial diversity of Junzao jujube was higher than that of Huizao jujube. The soil microbial abundance and diversity of Junzao jujube were higher on the bacterial level, and the relative abundance and proportion of functional soil microorganisms such as *Gracilibacillus*, Bacillales and other phosphorous soluble microbes, nitrogen fixing microbes were higher, and the difference was significant. The nutritional quality of jujube, especially the contents of insoluble dietary fiber, Fe, K and Zn were significantly different. And insoluble dietary fiber, K and sucrose contents were negatively correlated with TP (total phosphorus) and OM (organic matter). The contents of Fe and Zn were positively correlated with *Gracilibacillus* and Bacillales. The contents of Mg, soluble sugar and soluble dietary fiber were negatively correlated with Paenibacillaceae. The correlation results showed that the nutritional quality of jujube was closely related to soil nutrients and microbial functional groups, and the combined effects of soil nutrients and microorganisms also affected the nutritional quality of jujube fruit.

Keywords jujube; soil nutrients; microbial diversity; nutritional quality; reciprocity; functional groups of microorganisms

红枣是新疆重要的优势特色林果,栽培面积达 44.52 万 hm^2 ,是新疆栽培面积最大的林果产业,新疆已成为中国规模最大的优质干枣生产基地^[1]。叶城是新疆传统的红枣产地,该地区降雨量少、周期性干旱、日照充足、昼夜温差大^[2]的气候适合种植红枣。当地两种主栽品种骏枣和灰枣也是整个新疆的主栽品种^[3]。随着红枣产业的可持续发展,提高红枣品质成为红枣栽培和管理中的主要任务。植物、土壤与微生物之间不仅相互依赖,同时存在着相互作用的复杂关系^[4]。不同植物品种的土壤养分状况和微生物群落结构有所差异,植物种类和土壤类型共同塑造了微生物群落的结构和功能^[5]。不同生态区域、不同品种新疆红枣的营养品质存在较大差异,对于不同的营养指标,其影响程度也存在差异^[6],经过对灰枣、骏枣、赞皇枣三个品种枣果实的糖、酸、维生素 C、矿物质元素、蛋白质等营养成分含量比较,发现不同枣品种间营养品质存在一定差异^[7]。影响枣果实品质因素很多,包括土壤环境、品种类型、采收方式等^[8],其中土壤是果树生长发育的摇篮。枣果实营养品质的形成与土壤环境状况密切相关,较多研究表明,骏枣与灰枣果实的营养品质与土壤养分间存在较强的相关性,土壤养分中有有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的含量及 pH 值都会影响枣果实品质的形成,土壤养分含量保

持在适宜范围内,会对枣果实营养品质的形成起到良好的促进作用^[9]。土壤微生物在作物养分转化中起着核心作用,丰富的土壤微生物多样性可以促进作物营养的积累和循环^[10]。土壤中的功能微生物,如溶磷、固氮等类群可利用土壤养分、大气固氮、溶磷和促进植物激素合成,通过多种机制直接促进植物生长^[11]。在土壤微生物与枣营养品质研究方面,较多集中在枣树根际可培养功能微生物的筛选应用^[12-13]和微生物菌剂对枣营养品质的影响上^[14-15],在其他农作物上发现提高微生物丰富度可以提高黑果枸杞果实品质^[16];脐橙果实营养元素总糖、还原糖与指示细菌革兰阴性菌、指示好氧细菌呈显著正相关,维生素 C 等与纤维素菌(*Fibrinobacter*)、嗜热解氢杆菌(*Hydrogenobacter thermophilus*)呈显著负相关^[17]。土壤养分与微生物群落多样性的变化对土壤生态系统的完整性和功能具有重要的影响^[18]。目前,红枣营养品质与土壤养分、微生物多样性之间关系的研究还较少,本研究通过化学分析法、高通量测序和营养品质含量测定等方法,比较新疆叶城两种主栽红枣的土壤养分、微生物特征和枣营养品质差异,将枣营养品质指标与土壤养分、微生物多样性进行相关性分析,从土壤养分和微生物角度研究枣营养品质的影响因素。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品采集 骏枣(JZ)和灰枣(HZ)土壤、枣果样品采自新疆喀什叶城县红枣园(东经 76°59'91" ~ 76° 62' 29"、北纬 38° 14' 98" ~ 38°16'15"),该地区属暖温带大陆性干旱气候,年平均气温 11.4 °C,年平均降水量 53.2 mm,年日照数 2 741.9 h。两种主栽红枣砧木品种为酸枣。以红枣园 8 年生红枣为试材,所有红枣地块统一常规管理。每个红枣地块选取生长良好的骏枣、灰枣各 3 棵,按照混合取样法采集土壤及枣果样品,采土样时,先去除地表杂质,以树干为中心,取距地表约 20 cm 内土壤。将土样放入无菌管中,并-80 °C 保存用于微生物多样性检测,枣果实去核、碾碎后冷藏备用。

1.1.2 主要试剂与仪器设备 高锰酸钾,硫酸,还原铁粉,盐酸,氢氧化钠,酒石酸锑钾,钼锑抗显色剂,碳酸钠溶液,硼酸,乙酸铵溶液,碳酸氢钠浸提剂,重铬酸钾,乙腈,乙酸锌,柱膜法土壤基因组 DNA 提取试剂盒(SPINeasy DNA Kit for Soil,美国 MP Biomedicals 公司)。电子天平(AUW120,岛津企业管理(中国)有限公司);自动凯氏定氮仪(KDN1,上海仪电科学仪器股份有限公司);马弗炉(SX-4-10,北京市永光明医疗仪器有限公司);镍坩埚、偏振塞曼原子吸收分光光度计(ZA3000,日本株式会社日立高新技术科学);台式高速冷冻离心机(H2-16K,湖南可成仪器设备有限公司);高效液相色谱(LC-40,日本岛津公司);紫外分光光度计(L5S,上海仪电科学仪器股份有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 土壤养分测定 有机质(OM)采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定;全氮(TN)采用凯氏定氮仪测定;速效氮(AN)采用碱解扩散法测定;全磷(TP)、全钾(TK)采用氢氧化钠高温熔融方法,再分别采用钼锑抗比色法、火焰光度法测定;有效磷(AP)采用钼锑抗比色法测定;速效钾(AK)采用火焰光度法测定;土壤 pH 值采用 pH 计测定^[19]。

1.2.2 土壤微生物高通量测序 将采集到的土壤样品,利用土壤 DNA 提取试剂盒(SPINeasy DNA Kit for Soil)按照说明书提取土壤总 DNA,并委托北京诺禾致源科技股份有限公司进行 Illumi-

na MiSeq 高通量测序。采用 16S V4 区引物 515F (5'-GTGCCAGCMGCCGCGGTAA-3') 和 806R (5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3') 鉴定细菌多样性,采用 ITS1 区引物 ITS5-1737F (5'-GGAAGTA-AAAGTCGTAACAAGG-3') 和 ITS2-2043R (5'-GCT-GCGTTCTTCATCGATGC -3') 鉴定真菌多样性。

1.2.3 枣营养品质指标的测定 蛋白质含量采用 GB5009.5-2016 食品安全国家标准中的凯氏定氮法测定;可溶性糖含量按照 NY/T 2742-2015 水果及制品可溶性糖中的 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;果糖、葡萄糖、蔗糖含量参照 GB5009.8-2016 (食品安全国家标准-食品中果糖、葡萄糖、蔗糖的测定)的液相色谱法测定;可溶性、不可溶性膳食纤维参照 GB5009.88-2014 食品安全国家标准测定;维生素 C 含量参照 GB5009.86-2016 食品安全国家标准中高效液相色谱法测定;K、Ca、Mg、Fe、Zn 含量使用原子吸收分光光度计测定;称取 50 °C 烘干至恒重的样品 0.5 g 放入聚四氟乙烯微波消解罐中,加入 10 mL 的硝酸,加盖,微波消解,设置消解仪参数条件,升温时间 15 min,消解温度 150 °C,保持 5 min,升温至 175 °C,保持 8 min。消解赶酸后用超纯水清洗管内壁,收集所有溶液,定容至 20 mL,使用原子吸收分光光度计测定样品各元素含量^[20]。

1.2.4 数据处理 采用 Excel 2019 软件进行数据的初步整理,使用 SPSS 25.0、Graph Pad Prism8 软件对土壤养分、土壤微生物多样性指数、微生物门、属水平相对丰度、功能微生物相对丰度、枣果营养品质数据进行 *t* 检验分析和作图展示。采用 Origin 2022 软件做 PCA(主成分分析)图。采用微科盟生科云云工具做冗余分析图和相关性热图。

2 结果与分析

2.1 土壤养分差异

骏枣与灰枣土壤养分间存在差异,灰枣土壤中全氮、速效氮含量极显著高于骏枣土壤($P < 0.01$),有机质含量显著高于骏枣土壤($P < 0.05$),全磷、全钾、有效磷、速效钾含量也存在一定的差异,但并不显著(图 1)。

2.2 土壤微生物多样性差异

2.2.1 土壤微生物多样性指数 骏枣土壤中细菌的 *chao1* 指数、shannon 和 simpson 指数均显著

高于灰枣(图2),说明骏枣土壤微生物较灰枣在细菌水平上具有更高的物种丰富性和多样性。骏枣土壤中真菌的 chao1 指数、shannon 和 simp-

son 指数均与灰枣数值相近,说明骏枣和灰枣土壤微生物在真菌水平上具有相似的物种丰富度和多样性。

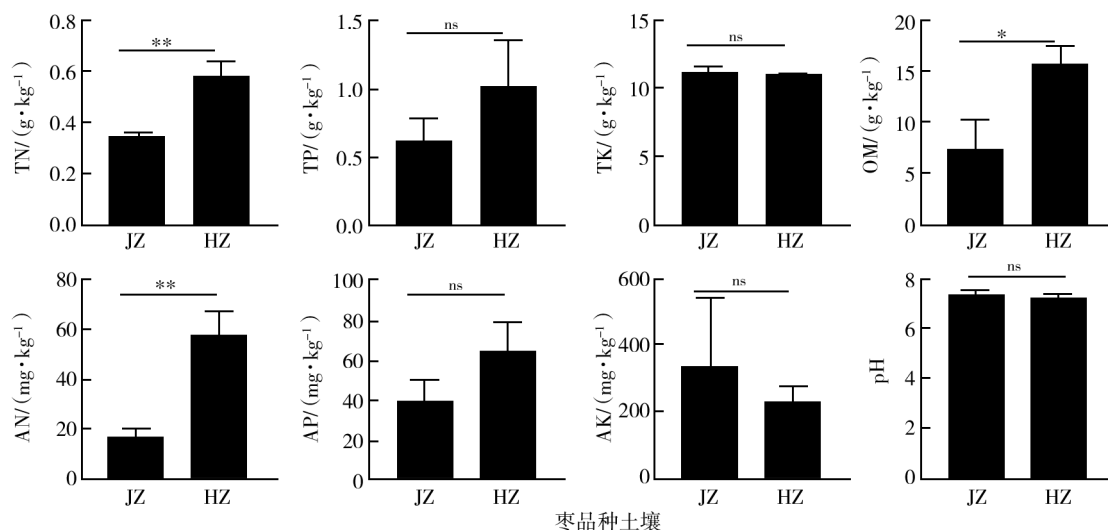


图1 骏枣与灰枣土壤养分含量

Fig.1 Soil nutrient content of junzao jujube and huizao jujube

* * 表示在 $P < 0.05$ 水平上显著, * 表示在 $P < 0.01$ 水平上显著, ns 表示不显著,下同

* * means significant at 0.05, * means significant at 0.01, ns means not significant, the same below

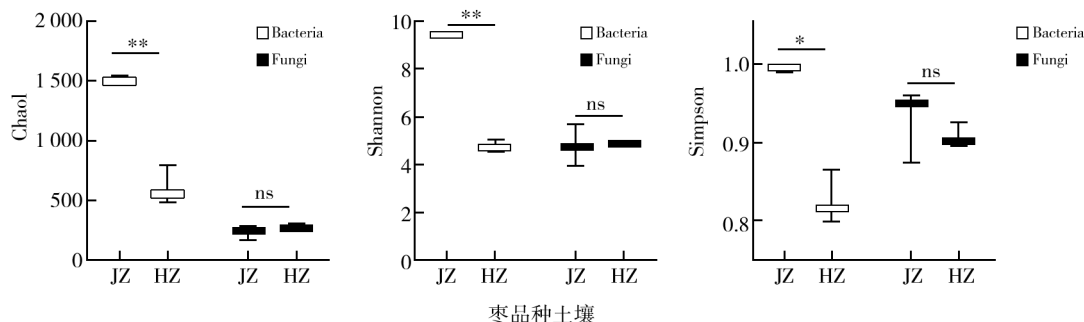


图2 土壤微生物多样性指数

Fig.2 Soil microbial diversity index

2.2.2 土壤细菌和真菌群落结构 微生物属水平上的主成分分析(图3)结果表明,样本微生物群落组成越相似,PCA 距离越近,相同枣品种土壤样品间细菌、真菌群落具有很好的相似性,说明在骏枣和灰枣园内的土壤样品微生物群落组成的差异较小,群落结构也相近;不同枣品种土壤样品间细菌、真菌群落产生明显的分离效应,说明两个枣品种土壤微生物属水平组成的差异较大,群落结构也差异较大。

2.2.3 枣园土壤细菌和真菌优势群落组成 利用高通量测序技术研究骏枣和灰枣土壤微生物的多样性。二者细菌类群主要分为 33 个门,以

门水平的优势细菌类群的相对丰度做物种堆积图(图4A)。在骏枣和灰枣土壤中优势菌门为厚壁菌门(Firmicutes)、放线菌门(Actinobacteriota)、变形菌门(Proteobacteria)。灰枣土壤中的厚壁菌门、拟杆菌门(Bacteroidota)相较骏枣土壤,相对丰度增加了 34.56%、8.26%,骏枣土壤中的放线菌门、变形菌门相较灰枣土壤,相对丰度增加了 18.77%、16.09%,灰枣与骏枣土壤细菌群落在门水平上差异较大,优势菌门相对丰度变化明显。进一步对样品相对丰度在属水平前三十的物种进行分析,结果(图4B)表明,与骏枣土壤比较,在灰枣中占比较高的优势菌属仍是骏枣土壤

中的优势菌属,但相对丰度明显下降,尤其是 *Blautia*、拟杆菌属 (*Bacteroides*)、阿克曼氏菌属 (*Akkermansia*) 三个菌属,相对丰度分别下降 36.86%、12.96%、9.23%,与灰枣土壤微生物相比,骏枣土壤中物种菌属相对丰度大多低于 10%,且相对丰度相近。这些结果说明本研究中的两种枣土壤细菌的群落结构有明显改变。在两种红枣土壤真菌门水平上灰枣与骏枣优势菌门相似,相对丰度有所差异。在图 4C 中灰枣和骏枣土壤中真菌优势菌门主要包括子囊菌门

(Ascomycota)、担子菌门(Basidiomycota)、壶菌门 (Chytridiomycota),在门水平上两种枣土壤真菌的主要菌门构成具有相似性。在真菌属水平上(图 4D),骏枣和灰枣土壤真菌群落结构属水平上前三优势物种组成相同,但相对丰度有所变化,骏枣较灰枣土壤链格孢属 (*Alternaria*)、*Lectera* 相对丰度降低 13.94%、3.85%,赤霉菌属 (*Gibberella*) 相对丰度增加 5.28%。本研究中骏枣与灰枣土壤真菌的群落结构在门水平上相似,在属水平上有一定改变。

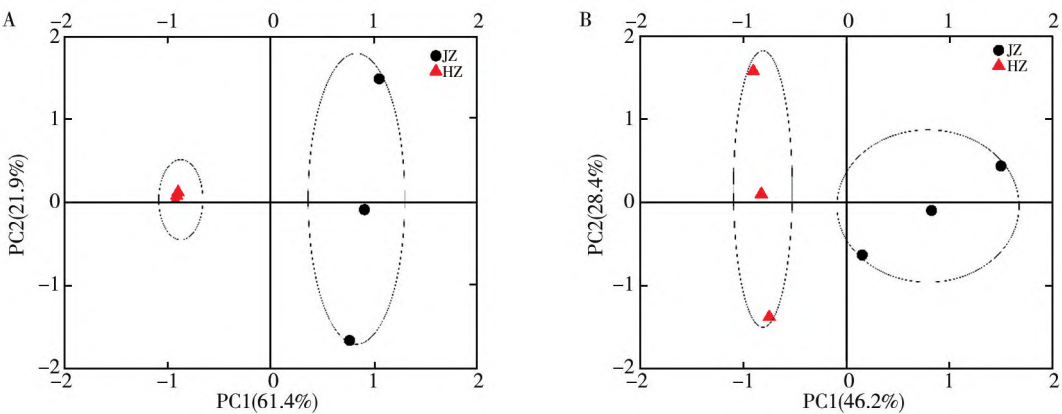


图 3 枣园土壤微生物群落组成 PCA 图

Fig.3 PCA diagram of soil microbial community composition in Jujube

A 表示细菌属水平上的 PCA 分析;B 表示真菌属水平上的 PCA 分析

A represents PCA analysis at the bacterial genus level;B represents PCA analysis at the fungal genus level

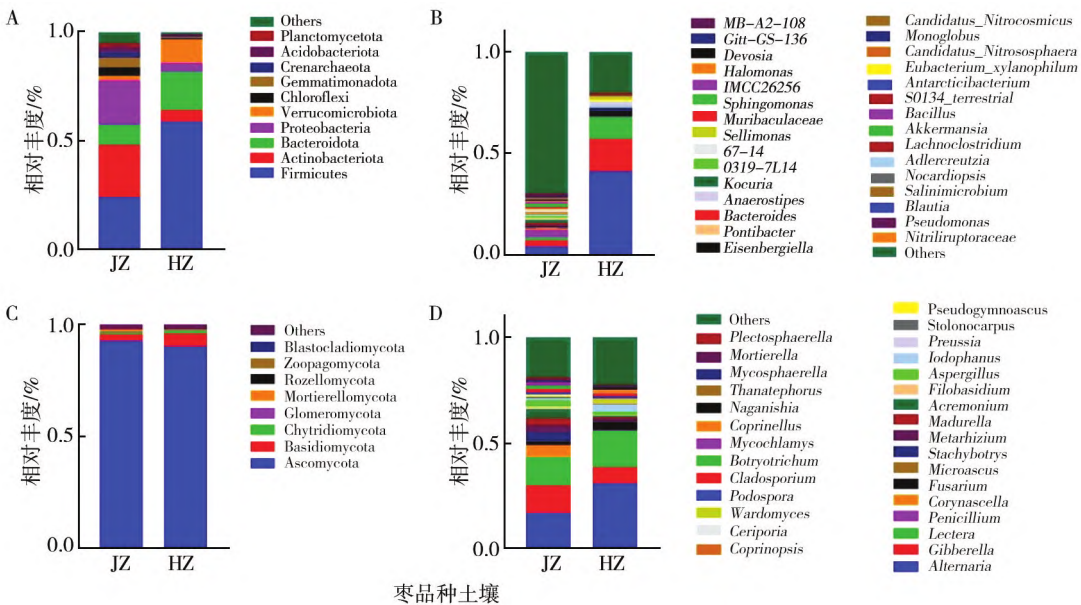


图 4 微生物门、属水平相对丰度图

Fig.4 Relative abundance of microorganism phylum and genus

2.2.4 枣园土壤功能微生物类群变化 对骏枣与灰枣枣园土壤微生物中的固氮微生物类群、溶磷微

生物类群以及具有多种植物促生的芽胞杆菌类群的相对丰度进行统计与做柱状图进行比较。如图 5A、

5B 所示,骏枣和灰枣土壤中溶磷、固氮功能微生物相对丰度差异显著,由于芽胞杆菌类群具有多种植物促生特性,如溶磷、解钾、产铁载体等,所以对不同

枣园土壤中芽胞杆菌类群在目、科、属水平上的微生物相对丰度进行比较,如图 5C 所示,芽胞杆菌类群在骏枣园土壤中相对丰度和占比较高,差异显著。

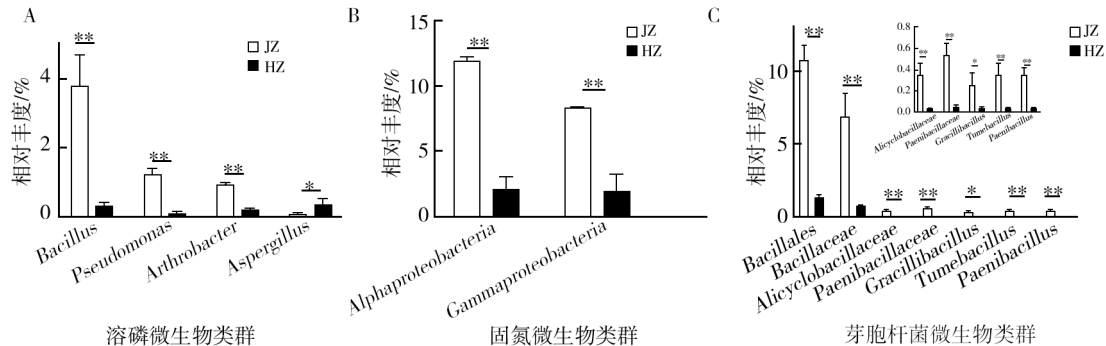


图 5 枣园土壤功能微生物类群相对丰度图

Fig.5 Relative abundance of functional microbial groups in jujube garden soil

A、B、C 分别为溶磷微生物、固氮微生物、芽胞杆菌类群微生物相对丰度

A, B and C are the relative abundance of phosphorus solubilizing microorganisms, nitrogen fixing microorganisms and bacillus microorganisms respectively

2.3 土壤养分与土壤微生物的相关性

根据冗余分析(图 6),所有选定的土壤特性解释了样本中细菌优势群落组成的 92.75% 的变化,解释了样本中真菌优势群落组成的 76.33% 的变化。细菌群落变化的主要原因是土壤 TN 值(r^2

$=0.993, P=0.004$),其余土壤性质按 $AN>OM>AP>TP>pH$ 顺序影响细菌群落组成,真菌群落变化的主要原因为土壤 AN 值($r^2=0.941, P=0.038$),其余土壤性质按 $TP>OM>TN>AP>pH$ 顺序影响真菌群落组成。

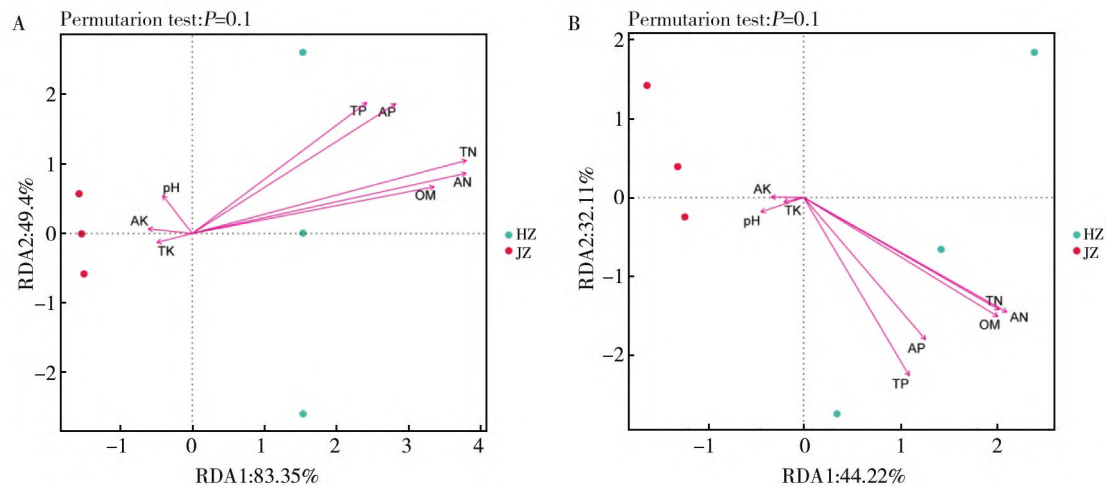


图 6 微生物群落结构及其与土壤因子关系的冗余分析

Fig.6 Redundancy analysis of microbial community structure and its relationship with soil nutrients

A:细菌优势门属与土壤养分之间的冗余分析;B:真菌优势门属与土壤养分之间的冗余分析

A shows the redundancy analysis between dominant phylum and genus of bacteria and soil nutrients; B shows the redundancy analysis between dominant phylum and genus of fungi and soil nutrients

2.4 灰枣与骏枣营养品质比较

通过对枣中具有代表性的营养物质进行测定发现(表 1),灰枣和骏枣营养品质有一定差异,尤其是不可溶膳食纤维含量差异显著($P<0.$

05)。

通过对枣中 6 种微量元素的含量进行测定(表 2),发现不同品种枣中微量元素含量有所差异,骏枣中 Fe、K、Zn 的含量相对较高,而 Ca、Mg

的含量低于灰枣,尤其是 Fe、K、Zn 的含量在两种 红枣中呈现显著差异($P<0.05$)。

表 1 枣营养物质含量

Table 1 Nutrient contents in Jujube

样品名	蛋白质 ω/%	可溶性糖 含量/%	果糖/ (g · 100 g ⁻¹)	葡萄糖/ (g · 100 g ⁻¹)	蔗糖/ (g · 100 g ⁻¹)	可溶性膳食纤维/ (g · 100 g ⁻¹)	不可溶性 膳食纤维/ (g · 100 g ⁻¹)	维生素 C/ (mg · 100 g ⁻¹)
JZ	4.67±0.56a	53.99±4.22a	11.18±1.41a	10.19±1.67a	33.29±1.79a	1.37±0.06a	9.02±0.03a	10.89±4.92a
HZ	4.27±0.18a	62.41±3.92a	12.11±2.62a	12.30±2.69a	27.71±6.10a	2.00±0.40a	3.59±0.54b	6.18±2.28a

表 2 枣微量元素含量

Table 2 Contents of trace elements in Jujube

样品名	Fe/(mg · kg ⁻¹)	Ca/(mg · kg ⁻¹)	K/(mg · kg ⁻¹)	Mg/(mg · kg ⁻¹)	Zn/(mg · kg ⁻¹)
JZ	14.47±1.96a	254.78±91.16a	10 524.50±1 082.27a	354.14±40.73a	4.87±0.64a
HZ	9.91±1.00b	265.28±36.58a	7 749.76±887.35b	397.48±20.19a	2.80±0.80b

2.5 土壤养分、微生物与枣营养品质之间的相关性分析

经比较发现,两种主栽红枣之间枣营养品质之间差异明显,土壤养分和微生物多样性也差异显著。将新疆两种主栽红枣营养品质指标和土壤养分及差异比较显著的溶磷、固氮、芽胞杆菌类群做相关性热图分析(图 7)结果显示,不可溶膳食纤维、K、蔗糖含量与 TP、OM 显著负相关;Fe、Zn

含量与薄壁杆菌属(*Gracilibacillus*)、芽胞杆菌目(Bacillales)等九类功能微生物显著正相关;Mg、可溶性糖、可溶性膳食纤维含量与类芽胞杆菌科(Paenibacillaceae)显著负相关;Ca 含量与 pH 显著负相关;可溶性膳食纤维含量与 TN、AP、AN、TP、OM 显著正相关。通过相关性热图发现,部分枣营养品质与土壤养分和功能微生物具有密切的联系。

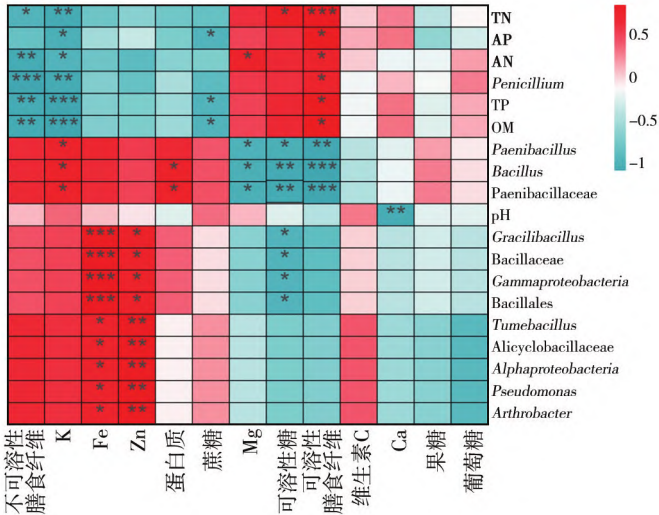


图 7 枣营养品质与土壤养分、微生物相关性热图

Fig.7 Heat map of correlation between jujube quality and soil nutrients and microorganisms

*** 表示在 $P<0.001$ 水平上显著; ** 表示在 $P<0.01$ 水平上显著; * 表示在 $P<0.05$ 水平上显著
*** means significant at 0.001, ** means significant at 0.01, * means significant at 0.05

3 讨 论

枣树的正常生长和发育需要从土壤中吸收大量养分和水分。本研究发现,叶城骏枣与灰枣树土壤养分差异显著,这与赵满兴等^[21]的研究结果一致,由于枣树多年生长在同一地点,并有选择性

的吸收营养,导致土壤养分含量有所差异。植物物种的特性在很大程度上影响着生活在土壤中的各种生物,而土壤中存在的生物体反过来会影响植物的发育和生长^[22]。本研究结果表明,骏枣和灰枣土壤微生物多样性指数有较大差异,微生物群落结构和组成差异明显,且溶磷、固氮、芽胞杆

菌类群等功能微生物丰度间均存在显著差异。目前,对红枣土壤微生物菌群变化很少进行深入研究,而在其他作物上研究较多,有采用高通量测序方法对不同玉米品种的土壤微生物群落进行研究,结果表明,三个不同玉米品种间土壤细菌群落结构差异显著^[23]。也有研究表明植物种类对土壤微生物群的微生物组成有显著影响,土壤微生物群落的丰富度和细菌多样性存在显著差异^[24-25],具有固氮潜力的一些优势菌群的丰度在不同花生品种间存在显著差异^[26]。

本研究通过土壤养分与土壤微生物的冗余分析发现细菌群落变化的主要原因是土壤 TN 值,其次为 AN、OM 值,真菌群落变化的主要原因是土壤 AN 值,其次为 TP、OM 值。影响土壤优势微生物群落变化的 AN、TN、OM 值,同样在两种枣树土壤养分中变化显著,由于不同品种的枣树选择性吸收养分,导致土壤养分含量变化明显,改变了微生物的群落结构。不同的植物物种可能通过植物和微生物之间的相互作用形成不同的微生物群落,这也可能导致土壤中微生物驱动功能的变化^[26]。

不同红枣品种间营养品质成分有所差异,有研究表明灰枣中还原糖含量、维生素 C 含量比骏枣含量高^[27],本研究通过对骏枣和灰枣营养物质成分进行测定发现,灰枣和骏枣营养品质有一定差异,灰枣中的可溶性糖、果糖、葡萄糖、可溶性膳食纤维含量较骏枣高,而维生素 C 含量、不可溶膳食纤维较骏枣低,由于产地和气候不同等原因,导致不同枣品种之间营养成分差异各有不同。红枣中的矿物质元素含量丰富,本研究发现 K、Zn、Fe 含量在两种红枣中有显著差别,这和陈恺等^[28]对不同红枣中微量元素含量测定结果保持一致。

土壤是果树栽培的基本条件^[29],其中土壤养分和微生物在土壤生态系统中起着重要作用,对果实营养品质的积累有一定的作用^[30]。枣树生命活动所需的物质大部分都是从土壤中吸收的,土壤中营养物质的水平将直接影响果实营养含量,枣果实营养成分的形成是土壤营养的诸多因子共同作用的结果^[31]。本研究发现叶城红枣中不可溶膳食纤维、K、蔗糖含量与 TP、OM 存在显著负相关;Ca 含量与 pH 存在显著负相关;不可溶

膳食纤维含量与 TN、AP、AN、TP、OM 存在显著正相关。哈地尔·依沙克等^[9]发现不同土壤养分因子对果实营养品质影响作用不同,土壤养分状况对骏枣果实营养品质和矿质营养含量具有显著的影响,土壤中有效钙、有效镁含量与果实中的可溶性糖呈正相关,土壤中速效钾含量与果实中的钾和镁呈正相关;王英鹏等^[32]发现,阿克苏灰枣中维生素 C 含量与土壤速效磷、速效钾呈显著正相关;枣果中 N 含量与有土壤有机质呈显著负相关,与土壤速效磷呈显著正相关。

有研究表明土壤中微生物群落构成与西瓜果实品质之间存在一定的相关性,施用功能微生物菌剂,能够改变土壤微生物群落结构,提高西瓜果实品质^[33]。本研究通过相关性分析发现叶城红枣果实中 Fe、Zn 含量与薄壁杆菌属(*Gracilibacillus*)、芽胞杆菌目(*Bacillales*)等功能微生物存在显著正相关;Mg、可溶性糖、可溶性纤维含量与 *Paenibacillaceae* 存在显著负相关,枣果营养品质与土壤微生物相对丰度间具有密切的联系。有关土壤微生物多样性与植物营养品质的过往研究结果表明,土壤微生物结构重建会对西洋参生长及品质造成影响,植物与微生物的相互作用对于植物的健康生长至关重要^[34]。

土壤养分和微生物的共同作用,直接或间接的影响红枣果实内的代谢活动和有机物质的累积,对红枣果实营养品质的形成起着重要作用^[31]。通过比较枣中各营养成分和土壤微生物多样性的相关关系,了解它们之间的相互制约性,就可以通过改善田间管理措施,从而影响红枣果实中营养成分的含量,最终获得高品质的红枣,满足人们不同的生产和生活需要。

新疆叶城两种主栽红枣——骏枣与灰枣的土壤养分、微生物多样性和枣营养品质差异明显,灰枣土壤的全氮、速效氮、有机质含量显著高于骏枣;骏枣土壤微生物在细菌水平上具有更高的物种丰富性和多样性,微生物群落结构和组成间差异明显,薄壁杆菌属、芽胞杆菌目等溶磷微生物、固氮微生物等功能土壤微生物有显著差异;骏枣中不可溶膳食纤维、Fe、K、Zn 含量显著高于灰枣;细菌群落变化的主要原因是土壤全氮值,真菌群落变化的主要原因是土壤速效氮值。相关结果表明,新疆叶城两种主栽红枣的枣营养品质与土壤

养分、微生物功能类群具有密切联系,土壤养分和微生物也共同影响着枣果的营养品质,这为红枣优质商品果生产及果园科学施肥提供参考。

参考文献:

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局.新疆统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [2] Qiao YN, Chen QQ, Bi JF, et al. Investigation of the volatile profile of red jujube by using GC-IMS, multivariate data analysis, and descriptive sensory analysis[J]. Foods, 2022, 11(3): 421.
- [3] 梁丰志,童盼盼,张亚若,等.基于果实品质综合评价的南疆骏枣优生区划分实践验证[J].山东农业科学,2022,54(4): 62-68.
- [4] 孙林琦.新疆南疆地区红枣根际功能微生物的筛选鉴定[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
- [5] Berg G, Smalla K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere[J]. Fems Microbiology Ecology, 2009, 68(1): 1-13.
- [6] 刘杰超,刘慧,吕真真,等.不同新疆红枣营养成分比较分析[J].中国食物与营养,2018,24(4): 31-35.
- [7] 史彦江,宋锋惠,张萍,等.新疆沙雅县3个枣品种果实品质比较分析[J].西北农业学报,2011,20(5): 135-138.
- [8] Yan M, Wang Y, Watharkar RB, et al. Physicochemical and antioxidant activity of fruit harvested from eight jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars at different development stages[J]. Journal of Archaeological Science-Reports, 2022, 12(1): 2272.
- [9] 哈地尔·依沙克,马合木提·阿不来提,木合塔尔·扎热,等.骏枣果园土壤养分对果实品质的影响[J].西北林学院学报,2017,32(6): 140-144.
- [10] Pii Y, Penn A, Terzano R, et al. Plant-microorganism-soil interactions influence the Fe availability in the rhizosphere of cucumber plants[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2015, 87: 45-52.
- [11] Todeschini V, Ait LN, Mazzucco E, et al. Impact of beneficial microorganisms on strawberry growth, fruit production, nutritional quality, and volatiles[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 1611.
- [12] 刘鹏.红枣根际微生物多样性分析和促生细菌研究[D].泰安:山东农业大学,2014.
- [13] 孙林琦,郭艺鹏,王海儒,等.新疆枣园土壤解钾微生物菌株筛选及鉴定[J].经济林研究,2014,32(4): 58-62.
- [14] 宋健.专用菌剂对干旱区骏枣园土壤及枣果营养品质的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2020.
- [15] 魏喜喜.P7菌株解磷能力及其对枣园土壤和枣果的影响分析[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.
- [16] 顾美英,唐光木,冯雷,等.南疆野生黑果枸杞果实抗氧化成分与土壤理化性质、微生物特征的相关性[J].新疆农业科学,2017,54(10): 1930-1940.
- [17] 官雪芳,徐庆贤,林碧芬,等.脐橙园果实品质-土壤元素-微生物相关性分析[J].中国农学通报,2017,33(11): 69-76.
- [18] Liliensiek AK, Thakuria D, Clipson N. Influences of plant species composition, fertilisation and lolium perenne ingression on soil microbial community structure in three Irish grasslands[J]. Microbial Ecology, 2012, 63(3): 509-521.
- [19] 姜佰文,戴建军.土壤肥科学实验[M].北京:北京大学出版社,2013: 35-54.
- [20] 杨艳杰,张会芬.红枣微量元素含量测定分析[J].食品研究与开发,2011,32(8): 94-96.
- [21] 赵满兴,陈宗礼,王文强,等.陕北枣树土壤理化性质分析[J].中国农学通报,2012,28(7): 160-164.
- [22] Vishwakarma K, Kumar N, Shandilya C, et al. Revisiting plant-microbe interactions and microbial consortia application for enhancing sustainable agriculture: A review[J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 560406.
- [23] Kong X, Han ZF, Tai X, et al. Maize (*Zea mays* L. Sp.) varieties significantly influence bacterial and fungal community in bulk soil, rhizosphere soil and phyllosphere[J]. Fems Microbiology Ecology, 2020, 96(3): fiae020.
- [24] Sylvain ZA, Wall DH. Linking soil biodiversity and vegetation: Implications for a changing planet[J]. American Journal of Botany, 2011, 98(3): 517-527.
- [25] Lei SN, Xu XH, Cheng ZQ, et al. Analysis of the community composition and bacterial diversity of the rhizosphere microbiome across different plant taxa[J]. Microbiologyopen, 2019, 8(6): e00762.
- [26] Wang XB, Hsu CM, Dubeux JCB, et al. Effects of rhizoma peanut cultivars (Benth.) on the soil bacterial diversity and predicted function in nitrogen fixation[J]. Ecology and Evolution, 2019, 9(22): 12676-12687.
- [27] 王萍,曹源,贺娜,等.南疆4个红枣品种鲜果品质特性分析[J].新疆农垦科技,2014,37(12): 13-15.
- [28] 陈恺,李瑾瑜,李琼,等.ICP-AES法同时测定新疆红枣中的12种元素[J].食品与机械,2015,31(1): 78-81.
- [29] 陈薇宇.宁夏灵武长枣产地果实品质差异及其与土壤养分、气象因子的关系[D].银川:宁夏大学,2018.
- [30] Tong YA, Chrn RC. Divergent patterns of microbial community composition shift under two fertilization regimes revealed by responding species[J]. Applied Soil Ecology, 2020, 154: 103590.
- [31] 宋锋惠,哈地尔·依沙克,史彦江,等.新疆塔里木盆地骏枣果实营养与土壤养分相关性分析[J].果树学报,2010,27(4): 626-630.
- [32] 王英鹏,张少博,李建贵,等.土壤养分对灰枣品质的影响分析[J].江苏农业科学,2019,47(14): 157-160.
- [33] 于会丽,徐国益,路绪强,等.微生物菌剂对连作西瓜土壤微环境及果实品质的影响[J].果树学报,2020,37(7): 1025-1035.
- [34] 曹佩.基于生物肥料的根际微生物结构重建对西洋参生长及品质的影响[D].北京:北京协和医学院,2021.