



李明,范瑾,操敏,张军翔.不同质地土壤‘赤霞珠’葡萄根际微生物群落多样性及葡萄品质的特征分析[J].中国农业大学学报,2026,31(03):118-135.
LI Ming, FAN Jin, CAO Min, ZHANG Junxiang. Characteristics of rhizosphere microbial community diversity and grape quality of *Vitis vinifera* L. cv. ‘Cabernet Sauvignon’ grown in different soil textures[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(03): 118-135.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.03.11

不同质地土壤‘赤霞珠’葡萄根际微生物群落多样性及葡萄品质的特征分析

李明^{1,2,3} 范瑾¹ 操敏¹ 张军翔^{1,2,3*}

(1. 宁夏大学葡萄酒与园艺学院, 银川 750021;

2. 宁夏葡萄与葡萄酒研究院, 银川 750021;

3. 葡萄与葡萄酒教育部工程研究中心, 银川 750021)

摘要 为探究贺兰山东麓土壤因子对‘赤霞珠’葡萄根际微生物群落和浆果品质的影响,以梦沙泉葡萄园为试验地,选择管理模式一致的5块地,编号为S1~S5,采集‘赤霞珠’葡萄根际土样,测定其土壤粒径、理化指标、酶活性、微生物性质及果实品质等指标,分析各指标的差异性,探究不同质地土壤对果实品质的影响。结果表明:1)土壤各粒径成分分析结果显示,S1~S3为砂黏壤土,S4为黏壤土,S5为砂壤土;基于不同质地土壤差异性分析发现,总氮、总磷、碱解氮、速效钾、含水量、过氧化氢酶、细菌观察数、Chao1指数和ACE多样性指数,真菌观察数和ACE多样性指数均表现出砂黏壤土>黏壤土>砂壤土的规律。2)细菌群落在门水平上以变形菌门和放线菌门为优势群落,放线菌门相对丰度表现为S5>S1>S3>S2>S4;真菌群落在门水平上以子囊菌门和毛霉菌门为优势群落,子囊菌门相对丰度表现为S4>S2>S1>S3>S5;土壤总磷是影响细菌和真菌群落结构的主要因素,其次是总氮。3)葡萄浆果的可溶性固形物含量表现为S3>S2>S4>S1>S5,还原糖含量表现为S3>S5>S2>S1>S4,单宁和总酚含量均表现为S2>S4>S5>S1>S3。4)土壤总磷、速效钾、电导率、过氧化氢酶、脲酶、碱性磷酸酶和淀粉酶是导致S3土壤中果实可溶性固形物和还原糖显著高于其他质地土壤的主要因素($P<0.05$);有机质、速效磷、pH、粉粒和淀粉酶是引起S2土壤中果实单宁和总酚含量显著高于其他质地土壤的主要因素($P<0.05$)。综上,本研究中的砂黏壤土具有较高的土壤总磷、有机质、碱性磷酸酶和黏粒含量,有利于微生物群落的定殖和‘赤霞珠’葡萄的生长。

关键词 贺兰山东麓; 土壤质地; ‘赤霞珠’葡萄; 微生物群落结构和多样性; 葡萄品质

中图分类号 S663.1

文章编号 1007-4333(2026)03-0118-18

文献标志码 A

Characteristics of rhizosphere microbial community diversity and grape quality of *Vitis vinifera* L. cv. ‘Cabernet Sauvignon’ grown in different soil textures

LI Ming^{1,2,3}, FAN Jin¹, CAO Min¹, ZHANG Junxiang^{1,2,3*}

(1. College of Wine and Horticulture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. Ningxia Grape and Wine Research Institute, Yinchuan 750021, China;

3. Engineering Research Center of Grape and Wine Education, Yinchuan 750021, China)

收稿日期: 2025-05-13; 接受日期: 2025-07-30

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划(2024BBF01003-3); 宁夏自然科学基金项目(2024AAC02025); 宁夏贺兰山东麓葡萄酒产业技术协同创新中心葡萄酒领域科技人才开放课题(CXZXKT2024011)

第一作者: 李明(ORCID:0000-0003-4413-8944), 副研究员, 主要从事葡萄生态学研究, E-mail: lm_y096@126.com

通讯作者: 张军翔(ORCID:0000-0002-9487-0247), 教授, 主要从事葡萄酒酿造研究, E-mail: zhangjunxiang@126.com

Abstract To investigate the impact of soil factors on the rhizosphere microbial community and berry quality of *Vitis vinifera* L. cv. ‘Cabernet Sauvignon’ in the Helan Mountain East Foothills, ‘Cabernet Sauvignon’ rhizosphere soil samples were collected from five different plots (designated as S1-S5) with consistent agronomic management practices in the Mengshaquan vineyard. Soil particle size, physicochemical properties, enzyme activities, microbial characteristics, and fruit quality were measured to analyze differences among indicators and explore the influence of soil texture on fruit quality. The results showed that: 1) The analysis results of soil particle size components, S1 to S3 were sandy clay loam, S4 was clay loam, and S5 was sandy loam. Analysis of soil properties across different textures revealed that total nitrogen, total phosphorus, alkali-hydrolyzed nitrogen, available potassium, water content, catalase activity, bacterial Observed_ASV, bacterial Chao1 index and ACE diversity index, fungal Observed_ASV, and fungal ACE diversity index all followed the pattern of sandy clay loam>clay loam>sandy loam. 2) At the phylum level, the bacterial communities were dominated by Proteobacteria and Actinobacteria, with Actinobacteria relative abundance ranked as S5>S1>S3>S2>S4. Fungal communities were dominated by Ascomycota and Mucoromycota, with Ascomycota relative abundance ranked as S4>S2>S1>S3>S5. Total phosphorus was the primary factor influencing bacterial and fungal community structure, followed by total nitrogen. 3) Soluble solids content (SSC) of the grape berries was ranked as S3>S2>S4>S1>S5, and reducing sugar content S3>S5>S2>S1>S4. Tannin and total phenolic contents were both ranked as S2>S4>S5>S1>S3. 4) Total phosphorus, available potassium, electrical conductivity, catalase, urease, alkaline phosphatase, and amylase were the main factors leading to significantly higher SSC and reducing sugar content in S3 soil compared to those in other soil textures ($P<0.05$). In S2, higher levels of organic matter, available phosphorus, pH, silt, and amylase contributed to significantly higher tannin and total phenolic contents compared to those in other soil textures ($P<0.05$). In conclusion, the sandy loam soil in this study characterized by higher total phosphorus, organic matter, alkaline phosphatase, and clay content are more conducive for microbial colonization and the growth of *Vitis vinifera* L. cv. ‘Cabernet Sauvignon’.

Keywords Helan Mountain East Foothills; soil textures; ‘Cabernet Sauvignon’; microbial community structure and diversity; wine grape fruit quality

‘赤霞珠’(*Vitis vinifera* L. cv. ‘Cabernet Sauvignon’)原产于法国波尔多,是世界上栽培范围最为广泛的葡萄品种,也是目前宁夏贺兰山东麓产区的主栽品种,该品种酿制的葡萄酒具有口感醇厚、香气浓郁的特点。作为我国生产优质酿酒葡萄和葡萄酒的黄金地带,宁夏贺兰山东麓葡萄酒产区土壤资源丰富,气候干旱少雨,光照充足,昼夜温差大,具有生产酿酒葡萄的最佳水、土、光、热资源组合。由于该区域受纬度地带性的影响,土壤质地存在一定差异,其物理与化学指标均表现出相应的空间差异性。生物多样性与土壤质地异质性具有显著相关性,土壤颗粒结构和粒级的异质性不仅导致微生物生存环境的多样化,还导致微生物群落生态位分化^[1-2]。土壤粒级的变化直接影响土壤的水分、肥力、空气和热量,调节土壤养分,进而影响土壤微生物群落^[3-6],同样微生物也会调节其周围环境的异质性^[2]。特定微生物群落与黏粒和细沙粒表现为共生关系^[2],土壤粒径的异质性在调节土壤微生物群落及微生物多样性中起着重要作用^[7]。研究不同质

地葡萄园土壤中微生物群落的多样性、组成结构特征,对土壤肥力提升与改良策略的制定具有重要的指导意义。

土壤类型对葡萄及葡萄酒品质具有较大影响,适宜的土壤质地对提高葡萄品质有积极影响,壤土土质疏松,通透性好,利于通气、排水,对葡萄还原糖、花色苷等酚类物质的积累有积极影响;而砂土土壤肥力低,易造成土壤养分、水分流失;黏土透气性差,对葡萄生长不利。王锐^[8]研究发现,生长在灰钙土上的葡萄总酚和单宁含量更高,而种植在灌溉淤积土土壤上的葡萄酿造的葡萄酒质量较低。张静文等^[9]研究发现,壤土养分含量较高,可以增加葡萄果实中可溶性固形物、总糖和维生素C含量,提高葡萄产量及品质;砂壤土孔隙度高,通气性好;砂黏壤土质地疏松,具有良好的透气和排水性,且该类土壤中较高的钾离子浓度可提高果实中类黄酮等酚类物质的含量^[10-11]。Ruan等^[12]研究发现,砂壤土地块所产‘赤霞珠’果实中的总酚和类黄酮等含量均显著高于黏壤土。程军等^[13]研究发现,砂壤土所

产‘赤霞珠’葡萄果实中总酚、类黄酮以及花色苷含量显著高于黏壤土,砂壤土疏松的质地更有利于葡萄果实的生长发育以及酚类物质的积累,葡萄及葡萄酒品质相对更好,也更耐储藏。

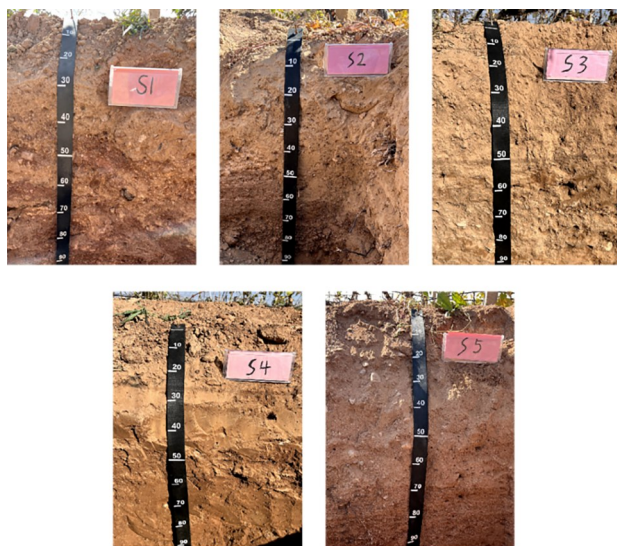
土壤类型对酿酒葡萄的养分和品质具有较大影响,因其养分、持水性和保水性有着显著差异。土壤异质性可能通过影响葡萄水分利用策略及次生代谢途径,导致葡萄果实糖酸含量和酚类物质积累等关键品质指标呈现空间分异,进而塑造葡萄酒的典型风格特征,影响葡萄酒产品的市场竞争力。岳泰新^[14]研究了砂质壤土、多砾石和壤质黏土3种土质下‘赤霞珠’葡萄浆果及葡萄酒品质,发现香气物质和酚类物质均存在显著差异。De Santis等^[15]研究发现,土壤对葡萄成熟参数有显著影响,土壤含沙量与酚类物质的浓度密切相关。宁琳等^[16]研究发现,银川永宁子产区地块因特殊的风沙土土壤类型,具有良好的透气性和排水性,进而导致该地块葡萄果实的总酚含量显著高于其他地块。诸多研究证实了土壤质地对酿酒葡萄(酒)品质具有重要影响。本研究拟对贺兰山东麓青铜峡子产区的梦沙泉葡萄园不同

质地土壤的粒径、理化性质、微生物群落和浆果品质特征进行分析,旨在解析不同质地土壤下‘赤霞珠’葡萄根际土壤微生物群落差异性,揭示土壤理化性质与葡萄根际微生物群落和浆果品质的关系,以期改善土壤结构,提升酿酒葡萄和葡萄酒品质,更好地了解贺兰山东麓产区驱动酿酒葡萄核心品质形成的关键土壤因子,同时也为筛选利用产区的本土特色微生物资源提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及材料

试验地选择位于宁夏贺兰山东麓青铜峡子产区的宁夏梦沙泉酒庄葡萄园(105°94′14″E, 38°06′25″N)。该地区年平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$,有效积温 $1\,534.9^{\circ}\text{C}$,7—9月有效积温 961.6°C ,年降水量为 193.4 mm ,全年日照达 $3\,000\text{ h}$ 。地形起伏较小,较为平坦,沟壑小而浅,土壤侵蚀度较轻。试验选取局部气候、树龄、种植管理和施肥程度均相同的5块地,编号为S1~S5,土壤剖面图见图1。供试酿酒葡萄品种为‘赤霞珠’葡萄。



S1、S2和S3均为砂黏壤土,S4为黏壤土,S5为砂壤土。下同。

S1, S2 and S3 are all sandy clay loam, S4 is clay loam, S5 is sandy loam. The same below.

图1 不同质地土壤的剖面照片

Fig. 1 Soil profile pictures of different textures

1.2 测定指标及方法

2023年9月进行土壤样品采集,每个采样区内采用‘梅花’五点取样法,取靠近葡萄根系土壤,除去地面植被枯枝落叶,铲除表面 1 cm 左右的表土,

取样深度为 $1\sim 20\text{ cm}$,去除可见根和石砾后混合,过 2 mm 筛网后迅速运回实验室。采取的土壤样品分为3份:第1份自然风干后用于土壤理化性质检测;第2份于 4°C 保存,用于测定土壤酶活性;第3份

于-80℃保存,用于测定土壤微生物活性。

1.2.1 土壤理化性质和酶活性测定

土壤颗粒组成采用吸管法测定^[17]。土壤理化性质测定均参考《土壤分析技术规范》^[17],土壤总氮(Total nitrogen, TN)采用凯氏定氮法测定,碱解氮(Alkali hydrolyzed nitrogen, AN)采用碱解扩散法测定,土壤总磷(Total phosphorus, TP)和速效磷(Available phosphorous, AP)采用钼锑抗比色法测定,土壤有机质(Soil organic matter, SOM)含量采用重铬酸钾容量法检测,土壤速效钾(Available potassium, AK)采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定。土壤pH使用赛多利斯科学仪器(北京)有限公司的酸度计测定,电导率(Electrical conductivity, EC)使用上海仪电科学仪器股份有限公司的电导率仪测定。土壤酶活性测定指标主要包括过氧化氢酶(Catalase, CAT)、脲酶(Urease, URE)、纤维素酶(Cellulase, S-CL)、碱性磷酸酶(Alkaline phosphatase, ALP)、淀粉酶(Amylase, S-AL)和蔗糖酶(Sucrase, SUC),具体测定方法参照陈婉华等^[18]的研究。

1.2.2 葡萄品质指标测定

参照乐小凤等^[19]方法,将葡萄破碎取汁后,使用PAL-1糖度计测定葡萄可溶性固形物含量;斐林试剂滴定法测定葡萄还原性糖含量^[20],结果以葡萄糖计;氢氧化钠滴定法测定葡萄可滴定酸含量^[20];总酚含量测定采用福林-肖卡法^[21];单宁含量测定采用甲基纤维素沉淀法^[22]。

1.2.3 根际土壤微生物群落结构分析

采用北京诺禾致源生物信息科技有限公司的土壤基因组快速抽提试剂盒提取土壤样品基因组DNA,通过NanoDrop对DNA的浓度及纯度进行检

测。对细菌16S rRNA基因序列的片段和真菌ITS DNA基因序列的片段进行PCR扩增,扩增产物使用2%浓度的琼脂糖凝胶进行电泳检测,检测PCR产物浓度,纯化后的产物用美国Thermo Scientific公司提供的GeneJET胶回收试剂盒回收,合格后使用Illumina Miseq测序,测序工作由北京诺禾致源科技股份有限公司完成。

1.3 数据分析及统计

使用R(v3.4.1)软件进行Wilcoxon秩和检验分析微生物群落 α 多样性(Simpson指数)。 α 多样性分析采用ACE指数和Chao1指数评价群落丰富度,Simpson指数和Shannon指数评价群落多样性。采用基于Bray-Curtis差异的主坐标分析(Principal coordinates analysis, PCoA),定量分析不同类型质地土壤‘赤霞珠’根际微生物群落的差异,利用R软件生成分析图。采用冗余分析(Redundancy analysis, RDA)方法研究根际土壤微生物群落在门水平上的相对丰度与根际土壤性质的关系。运用Spearman相关性分析进行细菌和真菌门与土壤理化性质、酶活性和葡萄品质之间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质分析

由表1可知,S1和S4土壤黏粒含量显著高于S3和S5($P<0.05$),S4粉粒含量显著高于其他土壤($P<0.05$),S5砂粒含量显著高于其他土壤($P<0.05$)。根据GB/T 17296—2009《中国土壤分类与代码》^[23]分级标准绘制不同质地土壤粒径分布三元图见图2。S1、S2和S3均为砂黏壤土,S4为黏壤土,S5为砂壤土,3种质地土壤的不同粒径占比差异均达到

表1 不同质地土壤粒径分析

Table 1 Particle size analysis of soil with different textures

土壤样品 Soil sample	<2 μm 黏粒/% <2 μm clay	2~20 μm 粉粒/% 2-20 μm silt	20~2 000 μm 砂粒/% 20-2 000 μm sand	土壤质地 Soil texture
S1	31.06±3.28 a	13.66±1.60 e	55.28±4.01 b	砂黏壤土
S2	23.99±2.66 ab	18.69±1.37 c	57.33±3.22 b	砂黏壤土
S3	23.79±5.68 bc	22.53±5.11 b	53.68±10.64 b	砂黏壤土
S4	31.37±3.09 a	27.40±3.40 a	45.23±6.33 c	黏壤土
S5	22.36±3.80 c	15.92±2.76 d	79.91±6.33 a	砂壤土

注:同列数据后不同字母代表在0.05水平上差异显著。下同。

Note: Different letters in the same column represent significant differences at the 0.05 level. The same below.

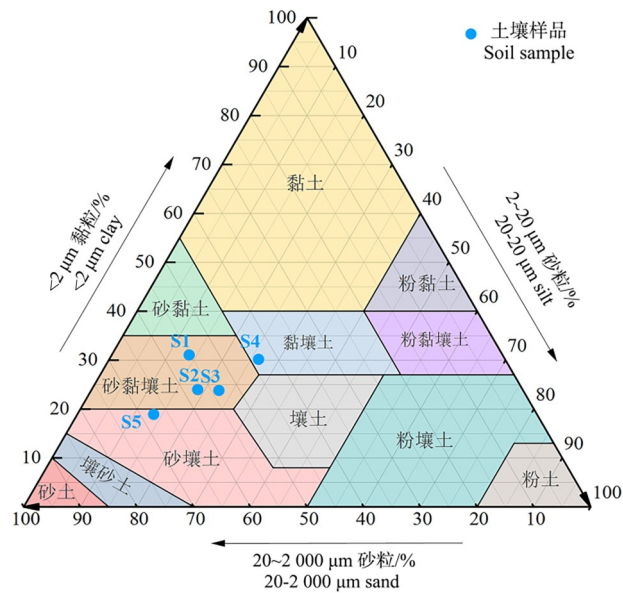


图2 不同质地土壤粒径分布三元图

Fig. 2 Ternary diagram of particle size distribution of different soil textures

显著水平($P<0.05$)。由表2可知,S4土壤的总氮、总磷、速效钾、电导率和土壤含水量分别显著高于S5 1 036.4%、77.77%、223.82%、353.63%和79.40% ($P<0.05$);S2土壤有机质含量最高(7.70 g/kg),显著高于S5 57.79%($P<0.05$);S3土壤速效磷含量显著高于S2 168.06%($P<0.05$);S2土壤pH显著低于S1(3.82%)、S3(2.71%)和S4(2.69%)($P<0.05$);S5土壤电导率显著低于S2(59.34%)、S3(27.63%)和S4(53.63%)($P<0.05$);S5土壤含水量显著低于S4(44.26%, $P<0.05$)。

表2 不同质地土壤理化性质分析

Table 2 Analysis of physicochemical properties of different soil textures

指标 Index	S1	S2	S3	S4	S5
总氮/(g/kg) Total nitrogen	0.63±0.04 b	0.38±0.09 c	0.35±0.07 c	1.25±0.10 a	0.11±0.08 d
总磷/(g/kg) Total phosphorus	5.75±0.41 c	6.85±0.07 b	6.52±0.22 bc	7.89±0.71 a	4.44±0.11 d
土壤有机质/(g/kg) Soil organic matter	6.45±0.55 b	7.70±0.48 a	6.03±0.91 bc	5.14±0.33 c	4.88±0.81 c
碱解氮/(mg/kg) Alkali hydrolyzed nitrogen	13.86±0.43 a	14.14±0.98 a	16.58±3.51 a	16.82±4.22 a	12.44±1.03 a
速效磷/(mg/kg) Available phosphorus	3.68±0.42 b	2.16±0.14 c	5.76±0.95 a	3.82±1.13 b	2.96±0.63 bc
速效钾/(mg/kg) Available potassium	110.00±3.97 b	119.00±18.19 b	136.16±24.83 ab	156.50±11.00 a	48.33±10.77 c
pH	8.43±0.14 a	8.12±0.03 b	8.34±0.03 a	8.33±0.06 a	8.20±0.01 b
电导率/(μs/cm) Electrical conductivity	51.10±1.32 c	79.24±6.86 a	63.47±3.86 b	76.40±9.68 a	49.73±0.60 c
土壤含水量/% Soil moisture content	10.63±0.50 d	13.47±0.75 b	12.10±0.40 c	16.63±1.10 a	9.27±0.51 e

注:同行数据后不同字母代表在0.05水平上差异显著。
Note: Different letters in the same row represent significant differences at the 0.05 level.

2.2 不同质地‘赤霞珠’葡萄园土壤酶活性分析

由表 3 可知,3 种不同质地土壤过氧化氢酶活性存在显著性差异($P<0.05$),过氧化氢酶活性 $S4>S1>S2>S3>S5$, $S4$ 显著高于 $S5$ (48.72%, $P<0.05$);脲酶活性 $S2>S3>S4>S1>S5$, $S2$ 显著高于 $S5$ (148.25%, $P<0.05$);纤维素酶活性 $S5>$

$S2>S3>S4>S1$, $S5$ 显著高于 $S1$ (97.56%, $P<0.05$);碱性磷酸酶活性 $S3>S1>S2>S4>S5$, $S3$ 显著高于 $S5$ (77.78%, $P<0.05$);淀粉酶活性 $S2>S4>S3>S1>S5$, $S2$ 显著高于 $S5$ (86.67%, $P<0.05$);蔗糖酶活性 $S1>S4>S5>S3>S2$, $S1$ 显著高于 $S2$ (124.65%, $P<0.05$)。

表 3 不同质地土壤酶活性分析

Table 3 Analysis of enzyme activities of soil with different textures

土壤样品 Soil sample	过氧化氢酶/ (mg/g) Catalase	脲酶/ (μg/g) Urease	纤维素酶/ (U/g) Cellulase	碱性磷酸酶/ (mg/g) Alkaline phosphatase	淀粉酶/ (U/g) Amylase	蔗糖酶/ (mg/g) Sucrase
S1	6.04±0.17 b	144.56±5.36 c	1.23±0.14 d	0.31±0.01 a	0.93±0.07 b	8.02±0.50 a
S2	5.87±0.13 b	221.49±8.80 a	1.81±0.07 b	0.30±0.01 a	1.40±0.11 a	3.57±0.62 b
S3	5.76±0.21 b	198.92±8.31 ab	1.64±0.13 bc	0.32±0.02 a	1.06±0.14 ab	3.59±0.53 b
S4	6.96±0.15 a	193.88±8.04 b	1.39±0.12 cd	0.25±0.01 b	1.07±0.09 ab	4.27±0.65 b
S5	4.68±0.19 c	89.22±7.39 d	2.43±0.09 a	0.18±0.01 c	0.75±0.07 b	4.15±0.55 b

2.3 ‘赤霞珠’根际细菌和真菌群落的 α 多样性分析

利用 OTU 计算了各样本细菌和真菌群落的多多样性指数,结果分别见表 4 和表 5。由表 4 可知,物种丰度在 $S1$ 中最高, $S5$ 中最低; $S5$ 中观察数、丰富度 $Chao1$ 指数和 ACE 指数分别显著低于 $S1$ 24.48%、29.85% 和 29.89% ($P<0.05$)。由表 5 可知,真菌物种丰度在各个土壤样品中差异不显著($P>0.05$)。

对各样品细菌和真菌群落数据的 OTUs 组成进行非度量多维尺度 (Non-metric multidimensional

scaling, NMDS) 分析,探究土壤微生物群落 β 多样性在不同质地土壤微生物群落的差异,结果见图 3。由图 3(a) 可知,各样品细菌群落物种组成相似度表明, $S1$ 、 $S2$ 和 $S3$ 土壤的物种组成相似, $S4$ 和 $S5$ 葡萄根际细菌群落分布距离其余采样点较远,细菌群落组成与其他样点差异较大。由图 3(b) 可知,各样品真菌群落物种组成相似度表明, $S1$ 、 $S2$ 、 $S3$ 和 $S4$ 土壤的物种组成相似, $S5$ 葡萄根际土壤真菌群落组成距离其余点较远,物种组成与其余点差异较大。

表 4 不同质地土壤细菌群落的 α 指数

Table 4 Alpha index of different texture types of soil bacterial communities

土壤 样品 Soil sample	观察数 Observed_ASV	Chao1 指数 Chao1 index	ACE 指数 ACE index	Shannon 指数 Shannon index	Simpson 指数 Simpson index	覆盖度 Coverage
S1	2 735.17±112.63 a	3 480.56±191.87 a	3 496.76±176.66 a	9.57±0.09 a	1.00±0.00 a	0.97±0.00 b
S2	2 610.00±208.18 ab	3 377.12±547.87 ab	3 262.45±335.99 ab	9.57±0.22 a	1.00±0.00 a	0.98±0.00 ab
S3	2 417.00±287.50 ab	2 907.15±461.67 ab	2 972.98±475.84 ab	8.95±0.88 a	0.98±0.02 a	0.98±0.02 ab
S4	2 301.50±300.20 ab	2 884.68±416.32 ab	2 876.90±380.64 ab	9.02±0.77 a	0.99±0.02 a	0.98±0.02 ab
S5	2 197.33±736.01 b	2 680.43±988.70 b	2 692.13±992.98 b	8.85±1.04 a	0.98±0.02 a	0.98±0.02 a

表5 不同质地土壤真菌群落的α指数
Table 5 Alpha index of different texture types of soil fungal communities

土壤样品 Soil sample	观察数 Observed_ASV	Chao1 指数 Chao1 index	ACE 指数 ACE index	Shannon 指数 Shannon index	Simpson 指数 Simpson index	覆盖度 Coverage
S1	497.83±67.41 a	539.43±83.31 a	550.14±88.10 a	5.38±0.51 a	0.88±0.14 a	1.00±0.00 a
S2	520.00±75.31 a	571.11±98.67 a	580.10±100.23 a	5.16±0.95 a	0.87±0.09 a	1.00±0.00 a
S3	459.50±71.00 a	548.30±69.43 a	542.36±76.93 a	4.54±0.76 a	0.93±0.04 a	1.00±0.00 a
S4	462.83±74.14 a	516.13±62.60 a	518.21±67.98 a	5.19±0.52 a	0.94±0.03 a	1.00±0.00 a
S5	432.50±81.97 a	473.45±71.09 a	485.01±80.72 a	4.74±0.44 a	0.93±0.03 a	1.00±0.00 a

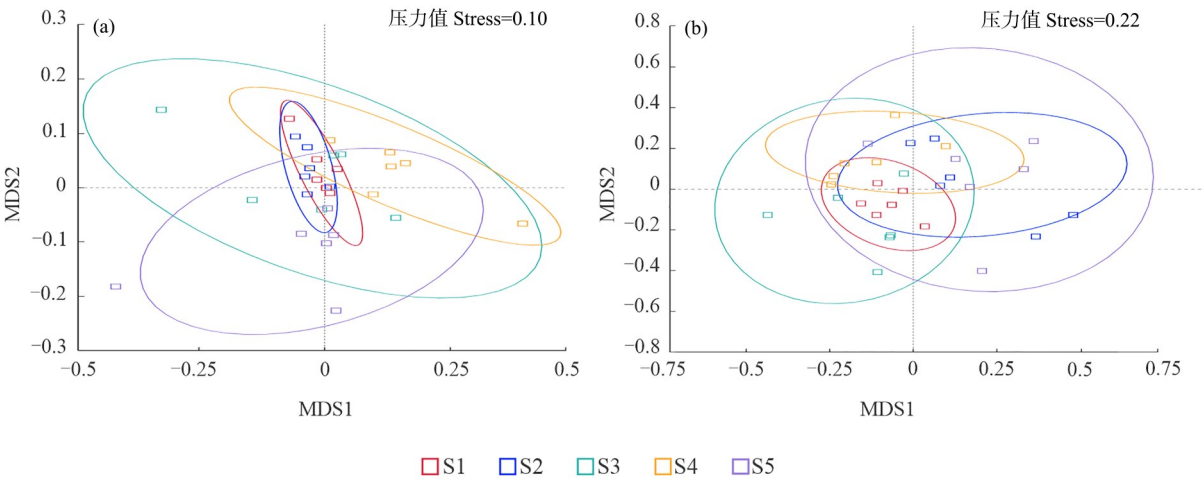


图3 不同质地土壤根际细菌(a)和真菌(b)群落结构差异分析

Fig. 3 Analysis of differences in community structure of rhizosphere bacteria (a) and fungi (b) among different soil textures

2.4 不同质地土壤‘赤霞珠’根际微生物门水平物种相对丰度

由图4(a)可知,基于门分类学水平,在不同质地土壤样品中,鉴定出平均相对丰度>2%的细菌群分别为变形菌门(Proteobacteria, 21.76%)、放线菌门(Actinobacteria, 29.22%)、芽单胞菌门(Gemmatimonadetes, 14.56%)、酸杆菌门(Acidobacteria, 9.94%)、绿弯菌门(Chloroflexi, 7.35%)、拟杆菌门(Bacteroidetes, 3.32%)、泉古菌门(Crenarchaeota, 2.23%)和黏细菌门(Myxococcota, 2.79%);变形菌门和放线菌门的平均相对丰度在不同质地类型土壤中相对于其他细菌门均>20%,作为优势菌门在梦沙泉葡萄园土壤养分循环中发挥了重要作用。变形菌门相对丰度为S1>

S2>S5>S4>S3,各样点间差异不显著;放线菌门相对丰度为S5>S1>S3>S2>S4,S5相对丰度相比S4显著提高54.54%($P<0.05$);芽单胞菌门相对丰度为S4>S3>S1>S2>S5,S4相对丰度相比S5显著提高122.22%($P<0.05$);酸杆菌门相对丰度为S4>S3>S1>S2>S5,S4相对丰度相比S5显著提高50.00%($P<0.05$);绿弯菌门相对丰度为S5>S4>S1>S3>S2,S5相对丰度相比S2显著提高28.57%($P<0.05$)。由图4(b)可知,子囊菌门(Ascomycota)、毛霉菌门(Mucoromycota)、担子菌门(Basidiomycota)和真菌门未定类群(Fungi_phy_Incertae_sedis)共占真菌门相对丰度约80%。各样地土壤真菌群落结构和相对丰度差异明显,土壤中子囊菌门和担子菌门

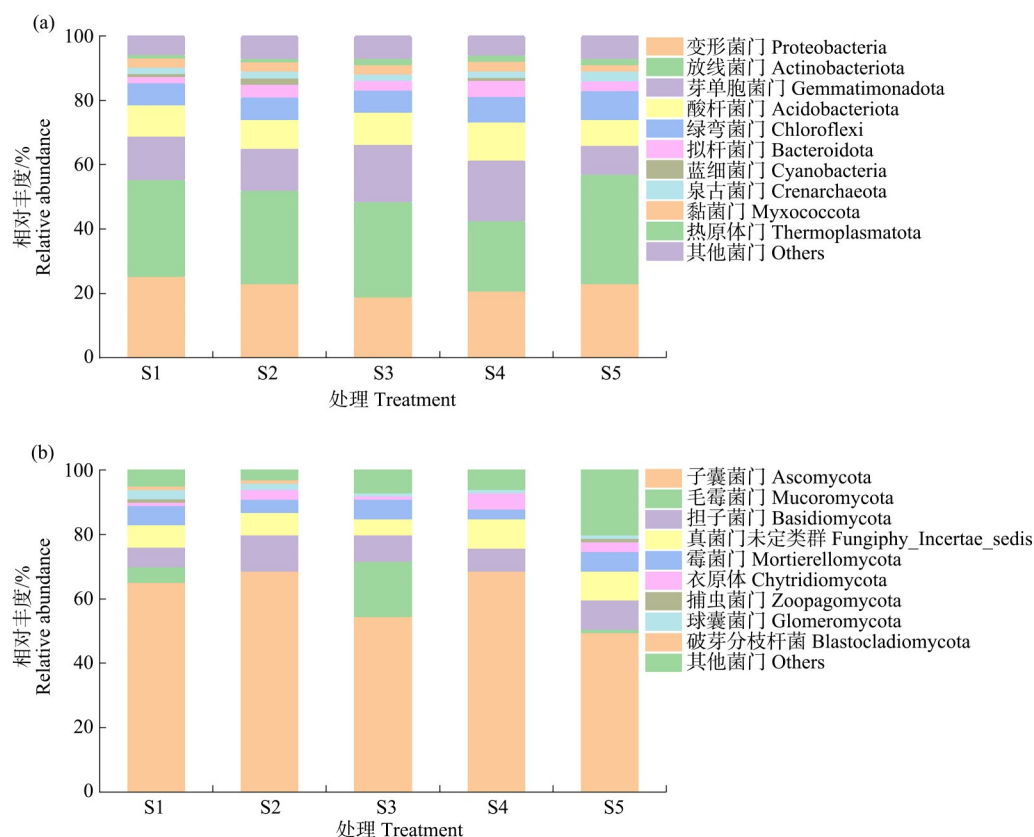


图4 不同质地土壤根际细菌(a)和真菌(b)门水平相对丰度变化

Fig. 4 Changes in the relative abundance of bacterial (a) and fungal (b) phyla at the rhizosphere level across different soil textures

相对丰度占比>50%。子囊菌门相对丰度为S4>S2>S1>S3>S5,其中S4相对丰度比S5显著提高38.78%($P<0.05$);毛霉菌门相对丰度为S3>S1>S5>S2>S4, S3相对丰度比S4显著提高1600.00%($P<0.05$);担子菌门相对丰度为S2>S5>S3>S4>S1, S2相对丰度比S1显著提高83.33%($P<0.05$);真菌门未定类群相对丰度为S5>S4>S1>S2>S3, S5相对丰度比S3显著提高80.00%($P<0.05$)。

2.5 环境因子与微生物种群相关性分析

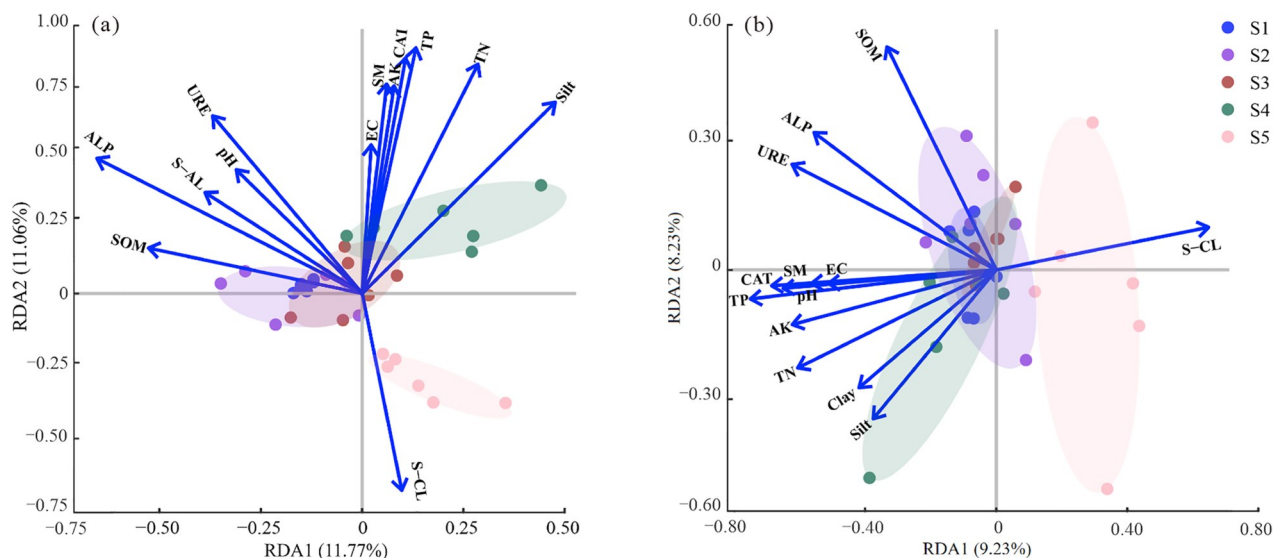
将各处理土壤化学性质、酶活性与相对丰度排名前10的优势菌门进行冗余分析,结果见图5。由图5(a)可知,排序轴累积贡献率为22.83%,可解释3种土壤细菌群落结构与土壤理化性状和酶活性之间的关系。影响细菌群落差异的主要因子是速效钾、土壤有机质、土壤含水量、总磷、总氮、pH、电导率、粉粒、砂粒、过氧化氢酶、脲酶、纤维素酶、碱性磷酸酶和淀粉酶($P<0.05$),土壤总磷与细菌群落

结构的相关性最高($R^2=0.71$, $P=0.001$),其次是总氮($R^2=0.67$, $P=0.001$)。

由图5(b)可知,排序轴累积贡献率为17.46%,解释了3种土壤真菌群落结构与土壤理化性状和酶活性之间的关系。影响真菌群落差异的主要因子是速效钾、土壤有机质、土壤含水量、总磷、总氮、pH、EC、黏粒、粉粒、砂粒、过氧化氢酶、脲酶、纤维素酶和碱性磷酸酶($P<0.05$),土壤总磷与真菌群落结构的相关性最高($R^2=0.54$, $P=0.001$),其次是过氧化氢酶($R^2=0.44$, $P=0.001$)。

2.6 土壤理化性质和酶活性与微生物种群相关性分析

由图6(a)可知,速效钾与芽单胞菌门和酸杆菌门呈显著正相关($P<0.05$),与泉古菌门呈显著负相关($P<0.05$);碱解氮与酸杆菌门和黏细菌门呈显著正相关($P<0.05$);土壤有机质与绿弯菌门呈显著负相关($P<0.05$),与蓝细菌门呈显著正相关($P<0.05$);土壤含水量与放线菌门呈显著负相关



AP: 速效磷; AK: 速效钾; AN: 碱解氮; SOM: 土壤有机质; SM: 土壤含水量; TP: 总磷; TN: 总氮; pH: 酸碱度; EC: 电导率; Clay: 黏粒; Silt: 粉粒; Sand: 砂粒; CAT: 过氧化氢酶; URE: 脲酶; S-CL: 纤维素酶; ALP: 碱性磷酸酶; S-AL: 淀粉酶; SUC: 蔗糖酶。

AP: available phosphorus; AK: available potassium; AN: alkali hydrolyzed nitrogen; SOM: soil organic matter; SM: soil moisture content; TP: total phosphorus; TN: total nitrogen; EC: electrical conductivity; CAT: catalase; URE: urease; S-CL: cellulase; ALP: alkaline phosphatase; S-AL: amylase; SUC: sucrase.

图5 细菌(a)和真菌(b)群落与土壤环境因子的冗余分析(RDA)

Fig. 5 Redundancy analysis (RDA) of bacterial (a) and fungal (b) communities with soil environmental factors

($P < 0.05$), 与芽单胞菌门、酸杆菌门、拟杆菌门和蓝细菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 总磷与放线菌门呈显著负相关($P < 0.05$), 与芽单胞菌门、酸杆菌门、拟杆菌门和蓝细菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 总氮与放线菌门呈显著负相关($P < 0.05$), 与芽单胞菌门和酸杆菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 电导率与放线菌门呈显著负相关($P < 0.05$), 与芽单胞菌门和拟杆菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 黏粒与蓝藻门呈显著正相关($P < 0.05$); 粉粒与黏菌门、芽单胞菌门、酸杆菌门和拟杆菌门呈显著正相关($P < 0.05$), 与放线菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 砂粒与放线菌门和泉古菌门呈显著正相关($P < 0.05$), 与芽单胞菌门和酸杆菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 过氧化氢酶与放线菌门呈显著负相关($P < 0.05$), 与芽单胞菌门和酸杆菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 脲酶与蓝细菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 纤维素酶与芽单胞菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 碱性磷酸酶与绿弯菌门呈显著负相关($P < 0.05$), 与蓝细菌门呈显著正相关($P < 0.05$)。

由图 6(b)可知, 速效钾与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 土壤含水量与子囊菌门呈显著正相关($P < 0.05$), 与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 总磷与子囊菌门呈显著正相关($P < 0.05$), 与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 总氮与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); pH 与捕虫菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 电导率与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 粉粒与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 砂粒与钙孢菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 过氧化氢酶与子囊菌门呈显著正相关($P < 0.05$), 与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 脲酶与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 碱性磷酸酶与球囊菌门呈显著正相关($P < 0.05$)。

0.05); 总磷与子囊菌门呈显著正相关($P < 0.05$), 与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 总氮与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); pH 与捕虫菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 电导率与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 粉粒与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 砂粒与钙孢菌门呈显著正相关($P < 0.05$); 过氧化氢酶与子囊菌门呈显著正相关($P < 0.05$), 与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 脲酶与钙孢菌门呈显著负相关($P < 0.05$); 碱性磷酸酶与球囊菌门呈显著正相关($P < 0.05$)。

2.7 不同质地土壤葡萄浆果品质评价及其环境影响因子分析

由表 6 可知, 葡萄浆果可溶性固形物含量 $S3 > S2 > S4 > S1 > S5$, $S3$ 显著高于 $S5$ 10.97% ($P < 0.05$); 还原糖含量 $S3 > S5 > S2 > S1 > S4$, $S3$ 显著高于 $S5$ 29.90% ($P < 0.05$); 可滴定酸含量 $S2 > S4 > S5 > S1 > S3$, $S2$ 显著高于 $S3$ 73.40% ($P < 0.05$); 单宁含量 $S2 > S1 > S5 > S4 > S3$, $S4$ 显著高于 $S3$ 62.31% ($P < 0.05$); 总酚含量 $S2 > S1 > S5 > S4 > S3$, $S2$ 显著高于 $S3$ 64.69% ($P < 0.05$)。

由表 7 可知, 第 1 主成分的特征值为 2.46, 方差贡献率为 49.16%; 第 2 主成分的特征值为 1.55, 方

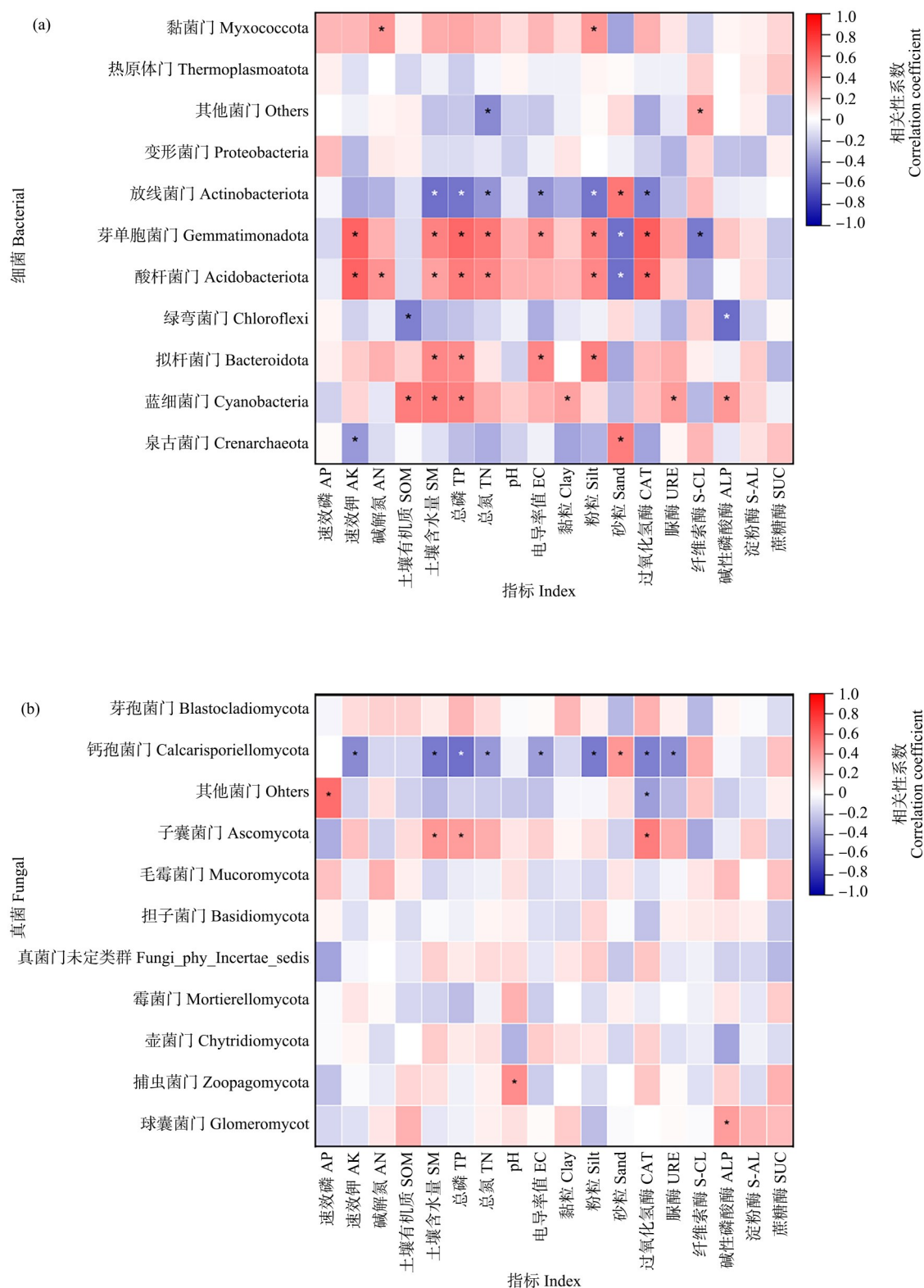


图6 门水平细菌(a)和真菌(b)群落与土壤环境因子的相关性

Fig. 6 Correlation between bacterial (a) and fungal (b) communities at phylum level and soil environmental factors

表6 不同质地土壤‘赤霞珠’葡萄浆果品质特征分析

Table 6 Analysis of berry quality characteristics of ‘Cabernet Sauvignon’ grapes in different soil textures

土壤样品 Soil sample	可溶性固形物/% Soluble solids	还原糖/(g/L) Reducing sugar	可滴定酸/(g/L) Titratable acid	单宁/(mg/g) Tannin	总酚/(mg/g) Total phenol
S1	22.97±0.37 c	250.98±0.35 c	4.30±0.05 c	5.71±0.20 b	4.51±0.02 b
S2	23.67±0.06 b	265.24±2.07 b	5.40±0.05 a	6.33±0.04 a	6.11±0.03 a
S3	24.67±0.02 a	275.90±1.82 a	3.14±0.05 d	3.90±0.06 e	3.71±0.02 e
S4	23.14±0.03 c	212.40±0.47 d	5.33±0.05 a	4.20±0.04 d	3.96±0.02 d
S5	22.23±0.06 d	275.80±1.17 a	4.89±0.04 b	4.50±0.04 c	4.39±0.03 c

表7 葡萄浆果各指标因子的特征值和累计方差贡献率

Table 7 Eigenvalues and cumulative variance contribution rate of each indicator factor in grape berries

品质指标 Quality index	主成分1 PC1	主成分2 PC2	主成分3 PC3
可溶性固形物 Soluble solids	−0.33	0.44	0.75
还原糖 Reducing sugar	−0.09	0.65	−0.63
可滴定酸 Titratable acid	0.55	−0.35	0.06
单宁 Tannin	0.53	0.35	0.15
总酚 Total phenol	0.55	0.38	0.13
特征值 Eigenvalues	2.46	1.55	0.75
方差贡献率/% Variance contribution rate	49.16	31.09	15.04
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	49.16	80.25	95.29

差贡献率为31.09%；第3主成分的特征值为0.75，方差贡献率为15.04%；3个主成分累计方差贡献率达到95.29%，可以反映90%以上果实品质特征的信息。因此，将表6中的5个葡萄浆果品质特征指标用提取出的3个主要成分代替，达到降维目的。在主成分中特征值越大，代表性越大(表7)，得到3个主成分的函数表达式：

$$F_1=-0.33X_1-0.09X_2+0.55X_3+0.53X_4+0.55X_5$$

(1)

$$F_2=0.44X_1+0.65X_2-0.35X_3+0.35X_4+0.38X_5$$

(2)

$$F_3=0.75X_1-0.63X_2+0.06X_3+0.15X_4-0.13X_5$$

(3)

式中： F_1 、 F_2 和 F_3 分别为主成分1、主成分2和主成分3的得分； $X_1\sim X_5$ 分别为可溶性固形物、还原糖、可滴定酸、单宁和总酚经标准化处理后的值。

将各主成分对应的方差贡献率在累积贡献率所占比例为权重，根据主成分得分和对应的权重求得综合得分模型为：

$$ZF=0.52U1+0.33U2+0.16U3$$

(4)

式中：ZF为综合得分，得分越高代表果实品质越好； $U1\sim U3$ 为所有指标的隶属函数值。在综合评分中，S2得分最高，其他土壤综合得分从高到低依次是S1、S3、S4和S5(表8)。

由表9可知，葡萄浆果可溶性固形物含量与速效钾、总磷、电导率、粉粒、脲酶和碱性磷酸酶呈显著正相关($P<0.05$)；还原糖含量与速效钾、土壤含水量、总磷、总氮、pH、黏粒、粉粒和过氧化氢酶呈显著负相关($P<0.05$)，与砂粒和纤维素酶呈显著正相关($P<0.05$)；可滴定酸与土壤含水量呈显著正相关($P<0.05$)，与碱性磷酸酶呈显著负相关($P<0.05$)；单宁与土壤有机质呈显著正相关($P<0.05$)，与粉粒呈显著负相关($P<0.05$)；总酚与土壤有机质和淀粉酶呈显著正相关($P<0.05$)，与速效磷和pH呈显著负相关($P<0.05$)。

2.8 不同质地土壤微生物群落与葡萄浆品质相关性分析

由图7(a)可知，在细菌门水平上，葡萄还原糖

表 8 葡萄浆果品质的综合评价结果

Table 8 Comprehensive evaluation results of grape berry quality

土壤样品 Soil sample	主成分 Principal component			综合得分 Comprehensive score	排序 Ranking
	PC1	PC2	PC3		
S1	0.35	0.07	−0.99	0.32	2
S2	1.95	1.20	0.53	3.68	1
S3	−2.42	0.99	0.28	−1.15	3
S4	−0.06	−1.91	0.74	−1.24	4
S5	0.19	−0.35	−1.45	−1.61	5

表 9 土壤因子与葡萄浆果品质的相关性分析

Table 9 Correlation analysis between soil factors and the quality of grape berries

指标 Index	可溶性固形物 Soluble solids	还原糖 Reducing sugar	可滴定酸 Titratable acid	单宁 Tannin	总酚 Total phenol
速效磷 Available phosphorus	−0.12	0.08	−0.21	−0.34	−0.38*
速效钾 Available potassium	0.59**	−0.41*	−0.28	−0.24	−0.31
碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen	0.23	−0.21	0.08	−0.21	−0.11
土壤有机质 Soil organic matter	0.14	0.08	0.25	0.67**	0.69**
土壤含水量 Soil moisture content	0.28	−0.73**	0.42*	0.01	0.13
总磷 Total phosphorus	0.48**	−0.67**	0.19	−0.12	−0.04
总氮 Total nitrogen	−0.02	−0.94**	0.23	−0.20	−0.34
pH	0.18	−0.37*	−0.34	−0.04	−0.37*
电导率 Electric conductivity	0.36*	−0.49**	0.30	0.07	0.19
黏粒 Clay	−0.04	−0.40*	0.02	0.23	−0.06
粉粒 Silt	0.38*	−0.49**	0.06	−0.47**	−0.32
砂粒 Sand	−0.24	0.58**	−0.05	0.20	0.26
过氧化氢酶 Catalase	0.30	−0.76**	0.16	0.00	−0.11
脲酶 Urease	0.71**	−0.25	0.01	0.15	0.26
纤维素酶 Cellulase	−0.35	0.53**	0.16	−0.11	0.15
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.67**	0.04	−0.44*	0.22	0.10
淀粉酶 Amylase	0.39*	−0.08	0.19	0.33	0.44*
蔗糖酶 Sucrase	−0.28	−0.17	−0.10	0.24	−0.08

注：*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。下同。

Note: The significant differences are marked with * and ** at the levels of 0.05 and 0.01, respectively. The same below.

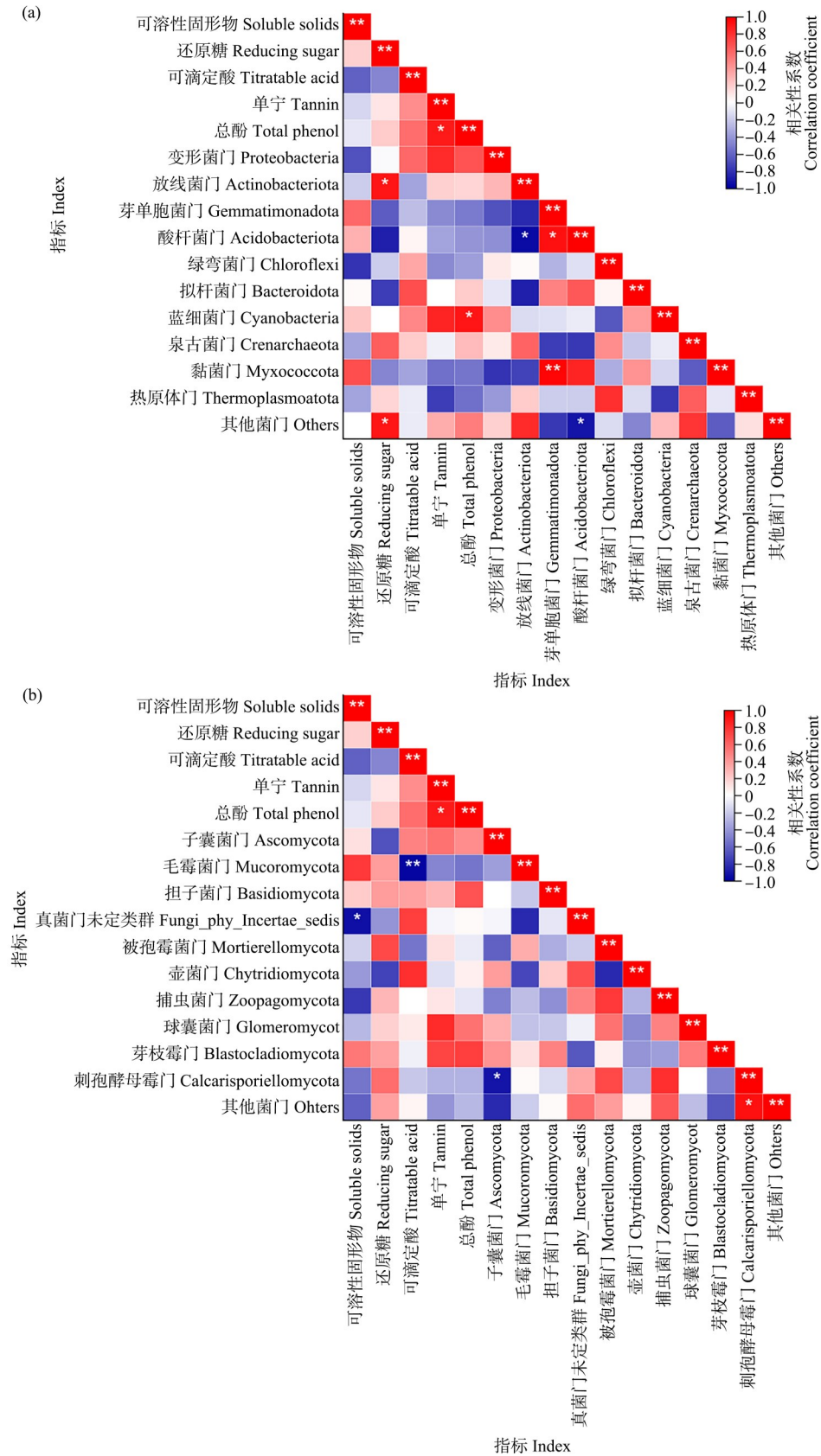


图7 土壤细菌(a)和真菌(b)群落与葡萄品质相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis between soil bacterial (a) and fungal (b) communities and grape quality

与放线菌门和其他菌门相对丰度均呈显著正相关($P<0.05$),总酚与蓝细菌门呈显著正相关($P<0.05$)。由图7(b)可知,在真菌门水平上,葡萄可溶性固形物与真菌门未定类群相对丰度呈显著负相关($P<0.05$),可滴定酸与毛霉门呈极显著负相关($P<0.01$)。

3 讨论

3.1 土壤质地及理化性质对‘赤霞珠’根际微生物群落组成的影响

不同质地土壤中富集的微生物群落具有显著差异。砂质黏壤土的Shannon、Simpson和Chao1多样性指数高于黏壤土和砂质壤土,分析原因是砂黏壤土中有机质均显著高于黏壤土和砂壤土,进而与土壤起始肥力水平及保肥性能差异有关^[24]。Lu等^[25]研究发现,细菌在黏壤土中的数量要高于壤土和砂质土壤,可能是由于黏壤土中相对较高的有机质含量和更为适合的pH值,更有利于细菌的生存与繁殖。综上,黏壤土较砂壤土的保水性好、有机质含量高,有利于微生物繁殖。

葡萄园土壤最丰富的细菌是变形菌门、酸杆菌门、拟杆菌门和放线菌门^[26]。本研究中,从细菌门水平上看,放线菌门的相对丰度在3种类型质地土壤中是优势种群,其中在砂壤土(S5)中相对丰度最高。放线菌门作为土壤中的优势微生物类群,能抑制土传病原真菌,促进土壤矿质元素活化,还可以提高土壤酶活性,改善根际土壤微生物生态组成,对根际土壤理化性质的改善具有重要作用^[27]。Spearman相关性分析表明砂粒含量与放线菌门的相对丰度显著正相关,李文超等^[28]研究发现,放线菌门是好气性微生物,土样含氧量较高的环境更适合放线菌门的生长,这在本研究中得到了验证。芽单胞菌门是土壤有益菌门,参与土壤氮素循环的反硝化过程,在营养较为贫瘠的土壤中相对富集^[29]。芽单胞菌门在砂壤土中相对丰度显著低于其他土壤,与土壤砂粒含量呈显著负相关,因此,芽单胞菌门较能适应湿润环境。本研究进一步验证了变形菌门和放线菌门虽然均偏好富氧环境,但放线菌门表现出对干燥环境和贫营养环境的独特适应性,芽单胞菌门和拟杆菌门在中性至微碱性环境具有较高丰度^[30]。绿弯菌门属于寡营养型细菌,多在氮素利用率较低的贫营养环境中占主导地位,主要参与

有机质分解^[31],本研究中绿弯菌门与土壤有机质显著负相关。酸杆菌门属于寡营养型,在营养贫瘠和缺氧的土壤中富集,与土壤砂粒含量呈显著负相关^[32],这与本研究结果相似,酸杆菌门在砂壤土中的相对丰度最低芽单胞菌门和酸杆菌门相对丰度在质地较细的砂质黏壤土中显著高于本研究中其他类型土壤。

本研究中真菌的主要优势类群是子囊菌门、毛霉菌门、担子菌门和真菌门未定类群,均为典型的腐生菌门,利于土壤环境且能分解有机物质,子囊菌门和担子菌门更适应土壤含水量较低及通气条件好的环境^[2],早期贫瘠土壤中一般以子囊菌门为主,随着时间的演替土壤中以担子菌门为主^[33]。子囊菌门的相对丰度在砂壤土(S4)中显著高于其他类型土壤,Spearman相关性分析表明子囊菌门与土壤含水量、总磷和过氧化氢酶显著正相关(图6(b)),这与子囊菌门与担子菌门有强烈的竞争性有关^[34],子囊菌门偏腐生,具有较强的有机质降解能力,在土壤营养较丰富的黏壤土(S4)中,子囊菌门可能占据了更多的生态位,表现出较高的相对丰度,同时子囊菌门表现出胁迫耐受性和竞争能力相关的基因组占优势^[35]。外生菌根真菌多为担子菌门,偏好与植物根系共生^[36],且担子菌门分解植物残体中的木质纤维素能力更强^[37]。担子菌门在砂质黏壤土(S2)中相对丰度显著高于其他类型土壤。钙孢菌门与土壤速效钾、含水量、总磷和总氮均呈显著负相关性,说明钙孢菌门不适宜富集在高养分土壤环境中。

通过冗余分析(图5)发现,细菌、真菌群落差异的主要因子是土壤速效钾、有机质、含水量、总磷、总氮、pH、电导率显著相关,这与李琼香等^[38]的研究一致。磷是土壤中最难利用的营养元素之一,在一定程度上影响细菌和真菌群落,较高的磷含量有助于维持更高的细菌和真菌多样性^[39]。本研究中总磷是土壤细菌($R^2=0.71$, $P=0.001$)和真菌($R^2=0.54$, $P=0.001$)群落最大的影响因子。在土壤细菌群落中,芽单胞菌门具有固氮、分解有机质、增加土壤通气性和保水性的作用,土壤过氧化氢酶的活性有助于促进有机物质的分解和养分释放,在本研究中二者呈显著正相关。过氧化氢酶不仅可以氧化过氧化氢,防止土壤污染,也能将酚类和胺类物质氧化为醌来参与腐殖质的合成^[40]。本试验

中,过氧化氢酶活性在3种质地类型土壤中表现为黏壤土(S4)>砂质黏壤土(S1)>砂质黏壤土(S2)>砂质黏壤土(S3)>砂质壤土(S5),这是因为黏壤土中各种养分显著高于其他质地类型土壤(表2和表3),这些丰富的养分更有助于建立有益微生物与植物根际共生的关系,提高植物根际酶的活性^[41]。同时,本试验中芽单胞菌门与总氮和碱解氮也显著正相关。总氮、碱解氮和过氧化氢酶均在黏壤土(S4)中显著高于其他土壤,说明在本研究区域黏壤土中的养分循环更为顺畅,肥力水平较高(表2和表3)。不同质地土壤中粉粒、砂粒和pH是影响不同质地土壤微生物群落结构和功能发生变化的共同因子(图3)。这与Lucas等^[42]对不同质地土壤微生物组成的研究结果相似,即构建微生物群落结构和组成方面,土壤质地是仅次于土壤pH的第二重要因素。

3.2 土壤质地及理化性质对‘赤霞珠’葡萄果实基本品质的影响

本研究发现砂黏壤土(S1、S2和S3)种植的‘赤霞珠’葡萄浆果品质显著优于其他地块,主成分分析显示S2土壤的浆果综合品质最好,且S3地块‘赤霞珠’果实的可溶性固形物含量最高,可滴定酸最低,此结果与王锐^[8]研究一致。Perin等^[43]研究发现,对于砂性较强的土壤,其热容高,昼夜温差大,排水和通气性好,有利于有机质的分解和养分的积累,但该类土壤基本营养元素含量一般较低,且水肥保持能力较差,因此,该类型土壤上所产的酿酒葡萄成熟速度快,可溶性糖含量高,酸度低。

磷元素参与植物碳水化合物的转化,促进多种酶的激活,磷元素的合理使用会使果实增产,对果实成熟有重要影响,过量磷元素会使植物呼吸作用旺盛,消耗体内的营养物质,使作物早熟、籽粒小、产量降低、品质下降^[44]。Qi等^[45]以贺兰山东麓的银川、青铜峡和红寺堡产区为研究区域,对土壤性质与葡萄品质进行相关性分析,发现土壤速效磷含量与葡萄可滴定酸含量呈显著负相关,本试验中速效磷与总酚呈显著负相关。钾元素对葡萄叶片叶绿素含量的积累和叶面积的增大具有促进作用^[46],可促进葡萄果实提前着色,增加果实粒重和纵横径,提高果实可溶性固形物含量,降低果实可滴定酸含量和果实硬度^[47]。本研究中速效钾与可溶性固形物呈显著正相关,此结果与王锐^[8]研究结果规律一致。氮元素可以促进植物生长,在开花前调节氮供

应,有利于葡萄中酚类物质的合成,同时对葡萄果实香气物质的合成有重要影响,氮元素对葡萄酒发酵也具有影响,酵母在发酵过程中需要酵母可同化氮,若葡萄果实中氮含量低将导致发酵缓慢或停滞^[48]。本研究中仅有可溶性糖与总氮呈显著负相关。有机质含量的增加有助于葡萄与葡萄酒中酚类物质含量的增加^[49]。本研究中土壤有机质与葡萄果实的单宁和总酚呈显著正相关,这与陈翔等^[50]研究结果一致,因此,若要确保酿酒葡萄的健康生长并获取优质酿酒葡萄原料,必须加大土壤有机培肥力度。土壤pH影响着葡萄植株对养分的吸收,与葡萄和葡萄酒品质密切相关,葡萄植株正常生长的pH为4.0~8.5,土壤酸性较大,对葡萄植株生长不利,而碱性过大,葡萄植株新梢就会发生黄叶病,因此,土壤pH在6.0~7.0时适宜葡萄植株生长^[51]。

3.3 土壤微生物群落对‘赤霞珠’葡萄果实基本品质的影响

植物根际微生物组在促进植物生长和养分吸收利用方面具有重要的调控作用。葡萄还原性糖与放线菌门和其他菌门相对丰度呈显著正相关,土壤中放线菌(Actinobacteriota)的存在能够有效地氧化分解动植物残骸,以达到土壤供肥的效果。本研究中放线菌与土壤砂粒含量呈显著正相关,S5中放线菌门相对丰度显著高于其他处理,S5土壤中砂粒含量最高,S5处理的葡萄还原糖含量最高,纤维素酶含量显著高于其他处理,推测砂粒含量较高的土壤中放线菌门可以通过调节纤维素酶而显著影响葡萄还原糖含量。总酚与蓝细菌门呈显著正相关,S2土壤中有机质和淀粉酶含量显著高于其他处理,因此,推测本研究中蓝细菌门通过调节淀粉酶而影响葡萄中总酚的含量。

4 结 论

本试验采集了梦沙泉葡萄园5块‘赤霞珠’葡萄样地,通过测定其土壤粒径、理化指标、酶活性、微生物群落多样性及果实品质等指标,分析各指标的差异性,探究了不同质地土壤对果实品质的影响。主要得出以下结论:

1)梦沙泉葡萄园土壤质地差异性显著,通过土壤粒径分析确定了3种不同质地土壤,分别为砂黏壤土、黏壤土和砂壤土。其中,总氮、总磷、碱解氮、速效钾和含水量在砂质壤土中含量最低,除纤维素

酶活性在砂质壤土中含量最高外,其他酶活性在砂质壤土中均处于最低值。相关分析结果表明土壤酶活性的变化与土壤含水量、总磷、pH、电导率、粉粒含量和有机质含量等显著相关。

2)3种类型质地的土壤细菌、真菌群落的多样性指数结果显示,物种丰度在砂质黏壤土中最高,在砂质壤土中最低,其中细菌物种丰度差异达到显著水平。主成分分析表明,砂质壤土和砂质黏壤土葡萄根际土壤细菌群落结构具有显著差异,从微生物物种丰富度角度也可显著区分3种不同质地的土壤。

3)3种类型质地土壤对葡萄果实品质有显著影响,经综合评价,本研究区域砂黏壤土(S1、S2和S3)的微生物多样性较其他两类土壤更为丰富,同时种植的‘赤霞珠’葡萄果实品质也较好。

参考文献 References

- [1] Martin D, Grose C, Fedrizzi B, Stuart L, Albright A, McLachlan A. Grape cluster microclimate influences the aroma composition of Sauvignon Blanc wine[J]. *Food Chemistry*, 2016, 210: 640-647
- [2] Seaton F M, George P B L, Lebron I, Jones D L, Creer S, Robinson D A. Soil textural heterogeneity impacts bacterial but not fungal diversity[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, 144: 107766
- [3] Six J, Bossuyt H, Degryze S, Denef K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics[J]. *Soil and Tillage Research*, 2004, 79(1): 7-31
- [4] Ren C, Liu K S, Dou P P, Li J H, Wang K. The changes in soil microorganisms and soil chemical properties affect the heterogeneity and stability of soil aggregates before and after grassland conversion [J]. *Agriculture*, 2022, 12(2): 307
- [5] Srivastava P, Singh R, Bhadouria R, Tripathi S, Raghubanshi A S. Temporal change in soil physicochemical, microbial, aggregate and available C characteristic in dry tropical ecosystem[J]. *Catena*, 2020, 190: 104553
- [6] 沈晓琳, 王丽丽, 赵建宁, 李刚, 修伟明, 杨其琛, 张贵龙. 耕作方式对潮土土壤团聚体微生物群落结构的影响[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(8): 2713-2721
Shen X L, Wang L L, Zhao J N, Li G, Xiu W M, Yang Q C, Zhang G L. Effects of tillage managements on soil microbial community structure in soil aggregates of fluvo-aquic soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(8): 2713-2721 (in Chinese)
- [7] Han S, Delgado-Baquerizo M, Luo X S, Liu Y R, Van Nostrand J D, Chen W L, Zhou J Z, Huang Q Y. Soil aggregate size-dependent relationships between microbial functional diversity and multifunctionality[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2021, 154: 108143
- [8] 王锐. 贺兰山东麓土壤特征及其与酿酒葡萄生长品质关系研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016
Wang R. Relationship between soil quality with grape growth and composition at the eastern foot of Helan mountain wine production regions[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016 (in Chinese)
- [9] 张静文, 岳朝阳, 刘爱华, 孔婷婷. 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, Kong T T. Multivariate analysis of relationship between soil nutrients and grape qualities for graperies in Xinjiang Manasi[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(7): 1606-1611 (in Chinese)
- [10] Tramontini S, van Leeuwen C, Domec J C, Destrac-Irvine A, Basteau C, Vitali M, Mosbach-Schulz O, Lovisolo C. Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grape-berry development[J]. *Plant and Soil*, 2013, 368(1): 215-230
- [11] van Leeuwen C, Barbe J C, Darriet P, Geffro O, Gomès E, Guillaumie S, Helwi P, Laboyrie J, Lytra G, Le Menn N, Marchand S, Picard M, Pons A, Schüttler A, Thibon C. Recent advancements in understanding the terroir effect on aromas in grapes and wines[J]. *Oeno One*, 2020, 4: 985-1006
- [12] Ruan J Y, Wu X, Härdter R. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of different types of tea[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1999, 79(1): 47-52
- [13] 程军, 李进, 刘晶晶, 赵新节, 杨阳, 孙玉霞, 管雪强, 丁燕. 土壤质地对‘赤霞珠’葡萄酚类物质积累及葡萄酒色泽稳定性的影响[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2022(3): 50-54
Cheng J, Li J, Liu J J, Zhao X J, Yang Y, Sun Y X, Guan X Q, Ding Y. Influence of soil texture on phenols accumulation in grape berry and wine color stability[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2022(3): 50-54 (in Chinese)
- [14] 岳泰新. 不同生态区酿酒葡萄与葡萄酒品质的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015
Yue T X. Study on wine grape and wine quality from different ecological regions[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015
- [15] De Santis D, Frangipane M T, Brunori E, Cirigliano NO P, Biasi R. Biochemical markers for enological potentiality in a grapevine aromatic variety under different soil types[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 2017, 68(1): 100-111
- [16] 宁琳, 李文超, 杨彭程, 马丹阳, 王振平, 李栋梅. 贺兰山东麓不同风土条件下霞多丽葡萄果实和葡萄酒酚类物质特征分析[J]. *果树学报*, 2025, 42(9): 2043-2056
Ning L, Li W C, Yang P C, Ma D Y, Wang Z P, Li D M. Analysis and comparison of the phenolic compounds of Chardonnay grape in different terroir[J]. *Journal of Fruit Science*, 2025, 42(9): 2043-2056 (in Chinese)
- [17] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M]. 第2版. 北京: 中国农业出版社, 2006
National Agricultural Technology Extension Service Center. *Technical Specification for Soil Analysis*[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2006 (in Chinese)
- [18] 陈婉华, 袁伟, 王子阳, 周正萍, 刘世平. 不同耕作方式与秸秆还田对土壤酶活性及水稻产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(7): 162-169
Chen W H, Yuan W, Wang Z Y, Zhou Z P, Liu S P. Effects of different tillage methods and straw returning treatments on soil enzyme activities and rice yield[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2022(7): 162-169 (in Chinese)
- [19] 乐小凤, 唐永红, 鞠延伦, 郭水欢, 赵亚蒙, 惠竹梅, 张振文. 果实粒径对‘美乐’和‘蛇龙珠’葡萄果实品质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(5): 1-7
Yue X F, Tang Y H, Ju Y L, Guo S H, Zhao Y M, Xi Z M, Zhang Z W. Effect of berry size on the quality of ‘Merlot’ and ‘Cabernet Gernischt’ grapes[J]. *Food Science*, 2019, 40(5): 1-7 (in Chinese)
- [20] 魏春雨, 朱道洋, 上官修蕾, 余晓斌. 不同酿酒酵母对黑果腺肋花楸酒成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(12): 182-188

- Wei C Y, Zhu D Y, Shang Guan X L, Yu X B. Effect of different *Saccharomyces cerevisiae* strains on the composition of *Aronia melanocarpa* wine[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(12): 182-188 (in Chinese)
- [21] Mercurio M D, Damberg R G, Herderich M J, Smith P A. High throughput analysis of red wine and grape phenolics-adaptation and validation of methyl cellulose precipitable tannin assay and modified Somers color assay to a rapid 96 well plate format[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(12): 4651-4657
- [22] 范瑾, 郑兰香, 操敏, 李明. 宁夏贺兰山东麓不同产区赤霞珠干红葡萄酒品质分析[J]. 食品与发酵工业, 2026, 52(2): 353-36
- Fan J, Zheng L X, Cao M, Li M. Quality evaluation of Carbernet Sauvignon dry red wine from various regions in the eastern foothill of Helan Mountain in Ningxia[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2026, 52(2): 353-363 (in Chinese)
- [23] GB/T 17296—2009. 中国土壤分类与代码[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2009
- GB/T 17296-2009. Classification and codes for Chinese soil[S]. Beijing: China Environment Publishing Group, 2009 (in Chinese)
- [24] 王小龙, 邵学东, 张正文, 钟晓敏, 刘畅, 王志强, 王宝亮, 冀晓昊, 史祥宾, 王海波. 酿酒葡萄‘梅乐’植株和土壤营养水平与果实品质的关联性分析[J]. 园艺学报, 2024, 51(11): 2575-2593
- Wang X L, Shao X D, Zhang Z W, Zhong X M, Liu C, Wang Z Q, Wang B L, Ji X H, Shi X B, Wang H B. Correlation analysis of fruit quality and the nutrient level in plant and soil of wine grape ‘merlot’ [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2024, 51(11): 2575-2593 (in Chinese)
- [25] Lu X F, Hou E Q, Guo J Y, Gilliam F S, Li G L, Tang S, Kuang Y W. Nitrogen addition stimulates soil aggregation and enhances carbon storage in terrestrial ecosystems of China: A meta-analysis[J]. *Global Change Biology*, 2021, 27(12): 2780-2792
- [26] 严永旺. 不同质地土壤微生物种群、酶活性对烟叶品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
- Yan Y W. Effects of soil microbial population and enzyme activity in different textures on tobacco quality[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2011 (in Chinese)
- [27] Mitra D, Mondal R, Khoshru B, Senapati A, Radha T K, Mahakur B, Uniyal N, Myo E M, Boutaj H, Sierra B E G, Panneerselvam P, Ganeshamurthy A N, Elković S A, Vasić T, Rani A, Dutta S, Das Mohapatra P K. Actinobacteria-enhanced plant growth, nutrient acquisition, and crop protection: Advances in soil, plant, and microbial multifactorial interactions[J]. *Pedosphere*, 2022, 32(1): 149-170
- [28] 李文超, 孙盼, 王振平. 不同土壤条件对酿酒葡萄生理及果实品质的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(5): 837-842
- Li W C, Sun P, Wang Z P. Effects of different soil condition on physiology and fruit quality of wine grapes[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(5): 837-842 (in Chinese)
- [29] 黄龙, 包维楷, 李芳兰, 胡慧. 土壤结构和植被对土壤微生物群落的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(6): 1725-1731
- Huang L, Bao W K, Li F L, Hu H. Effects of soil structure and vegetation on microbial communities [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2021, 27(6): 1725-1731 (in Chinese)
- [30] Ren N, Wang Y, Ye Y L, Zhao Y N, Huang Y F, Fu W, Chu X. Effects of continuous nitrogen fertilizer application on the diversity and composition of rhizosphere soil bacteria[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11: 1948
- [31] 周斯豪, 王美琦, 宋瑶, 牛宏进, 赵经纬, 侯瑞楠, 陈晓波, 黄亚丽. 长期秸秆还田对下茬还田秸秆的降解及土壤微生物群落的影响[J]. 环境科学, 2025, 46(1): 532-542
- Zhou S H, Wang M Q, Song Y, Niu H J, Zhao J W, Hou R N, Chen X B, Huang Y L. Legacy effects of long-term straw returning on straw degradation and microbial communities of the aftercrop[J]. *Environmental Science*, 2025, 46(1): 532-542 (in Chinese)
- [32] 徐慧芳, 万子维, 盛荣, 魏文学, 张文钊, 黄国勤. 不同耕作模式对稻田土壤真菌丰度及群落结构的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(6): 35-41
- Xu H F, Wan Z W, Sheng R, Wei W X, Zhang W Z, Huang G Q. Effects of farming patterns on abundance and community structure of fungi in paddy soils[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2022, 41(6): 35-41 (in Chinese)
- [33] 王玖程, 王兴明, 董思奇, 张冰, 王钊, 周雪, 高强. 吉林省中部地区退耕还林对黑土土壤细菌和真菌群落结构的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(4): 917-926
- Wang J C, Wang X M, Dong S Q, Zhang B, Wang Z, Zhou X, Gao Q. Effects of the Grain for Green Project on bacteria and fungi community structure in the black soil of central Jilin Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(4): 917-926 (in Chinese)
- [34] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review [J]. *Geoderma*, 2005, 124(1-2): 3-22
- [35] Wang H Y, Guo S Y, Huang M R, Thorsten L H, Wei J C. Ascomycota has a faster evolutionary rate and higher species diversity than Basidiomycota[J]. *Science China Life Sciences*, 2010, 53(10): 1163-1169
- [36] 乔沙沙, 周永娜, 柴宝峰, 贾彤, 李巍. 关帝山森林土壤真菌群落结构与遗传多样性特征[J]. 环境科学, 2017, 38(6): 2502-2512
- Qiao S S, Zhou Y N, Chai B F, Jia T, Li C. Characteristics of fungi community structure and genetic diversity of forests in Guandi Mountains[J]. *Environmental Science*, 2017, 38(6): 2502-2512 (in Chinese)
- [37] Frey S D, Knorr M, Parrent J L, Simpson R T. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 196(1): 159-171
- [38] 李琼香, 朱经纬, 王新修, 李志宏, 张云贵, 陈曦, 杨荣, 刘青丽. 不同质地黄壤微生物群落特征[J]. 农业环境科学学报, 2025, 44(7): 1779-1792
- Li Q X, Zhu J W, Wang X X, Li Z H, Zhang Y G, Chen X, Yang R, Liu Q L. Characteristics of microbial communities in yellow soil of diverse texture[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2025, 44(7): 1779-1792 (in Chinese)
- [39] Delgado-Baquerizo M, Reich P B, Khachane A N, Campbell C D, Thomas N, Freitag T E, Abu Al-Soud W, Sørensen S, Bardgett R D, Singh B K. It is elemental: Soil nutrient stoichiometry drives bacterial diversity[J]. *Environmental Microbiology*, 2017, 19(3): 1176-1188
- [40] 胡嵩, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李慧, 徐慧. 长白山原始红松林次生演替过程中土壤微生物生物量和酶活性变化[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 366-372
- Hu S, Zhang Y, Shi R J, Han S Q, Li H, Xu H. Temporal variations of soil microbial biomass and enzyme activities during the secondary succession of primary broadleaved-Pinus koraiensis forests in Changbai Mountains of Northeast China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(2): 366-372 (in Chinese)
- [41] 张纪利, 何敬浩, 韦建玉, 黄崇峻, 王维, 蔡一霞. 微生物菌剂配施时期对根际土壤细菌多样性、酶活性及烤烟产量和品质的影响[J]. 作物杂志, 2025(2): 162-171
- Zhang J L, He J H, Wei J Y, Huang C J, Wang W, Cai Y X. Effects of application period of microbial inoculants on rhizosphere soil bacterial diversity, enzyme activity and yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Crops*, 2025(2): 162-171 (in Chinese)

- [42] Lucas S T, D' Angelo E M, Williams M A. Improving soil structure by promoting fungal abundance with organic soil amendments[J]. *Applied Soil Ecology*, 2014, 75: 13-23
- [43] Perin C, Fait A, Palumbo F, Lucchin M, Vannozzi A. The effect of soil on the biochemical plasticity of berry skin in two Italian grapevine (*V. vinifera* L.) cultivars[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2020, 11: 822
- [44] 郑小能, 王生海, 柳苗苗, 刘怀锋. 不同磷钾肥施用量对设施葡萄果实品质和产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2018, 55(7): 1227-1235
Zheng X N, Wang S H, Liu M M, Liu H F. Effects of different amounts of phosphate and potassium fertilizer on fruit quality and yield of Frey grape under protected culture[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, 55(7): 1227-1235 (in Chinese)
- [45] Qi Y B, Wang R, Qin Q R, Sun Q. Soil affected the variations in grape and wine properties along the eastern foot of Helan Mountain, China[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 2019, 69(6): 494-502
- [46] 马宗恒, 陈佰鸿, 毛娟, 王宝林, 宁改星, 王颖, 韩丽娜, 吴玉霞. 酿酒葡萄品种对早霜冻抗性的适应性评价[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2018(2): 6-11
Ma Z H, Chen B H, Mao J, Wang B L, Ning G X, Wang Y, Han L N, Wu Y X. Adaptability evaluation of wine grape varieties to early frost resistance[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2018(2): 6-11 (in Chinese)
- [47] 李文涛, 王令宇, 杨毓毓, 余文彬, 刘卫春, 房经贵, 上官凌飞. 施钾时期对葡萄转色和品质及钾吸收基因表达的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2023, 29(2): 345-352
Li W T, Wang L Y, Yang Y X, Yu W B, Liu W C, Fang J G, Shangguan L F. Effects of potassium fertilizer application time on the coloration and quality of grape fruit and the expression of potassium-absorbing genes[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(2): 345-352 (in Chinese)
- [48] Razmi M, Abedy B, Tehranifar A. A Study on the effect of nitrogen spray at different times on color and yield parameters of grape cv. pykany[J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2018, 60(2): 145-152
- [50] 李记明, 姜文广, 于英, 梁冬梅, 梁海忠. 土壤质地对酿酒葡萄和葡萄酒品质的影响[J]. *酿酒科技*, 2013(7): 37-40, 45
Li J M, Jiang W G, Yu Y, Liang D M, Liang H Z. Effects of different soil texture on the quality of wine-making grape and grape wine[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2013(7): 37-40, 45 (in Chinese)
- [51] 陈翔, 开建荣, 赵丹青, 李彩虹, 葛谦. 贺兰山东麓不同子产区马瑟兰葡萄果实品质差异分析[J]. *食品与发酵工业*, [2025-05-10]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.043744
Chen X, Kai J R, Zhao D Q, Li C H, Ge Q. Analysis of fruit quality differences in Marselan grapes among sub-producing areas of eastern foot of Helan Mountain[J]. *Food and Fermentation Industries*, [2025-05-10]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.043744(in Chinese)
- [51] 王秀芹, 陈小波, 战吉成, 黄卫东. 生态因素对酿酒葡萄和葡萄酒品质的影响[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 791-797
Wang X Q, Chen X B, Zhan J C, Huang W D. Effects of ecological factors on quality of winegrape and wine[J]. *Food Science*, 2006, 27(12): 791-797 (in Chinese)

责任编辑: 申青苗



第一作者简介: 李明, 博士, 宁夏大学葡萄酒与园艺学院副研究员, 硕士生导师。主要从事葡萄园生态系统调控与土壤肥力提升研究。目前主持宁夏回族自治区自然科学基金项目4项, 宁夏回族自治区重点研发计划2项。近5年, 在核心期刊发表相关论文10余篇, 申请发明专利1项。获得宁夏回族自治区自然科学优秀学术论文奖1项。



通讯作者简介: 张军翔, 博士, 宁夏大学葡萄酒与园艺学院教授, 宁夏葡萄酒产业首席专家, 宁夏回族自治区“313人才”, 宁夏科技创新领军人才。近年来, 主持葡萄与葡萄酒方面国家级、省(部)级课题10余项; 出版著作5部, 授权专利10余项, 发表论文80余篇, 制订葡萄与葡萄酒等多项技术规程。获首届宁夏创新争先奖, 宁夏回族自治区科技进步奖一等奖(排名第二)1项、三等奖(排名第一)2项。