

施 娴,孟衡玲,张德刚,等. 不同树龄石榴园土壤中微量元素、微生物及土壤酶活性研究[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):215-221.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.038

# 不同树龄石榴园土壤中微量元素、微生物 及土壤酶活性研究

施 娴,孟衡玲,张德刚,陈永川,何芳芳,王田涛

(红河学院生物科学与农学院,云南蒙自 661199)

**摘要:**为了探讨云南省蒙自市长期种植石榴对土壤中微量元素、微生物量和土壤酶活性的影响,对不同树龄(7、13、15、19、30 年)不同土层(0~30、30~60 cm)的石榴园土壤中微量元素(Ca、Mg、Cu、Mn)含量、微生物数量及土壤酶(过氧化氢酶、蔗糖酶、磷酸酶和脲酶)活性进行研究。结果显示,随树龄增加,土壤中 Ca、Cu、Mn 含量均表现为先升高后下降再升高的趋势,0~30 cm 土层中 Ca、Cu、Mn 含量分别以树龄 15、13、15 年最高,以 7、7、30 年最低,30~60 cm 土层中 Ca、Cu、Mn 含量分别以 15、13、30 年最高,以 19 年最低。真菌数量、蔗糖酶活性、磷酸酶活性和脲酶活性表现出先下降后升高趋势,0~30 cm 土层中真菌生物量、蔗糖酶活性、磷酸酶活性、脲酶活性均以树龄 30 年最高,以 13、19、15、19 年最低,30~60 cm 土层中以树龄 30、7、30、30 年最高,以 15、13、7、13 年最低。在垂直方向上,土壤 Cu 含量、细菌数量、真菌数量、放线菌数量和蔗糖酶活性均表现出 0~30 cm 高于 30~60 cm,Ca 含量表现为 30~60 cm 高于 0~30 cm。微生物生物量最大的是细菌,其次是真菌,放线菌数量最少。树龄与放线菌生物量呈显著正相关关系,与过氧化氢酶和脲酶活性呈负相关关系。研究建议树龄为 7~19 年的石榴园应该注意增加有机肥,改善土壤中微生物系统,加强土壤中生化反应,改善土壤环境。

**关键词:**石榴园;中微量元素;微生物;土壤酶活性;树龄

**中图分类号:**S665.406 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)08-0215-06

果树生长需要从土壤中吸收利用各种矿质营养,其中中微量元素虽然植物体内所占比例极小,但也是植物生长所必需的元素之一<sup>[1]</sup>。若某种元素缺乏或元素含量比例失调,将直接影响果树生长和果实品质,造成相应的缺素症,加剧病虫害的发生<sup>[2-4]</sup>。有研究发现,长期的果树生产中,有的土壤微生物系统会发生转变,引起果树生长不良,病虫害严重,果实产量和品质下降<sup>[5-6]</sup>,其中主要是因为细菌生物量减少,真菌生物量明显增加,土壤酶活性下降等因素<sup>[7-9]</sup>。土壤酶是土壤中最活跃的成分,其活性反映可土壤生物活性和生化反应程度,而且是评价土壤肥力重要指标之一<sup>[10-12]</sup>。土壤中的养分、土壤微生物、土壤酶一起推动了土壤环境

中的生化过程,对土壤的环境质量起着重要的作用。探索石榴园土壤的时间及空间的变化,有助于了解土壤及其环境对石榴的影响。王理德等认为植物的树龄对土壤的养分、微生物及酶活性有一定的影响<sup>[13-14]</sup>。

石榴(*Phomopsis punicae* Linn.)为石榴科落叶果树,原产于中亚地区,在我国已有 2 000 多年的栽培历史,在云南省蒙自市栽种石榴已有 730 余年的历史,在 20 世纪 80 年代末得到了大面积推广<sup>[15-16]</sup>,到 2019 年蒙自市石榴树林面积达到 8 667 hm<sup>2</sup>,在全国 8 个栽培区排第 4 位,总产量达到 32.5 万 t,居第 2 位,总产值达 11 亿元,成为全国主要石榴生产区<sup>[17]</sup>。蒙自石榴籽粒饱满、清甜多汁,深受消费者的喜爱。但近年来发现,蒙自石榴品质出现下降<sup>[17]</sup>、病虫害加剧等现象<sup>[18-19]</sup>,这可能是由于长期施用化肥和激素,造成土壤肥力下降,微生物系统发现改变,从而导致石榴园土壤环境质量下降,严重制约了蒙自石榴产业的可持续发展。

目前,我国已对苹果<sup>[20]</sup>、樱桃<sup>[21]</sup>、猕猴桃<sup>[22]</sup>和香梨<sup>[23]</sup>等果园中土壤养分、微生物及土壤酶活性进行了报道。但是,针对石榴园土壤中微量元素、微

收稿日期:2021-06-12

基金项目:云南省地方本科高校联合基金(编号:2018FH001-115);  
红河学院大学生创新创业训练计划(编号:DCXL190029);红河学院  
教学建设项目(编号:YKCL181005)。

作者简介:施 娴(1984—),女,云南金平人,硕士,讲师,主要从事植物  
营养与环境研究。E-mail:sx\_biology2@126.com。

通信作者:王田涛,博士,讲师,主要从事药用植物栽培研究。  
E-mail:wangtian19862003@163.com。

生物及土壤酶活性研究少见。因此,本研究以云南省蒙自市新安所石榴园为例,探讨树龄对石榴园土壤不同土层中微量元素含量、微生物及土壤酶活性的影响,以期对石榴的科学树龄管理、施肥及石榴品质的改善提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

蒙自市新安所镇位于云南省红河州蒙自市东南部( $23^{\circ}15' \sim 23^{\circ}21'N$ 、 $103^{\circ}24' \sim 103^{\circ}31'E$ ),属亚热带季风气候类型,年平均气温  $15.5 \sim 17.5^{\circ}C$ ,极端最高气温  $33.8^{\circ}C$ ,极端最低气温  $2.9^{\circ}C$ ,无霜期 337 d,年降水量  $950 \sim 1\,012\text{ mm}$ ,年均日照时数 2 234 h。研究区树龄已有 730 余年历史,本研究选择同为黏质土壤,并且施肥管理状况较为接近的不同树龄石榴园作为采样点。

### 1.2 样品采集

2019 年 1 月对研究区域全部树龄石榴的果园作为土壤样品采集点,其中 7 年树龄的石榴园 32 个,13 年树龄的石榴园 23 个,15 年树龄的石榴园 21 个,19 年树龄的石榴园 18 个,30 年树龄的石榴园 7 个,各树龄周边共采集 12 份非石榴地土壤并合成 1 份土样,以此作为对照(CK),其中 7、13 年周边各采集 3 份,15、19、30 年周边各采集 2 份,采集方法和各树龄土壤样品一致。每个果园随机选取 10 株石榴树,在距离树干 50 cm 范围,分别从东、西、南、北 4 个方向采集土壤样品。采用直径( $\Phi$ )=9 cm 的土钻获取地表 0~60 cm 土样,将土壤分为 0~30、30~60 cm 等 2 层进行采用,用手选法剔除样本中肉眼可见的石砾、植物根系杂质。2 层土壤样品均先将每株果树 4 个方向采集土壤等量混合,再将同龄果树土壤样品等量混合成 1 个土壤样品。混匀后的鲜土用四分法留取 1 kg 左右,装入无菌袋中,一部分放入  $4^{\circ}C$  冰箱中保存,测定其微生物量;另一部分经风干磨细、过筛,用于测定土壤微量元素含量和酶活性。

### 1.3 测定方法

土壤中 Ca、Mg、Cu、Mn 含量的测定采用微波消解-电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定<sup>[24]</sup>。土壤微生物总生物量主要采用稀释平板培养法测定,细菌采用牛肉膏蛋白胨固体培养基,真菌采用马铃薯培养基,放线菌采用高氏一号琼脂培养基<sup>[25]</sup>,结果以 1 g 干土所含的微生物数量

表示。土壤脲酶活性采用比色法;磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法;过氧化氢酶活性采用  $KMnO_4$  滴定法;蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法<sup>[26]</sup>测定。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 进行数据处理及绘图,通过 SPSS 19.0 统计软件进行数据分析,采用最小显著差异法(LSD)进行差异显著性检验( $\alpha = 0.05$ ),采用 Pearson's 相关系数进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同树龄对石榴园土壤中微量元素的影响

根据图 1 可知,不同树龄石榴地土壤中 Ca 和 Mn 含量(树龄为 15、19 年 Mn 含量除外)随着土层深度的增加,均表现出增加的趋势;Cu 含量表现为下降趋势,Mg 含量在 0~30 cm 和 30~60 cm 的土层中总体来看差异不明显。在 0~30、30~60 cm 等 2 个土层中,Ca 含量分别为  $4\,237 \sim 13\,813$ 、 $12\,118 \sim 17\,627\text{ mg/kg}$ ,变异系数分别为 46.64%、13.86%,均以树龄 15 年最高,比 CK 增加 45.54%、45.46%,0~30、30~60 cm 的土层中 Ca 含量分别以 7、19 年最低。经过方差分析,0~30 cm 土层中树龄为 15 年的石榴中 Ca 含量显著高于 CK、7、13、19 年( $P < 0.05$ );30~60 cm 土层中 15 年石榴的 Ca 含量显著高于 CK,但与其他树龄未达显著差异。2 个土层中 Mg 含量分别在  $10.53 \sim 39.21$ 、 $19.61 \sim 33.33\text{ mg/kg}$  之间,变异系数分别为 44.14%、22.55%,以树龄 30、19 年最高,比 CK 增加 88.60% 和 66.65%;0~30、30~60 cm 土层中 Mg 含量以 15、13 年最低,比 CK 减少 49.4% 和 5.68%;经过方差分析,0~30 cm 土层中 30 年石榴的 Mg 含量显著高于 CK、7、13、15 年,30~60 cm 土层中 19 年石榴的 Mg 含量显著高于其余树龄。2 个土层中 Cu 含量分别为  $0.483\,6 \sim 1.523$ 、 $0.230\,8 \sim 0.769\,2\text{ mg/kg}$ ,变异系数为 51.13%、60.05%,均以 13 年含量最高,分别比 CK 增加 2.15、2.33 倍,以 7、19 年最低,比 CK 增加 6.57%、8.31%,经过方差分析,树龄 13 年均与 CK、7、19 年达显著差异。Mn 在 2 个土层中含量分别为  $2.885 \sim 8.397$ 、 $4.615 \sim 15.19\text{ mg/kg}$ ,变异系数为 28.89%、45.46%,分别以 15、30 年最高,比 CK 增加 1.91、2.29 倍,以 30、19 年最低,比 CK 增加 1.33、13.0%,经过方差分析,0~30 cm 土层中树龄 15 年与 CK 达显著差异,和其他树龄土壤未达

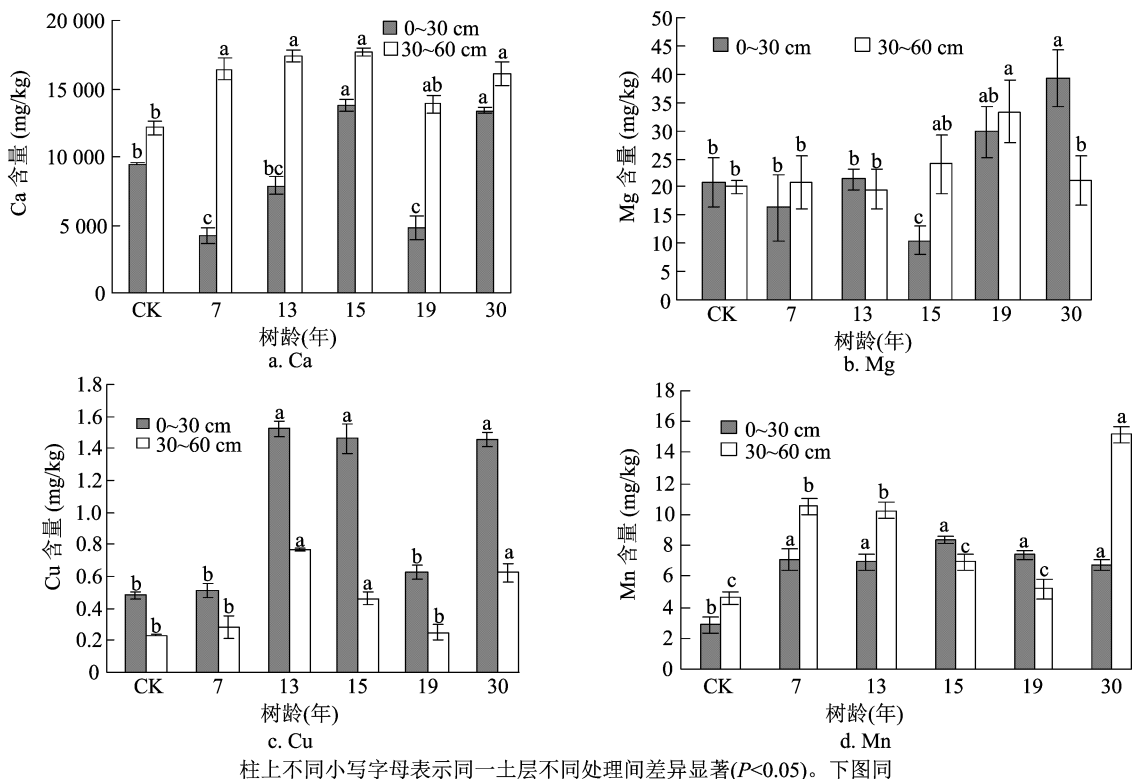


图1 不同树龄石榴园土壤中微量元素含量

显著差异,30~60 cm 土层中树龄 30 年与其余树龄土壤均有显著差异。

## 2.2 不同树龄对石榴园土壤微生物数量的影响

根据图 2 可知,不同树龄石榴园土壤中细菌、放线菌和真菌的数量随着土层深度的加深均出现下降的趋势,各种微生物主要集中在 0~30 cm 的土层中。随着树龄的增加,各微生物数量表现出不同的变化趋势。细菌数量随着树龄的增加出现上升趋势,其中 0~30 cm 土层中变异系数为 30.79%,以树龄 30 年最高,为  $4.80 \times 10^4$  CFU/g,以树龄 7 年最低,且二者之间差异显著;30~60 cm 土层中变异系数为 33.29%,树龄 19 年的细菌数量最高,以 7 年最低,其中树龄 19 年的细菌数量比 CK 增加了 1.61 倍,且显著高于其余树龄。放线菌数量随着树龄的增加表现出减少的趋势,0~30 cm 土层变异系数 15.01%,以 7 年最高,达  $1.598 \times 10^3$  CFU/g,30 年最低,比 CK 减少 5.57%,但从方差分析上看,7 年与 30 年无显著差异;30~60 cm 土层中各树龄放线菌数量高于 CK,且变异系数为 22.60%,以 7 年最高,15 年最低。真菌数量随树龄增加表现出先下降后上升的趋势,0~30 cm 土层中真菌数量除 30 年树龄外均低于 CK,以 13 年最低,比 CK 减少 48.7%,与 CK 达显著差异,各树龄变异系数为

48.21%;30~60 cm 土层中除 15 年树龄外,其余树龄均高于 CK,15 年土层比 CK 减少 24.0%,变异系数达 92.86%。总体上看,微生物数量以细菌为主,其次是真菌,放线菌数量最少。

## 2.3 不同树龄石榴园土壤酶活性的影响

根据图 3 可知,随树龄和土层深度的增加,土壤中脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性均表现出先下降后上升趋势,且各树龄土壤过氧化氢酶、脲酶(0~30 cm)活性均低于 CK。0~30 cm 土层土壤过氧化氢酶活性变异系数为 12.79%,各树龄以 30 年最高,达 7.800 mg/kg,以 15 年最低,比 CK 减少 29.78%,30 年与 15 年差异不显著;30~60 cm 土层变异系数为 10.27%,以树龄 30 年最高,达 7.321 mg/kg,以树龄 19 年最低,各处理过氧化氢酶活性均无显著差异。脲酶活性在 0~30 cm 土层中变异系数为 64.31%,以 30 年树龄活性最高,比 CK 低 36.08%,以 19 年最低,比 CK 低 88.87%,经过方差分析,19 年脲酶活性显著低于其余树龄处理;30~60 cm 土层中各树龄脲酶活性除 13 年外均高于 CK,以树龄 30 年最高,比 CK 高 1.65 倍,经方差分析,13 年与其余树龄、CK 差异显著。0~30 cm 土层中磷酸酶活性变异系数为 54.03%,以 30 年最高,比 CK 增加 2.65 倍,以 15 年最低,但仍比 CK 高

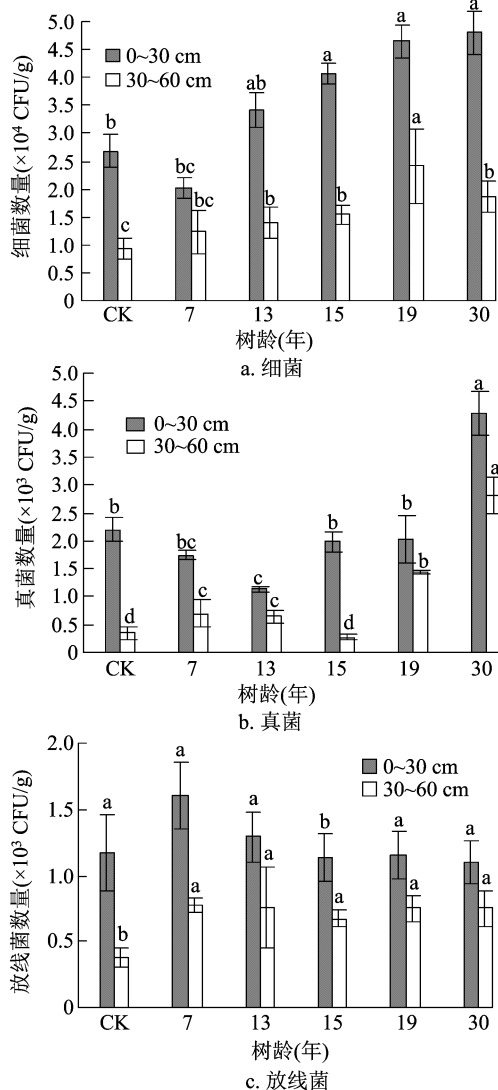


图2 不同树龄石榴园土壤微生物数量

1.96%, 15 年与 30 年显著差异, 但与 CK 差异不显著; 30~60 cm 土层中变异系数为 42.44%, 以 30 最高, 比 CK 高 1.19%, 以 7 年最低, 比 CK 低 59.05%, 经过方差分析, 7 年与 30 年和 CK 达显著差异。蔗糖酶活性在 0~30 cm 土层中的变异系数为 43.02%, 除 30 年树龄, 其余树龄均低于 CK, 其中 19 年蔗糖酶活性最低, 比 CK 低 66.59%, 与 CK 和其余处理差异显著; 30~60 cm 土层变异系数为 58.50%, 以 13 年处理最低, 比 CK 低 65.77%, 13 年与 CK、7 年和 30 年差异显著, 与 15、19 年差异不显著。

#### 2.4 不同树龄石榴园土壤中微量元素含量、微生物数量、土壤酶活性之间的相关性

树龄、微生物数量和土壤酶活性存在一定线性关系(表 1)。树龄与中微量元素(Ca、Mg、Cu、Mn)

含量、细菌数量、真菌数量和磷酸酶活性、蔗糖酶活性呈正相关关系; 与过氧化氢酶和脲酶活性呈负相关关系。过氧化氢酶活性与 Ca、Mg、Cu 含量及细菌、放线菌数量呈负相关关系。脲酶活性与 Mg、Mn 含量和细菌、放线菌数量呈负相关关系, 磷酸酶活性与放线菌数量呈负相关关系, 蔗糖酶活性与 Ca、Cu 含量和细菌数量呈负相关关系。树龄与放线菌数量、Ca 含量与 Cu 含量、脲酶活性与过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性与过氧化氢酶和脲酶活性呈显著正相关关系, 磷酸酶活性与真菌数量呈极显著正相关关系。综上, 树龄对中微量元素、细菌和真菌影响不明显, 随树龄增加, 过氧化氢酶和脲酶活性将出现下降趋势。

### 3 讨论与结论

石榴为多年生果树, 长时间生长在固定地点, 有选择地吸收同一土壤空间内的养分, 加上不同气候、土壤和施肥管理, 直接影响到果园中土壤养分含量、微生物数量和土壤酶活性。有研究认为, 树龄对土壤中微量元素含量、微生物含量和土壤酶活性有一定影响, 而且不同土层表现不一<sup>[22,27]</sup>。

本研究发现, 随树龄增加, 土壤中钙、镁、铜和锰含量有一定变化趋势。水平方向, 在 0~30 cm 土层中, 土壤中钙含量以 15 年树龄最高, 镁含量以 30 年树龄最高, 铜含量以 13 年树龄最高, 锰含量以 15 年树龄最高; 在 30~60 cm 土层中, 土壤中钙含量以 15 年树龄最高, 镁含量以 19 年树龄最高, 铜含量以 13 年树龄最高, 锰含量以 30 年树龄最高。垂直方向, 在同一树龄下 30~60 cm 土层中 Ca 含量高于 0~30 cm 土层, Cu 含量表现为 0~30 cm 土层高于 30~60 cm, 这一结果和郝婕等研究国红苹果园土壤中微量元素的周年变化<sup>[2]</sup>基本一致。整体上看, 不同树龄石榴园中土壤钙、镁、铜和锰含量的变异系数最高的在 0~30 cm 土层, 且 Ca 和 Cu 含量偏高, 这可能主要受气候和施肥管理等因素的影响, 特别是施肥为主, 刘艳红等研究云南蒙自石榴园施肥情况时发现, 基肥主要普钙、尿素和硫酸钾等化肥, 追肥主要以复合肥、尿素、硝酸钙、普钙等为主<sup>[28]</sup>, 因此可能是由于长时间施用钙肥造成土壤中钙含量偏高, 但还需要进一步研究。

本研究发现, 随树龄的增加, 0~30 cm 土层以 30 年最高, 7 年最低, 30~60 cm 土层以 19 年最高, 以 7 年最低, 放线菌生物量随树龄的增加, 表现出下

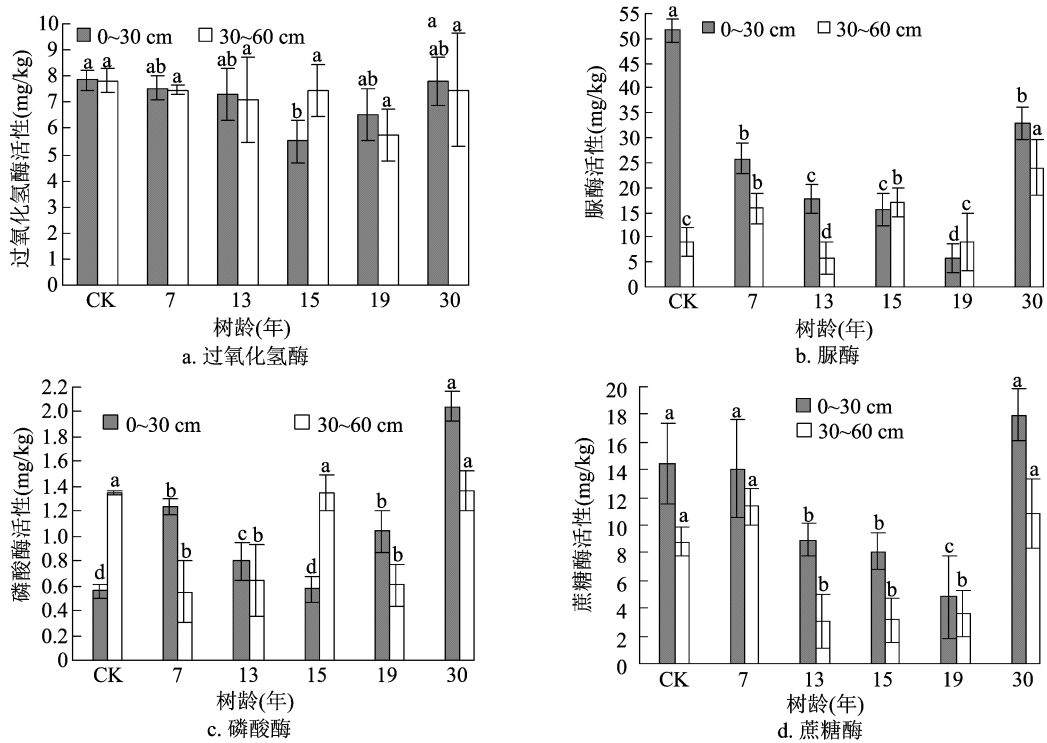


图3 不同树龄石榴园土壤酶活性

表1 中微量元素、微生物数量和土壤酶活性的相关性

变量	相关系数										
	Ca 含量	Mg 含量	Cu 含量	Mn 含量	细菌数量	真菌数量	放线菌数量	过氧化氢酶活性	脲酶活性	磷酸酶活性	蔗糖酶活性
树龄	0.473	0.702	0.715	0.729	0.864 8	0.020	0.630 *	-0.240	-0.102	0.474	0.000
Ca 含量	1.000	-0.195	0.933 *	0.688	0.508	0.444	-0.108	-0.088	0.031	0.544	-0.014
Mg 含量		1.000	0.075	0.199	0.784	0.733	-0.148	-0.228	-0.125	0.472	0.011
Cu 含量			1.000	0.688	0.508	0.444	-0.108	-0.088	0.031	0.544	-0.014
Mn 含量				1.000	0.313	0.534	0.557	0.082	-0.018	0.544	0.292
细菌数量					1.000	0.579	-0.230	-0.612	-0.385	0.388	-0.372
真菌数量						1.000	-0.163	0.222	0.427	0.943 **	0.540
放线菌数量							1.000	-0.043	-0.364	-0.220	0.065
过氧化氢酶活性								1.000	0.847 *	0.392	0.865 *
脲酶活性									1.000	0.634	0.884 *
磷酸酶活性										1.000	0.678

注: \*、\*\* 分别表示显著 ( $P < 0.05$ )、极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

降趋势,0~30 cm 土层以 7 年最高,30 年最低,30~60 cm 土层以 7 年最高,15 年最低,这与张德刚等研究石榴园根区土壤时微生物量随土层增加减少,主要集中在 0~40 cm 的结论<sup>[29]</sup>基本一致。同时,石榴园土壤微生物数量随树龄增加的变化特征和苹果园<sup>[30]</sup>、猕猴桃<sup>[22]</sup>和葡萄园<sup>[31]</sup>等的基本一致,由大到小表现为细菌>放线菌>真菌,随树龄增加,细菌数量/真菌数量下降,放线菌数量减少,这可能是由于长时间施用化学肥料造成土壤酸度增加,放线

菌生长受到抑制<sup>[32]</sup>。蔗糖酶活性随土层增加表现出减少趋势,这结果和张德刚等研究石榴园根区土壤蔗糖酶活性随土层增加而减少,主要集中在 0~40 cm 的结论<sup>[29]</sup>基本一致。随树龄的增加,土壤中脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性表现出先下降后增加的趋势,这一结果和王静等研究的不同树龄苹果和蜜桃土壤活性随树龄增加表现出先上升后下降趋势<sup>[21,33]</sup>不一致,这可能是由于土壤酶活性的变化趋势是由作物本身

与土壤、气候环境和施肥等长期互作和协同变化的结果,所以需要进一步研究。过氧化氢酶活性随着树龄增加变化不显著,这结果和朱海云等研究树龄对猕猴桃园过氧化氢酶活性影响的结论<sup>[22]</sup>基本一致。值得注意的是,处理组 0~30 cm 过氧化氢酶和脲酶活性均低于 CK。

从相关性分析上看,树龄与放线菌数量呈显著正相关,Ca 含量与 Cu 含量、脲酶活性与过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性与过氧化氢酶和脲酶活性呈显著正相关,磷酸酶活性与真菌生物量呈极显著正相关。说明土壤中微量元素含量、微生物数量和土壤酶活性之间的相关程度较高。树龄显著影响放线菌数量,但树龄对中微量元素含量和细菌数量、真菌数量影响不明显,随树龄增加,过氧化氢酶和脲酶活性出现下降趋势。

总体上看,云南蒙自各树龄石榴园土壤中 Ca、Cu、Mn、Mg 含量未出现丰缺的现象,但各树龄之间相差较大。其中,0~30 cm 土层中 Ca、Cu、Mn、Mg 含量分别以树龄 15、13、15、30 年最高,以 7、7、30、15 年最低,30~60 cm 土层中以树龄 15、13、30、19 年最高,以 19、19、19、13 年最低。土壤微生物数量表现为细菌>真菌>放线菌,0~30 cm 土层中细菌、真菌和放线菌数量分别以 30、30、7 年最高,以 7、13、30 年最低,30~60 cm 土层中分别以 19、30、7 年最高,以 7、15、15 年最低。0~30 cm 土层中过氧化氢酶、脲酶、磷酸酶和蔗糖酶活性均以 30 年最高,以 15、19、15、19 年最低;30~60 cm 土层中过氧化氢酶、脲酶和磷酸酶活性均以 30 年最高,以 19、13、7 年最低,蔗糖酶活性以 7 年最高,13 年最低。因此,建议 7~19 年树龄的石榴园应增施有机肥料,改善土壤中微生物系统和土壤酶活性,提高土壤生化反应,提高土壤环境质量。

#### 参考文献:

- [1]刘永菁,任世忠,裴学魁,等. 山楂叶片营养诊断技术的研究[J]. 中国农业科学,1992,25(2):63-68.
- [2]郝 婕,魏 亮,王献革,等. 国红苹果园土壤中微量元素的周年变化规律及相关性分析[J]. 华北农学报,2014,29(增刊1):344-348.
- [3]鲍江峰,夏仁学,彭抒昂,等. 三峡库区组荷尔脐橙园土壤营养状况及其对果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2006(3):16-20.
- [4]贾自力,杨勤兵,李淑媛. 不同树龄白果中营养成分的比较分析[J]. 中国食物与营养,2010,16(7):72-75.
- [5]肖 宏,毛志泉,于明革,等. 连作土与灭菌土对平邑甜茶幼苗生长发育的影响[J]. 果树学报,2004,21(4):370-372.
- [6]张继义,赵哈林,刘建勋,等. 栽培技术条件对苹果梨品质影响的数量分析[J]. 中国生态农业学报,2002,10(1):85-89.
- [7]孙秀山,封海胜,万书波,等. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用[J]. 作物学报,2001,27(5):617-621.
- [8]封海胜,万书波,左学青,等. 花生连作土壤及根际主要微生物类群的变化及与产量的相关性[J]. 花生科技,1999,28(增刊1):277-283.
- [9]徐凤花,汤树德,孙冬梅,等. 重迎茬对大豆根际微生物的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,1998,10(1):5-8.
- [10]司志国,俞小鹏,白玉杰,等. 徐州城市绿地表层土壤酶活性及其影响因素[J]. 中南林业科技大学学报,2013,33(2):73-76,80.
- [11]刘金炽,招礼军,朱栗琼,等. 喀斯特地区泡核桃林土壤酶、微生物量及无机氮的动态研究[J]. 广东农业科学,2020,47(10):83-92.
- [12]谭宏伟,杨尚东,吴 俊,等. 红壤区桉树人工林与不同林分土壤微生物活性及细菌多样性的比较[J]. 土壤学报,2014,51(3):575-584.
- [13]王理德,姚 拓,王方琳,等. 石羊河下游退耕地土壤微生物变化及土壤酶活性[J]. 生态学报,2016,36(15):4769-4779.
- [14]赵国栋,赵政阳,樊红科. 苹果根区土壤微生物分布及土壤酶活性研究[J]. 西北农业学报,2008,17(3):205-209,214.
- [15]温素卿. 我国石榴的研究进展[J]. 贵州农业科学,2009,37(7):155-158.
- [16]云南农业信息网. 蒙自石榴产业发展现状[EB/OL]. [2021-01-01]. <http://www.agri.gov.cn/>.
- [17]许艺严,樊荣清. 促进蒙自石榴产业健康可持续发展的措施[J]. 云南农业,2020,11:13-15.
- [18]鲁海菊,李 河,史淑襄,等. 云南省石榴干腐病菌生物学特性及其防治药剂筛选[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):99-102.
- [19]胡 婕,李克海,邵维治,等. 从病害风险角度分析石榴鲜果安全出口——以云南蒙自产区为例[J]. 中国南方果树,2020,49(2):88-91.
- [20]石宗琳,武大勇,王益权,等. 不同种植年限对渭北地区果园土壤理化性质的影响[J]. 河南农业大学学报,2019,53(5):799-805.
- [21]王 静,呼丽萍,李 旭,等. 种植年限对樱桃园与土壤养分和酶活性的影响[J]. 水土保持通报,2013,33(4):155-158,165.
- [22]朱海云,柯 杨,李 勃,等. 种植年限对猕猴桃园土壤养分、酶活性的影响[J]. 中国农学通报 2018,34(22):97-102.
- [23]徐 超,王雪梅,陈波浪,等. 不同树龄‘库尔勒香梨’园土壤养分的特征[J]. 果树学报,2016,33(3):275-282.
- [24]刘凤枝,李玉浸. 土壤监测分析技术[M]. 北京:化学工业出版社,2015:12-65.
- [25]中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,1985:15-89.
- [26]关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:24-158.
- [27]官雪芳,林碧芬,徐庆贤,等. 种植年限对土壤性状、微生物群落

高卫锴,李茂森,李超,等.不同海拔条件下烤烟成熟期根际土壤真菌群落结构[J].江苏农业科学,2022,50(8):221-227.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.039

# 不同海拔条件下烤烟成熟期根际土壤真菌群落结构及生态特征分析

高卫锴<sup>1</sup>,李茂森<sup>2</sup>,李超<sup>1</sup>,黄纯杨<sup>3</sup>,刘福童<sup>2</sup>,冯炼<sup>1</sup>,冯小芽<sup>3</sup>,任天宝<sup>2</sup>,李宙文<sup>1</sup>

(1.广东中烟工业有限责任公司,广东广州 510310; 2.河南农业大学烟草学院/河南省生物炭研究工程技术中心/生物炭技术河南省工程实验室,河南郑州 450002; 3.贵州省烟草公司遵义市公司,贵州遵义 563000)

**摘要:**为探究不同海拔条件下植烟土壤真菌群落结构特征,以及驱动真菌群落的主要生态因子,选取 3 个不同海拔高度 ZL(800 m)、ZS(1 000 m)、ZH(1 200 m)的烤烟成熟期根际土壤,采用 18S rRNA 高通量测序对土壤真菌进行分析。结果表明,中低海拔土壤 pH 值和速效养分含量显著高于高海拔;中低海拔土壤真菌  $\alpha$  多样性显著低于高海拔土壤;3 个海拔条件下土壤优势菌门为子囊菌门、担子菌门和毛霉菌门等,其中,1 200 m 海拔担子菌门的丰度较 800 m 海拔提高了 100.00%;1 000 m 海拔捕虫霉门的相对丰度相较于 1 200 m 海拔提高了 238.26%;聚类热图分析结果表明,担子菌门、Aphelidea 与微生物量氮含量呈显著或极显著正相关,与速效钾含量和土壤温度呈显著负相关;芽枝霉门与 pH 值呈显著正相关,与微生物量碳氮比呈极显著正相关;捕虫霉门与碱解氮含量呈显著负相关;FUNGuild 分析结果表明,1 000 m 海拔土壤腐生营养型真菌相对丰度最高,达 30.79%;1 200 m 海拔病理营养型真菌丰度最高,达 4.45%。烤烟成熟期根际土壤真菌多样性在不同海拔条件下表现出显著差异,土壤温度、速效钾含量和微生物量氮含量是引起土壤真菌群落结构及多样性变异的主要生态因子。

**关键词:**植烟土壤;海拔;真菌群落;环境因子;营养类群

**中图分类号:** S154;S572.061 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)08-0221-07

海拔是烤烟种植区域类型选择的重要影响因素之一<sup>[1-2]</sup>,海拔高度的变化常常会导致环境发生显著变化,光、温、水、土等资源也会随之改变,影响土壤的发育和理化性质<sup>[3-4]</sup>。真菌是土壤微生物的

重要组成部分,其多样性和群落结构与土壤养分转化<sup>[5]</sup>、土传病害<sup>[6]</sup>与植物健康<sup>[7]</sup>有着直接的关系。研究真菌在土壤中的结构组成,驱动了土壤微环境的改良,物种多样性的维持,以及对保持生态平衡具有重要意义<sup>[8-10]</sup>。贵州省遵义烟区是我国主要的烤烟种植区之一,海拔一般在 800~1 300 m 之间<sup>[11]</sup>,土壤微生物与气候、植被类型及土壤性质等密切相关,而海拔变化往往在较短范围内引起温度、降水、植被类型和土壤性质等生物和非生物因子的显著变化<sup>[12-15]</sup>。近年来,随着测序技术的高速发展,不同海拔高度条件下土壤微生物变化规律已有大量的研究,且研究结果更加的多元化。李敏等对土壤真菌的研究发现,1 500 m 与 1 800 m 的松根围土壤真菌群落结构存在显著差异,且土壤因子可

收稿日期:2021-11-18

基金项目:河南省重点研发计划(编号:222102110178);遵义烤烟提质增香关键技术研究项目(编号:2020440000340029);河南省青年骨干教师资助项目(编号:2020GGJS047)。

作者简介:高卫锴(1981—),男,河南驻马店人,硕士研究生,农艺师,主要从事烤烟生产技术与管理研究。E-mail:gwk032@qq.com。  
通信作者:任天宝,博士,副教授,硕士生导师,主要从事现代烟草农业教学与科研工作,E-mail:biochar2018@henau.edu.cn;李宙文,硕士,农艺师,主要从事烤烟生产技术与管理研究,E-mail:15838172325@163.com。

及脐橙果实品质的影响[J].浙江农业学报,2012,24(1):105-113.

[28]刘艳红,张德刚,刘杰,等.云南蒙自石榴园土壤养分状况及施肥情况调查[J].北方园艺,2010(16):39-41.

[29]张德刚,刘艳红,董木星,等.石榴根区土壤微生物分布及酶活性分析[J].北方园艺,2010(8):8-10.

[30]李智卫,王超,陈伟,等.不同树龄苹果园土壤微生物生态

特征研究[J].土壤通报,2011,42(2):302-306.

[31]张仕颖,张乃明,王瑾.不同种植年限葡萄根际微生物区系及其与肥力因子的相关分析[J].云南农业大学学报(自然科学版),2015,30(1):101-106.

[32]盛荣,肖和艾,丁龙君,等.施肥对红壤旱地和稻田土壤可培养微生物和微生物生物量磷的影响[J].农业现代化研究,2010,31(5):626-629.