

不同森林类型土壤酶活性和微生物数量特征研究

王凤娟¹, 秦绍龙¹, 张鸿雁², 刘娜²

(1. 商洛学院, 陕西 商洛 726000; 2. 商洛市气象局, 陕西 商洛 726000)

摘要: 研究以油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林三种森林类型土壤为研究对象, 采用滴定法和比色法对蔗糖酶、脲酶、酸性磷酸酶、多酚氧化酶和过氧化氢酶活性进行研究, 并用平板稀释法对细菌、真菌和放线菌数量特征进行比较分析。结果表明, 三种森林类型土壤酶活性总体变化趋势表现为油松—刺槐混交林 > 油松—栓皮栎混交林 > 油松纯林; 过氧化氢酶活性变化规律较为复杂, 在 0~20cm 土壤深度过氧化氢酶活性变化趋势表现为油松—刺槐混交林 > 油松—栓皮栎混交林 > 油松纯林; 在 20~30cm 土壤深度过氧化氢酶活性变化趋势表现为油松—栓皮栎混交林 > 油松—刺槐混交林 > 油松纯林。三种森林类型不同土壤深度土壤微生物数量变化趋势均表现为油松—刺槐混交林 > 油松—栓皮栎混交林 > 油松纯林。在三种森林类型中油松—刺槐混交林能够有效提高土壤酶活性和增加土壤微生物数量。

关键词: 森林类型; 土壤酶活性; 微生物数量

中图分类号: S714 **文献标识码:** A **文章编号:** 0488-5368(2021)10-0075-06

Characteristics of Soil Enzyme Activity and Microbial Quantity of Different Forest Types

WANG Fengjuan¹, QIN Shaolong¹, ZHANG Hongyan², LIU Na²

(1. Shangluo University, Shangluo, Shaanxi 726000, China; 2. Shangluo Meteorological Bureau, Shangluo, Shaanxi 726000, China)

Abstract: In this study, the activities of sucrase, urease, acid phosphatase, polyphenol oxidase and catalase were studied by titration and colorimetry, and the quantitative characteristics of bacteria, fungi and actinomycetes were compared by plate dilution method. The results showed that the overall change trend of soil enzyme activity of three forest types was *Pinus tabulaeformis* - *Robinia pseudoacacia* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* - *Quercus variabilis* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* pure forest. The change rule of catalase activity was more complex, and the change trend of catalase activity was *Pinus tabulaeformis* - *Robinia pseudoacacia* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* - *Quercus variabilis* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* pure forest in 0~20 cm soil depth; the change rule of catalase activity was more complex in 20~30 cm soil depth, and the change trend of enzyme activity was *Pinus tabulaeformis* - *Quercus variabilis* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* - *Robinia pseudoacacia* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* pure forest. The change trend of soil microbial quantity of three forest types was *Pinus tabulaeformis* - *Robinia pseudoacacia* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* - *Quercus variabilis* mixed forest > *Pinus tabulaeformis* pure forest in different soil depths. Among the three forest types, the mixed forest of *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia* can effectively improve soil enzyme activities and increase the number of soil microorganisms.

Key words: Forest type; Soil enzyme activity; Microbial quantity

收稿日期: 2021-02-07 修回日期: 2021-02-27

项目来源: 商洛市气候适应型城市重点实验室开放研究基金项目(SLSYS2019023); 陕西省科技计划项目“商洛立体农业系统优化设计与调控增益技术研究”(2014KJXX-79)。

第一作者简介: 王凤娟(1981-), 女, 陕西杨凌人, 助理实验师, 就职于商洛学院, 主要从事林学和农林经济管理领域的实验管理及研究工作。

油松作为中国特有的树种,其种植区域主要集中在西北、西南、东北以及中原等地,在陕西省商洛市洛南县分布十分广泛,对当地营林产业的发展有着重要影响^[1]。因此,本研究选取了分布于洛南县境内的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林三种森林类型为研究对象,对其土壤酶活性和微生物数量特征进行了分析研究,以期为实验区的营林生产提供理论依据和科学参考。

表 1 样地概况

地点	林分	树种	树龄/a	胸径/cm	海拔/m	经度	纬度	坡向
洛南	纯林	油松	24	14	948.0	110°24'18"	34°2'41"	东北
		油松	18	9	975.0	110°24'16"	34°2'41"	东
	混交林	刺槐	30	24	976.8	110°23'28"	34°2'41"	西
		栓皮栎	16	12	974.0	110°25'16"	34°2'40"	东

供试材料:商洛市洛南县古城林场油松纯林、油松+刺槐混交林和油松+栓皮栎混交林三种森林类型的林区土壤为试验材料。

1.2 试验设计

土样的采集:分别对 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 三处土层采用五点采样法采样,取样 2~5 kg,装入无菌自封袋中,贴上标签^[2]。

土壤样品预处理:将采取的土壤样品放在阴凉通风处进行风干处理,处理后挑出其中的砂砾、杂质与植物根系等,并用四分法取土,研磨后过 100 目筛,于 4℃ 冰箱中保存备用。

1.3 测定项目

土壤酶活性的测定^[3]:①土壤蔗糖酶活性的测定,3,5-二硝基水杨酸比色法。②土壤脲酶活性

1 材料与方 法

1.1 试验材料

样地概况(表 1 所示):位于陕西省商洛市洛南县古城林场油松良种基地,选择有代表性、生长正常的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林三个相邻的林区,每个林区选择 100 m×100 m 的实验样地。

的测定,苯酚钠—次氯酸钠比色法。③土壤酸性磷酸酶活性的测定,磷酸苯二钠测定法。④土壤多酚氧化酶活性的测定,邻苯三酚比色法。⑤土壤过氧化氢酶活性的测定,高锰酸钾滴定法。

土壤微生物数量的测定:细菌、真菌和放线菌均采用稀释平板涂抹法^[4]。细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌用改良高氏 1 号培养基,真菌用马丁氏培养基,每个处理 3 次重复。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据统计和处理。

2 结果与分析

2.1 三种森林类型土壤酶活性的变化

表 2 三种森林类型土壤酶的活性

土壤类型	土壤深度/cm	蔗糖酶 /(mg·g ⁻¹)	脲酶 /(mg·g ⁻¹)	酸性磷酸酶 /(mg·g ⁻¹)	多酚氧化酶 /(mg·g ⁻¹)	过氧化氢酶 /(mg·g ⁻¹)
油松纯林	0~10	542.55	33.32	451.37	123.13	7.35
	10~20	496.35	30.56	236.59	76.15	7.12
	20~30	243.62	22.98	156.62	53.24	5.62
油松—刺槐混交林	0~10	680.67	37.62	678.78	141.96	12.56
	10~20	598.20	34.36	596.70	112.01	12.10
	20~30	279.27	28.65	283.45	91.66	10.00
油松—栓皮栎混交林	0~10	676.36	35.98	656.10	131.94	11.34
	10~20	528.25	33.26	563.68	92.67	11.30
	20~30	266.40	25.12	275.32	71.95	9.80

2.1.1 三种森林类型土壤蔗糖酶活性的变化 图 1 可以看出,0~10 cm 的土层蔗糖酶活性分别为(油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林)542.55 mg·g⁻¹、680.67 mg·g⁻¹和 676.36 mg·g⁻¹;土壤深度为 10~20 cm 的油松纯林、

油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的蔗糖酶活性分别为 496.35 mg·g⁻¹、598.20 mg·g⁻¹和 528.25 mg·g⁻¹;土壤深度为 20~30 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的蔗糖酶活性分别为 243.62 mg·g⁻¹、279.27 mg

• g^{-1} 和 $266.40 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 在三个不同深度的土壤中, 油松—刺槐混交林的蔗糖酶活性远高于油松纯林且三种森林类型土壤蔗糖酶的活性都以 0~10 cm 土层中最高, 分别为 $542.55 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $680.67 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $676.36 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 总体变化趋势为油松—刺槐混交林 > 油松—栓皮栎混交林 > 油松纯林。

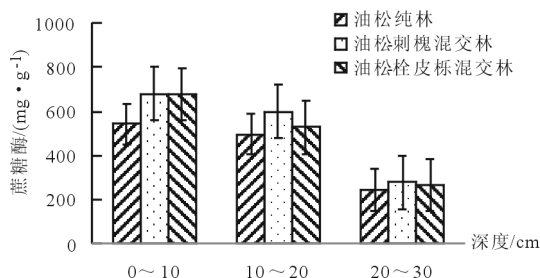


图1 三种森林类型土壤蔗糖酶活性

注: 图柱上所标刻度线表示处理间的标准误差, 下同。

2.1.2 三种森林类型土壤脲酶活性的变化 由图2可知, 土壤深度为 0~10 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林脲酶活性分别为 $33.32 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $37.62 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $35.98 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 土壤深度为 10~20 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林脲酶活性分别为 $30.56 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $34.36 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $33.26 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 土壤深度为 20~30 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林脲酶活性分别为 $22.98 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $28.65 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $25.12 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 在三个不同深度的土壤中, 三种森林类型土壤的脲酶活性都以 0~10 cm 土层的最高, 分别为 $35.98 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $37.62 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $33.32 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 且在三个不同深度的土壤中脲酶活性相差不大, 说明土壤深度对土壤脲酶活性影响不显著; 油松—刺槐混交林土壤脲酶的活性始终高于油松纯林和油松—栓皮栎混交林, 说明混交林对于提高脲酶活性方面要高于纯林; 总的变化趋势为油松—刺槐混交林 > 油松—栓皮栎混交林 > 油松纯林。

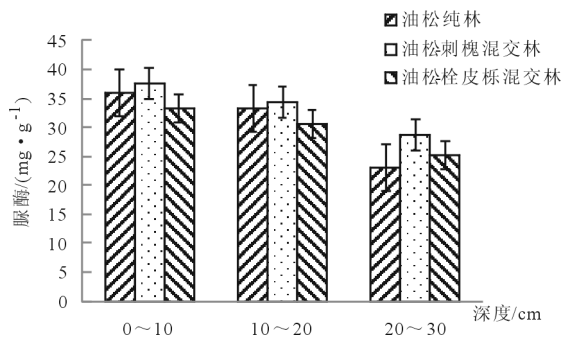


图2 三种森林类型土壤脲酶的活性

2.1.3 三种森林类型土壤酸性磷酸酶的活性变化

由图3可知, 土壤深度为 0~10 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的酸性磷酸酶活性分别为 $451.37 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $678.78 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $651.10 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 土壤深度为 10~20 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的酸性磷酸酶活性分别为 $236.59 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $596.70 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $563.68 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 土壤深度为 20~30 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的酸性磷酸酶活性分别为 $156.62 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $283.45 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $275.32 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 在三个不同深度的土壤中, 三种森林类型土壤的酸性磷酸酶活性都以 0~10 cm 土层的最高, 分别为 $451.37 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $678.78 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $656.10 \text{ mg} \cdot g^{-1}$, 呈现油松—刺槐混交林 > 油松—栓皮栎混交林 > 油松纯林的趋势; 油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的酸性磷酸酶活性均显著高于油松纯林, 但油松—刺槐混交林与油松—栓皮栎混交林间差异不显著; 总的变化趋势为油松—刺槐混交林 > 油松—栓皮栎混交林 > 油松纯林。

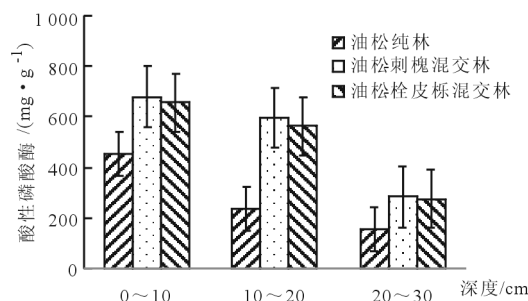


图3 三种森林类型土壤酸性磷酸酶的活性

2.1.4 三种森林类型土壤多酚氧化酶的活性变化

由图4可知, 土壤深度为 0~10 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的多酚氧化酶活性分别为 $123.13 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $141.96 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $131.94 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 土壤深度为 10~20 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的多酚氧化酶活性分别为 $76.15 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $112.01 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $92.67 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 土壤深度为 20~30 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的多酚氧化酶活性分别为 $53.24 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $91.66 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $71.95 \text{ mg} \cdot g^{-1}$; 在三个不同深度的土壤中, 三种森林类型土壤的多酚氧化酶活性都以 0~10 cm 土层的活性最高, 分别为 $123.13 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 、 $141.96 \text{ mg} \cdot g^{-1}$ 和 $131.94 \text{ mg} \cdot g^{-1}$, 并呈现油松—刺槐混交林 > 油松—栓皮栎混交林 > 油松纯林的趋势; 在三种森林类型土壤中多酚氧化酶活性都随土壤深度增加而减小; 总的变化趋势为油松—刺槐混交林 > 油松

—栓皮栎>油松纯林。

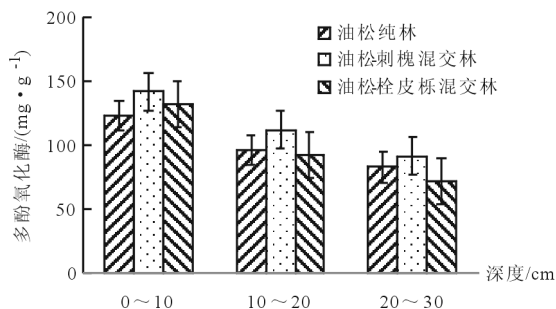


图4 三种森林类型土壤多酚氧化酶的活性

2.1.5 三种森林类型土壤过氧化氢酶的活性变化

由图5可知,土壤深度为0~10 cm的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的过氧化氢酶活性分别为 $7.35 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $12.56 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $11.34 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$;土壤深度为10~20 cm的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的过氧化氢酶活性分别为 $7.12 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $12.10 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $11.30 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$;土壤深度为20~30 cm的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的过氧化氢酶活性分别为 $5.62 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $10.00 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $9.80 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$;油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林过氧化氢酶活性始终高于同一深度的油松纯林,说明混交林对于提高过氧化氢酶活性方面要高于纯林;土壤深度0~20 cm的土壤过氧化氢酶活性变化趋势表现为油松—刺槐混交林>油松—栓皮栎>油松纯林,而土壤深度为20~30 cm的土壤过氧化氢酶活性变化趋势表

现为油松—栓皮栎混交林>油松—刺槐混交林>油松纯林。

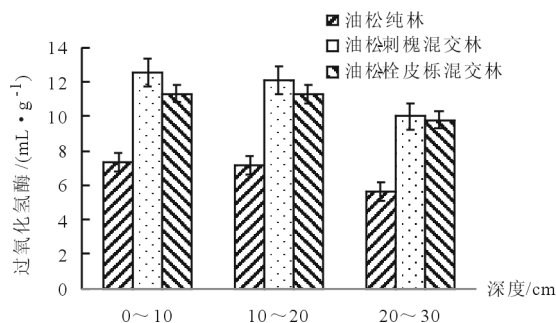


图5 三种森林类型土壤过氧化氢酶的活性

2.2 三种森林类型土壤微生物数量变化

2.2.1 三种森林类型土壤中微生物总数量的变化

如表3所示,在三种采样地中,土壤深度为10~20 cm的油松—刺槐混交林($82.98 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)的微生物总量为最高,约为同等深度油松纯林($48.10 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)的1.73倍;油松—栓皮栎混交林的微生物总数量次之,且土壤深度为10~20 cm的油松—栓皮栎混交林($79.94 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)的微生物总数量约为同等深度油松纯林($48.10 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)的1.66倍;土壤深度为0~10 cm的油松纯林($44.00 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)的微生物总数量最低。三种森林类型的土壤微生物数量变化总趋势为油松—刺槐混交林>油松—栓皮栎混交林>油松纯林。

表3 三种森林类型土壤微生物数量

土壤类型	土壤深度/cm	细菌/ ($10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)	占微生物 总数/%	放线菌/ ($10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)	占微生物 总数/%	真菌/ ($10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)	占微生物 总数/%	微生物总数/ ($10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$)
油松纯林	0~10	42.55	96.70	13.75	3.13	7.35	0.17	44.00
	10~20	46.50	96.67	15.00	3.12	9.60	0.21	48.10
	20~30	43.62	96.80	13.62	3.02	8.05	0.18	45.06
油松—刺槐 混交林	0~10	80.65	97.96	15.78	1.92	10.20	0.12	82.33
	10~20	81.20	97.85	16.70	2.01	11.50	0.14	82.98
	20~30	79.20	97.95	15.45	1.91	11.36	0.14	80.85
油松—栓皮栎 混交林	0~10	76.26	97.92	15.10	1.94	8.90	0.14	77.88
	10~20	78.25	97.89	15.80	1.97	11.30	0.14	79.94
	20~30	76.20	97.91	15.20	1.95	9.80	0.14	77.83

2.2.2 三种森林类型土壤细菌数量变化 如图6所示,土壤深度为0~10 cm的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的细菌数量分别

为 $42.55 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $80.65 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $76.26 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$;土壤深度为10~20 cm的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混

交林的细菌数量分别为 $46.50 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $81.20 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $78.25 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$; 土壤深度为 20~30 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的细菌数量分别为 $43.62 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $79.20 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $76.20 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$, 三种森林类型土壤中细菌数量变化总体表现为油松—刺槐混交林最高, 油松—栓皮栎混交林次之, 油松纯林最少; 细菌的数量在微生物总数中占有最大比重; 土壤深度为 10~20 cm 的油松—刺槐混交林 ($81.20 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 的细菌数为最高, 约为同等深度油松纯林的 ($46.50 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 1.75 倍, 占该采样地微生物总数的 97.85%; 土壤深度为 10~20 cm 的油松—栓皮栎混交林 ($78.25 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 的细菌数量占该采样地微生物总数的 97.89%, 比同等深度油松纯林的 ($46.50 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 多了 1.22%; 土壤深度为 0~10 cm 的油松纯林 ($42.55 \times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 的细菌数量最低, 占该采样地微生物总数的 96.70%。

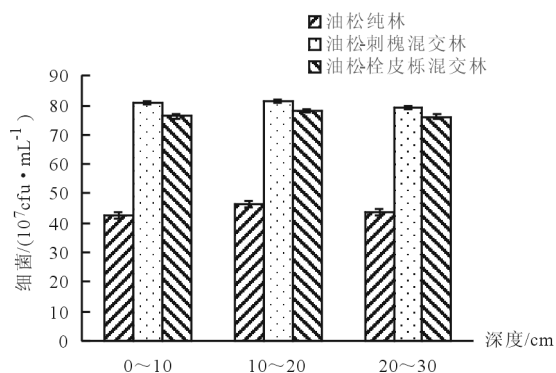


图 6 三种森林类型土壤细菌的数量

2.2.3 三种森林类型土壤放线菌数量变化 如图 7 所示, 土壤深度为 0~10 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的放线菌数量分别为 $13.75 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $15.78 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $15.10 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$; 土壤深度为 10~20 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的放线菌数量分别为 $15.00 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $16.70 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $15.80 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$; 土壤深度为 20~30 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的放线菌数量分别为 $13.62 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $15.45 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $15.20 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。不同深度的三种森林类型土壤中放线菌数量的变化趋势和细菌一致, 均表现为油松—刺槐混交林最高, 油松—栓皮栎混交林次之, 油松纯林最少。土

壤深度为 10~20 cm 的油松—刺槐混交林 ($16.70 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 的放线菌数量最高, 约为同等深度油松纯林的 ($15.00 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 1.11 倍, 占该采样地微生物总数的 3.12%; 土壤深度为 10~20 cm 的油松—栓皮栎混交林 ($15.8 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 的放线菌数量, 占该采样地微生物总数的 1.97%, 比同等深度油松纯林 ($15.00 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 的放线菌数量多了 1.22%; 土壤深度为 20~30 cm 的油松纯林 ($13.62 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 的放线菌数量最低, 占该采样地微生物总数的 3.02%。

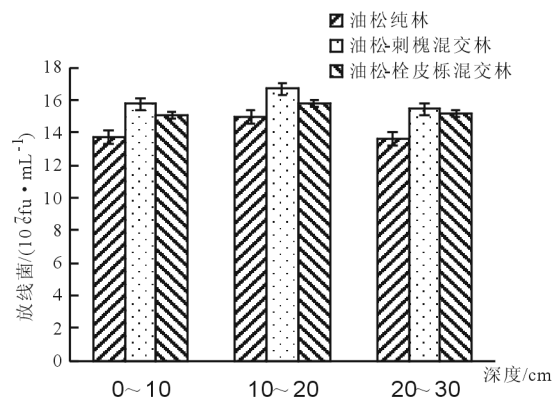
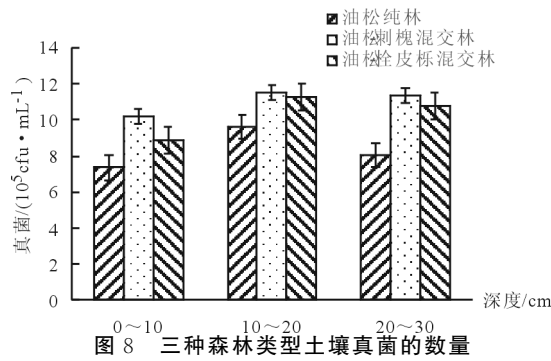


图 7 三种森林类型土壤放线菌的数量

2.2.4 三种森林类型土壤真菌数量变化 从图 8 所示, 土壤深度为 0~10 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的真菌数量分别为 $7.35 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $10.20 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $8.90 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$; 土壤深度为 10~20 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的真菌数量分别为 $9.60 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $11.50 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $11.30 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$; 土壤深度为 20~30 cm 的油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的真菌数量分别为 $8.05 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $11.36 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $9.80 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$, 不同森林类型土壤中真菌的数量变化趋势同细菌与放线菌相比有明显差异, 表现为油松—刺槐混交林的真菌数量最多, 明显多于油松纯林和油松—刺槐混交林的真菌数量。三种采样地土壤中真菌数量变化趋势总体表现为土壤深度为 10~20 cm 的油松—刺槐混交林 ($11.50 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 最多, 占微生物总量的 0.14%; 不同深度的油松—栓皮栎混交林次之, 均占该采样地的微生物总数的 0.14%; 土壤深度为 0~10 cm 的油松纯林 ($7.35 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 最少, 占该采样地微生物总数的 0.17%。



3 讨论

3.1 三种森林类型对土壤酶活性的影响

土壤中各种酶活性能够反应出植物体的一系列生理生化过程,并且土壤酶在土壤的生态系统中起着非常重要的作用^[5]。在笔者研究中土壤深度对油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林土壤中的酶活性有显著影响,蔗糖酶、酸性磷酸酶、多酚氧化酶和过氧化氢酶活性都随土壤深度增加而减小,这与张金屯等^[6]对黑土的土壤酶活性的研究结论一致,说明酶活性随土壤深度的增加而降低,出现这种现象的原因是土壤通气状况随着土壤深度的增加而变得越来越差,微生物的数量及种类也会呈递减状态,所以土壤酶随土壤深度的增加而逐级降低。在笔者研究中,油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的酸性磷酸酶活性都以 0~10 cm 的土层的活性最高,而油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的酸性磷酸酶活性与油松纯林差异显著,这与李岩等^[7]的研究结果一致。笔者研究中,油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林的脲酶活性都以 0~10 cm 土层的活性最高,这与柴旭光等^[8]对土壤脲酶活性变化趋势一致,说明浅层土壤中脲酶活性较高。本研究中,油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林土壤过氧化氢酶均显著高于油松纯林,但油松—刺槐混交林与油松—栓皮栎混交林间差异不显著,这与陈立明等^[9]对云冷杉林土壤过氧化氢酶活性的研究结论不一致,其原因可能为研究对象不同、其生长环境差异较大、选取土壤深度不同等诸多原因导致土壤中过氧化氢酶活性的变化规律影响较大。研究发现在三种森林类型土壤中多酚氧化酶活性都随土壤深度增加而减小,这与陈立明等^[9]对云冷杉林土壤多酚氧化酶活性的研究结论一致,土壤多酚氧化酶的降低,对促进土壤酚类物质向醌类物质转化起到一定不利作用,将会增加酚类物质累积,进而让土壤毒素增加。还有学者研究发现混交会

造成土壤有害物质过氧化氢的增加以及对于氮素的不合理利用从而导致土壤的肥力及熟化程度降低,最终影响作物的质量以及产量^[10]。刘捷豹等^[11]研究表明土壤酶是主要限制森林土壤的物质循环因素,环境变化将引起水分、土壤 pH、营养成分变化,这些变化对土壤酶的稳定性和活性起反作用。在未来研究中,应注重加强酶的基本性质对环境的变化响应的研究,更加注重土壤深度、林分类型导致的差异,大范围内强化多种因素之间的作用,且进行综合、长期观测。

3.2 三种森林类型对土壤微生物数量的影响

土壤微生物类群在土壤的生态系统中有着一非常重要的作用,其数量特征可以显示出土壤肥力的高低^[12]。笔者研究发现,三种森林类型土壤中的微生物数量总的变化趋势为油松—刺槐混交林>油松—栓皮栎混交林>油松纯林,且细菌、真菌和放线菌的数量变化特征和微生物总数特征变化趋势是一致的,这与李岩等^[7]探讨了两种林分类型对林下土壤微生物数量变化趋势的研究结论一致,说明混交林相对纯林在微生物的细菌、放线菌、真菌都有显著提高,对土壤质量的改善起到了促进作用。研究发现,油松纯林、油松—刺槐混交林和油松—栓皮栎混交林土壤微生物数量关系均表现为细菌>放线菌>真菌,这与彭晓邦^[13]对商洛核桃—桔梗复合生态系统土壤微生物数量变化趋势的研究结论一致,说明放线菌、真菌对水分、养分的竞争能力比细菌弱,从而表现为不同根际土壤放线菌、真菌的数量均比细菌低。笔者研究结果发现,随着土壤深度的增加细菌、放线菌和真菌数量均减少,而孙秀山等^[14]研究发现,随着花生田连作年限的增加细菌和放线菌的数量呈现增加的趋势,而真菌则表现为减少的趋势,这与笔者研究结果不同,其原因可能为研究对象不同、作物的生长环境差异较大、取材土壤深度等诸多原因导致连作年限对土壤微生物影响的变化规律差异较大。肖育贵等^[15]研究表明植物种类的组成不同,枯落物质及其数量不同,提供给土壤的微生物生长营养物质不同,导致微生物组成和种类也会不同,继而引起土壤的酶活性存在质和量差异,所以三种森林类型土壤酶活性和微生物数量特征还有待进一步的研究。

4 结论

在三种森林类型土壤中,蔗糖酶、酸性磷酸酶、
(下转第 111 页)