

刘 静,徐峥静茹,彭培好,等. 旅游踩踏对鸡冠山森林公园土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):398-402.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.116

旅游踩踏对鸡冠山森林公园土壤微生物数量及酶活性的影响

刘 静,徐峥静茹,彭培好,潘 欣

(成都理工大学旅游与城乡规划学院,四川成都 610059)

摘要:以四川省崇州市鸡冠山森林公园内不同海拔、不同试验区土壤中的微生物和土壤酶为研究对象,探讨旅游踩踏对鸡冠山森林公园内土壤微生物及土壤酶的影响。结果表明,游客旅游踩踏行为随海拔的升高而减少,土壤微生物中细菌、真菌、放线菌的数量大致呈增加趋势;与之相反,病原指示菌大肠杆菌的数量呈递减趋势。在同一海拔下,游客旅游踩踏行为从无人区、缓冲区至密集区逐渐增加,土壤微生物中细菌、真菌、放线菌的多样性下降,导致数量逐渐减少,病原指示菌大肠杆菌却逐渐增加。由于土壤酶与土壤微生物活动密切相关,研究区土壤中过氧化氢酶、纤维素酶、蔗糖酶、淀粉酶的活性与海拔和试验区表现出明显的相关性。人为活动的增加可影响环境中的微生物数量与土壤酶活性,还可为环境带来病原菌。有必要进一步规范和规划游客活动过程,减少旅游活动对环境特别是微生态环境的影响,实现真正意义的生态旅游。

关键词:旅游踩踏;土壤微生物;土壤酶;鸡冠山;生态旅游

中图分类号: S154 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0398-05

生态旅游资源的脆弱性与不可再生性使其极易受外界干扰,且一经破坏便难以恢复。在以可持续发展为理念、保护生态环境为前提、统筹人与自然和谐发展为准则的前提下,以自然环境为基础的生态旅游在如今生态环境日益恶劣的情况下

愈发受到大众关注。

土壤微生物在“土壤-土壤微生物-植物”这一生态系统中扮演着重要角色。土壤微生物通过分解动植物残体而参与森林生态系统的能量流动和物质循环,对土壤养分、土壤结构、土壤稳定性、植被生态恢复产生重要影响,有机质转化所需能量的90%以上均来自于微生物的分解作用,为植物提供养分的同时还为预防植物病害提供帮助^[1-4]。

土壤微生物及植物根系能够释放各种酶类进入土壤,土壤酶类和微生物一起推动着土壤的代谢过程。土壤酶类作为土壤生态系统的组分之一,是生态系统的生物催化剂,在土壤

收稿日期:2015-05-26

基金项目:四川省教育厅理工科重点项目(编号:14ZA0069)。

作者简介:刘 静(1989—),女,四川成都人,硕士研究生,主要从事土壤生态学研究。E-mail:sodamew@163.com。

通信作者:潘 欣,博士,副教授,主要从事林业生态等研究。E-mail:panxin@cdut.cn。

[2]祝列克. 中国荒漠化和沙化动态研究[M]. 北京:中国农业出版社,2006.

[3]乔 青,高吉喜,王 维,等. 生态脆弱性综合评价方法与应用[J]. 环境科学研究,2008,21(5):117-123.

[4]刘 康,徐卫华,欧阳志云,等. 基于GIS的甘肃省土地沙漠化敏感性评价[J]. 水土保持通报,2002,22(5):29-31,35.

[5]周利军,张淑花. 黑龙江省西南部土地沙漠化敏感性评价[J]. 中国农学通报,2009,25(21):324-327.

[6]国家林业局. 第四次中国荒漠化和沙化状况公报[R/OL]. [2015-09-10]. http://www.china.com.cn/zhishi/zhuanli/ch-xinwen/2010-08/31/content_21669628.htm.

[7]刘鸿雁,田育红,丁 登. 内蒙古浑善达克沙地和河北坝上地区不同地表覆盖类型对北京沙尘天气物源的贡献[J]. 科学通报,2003,48(11):1229-1232.

[8]罗承平,薛纪渝. 中国北方农牧交错带生态脆弱带特征,环境问题及综合整治战略[M]//赵桂久. 生态环境综合整治和恢复技术研究:第一集. 北京:中国科学技术出版社,1993:61-70.

[9]赵跃龙. 中国脆弱生态环境类型分布及其综合整治[M]. 北京:中国环境科学出版社,1999:23-87.

[10]Gabor T,Griffith T K. The assessment of community vulnerability to acute hazardous materials incidents [J]. Journal of Hazardous Materials,1980,3(4):323-333.

[11]Liverman D. The vulnerability of urban areas to technological risks [J]. CitiesMay,1986,4(5):142-147.

[12]刘燕华,李秀斌. 脆弱生态环境可持续发展[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2003,39(3):77-80.

[13]姚 健,艾南山,丁 晶. 中国生态环境脆弱性及其评价研究进展[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2003,39(3):77-80.

[14]Qiu P H,Xu S J,Xie G Z,et al. Analysis of the ecological vulnerability of the western Hainan Island based on its landscape pattern and ecosystem sensitivity[J]. Acta Ecologica Sinica,2007,27(4):1257-1264.

[15]国家环境保护总局. 生态功能区划技术暂行规程[S]. 2002.

[16]冯长红. 河北省土地沙化状况及治理对策[J]. 河北林业科技,2005(增刊1):10-13.

[17]Wang R J,Liu H,Jiang H J,et al. Comprehensive assessment of eco-environment vulnerability in Hebei province based on ArcGIS[J]. Meteorological and Environmental Research,2011,2(10):84-90.

与物质循环和能量转化过程中起着重要作用,参与包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环,既是土壤有机物转化的执行者,又是植物营养元素的活性库^[5]。其活性不仅可以反映土壤中各种生物化学过程的强度和方向,而且对土壤肥力变化具有很强的敏感性和更敏锐的指示作用^[6]。

国内外研究表明,旅游活动对土壤有机质、土壤水分、土壤物理性状、植物多样性、景观、土壤流失等方面均产生了严重影响^[7-9],旅游活动中的游客踩踏对土壤生态环境的影响是最为普遍的形式^[10-12]。土壤质地、土壤有机质、植被等直接影响着土壤微生物的活性及其多样性^[13-14],因此游客踩踏与土壤微生物、土壤酶之间的关系密不可分。

在生态旅游的大环境下,研究旅游踩踏对土壤微生物数量以及土壤酶活性的影响,以期为保护森林公园生态平衡与生物多样性提供科学依据。通过对四川省崇州市鸡冠山森林公园的土壤进行系统采样,分析土壤中微生物的种类和数量、土壤酶活性,探讨旅游踩踏对土壤微生物以及土壤酶活性的影响,为实现真正意义上的生态旅游提供数据基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

鸡冠山国家森林公园位于四川省成都平原西部边缘,崇州市西北隅,东与崇州市苟家乡接壤,南与大邑县毗邻,西与苗基岭雪山相连,北与阿坝藏族、羌族自治州汶川县接壤,背靠终年积雪不化的“四姑娘”山。该森林公园占地 10 800 hm²,森林覆盖率 95%,最高海拔可达 3 868 m,以其独特的山峰、森林、瀑布、雪山、温泉、云海、大熊猫等自然秀美景景观和人文风光著称。森林分布呈现明显的垂直带谱,海拔 3 000 m 以上为高山草甸带、高山杜鹃林带;海拔 2 000 ~ 2 400 m 为常绿阔叶、落叶阔叶混交林带、冷箭竹海;海拔 2 000 m 以下为常绿阔叶林带、人工柳杉林带、林边竹海。动物资源也极为丰富,有大熊猫、牛羚等国家一级保护动物 6 种,有小熊猫、红腹角雉等国家二级保护动物 27 种。由于鸡冠山国家森林公园独特的原始自然风光,目前已吸引了全国各地大量户外爱好者前来登山野营。

1.2 供试材料

1.2.1 供试土壤 土壤于 2014 年 8 月采自四川省成都市崇州鸡冠山森林公园旅游区,根据游客登山线路,分别于山顶(海拔 2 020 m)、山腰(海拔 1 880 m)、山脚(海拔 1 712 m)进行采样,其中每种海拔又分为密集区(离游道 1.5 ~ 2.5 m 处)、缓冲区(离游道边 50 ~ 80 m 处)、无人区(人未踏及)。采样深度为 0 ~ 5 cm,随机布点,每次取 500 g 土壤混匀,用自封袋存于 4 ℃ 冰箱中保存备用。

1.2.2 培养基 细菌培养采用牛肉膏蛋白胨培养基:牛肉膏 3 g、蛋白胨 10 g、NaCl 5 g、琼脂 15 ~ 20 g、水 1 000 mL,pH 值为 7.4 ~ 7.6,于 121 ℃ 高压蒸汽灭菌 20 min。

真菌培养采用 PDA 培养基:马铃薯 200 g、蔗糖 20 g、琼脂 15 ~ 20 g、水 1 000 mL,pH 值为自然。马铃薯去皮,切成块煮沸 30 min,然后用纱布过滤,再加上糖和琼脂,溶化后补足水至 1 000 mL,于 121 ℃ 高压条件下蒸汽灭菌 20 min。

放线菌采用高氏 I 号培养基:可溶性淀粉 20 g、KNO₃ 1 g、NaCl 0.5 g、K₂HPO₄ · 3H₂O 0.5 g、MgSO₄ · 7H₂O 0.5 g、

0.01 g/mL 的 FeSO₄ · 7H₂O 储备液 1 mL、琼脂 15 ~ 20 g、水 1 000 mL,pH 值为 7.4 ~ 7.6,于 121 ℃ 高压蒸汽灭菌 20 min。

大肠杆菌采用伊红美蓝培养基:蛋白胨 10 g、乳糖 10 g、磷酸氢二钾 2 g、琼脂 20 ~ 30 g、2% 伊红水溶液 20 mL、0.5% 美蓝水溶液 13 mL、蒸馏水 1 000 mL。琼脂加至 900 mL 蒸馏水中,加热溶解后加入磷酸氢二钾及蛋白胨,混匀使之溶解,再以蒸馏水补足至 1 000 mL,调整 pH 值至 7.2 ~ 7.4。趁热用脱脂棉或绒布过滤,再加入乳糖,混匀后定量分装于烧瓶内,置于高压蒸汽灭菌器内于 115 ℃ 灭菌 20 min。

1.3 方法

土壤微生物的测定参照《微生物实验指导》^[15]、《土壤微生物研究原理与方法》^[16]。细菌、放线菌、真菌、大肠杆菌均采用稀释平板法,每个体积分数重复 3 次。细菌、大肠杆菌于 37 ℃ 下培养 16 ~ 24 h;真菌于 28 ℃ 下培养 3 ~ 5 d;放线菌于 28 ℃ 下培养 5 ~ 7 d。培养完成后对其进行观察、拍照、计数。

土壤微生物的测定参照《微生物实验指导》^[17],土壤过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法测定,其活性以培养 24 h 后 1 g 风干土壤中 NH⁺ - N 的质量(mg)来表示;纤维素酶采用 3,5 - 二硝基水杨酸比色法测定,其活性以培养 72 h 后 1 g 风干土壤中葡萄糖的质量(mg)来表示;蔗糖酶采用 3,5 - 二硝基水杨酸比色法测定,其活性以培养 24 h 后 1 g 风干土壤中葡萄糖的质量(mg)来表示;淀粉酶采用 3,5 - 二硝基水杨酸比色法测定,以 24 h 内淀粉酶分解生成麦芽糖的质量(mg)表示淀粉酶活性的大小。

采用 Excel 软件对所得数据进行整理与统计,在此基础上利用 SPSS 统计软件对数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 旅游踩踏对土壤中微生物数量的影响

2.1.1 土壤中微生物的总数量 鸡冠山森林公园土壤中三大类微生物的数量分析结果表明,不同海拔、不同试验区土壤中的细菌、真菌、放线菌数量出现明显差异(图 1)。低海拔地区土壤受踩踏作用的影响明显高于高海拔地区,而游道旁的密集区土壤受踩踏作用的影响明显高于缓冲区,更高于无人区。通过绘制不同海拔、不同试验区、不同微生物的数量分布图,可清晰显示旅游踩踏对微生物数量的影响。SPSS 统计软件可对数据进行双因素方差分析,有助于进一步分析不同海拔、不同区域对微生物数量的影响(表 1)。

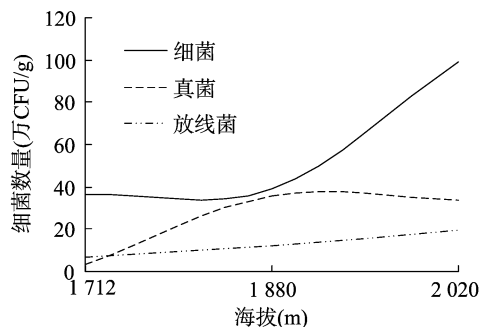


图1 不同海拔微生物数量的变化

土壤微生物数量分析结果表明,细菌总数为 1.75 × 10⁶ CFU/g,真菌总数为 7.26 万 CFU/g,放线菌总数为

3.88 万 CFU/g。总体表现出细菌数量最高且占绝对优势,真菌数量次之,放线菌数量最少(图 1)。

表 1 海拔及试验区与土壤微生物数量之间的 Pearson 相关系数

相关因子	微生物总数	细菌	真菌	放线菌	大肠杆菌
海拔	0.407	0.410	0.007 **	0.157	0.045 *
试验区	0.215	0.224	0.144	0.118	0.044 *

注:“*”“**”分别表示在 0.05、0.01 水平下显著相关。下表同。

土壤微生物的总数量随海拔的增加大致呈增加趋势。海拔 2 020 m 土壤微生物的数量最高,达到了 10.44×10^5 CFU/g;海拔 1 880 m 土壤微生物的总数量为 4.36×10^5 CFU/g;而海拔 1 712 m 土壤微生物的总数有少量增加,其数量为 3.77×10^5 CFU/g。

在同一海拔下,微生物的数量受游客踩踏的影响明显。整体来看,无人区微生物总数量明显多于缓冲区,而缓冲区微生物总数量略多于密集区,其中高海拔(2 020 m)无人区的微生物总数尤为凸出(图 2、图 3)。

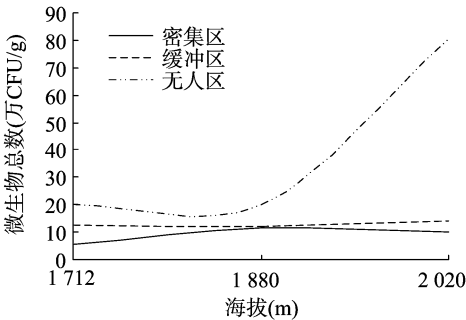


图2 不同试验区在不同海拔土壤微生物总数的变化

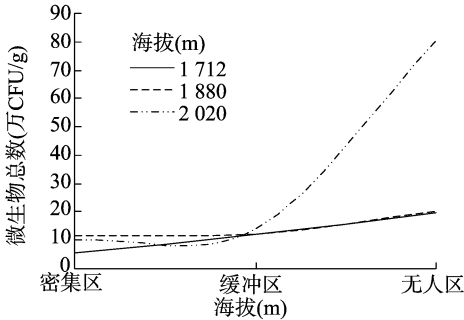


图3 不同海拔在不同试验区土壤微生物总数的变化

2.1.2 土壤中细菌的数量变化 土壤三大类微生物中细菌的数量和种类最多,占有绝对优势,因此细菌的分布情况与三大类微生物总量的分布情况相似(图 4)。土壤细菌的数量随海拔的增加呈增加趋势。海拔 1 712 m 不同试验区土壤细菌的总数量为 3.68×10^5 CFU/g, 占本研究中微生物总数量的 94%;而海拔 1 880 m 土壤细菌的总数有少量增加,达到 3.88×10^5 CFU/g, 占微生物总数量的 89%;海拔 2 020 m 不同试验区土壤微生物的数量最高,达到 9.91×10^5 CFU/g, 占微生物总数量的 96%。无人区细菌数量明显多于缓冲区,而缓冲区细菌数量略多于密集区,以海拔 2 020 m 无人区细菌数量最为明显,达到 7.78×10^5 CFU/g。

2.1.3 土壤中真菌的数量 土壤中真菌数量的分布见图 5, 1 712 m 低海拔地区土壤中的真菌数量(0.33 万 CFU/g)较

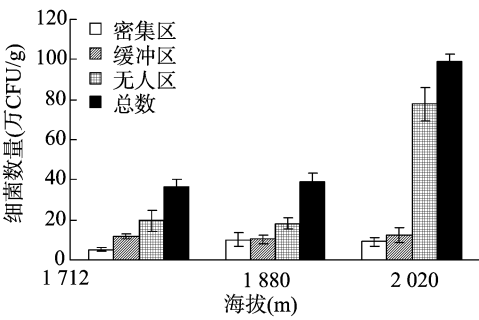


图4 土壤中细菌数量的变化

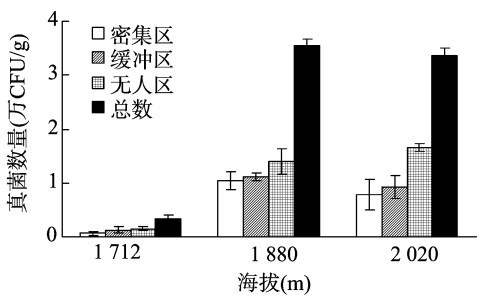


图5 土壤中真菌数量的变化

少,明显低于 1 880、2 020 m 高海拔地区土壤中的真菌数量(3.55 万、3.36 万 CFU/g)。不同试验区的真菌数量呈现出与细菌相似的特征,其数量依次由密集区、缓冲区、无人区呈逐渐增加的趋势。相关性分析表明,海拔对真菌数量的影响极其显著($P < 0.01$),但试验区对真菌数量无明显影响。

2.1.4 土壤中放线菌的数量 土壤中放线菌数量的分布见图 6,海拔 1 712 m 土壤中放线菌的数量最低,其总数达到 0.67 万 CFU/g;海拔 1 880 m 土壤中放线菌的数量居中,其总数为 1.23 万 CFU/g;海拔 2 020 m 土壤中放线菌的数量最高,高达 1.98 万 CFU/g。不同试验区放线菌的数量仍呈由密集区、缓冲区、无人区逐渐增加的趋势。

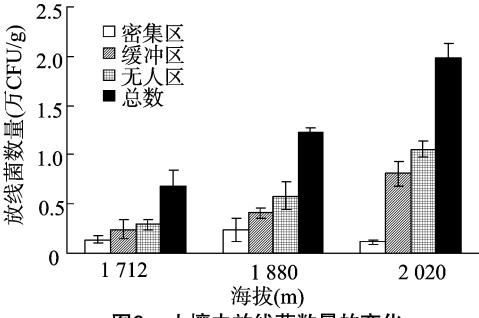


图6 土壤中放线菌数量的变化

2.1.5 土壤中大肠杆菌的数量 为进一步考虑人为活动对土壤微生物的影响,对土壤中大肠杆菌的数量进行分析(图 7)。土壤中大肠杆菌的数量受人类活动的影响同样明显,其总数随海拔的增加依次降低,并由密集区、缓冲区、无人区呈依次降低的趋势。海拔 1 712 m 密集区土壤中大肠杆菌的数量最高,为 6.78 万 CFU/g;而海拔 2 020 m 无人区大肠杆菌的数量最低,仅为 0.25 万 CFU/g。相关性分析表明,海拔和试验区对大肠杆菌数量均有显著影响($P < 0.05$)。

2.2 旅游踩踏对土壤中酶活性的影响

土壤酶在生态系统中具有重要地位,其主要来源于土壤

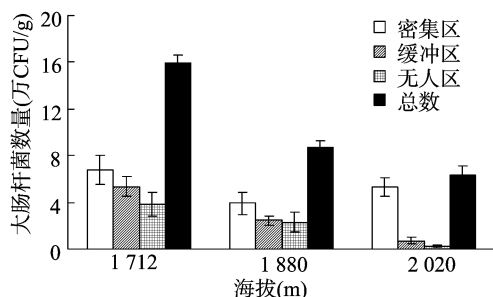


图7 土壤中大肠杆菌数量的变化

微生物活动、植物根系分泌物、动植物残体腐解过程中释放的酶,它参与了包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环,是土壤新陈代谢的重要因素^[18-19]。对不同海拔、不同试验区的土壤酶活性进行对比及相关性分析(表2),有助于进一步解释踩踏对酶活性的影响。

表2 海拔及试验区与土壤酶活性之间的 Pearson 相关系数

相关因子	过氧化氢酶	纤维素酶	蔗糖酶	淀粉酶
海拔	0.024 *	0.024 *	0.010 **	0.050 *
试验区	0.028 *	0.003 **	0.008 **	0.079

2.2.1 过氧化氢酶 过氧化氢酶主要来源于细菌、真菌、植物根系的分泌物。过氧化氢是生物呼吸过程中有机物发生生物化学氧化反应而产生的,其积累会对生物和土壤产生毒害作用,而生物体和土壤中的过氧化氢酶能酶促过氧化氢分解为水和氧,从而解除过氧化氢的毒害作用^[20]。鸡冠山森林公园海拔1712 m土壤过氧化氢酶活性的变化并不明显,但仍可看出海拔2020 m处土壤过氧化氢酶活性最高,海拔1880 m处次之,海拔1712 m处最低(图8)。土壤中过氧化氢酶的活性与海拔显著相关($P < 0.05$),且与不同试验区显著相关($P < 0.05$)。

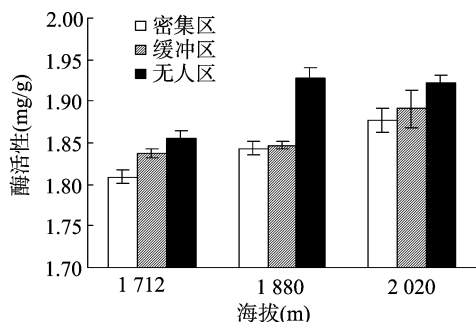


图8 过氧化氢酶活性的变化

2.2.2 纤维素酶 纤维素酶是碳素循环过程中一个非常重要的酶。鸡冠山森林公园海拔2020 m处土壤纤维素酶活性均高于海拔1880、1712 m处。在不同区域中,密集区土壤纤维素酶活性最低(图9)。土壤纤维素酶活性与分解纤维素的细菌、真菌的活动高度相关。

2.2.3 蔗糖酶 蔗糖酶主要来源于微生物、动植物残体、植物根系。鸡冠山森林公园海拔2020 m处土壤蔗糖酶活性普遍高于海拔1880、1712 m处(图10),该特点与过氧化氢酶、纤维素酶活性的研究结果一致。相关性分析表明,海拔、不同试验区均与蔗糖酶活性极显著相关($P < 0.01$)。

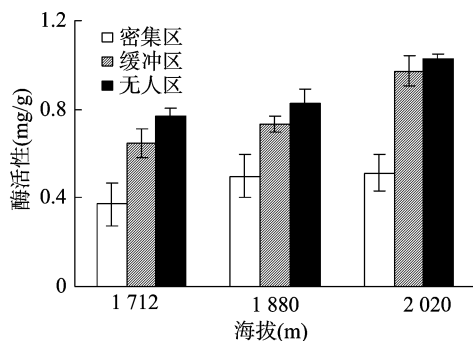


图9 纤维素酶活性的变化

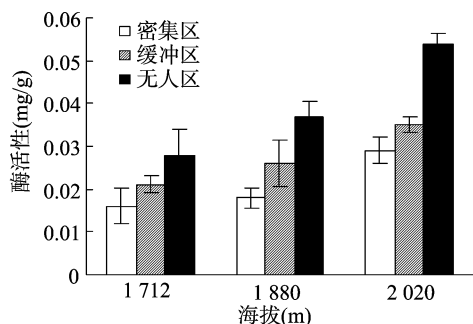


图10 蔗糖酶活性的变化

2.2.4 淀粉酶 淀粉酶是催化淀粉水解的一类酶,普遍存在于动植物体内和微生物中。在微生物作用前期,淀粉酶活性对土壤中碳素的转化过程、土壤中植物生物学特性的研究具有重要意义。淀粉酶很大一部分由土壤中微生物分泌,因此淀粉酶活性常作为土壤微生物生长和活性的指标。研究区淀粉酶的活性与海拔显著相关($P < 0.05$),但试验区对淀粉酶的活性无显著影响。

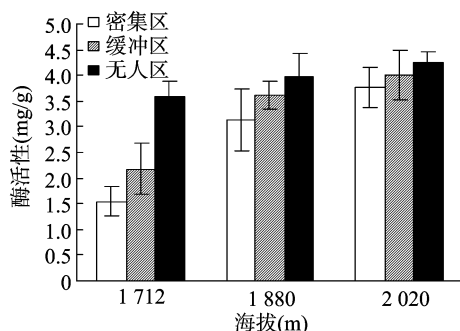


图11 淀粉酶活性的变化

3 结论与讨论

本试验结果表明,在三大类微生物的数量上,细菌占绝对优势,真菌次之,放线菌最少,表明细菌对该土壤的适应性强,而真菌、放线菌次之。土壤微生物总数,细菌、真菌、放线菌的数量均随海拔的升高而增加,土壤中过氧化氢酶、纤维素酶、蔗糖酶、淀粉酶的活性也呈增高趋势。高海拔地区地势更加陡峭,旅游者数量更少,对土壤的踩踏程度更轻;另外,高海拔地区植被群落更丰富,地表凋落物更多。以上因素共同作用使土壤微生物数量、土壤酶活性增加。在同一海拔下,土壤微生物、细菌、真菌、放线菌数量均由无人区、缓冲区至密集区逐

渐减少,土壤中过氧化氢酶、纤维素酶、蔗糖酶、淀粉酶活性逐渐降低。密集区旅游者活动范围非常集中,踩踏强度较大,土壤腐殖层消失,土壤厚度减少导致土壤板结,植物难以生长而形成裸地,土壤有机物分解速度加快,土壤微生物失去了赖以生存的养分,导致微生物活性降低、数量下降^[21-22]。

大肠杆菌是人和动物重要的肠道共生菌,同时也是环境污染指示菌。大肠杆菌主要附着于人类或动物的肠道中,经由消化道和呼吸道传染,在登山过程中藉由人类的不文明行为等得以在土壤中停留。由于密集区旅游人数众多,人为活动增加,踩踏所带的病原指示菌逐渐增强;而缓冲区至无人区地段人迹罕至,踩踏所带的大肠杆菌数量逐渐变少。大肠杆菌数量随海拔的升高呈降低趋势,各海拔下均表现为密集区>缓冲区>无人区。

土壤微生物多样性代表着微生物群落的稳定性,对植物生长发育、群落演替具有重要作用。土壤微生物在保护濒危植物、恢复退化植被、修复被污染土壤方面发挥着巨大职能^[23-26]。旅游者在旅游过程中产生的游览痕迹对于土壤三大类微生物数量的影响,将导致土壤微生物区系的改变,从而使植物种群减少、生态环境被破坏。须进一步规范和规划游客活动过程,减少旅游活动对环境特别是微生态环境的影响,实现真正意义的生态旅游。

参考文献:

- [1] 文都日乐,李刚,张静妮,等. 呼伦贝尔不同草地类型土壤微生物量及土壤酶活性研究[J]. 草业学报,2010,19(5):94-102.
- [2] Grayston S J, Prescott C E. Microbial communities in forest floors under four tree species in coastal British Columbia[J]. Soil Biology and Biochemistry,2005,37(6):1157-1167.
- [3] Grierson P F, Adams M A. Plant species affect acid phosphatase ergosterol and microbial P in a Jarrah forest in south-west Australia[J]. Soil Biology & Biochemistry,2000,32:1814-1827.
- [4] Heal O W, Madean F S. Comparative productivity in ecosystem-secondary productivity[C]//van Dobben W H, Melonell P H L. Unifying concepts in ecology. Hague: The Hague Holland Press House, 1975:89-108.
- [5] 向泽宇,王长庭,宋文彪,等. 草地生态系统土壤酶活性研究进展[J]. 草业科学,2011,28(10):1801-1806.
- [6] 赵超,王兵,戴伟,等. 不同海拔毛竹土壤酶活性与土壤理化性质关系的研究[J]. 河北林果研究,2010,25(1):1-6.
- [7] 张晓兵. 野外旅游活动对土壤的影响[J]. 国外林业,1995,25(1):1-4.
- [8] 冯学钢,包浩生. 旅游活动对风景区地被植物-土壤环境影响的初步研究[J]. 自然资源学报,1999,14(1):76-79.
- [9] 杨海君,肖启明,谭周进,等. 放牧对张家界索溪峪景区土壤酶活性及微生物作用强度的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):913-917.
- [10] 谭周进,肖启明,祖智波. 旅游踩踏对张家界国家森林公园土壤微生物区系及活性的影响[J]. 土壤学报,2007,44(1):184-187.
- [11] 谭周进,肖启明,杨海君,等. 旅游对张家界国家森林公园土壤酶及微生物作用强度的影响[J]. 自然资源学报,2006,21(1):133-138.
- [12] 杨海君,杨成建,肖启明. 旅游活动对张家界国家森林公园土壤酶活性与微生物分布的影响[J]. 生态学杂志,2007,26(5):617-621.
- [13] Grierson P F, Adams M A. Plant species affect acid phosphatase, ergosterol and microbial P in a Jarrah (*Eucalyptus marginata* Donn ex Sm.) forest in south-western Australia[J]. Soil Biology & Biochemistry,2000,32(13):1817-1827.
- [14] Dick R P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,1992,40(1/2/3/4):25-36.
- [15] 陈金春,陈国强. 微生物学实验指导[M]. 北京:清华大学出版社,2005:18-41.
- [16] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986:260-339.
- [18] 徐雁,向成华,李贤伟. 土壤酶的研究概况[J]. 四川林业科技,2010,31(2):14-20.
- [19] 杨万勤,王开运. 森林土壤酶的研究进展[J]. 林业科学,2004,40(2):152-159.
- [20] 王菊兰,何文寿,何进智. 宁夏引黄灌区温室土壤脲酶、过氧化氢酶活性与土壤肥力因素的关系[J]. 宁夏大学学报:自然科学版,2007,28(2):162-165.
- [21] 席建超,胡传东,武国柱,等. 六盘山生态旅游区旅游步道对人类践踏干扰的响应研究[J]. 自然资源学报,2008,23(2):274-284.
- [22] 毕江涛,贺达汉,沙月霞,等. 荒漠草原不同植被类型土壤微生物群落功能多样性[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(5):149-155.
- [23] 严君,韩晓增,王守宇. 黑土不同植被覆盖与施肥下土壤微生物的变化特征[J]. 土壤通报,2009,40(2):240-244.
- [24] 崔金香,王帅. 土壤微生物多样性研究进展[J]. 河南农业科学,2010(6):165-169.
- [25] 毕江涛,贺达汉. 植物对土壤微生物多样性的影响研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(9):244-250.
- [26] 赵官成,梁健,谈静雅,等. 土壤微生物与植物关系研究进展[J]. 西南林业大学学报,2011,31(1):83-88.