

程燕芳,王嘉学,许路艳,等. 云南高原喀斯特山原红壤退化中的表层土壤水分变异[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):433-437.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.135

云南高原喀斯特山原红壤退化中的表层土壤水分变异

程燕芳¹, 王嘉学¹, 许路艳¹, 王家文², 张磊¹

(1. 云南师范大学, 云南昆明 650500; 2. 昆明理工大学, 云南昆明 650500)

摘要: 山原红壤是云南高原的一类特殊土壤, 近年来退化严重, 多年寸草不生的红裸土景观广泛发育, 表层土壤水分直接影响植物生长与退化山原红壤的生态修复。为认识山原红壤退化中的表层土壤水分变异规律, 进而深入认识山原红壤退化的机理、过程及效应提供科学依据, 对不受耕作影响的不同覆被条件下的自然土壤表土进行水分分析。结果表明: 随着山原红壤从有植被到无植被的演替, 土壤的持水能力和供水能力明显下降, 均呈云南松林 > 火棘灌丛 > 草地 > 红裸土的趋势, 与植被的劣向演替有很好的对应关系, 持水能力及供水能力可以作为山原红壤退化的辨识指标; 土壤的渗透性呈云南松林 > 草地 > 红裸土 > 火棘灌丛的趋势, 说明乔木林地能很好地改善山原红壤的渗透性能。相关性分析结果表明, 山原红壤持水量与容重呈极显著负相关, 毛管持水量、有效水分含量、田间持水量与总孔隙度呈极显著正相关, 最大持水量与总孔隙度呈正相关。在云南高原喀斯特山原红壤退化过程中, 表层土壤水分变异显著, 要改善土壤水分条件, 植被恢复特别是乔木林培育是关键。

关键词: 云南高原; 喀斯特山原红壤; 土壤退化; 持水能力; 供水能力; 渗透能力; 水分变异

中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0433-04

地球关键带是从植被冠层到地下含水层的部位^[1], 维系地球生态系统功能和人类的生存。土壤作为连接大气圈、水圈、生物圈和岩石圈的重要纽带, 在地球关键带中扮演极为重要的角色^[2]。土壤水分性能制约土壤对水的吸持、贮存和水分对植物的供给^[3], 对地球系统过程具有重要作用^[4]。表层土壤水分是退化生态系统结构的关键因子, 影响整个生态系统的平衡^[5]。因而, 土壤水分变异一直是土壤学、生态学等研究的重要内容之一。已有研究表明, 土壤与植物相互促进、相互制约、互为条件, 植被破坏是土壤退化的主要根源, 植被生态系统的退化导致土壤退化^[6-13]。

云南高原喀斯特地区独特地理环境下发育的山原红壤有别于其他地区的红壤, 是在古红土上发育的土壤类型^[14], 面积约 2.97 万 km², 是我国退化最为严重的土壤之一, 局部地区甚至已成为多年裸露、与石漠化伴生的红裸土景观。表层土壤水分直接影响植物生长与退化山原红壤的生态修复, 本研究旨在探明山原红壤退化中表层土壤水分的变异规律, 为深入认识云南高原这一特殊地段关键带过程, 特别是山原红壤退化的机理、过程及效应提供科学依据, 并为退化山原红壤植被恢复等提供参考。

1 研究区概况

研究区的正确选择是确保研究结果具有代表性和普遍意

收稿日期: 2014-12-30

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41061021); 云南省科技计划(编号: 2012CA024)。

作者简介: 程燕芳(1988—), 女, 河北邯郸人, 硕士, 主要从事景观流域过程研究。E-mail: chengyanfang123@126.com。

通信作者: 王嘉学(1971—), 男, 云南富源人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事景观流域过程与调控研究。E-mail: wjxynsd@163.com。

义的基本前提。为避免人为耕作干扰, 选择同一区域同一坡面不同覆被的自然土壤样品, 能更好地揭示山原红壤退化中的表层土壤水分的变异规律, 但云南高原喀斯特山原红壤分布区地形复杂, 因基岩裸露导致土壤、植被分布不连续, 景观破碎, 同一坡面同时包含林地、灌丛、草地和裸地的地方比较少见。经过野外实地考察和室内遥感影像解译, 在认真分析基本满足条件的 14 个样地基础上, 选取山原红壤发育典型、受人为影响较小的云南海田后山南西向坡面作为研究区。

研究区地处云南高原东部, 乌蒙山脉中段、小江断裂带东侧, 属低纬高原季风气候, 境内降水丰富, 四季温和, 年均气温 14℃左右, 年均降水量在 1 000 ~ 1 500 mm 之间, 雨热同季, 干湿分明。夏半年受西南季风和东南季风控制, 温暖湿润; 因位于昆明准静止锋西侧, 冬半年受热带大陆气团控制, 干燥少雨。区内为二叠纪浅海相灰岩, 上覆山原红壤, 山顶及部分坡面石漠化严重, 山腰、坡脚也多属于中度或轻度石漠化状态, 部分耕地已因肥力严重退化而撂荒。自然植被主要以乔木林和灌草丛为主, 成片分布的乔木为云南松, 灌草丛主要是火棘、华山松、麻栎、毛叶槲栎、黑锁梅、铁仔、云南菠萝栎、野拔子、杨梅、金丝桃、野古草、龙须草、美丽胡枝子、金丝草等也有分布, 但都不成片, 缺乏代表性意义。

2 样品采集与研究方法

2.1 样地选择

分别选择云南松林、火棘灌丛、草地、裸地(红裸土)典型地段作为具体研究样地, 因斑块面积均较小, 所以面积控制在 1 m², 其基本情况见表 1。

2.2 样品采集

于 2013 年 9 月进行野外样品采集。在研究区选取典型的云南松林、火棘灌丛、草地和裸地(红裸土)4 种不同覆被条件下的山原红壤进行表土样品采集, 使用 GPS 定位, 选取代

表1 样地基本情况

土壤覆被	经纬度		坡度 (°)	坡向 (°)	海拔 (m)	采样深度 (cm)	颜色
	E	N					
云南松林	104°20'77.62"	25°74'41.16"	3.2	NW75	2 050.5	0~20	暗红
火棘灌丛	104°20'65.2"	25°75'79.01"	4.1	NW69	2 222.0	0~20	暗红棕
草地	104°18'84.68"	25°72'73.33"	2.5	NW76	2 070.0	0~20	淡红棕
裸地	104°18'81.69"	25°72'73.34"	1.8	NW76	2 053.0	0~20	淡红棕

表性的样地,每个土壤覆被类型的样地各设置3个样方(1 m×1 m),挖取土壤剖面,用容积100 cm³的环刀按照自然发生层取原状土,分别按0~5、5~10、10~15、15~20 cm进行土壤样品取样,测定土壤的持水量和渗透性,每个样地重复3次。每个样方按对角线随机选取5个样点,用陶瓷工具采集0~20 cm土层土壤样品,将同一样方5个样点的土壤样品进行混合,质量控制在1.5~2.0 kg之间,用生物法测定土壤的凋萎含水量。

2.3 研究方法

手工去除采集土壤中的杂物,放置阴凉处晾干,作风干、磨碎等处理。土样测定参照LY/T1218—1999《森林土壤渗透率的测定》,采用环刀法测定土壤的最大持水量、毛管持水量、田间持水量、土壤渗透性和总孔隙度,用生物法测定土壤的稳定凋萎含水量。

土壤渗透在测定之前,把在室外用环刀取的原状土带回室内浸入水中,浸水时保持水面与环刀上口平齐,勿使水淹到环刀上口的土面。为了使不同温度下所测得的 K 值便于比较,换算成10℃时的渗透系数(mm/min),具体换算公式如下:

$$K_{10} = \frac{K_t}{0.7 + 0.03t} \circ$$

式中: K_{10} 是温度为10℃时的渗透系数; K_t 是温度为 t (℃)时的渗透系数; t 为测定时水的温度。

3 结果与分析

3.1 土壤的持水能力

土壤的最大持水量、毛管持水量和田间持水量能较好地反映出土壤的持水能力^[15]。从不同覆被条件表层(0~20 cm)山原红壤最大持水量、毛管持水量、田间持水量的平均值(图1)来看,均呈云南松林>火棘灌丛>草地>裸地的规律变化。在有植被到无植被的演替过程中,表层0~20 cm土壤的最大持水量、毛管持水量和田间持水量的持水能力明显下降。云南松林的平均持水量最大,云南松林至火棘灌丛的最大持水量变化不大,而草地、红裸土土壤的持水量明显下降。红裸土的最大持水量、毛管持水量、田间持水量仅分别相当于云南松林的59.38%、57.51%、53.41%。这种变化趋势可能是由于云南松林和火棘灌丛有树冠的遮挡,蒸腾作用不及草地和裸地强烈所致。

本研究区土样与同为云贵高原喀斯特地区的贵州黑色石灰土持水能力的相关研究结果^[16]相比,2类土壤持水量都呈现出明显的林地>火棘灌丛>草地递减趋势。在植被类型层面,云南海田的松林、火棘灌丛和草地的田间持水量均高于贵州荔波县或普定县相对应的覆被类型。而林地山原红壤最大

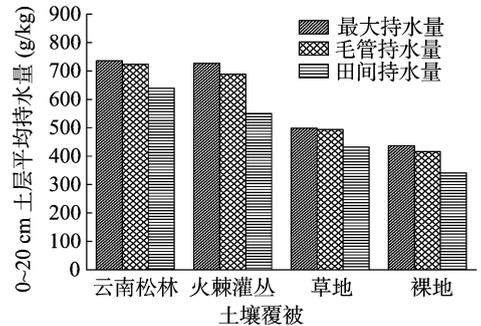


图1 不同覆被表层(0~20 cm)土壤的平均持水量

持水量低于黑色石灰土,火棘灌丛和草地均高于黑色石灰土。裸地的最大持水量与田间持水量都低于有植被的山原红壤和黑色石灰土(表2)。

表2 海田山原红壤与贵州黑色石灰土持水能力的对比结果^[16]

土壤类型	覆被	采样深度 (cm)	最大持水量 (g/kg)	田间持水量 (g/kg)
海田山原红壤	云南松林	0~20	736.1	639.0
	火棘灌丛	0~20	727.3	549.8
	草地	0~20	498.4	431.9
	裸地	0~20	437.2	341.3
贵州黑色石灰土	森林	0~12	852.0	587.8
	灌丛	0~8	563.1	471.9
	草地	0~17	469.7	341.5

不同深度、不同覆被山原红壤表层(0~20 cm)土壤剖面的持水能力测定结果(图2至图4)表明,0~5 cm土层的最大持水量、毛管持水量、田间持水量均呈现出火棘灌丛>云南松林>草地>裸地的规律;而5~20 cm土层的裸地与草地相当,但远低于松林和火棘灌丛。在0~5 cm土层,火棘灌丛持水量大于松林,而5 cm以下土层的火棘灌丛持水量小于松林,这可能与土壤表层的枯枝落叶覆盖层及有机质组成有关。

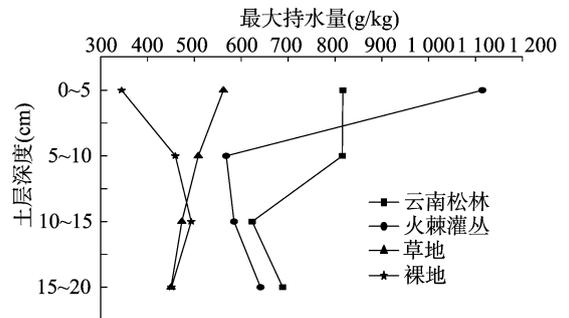


图2 不同覆被表层土壤剖面最大持水量分布特征

总体而言,在同一土层深度,有植被土壤的持水能力比无植被土壤的好。在0~15 cm的土层,无植被的红裸土的持水

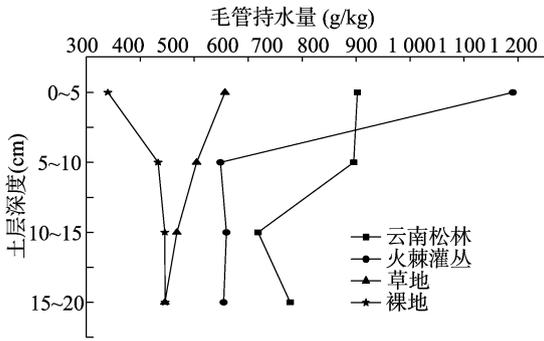


图3 不同覆被表层土壤剖面毛管持水量分布特征

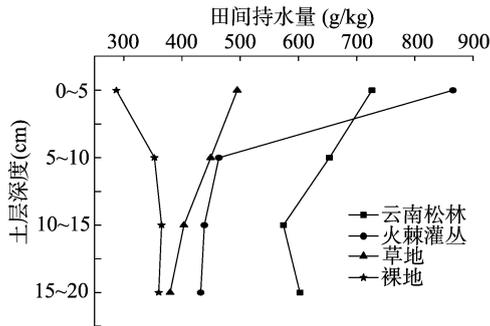


图4 不同覆被表层土壤剖面田间持水量分布特征

量呈上升趋势,而0~10 cm有植被的土壤的持水能力呈降低的趋势,说明0~10 cm有无植被山原红壤变化明显不同。不同深度土壤持水量的方差分析结果显示,随土层深度的变化,火棘灌丛和松林的持水量变化幅度较大,草地和红裸土持水量的变化幅度相对较小,基本维持在400~600 g/kg之间。

3.2 土壤的供水能力

土壤的供水能力是指在一定条件下,土壤对植物水分需求的供给能力,常以土壤有效含水量(AWC)衡量^[17]。土壤有效含水量与土壤的抗干旱能力成正比,植物生长所需水分过量或不足都会对植物生长产生不利影响。由图5可知,样地土壤的有效含水量呈现出云南松林>火棘灌丛>草地>红裸土的趋势,随着土壤从有植被到无植被的演替,有效含水量减少。云南松林的有效含水量最大,云南松林至火棘灌丛的有效含水量变化不大,而草地、红裸土有效含水量基本相当。云南松林的有效含水量是红裸土的1.88倍,有效含水量减少幅度较大,说明退化的山原红壤供水能力明显下降。

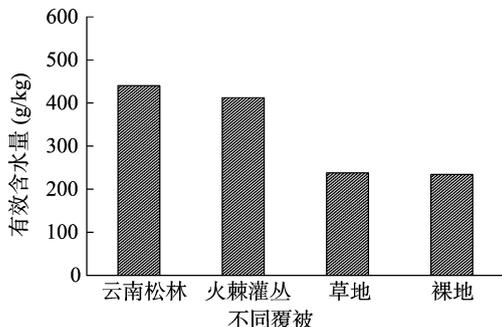


图5 不同覆被表层(0~20 cm)土壤的有效含水量

与同为云贵高原喀斯特地区的贵州黑色石灰土有效含水量^[16]类似,即随着植被的演替,有效含水量呈现出明显的递

减趋势。在植被类型层面,海田的云南松林有效含水量高于贵州荔波县或普定县,而火棘灌丛和草地有效含水量却低于贵州荔波县或普定县。无植被的红裸土有效含水量低于山原红壤和黑色石灰土,说明有植被的土壤有效含水量明显高于无植被的红裸土(表3)。

表3 海田山原红壤与贵州黑色石灰土供水能力的对比结果^[16]

土壤类型	覆被	采样深度 (cm)	有效含水量 (g/kg)
海田山原红壤	云南松林	0~20	440.2
	火棘灌丛	0~20	412.4
	草地	0~20	237.9
	裸地	0~20	234.4
贵州黑色石灰土	森林	0~12	435.8
	灌丛	0~8	306.6
	草地	0~17	270.6

3.3 土壤的渗透能力

土壤水分的渗透性是土壤涵养水源的重要标志之一,对于研究和保持土壤水分具有重要的意义。云南高原为典型的喀斯特地区,降水量丰富且集中,不同覆被土壤的渗透性能不同,如果土壤的渗透性强,入渗率高,就能使较多的降水渗入到土壤中,使水分保持在土壤中,随着土壤中容纳的降水量增多,水分贮存量,成为壤中流,而水分的进一步入渗,会形成地下径流,入渗率高的土壤能有效减少地表径流,利于涵养水源。由表4可知,4种不同覆被土壤表层(0~20 cm)的渗透系数 K_{10} 从大到小依次为云南松林>草地>红裸土>火棘灌丛,云南松林山原红壤的渗透系数约是红裸土的1.91倍,红裸土的渗透系数较小,可能与红裸土表层无植被生长及其结构性比较差有一定的关系。在干旱季节,土壤水分少,易板结、开裂,而红裸土土壤黏性强,团聚结构差,遇到降水,具有收缩能力,能迅速改变红裸土的孔隙状况,导致红裸土的稳渗速率低,渗透系数相对较低;火棘灌丛的渗透系数略小于红裸土,其原因还有待进一步分析。

表4 不同覆被表层(0~20 cm)土壤的渗透性能

不同覆被	K_1 的渗透系数 (mm/min)	K_{10} 的渗透系数 (mm/min)
云南松林	0.71	0.65
火棘灌丛	0.30	0.29
草地	0.54	0.48
裸地	0.40	0.34

不同深度、不同覆被山原红壤渗透系数测定结果(图6)表明,渗漏系数在剖面上并未表现出明显的递增或递减的趋势,范围在0.1~1.2之间。在0~5 cm的土层中,云南松林在10℃时的渗透系数小于火棘灌丛、草地和红裸土;在5~10 cm土层中,云南松林则大于其他3种覆被类型的土壤;在10~20 cm土层中,云南松林和红裸土渗透系数呈现出先减小再增大的趋势,而火棘灌丛和草地都表现出先增大再减小的变化趋势。

3.4 相关性分析

表5表明,山原红壤的水分参数与各项物理指标之间显示出不同的相关性。其中,最大持水量与毛管持水量呈极显著正相关,最大持水量、毛管持水量与田间持水量之间呈显著

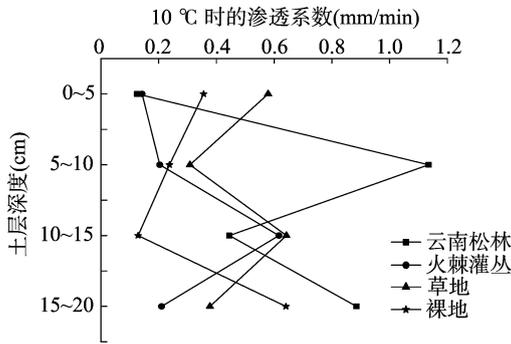


图6 不同覆被表层土壤剖面的渗透系数

表5 山原红壤的水分参数与主要物理性质的相关分析结果

因子	相关系数								
	最大持水量	毛管持水量	田间持水量	凋萎含水量	有效含水量	渗透性	容重	有机质含量	总孔隙度
最大持水量	1.000								
毛管持水量	0.996 **	1.000							
田间持水量	0.958 *	0.979 *	1.000						
凋萎系数	0.368	0.445	0.591	1.000					
有效含水量	0.986 *	0.980 *	0.945	0.295	1.000				
渗透性	0.291	0.372	0.551	0.841	0.312	1.000			
容重	-0.790 **	-0.774 **	-0.815 **	0.296	0.970 *	-0.179	1.000		
有机质含量	0.282	0.384	0.258	0.281	0.272	-0.254	-0.625 *	1.000	
总孔隙度	0.955 *	0.974 *	0.979 *	0.614	0.935	0.555	-0.916	0.353	1.000

注：*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平显著、极显著相关。 $n=12$ 。

4 结论

在海田山原红壤从有植被到无植被的演替过程中,表层土壤的持水能力和供水能力明显下降,均呈“云南松林>火棘灌丛>草地>红裸土”的趋势,有植被土壤的持水能力和供水能力明显高于无植被的红裸土。如果按云贵高原植被劣向演替“乔木—灌丛—草地—裸地”的一般规律,海田山原红壤的持水能力及供水能力的退化与之呈很好的对应关系,说明土壤持水能力、供水能力可以作为山原红壤退化的辨识指标。土壤的持水量关系水分的保持和运动,是云南高原喀斯特地区生态恢复的重要依据。

山原红壤为黏土类,4种不同覆被的表层山原红壤渗透系数都较小,渗透能力差,渗透系数 K_{10} 呈“云南松林>草地>红裸土>火棘灌丛”的趋势。其中,云南松林山原红壤 K_{10} 值远高于其他3种覆被类型,说明乔木林地能很好地改善山原红壤的渗透性能,加之其持水性能和供水性能均最佳,退化山原红壤修复中应以种植乔木为主。

山原红壤的水分参数与各项物理指标之间相关性表现为:持水量与土壤容重呈极显著负相关;容重与有机质含量呈显著负相关;毛管持水量、田间持水量和有效水分含量与总孔隙度呈极显著正相关;最大持水量与总孔隙度呈正相关,其他水分参数与物理指标间的相关性不显著。说明容重和孔隙度可以改善土壤的持水量能力,恢复植被生长,增加土壤的有机质含量,改善土壤的总孔隙度,改良土壤的水分性状,对山原红壤的修复具有重要意义。

正相关;持水量与土壤容重呈极显著负相关,最大持水量、毛管持水量和田间持水量与容重的相关系数分别-0.790、-0.774、-0.815,这与蒋太明等的研究结论^[18]一致;容重与有机质含量呈显著负相关。毛管持水量、田间持水量与总孔隙度呈极显著正相关,最大持水量与总孔隙度呈正相关,这与黄华蓉等、孙丽静等的研究结论^[19-20]一致,说明土壤的持水量越大,土壤非毛管持水量越大,土壤能吸收的水分就越多,孔隙增多,总孔隙度就越大,土壤容重则越小。持水量与有机质含量的相关性不显著。有效含水量与总孔隙度呈显著正相关,与凋萎系数间的相关性不显著。其他水分参数与物理指标之间均无明显的相关性。

参考文献:

- [1] Committee on Basic Research Opportunities in the Earth Sciences, Board on Earth Sciences and Resources, Environment and Resources Commission on Geosciences, et al. Basic research opportunities in earth science[M]. Washington DC: National Academy Press, 2001.
- [2] 李小雁. 干旱地区土壤-植被-水文耦合、响应与适应机制[J]. 中国科学:地球科学, 2011, 41(12): 1721-1730.
- [3] 钟继洪, 谭军, 林兰稳, 等. 广东丘陵红壤土壤水分性能特征比较研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 244-246, 256.
- [4] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 等. 喀斯特山区洼地表层土壤水分的时空变异[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6334-6343.
- [5] 张继光, 陈洪松, 苏以荣, 等. 喀斯特山区坡面土壤水分变异特征及其与环境因子的关系[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 87-93.
- [6] 周华坤, 赵新全, 周立, 等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 31-40.
- [7] 周华坤, 赵新全, 温军, 等. 黄河源区高寒草原的植被退化与土壤退化特征[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 1-11.
- [8] 黄金. 云南石林喀斯特山地植被和土壤退化特征的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [9] 王根绪, 沈永平, 钱鞠, 等. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究[J]. 冰川冻土, 2003(6): 653-659.
- [10] 李英年, 赵亮, 徐世晓, 等. 高寒矮嵩草甸覆被动态变化对土壤气候的影响分析[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(增刊1): 125-129.
- [11] 杨胜天, 王玉娟, 温志群, 等. 典型喀斯特灌丛草坡类型区土壤水变化规律研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(4): 100-106.
- [12] 傅伟, 陈洪松, 王克林. 喀斯特坡地不同土地利用类型土壤水分差异性研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 59-62.

杨乐. 产表面活性剂解烃菌的筛选及其发酵条件优化[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 437-439.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.136

产表面活性剂解烃菌的筛选及其发酵条件优化

杨乐

(石河子大学农学院, 新疆石河子 832003)

摘要:为了获得产表面活性剂解烃菌,经血平板筛选和发酵液排油活性测定,从新疆石油污染土壤中分离出1株能产生物表面活性剂的石油降解菌B-1。通过形态和生理生化特征分析,初步鉴定该菌为芽孢杆菌属(*Bacillus* sp.)。通过产量指标对菌株B-1产生物表面活性剂的条件进行优化,确定其最适发酵条件为:pH值7.5、温度30℃、盐浓度5g/L,在此条件下,生物表面活性剂产量可达1.76g/L。薄层色谱分析结果表明,B-1产脂肽、脂蛋白类生物表面活性剂,可将发酵液表面张力从68.20mN/m降低到31.70mN/m,乳化指数(E_{24})达到92.80%。

关键词:石油降解菌;生物表面活性剂;表面张力;发酵条件

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0437-03

生物表面活性剂是微生物在一定条件下分泌的胞外或者膜结合型的具有表面活性的两性化合物,具有降低表面张力、稳定乳化液等特性。由于微生物的差异性,其代谢产生的表面活性剂具有多样的化学结构,包括脂肽、糖脂、磷脂、脂肪酸、中性脂质和聚合类生物表面活性剂^[1-2]。与化学合成的表面活性剂相比,生物表面活性剂低毒,可生物降解,能适应极端环境,具有更好的选择性和专一性、环境友好性等优点,因而越来越受到人们的青睐,在社会生产和生活各领域具有广泛的应用前景^[3-4]。

碳氢化合物是导致环境退化的主要污染物,具有一定的毒性和疏水性,在土壤环境中难以自然降解,给生态安全和生物健康带来了巨大风险。大量研究表明,生物表面活性剂通过乳化作用和降低油水界面张力,对疏水性石油烃具有增溶作用,提高了石油烃的可生物利用性,进而加快油污土壤的修复过程^[5-8]。因此,筛选具有产表面活性剂和降解石油烃功能的微生物,在修复石油污染土壤方面具有重要的应用潜力。

本研究的目的是从新疆地区石油污染土壤中筛选具有高效产表面活性剂能力的石油烃降解菌,优化该菌株产生物表面活性剂的发酵条件,同时考察其产生的生物表面活性剂类型和性能,以期探索产表面活性剂的解烃菌在新疆石油污

染土壤中的应用提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验菌株分离土壤采自新疆独山子石油污染土壤;原油取自独山子炼油厂。

试验所用培养基:(1)无机盐培养基:1.0g/L $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$, 1.0g/L KH_2PO_4 , 0.5g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 1.0g/L NH_4NO_3 , 0.02g/L $CaCl_2$, 痕量 $FeCl_3$, pH值7.5;(2)血平板,购自上海抚生生物科技有限公司;(3)发酵培养基:20g/L 葡萄糖,5g/L 蛋白胨,3g/L 酵母提取物,5g/L NaCl, pH值7.5;(4)降解培养基:为无机盐培养基,含1g/L 原油, pH值7.5。

1.2 产生物表面活性剂解烃菌的筛选

称取10g土样加入到含1000mg/L石油的100mL无机盐培养基中,于30℃、150r/min进行富集培养,每隔5d取培养液并以10%的转接量依次转入新鲜无机盐培养基中,并逐步提高石油浓度到1500、2000、2500、3000mg/L。通过观察石油消失与否判断石油的降解程度,连续驯化传代5次后,取0.1mL培养液涂布于血平板上培养24h,选择周围有溶血圈的菌落,挑取单菌落,连续划线纯培养3次,得到1株纯化菌株,命名为B-1,挑取菌株到LB斜面进行保存备用。将斜面保存的菌株B-1接入发酵培养基中,恒温(30℃、150r/min)培养48h,测定发酵液排油圈大小,以确定其是否能够产生生物表面活性剂。

收稿日期:2014-11-17

基金项目:新疆石河子大学优秀青年项目(编号:2012ZRKXYQ10)。

作者简介:杨乐(1980—),女,河南南阳人,硕士,讲师,从事环境污染修复研究工作。E-mail:yl_shzu@163.com。

[13] 苏玥,何丙辉,姚小华,等. 滇东喀斯特石漠化区不同植被恢复模式下土壤水分空间变异特征研究[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2008,33(1):67-71.

[14] 周乐福. 云南土壤分布的特点及地带性规律[J]. 山地研究,1983,1(4):31-38.

[15] 刘畅,满秀玲,刘文勇,等. 帽儿山地区主要林分类型土壤水分物理性质研究[J]. 哈尔滨师范大学:自然科学学报,2007,23(1):86-89.

[16] 黄代民,陈效民,李孝良,等. 西南喀斯特地区土壤水分变异性

研究[J]. 中国农学通报,2010,26(13):207-212.

[17] 孙艳红,张洪江,程金花,等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(2):106-109.

[18] 蒋天明. 贵州喀斯特山区黄壤水分动态及其影响因素[D]. 重庆:西南大学,2007.

[19] 黄华蓉,洗丽铨,刘小金,等. 广东佛山10种改造林分的土壤持水性能初步研究[J]. 亚热带植物科学,2012,41(3):65-68.

[20] 孙丽静,陈红跃,方卓林,等. 佛山市风水林林地表层土壤持水特性研究[J]. 广东林业科技,2007,23(1):47-52,57.