

人工藻结皮对库布齐沙地土壤酶活性的影响

唐东山^{1, 2} 王伟波^{1, 2} 李敦海¹ 胡春香¹ 刘永定¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072;

2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 土壤酶是土壤中存在的具有生物活性的蛋白质, 土壤是土壤酶的良好介质, 为各种酶类提供酶促条件, 且土壤成分与酶通过共价键、离子键或氢键等方式的吸附结合作用, 能防止酶的钝化失活。目前已发现的土壤酶约60种, 主要来自于土壤微生物, 土壤酶的主要作用是参与C、N、P、S等重要营养元素的循环, 在植物营养物质的转化中起着重要作用, 它与土壤微生物一起共同推动土壤生物化学的全过程, 土壤酶活性作为土壤质量的生物活性指标已被广泛接受。我国对土壤酶的研究始于20世纪60年代, 20世纪80年代后, 随着环境科学的发展, 土壤酶研究越来越受重视。国内对农田生态系统的土壤酶研究较多, 土壤酶在环境污染治理中的作用也进行了初步探讨, 然而土壤酶在荒漠生态系统中的功能及其作用机制的探讨较少, 更没有把土壤酶的研究成果用于荒漠生态系统的管理、恢复与重建工作。

本实验中, 采集库布齐沙地有代表性的流动沙丘和固定沙丘(三年前建立人工植被)1—5cm深度的沙土, 首先测定了二者中转化酶、蛋白酶、脲酶以及碱性磷酸酶的活性, 然后将荒漠藻接种到流沙表面, 研究了人工微藻结皮对四种土壤酶活性的影响。结果表明: 与内蒙古高原上广泛分布的栗钙土相比, 沙地中的土壤酶活性很低; 但固定沙丘中的土壤酶活性显著高于流动沙丘($p < 0.05$)。将*Microcoleus vaginatus* Gom. (具鞘微鞘藻)和*Phormidium tenuum* (Menegh.) Gom (纤细席藻)按0.5μg Chl. ° a/cm²的接种量接种到沙表面时, 30d后可形成明显的藻结皮, 接种90d后, 沙土中转化酶、蛋白酶、脲酶以及碱性磷酸酶的活性分别是对照的1.6—3.6倍、3.1—6.0倍、2.8—10.6倍、29—79倍。目前, 荒漠化治理已成为全世界面临的重大课题, 本实验研究结果揭示了不同沙地中土壤酶活性的差异, 并从土壤酶的角度揭示了人工微藻结皮对土壤的改良作用。该成果对于利用微藻进行荒漠拓殖和荒漠化治理具有一定的指导意义。

关键词: 具鞘微鞘藻; 纤细席藻; 人工藻结皮; 沙漠土壤; 土壤酶

中图分类号: X171.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2007)03-0339-06

土壤酶是指能催化土壤生物学反应的蛋白质, 主要来自于微生物, 但也可来自于植物和动物, 既可由活细胞分泌产生, 也可由死细胞释放出来^[1]。在干旱的荒漠地区, 土壤微生物对土壤酶积累的贡献更加突出。土壤酶的作用主要体现在它们能促进碳、氮和磷等有机化合物的生物地球化学循环, 加速成土过程。例如转化酶(蔗糖酶)能促进蔗糖水解生成葡萄糖和果糖, 这一反应是土壤碳素循环的主要环节, 对增加土壤中的易溶性营养物质起着重要作用^[2]; 蛋白酶能促进土壤中蛋白质水解成肽, 肽进一步水解成氨基酸; 脲酶能专一的促进尿素水解

生成氨、二氧化碳和水, 蛋白酶和脲酶在土壤氮代谢过程中起着重要作用; 磷酸酶是表征土壤中有效磷状况的主要酶类, 能促进土壤中的有机磷化合物水解, 加速有机磷的脱磷速度, 释放出无机磷供植物和土壤微生物利用, 磷酸酶对于土壤磷素的有效性具有重要作用, 其活性是评价土壤磷素生物转化方向和强度的重要指标。总之, 土壤酶活性是土壤中生物化学过程的总体现, 其活性能反映这一过程的强度动向^[3]; 土壤酶活性还常用来作为指示土壤微生物活性的重要指标^[3], 并用来评价土地管理和土地利用对土壤的影响^[4]。

收稿日期: 2006-02-13; 修订日期: 2007-01-11

基金项目: 国家自然科学基金(30170112); 中国科学院(KSCX-SW-332)水生生物研究所科技创新基金(220418)联合资助

作者简介: 唐东山(1967—), 男, 汉族, 湖南新化人; 在读博士; 主要从事藻类环境生物学研究。E-mail: xhtds@sohu.com

通讯作者: 刘永定, E-mail: liuyd@ihb.ac.cn

在干旱和半干旱的荒漠中, 荒漠藻可在沙表面生长并形成藻结皮, 结皮层的形成已被认为是流动沙丘被固定的主要标志之一。本实验所用的 *Phormidium tenue* (Menegh.) Gom. (纤细席藻) 和 *Microcoleus vaginatus* Gom. (具鞘微鞘藻) 均从宁夏沙坡头结皮中采集、分离、纯化而来, 两种都属于蓝藻门的颤藻科, 均为结皮形成的主要种类, 尤其后者是荒漠结皮的建群种或第一优势种⁵, 在有些荒漠结皮中, 占到总生物量的 95% 以上。在实验室条件下, 我们将以上两藻种接种到流沙表面, 检测 90d 结皮的形成和土壤酶活性的变化, 以期为荒漠藻的土壤改良、沙漠拓殖和荒漠化治理提供理论依据和实践指导。

1 采样点概况及研究方法

1.1 采样点概况 样品采集点位于鄂尔多斯高原的北缘, 内蒙古林科学院库布齐沙漠综合实验研究站内, 地理位置在北纬 $40^{\circ} 21' 30''$ — $22' 30''$, 东经 $109^{\circ} 50' 30''$ — $51' 50''$, 属中温带大陆性季风气候, 年平均降水量 240—360mm, 年平均蒸发量 2160mm。植被盖度为 30%—60%, 主要植物有寸苔草、披碱草、沙米、猪毛菜、苦豆子、油蒿、巴西黎等。土壤类型主要为盐化草甸土和风沙土, 自然流沙含水量 1.27% ($105-110^{\circ}\text{C}$ 烘干 6h), 比重 1.2g/cm^3 , pH 为 8.77 (土壤—水浸提法¹⁶, 水土比为 1:1)。

1.2 研究方法

样品采集 在实验地采集有代表性的流动沙丘和固定沙丘 1—5cm 深度的沙土, 流动沙丘为全裸的沙地; 固定沙丘为三年前建立人工植被的固定沙地, 地表湿润, 盖度约 85%, 表面有土壤结皮存在, 结皮厚 0—0.8cm。将同类型的沙土去除杂质后混匀, 风干后装在无菌容器内带回实验室进行分析。采样时间为 2004 年 9 月底。

荒漠藻的培养与接种 培养具鞘微鞘藻 (*M. vaginatus*) 和纤细席藻 (*P. tenue*) 所用培养基均为 BG₁₁, $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 下通气培养, 光强为 $40\text{μE/m}^2\cdot\text{s}$, 连续光照。将培养 25d (对数生长期之后) 的 *M. vaginatus* 和 *P. tenue* 静置 2h 后去上清、离心 (4000r/min, 10min), 并用蒸馏水洗两次, 将得到的藻加到适量新鲜培养基中, 并以酒精抽提法⁷ 测定叶绿素 a 含量 ($\mu\text{g/mL}$)。装沙所用的容器为 $\varphi = 19\text{cm}$ 的培养皿, 装风干流沙到 2cm 高度 (沙重约 680g); 将一定量的藻液按 $0.5\mu\text{g Chl. } \cdot a/\text{cm}^2$ 的接种量尽量均匀的

喷入到培养皿内的流沙表面后盖上培养皿盖, 接种后隔天定时定量浇水以保持沙土的湿润, 光强 $40\text{μE/m}^2\cdot\text{s}$, 连续光照。每组设立 6 个平行培养皿, 并以不接种微藻的培养皿作为对照。

取样和测定 分别在接种后的 0d, 30d, 60d, 90d 取样分析, 取样时, 用环刀法从每皿中取 2 个样, 每个样的截取表面积为 3.8cm^2 , 用酒精抽提法⁷ 测结皮的生物量, 主要仪器为分光光度计 (Ultrospec 3000, Pharmacia Biotech. Japan.), 在 665nm , 649nm 波长下测定吸光度, 以公式 $C = 13.7 \times A_{665} - 5.76 \times A_{649}$ 计算叶绿素含量, 单位为 $\mu\text{g Chl. } \cdot a/\text{mL}$, 最后换算成单位面积内的叶绿素含量表示 ($\text{Chl. } \cdot a \mu\text{g/cm}^2$)。测土壤酶活性时, 将同组的平行样充分混合后做 3 次重复分析, 以未接种荒漠藻的沙土作为无基质对照, 结果取平均值。转化酶的测定用 3,5-二硝基水杨酸比色法¹², 酶活性以 37°C 下 24h 后 1g 土壤中酶促反应催化底物产生葡萄糖的微克数表示 ($\text{Glucose } \mu\text{g/g } \cdot 24\text{h}$); 蛋白酶的测定用甘氨酸比色法⁸, 酶活性以 30°C 下 24h 后 1g 土壤中酶促反应催化底物产生甘氨酸的微克数表示 ($\text{Gly } \mu\text{g/g } \cdot 24\text{h}$); 脲酶的测定用苯酚钠一次氯酸钠比色法¹⁸, 酶活性以 24h 后 37°C 下 1g 土壤中酶促反应催化底物产生氨氮的微克数表示 ($\text{NH}_3\text{-N } \mu\text{g/g } \cdot 24\text{h}$); 碱性磷酸酶的测定用磷酸苯二钠比色法¹⁸, 酶活性以 37°C 下 24h 后 1g 土壤中酶促反应催化底物产生酚的微克数表示 ($\text{Phenol } \mu\text{g/g } \cdot 24\text{h}$)。

2 结果与讨论

2.1 库布齐沙地流动沙丘和固定沙丘中土壤酶活性的比较

从图 1 可知, 固定沙丘中四种土壤酶的活性均显著高于流动沙丘 ($p < 0.05$), 以磷酸酶活性在固定沙丘和流动沙丘中的差异最大, 比例为 21.6:1, 其他三种酶活性在两类沙土中的比例分别为: 转化酶 2.3:1; 蛋白酶 3.3:1; 脲酶 3.1:1。这种差异的存在说明了人工植被的建立有利于增进土壤酶的活性; 从两类沙土中四种酶的相对含量来看, 转化酶和脲酶的活性较高, 蛋白酶和磷酸酶活性较低。植被对土壤酶活性的影响是多方面的, 首先是植物的枯枝落叶能增加土壤中的有机质和腐殖质含量, 从而增加微生物活性和土壤酶活性; 其次, 植被的存在还能通过改变土壤的温度、湿度以及 pH 等途径来增强微生物活性和酶活性; 另外, 植物根系还能直接分泌酶进入土壤。但总的来说, 与其他类型

的土壤相比, 沙土中的土壤酶活性是很低的, 据关松荫等^[2]提供的资料, 沙土中的土壤酶活性比内蒙古高原上广泛分布的栗钙土要低得多, 栗钙土中的转化酶和磷酸酶是流沙中的数百倍到上千倍, 蛋白酶和脲酶是流沙的数十倍到上百倍, 土壤中这种较高的酶活性是长期生化过程积累的结果。库布齐沙地中的低酶活性反应了这类土壤中的微生物活性是很低的, 这与陈祝春^[9]对科尔沁沙地和顾峰雪等^[10]对塔克拉玛干沙地的研究结果是一致的。

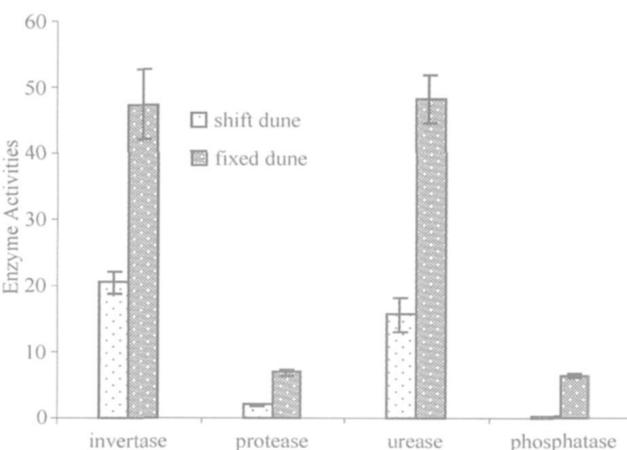


图 1 库布齐沙地流动沙丘和固定沙丘中的土壤酶活性

Fig. 1 Enzyme activities of shift dune and fixed dune in Hopq Desert
酶活力单位 Units: invertase: Glu $\mu\text{g/g} \cdot 24\text{h}$; Protease: Gly $\mu\text{g/g} \cdot 24\text{h}$; Urease: $\text{NH}_3\text{-N } \mu\text{g/g} \cdot 24\text{h}$; Phosphatase: Phenol

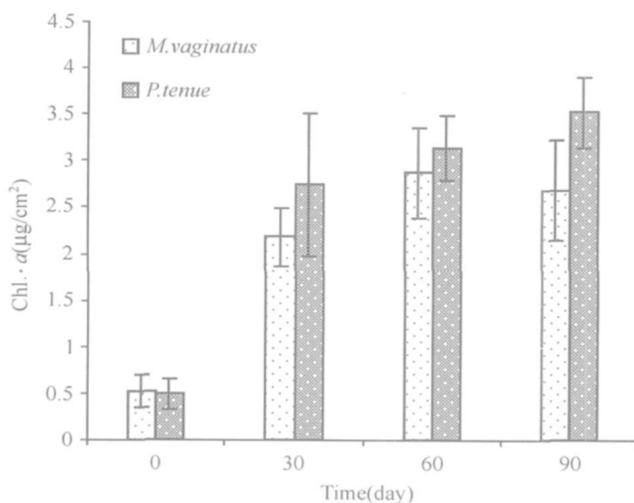


图 2 人工藻结皮形成过程中生物量的变化 ($\text{Chl. } a \mu\text{g/cm}^2$)

Fig. 2 Biomass changes during the forming of artificial algal crust ($\text{Chl. } a \mu\text{g/cm}^2$)

2.2 人工藻结皮形成过程中的生物量变化

刚接种到沙表面的荒漠藻经过一段时间的适应之后, 沙表面的藻丝数量逐渐增多, 30d 后,

70%—90% 的沙表面有藻丝覆盖, 且接种 *P. tenuie* 的培养皿中的藻丝覆盖率比接种 *M. vaginatus* 的要高。随着藻细胞的进一步繁殖, 藻丝逐渐增多增厚, 并在沙表面形成微藻结皮, 60d 后, 接种不同藻的培养皿已看不出明显的差异, 沙表面全部被藻丝覆盖, 藻结皮的厚度达到 2—3mm。未接种荒漠藻的对照培养皿中, 0d 和 30d 均检测不到 $\text{Chl. } a$ 的存在, 60d 和 90d 时含量极微。从图 2 可以看出, 接种到培养皿中的两种蓝藻, 在 0—60d 内的增长趋势相似, 且在 0—30d 内的生物量增长最快, 30d 时培养皿中 *M. vaginatus* 和 *P. tenuie* 的生物量分别为接种时的 4.2 倍和 5.6 倍。60d 后, *P. tenuie* 结皮中的生物量继续增长, 到 90d 时达到接种量的 7.2 倍, 但此后的生物量几乎不再增加 (结果未显示); *M. vaginatus* 结皮生物量 60d 后就不再增加, 90d 后结皮中的 $\text{Chl. } a$ 含量和 60d 时相比反而有所下降。在两种藻接种 60d 后形成的藻结皮中, 肉眼可见结皮中下层的部分藻丝发生了明显的衰亡, 这种现象可能是因为藻结皮的厚度和生物量达到一定水平后, 藻细胞的生长和繁殖受到了光照、水分或营养的限制, 此时, 分裂增产生的细胞数量和死亡细胞数量达到动态平衡, 甚至出现结皮生物量负增长的现象。对于 *M. vaginatus* 来说, 藻丝外面的糖被胶鞘可能是限制其生物量进一步增加的另一个重要因素, 所以藻丝的衰亡现象在 *M. vaginatus* 形成的结皮中尤其明显。这种衰亡的积极意义在于死亡的藻丝可以增加土壤中的有机质含量, 特别是在缺乏其他有机物来源的流沙中,

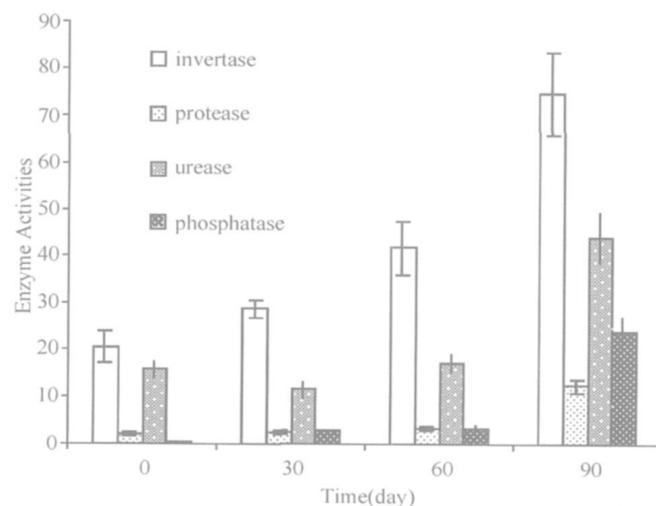


图 3 流沙中接种 *M. vaginatus* 后土壤酶活性的变化 (酶活力单位同图 1)

Fig. 3 The changes of soil enzyme activities after *M. vaginatus* inoculation (units as Fig 1)

死亡蓝藻细胞的有机质对于这种土壤中腐殖质的积累具有特别重要的意义。因此, 藻细胞的这种衰亡可促进其他微生物活动和增加土壤酶活性, 从长期效应看可起到改良土壤的作用。

2.3 人工藻结皮对土壤酶活性的影响

2.3.1 人工 *M. vaginatus* 结皮对土壤酶活性的影响

沙土中按接种量 $0.5\mu\text{g Chl. } \cdot \text{a} / \text{cm}^2$ 接种 *M. vaginatus*, 90d 后, 4 种土壤酶活性均显著增强 ($p < 0.05$), 转化酶和碱性磷酸酶活性的增长呈现一定的规律性, 30d, 60d, 90d 后的转化酶活性分别是接种时的 1.4 倍、2.0 倍和 3.6 倍; 30d, 60d, 90d 后的碱性磷酸酶活性分别是接种时的 9.3 倍、11.6 倍和 79 倍。据 De Philippis^[11] 以及胡春香等人^[12] 的报道, 微鞘藻和席藻均能在生长过程中向生境中分泌胞外多糖, 尤其以 *M. vaginatus* 为甚。沙土中接种 *M. vaginatus* 后, 转化酶活性的增加可能与其在生长过程中向土壤中分泌大量的胞外多糖有关, 分泌的胞外多糖中含有转化酶的底物, 因而促进转化酶的活性增强。据 Eivazi 等人的报道^[13], 土壤微生物能产生和释放大量的胞外磷酸酶, 且在高 pH 土壤中, 碱性磷酸酶的活性通常超过酸性磷酸酶。本实验中磷酸酶活性变化的时间效应关系可能为 *M. vaginatus* 向土壤中分泌胞外磷酸酶提供了证据, 磷酸酶最高含量出现在 90d 后, 可能与死亡的藻细胞释放了大量的磷酸酶进入了土壤, 以及以前被吸附失活的磷酸酶得到了解吸附和重新激活有关。另据卿人韦等人的报道^[14], 藻类能转化土壤中难溶性的磷酸盐, 并释放出可供植物和微生物利用的有效态磷, 藻类的这种解磷作用也可以促进磷酸酶活性增强。

蛋白酶和脲酶活性的显著变化均出现在 60—90d 阶段, 这种变化与结皮生物量的变化(图 2)不成比例, 90d 时的结皮生物量比 60d 时稍低, 但蛋白酶和脲酶活性分别是 60d 时的 3.8 倍和 2.6 倍。这种现象的出现可能主要是受 60d 后 *M. vaginatus* 结皮中部分细胞衰亡的影响, 死亡的藻细胞可刺激其他土壤微生物的生长, 因而使蛋白酶和脲酶活性显著增强, 但藻细胞的这种衰亡对转化酶和磷酸酶的影响可能不是决定性的。另外, 康金花等^[15] 的实验表明, 在有蓝藻生长的荒漠土壤中, 过氧化氢酶、转化酶、脲酶、蛋白酶、中性磷酸酶和碱性磷酸酶的活性均高于无蓝藻生长的荒漠土壤。Hussein 等的报道^[16] 显示,

蓝藻能够产生分解有机残留物的胞外酶, 且这些藻株被用来接种到土壤中以增加土壤中的多糖含量和土壤微生物的活性^[17-19]。

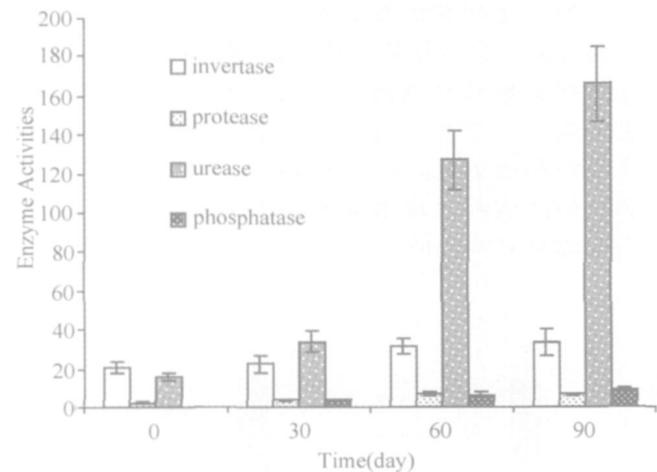


图 4 流沙中接种 *P. tenue* 后土壤酶活性的变化(酶活力单位同图 1)

Fig 4 The changes of soil enzyme activities after *P. tenue* inoculation (units as Fig. 1)

2.3.2 人工 *P. tenue* 结皮对土壤酶活性的影响

沙土中按接种量 $0.5 \mu\text{g Chl. } \cdot \text{a} / \text{cm}^2$ 接种 *P. tenue* 后, 与 *M. vaginatus* 的情况相似的是, 土壤酶活性的变化和生物量的变化也不成比例关系。四种土壤酶中, 转化酶和蛋白酶活性有一定程度的增加, 90d 后的活性分别为接种时的 1.6 倍和 3.1 倍, 二者活性的增加量约为 *M. vaginatus* 结皮中同期相应酶活性增加量的 50%; 脲酶和磷酸酶活性变化幅度较大, 90d 后的活性分别为接种时的 10.6 倍和 29 倍, 活性的增加量分别为 *M. vaginatus* 结皮中同期相应酶活性增加量的 3.8 倍和 0.37 倍。虽然微鞘藻和席藻均能在生长过程中向生境中分泌胞外多糖^[12-13], 但由于二者分泌的胞外多糖中的成分不同, 可能主要是由于作为转化酶底物的蔗糖含量的不同而导致了结皮形成过程中转化酶活性的差异。蛋白酶和脲酶是参与氮代谢的两种重要酶, *M. vaginatus* 结皮对蛋白酶的影响较大, 而 *P. tenue* 结皮的形成对脲酶活性的影响更大。另外, 两类结皮对磷酸酶活性的影响不同, 可能反映了二者分解难溶性有机磷能力的差异。两类结皮形成过程中生物量的变化不同(图 2)也是影响酶活性差异的重要因素。

3 小 结

库布齐沙地中有人工植被的固定沙丘的土壤酶活性比天然流动沙丘要高得多, 证明了人工植

被的形成能增强土壤酶的活性, 从而有利于土壤改良。利用荒漠优势藻种的拓殖作用, 可以在沙表面形成人工结皮。这种方式可能成为固沙和荒漠化治理的一条值得探讨的新途径。藻结皮的形成和存在可以增强沙土中的土壤酶活性, 从而起到加速成土过程和改良土壤的作用。

参考文献:

- [1] Tabatabai M A. Enzymes [M] . In: Weaver R W, Augle S, Bottomly P J, et al. (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2 Microbiological and biochemical properties*. No. 5. Soil Science Society of America, Madison, 1994, 775—833
- [2] Guan S Y, et al. *Soil enzyme and its research methods* [M]. Beijing: Agricultural Press, 1986, 274—276, 192—193, 338, 1—4 [关松荫, 等编著. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 274—276, 192—193, 338, 1—4]
- [3] Badiane N N Y, Chotte J L, Pate E, et al. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions [J]. *Applied Soil Ecology*, 2001, **18**: 229—238
- [4] Saggar S, Yeates G W, Sheperd T G. Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand [J]. *Soil Tillage Research*, 2001, **58**: 55—68
- [5] Hu C, Liu Y. Primary succession of algal community structure in desert soil [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, **45**: 917—924
- [6] Nanjing Soil Institute, Chinese Academy of Sciences. *Soil physicochemical analyses* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980, 450—452 [中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1980. 450—452]
- [7] Wintemans J F G M, De Mots A. Spectrophotometric characteristics of chlorophyll *a* and *b* and their pheophytins in ethanol [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1965, **109**(2): 448—453
- [8] Li F D, et al. *Experimental methods of agriculture microbiology* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1996, 134—135, 136—137, 137—139 [李阜棣, 等主编. 农业微生物学实验技术. 北京: 中国农业出版社, 1996, 134—135, 136—137, 137—139]
- [9] Chen Z C. Soil microorganisms and the activities of soil enzyme during the forming of soil crust [J]. *Environment Science*, 1991, **12**(1): 19—23 [陈祝春. 沙丘结皮层形成过程的土壤微
- [10] Gu F X, Wen Q K, Pan B R, et al. Research on soil enzyme activities of Eolian soil under artificial plantation in Taklimakan Desert heartland [J]. *China Desert*, 2000, **20**(3): 293—297 [顾峰雪, 文启凯, 潘伯荣, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地风沙土的土壤酶活性研究. 中国沙漠, 2000, 20(3): 293—297]
- [11] De Philippis R, Vincenzini M. Exocellular polysaccharides from cyanobacteria and their possible applications [J]. *Fems Microbiology Review*, 1998, **22**: 151—175
- [12] Hu C X, Liu Y D, Zhang D L, et al. Cementation mechanism of desert algae [J]. *Science Bulletin*, 2002, **47**(12): 931—937 [胡春香, 刘永定, 张德禄, 等. 荒漠藻结皮的胶结机理. 科学通报, 2002, 47(12): 931—937]
- [13] Eivazi F, Tabatabai M A. Phosphatases in soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1977, (9): 67—172
- [14] Qing R W, Lan L Q, et al. Research of three algae availability in dissoluble phosphate rocks [J]. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 1998, **35**(6): 957—960 [谭人伟, 兰利琼, 等. 3种藻类植物对矿石磷转化利用程度的研究. 四川大学学报(自然科学版), 1998, 35(6): 957—960]
- [15] Kang J H, Guan G L, Guo P X, et al. Effect of terrestrial nitrogen-fixing blue algae on the soil environment [J]. *Arid Zone Research*, 1998, **15**(3): 30—34 [康金花, 关桂兰, 郭沛新, 等. 陆生固氮蓝藻对土壤环境的影响. 干旱区研究, 1998, 15(3): 30—34]
- [16] Hussein Y A, Shalan S N, Abb-El-Wahab S M, et al. The degradation of lignin by blue-green algae [J]. *International Journal of Experimental Botany (Phyton)*, 1989, **49**: 1—4
- [17] Stomi de Cano M, Zaccaro de Mué M C, Zulpa de Caire G, et al. Aggregation of soil particles by *Nostoc muscorum* Ag. (cyanobacteria) [J]. *International Journal of Experimental Botany (Phyton)*, 1997, **58**: 35—40
- [18] Zulpa de Caire G, Stomi de Cano M, Zaccaro de Mué M C, et al. Exopolysaccharide of *Nostoc muscorum* Ag. (Cyanobacteria) in the aggregation of soil particles [J]. *Journal of Applied Phycology*, 1997, **9**: 249—253
- [19] Zaccaro de Mué M C, Zulpa de Caire G, Stomi de Cano M, et al. Effect of cyanobacterial inoculation and fertilizers on Rice seedlings and post-harvest soil structure [J]. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*, 1999, **30**(1—2): 204—210

EFFECTS OF ARTIFICIAL ALGAL CRUST ON SOIL ENZYME ACTIVITIES OF HOPQ DESERT, CHINA

TANG Dong-Shan^{1, 2}, WANG Wei-Bo^{1, 2}, LI Dun-Hai¹, HU Chun-Xiang¹ and LIU Yong-Ding¹

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: Soil enzymes are bioactive proteins in soil. And soil is good medium of soil enzymes, not only because the soil pro-

vides sorts of catalytic conditions (such as temperature, water, pH, reactant and so on), but also because soil can prevent soil enzymes from deactivation by combining with them through covalent bond, electrovalent bond or hydrogen bond. About 60 soil enzymes have been found by now, which mainly result from soil microorganisms. Soil enzymes act as an important role in the transforming of plant nutrition elements. The leading function of soil enzymes is taking part in the circulation of nutrition elements, such as C, N, P, S, and so on. Together with soil microorganisms, soil enzymes promote all of the reactions involved soil bio-chemical processes. Therefore, the activities of soil enzymes are universally taken for as characteristic index of soil quality. Chinese scientists began to study soil enzymes in 1960's, and in 1980's, along with the development of environmental sciences, the studies of soil enzymes became more and more important. To our knowledge, the studies mainly focused on farmland ecosystem, and some on the relationship of soil enzymes and environmental pollution, few studies have been made on the possible effects of soil enzymes in desert ecosystem, still less using soil enzymes as a way to manage and restore the desert ecosystems.

In this study, two kinds of sand samples were collected respectively from the depth 1—5 cm of the representative natural shift dune and fixed dune (artificial vegetation of higher plant was set up three years before) of Hobq desert, China. Firstly, soil enzyme activities (invertase, protease, urease and alkaline phosphatase) were investigated, and then, desert algae were inoculated onto the surface of shift dune soil in order to study the effects of artificial micro-algae crust on the enzyme activities. Our data showed that the total soil enzyme activities in both dunes were very low when compared with ordinary soil of Inner Mongolia Plateau, and the soil enzyme activities of two dunes were significant difference ($p < 0.05$). Soil enzyme activities of invertase, protease, urease and alkaline phosphatase were 2.3, 3.3, 3.1 and 21.6 times in the fixed dune than in the shift dune, respectively, which indicated that artificial vegetation of higher plant had notable positive effects on shift dune soil. As for vegetation of lower plant, after 30 days of inoculation *Microcoleus vaginatus* Gom. and *Phormidium tenue* (Menegh.) Gom. ($0.5\mu\text{g Chl. } \cdot \text{a/cm}^2$) onto the sand surface, obvious algal crust could be seen and after 90 days, soil enzyme activities of invertase, protease, urease and alkaline phosphatase were 1.6—3.6 times, 3.1—6.0 times, 2.8—10.6 times and 29—79 times than the origin values, respectively. The results indicated that the lower plant vegetation (algal crust) was probably more effective than the higher plant vegetation in terms of the changes of soil enzymes. At the present time, controlling desertification becomes a serious problem all over the world, and great efforts have been made to hold back desertification. The present work showed that shift dune and fixed dune have different soil enzyme activities, and demonstrated the ameliorative effect of artificial micro-algae crust on desert soil in the viewpoint of soil enzyme activities. So, our work would be a promising way for desertification control and for soil melioration and colonization of desert areas.

Key words: *Microcoleus vaginatus*; *Phormidium tenue*; Artificial algal-crust; Desert soil; Soil enzyme