

不同土地利用方式土壤化学性状与酶学指标分析

孙启祥¹, 张建锋^{1,2,*}, Franz Makeschin³

- (1. 中国林业科学研究院林业所, 国家林业局林木培育实验室, 北京 100091;
2. 国际竹藤网络中心, 国家林业局国际竹藤网络中心重点实验室, 北京 100102;
(3. Soil Institute of Dresden Technological University, Tharandt, Germany 01737)

摘要: 在黄河三角洲地区, 由于河水携带大量泥沙在入海口淤积, 每年形成一定面积的陆地。新生陆地一般营养丰富, 适宜耕作, 常常被开垦为耕地。由于干旱, 天然降雨少, 土壤蒸发量大, 导致深层土壤水分沿毛细管上升, 可溶性盐分离子随之上升到土壤表层, 水分蒸发后, 盐分离子在土壤表层积累, 从而发生土壤盐渍化。进行农业耕作 20 年后, 土壤返盐严重, 不再适宜继续耕种。除此之外, 还有不同的土地利用方式。本研究选择了 5 种利用方式, 分别测定了土壤溶液电导率、N、P、K、有机质含量等营养状况以及几种土壤酶活性, 结果表明: 耕地(E)的土壤含盐量最低, 营养水平最高, 土壤酶活性也最高。草地(G)的土壤含盐量比较高, 而营养水平、土壤酶活性也比较高。灌木林地(S)的土壤含盐量比较高, 而营养水平、土壤酶活性却比较低, 属于立地条件较差的地块。与盐碱荒地(U)相比, 它的含盐量降低不少, 而营养水平、土壤酶活性也有所改善, 说明通过栽植耐盐树木, 提高植被覆盖率来改良盐碱荒地是可行的。林地(F 和 MF)的土壤含盐量比较低, 营养水平、土壤酶活性比较高。另外, 刺槐与紫穗槐混交林的效果很好, 一方面它们都有一定的耐盐性, 另一方面都是固氮植物, 能够自我积累营养。

关键词: 土地利用方式; 土壤酶活性; 土壤化学性状

中图分类号: S153.1; S154.2; F301.24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2006)04-0098-04

Evaluation of Soil Chemical Properties and Enzymes Activity Under Different Land Use Systems

SUN Qi-xiang¹, ZHANG Jian-feng^{1,2,*}, Franz Makeschin³

- (1. Research Institute of Forestry, CAF, Silvicultural Laboratory of SFA, Beijing 100091;
2. International Network Center of Bamboo & Rattan, Bamboo & Rattan Laboratory of SFA, Beijing 100102;
3. Soil Institute of Dresden Technological University, Tharandt, Germany 01737)

Abstract: Owing to sands allusion, a certain area of new-formed land annually occurred in Yellow river delta (YRD) region. These lands were characterized with rich nutrients, hence usually were exploited as farmlands. However soil salinisation frequently came forth due to drought and high evaporation when these lands were cultivated. Thereby there were various land use systems in YRD area. In order to approach land degradation mechanism, 5 typical land use patterns were chosen, soil samples were specifically collected and soil chemical properties were analyzed, soil enzymes (Invertase, Phosphatases, Catalases) activity as well. The results indicated that soil salinity was lowest, nutrition was best, and soil enzymes activity was highest for arable land. For grassland, soil quality became a little bad, as these lands came from degraded farmlands. For shrub land, soil conditions got much more badly, as these shrubs grew in salinized land. In forested lands including pure stands and mixed forests, soil nutrition and enzymes activity were better, salts concentration also was lower, which implied that trees could ameliorate soil conditions to some extent. Among the five land use types, no doubt, soil quality was worst in wild lands.

Key words: land use systems; soil enzymes activity; soil chemical properties

滨海盐碱地是我国盐碱地主要类型之一, 仅山东省境内就有 40 多万 hm^2 , 主要分布在渤海湾南岸、黄河三角洲扇裙和莱州湾沿岸。长期以来, 人们为开发利用这一土地资源进行了不懈的努力, 开展了各种形式的植树造林、土壤改良和农田开垦, 取得了一定的成绩。但由于对土壤性质和盐害要因认识不足, 利用效果并不理想。滨海盐碱区气候适宜, 资源丰富, 交通便利, 开发利用的潜力很大, 关键在于摸清土壤的理化性质及其

变化规律,找出危害植物生长的主导因素,并有针对性地采取行之有效的治理措施^[1,2,3]。在黄河三角洲地区,20世纪80年代以来,人类对林草、荒地的开垦使大量未利用土地变为耕地,但在蒸降比大,黄河断流严重,用水不合理的情况下,耕地很难形成稳定的农田生态系统,极易退化为未利用土地。为了探讨土地退化的机制,在该地区选择了5种有代表性的土地利用方式,分别采集土壤样品,对其土壤化学性状与酶学指标进行了测定分析,以期从这些方面来了解不同土地利用方式对土壤性状的影响。

1 取样地点与分析方法

1.1 采样地点与立地条件

采样地点全部在济南军区黄河三角洲生产基地内,位于东营市河口区,属现代黄河三角洲。该地为近代黄河冲积母质发育而成的滨海盐化潮土,土壤有机质含量较低,个别地段表层常形成盐结皮^[3]。60年代以来,通过挖排水沟、筑条台田、蓄淡压碱洗盐并配合其他措施逐步降低了土壤盐分,进行了农业和林业开发利用,一部分地块进行了农业耕作。但因地下水矿化度太高,部分地段土壤含盐量仍较高。调查区植物群落稀疏,按照土壤含盐量的轻重自然形成若干群丛,指示作用较强,有芦苇(*Phragmites australis*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、黄须菜(*S. ussuriensis*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)群丛等。柽柳优势群落植被覆盖率平均18%~33%,高者达39%;光板地的植被覆盖率不足5%,分布也相当普遍。

土壤以盐化潮土和滨海盐土为主,土壤盐分组成以氯化物为主,占可溶性盐总量80%以上,0~100 cm 土体加权平均含盐量0.58%,局部地段0.5%~1.0%,最高达3.564%,新淤地土壤含盐量较低,一般在0.3%以下。土壤pH值6.79~8.87,平均7.94;地下水埋深一般2~3 m,地下水矿化度10~40g/L,高者达200g/L^[3]。

2004年3月下旬采集土样。由于土壤含盐量随不同地点变化较大,根据地表指示植物的种类、分类、生长状况和土壤返盐情况,运用以往的研究经验,按照不同的土地利用方式分耕地E(植被类型为小麦、玉米禾本科植物)、草地G(植被类型为苜蓿、鲁梅克斯等草本植物)、灌木林地S(植被类型为枸杞)、乔木林地F(植被类型为20年生的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)纯林,高10.6 m,平均胸径12.5 cm)、MF乔、灌混交林地(植被类型为20年生的刺槐与多年生的紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)混交林)和盐碱荒地U(植被类型为碱蓬(*Suaeda glauca*)、黄须菜(*S. ussuriensis*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)群丛等,或光板地)。在不同土地利用方式试验区内品字形3点采集土壤样品,采样深度100 cm,分0~20 cm,20~40 cm,40~60 cm,60~100 cm 4层取样。

1.2 土壤化学性状与酶学指标分析方法

室内土壤常规分析按照“土壤农业化学常规分析方法”。pH值测定是用水浸提后,用pH-3数显酸度计测定;电导法测土壤含盐量;原子吸收法测盐基离子Na⁺;凯氏法测土壤全氮;碱解扩散法测有效氮;0.5 mol/L磷酸氢钠法测速效磷;火焰光度计法测速效钾;重铬酸钾容量法测有机质^[4,5]。

过氧化氢酶活性测定用Johnson与Temple法,单位用每1 g土所消耗的0.1 mol/L 1/5 KMnO₄ ml数表示;转化酶活性测定用Hoffmann与Seegerer法,单位用每1 g土所消耗的0.1 mol/L Na₂S₂O₃ ml数表示;磷酸酶活性测定用磷酸苯二钠比色法测定中性磷酸酶,结果以37℃恒温培养2 h后100 g土样生成的P₂O₅ mg数表示^[6,7]。数据处理利用EXCEL和SAS进行。

2 结果与分析

2.1 土壤盐分含量

在不同土地利用方式调查区内分层采集土壤样品后,用电导仪测定土壤电导度(表1)。

土壤电导度是指土壤溶液的导电状况,与可溶性离子的总量成正相关。因此,土壤电导度是表示

土壤盐分总体含量的一项综合性指标,电导度越高,说明土壤含盐量越高。从表1中可以看出,不同土地利用方式,其土壤含盐量差别较大。一个共同的趋势是,土壤含盐量都是由表层向下层逐步递增,越是深层土壤,盐分含量越高。这说明土壤盐渍化的原因是由于干旱,天然降雨少,土壤蒸发量大,导致深层土壤水分沿毛细管上升,可溶性盐离子随之上升到土壤表层,水分蒸发后,盐离子在土壤表层积累,从而发生土壤盐渍化^[8]。

在黄河三角洲地区,一般情况下,新生陆地进行农业耕作20年后土壤返盐严重,不再适宜继续耕种,而作为林地利用,20年后,土壤含盐量只是稍微高于耕地,这说明不同土地利用方式下,土壤返盐情况有很大差异。

表1 不同土地利用方式土壤电导度 dS/cm

土层(cm)	E	G	S	F	MF	U
0~20	2.32	3.56	5.16	2.41	2.36	6.24
20~40	2.51	5.72	6.58	2.75	2.65	11.67
40~60	2.84	8.22	8.43	3.18	2.94	16.21
60~80	3.29	8.31	9.47	3.62	3.44	16.80
80~100	3.47	8.63	9.95	4.03	3.86	17.02

2.2 土壤 Na⁺ 含量与 pH 值

在滨海盐碱地中,主要盐分为氯化物,阳性离子主要有 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 等。土壤 Na⁺ 含量在一定程度上反映了土壤物化性状。由表 2 看出,不同土地利用方式土壤 Na⁺ 含量呈较大差异。总的趋势是土壤表层含量较低,越到深层,含量越高。在一些土层出现反复,可能与取样时,不同土层土壤返盐的阶段不同有关。

一个值得注意的现象是,在盐碱荒地(U) Na⁺ 在不同土层的变化最小,这可能是由于土壤处于未利用状态,Na⁺ 的移动呈自然状态,不受其它因素的影响。而其它土地利用方式,土壤 Na⁺ 含量或许会受到植物生长的影响,在空间分布上呈现一定的目的性。土壤 Na⁺ 含量过高,不仅会提高土壤溶液的渗透势,造成植物的生理干旱,对植物根系产生毒害作用^[2, 8],而且恶化土壤物理性状,导致土壤透水、透气性变差。

从表 2 可以看出,不同土地利用方式土壤 pH 值有比较明显的差异。土壤条件比较好的耕地,土壤 pH 值接近中性;未利用的盐碱荒地土壤 pH 值最高;在 3 种林地中,pH 值有较大差别,这除了与土壤盐分含量有关外,可能也与不同树木的枯枝落叶量以及它们的离子含量不同有关。土壤 pH 值反映了土壤溶液的酸碱度,它与土壤的理化性状、对离子的选择性吸收等有关。因此,影响着植物的生长发育和植被群落分布^[3, 8]。

2.3 土壤营养成分

土壤营养成分是反映土壤肥力和土壤可利用方式的一项重要指标。本次调查分析了 0~40 cm 土层的土壤营养成分,结果见表 3。

土壤营养成分的内容很多,一般而言,主要用 N、P、K 和有机质含量来表示。由上表可以看出,不同土地利用方式土壤营养成分有很大差异。

在这几种土地利用方式中,耕地(E)的营养状况最好。这是因为出于提高土地生产力的目的,人们对耕地进行集约经营,不断采取施肥、浇水、犁耙等抚育措施。草地(G)的营养状况也比较好,可能是一方面草地是由耕地转化而来,另一方面也采取了施肥、浇水等抚育措施。灌木林地(S)的营养状况较差,是因为它原本是荒地,先天营养不良;在种植灌木后,也基本不采取施肥、浇水等抚育管理措施。林地(F 和 MF)的营养状况较好,尤其是土壤有机质含量较高。由此可见,长期的林业经营不仅没有恶化地力,而且保持了比较好的营养水平。当然,选择的树种不同、经营的强度和目标不同,对土地产生的影响可能会有所差异。盐碱荒地(U)的营养状况最差,特别是全 P 与土壤有机质含量偏低,这可能是除含盐量高以外,制约该地类土地利用的另一个重要因素。

2.4 土壤酶活性

土壤酶是土壤中的生物催化剂,是具有加速土壤生化反应速率功能的一类蛋白质。土壤中的一切生化过程,包括各类植物物质的水解与转化、腐殖物质的合成与分解以及某些无机物的氧化与还原,都在土壤酶的参与下进行和完成^[8, 9]。土壤酶主要来自土壤微生物和高等植物,也来自土壤动物和进入土壤的有机物质。根据其存在部位,可分为脱离活体的酶和胞内酶两大类。土壤质地和结构等物理因素、土壤微生物和高等植物的营养状况,土壤一系列化学性质以及农业技术措施和工业废渣、废水等,都影响土壤酶的活性强度。土壤酶活性作为土壤质量的生物活性指标已被广泛接受,作为农业土壤质量和生态系统功能的生物活性指标已被系统研究。

土壤酶活性指土壤各类酶产生相应酶的专一生物化学反应产物的速度。土壤中酶的类型很多,常以测定土壤某一种类酶的活性,表征土壤酶的存在和酶促反应速度,以评估土壤某些营养物质的转化情况和土壤肥力状况。经常测定土壤酶活性的酶类有:转化酶、蛋白酶、磷酸酶、脲酶、水解酶、多酚氧化酶、过氧化氢酶和硫酸还原酶等。土壤酶参与土壤的发生、发育及土壤肥力形成和演变的全过程,不同植物的根系在生长发育过程中的分泌物、死亡根茬的矿化分解及不同的土地利用、耕作和管理方式等都会影响土壤酶活性^[9, 10]。为此,在本次调查中测定了转化酶(Invertase)、磷酸酶(Phosphatases)和过氧化氢酶(Catalases)的活性,结果见表 4。

转化酶是参与土壤有机碳循环的酶,其活性与土壤有机质的 C/N 比相关。表 4 表明,不同土地利用方式下,转化酶活性有一定差异。总的趋势是集约经营条件下,转化酶活性高,也就是土壤中的营养水平高。这也从表 3 中的数据可以看出。尽管如此,仍需指出,不同土地利用方式下,转化酶活性差异不显著,表明其活性与土地管理方式没有良好的响应。

表 2 不同土地利用方式土壤 Na⁺ 含量(%)与 pH 值

土层(cm)	E	G	S	F	MF	U
0~20	0.062	0.126	0.138	0.134	0.129	0.145
20~40	0.076	0.164	0.209	0.163	0.134	0.214
40~60	0.122	0.156	0.237	0.174	0.192	0.242
60~80	0.168	0.171	0.185	0.197	0.182	0.251
80~100	0.175	0.183	0.308	0.304	0.209	0.249
pH	7.24	7.68	7.92	7.41	7.82	8.05

表 3 不同土地利用方式土壤营养成分分析

营养成分	E	G	S	F	MF	U
全 N(%)	0.075	0.061	0.058	0.064	0.059	0.045
有效 N(mg/kg)	92.46	85.38	78.94	82.26	81.74	34.29
全 P(%)	0.126	0.115	0.123	0.117	0.119	0.093
速效 P(mg/kg)	26.8	21.5	17.8	19.5	18.2	15.1
速效 K(mg/kg)	310.5	243.7	150.8	185.2	203.8	142.7
有机质(%)	1.63	1.32	0.87	1.37	1.55	0.65

磷酸酶是促进有机磷化合物分解的酶类。表 4 显示,不同土地利用方式,磷酸酶活性有一定差异。结合表 3,能够发现这种差异与土壤中的磷素水平是一致的。表明不同土地利用方式对土壤磷素供应水平有一定影响,也从另一方面说明土地利用的选择性,即土壤酶活性高,营养供应充分,土地生产力高,可以进行集约经营;反之,则粗放经营或撂荒。

磷酸酶以酸性磷酸酶为主,它能促进土壤有机磷化合物的水解,使之转化为植物可吸收利用的无机磷,其活性反映土壤供应有效磷的潜在能力。研究表明,磷酸酶与大多数土壤养分成极显著相关,其中与土壤有效磷的相关性最显著,其次是土壤有机质、全氮和水解氮。因此,其活性的强弱对土壤中磷素的供应尤为重要。

过氧化氢酶的活性表征土壤腐殖化强度大小和有机质积累程度^[10],也参与土壤受损的生物修复。表 4 显示在不同土地利用方式中,耕地(E)过氧化氢酶活性显著高于其它土壤,可能与有机质的腐殖化强度有关;而盐碱荒地(U)又显著低于其它土壤,这可能与土壤盐碱对酶活性的抑制有关。

过氧化氢酶参与土壤中物质和能量的转化,具有分解土壤中对植物有害的过氧化氢的作用,在一定程度上反映了土壤中腐殖质的再合成强度。本研究表明,土壤过氧化氢酶在剖面的分布规律与土壤有机质相一致,过氧化氢酶不仅与有机质呈极显著正相关,与全氮、全磷、水解氮、速效磷和速效钾也呈极显著或显著正相关。

3 结论与讨论

由本次研究结果看,不同土地利用方式下,土壤的化学性状和酶学指标都有很大差异。耕地(E)的土壤含盐量最低,营养水平最高,土壤酶活性也最高。草地(G)的土壤含盐量比较高,而营养水平、土壤酶活性也比较高,这是因为草地是在耕地由于多年耕种,土壤返盐严重,不适宜继续耕种的情况下,作为草地利用的,所以,土壤含盐量明显高于耕地。灌木林地(S)的土壤含盐量比较高,而营养水平、土壤酶活性却比较低,属于立地条件较差的地块。需要指出的是,灌木林地(S)是在未利用土地的基础上开发利用的,栽植的是耐盐性较强的枸杞等。与盐碱荒地(U)相比,它的含盐量降低不少,而营养水平、土壤酶活性也有所改善,说明通过栽植耐盐树木,提高植被覆盖率来改良盐碱荒地是可行的。林地(F和MF)的调查结果进一步说明了这一问题。林地(F和MF)的土壤含盐量比较低,营养水平、土壤酶活性比较高,这是因为木本植物多年生长,土壤覆盖率增大,蒸发量减小,土壤返盐较轻;另一方面,树木的枯枝落叶、残死细根进入土壤,改善了土壤结构,增加了土壤有机质含量,利于微生物活动和抑制土壤返盐。还可以看出,刺槐与紫穗槐混交林的效果很好,一方面是它们都有一定的耐盐性,另一方面,都是固氮植物,能够自我积累营养。

在黄河三角洲地区,由于河水携带大量泥沙在入海口淤积,每年形成一定面积的陆地。新生陆地一般营养丰富,适宜耕作,常常被开垦为耕地。由于干旱,天然降雨少,土壤蒸发量大,导致深层土壤水分沿毛细管上升,可溶性盐离子随之上升到土壤表层,水分蒸发后,盐离子在土壤表层积累,从而发生土壤盐渍化。进行农业耕作 20 年后,土壤返盐严重,不再适宜继续耕种,而作为林地利用,20 年后土壤含盐量只是稍微高于耕地。这说明不同土地利用方式下,土壤返盐情况有很大差异。

土壤酶是土壤的重要组成成分之一,土壤中一切复杂的生物化学过程都是在酶的参与下进行的。大量研究资料表明,土壤酶积极参与陆地生态系统中的物质循环及能量转化,与土壤生物、土壤理化性质和环境条件密切相关,成为表征土壤肥力的重要指标之一。土壤中酶活性的变化可以从一个方面反映出土壤性状的变化,原因是盐分影响了土壤的理化性状以及生长在其间的苗木,苗木的根系、枝叶反过来对土壤产生一定的影响,包括土壤酶、微生物、腐殖质含量、肥力状况等。作为生态系统过程和功能中最具标志特征的植被动态与土壤生态系统密切相关。一方面,土壤是各种植物、土壤动物和微生物生长繁衍的基地,土壤生态条件直接影响到植物、土壤动物和微生物等生物多样性的 高低;另一方面,土壤的形成和演替直接受到植物、动物(尤其是土壤动物)和微生物的控制,例如,植物可通过根系的机械作用改变土壤的物理特性,通过根系分泌物、根凋落物、地上部分凋落物以及植被覆盖所导致的土壤微生境的变化等,直接或间接地影响到土壤物理、化学和生物学特征^[10]。从本次试验测定结果看,盐分胁迫对土壤性状的影响还是比较明显的。

此外,不同耕作方式对土壤芳基硫酸酯酶动力学特征的影响研究表明,耕作对土壤酶动力学系数有一定影响,土壤酶动力学系数因土壤类型不同而有一定差别,从这一方面也可以理解为什么不同土地利用方式下土壤酶活性不同。

表 4 不同土地利用方式土壤酶活性

土壤酶	E	G	S	F	MF	U
转化酶 (0.1mol/LNa ₂ S ₂ O ₃ ml)	0.075	0.061	0.058	0.064	0.059	0.045
磷酸酶(P ₂ O ₅ mg)	92.46	85.38	78.94	82.26	81.74	34.29
过氧化氢酶 (0.1mol/L1/5KMnO ₄ ml)	0.126	0.115	0.123	0.117	0.119	0.093

表 4 1994~2004 年沙化土地变化动态

地点	总土地面积	沙化土地	固定沙地	半固定沙地	流动沙地	露沙地	沙化耕地	沙化程度指数
红山区	15600.0	-2333.3	-2333.3	0	0	0	0	-3.74
元宝山区	85613.3	-8490.3	-7590.3	-800.0	-100.0	0	0	-3.69
松山区	599433.3	-10712.2	-10365.5	-246.7	-100.0	0	0	-0.59
阿旗	1311793.3	-165712.0	54179.1	-52288.5	-60466.7	10790.7	-117926.6	-7.84
巴林左旗	642426.7	-38350.2	-1433.0	-11983.9	-2200.0	0	-22733.3	-3.50
巴林右旗	987206.7	31540.9	145588.4	-16639	-11893.8	0	-85514.7	-1.90
林西县	391153.3	-3913.6	3880.0	1624.5	-7018.1	0	-2400.0	-0.86
克旗	1834180.0	-348087.6	-87657.8	62400.1	8174.7	-3333.3	-327671.3	-0.90
翁牛特旗	1188113.3	-56607.6	51972.2	-92991.4	27588.8	0	-43177.2	-1.67
喀喇沁旗	312980.0	-2195.1	-2195.1	0	0	0	0	-0.18
宁城县	431680.0	-8589.9	-9733.3	1143.4	0	0	0	-0.50
敖汉旗	826040.0	-135346.4	-53222.3	-64806.5	-3050.9	0	-14266.7	-8.09
赤峰市	8626219.9	-748797.3	81089.1	-174588.0	-49066.0	7457.4	-613689.8	-3.02

(2)赤峰市沙化防治工作面临的形势依然严峻。目前全市还有沙化土地面积 1 914 982.6 hm², 占全市总面积的 22.2%, 按每年 100 000 hm² 的速度治理, 还需要 19~20 年才能完成。各旗县沙化状况不均, 全市 97.4% 的流动沙化土地集中在巴林右旗、翁牛特旗和克什克腾旗。1994~2004 年巴林右旗沙化土地面积增加 31 540.9 hm², 增加幅度为 13.4%, 克什克腾旗和翁牛特旗沙化土地面积虽然分别减少 348 087.6 hm² 和 56 607.6 hm², 但流动沙地分别增加 8 174.7 hm² 和 27 588.8 hm²。同时, 潜在危机依然存在。全市还有明显沙化趋势的土地 1 029 690.3 hm², 占全市总面积的 11.9%, 这些土地保护不好, 极易形成新的沙化土地。

(3)土地沙化指数综合表述了一个区域的土地沙化程度。可以横向比较不同区域的沙化程度差异, 也可以纵向比较同一区域不同年度的沙化程度变化。2004 年赤峰市沙化程度指数为 10.00, 各旗县土地沙化指数变动幅度较大, 红山区最小为 0, 翁牛特旗最大为 22.45。1994 年至 2004 年全市土地沙化程度指数下降 23.2%, 红山区降低最多为 100%, 已经没有沙化土地, 克什克腾旗和翁牛特旗下降最少, 分别下降 4.8% 和 6.9%。

内蒙古自治区赤峰市林业治沙管理站刘玉山、陆文生、牛月英、黄瑛提供了帮助, 特此感谢。

参考文献:

- [1] 王成, 贾宝全, 彭镇华, 等. 赤峰市林业建设的实践及相关问题探讨[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(2): 96-101.
- [2] 张永民, 赵士洞, 钟林生. 近 50 年赤峰市耕地动态变化研究[J]. 资源科学, 2002, 24(5): 19-25.
- [3] 钞振华, 陈全功. 赤峰市草地现状及生态治理对策[J]. 草业科学, 2005, 22(2): 13-15.
- [4] 王树力, 刘玉山. 赤峰市流动沙地植物沙障治理模式的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 144-147.
- [5] 孟宪峰, 韩力峰. 赤峰市科尔沁沙地重要生态功能保护区生态环境现状评价及可持续发展战略探讨[J]. 内蒙古环境保护, 2001, 13(4): 23-28.
- [6] 朱震达, 陈广庭. 中国土地沙质荒漠化[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [7] 马立鹏, 徐当会, 王辉. 河西地区土地荒漠化程度评价[J]. 甘肃: 农业大学学报, 2002, 37(11): 50-56.
- [8] 康相武, 吴绍洪, 杨勤业, 等. 区域沙漠化程度评价研究进展、问题及分析[J]. 干旱区地理, 2005, 28(3): 330-335.

上接第 101 页

参考文献:

- [1] 江泽慧. 林业生态工程建设与黄河三角洲可持续发展[J]. 林业科学研究, 1999, 12(5): 447-451.
- [2] 杨承栋, 焦如珍, 孙启武. 森林土壤学科研究进展[J]. 世界林业研究, 2004, 17(2): 1-5.
- [3] 张建锋, 邢尚军, 郝金标, 等. 黄河三角洲可持续发展面临的环境问题与林业发展对策[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(6): 115-119.
- [4] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [5] 南京农业大学主编. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 农业出版社, 2000.
- [6] Tabatabai M A. Soil enzymes[A]. Weaves R W, Angel G S, Bottomley P S (eds.). Methods of soil analysis. Part 2, Microbiological and biochemical properties[M]. SSSA Book series no5. Madison: Soil. Sci. Soc Am., 1994. 775-833.
- [7] 关荫松, 等. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [8] 张建锋, 宋玉民, 邢尚军, 等. 盐碱地改良利用与造林技术[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(6): 124-129
- [9] 张玉兰, 陈利军, 刘桂芬, 等. 土壤水解酶类催化动力学研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 23-26.
- [10] 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.