

# 镰叶锦鸡儿湿地土壤酶活性分布特征及其与活性有机碳表征指数的关系

崔东<sup>1,2,3</sup>, 邓霞<sup>1</sup>, 刘影<sup>1</sup>, 赵玉<sup>1</sup>, 闫俊杰<sup>1,2</sup>

(1. 伊犁师范学院生物与地理科学学院, 新疆 伊宁 835000;

2. 新疆大学资源与环境科学学院/绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046;

3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 选取伊犁河谷昭苏县镰叶锦鸡儿湿地土壤为研究对象, 研究其土壤酶活性(脲酶活性, 蔗糖酶活性, 过氧化氢酶活性)与土壤活性有机碳(土壤水溶性有机碳 WSOC, 土壤易氧化碳 ROC, 土壤微生物量碳 MBC)的分布特征及其内在关系, 分析镰叶锦鸡儿湿地土壤酶活性和土壤有机碳表征指数两者的相互关系。研究表明: 镰叶锦鸡儿湿地的土壤酶活性随着土层深度的增加而下降; 活性有机碳含量随土壤深度的增加, 其垂直剖面的含量呈下降趋势。镰叶锦鸡儿湿地解放桥有锦鸡儿剖面的土壤酶活性和活性有机碳表征指数的含量均大于无锦鸡儿剖面, 表明镰叶锦鸡儿在生长过程中可以提高土壤酶活性与活性有机碳含量; 蔗糖酶, 脲酶和过氧化氢酶与土壤活性有机碳呈极显著相关关系( $P < 0.01$ ), 表明土壤酶对土壤活性有机碳的迁移转化起着重要作用。

**关键词:** 湿地; 镰叶锦鸡儿; 土壤酶活性; 土壤活性有机碳

中图分类号: S154.2 文献标志码: A

## The relationships between distribution of enzyme activities and characterization of active organic carbon index in the wetland soil of *Caragana aurantiaca* Koehne

CUI Dong<sup>1,2,3</sup>, DENG Xia<sup>1</sup>, LIU Ying<sup>1</sup>, ZHAO Yu<sup>1</sup>, YAN Jun-jie<sup>1,2</sup>

(1. College of Biology and Geography, Yili Normal University, Yining, Xinjiang 835000, China;

2. College of Resources and Environment, Xinjiang University/Key Laboratory of Oasis of Ministry of Education,

Urumqi, Xinjiang 830046, China; 3. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** Selecting the wetland soil of *Caragana aurantiaca* Koehne as the research object in Yili valley of Zhaoasu County, the distribution characteristics and their intrinsic relationship of activities of soil enzyme (urease activity, invertase activity, catalase activity), and soil labile organic carbon (soil water soluble organic carbon WSOC, soil labile carbon ROC, soil microbial biomass carbon MBC) were studied, the relationships between enzyme activities and soil organic carbon characterization index was analysed. The results showed that the activities of soil enzyme declined with soil depth increasing. with the increasing of the soil depth, the content of the vertical profile of the active organic carbon decreased. Sickle leaf *Caragana* could improve activities of soil enzyme and content of active organic carbon; Invertase, urease and catalase were significantly correlated with soil labile organic carbon ( $P < 0.01$ ), in conclusion, the soil enzyme played an important role in the migration and transformation of soil active organic carbon.

**Keywords:** the wetland; *Caragana aurantiaca* Koehne; activities of soil enzyme; active carbon of soil

湿地兼具水陆两大生态系统的特征, 因其对环境 and 气候等生态因子的改变有一定的调节功能, 因此被称为“地球之肾”<sup>[1]</sup>。同时, 湿地虽然面积不大,

但是它却在陆地生态系统碳汇中起着不可或缺的作用, 与大气中 CO<sub>2</sub> 的动态平衡密不可分。当湿地的植被减少时, 碳库中的 CO<sub>2</sub> 释放增多, 导致大气中的

收稿日期: 2016-07-11

修回日期: 2016-10-12

基金项目: 伊犁师范学院植物生态学重点学科科研项目 (YLUPE201601T)

作者简介: 崔东 (1984—), 男, 乌鲁木齐人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为干旱区土壤地理与环境变化等。E-mail: cuidongw@126.com。

通信作者: 赵玉 (1978—), 男, 安徽人, 博士, 教授, 主要从事植物生态学方面研究工作。E-mail: 2001zhaoyu@sohu.com。

CO<sub>2</sub> 含量增多,这对全球的温室效应有显著影响<sup>[2]</sup>。而湿地的活性有机碳是那部分易分解,矿化的有机碳,活性有机碳在土壤中易分解矿化,在很大程度上受植物和微生物的影响,虽然其含量相对较少,但它却可以提前反映土壤的细微变化,因此它可以作为预测土壤变化趋势指标<sup>[3-5]</sup>。土壤酶与活性有机碳的关系十分密切,土壤酶参与土壤有机碳的分解与合成过程,同时土壤酶还参与土壤中其它的生物化学反应,并在其中起着不可或缺的作用。

伊犁河流域的湿地面积有 24 万 hm<sup>2</sup>,但是由于对湿地的不合理利用,导致湿地面积减少,生态环境质量下降,水源逐渐向南迁移。湿地不仅给人类提供丰富的水资源,食物等,还在维护生态平衡、保护生物多样性等方面具有重要作用。本文以伊犁河谷昭苏县镰叶锦鸡儿湿地土壤为研究对象,分析了植被对湿地的土壤酶和活性有机碳的影响,以及土壤酶活性与活性有机碳含量在土壤剖面的分布特征。通过对镰叶锦鸡儿湿地土壤的研究可以为土地管理部门对湿地利用提供依据,同时也为湿地保护,维护生态平衡和控制全球的温室效应提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区昭苏县(80°11′~81°31′E,42°~43°15′N),是中亚内陆腹地高山盆地。气候以大陆冷凉型气候为主,因冬长无夏,春秋相连,故而又是新疆有名的避暑圣地。昭苏县年平均气温 2.9℃,年极端最高温度 33.5℃,最低温度 -32℃。全年无霜期平均为 98 d。年平均降雨量为 511.8 mm,为全疆降雨量最高的区域。

### 1.2 样品的采集

研究地点位于昭苏县解放大桥与七十六团大桥附近,以镰叶锦鸡儿为优势种群的沼泽化灌丛草地。木本植物种类极少,靠河岸处与镰叶锦鸡儿伴生的有蒿柳(*Salix viminalis*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、伊犁忍冬(*Lonicera iliensis*)3种外,其余的 60 种均为草本植物。由于过度放牧,距离河岸越远,草地退化现象越严重。于 2014 年 11 月在昭苏县镰叶锦鸡儿湿地分布区采用五点取样法采集了解放桥、七十六团大桥附近各三个样带的土壤样品,每个样带为 5 m × 5 m。再根据有无镰叶锦鸡儿分布在解放桥、七十六团大桥附近分别采样。土壤样品共采集了 6 个样带,5 个剖面,21 个待测样品。用密封袋将采集的土样保存带回实验室,土样于室内避光风干后去除植物残根,石块等杂质,研磨过 100 目和

180 目筛并装袋备用。镰叶锦鸡儿湿地土壤基本理化性质如表 1 所示。

### 1.3 测定方法

土壤基本理化性质的测定方法:pH 采用 pH 计测定,有机质采用重铬酸钾容量法,速效氮采用碱解扩散法,速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,全氮采用重铬酸钾-硫酸消化法,全磷采用硫酸-高氯酸消煮法测定。

土壤酶活性测定方法:脲酶活性用扩散法测定,过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法,蔗糖酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法。其中,脲酶活性以 15 h 后 1 g 土所含 NH<sub>3</sub>-N 的含量所表示,过氧化氢酶活性以 20 min 内 1 g 土消耗 0.1 mol KMnO<sub>4</sub> 的量来表示,蔗糖酶活性用 24 h 后 1 g 土所生成的葡萄糖含量来表示。

土壤活性有机碳含量的测定方法:水溶性有机碳测定方法与有机质测定方法一样,用重铬酸钾容量法测定,用高锰酸钾氧化法测定样品中易氧化碳的含量,土壤微生物量碳采用氯仿熏蒸-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 浸提法测定其含量。

### 1.4 数据处理

分析数据采用 DPS,Microsoft Excel 2013,用 DPS 对土壤酶活性和活性有机碳的相关性进行双侧检验分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 镰叶锦鸡儿湿地土壤酶活性

2.1.1 土壤脲酶 土壤脲酶是水解尿素的唯一酶,与植物的生长密切,因此,脲酶活性的强弱能反应土壤供氮能力的强弱<sup>[6-7]</sup>。如图 1a 所示,解放桥样带的脲酶活性比七十六团大桥样带高出 44.9%;从图 1b 中可以看出在距河边 200 m 处,无论是解放桥还是七十六团大桥,0~15 cm 的脲酶活性远远高出 15~30 cm 和 30~50 cm;如图 1c 所示有无锦鸡儿对脲酶活性有一定的影响,0~15、15~30、30~50 cm 三个土层中有锦鸡儿的分别比无锦鸡儿的高出 11.4%、52.7%、71.5%;图 1d 是无锦鸡儿剖面脲酶活性的比较,其中解放桥的脲酶活性比七十六团大桥的脲酶活性分别高出 26.2%、43.8%、2.9%。通过图 1a,1b,1c,1d 可知解放桥的脲酶活性比七十六团大桥的脲酶活性高。从以上分析可知,镰叶锦鸡儿的生长对土壤脲酶有很大的促进作用,脲酶活性主要集中在 0~15 cm 的土层中,与植物根系主要分布在 0~15 cm 有关,并且土壤表层适合微生物生长,因此 0~15 cm 土层脲酶活性比其它两个土层的高。

表1 镰叶锦鸡儿湿地土壤基本理化性质

Table 1 The basic physicochemical properties of wetland soil of *Caragana aurantiaca* Koehne

土样 Soil sample	剖面深度 Profile depth /cm	有机质 Organic matter /(g·kg <sup>-1</sup> )	速效氮 Available nitrogen /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available phosphorus /(g·kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total nitrogen /(g·kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total phosphorus /(g·kg <sup>-1</sup> )	pH
解放桥样地 Jiefang Bridge quadrat	表层 Surface layer	88.17	27.27	3.36	0.60	0.65	8.10
76团大桥样地 76 regiment Bridge quadrat	表层 Surface layer	86.67	32.36	2.88	0.69	0.73	8.06
解放桥距河边 200 m 剖面 200 m section of Jiefang Bridge from the riverside	0~15	85.77	36.75	2.89	0.65	0.70	8.18
	15~30	69.85	26.25	2.34	0.54	0.66	8.25
	30~50	41.55	24.85	1.86	0.35	0.30	8.31
76团大桥距河边 200 m 剖面 The 76 regiment bridge is from the 200 m section of the river	0~15	89.89	32.55	3.12	0.71	0.72	7.57
	15~30	83.06	22.75	2.45	0.54	0.54	8.40
	30~50	76.24	16.45	1.89	0.47	0.35	8.19
解放桥有锦鸡儿剖面 There is a section of caragana in the Lib- eration Bridge	0~15	92.17	32.55	3.02	0.69	0.71	8.23
	15~30	87.61	29.75	2.76	0.54	0.67	7.72
	30~50	67.13	24.85	1.86	0.39	0.45	7.86
解放桥无锦鸡儿剖面 No caragana section of Jiefang Bridge	0~15	67.13	32.55	2.78	0.61	0.65	8.51
	15~30	55.75	24.85	2.45	0.52	0.45	8.02
	30~50	42.10	22.05	1.34	0.43	0.32	7.86
76团大桥无锦鸡儿剖面 The 76 regiment Bridge has no caragana section	0~15	53.48	36.75	2.56	0.65	0.67	8.02
	15~30	46.65	26.95	2.12	0.53	0.45	8.20
	30~50	44.38	24.15	1.51	0.39	0.33	8.09

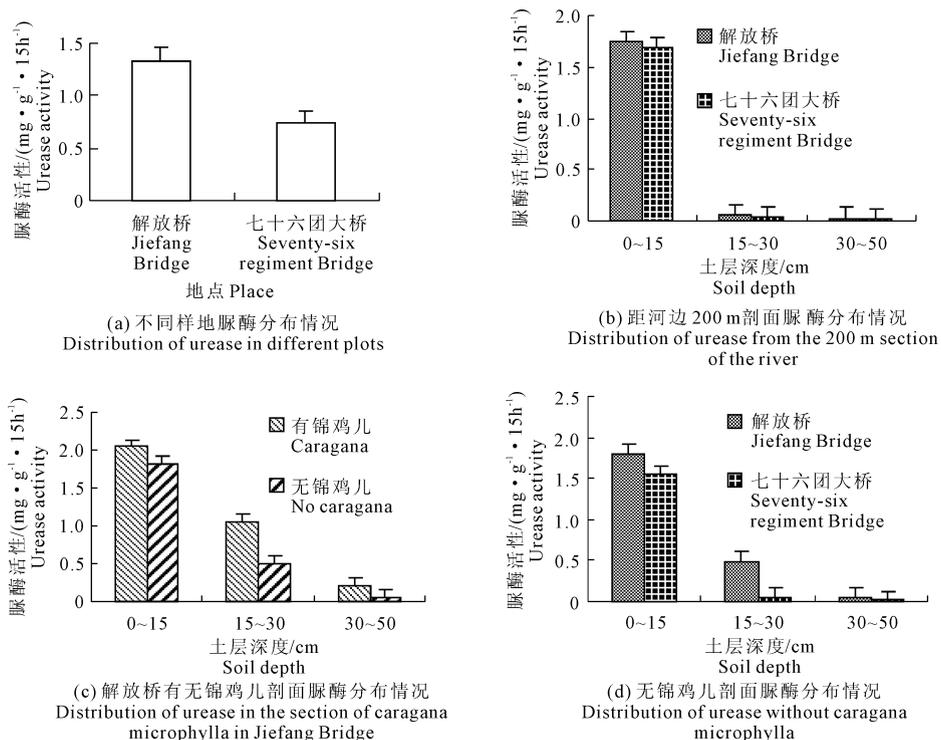
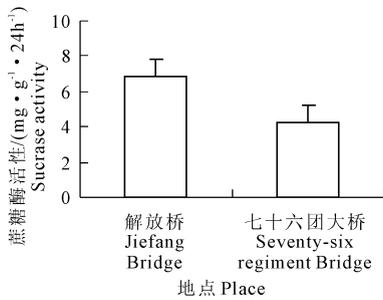


图1 镰叶锦鸡儿湿地土壤脲酶活性

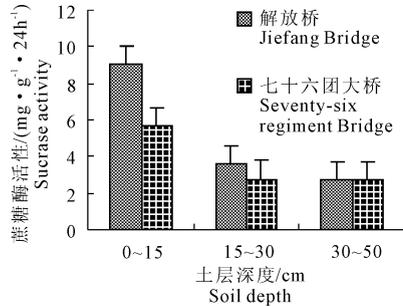
Fig.1 Urease activity of wetland soil

2.1.2 土壤蔗糖酶 蔗糖酶与土壤中全磷,全氮等元素关系十分密切,它的水解产物是土壤微生物生长繁殖所必需的营养物质,因此蔗糖酶活性不仅能反映出土壤中微生物活动的强弱,还能反映土壤肥力的大小<sup>[8-11]</sup>。如图 2a 所示,解放桥样带的蔗糖酶活性比七十六团大桥样带的高出 37.7%;在距河边 200 m 的剖面蔗糖酶活性如图 2b 所示,解放桥的蔗糖酶活性高于七十六团大桥,解放桥的蔗糖酶活性在 0~15 cm 明显高出七十六团大桥的蔗糖酶活

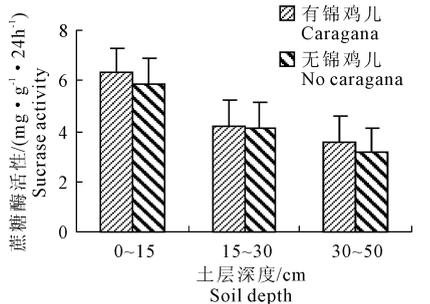
性;图 2c 是解放桥有锦鸡儿和无锦鸡儿两个剖面蔗糖酶活性的比较,从图中可以看出有锦鸡儿的剖面蔗糖酶活性高于无锦鸡儿剖面;图 2d 是在无锦鸡儿的环境中解放桥与七十六团大桥蔗糖酶活性的比较,在 0~15、15~30、30~50 cm 三个土层深度解放桥的土壤蔗糖酶活性高出七十六团大桥 24.4%、22.3%、12.6%。综上所述,在相同条件下,解放桥的蔗糖酶活性高于七十六团大桥的蔗糖酶活性,同时植物的种类和数量对土壤蔗糖酶活性具有明显的影响。



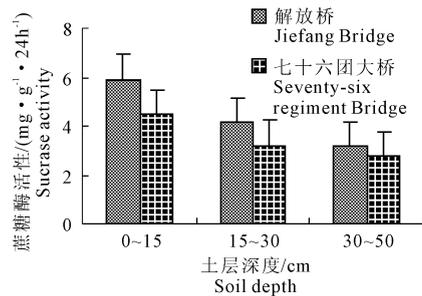
(a) 不同样地蔗糖酶分布情况  
Distribution of sucrose in different plots



(b) 距河边 200 m 剖面蔗糖酶分布情况  
Distribution of sucrose from the 200 m section of the river



(c) 解放桥有无锦鸡儿剖面蔗糖酶分布情况  
Distribution of sucrose in the section of caragana microphylla in Jiefang Bridge



(d) 无锦鸡儿剖面蔗糖酶分布情况  
Distribution of sucrose without caragana microphylla

图 2 镰叶锦鸡儿湿地土壤蔗糖酶活性

Fig. 2 Sucrase activity of wetland soil

2.1.3 土壤过氧化氢酶 土壤中动植物及微生物所产生的  $H_2O_2$  被过氧化氢酶水解,从而避免  $H_2O_2$  对土壤中的生物体产生毒害作用,因此过氧化氢酶活性强弱在一定程度上可以反映土壤的氧化程度<sup>[12-14]</sup>。从图 3a 中可以看出解放桥样带的过氧化氢酶活性比七十六团大桥高 14.7%;如图 3b 所示在距河边 200 m 处的过氧化氢酶活性解放桥比七十六团大桥高,0~15 cm 解放桥比七十六团大桥高 21%,15~30 cm 七十六团大桥比解放桥低 52.9%,30~50 cm 解放桥比七十六团大桥高 22.2%;图 3c 是在不同环境下解放桥过氧化氢酶活性的比较,从图中可知,有锦鸡儿的剖面过氧化氢酶活性比没有锦鸡儿的剖面高;图 3d 是在无锦鸡儿的环境下解放桥样地与七十六团大桥样地过氧化氢酶活性的比

较,在同一深度下解放桥的过氧化氢酶活性比七十六团高。总的来说,在相同条件下,解放桥样地比七十六团大桥的过氧化氢酶活性高,同一剖面的酶活性随着土壤深度的增加其活性随之降低。

## 2.2 镰叶锦鸡儿湿地活性有机碳含量

2.2.1 土壤水溶性有机碳含量(WSOC) WSOC 是指能通过  $0.45 \mu m$  滤膜的可溶于水的有机碳,WSOC 虽然在土壤中含量不多,但是它与土壤微生物的生长繁殖密不可分,同时在土壤物质迁移过程中起重要作用<sup>[15]</sup>。如图 4 所示,所有剖面皆呈现出水溶性有机碳含量随土壤深度的增加而降低的趋势,这表明随着土壤深度的增加,微生物数量减少,物质的迁移过程也受到阻碍;再者除了 15~30 cm 以外,0~15 cm 和 30~50 cm 的水溶性有机碳含量表现为解

放桥样地高于七十六团大桥样地。0~15 cm 的水溶性有机碳含量表现为解放桥样地有锦鸡儿剖面 > 解放桥距河边 200 m 处剖面 > 解放桥样地无锦鸡儿剖面 > 七十六团大桥无锦鸡儿剖面 > 七十六团大桥距河边 200 m 剖面; 15~30 cm 的水溶性有机碳含量呈现解放桥距河边 200 m 处剖面 > 七十六团大桥距河边 200 m 剖面 > 解放桥样地有锦鸡儿剖面 > 解放桥样地无锦鸡儿 > 七十六团无锦鸡儿剖面; 在 30~50 cm 的水溶性有机碳呈阶梯趋势, 即解放桥距河边 200 m 处剖面 > 解放桥样地有锦鸡儿剖面 > 解放桥样地无锦鸡儿 > 七十六团距河边 200 m 剖面 > 七十六团无锦鸡儿剖面。镰叶锦鸡儿湿地的植物种类

不多, 但分布不均匀, 因此植被的归还量, 分解速率等导致不同样地的水溶性有机碳存在差异。

2.2.2 土壤易氧化碳含量(ROC) 易氧化碳在土壤中含量相对较少, 但是它却是土壤生态系统最重要的动力来源, 同时它也是表征土壤有机碳早期变化的敏感指标, 对在人为干扰和环境变化背景下的土壤碳库的动态变化有重要的指示意义<sup>[16]</sup>。图 5 比较了不同剖面的易氧化碳含量, 结果表明, 同一土壤剖面的易氧化碳含量的变化趋势与水溶性有机碳的变化趋势一致, 但只有 0~15 cm 表现为解放桥样地大于七十六团大桥样地。在 0~15 cm 的易氧化碳含量表现为解放桥样地有锦鸡儿剖面 > 解放桥距河

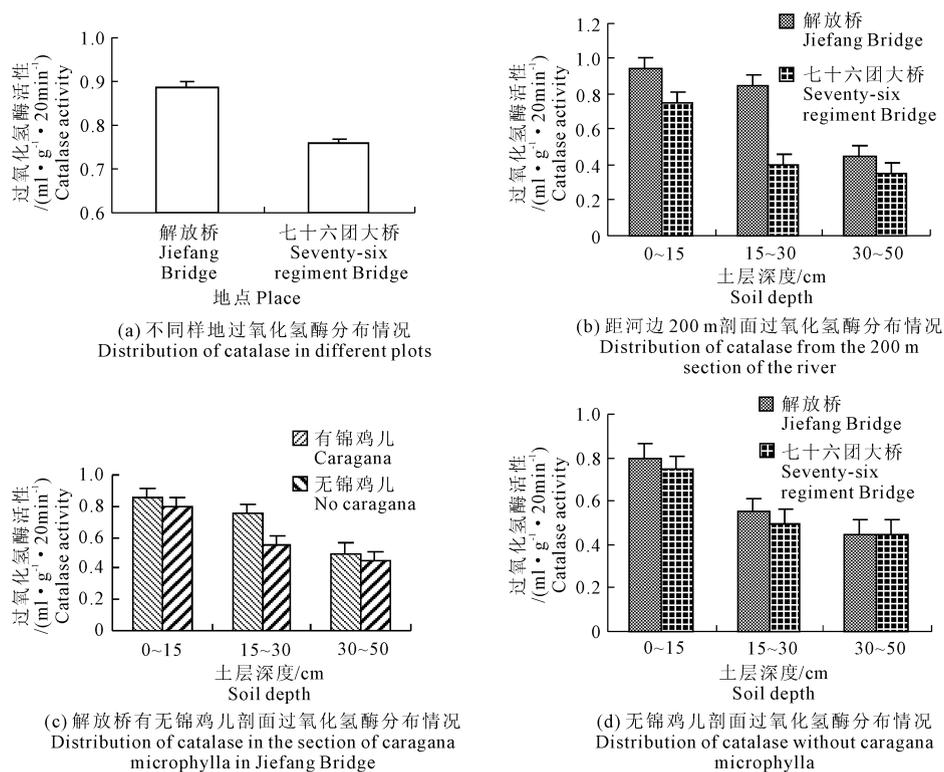


图 3 镰叶锦鸡儿湿地土壤过氧化氢酶活性

Fig. 3 Catalase activity of wetland soil

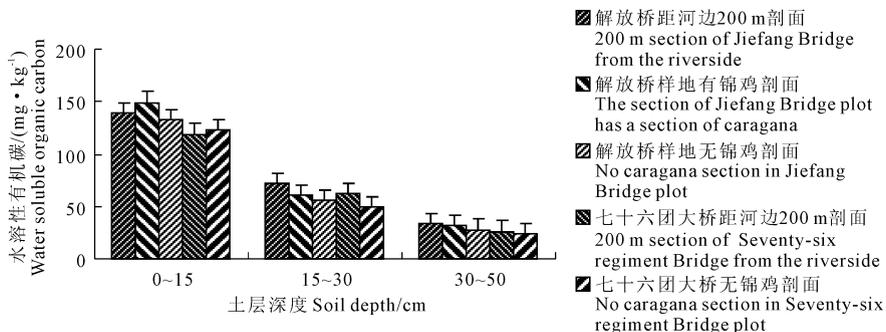


图 4 不同土壤剖面水溶性有机碳的比较

Fig. 4 Comparison of water soluble organic carbon in different soil profile

边 200 m 处剖面 > 解放桥样地无锦鸡剖面 > 七十六团大桥距河边 200 m 剖面 > 七十六团无锦鸡剖面; 在 15~30 cm 易氧化碳含量表现为解放桥样地有锦鸡剖面 > 解放桥样地无锦鸡剖面 > 七十六团无锦鸡剖面 > 解放桥距河边 200 m 处剖面 > 七十六团大桥距河边 200 m 剖面; 在 30~50 cm 的易氧化碳含量表现为解放桥距河边 200 m 剖面 > 解放桥样地有锦鸡剖面 > 七十六团大桥距河边 200 m 剖面 > 解放桥样地无锦鸡剖面 > 七十六团无锦鸡剖面。植物的落叶及残根等是土壤活性有机碳的来源, 在镰叶锦鸡儿湿地靠近河边的镰叶锦鸡儿生长茂盛, 而远离河边的镰叶锦鸡儿生长稀疏, 微生物活动减弱, 活性有机碳的生成过程减缓<sup>[17]</sup>。

2.2.3 土壤微生物量碳含量(MBC) 土壤微生物量碳是土壤生物易于利用的养分库和碳矿化的能量来源, 虽然含量少, 但却与养分关系密切, 从而反映湿地系统的动态变化<sup>[18]</sup>。从图 6 可以看出, 在同一土壤剖面的微生物量碳的含量也与水溶性有机碳的变化趋势一致, 但七十六团大桥距河边 200 m 剖面的微生物量碳与解放桥距河边 200 m 剖面的几乎持平。在 0~15 cm 的微生物量碳表现为解放桥样地有锦鸡剖面 > 解放桥样地无锦鸡剖面 > 七十六团无锦鸡剖面 > 解放桥距河边 200 m 剖面 > 七十六团大

桥距河边 200 m 剖面; 在 15~30 cm 的微生物量碳表现为解放桥样地有锦鸡剖面 > 解放桥样地无锦鸡剖面 > 七十六团无锦鸡剖面 > 七十六团距河边 200 m 剖面 > 解放桥距河边 200 m 剖面; 在 30~50 cm 的微生物量碳含量表现为解放桥样地无锦鸡剖面 > 解放桥样地有锦鸡剖面 > 七十六团无锦鸡剖面 > 七十六团距河边 200 m 剖面 = 解放桥距河边 200 m 剖面。随着土壤深度的增加, 营养物质等微生物生长繁殖所必须的物质逐渐减少, 微生物活动减弱, 微生物量碳的含量随之降低, 再者河边的水资源丰富, 不适合好氧微生物生长繁殖。

### 2.3 镰叶锦鸡儿湿地土壤酶活性与活性有机碳的相关性分析

将镰叶锦鸡儿湿地 0~50 cm 垂直剖面的脲酶与 WSOC、ROC 和 MBC 进行相关性分析, 如表 2 所示, 脲酶与 WSOC、ROC 和 MBCC 呈显著相关关系, 其相关系数为 0.931、0.835 和 0.837。随着土壤深度的增加, 脲酶活性对 WSOC 的影响增大。

蔗糖酶与 WSOC、ROC 和 MBC 呈极显著相关关系, 相关系数为 0.853、0.831 和 0.690。蔗糖酶的水解产物可以成为 WSOC 的一部分, 故随着土层深度的增加, 蔗糖酶对 WSOC 的影响增大。

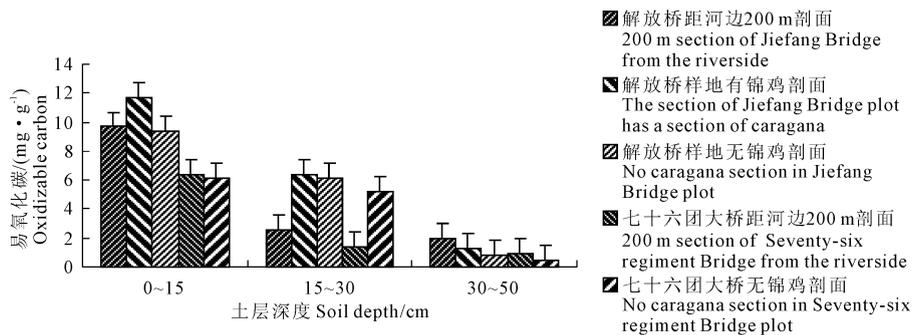


图 5 不同土壤剖面易氧化碳的比较

Fig.5 Comparison of carbon dioxide in different soil profile

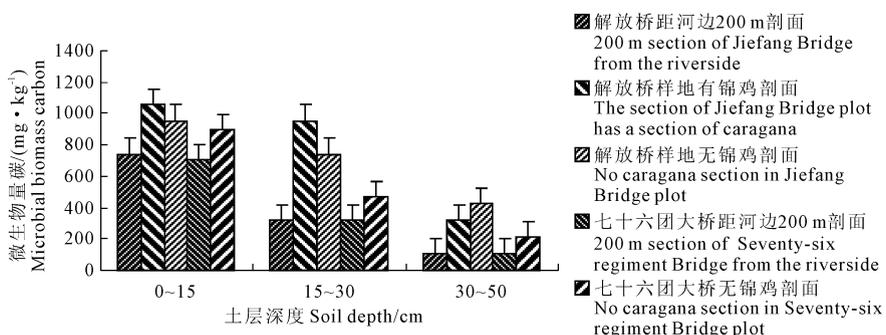


图 6 不同土壤剖面微生物量碳的比较

Fig.6 Comparison of microbial biomass carbon in different soil profile

表 2 镰叶锦鸡儿湿地土壤酶活性与活性有机碳之间的相关性

Table 2 Correlation between enzyme activity and active organic carbon of the wetland of Sickle leaf Caragana

项目 Item	脲酶活性 Urease activity	蔗糖酶活性 Sucrase activity	过氧化氢酶活性 Catalase activity	WSOC	ROC	MBC
脲酶活性 Urease activity	1	0.855**	0.802**	0.931**	0.835**	0.873**
蔗糖酶活性 Sucrase activity	0.855**	1	0.839**	0.853**	0.831**	0.690**
过氧化氢酶活性 Catalase activity	0.802**	0.839**	1	0.863**	0.823**	0.731**
WSOC	0.931**	0.853**	0.863**	1	0.854**	0.775**
ROC	0.835**	0.831**	0.823**	0.854**	1	0.779**
MBC	0.837**	0.690**	0.713**	0.775**	0.779**	1

注: \*\* 表示在 0.01 水平上极显著相关。Note: \*\* means highly significant correlation at  $P < 0.01$  level.

随着土壤深度的增加,过氧化氢酶活性与 WSOC、ROC 和 MBC 呈极显著相关 ( $P < 0.01$ ), 相关系数为 0.863、0.823 和 0.731。随着土层深度的增加,过氧化氢酶活性降低,分解过氧化氢的能力降低,微生物会产生中毒反应,从而抑制其生长繁殖。

### 3 讨论

由图 1,图 2 和图 3 可以看出在同一土壤剖面的蔗糖酶活性,脲酶活性和过氧化氢酶活性皆随土壤深度的增加而降低,这与王莹等的研究结果一致<sup>[19-20]</sup>;此外,在一定条件下,解放桥样地的酶活性显著高于七十六团大桥的酶活性,有锦鸡儿样地的酶活性高于无锦鸡儿样地。这主要是因为土壤表层聚集着大量的枯枝落叶及腐殖质等物质,氧气、光热等自然条件相对较好,适宜微生物生长繁殖,同时土壤的呼吸强度增强,故表层的酶活性较高。而随着土壤深度的增加,pH 值变大,氧气、腐殖质等营养元素含量降低,故酶活性受到抑制。

土壤活性有机碳的来源有很多,但与植物和微生物之间的关系十分密切<sup>[21-22]</sup>。如图 4,图 5 和图 6 可知,解放桥有锦鸡儿样地的酶活性与 WSOC、ROC 和 MBC 含量均大于解放桥无锦鸡儿样地,这表明锦鸡儿这种植物在一定范围内可以增加活性有机碳的含量并增强酶活性,这可能与锦鸡儿的凋落物给微生物提供生存条件,同时根系或微生物会分泌酶和分泌物又会产生一定量的活性有机碳有关。而 WSOC、ROC 和 MBC 与蔗糖酶,脲酶和过氧化氢酶呈正相关关系,表明土壤酶活性在一定程度上对活性有机碳的影响显著,与活性有机碳的矿化分解关系密切。

### 4 结论

1) 镰叶锦鸡儿湿地土壤酶活性表现出解放桥样地大于七十六团大桥样地;镰叶锦鸡儿湿地解放桥有锦鸡儿剖面酶活性高于无锦鸡儿剖面酶活性含

量,说明镰叶锦鸡儿的生长可以增加土壤酶活性。

2) 在土壤剖面的分析中,随着土层深度的增加,土壤酶活性和活性有机碳含量皆呈显著下降趋势;同时,有机质及其它养分指标也呈下降趋势。

3) 镰叶锦鸡儿湿地土壤酶活性与活性有机碳的相关性分析表明蔗糖酶对 WSOC 影响显著,过氧化氢酶对 ROC 和 MBC 影响显著。

### 参考文献:

- [1] 石福臣,李瑞利,王绍强,等.三江平原典型湿地土壤剖面有机碳及全氮分布与积累特征[J].应用生态学报,2007,18(7):1425-1431.
- [2] 万忠梅,宋长春,杨桂生,等.三江平原湿地土壤活性有机碳组分特征及其与土壤酶活性的关系[J].环境科学学报,2009,29(2):406-412.
- [3] 钟春棋,曾从盛,全川.不同土地利用方式对闽江口湿地土壤活性有机碳的影响[J].亚热带资源与环境学报,2010,5(4):64-70.
- [4] 张瑞,张贵龙,姬艳艳,等.不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J].环境科学,2013,34(1):277-282.
- [5] 张仕吉,项文化.土地利用方式对土壤活性有机碳影响的研究进展[J].中南林业科技大学学报,2012,32(5):135-143.
- [6] 王莹,刘淑英,王平,等.不同土地利用方式对秦王川灌区土壤酶活性及土壤养分的影响[J].甘肃农业大学学报,2013,28(5):107-113.
- [7] 王兵,刘国彬,薛蕙.退耕地养分和微生物量对土壤酶活性的影响[J].中国环境科学,2010,30(10):1375-1382.
- [8] 梁毅,杨慧,曹建华,等.不同土地利用方式下土壤养分和酶活性的变化[J].广西师范大学学报(自然科学版),2013,31(1):125-129.
- [9] 何斌,刘运华,陆志科,等.肉桂人工林土壤速效养分与酶活性的季节变化[J].经济林研究,2004,22(3):1-4.
- [10] 杨招弟,蔡立群,张仁陟,等.不同耕作方式对旱地土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2008,39(3):514-517.
- [11] 李文凤,房翠琴,牛玉昊,等.高原地区不同农作物土壤酶活性与土壤养分关系研究[J].北方园艺,2014,(12):159-161.
- [12] 王莉,张强,牛西午,等.黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(4):53-56.

活性均不断提高;后期叶片 SOD 表现分 2 类:一类持续升高,该类表现强抗旱性,另一类开始下降,该类表现不抗旱。本试验发现三叶期的棉花在不同 PEG 胁迫下,三种抗氧保护酶活性在不同材料之间也表现了活性差异。三种抗氧保护酶响应与 PEG 胁迫的强度存在某些关联,POD 活性在 5% 轻度 PEG 干旱胁迫即表现了酶活性上升,在 10%、15% 时达到 POD 的最高酶活性,在 20%、25% 高强度 PEG 干旱胁迫下表现酶活性下降。SOD 酶活性在 5% 的轻度胁迫下升高超越对照,在 10%、15%、20% 逐渐增加 PEG 干旱胁迫下均表现稳定的高活性,在 25% 的干旱胁迫下,抗旱抗盐材料的 SOD 酶活性仍高于对照。CAT 酶活性表现低浓度 PEG 胁迫时导致活性增高,15% 以上的 PEG 胁迫呈现活性迅速下降,在 20%、25% 胁迫下其酶活性均低于对照水平。酶活性的可诱导性与王燕芳的结果一致<sup>[13]</sup>。实验结果认为在不同 PEG 干旱模拟胁迫下,三种酶活性可能存在差异,在 5% ~ 10% 的轻度 PEG 胁迫下棉花主要是 CAT 在起主导作用,在 10% ~ 15% 的中度胁迫下主要是 POD 酶在起主导作用,在 10% ~ 20% 的中高度胁迫下,SOD 酶起主导作用,抗旱抗盐与敏感盐材料比较均表现为抗性材料同期干旱胁迫下酶活性一般高于敏感材料,这说明依据抗氧保护酶活性之间的差异选择抗性材料有其理论基础,在研究不同材料玉米幼苗的抗氧保护酶的差别时也得到了一致的结果<sup>[14]</sup>,不同干旱强度胁迫下,起主导作用的抗氧保护酶也有差别,本试验结果显示中高强度的干旱胁迫下 SOD 起主导作用,这提示我们棉花苗期的叶片在受干旱胁迫时的抗性保护中 SOD 可能是最重要的保护酶,在抗干旱材料的选育中,可以在中高强度干旱胁迫下,依据 SOD 酶活性的高低进行材料的选择。试验结论反映了在不同干旱级别不

同酶在起主导作用,这也为抗旱材料选择提供理论基础。

#### 参考文献:

- [1] 费克伟,罗晓丽,司怀军,等.五个棉花品种抗旱性与 SOD 活性相关性分析[J].作物杂志,2013,(6):134-136.
- [2] 曹 让,梁宗锁,吴洁云,等.干旱胁迫及复水对棉花叶片氮代谢的影响[J].核农学报,2013,27(2):0231-0239.
- [3] 刘灵娣,李存东,孙红春,等.干旱对不同铃重基因型棉花叶片细胞膜伤害、保护酶活性及产量的影响[J].棉花学报,2009,21(4):296-301.
- [4] 史文娟,康绍忠,宋孝玉,等.棉花调亏灌溉的生理基础研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(3):91-95.
- [5] 李志博,林海荣,魏亦农,等.北疆主栽棉花抗旱性生育期差异评价及鉴定体系的初步建立[J].干旱地区农业研究,2011,29(3):84-90.
- [6] 戴茂华,刘丽英,庞昭进,等.花铃期干旱胁迫对棉花生理生化指标的影响[J].江西农业学报,2015,27(7):19-21.
- [7] 张志良,瞿伟菁.植物生理学试验指导(第三版)[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [8] 辛 柯,陈 玲,罗 充,等.干旱胁迫对白刺花幼苗抗性的影响[J].贵州农业科学,2014,42(5):57-60.
- [9] 单长卷,赵元增.外源硫化氢对干旱胁迫下玉米幼苗水分生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):80-84.
- [10] 孙业民,张俊莲,李 真,等.氯化钾对干旱胁迫下马铃薯幼苗抗旱性的影响及其机制研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(3):29-34.
- [11] 邓荏明,熊格生,袁小玲,等.棉花不同耐高温品系的 SOD、POD、CAT 活性和 MDA 含量差异及其对盛花期高温胁迫的响应[J].棉花学报,2010,22(3):242-247.
- [12] 李伶俐,房卫平,谢德意,等.不同熟性棉花品种叶片衰老特性研究[J].棉花学报,2007,19(4):279-285.
- [13] 王燕芳,吴 瑛.外源水杨酸对棉花相关抗虫酶活性诱导的时间和浓度效应[J].江苏农业科学,2015,43(4):138-140.
- [14] 杜彩艳,段宗颜,潘艳华,等.干旱胁迫对玉米苗期植株生长和保护酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2014,33(3):124-129.

(上接第 201 页)

- [13] 陈彩虹,叶道碧.4 种人工林土壤酶活性与养分的相关性研究[J].中南林业科技大学学报(自然科学版),2010,30(6):64-68.
- [14] 方 晰,田大伦,秦国宣,等.杉木林采伐迹地连栽和撂荒对林地土壤养分与酶活性的影响[J].林业科学,2009,45(12):65-71.
- [15] 倪进治,徐建民,谢正苗.土壤水溶性有机碳的研究进展[J].生态环境,2003,12(1):71-75.
- [16] 万忠梅,宋长春,杨桂生,等.三江平原湿地土壤活性有机碳组分特征及其与土壤酶活性的关系[J].环境科学学报,2009,29(2):406-412.
- [17] 贾娜尔·阿汗,赵 玉,张 维,等.伊犁河谷湿地镰叶锦鸡儿群落的植物组成分析[J].草业学报,2012,21(6):221-227.
- [18] 张 瑞,张贵龙,姬艳艳,等.不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J].环境科学,2013,34(1):277-282.
- [19] 王 莹,刘淑英,王 平,等.不同土地利用方式对秦王川灌溉区土壤酶活性及土壤养分的影响[J].甘肃农业大学学报,2013,28(5):107-113.
- [20] 杨招弟,蔡立群,张仁陟,等.不同耕作方式对旱地土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2008,39(3):514-517.
- [21] 柳 敏,宇万太,姜子绍,等.土壤活性有机碳[J].生态学杂志,2006,25(11):1412-1417.
- [22] 万忠梅,宋长春.小叶章湿地土壤酶活性分布特征及其与活性有机碳表征指标的关系[J].湿地科学,2008,6(2):249-257.