

# 干旱绿洲长期微咸地下水灌溉对棉田土壤微生物量影响

王国栋<sup>1,2</sup>, 褚贵新<sup>1,2\*</sup>, 刘瑜<sup>1,2</sup>, 张旺锋<sup>1</sup>

(1. 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子 832000; 2. 石河子大学农学院资环系, 石河子 832000)

**摘要:** 由于淡水资源的缺乏, 利用微咸地下水灌溉是干旱绿洲普遍采用的一种灌溉措施。该文对北疆棉区长期利用微咸地下水灌溉的土壤微生物和酶活性进行了研究。结果表明, 长期微咸地下水灌溉土壤的含盐量比渠水灌溉上升 61.5%, 显著增加了棉田耕层土壤盐分 ( $P < 0.05$ ), 土壤可交换性钠百分率 (ESP) 升高 3.2 倍, 并造成土壤碱化。微咸地下水灌溉纤维素酶、脲酶等、转化酶及过氧化氢酶 4 种酶活性分别降低了 21.3%、50.9%、50.0% 和 10.5%, 但在微咸地下水灌溉条件下多酚氧化酶和碱性磷酸酶的活性显著升高。微咸地下水灌溉对土壤微生物有明显抑制作用, 长期微咸水灌溉使土壤微生物量碳、氮分别降低 24.4% 和 42.4%, 但对微生物量磷影响不显著。微生物量和酶活性与棉田土壤肥力密切相关, 长期微咸地下水灌溉导致有机质、全氮分别降低 26.8% 和 28.0%。长期微咸地下水灌溉影响了土壤生物质量, 不利于绿洲农田土壤的持续利用。

**关键词:** 地下水, 灌溉, 微咸水, 土壤, 酶活性, 微生物量

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.11.009

中图分类号: S154.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-11-0044-05

王国栋, 褚贵新, 刘瑜, 等. 干旱绿洲长期微咸地下水灌溉对棉田土壤微生物量影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 44-48.

Wang Guodong, Chu Guixin, Liu Yu, et al. Effects of long-term irrigation with brackish groundwater on soil microbial biomass in cotton field in arid oasis[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 44-48. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

淡水资源不足是制约干旱半干旱区作物产量和农业发展的重要因素<sup>[1]</sup>, 大规模开采地下水成为解决绿洲农业用水短缺问题主要措施<sup>[2-3]</sup>。然而地下水灌溉在提供作物生长所需要水分的同时也给土壤带入了盐分, 由此引发干旱区农田土壤面临次生盐渍化的风险<sup>[4-7]</sup>, 影响到干旱绿洲土壤质量和土壤可持续利用。

土壤微生物和酶在参与有机碳循环转化、营养物质释放中起着重要作用, 其活性高低直接反映土壤代谢需求和土壤中养分的有效性<sup>[8]</sup>。Rietz 和 Haynes 认为盐分可对土壤微生物活性造成伤害, 导致微生物代谢效率降低<sup>[9]</sup>。Yuan 等研究指出土壤盐渍化抑制了土壤的矿化势和酶活性<sup>[10]</sup>。近年研究表明土壤微生物量碳、氮及土壤脲酶、磷酸酶等各种酶活性与土壤养分释放紧密相关, 随土壤盐分含量升高而显著降低<sup>[10-12]</sup>, 土壤酶对 pH 值、盐分非常敏感<sup>[13]</sup>, 因此可以作为评价土壤质量的生物学指标<sup>[13-15]</sup>。

大量开采地下水灌溉农田在北疆棉区非常普遍, 由此导致盐离子不断在土壤中积累, 这成为土壤盐渍化的主要诱因, 威胁着绿洲脆弱的土壤生态和农田土壤可

持续利用。本文选择北疆绿洲典型灌区对不同灌溉水源膜下滴灌条件下的土壤生物学性状进行了研究, 旨在揭示不同水源灌溉对微生物量及土壤酶活性的影响, 为地下水资源开发与农田土壤可持续利用提供理论依据和参考借鉴。

## 1 区域概况及研究方法

### 1.1 研究区域概况

研究区域位于准噶尔盆地南缘北疆石河子莫索湾垦区 (86°00'~86°05'E, 45°00'~45°03'N), 地形地貌为洪积冲积扇下游的冲积平原。区域内年平均气温为 6.5℃, 年平均降雨量和蒸发量分别为 115 mm 和 1 942 mm 左右, 蒸降比为 16.9 > 10, 属于典型的大陆性气候<sup>[16]</sup>。当地主栽作物品种为棉花, 为了保证其他条件的一致, 试验选择分多年微咸地下井水灌溉和渠水灌溉的相邻地块棉田作为试验处理, 分别为渠水 (地表淡水) 滴灌 10 a (T1), 微咸地下井水灌溉 10 a (T2), 微咸地下井水灌溉 7 a/渠水灌溉 3 a (T3) 3 个处理, 土壤为灌耕灰漠土 (灌淤旱耕人为土, *Calcaric Fluvisals*), 棉花品种为 T118-3 和 T2-602 (*Gossypium hirsutum* L. T118-3 and T2-602)。灌溉方式均为膜下滴灌。不同水源的水质分析见表 1。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样品采集与保存

于 2007 年 7 月下旬 (棉花的花铃期), 在选定的莫索湾垦区不同滴灌水源棉田每个处理用土钻随机采集 5 个耕层土壤 (0~0.2 m) 混合样品, 共计 15 个。土壤样品分 2 份, 1 份捡去植物残根和石块, 混匀过 2 mm 筛, 并保存在 4℃ 的冰箱中供测定土壤微生物量; 另 1 份自

收稿日期: 2008-04-03 修订日期: 2009-04-14

基金项目: 科技部“973”计划前期研究专项 (2006CB708401)

作者简介: 王国栋, 男 (1982-), 山西太谷人, 从事土壤与植物营养生理生态研究。石河子 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 832000  
\*通信作者: 褚贵新, 男 (1969-), 新疆霍城县人, 副教授, 博士, 主要从事土壤与植物营养生理的教学和研究工作。石河子 石河子大学农学院资环系, 832000。Email: chuguixin@gmail.com; chuguixin@shzu.edu.cn

表 1 不同灌溉水源水质情况  
Table 1 Quality of different sources of irrigation water

	电导率/ (mS·cm <sup>-1</sup> )	pH 值	[K]/ (mg·L <sup>-1</sup> )	[Na]/ (mg·L <sup>-1</sup> )	[Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> ]/ (mg·L <sup>-1</sup> )	[CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ]/ (mg·L <sup>-1</sup> )	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]/ (mg·L <sup>-1</sup> )	[Cl <sup>-</sup> ]/ (mg·L <sup>-1</sup> )	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]/ (mg·L <sup>-1</sup> )	钠吸附比 SAR
渠水	0.32	8.56	4.25	11.41	61.60	6.00	34.77	26.62	165.60	2.06
井水	1.05	9.89	4.25	88.04	71.40	20.00	48.80	142.30	292.67	14.73

然风干、挑去植物根系、磨细、过筛供土壤酶及理化分析。

### 1.2.2 分析方法

土壤有机质采用重铬酸钾-外加热法，全氮用半微量开氏法，速效磷用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法测定，土壤 pH 值采用（水土比 5：1）pH 计法测定，盐分总量为阴阳离子总和，阳离子交换量 CEC 采用 NaOAC 火焰光度法，交换性 Na 采用 NH<sub>4</sub>OAC-NH<sub>4</sub>OH 火焰光度法<sup>[17]</sup>，并根据公式（1）计算土壤碱化度（ESP）

$$ESP = \frac{ExchNa^+}{Exch(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+)} \times 100\% \quad (1)$$

式中：ESP——土壤可交换性钠百分率；ExchNa<sup>+</sup>——土壤交换性 Na 浓度；Exch(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>)——土壤阳离子交换量。

土壤酶测定分别采用：过氧化氢酶测定采用 0.1 mol/L KMnO<sub>4</sub> 容量法；脲酶测定采用苯酚钠比色法；碱性磷酸酶测定采用磷酸苯二钠比色法；纤维素酶采用硝基水杨酸比色法；多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法；转化酶采用 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 滴定法<sup>[18]</sup>。

采用熏蒸提取法测定土壤的微生物生物量碳、氮和磷<sup>[19-21]</sup>。称取过 2 mm 筛相当于烘干土质量 30 g 新鲜土壤于培养皿中，置于已放置 50 mL 氯仿的真空干燥器内，抽气至氯仿剧烈沸腾，在（25±1）℃下放置 24 h 后打开干燥器盖，取出盛氯仿的容器，复盖好盖子，于真空泵下抽空，以去除土壤中残留的氯仿。称取熏蒸后的土样 25 g，加入 0.5 mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 100 mL，振荡提取 0.5 h。采用未熏蒸土壤进行同样提取操作，分别用 Vance 法和 Brookes 法测定土壤中有机碳和全氮质量分数。称取熏蒸后土样 5 g，加入 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 100 mL，振荡提取 0.5 h，用 Hedley 法测定待测液中全磷质量分数，并分别根据公式（2）、（3）和（4）计算微生物量碳、氮、磷质量分数

$$B_C = E_C / K_{EC} \quad (2)$$

$E_C$  = 熏蒸土壤有机碳质量分数 - 未熏蒸土壤有机碳， $K_{EC}$ ：转换系数，取值 0.38；

$$B_N = E_N / K_{EN} \quad (3)$$

$E_N$  = 熏蒸土壤全氮质量分数 - 未熏蒸土壤全氮质量分数， $K_{EN}$ ：转换系数，取值 0.45；

$$B_P = E_P / K_P \quad (4)$$

$E_P$  = 熏蒸土壤全磷质量分数 - 未熏蒸土壤全磷质量分数， $K_P$ ：转换系数，取值 0.4。

### 1.2.3 数据分析

采用 SPSS11.5 软件对不同灌溉水源下土壤性状的差

异进行方差分析；对土壤酶之间、土壤酶及微生物量与土壤性状进行相关性分析，所有数据均为 5 次重复均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌溉水源对棉田盐分含量和土壤养分的影响

长期微咸地下水灌溉条件下棉田土壤盐分和养分含量发生了明显变化。由表 2 分析可以看出，不同水源灌溉条件下土壤总盐质量分数的顺序为微咸地下水滴灌 10 a > 微咸地下水灌溉 7 a / 渠水灌溉 3 a > 渠水灌溉 10 a，微咸地下水灌溉导致土壤总盐质量分数显著升高（ $P < 0.05$ ）。与渠水滴灌相比，劣质微咸地下水滴灌 10 a 和微咸地下水灌溉 7 a / 渠水灌溉 3 a 处理的土壤总盐质量分数分别增加了 62.0% 和 50.0%。不同灌溉水源对土壤 pH 值及碱化度（ESP）也产生了明显的影响，微咸地下水灌溉显著的提高了土壤的 pH 值和碱化度（ $P < 0.05$ ），微咸地下水滴灌 10 a 和微咸地下水灌溉 7 a / 渠水灌溉 3 a 处理的土壤碱化度分别比渠水灌溉的增加 4.2 倍和 2.8 倍。以上分析表明地下微咸地下水灌溉造成土壤盐分不断积累，而且导致了土壤的碱化。不同水源灌溉对土壤有机质和全氮的影响表现为渠水滴灌 10 a > 微咸地下水灌溉 7 a / 渠水灌溉 3 a > 微咸地下水灌溉 10 a，微咸地下水灌溉处理显著的降低了土壤有机质、全氮含量。

表 2 不同灌溉水源对土壤盐分和养分质量分数的影响  
Table 2 Soil salt content and nutrient content under different sources of irrigation water

处理	总盐/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH 值	碱化度/ %	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
T1	0.26c	8.8b	7.2c	11.95a	0.75a	25.9ab
T2	0.42a	9.3a	30.0a	8.75b	0.54c	26.4a
T3	0.39b	9.1a	20.2b	9.86ab	0.64b	16.2b

注：T1：长期渠水灌溉处理；T2：微咸地下水灌溉 10a 处理；T3：微咸地下水灌溉 7 a / 渠水灌溉 3 a 处理，字母标记为不同处理间差异（ $P < 0.05$ ），下同。

### 2.2 不同灌溉水源对土壤酶活性影响

由表 3 可知，不同水源灌溉对土壤酶活性有明显的影响。长期微咸地下水灌溉可显著降低棉田土壤纤维素酶、脲酶、转化酶及过氧化氢酶的活性（ $P < 0.05$ ），其变化规律表现为渠水滴灌 10 a 的酶活性 > 微咸地下水灌溉 7 a / 渠水灌溉 3 a 的 > 微咸地下水灌溉 10 a 的。微咸地下水灌溉的纤维素酶、脲酶、转化酶及过氧化氢酶活性分别为 0.48 mg/(10 g)、13.1 mg/(100 g)、0.69 mL/g 和 10.2 mL/g，分别比渠水灌溉条件降低了 21.3%、50.9%、50.0%、10.5%。与此相反，长期微咸地下水灌溉条件下土壤多酚氧化酶和碱性磷酸酶的活性显著高于渠水灌溉处理（ $P < 0.05$ ）。如 10 a 微咸水灌溉处理土壤多酚氧化

酶和碱性磷酸酶活性为 88.3 mg/(100 g)和 0.82 mg/g, 分别比渠水灌溉高 68.0%和 74.5%。

表 3 不同灌溉水源下土壤酶活性

Table 3 Soil enzyme activities under different sources of irrigation water

处理	过氧化氢酶/(mL·g <sup>-1</sup> )	多酚氧化酶/(mg·(100g) <sup>-1</sup> )	纤维素酶/(mg·(10g) <sup>-1</sup> )	碱性磷酸酶/(mg·g <sup>-1</sup> )	脲酶/(mg·(100g) <sup>-1</sup> )	转化酶/(mL·g <sup>-1</sup> )
T1	11.4a	52.6c	0.61a	0.47c	26.6a	1.38a
T2	10.2c	88.3a	0.48b	0.82b	13.1b	0.69b
T3	11.2b	76.3b	0.50b	0.88a	13.2b	1.30a

### 2.3 不同灌溉水源土壤微生物生物量影响

由表 4 可知, 微咸水灌溉显著降低了土壤微生物量碳、氮 ( $P<0.05$ ), 不同水源灌溉总体表现为渠水灌溉处理的土壤微生物量碳和氮>微咸地下水灌溉 7 a/渠水灌溉 3 a 的>微咸地下水灌溉 10 a 处理的。渠水灌溉棉田的土壤微生物量碳、氮分别比微咸地下水灌溉处理高 24.4%和 42.4%。微咸灌溉 7 a 后改用渠水灌溉对恢复和提高微生物量碳氮有明显的作用。不同水源灌溉对微生物量磷有一定影响, 但差异不显著。微生物量碳氮随土壤交换性钠离子百分数的增加而下降, 通过对它们之间的关系进行方程拟合可发现微生物量碳、氮随土

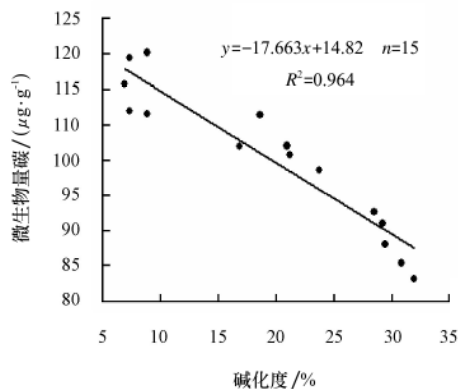
壤钠离子饱和度呈线性负相关 (见图 1)。

表 4 不同灌溉水源下土壤微生物生物量的影响

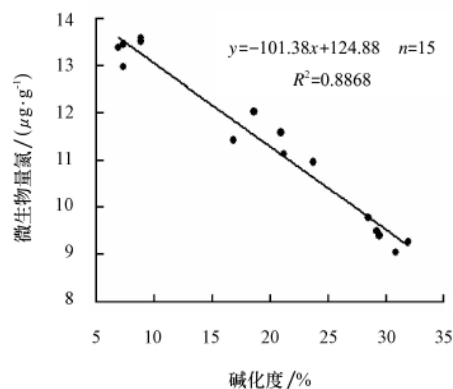
Table 4 Soil microbial biomass under different sources of irrigation water

处理	微生物量碳/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	微生物量氮/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	微生物量磷/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	微生物量碳/ 土壤有机碳 MBC/SOC/%	微生物量氮/ 全氮 MBN/TN/%
T1	115.8a	13.4a	6.42a	1.90a	1.80a
T2	93.1c	9.4c	5.99a	1.85a	1.76a
T3	107.0b	11.4b	6.23a	1.87a	1.80a

注: MBC: 微生物量碳; MBN: 微生物量氮; MBP: 微生物量磷; SOC: 土壤有机碳; TN: 全氮。



a. 微生物量碳



b. 微生物量氮

图 1 土壤交换性钠百分率与土壤微生物量碳、氮的相关性

Fig.1 Correlation between soil exchangeable sodium percentage and soil microbial carbon and soil microbial nitrogen

## 3 讨论

### 3.1 长期微咸水灌溉对棉田土壤酶活性影响的可能原因分析

土壤酶主要来自植物根系、土壤微生物和土壤动物<sup>[13]</sup>, 不同土壤利用方式对微生物群落、酶活性及土壤有机碳循环等有很大影响<sup>[9,12,15]</sup>。盐分对土壤微生物和酶活性影响的机理表现为: 首先, 随着盐分含量增加, 造成土壤微生物渗透胁迫, 抑制和降低土壤活性微生物种群数量<sup>[9]</sup>, 并减少活体微生物分泌酶的数量; 其次, 高浓度盐分可抑制蛋白的溶解, 破坏蛋白的三级结构, 造成蛋白酶的变性失活影响酶活性<sup>[10]</sup>。第三, 由于盐分抑制作物根系的生长从而减少了根系分泌酶<sup>[11]</sup>, 从而影响酶的种类和活性, 导致微生物代谢效率降低。

本文结果说明微咸地下水灌溉对土壤微生物量和过氧化氢酶、纤维素酶、脲酶、转化酶等酶活有明显的抑制作用, 这与很多前人研究的结果一致。然而本研究中

碱性磷酸酶和多酚氧化酶的活性与土壤盐分因子 (包括土壤总盐、pH 值和土壤 ESP) 显著正相关, 这一结果其他报道相矛盾<sup>[9-12]</sup>。如 Rietz 与 Hayne<sup>[9]</sup>的研究结果表明土壤盐碱 (EC, SAR) 对碱性磷酸酶活性有明显的抑制作用, 其活性随电导率 (EC) 呈指数关系下降, 与钠吸附比 (SAR) 成线性负相关。但是也有资料表明碱性磷酸酶在土壤中非常稳定, 在碱性条件下活性增强, 如 Singh 等人在对土壤光合菌 (*Anabaena oryzae*) 研究时发现碱性磷酸酶在 pH 值 10.0~10.2 时活性最强, NaCl 对酶活性影响表现为低浓度 NaCl (<20 mmol/L) 对碱性磷酸酶有促进作用, 当 NaCl 浓度  $\geq 20$  mmol/L 时 *Anabaena oryzae* 可向外分泌磷酸单酯酶胞外酶并使其活性升高<sup>[22]</sup>。一般在胁迫环境下多酚氧化酶活性增强, Wheatley 等研究表明在 100 mmol/L NaCl 溶液里的山药幼苗叶片和叶柄的多酚氧化酶活性显著高于对照, 并认为在盐分胁迫时多酚氧化酶活性增强<sup>[23]</sup>; 郝建朝等结果也表明 pH 值为 9 时多酚氧化酶活性是 pH 值为 7 的 2.7 倍, pH 值为 11 时酶

活性达到最高<sup>[24]</sup>。以上均表明碱性磷酸酶和多酚氧化酶活性与土壤的 pH 值的关系很大, 碱性环境促进了这两种酶的活性。由于本研究区域地下水含高钠 (88.04 mg/L), 长期微咸地下水灌溉显著提高土壤 pH 值, 这是否是导致这两种酶活性升高的主要原因有尚待今后一步研究。

### 3.2 盐分条件下土壤酶功能与绿洲棉田养分的关系探讨

土壤盐分升高影响微生物区系种群结构, 并影响土壤酶的功能发挥<sup>[8,10,12]</sup>。土壤酶广泛参与木质素、多糖、蛋白质与核酸等土壤有机大分子物质的转化和营养元素释放, Caldwell 认为维持土壤中关键功能微生物群落多样性远比微生物分类多样性更有意义<sup>[8]</sup>。在众多土壤酶中, 过氧化氢酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶、尿酶、多酚氧化酶、磷酸酶等对木质素、多糖、蛋白质与核酸等大分子分解有非常重要功能<sup>[12,14-15]</sup>。如脱氢酶反应可土壤微生物的总氧化活性<sup>[12]</sup>, 土壤多糖类有机物矿化分解需要纤维素酶、过氧化物酶和多酚氧化酶, 而有机磷分解涉及磷酸单酯酶和磷酸双酯酶活性<sup>[12,25]</sup>。棉秸秆还田是北疆棉区非常普遍的管理措施, 保持土壤关键功能性酶活性对棉花秸秆的矿质化和培肥地力具有很强实践意义。但微咸水灌溉土壤的显著影响了各种酶的活性, 对绿洲棉田土壤生物质量和肥力特性产生明显的副作用, 今后需要重视。

## 4 结 论

与渠水灌溉对比, 干旱绿洲长期利用微咸地下水灌溉棉田使土壤盐分积累和 pH 值升高, 造成土壤化学性质的恶化, 明显影响了土壤微生物量和土壤酶活性。在微咸地下水灌溉使土壤纤维素酶、脲酶、转化酶及过氧化氢酶活性显著下降, 而碱性磷酸酶和多酚氧化酶活性则随土壤含盐量的增加而升高。微咸水灌溉降低了土壤的微生物量碳、氮和酶活性, 并降低了土壤肥力。长期微咸地下水灌溉使土壤生物质量下降, 不利于绿洲农田的持续利用。

### [参 考 文 献]

- [1] 肖振华, 万洪富. 灌溉水质对土壤水力性质和物理性质的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 359—366.  
Xiao Zhenhua, Wan Hongfu. Effect of irrigation water quality on soil hydraulic and physical properties[J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(3): 359—366. (in Chinese with English abstract)
- [2] 逢焕成, 杨劲松, 严惠峻. 微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 599—603.  
Pang Huancheng, Yang Jinsong, Yan Huijun. Effects of irrigation with saline water on soil salinity and crop yield[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2004, 10(6): 599—603. (in Chinese with English abstract)
- [3] Sadeh A, Ravina I. Relationships between yield and irrigation with low-quality water—a system approach[J]. Agricultural Systems, 2000, 64:99—113.
- [4] 张余良, 陆文龙, 张伟, 等. 长期微咸水灌溉对耕地土壤理化性状的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 969—973.  
Zhang Yuliang, Lu Wenlong, Zhang Wei, et al. Effects of long term brackish water irrigation on characteristics of agrarian Soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(4): 969—973. (in Chinese with English abstract)
- [5] 管孝艳, 杨培岭, 吕焯. 咸淡水交替灌溉下土壤盐分再分布规律的室内实验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23 (5): 88—91.  
Guan Xiaoyan, Yang Peiling, LüYe. Laboratory experiment on the redistribution of soil salinity under saline and fresh water alternate irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23 (5): 88—91. (in Chinese with English abstract)
- [6] 吴忠东, 王全九. 不同微咸水组合灌溉对土壤盐分分布和冬小麦产量影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 71—76.  
Wu Zhongdong, Wang Quanjiu. Field study on impacts of soil water-salt distribution and winter wheat yield by different saline water combination irrigations[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11): 71—76. (in Chinese with English abstract)
- [7] Kumar M, Kumari K, Ramanathan A L, et al. A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India[J]. Environ Geol, 2007, 53: 553—574.
- [8] Caldwell B A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review[J]. Pedobiologia, 2005, 49: 637—644.
- [9] Rietz D N, Haynes R J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35: 845—854.
- [10] Yuan Bingcheng, Xu Xuegong, Li Zizhen, et al. Microbial biomass and activity in alkalized magnesian soils under arid conditions[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39(3): 3004—3013.
- [11] Ghollarata M, Raies F. The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biochemical properties in a soil from Iran[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39: 1699—1702.
- [12] Tripathia S, Chakraborty A, Chakrabartia K, et al. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39: 2840—284.
- [13] Singh D K, Kumar S. Nitrate reductase, arginine deaminase, urease and dehydrogenase activities in natural soil (ridges with forest) and in cotton soil after acetamiprid treatments[J]. Chemosphere, 2008, 71: 412—418.
- [14] Zhang Yongmei, Wu Ning, Zhou Guoyi, et al. Changes in enzyme activities of spruce (*Picea balfouriana*) forest soil as related to burning in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Applied Soil Ecology, 2005, 30(3): 215—225.
- [15] Yang Lijuan, Li Tianlai, Li Fusheng, et al. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 116: 21—26.
- [16] 李玉义, 张凤华, 潘旭东, 等. 新疆玛纳斯河流域不同地貌类型土壤盐分累积变化[J]. 农业工程学报, 2007, 23: 60—64.  
Li Yuyi, Zhang Fenghua, Pan Xudong, et al. Changes of salt accumulation in soil layers with different landforms in Manas

- River Valley in Xinjiang Region of China[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23: 60–64. (in Chinese with English abstract)
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [19] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19: 703–707.
- [20] Brookes P C, Andrea L, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17(6): 837–842.
- [21] Hedley M J, Stewart J W B. Method to measure microbial phosphate in soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1982, 14: 377–385.
- [22] Singh S K, Singh S S, Pandey V D, et al. Factors modulating alkaline phosphatase activity in the diazotrophic rice-field. World Journal of cyanobacterium, *Anabaena oryzae*[J]. Microbiology & Biotechnology, 2006, 22: 927–935.
- [23] Wheatley A O, Ahmad M H, Asemota H N. Development of salt adaptation in in vitro greater yam (*Dioscorea Alata*) plantlets. In Vitro Cell. Dev[J]. Biol.-Plant, 2003, 39: 346–353.
- [24] 郝建朝, 吴沿友, 连宾, 等. 土壤多酚氧化酶性质研究及意义[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 470–474.  
Hao Jianchao, Wu Yanyou, Lian Bin. Properties of PolyphenolOxidase in Soil and its Significance[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(3): 470–474. (in Chinese with English abstract)
- [25] Allison S D, Jastrow J D. Activities of extracellular enzymes in physically isolated fractions of restored grassland soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38: 3245–3256.

## Effects of long-term irrigation with brackish groundwater on soil microbial biomass in cotton field in arid oasis

Wang Guodong<sup>1,2</sup>, Chu Guixin<sup>1,2\*</sup>, Liu Yu<sup>1,2</sup>, Zhang Wangfeng<sup>1</sup>

(1. Xinjiang Production and Construction Group Oasis Ecological Agriculture Key Laboratory, Shihezi 832000, China;

2. Department of Resource and Environmental Science, Agronomy College, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** Due to the shortage of fresh water, groundwater is the main resource for irrigation in arid oasis. In the present study, the impacts of ten-year irrigation with brackish ground water on soil microbial biomass and enzyme activity were compared to those of fresh water in a cotton farming system. The results showed that total salt content changes were significantly greater in soil receiving long-term saline groundwater irrigation ( $P < 0.05$ ), compared with fresh water irrigation, total soil salt content and exchangeable sodium percentage (ESP) increased by 61.5% and 3.2 times, respectively. In the salt affected soil, total enzyme activities of cellulose, urease, invertase and catalase decreased by 21.3%, 50.9%, 50% and 10.5%, respectively. By contrast, soil alkaline phosphatase and polyphenol oxidase activities increased significantly ( $P < 0.05$ ) with increasing salinity and sodicity. Long time brackish groundwater irrigation caused deleterious effects on soil microbial biomass, with biomass carbon and biomass nitrogen decreasing by 24.4% and 42.4%, respectively. However, no obvious detrimental effect of salinity on soil microbial biomass phosphorus was observed. Microbial biomass and enzyme activities were closely related to soil fertility in cotton fields. Organic matter and total nitrogen with the long-term brackish ground water irrigation decreased by 26.8% and 28.0%, respectively. These results reveal that long-term saline groundwater irrigation not only influences the chemical and physical characteristics of soils, but also directly affects soil biological properties and, therefore, has important implications for soils health and sustainability in arid agricultural areas.

**Key words:** groundwater, irrigation, brackish water, soils, enzyme activity, microbial biomass