

# 造纸废水灌溉对土壤中 pH 值、 $\text{Ca}^{2+}$ 、反硝化细菌的影响

苏芳莉, 吴新梅, 李海福, 王铁良

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘 要:**以桶栽方式,利用化学需氧量(Chemical oxygen demand,COD)配制不同浓度的造纸废水对不同生长期的芦苇进行灌溉,研究不同浓度造纸废水灌溉条件下土壤中 pH 值、 $\text{Ca}^{2+}$  和反硝化细菌的变化及其相互作用。结果表明:在芦苇快速生长期,灌溉不同浓度废水对根际土壤的 pH 值、 $\text{Ca}^{2+}$  含量和反硝化细菌数量的调节作用最强。灌溉废水浓度为 300 mg/L 时,芦苇不同生育期根际土壤中 pH 值、 $\text{Ca}^{2+}$  含量和反硝化细菌数量的变化最大;综合 pH 值、 $\text{Ca}^{2+}$  含量、反硝化细菌数量在不同灌溉周期和不同废水浓度条件下的变化规律,确定在芦苇快速生长期灌溉浓度为 300 mg/L 的废水对湿地土壤的影响作用最强;该研究为造纸废水灌溉对盐碱化湿地修复提供理论依据,并为合理构建废水灌溉模式提供辅助依据。

**关键词:**根际土壤;非根际土壤;地温;化学需氧量(COD);湿地

**中图分类号:**S 157 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)16-0168-05

土壤酸碱度是土壤养分的重要特征,不仅影响土壤微生物活性,与土壤养分的形成、转化、有效性及植物生长发育密切相关<sup>[1]</sup>,当 pH 为 7.5~8.5 时,磷酸盐被  $\text{Ca}^{2+}$  固定而有效性降低;当 pH>8.5 时,土壤中的  $\text{Na}^{+}$

增加, $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  被代换出来,易形成钙镁的碳酸盐沉淀<sup>[2]</sup>,减少土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量。钙是植物生长发育所必需的营养元素,细胞外  $\text{Ca}^{2+}$  除具有稳定和保护细胞质膜结构和功能的作用外,还对植物体内其它重要的生理代谢产生良性的生理影响<sup>[3]</sup>,因此土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量变化影响植物的生理代谢,从而间接的影响土壤中物质的变化。土壤作为土地处理系统中生命活动的场所,为植物生长提供养分,土壤微生物酶参与和加速生物化学过程,推动土壤的代谢过程<sup>[4]</sup>,而从根际土壤中分离的细菌约有 65% 具有反硝化能力<sup>[5]</sup>。

该试验采用桶栽模拟,研究芦苇不同生长期,在不同灌溉周期、不同浓度造纸废水条件下,土壤中 pH 值、 $\text{Ca}^{2+}$  含量以及反硝化细菌数量的变化,以揭示土壤中物质变化规律及其相互影响。

**第一作者简介:**苏芳莉(1977-),女,博士,副教授,博士生导师,研究方向为水土保持与生态环境评价。E-mail:nature\_wu\_smile@126.com.

**责任作者:**王铁良(1965-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为农业水土环境。E-mail:tieliangwang@163.com.

**基金资助:**国家自然科学基金资助项目(31100517);国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2012ZX07202004);辽宁省重大科技计划资助项目(2012221001);辽宁省优秀人才支持计划资助项目(LJQ2011070)。

**收稿日期:**2014-05-22

## Breeding of Chinese Cabbage Cultivar ‘Mudanjiang No. 6’

YANG Sheng<sup>1</sup>, ZHANG Gui-zhi<sup>1</sup>, LI Hong-xing<sup>2</sup>

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319; 2. Mudanjiang Vegetable Science Institute, Mudanjiang, Heilongjiang 157000)

**Abstract:** Chinese cabbage cultivar ‘Mudanjiang No. 6’ is mid-early Chinese cabbage  $F_1$  hybrid, it was certificated as a new Chinese cabbage cultivar by the Heilongjiang Province Crop Cultivar Certification Committee in 2011 and named officially ‘Mudanjiang No. 6’. It can be harvested in 70 d after sowing, the head shape index is 1.55, the net vegetable rate is 80.2%, the average single plant weight is 3.2 kg, and the average grain output per 667  $\text{m}^2$  has reached 7 702.6 kg.

**Key words:** Chinese cabbage; ‘Mudanjiang No. 6’; hybrid

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试芦苇于 2011 年 4 月取自辽宁省盘锦双台河口湿地,选取未萌发带有健康芽眼的芦苇根茎,移栽前将根茎每 10 cm 剪断备用。供试土壤为草甸土,于 2011 年

表 1

灌溉废水主要成分

Table 1

The main component content in irrigation water

指标 Index				
pH 值 pH value	化学需氧量 Chemical oxygen demand/mg · L <sup>-1</sup>	生物需氧量 Biological oxygen demand/mg · L <sup>-1</sup>	水质中悬浮物 Suspended solids/mg · L <sup>-1</sup>	矿化度 Salinity/mg · L <sup>-1</sup>
7.5	300	82	141	1 400

### 1.2 试验方法

试验于 2011 年在沈阳农业大学综合试验场内进行。采用桶栽方式,白钢桶高 60 cm,桶径为 45 cm,为避免受雨水影响造成植株间处理浓度有差异,设置遮雨棚,并保证通风透光。2011 年 4 月 11 日,在白钢桶内装入风干的供试土壤,每桶 45.0 kg,每桶栽植 5 cm 芦苇根 3 段。2011 年 4 月 18 日,利用 COD 配制不同浓度的造纸废水进行灌溉。

参照全国《灌溉试验规范》中划分作物生育阶段的标准,将芦苇整个生长季划分为:发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期和成熟期。该试验在芦苇不同生育期(发芽期-I、展叶期-II、快速生长期-III、抽穗期-IV、成熟期-V)开始时进行灌溉,生育期结束时采集样品。在芦苇的整个生育期内设置 5 种废水灌溉浓度。

不同生育期初灌废水:根据芦苇的 5 个生育期将 80 个试验桶分为 5 组,分别在芦苇的发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期和成熟期各个生育期初灌废水,其余阶段灌清水。

废水灌溉浓度设置:根据废水原始 COD<sub>Cr</sub> 质量浓度(300 mg/L),用清水将造纸废水配成 5 个 COD<sub>Cr</sub> 质量浓度梯度,分别为 60 mg/L(C<sub>1</sub>)、120 mg/L(C<sub>2</sub>)、180 mg/L(C<sub>3</sub>)、240 mg/L(C<sub>4</sub>)、300 mg/L(C<sub>5</sub>)。设置灌清水的试验桶作为对照(CK)。

废水灌溉量:每个试验桶灌水深度为 5 cm,计 0.014 m<sup>3</sup>。不灌废水的生育期则灌入清水,保持水面 5 cm,以保证芦苇正常生长。灌入的清水为自来水,经检测各项指标含量基本为 0,不会对试验结果造成影响。

根际土壤:去除桶中表层 3 cm 土壤,将芦苇全部挖出,抖落附着的大土块,收集距离芦苇根系 2 cm 以内的土壤。芦苇每个生长期开始和结束时各取样 1 次。

非根际土壤:去除桶中表层 3 cm 土壤,将芦苇全部挖出,抖落附着的大土块,收集该土壤。芦苇每个生长期开始和结束时各取样 1 次。

将采集的土壤分为 2 份,1 份进行风干处理,待用;另 1 份 4℃ 保存,1 周内完成菌落培养。

4 月取自该湿地的原状土壤,容重 1.03 g/cm<sup>3</sup>,pH 8.27,有机质含量为 1.12%。供试废水取自辽宁省金城造纸厂排污口。在每次灌废水前 1 周取供试废水 6 桶,每桶 50 L,运回试验场内,置于阴凉处。自 5~9 月份共采集 5 次,经测定,灌入造纸废水的主要成分见表 1。

### 1.3 项目测定

pH 值利用 pH 计测定;Ca<sup>2+</sup> 含量利用原子吸收分光光度计测定;反硝化细菌数量利用 MPN 法测定。

### 1.4 数据分析

利用 Excel 进行数据处理和图表绘制,利用 SPSS 对试验结果进行相关性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌溉不同浓度造纸废水对土壤 pH 值的影响

由图 1(a)可知,不同浓度造纸废水灌溉条件下,非根际土壤 pH 值减小量均在芦苇快速生长期灌溉时达到最大,非根际土壤 pH 值减小量依次为:C<sub>5</sub>>C<sub>4</sub>>C<sub>3</sub>>C<sub>2</sub>>C<sub>1</sub>>CK。发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期和成熟期非根际 pH 值分别比 CK 增加了 4.00、8.00、5.00、8.00 和 5.00 倍,均与 CK 差异显著(P<0.05)。非根际土壤 pH 值减小量随灌溉周期变化无明显规律,但灌溉废水后非根际土壤 pH 值减小量均大于空白。说明造纸废水中 COD 浓度在 300 mg/L 范围内均有利于土壤 pH 值减小,降低湿地碱性。由图 1(b)可知,在芦苇不同生长期,根际土壤 pH 值减小量呈现先增大后减小的趋势,即在快速生长期达到最大,C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 和 C<sub>5</sub> 灌溉条件下根际 pH 值分别比 CK 增加了 1.375、1.50、2.125、2.125 和 2.5 倍,均与 CK 差异显著(P<0.05)。根际土壤 pH 值减小量随灌溉周期无明显变化规律,但灌溉后根际土壤 pH 值减小量均大于空白。说明造纸废水中 COD 浓度在 300 mg/L 范围内均有利于土壤 pH 值减小。由图 1(c)可知,根际土壤 pH 值减小量大于非根际土壤 pH 值减小量,且在快速生长期差值最大。

### 2.2 土壤中 Ca<sup>2+</sup> 含量变化

由图 2(a)可知,在不同浓度造纸废水灌溉条件下,非根际土壤中 Ca<sup>2+</sup> 含量增加,依次为:C<sub>5</sub>>C<sub>4</sub>>C<sub>3</sub>>C<sub>2</sub>>C<sub>1</sub>>CK。发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期和成熟期 Ca<sup>2+</sup> 含量分别比 CK 增加了 5.185、4.629、5.714、9.489、5.476 倍,均与 CK 差异显著(P<0.05)。非根际土壤中 Ca<sup>2+</sup> 增加量随周期变化依次为:抽穗期>快速生长期>成熟期>发芽期>展叶期。C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub> 分

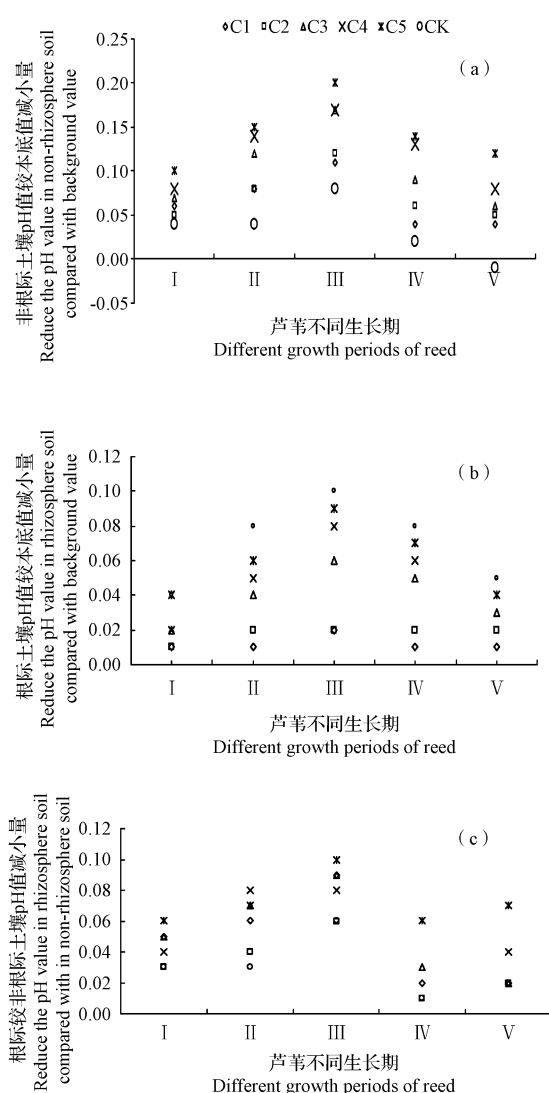
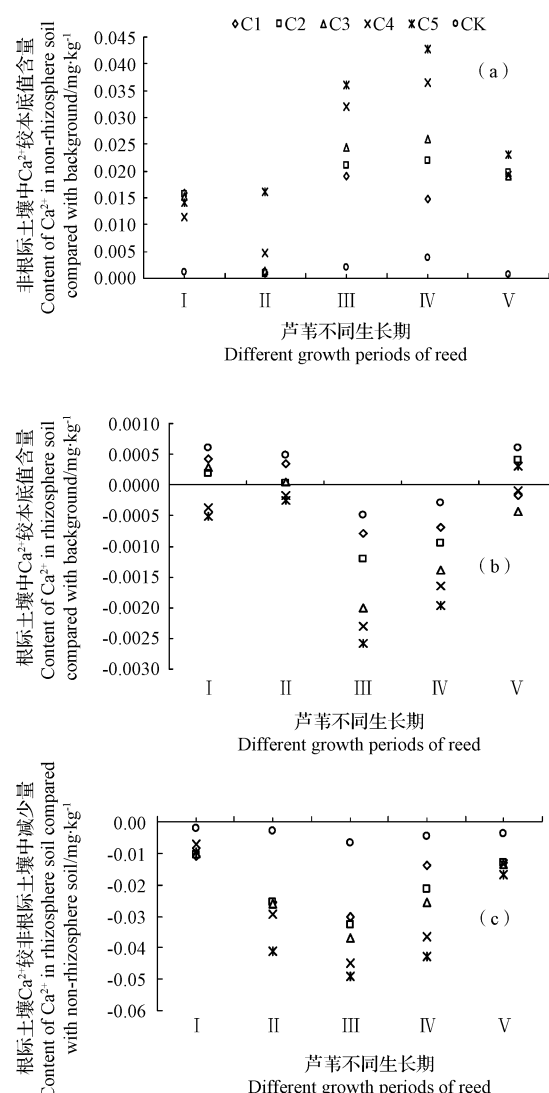


图1 土壤中 pH 值变化

Fig. 1 The change of pH value in soil

别比 CK 增加了 3.267、4.889、5.756、8.111、9.489 倍,均与 CK 差异显著 ( $P < 0.05$ )。根据非根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量变化趋势,非根际土壤中产生  $\text{Ca}^{2+}$  含量大于土壤中用于交换  $\text{Na}^+$  的  $\text{Ca}^{2+}$  含量,并确定造纸废水浓度为 300 mg/L 时影响最大。由非根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量随灌溉周期变化可知,展叶期和快速生长期植物根系活动开始加快,消耗根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$ ,促使非根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  迁移量增大。由图 2(b)可知,在不同浓度造纸废水灌溉条件下,根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量减少,依次为:  $\text{C}_5 > \text{C}_4 > \text{C}_3 > \text{C}_2 > \text{C}_1 > \text{CK}$ 。发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期和成熟期  $\text{Ca}^{2+}$  含量分别比 CK 减少了 0.00112、0.00074、0.00208、0.00166、0.00029,均与 CK 差异显著 ( $P < 0.05$ )。根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  减少量随周期变化依次为:快速生长期  $>$  抽穗期  $>$  空白。 $\text{C}_1$ 、 $\text{C}_2$ 、 $\text{C}_3$ 、 $\text{C}_4$ 、 $\text{C}_5$  分别比 CK 减少了 1.60、2.40、4.00、4.60、5.16 倍,均与 CK 差异显

图2 土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  变化Fig. 2 The change of  $\text{Ca}^{2+}$  in soil

著 ( $P < 0.05$ )。发芽期、展叶期和成熟期  $\text{Ca}^{2+}$  含量均小于抽穗期,且均大于空白,但相互之间无明显差异。造纸废水浓度与灌溉周期对根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量变化影响显著,说明根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量受植物根系生长影响。由根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量变化可知,根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  产生量小于  $\text{Ca}^{2+}$  消耗量,且在芦苇快速生长期差值最大。这是因为植物生长速度加快,为满足植物生长所需营养物质,根系从土壤中吸收营养物质速度加快,根系表面离子交换量速度加快,即在快速生长期根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量减少速度加快,消耗量明显多于产生  $\text{Ca}^{2+}$  含量。由图 2(c)可知,在不同浓度造纸废水灌溉条件下,根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量较非根际土壤中的少,依次为:  $\text{C}_5 > \text{C}_4 > \text{C}_3 > \text{C}_2 > \text{C}_1 > \text{CK}$ 。发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期和成熟期  $\text{Ca}^{2+}$  含量分别比 CK 减少了 4.643、13.615、7.218、8.95、4.611 倍,均与 CK 差异显著 ( $P <$

0.05)。根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量较非根际中  $\text{Ca}^{2+}$  减少量呈现出先增多后减少的趋势,且在快速生长期达到最大,  $\text{C}_1$ 、 $\text{C}_2$ 、 $\text{C}_3$ 、 $\text{C}_4$ 、 $\text{C}_5$  分别比 CK 减少了 4.56、4.81、5.41、6.59、7.22 倍,均与 CK 差异显著 ( $P<0.05$ )。根际土壤较非根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量受废水浓度和灌溉周期影响更显著。由根际土壤与非根际土壤  $\text{Ca}^{2+}$  差值变化趋势可知,植物对土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量变化有较大影响。

### 2.3 土壤中反硝化细菌变化

由图 3 可知,灌溉废水后根际和非根际土壤中反硝化细菌含量大于空白组。说明造纸废水灌溉后为微生物提供了必要的食物来源,并在影响其它理化性质变化的同时促进了反硝化细菌的生长繁殖。由图 3(a)可知,在不同浓度造纸废水灌溉条件下,非根际土壤中反硝化细菌数量有所增加,随灌溉周期呈现先增大后减小,在芦苇快速生长期达到最大。 $\text{C}_1$ 、 $\text{C}_2$ 、 $\text{C}_3$ 、 $\text{C}_4$ 、 $\text{C}_5$  变化量分别比 CK 增大了 15.50、7.00、5.85、12.80、14.00 倍,均与

CK 差异显著 ( $P<0.05$ )。CK 随灌溉周期变化也呈现出先增大后减小的趋势,在快速生长期达到最大。由图 3(b)可知,经造纸废水灌溉后,根际土壤中反硝化细菌数量增加,其变化量随废水浓度升高而增大,在  $\text{C}_5$  达到最大,发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期、成熟期变化量分别比 CK 增加了 1.824、2.208、1.827、1.812、1.621 倍,均与 CK 差异显著 ( $P<0.05$ )。根际土壤中反硝化细菌变化量依次为:快速生长期>抽穗期>展叶期>成熟期>发芽期。由图 3(c)可知,根际土壤中反硝化细菌增加量大于非根际土壤中反硝化细菌增加量。该试验结果与以往研究结果一致。Machate 等<sup>[8]</sup> 研究发现,湿地基质表面和植物根区的功能性微生物种类和数量相对较多,与该试验结果一致。这说明,除了造纸废水浓度和地温影响反硝化细菌外,植物根系对其也有影响。 $\text{pH}>8.0$  的碱性土壤中微生物活性较低,优势菌种为反硝化细菌。在  $\text{pH}>8.0$  情况下,硝化作用无法进行,反硝化作用可正常进行<sup>[7]</sup>,反硝化细菌在反硝化作用中起到非常重要的作用。

由图 4 可知,5 cm 土层地温随着时间呈现先增大后减小的趋势,在快速生长周期时达到最大,这说明非根际土壤中反硝化细菌变化主要受地温的影响。不同浓度造纸废水灌溉后,非根际土壤地温均高于 CK,这说明灌溉造纸废水后能够提高地温,增加反硝化细菌数量。

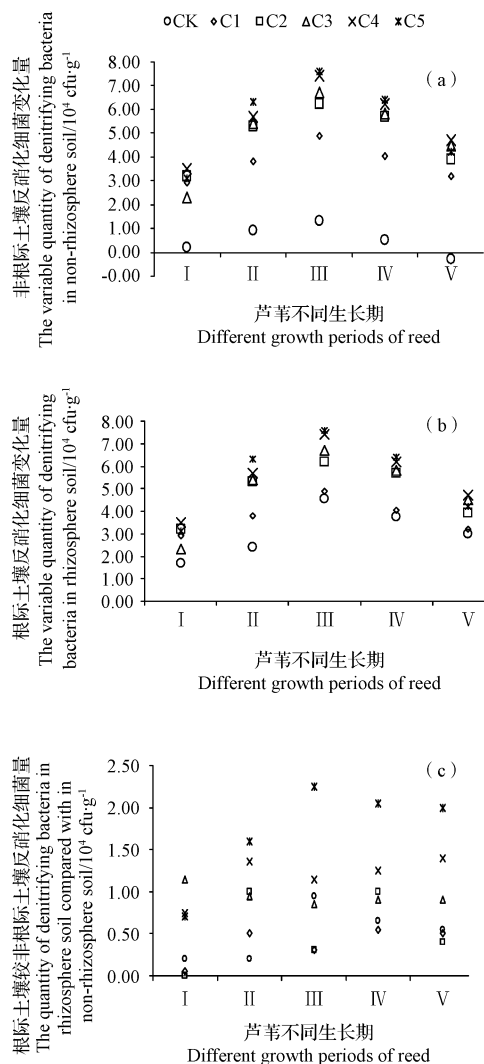


图3 反硝化细菌变化

Fig. 3 The change of denitrifying bacteria

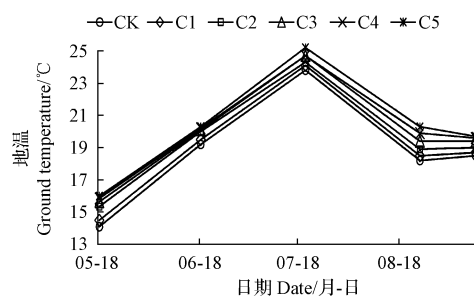


图4 5 cm 土层地温随时间变化趋势

Fig. 4 The variation trend of ground temperature in 5 cm soil layer along with date

### 2.4 综合分析

由表 2 可知,根际土壤  $\text{Ca}^{2+}$  含量与根际土壤 pH 值呈正相关关系;根际土壤反硝化细菌量与根际土壤  $\text{Ca}^{2+}$  含量呈显著负相关关系。

## 3 讨论与结论

该研究发现,根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  减少,可能会减小芦苇根细胞的液泡膜  $\text{H}^+$ -ATP 酶活性,加剧焦磷酸酶 ( $\text{H}^+$ -PPase)活性的下降,提高根细胞的  $\text{H}^+$  分泌,从而降低根际土壤中 pH 值。这与以往的研究结果不同。Nakamura 等<sup>[9]</sup> 研究发现,外加  $\text{Ca}^{2+}$  可增加盐胁迫下绿豆根细胞的液泡膜  $\text{H}^+$ -ATP 酶活性,缓解焦磷酸酶



表 2 根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$ 、pH 值和反硝化细菌之间的相关性分析

Table 2 Correlation analyses among  $\text{Ca}^{2+}$ , pH value and denitrifying bacteria

		$\text{Ca}^{2+}$ 含量	pH 值	反硝化细菌
$\text{Ca}^{2+}$	Pearson 相关性	1	0.357 *	-0.581 **
	显著性(单侧)		0.040	0.001
	N	25	25	25
pH 值	Pearson 相关性	0.357 *	1	-0.272
	显著性(单侧)	0.040		0.095
	N	25	25	25
反硝化细菌	Pearson 相关性	-0.581 **	-0.272	1
	显著性(单侧)	0.001	0.095	
	N	25	25	25

( $\text{H}^+$ -PPase)活性的下降,降低根细胞的  $\text{H}^+$  分泌。因此,对于这个结果还需进一步验证。该研究发现,pH 值与根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  含量呈显著相关关系,与以往研究结果大致相符。林毅等<sup>[10]</sup> 研究发现,土壤 pH 值与碱解 N、交换性 Ca 等有极显著的相关性。许自成等<sup>[11]</sup> 研究发现,土壤 pH 与土壤有机质、全氮、交换性钙等呈极显著相关关系。由于不同试验地的供试土壤、气候、水文及处理设置不同,也会导致研究结果存在差异。该研究发现,灌溉造纸废水后,提高了反硝化细菌的数量及活性,可能是因为废水为反硝化细菌提供充足的物质来源。在反硝化作用过程中,需要消耗  $\text{H}^+$ ,反硝化作用增强,会减少土壤中  $\text{H}^+$ ,从而导致土壤中 pH 值增大。该研究发现,灌溉造纸废水后土壤中 pH 值减小,可能是由于植物在生长活动中根系会分泌出有机酸,土壤中微生物活动也会使有机质分解产生有机酸,因此反硝化细菌增多的情况下,土壤中 pH 值反而减小。

该研究发现,灌溉不同浓度造纸废水条件下,芦苇快速生长期根际土壤 pH 值较非根际土壤 pH 值减小量最多,根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  较非根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  减少量最多,反硝化细菌在快速生长期最多,确定在芦苇快速生

长期灌溉时对根际土壤中 pH 值、 $\text{Ca}^{2+}$  和反硝化细菌的调节作用最强。不同灌溉周期灌溉造纸废水,灌溉造纸废水浓度为 300 mg/L 条件下,根际土壤 pH 值较非根际土壤 pH 值减小量最多,根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  较非根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  减少量最多,反硝化细菌在快速生长期最多,确定灌溉造纸废水浓度为 300 mg/L 时根际土壤中 pH、 $\text{Ca}^{2+}$  和反硝化细菌的变化最大。综合 pH 值、 $\text{Ca}^{2+}$ 、反硝化细菌在不同周期和不同灌溉浓度条件下的变化规律,确定在芦苇快速生长期灌溉浓度为 300 mg/L 的造纸废水对湿地土壤的影响作用最强。

### 参考文献

- [1] 胡国松,郑伟,王震东,等. 烤烟营养原理[M]. 北京:科学出版社,2000:45-252.
- [2] 王东胜,刘贯山,李章海. 烟草栽培学[M]. 北京:中国科学技术大学出版社,2002:106-109.
- [3] 关军锋,李广敏.  $\text{Ca}^{2+}$  与植物抗旱性的关系[J]. 植物学通报,2001,18(4):473-478.
- [4] 史文娟,汪志荣,沈冰,等. 夹砂层土体构型毛管水上升的实验研究[J]. 水土保持学报,2004,18(6):167-170.
- [5] Liz G, Li L M, Pan Y H. Study the rhizosphere bacteria and ecology of denitrifying bacteria[J]. Soil, 1993, 25(5):266-270.
- [7] 李永梅,杜彩琼,林春苗,等. 铵态氮肥施入土壤中的转化[J]. 云南农业大学学报,2003,18(1):26-29.
- [8] Machate T, Noll H, Behrens H, et al. Degradation of phenanthrene and hydraulic characteristics in a constructed wetland[J]. Water Research, 1997, 31(3):554-560.
- [9] Nakamura Y, Kasamo K, Sakata M, et al. Stimulation of the extrusion of protons and  $\text{H}^+$  - ATPase activities with the decline in pyrophosphate activity of the tonoplast in intact mug bean roots under high-NaCl stress and its relation to external levels of  $\text{Ca}^{2+}$  ions. [J]. Plant Cell physiol, 1992, 33, 139-149.
- [10] 林毅,梁颂捷,朱其清. 三明烟区土壤 pH 值与土壤有效养分的相关性[J]. 烟草科技,2003(6):35-37.
- [11] 许自成,王林,肖汉乾. 湖南烟区土壤 pH 分布特点及其与土壤养分的关系[J]. 中国生态农业学报,2008,16(4):831-834.

## Effect of Paper Making Wastewater on Soil pH, $\text{Ca}^{2+}$ , Denitrifying Bacteria

SU Fang-li, WU Xin-mei, LI Hai-fu, WANG Tie-liang

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

**Abstract:** The different COD concentration of papermaking wastewater was used to irrigation the reeds (planted in barrel) in the different growth periods, the soil pH value, calcium content and the quantity of denitrifying bacteria were studied. The results showed that the greatest impact of different concentration of papermaking wastewater on rhizosphere soil pH value, calcium content and the quantity of denitrifying bacteria were found in the fast growth period of reeds. The volume change of rhizosphere soil pH value, calcium content and the quantity of denitrifying bacteria were found when the concentration of papermaking wastewater was 300 mg/L. The findings of this study would provide theory bases for improving saline wetlands restoration in the future.

**Key words:** rhizosphere soil; non-rhizosphere soil; ground temperature; COD; wetland