

灌溉造纸废水对模拟芦苇湿地土壤中镁离子含量的影响

周芳 苏芳莉* 李海福

(沈阳农业大学 水利学院,沈阳 110866)

摘要 为研究造纸废水对模拟芦苇湿地土壤中镁离子含量的影响,利用造纸废水灌溉辽宁双台河口芦苇湿地,通过不同灌溉时期以及不同废水质量浓度对土壤剖面中镁离子含量进行观测分析。结果表明:在所有处理条件下,土壤镁离子含量随土层深度增加的变化趋势基本相同,呈“W”形分布,5~10 cm 土层中含量最多,20~40 cm 土层中含量最少。在芦苇不同生长期中灌溉造纸废水,土壤中镁离子含量变化量的大小顺序为成熟期>发芽期>展叶期>快速生长期>抽穗期。灌溉不同质量浓度的造纸废水后,土壤中镁离子含量变化量的变化趋势 300 mg/L>175 mg/L>50 mg/L>CK,说明造纸废水灌溉有助于土壤中镁离子的累积,废水质量浓度越高,镁离子累积量越大。

关键词 土壤;镁离子;芦苇;造纸废水;灌溉

中图分类号 S 153

文章编号 1007-4333(2015)06-0240-09

文献标志码 A

Effects of irrigation with papermaking wastewater on magnesium ions in simulated reed wetland soil

ZHOU Fang, SU Fang-li*, LI Hai-fu

(College of Water Resource, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract To study the effect of papermaking wastewater irrigation on simulated reed wetland soil magnesium ion content in Shuangtaihekou Reed Wetland, observation and analysis of magnesium ion content in the soil profile were conducted under different periods and different concentrations of wastewater irrigation's. The results showed that: Under all the treatment conditions, the trend of magnesium ion content in the soil was basically the same with soil depth, which was a “W” shaped distribution. Magnesium ion was most abundant at 5 – 10 cm soil depth and was lowest at 20 – 40 cm soil depth. Wastewater irrigation on different growth period in simulated reed wetland, magnesium ion content in the soil was in the order of Maturity> Germination> Leaf stage> Rapid growth> Heading stage. Results from irrigation with different concentrations of wastewater showed that papermaking wastewater irrigation increased magnesium ions content in soil, and the higher the concentration of papermaking wastewater, the greater the cumulative amount of magnesium ions.

Key words soil; magnesium ion; reed; papermaking wastewater; irrigation

镁是植物生长必需的营养元素之一^[1]。对植物而言土壤是水分和养分的重要供应来源,植物所需的镁元素主要来自土壤,土壤中镁的数量及供应机制很大程度上决定着植物对镁的吸收利用^[2],所以,土壤中镁离子的研究对植物生长意义重大。近年

来,很多学者对土壤中的镁素做了大量的研究,徐畅等^[3]研究了土壤中镁的化学行为及生物有效性;自由路等^[4]对我国土壤中有效镁含量及分布状况做了一系列研究;王芳等^[5]通过对镁的植物效应的进展研究,详细阐述了镁的作用;杨军芳等^[6]系统阐述了

收稿日期:2015-01-26

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31470710);国家自然科学基金青年基金(31200392);国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2012ZX07202004);辽宁省重大科技计划项目(2012212001)

第一作者:周芳,硕士研究生,E-mail:zhoufang1210@163.com

通讯作者:苏芳莉,教授,主要从事农业水土环境以及水土保持与生态环境评价研究,E-mail:sufangli8@163.com

土壤与植物镁素的研究概况;王龙等^[7]研究了 pH 和有机质对镁吸附特性的影响等。

造纸工业废水对环境的污染十分严重,造纸废水所造成的环境污染问题已经严重阻碍了我国造纸工业的发展^[8]。人工湿地废水处理技术具有独特而复杂的净化机理^[9],芦苇湿地系统能够较强的去除废水中污染物质,处理后水质达到污水综合排放标准,同时,不会影响芦苇的正常生长发育^[10]。夏江宝等^[11]研究发现,造纸废水灌溉后芦苇的生长指标显著增加,对土壤也有一定的改良效应。程钟等^[12]研究湿地土壤经造纸废水污灌 1 年后有机质含量的变化,发现有机质含量明显增加。刘擎等^[13]对黄河三角洲湿地盐碱湿地灌溉造纸废水研究发现,废水灌溉对土壤理化性质影响显著。马欣等^[14]通过对黄河三角洲重度退化滨海盐碱湿地灌溉造纸废水研究发现,灌溉后芦苇能够生长,土壤化学性质明显改善,可利用其对芦苇湿地进行恢复、重建。李在田^[15]通过利用人工湿地处理造纸废水研究发现,经过 3~4 年的改良芦苇湿地可开垦为耕地,实现造纸废水资源化利用。

从已有研究可以得出,造纸废水灌溉对土壤有

一定的改良效应,土壤中镁元素含量直接影响湿地芦苇的生长状况,以往对土壤中镁离子分布和镁离子对植物的影响研究颇多,对造纸废水处理下,镁离子在湿地土壤中的变化规律研究尚鲜见报道。本试验以双台河口湿地为研究对象,通过构建小试装置模拟双台河口芦苇湿地,应用造纸废水灌溉芦苇湿地,分析不同灌溉时期和不同灌水质量浓度与土壤中镁离子含量及其变化量的关系,旨在研究造纸废水灌溉对芦苇湿地土壤中镁离子含量的影响,为提高湿地土壤中镁离子营养元素的含量提供理论基础,同时为构建湿地芦苇最适生长环境提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验装置

试验于 2014 年在沈阳农业大学水利学院综合实验基地内进行。试验装置为混凝土砌筑而成的模拟天然湿地—盘锦市双台河口湿地的小试装置,每个试验池尺寸均为长 2.0 m,宽 1.0 m,基础埋深 0.8 m,内部深度 0.8 m,地上部分高 0.9 m。具体试验装置如图 1 所示。

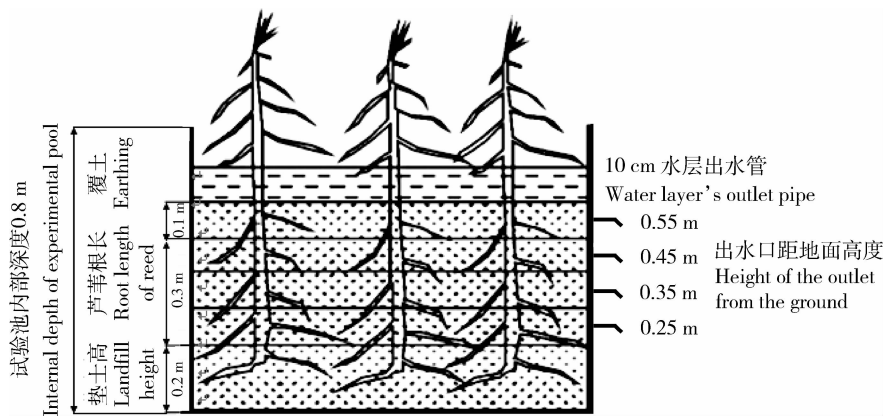


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Experimental device schemes

1.2 供试废水

供试废水于每次灌溉前 3 d 取自辽宁省金城造纸厂排污口,阴凉通风处保存。经测定,造纸废水中的主要成分及其含量如下:pH 7.7,化学需氧量(COD_{Cr})为 300 mg/L,生化需氧量(BOD₅)为 160 mg/L,水中悬浮物(SS)为 139 mg/L,挥发酚为 0.06 mg/L,矿化度为 1 400 mg/L,镉为 0.03 mg/L,砷为 0.26 mg/L,铅为 1.36 mg/L,镍为 0.45

mg/L,铜为 0.65 mg/L,钙为 118.85 mg/L,钠为 78.40 mg/L,镁为 36.32 mg/L。

1.3 供试土壤

供试土壤为原状土,于 2009 年 4 月取自盘锦市双台河口湿地,运至沈阳农业大学水利综合实验基地,分装到试验池内。该土壤为草甸土,pH 为 8.51,容重为 1.04 g/cm³,有机质含量为 1.09%。

1.4 供试植物

供试植物为2009年4月采自盘锦市双台河口湿地的芦苇。挖取带有健康芽眼且未萌发的根状茎,约30 cm截成一段,用适量湿润土壤裹在外侧并装入麻袋,为保证根系湿润,洒适量清水,运回实验基地并移栽至试验池内。

1.5 试验设计

本试验共设置19个试验池,其中,15个为各生长期灌溉组,3个为全生长期灌溉组,1个为清水灌溉对照组。

根据我国《灌溉试验规范》中划分作物生长发育阶段标准,将芦苇生长周期划分为发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期和成熟期。按照芦苇各生长期,将15个试验池分为5组,依次编号为I(发芽期)、II(展叶期)、III(快速生长期)、IV(抽穗期)和V(成熟期)。每组3个试验池,分别设置为不同的废水灌溉质量浓度。化学需氧量COD(Chemical oxygen demand)是衡量水中有机质含量的重要指标,化学需氧量越大,水体污染越严重。利用造纸废水含有大量的有机质,能够促进植物生长和改善土壤理化性质的特点^[13],本试验用造纸废水灌溉芦苇模拟湿地。废水的初始COD_C质量浓度为300 mg/L,用清水与其混匀配制其他浓度,3个废水质量浓度梯度分别为300、175和50 mg/L。具体灌溉方法为:各生长期灌溉组中,I组只在芦苇发芽期初灌废水;II组在发芽期灌溉清水,展叶期初灌溉废水;III组在发芽期和展叶期均只灌清水,快速生长期初灌废水;以此类推,V组只在成熟期初灌废水,其余时期灌清水。全生长期组每个生长期初均灌1次废水。并设

置1个试验池只灌溉清水(COD_C为0 mg/L)作为对照组(CK)。废水的灌水深为10 cm,水量计0.2 m³,灌清水的生长期需灌入清水,保持水面10 cm,以保证芦苇正常生长。清水为居民饮用自来水,经测得,镁离子含量几乎为0,不会对实验结果产生影响。

1.6 样品采集及处理

土样的采集时间为每个生长期初灌入造纸废水的前1 d,用直径为6 cm、高为1 m的取土钻分5层取样,取土层分别为0~5、5~10、10~20、20~40和40~60 cm,装入自封袋中,置于阴凉处风干,风干后用100目筛子过筛,对过筛后的土样参照文献^[16]的火焰原子吸收法进行消煮、测定。

芦苇样品采集时间与土样一致,每个芦苇样由同一取样池内4株芦苇混合而成。取新鲜芦苇叶片运回实验室,杀青处理后烘干、冷却、研磨并过0.5 mm筛子,装入自封袋中待测。测定方法采用硝酸-高氯酸-盐酸三酸消煮,火焰吸收分光光度计测定^[17]。

水样采集时间为每次灌入造纸废水后8 h,通过安装在试验池外侧的出水管进行分层采集,装入润洗过的塑料瓶内,放入4℃冰箱待测,采用等离子发射光谱仪测定。

数据处理和图表绘制用Excel软件,用SPSS软件对结果进行差异性检验、多重比较和双因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度造纸废水灌溉对土壤中镁离子含量的影响

不同质量浓度造纸废水灌溉后土壤中镁离子含量变化量如图2所示。

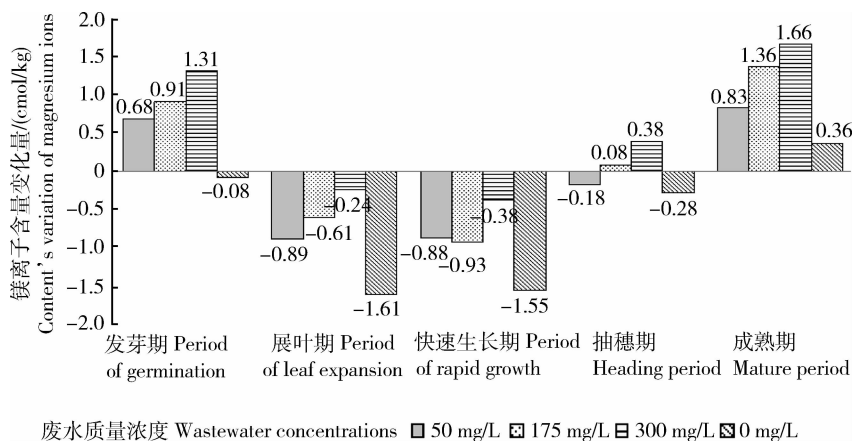


图2 不同质量浓度造纸废水灌溉对镁离子含量变化量的影响

Fig. 2 Effects of the content's variation of magnesium ions in different concentrations of papermaking wastewater irrigation

由图 2 可知,在发芽期和成熟期,造纸废水处理下土壤中镁离子含量变化量较 CK 组大,其他生长期,CK 组镁离子流失量均最大,说明废水灌溉有助于镁离子在土壤中的累积。不同质量浓度废水灌溉后土壤中镁离子含量变化趋势基本相似,从芦苇整个生长期来看,土壤中镁离子含量减少最多的是展叶期灌溉 50 mg/L 废水和快速生长期灌溉 175 mg/L 废水,减少量分别为 0.89 cmol/kg 和 0.93 cmol/kg;土壤中镁离子含量增加最多的是成熟期灌溉 300 和 175 mg/L 废水,增加量分别为 1.66 和 1.36 cmol/kg。

经单变量双因素方差分析,在 0.05 的显著性水平下,不同废水质量浓度对镁离子含量变化量的影响显著($P < 0.05$);不同灌水时期对镁离子含量变化量的影响显著($P < 0.05$);废水质量浓度和灌水时期对镁离子含量变化量的交互作用显著($P <$

0.05)。为进一步分析不同废水质量浓度下,在何时灌溉对镁离子含量变化量影响最大,对不同废水质量浓度下镁离子含量变化量均值进行多重比较,镁离子含量变化量估算边际均值如图 3 所示。分析结果表明,灌溉废水 50 mg/L,展叶期灌水后镁离子含量变化量最大,为 -0.86 cmol/kg,其次是快速生长期灌水,为 -0.85 cmol/kg,其他各时期灌水无显著差异;灌溉废水 175 mg/L,成熟期灌水后镁离子含量变化量最大,为 1.35 cmol/kg,其他各时期灌水无显著差异;灌溉废水 300 mg/L,在成熟期灌水后镁离子含量变化量最大,为 1.64 cmol/kg,其他各时期灌水无显著差异;CK 组展叶期镁离子含量变化量最大,为 -1.58 cmol/kg,其次是快速生长期,为 -1.50 cmol/kg,其他各时期灌溉镁离子含量变化量无显著差异。

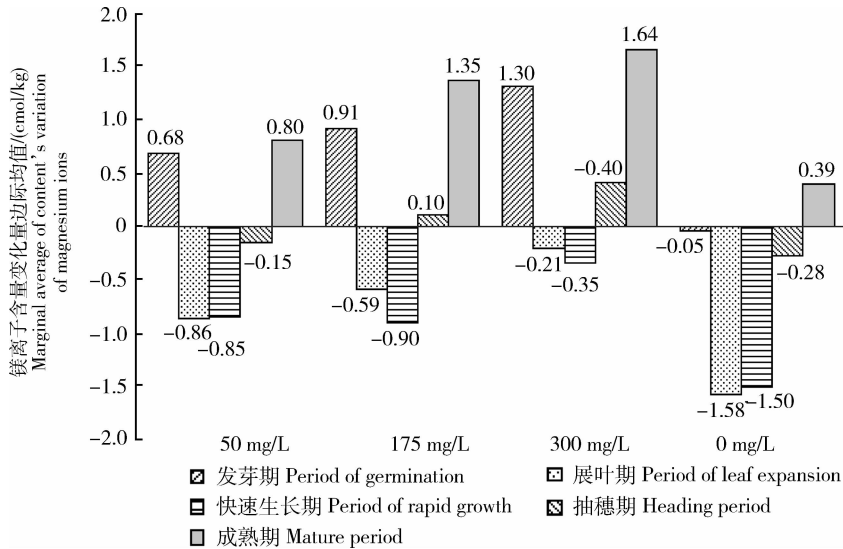


图 3 镁离子含量变化量边际均值

Fig. 3 Marginal average of content's variation of magnesium ions

2.2 不同灌溉废水时期土壤中镁离子变化特征

2.2.1 发芽期土壤中镁离子含量及其变化量

发芽期造纸废水处理下土壤剖面中镁离子含量及其变化量如图 4、图 5 所示。

由图 4 可知,发芽期废水处理下镁离子含量总体上比 CK 组含量高,在土壤剖面中镁离子含量大致呈“W”形。0~5 cm 土层中镁离子含量呈现 300 mg/L > 50 mg/L > CK > 175 mg/L 的趋势。50 mg/L 废水灌溉后,5~10 cm 土层中镁离子含量最高,20~40 cm 土层中最低;175 mg/L 废水灌溉后,40~60 cm 土层中镁离子含量最高,0~5 cm 土层

中最低;300 mg/L 废水灌溉后,0~40 cm 土层中镁离子含量最高,5~10 cm 土层中最低;CK 组镁离子含量随土层加深变化趋势呈“W”形,40~60 cm 土层中镁离子含量最高,5~10 cm 土层中最低。

由图 5 可知,从总体上看,发芽期灌溉不同质量浓度造纸废水,土壤中镁离子含量变化量呈 300 mg/L > 175 mg/L > 50 mg/L > CK 趋势,说明发芽期灌溉废水质量浓度越大,对土壤中镁离子含量变化量影响越大。废水灌溉后,随着土层加深镁离子含量变化量的变化趋势基本相似,呈先增加再减小最后增加的趋势。CK 组在 0~20 cm 土层中镁离

子含量变化量趋于平稳,40~60 cm 土层中上升到最大值,这是由于镁离子因淋洗下移到深土层中的缘故。并且不同质量浓度废水灌溉后,土壤剖面中镁离子含量变化量均为正值,CK 组均为负值,这是由于发芽期芦苇对土壤中镁离子的吸收量较小,CK 组因淋洗作用造成镁离子流失,废水灌溉有助于镁离子在土壤中的累积,且废水质量浓度越高,镁离子在土壤中累积量越大。

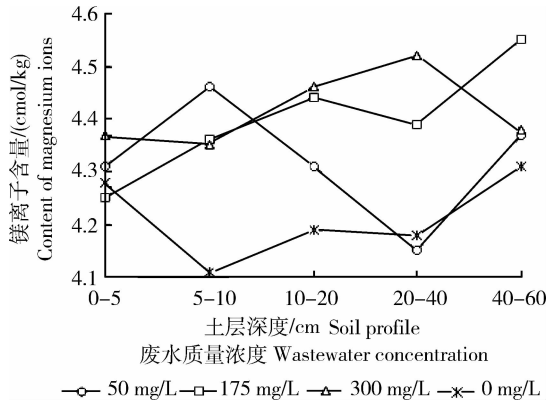


图 4 发芽期不同土层深度镁离子含量

Fig. 4 Content of magnesium ions in different soil profile in the period of germination

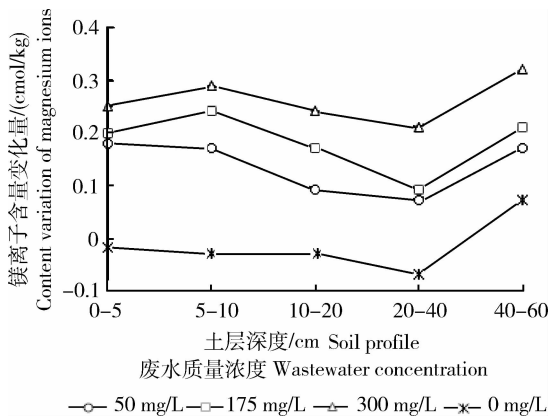


图 5 发芽期不同土层深度镁离子含量变化量

Fig. 5 Content's variation of magnesium ions in different soil profile in the period of germination

2.2.2 展叶期土壤中镁离子含量及其变化量

展叶期造纸废水处理下土壤剖面中镁离子含量及其变化量如图 6、图 7 所示。

由图 6 可知,展叶期废水处理下镁离子含量较 CK 组高,变化趋势与发芽期基本相同,在土壤剖面中镁离子含量大致呈“W”形。0~5 cm 土层中镁离

子含量呈现 300 mg/L > CK > 50 mg/L > 175 mg/L 的趋势。由图 7 可知,从总体上看,土壤镁离子含量变化量呈现 300 mg/L > 175 mg/L > 50 mg/L > CK 的趋势,说明造纸废水质量浓度越大,在芦苇展叶期对土壤中镁离子含量变化量影响越大。0~5 cm 土层中,300 mg/L 废水灌溉后,土壤中镁离子含量变化量为正值,说明高质量浓度造纸废水灌溉使镁离子累积在土壤表层而不能被芦苇吸收。不同质量浓度废水灌溉后,各土层中镁离子含量变化量变化趋势基本相似,在 0~20 cm 土层中,镁离子含量变化量持续减小,20~60 cm 土层中增大,是由于镁离子因淋洗下移到深土层中的缘故。

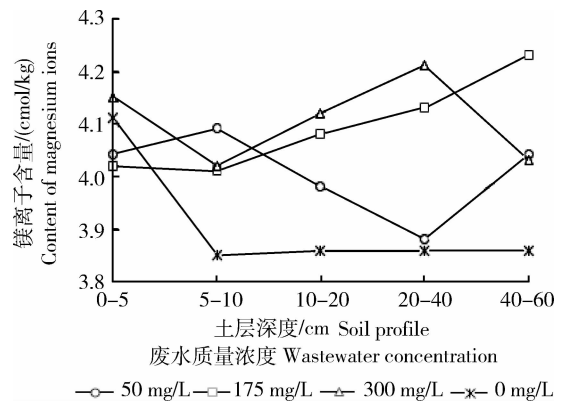


图 6 展叶期不同土层深度镁离子含量

Fig. 6 Content of magnesium ions in different soil profile in the period of leaf expansion

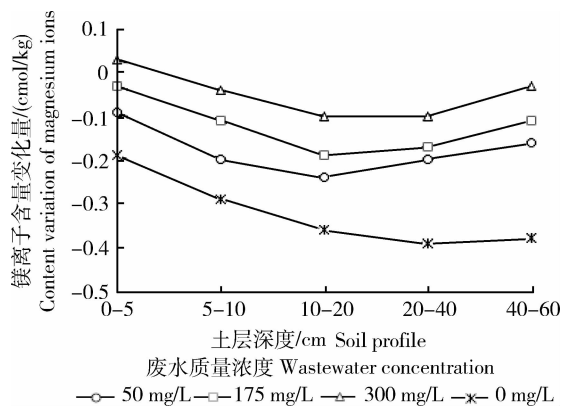


图 7 展叶期不同土层深度镁离子含量变化量

Fig. 7 Content's variation of magnesium ions in different soil profile in the period of leaf expansion

2.2.3 快速生长期土壤中镁离子含量及其变化量

快速生长期造纸废水处理下土壤剖面中镁离子含量及其变化量如图 8、图 9 所示。

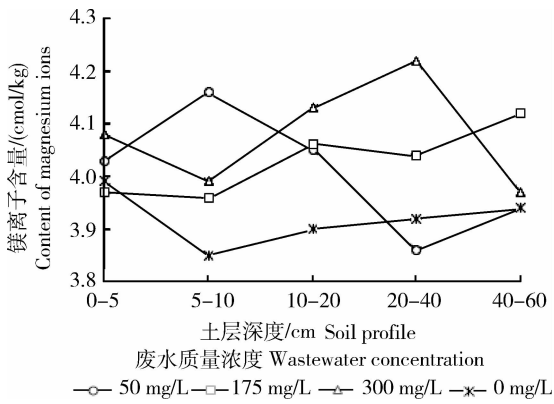


图 8 快速生长期不同土层深度镁离子含量

Fig. 8 Content of magnesium ions in different soil profile in the period of rapid growth

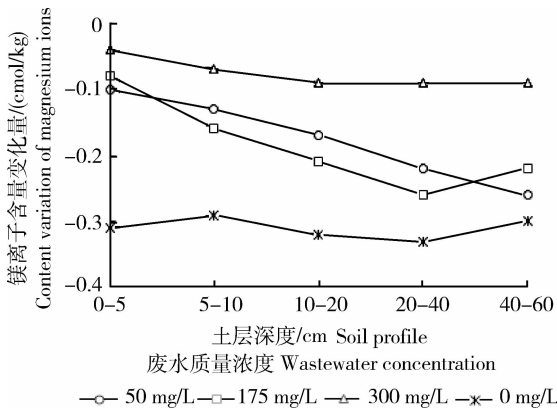


图 9 快速生长期不同土层深度镁离子含量变化量

Fig. 9 Content's variation of magnesium ions in different soil profile in the period of rapid growth

由图 8 可知,快速生长期灌溉废水,镁离子含量较 CK 组含量高,变化趋势与发芽期、展叶期基本相同,在土壤剖面中镁离子含量大致呈“W”形。0~5 cm 土层中镁离子含量呈现 300 mg/L>50 mg/L>CK>175 mg/L 的趋势。由图 9 可知,从总体上看,快速生长期灌溉不同质量浓度的废水后,镁离子含量变化量呈现 300 mg/L>175 mg/L>50 mg/L>CK 的趋势。废水灌溉后,不同土层中镁离子含量变化量的变化趋势基本相似,在 0~40 cm 土层中,镁离子含量变化量持续减小,40~60 cm 土层中,镁离子含量变化量呈现上升趋势,是由于镁离子因淋洗下移到深土层中的缘故,与展叶期相比,镁离子含量变化量上升的土层深度从 20 cm 加深到 40 cm,说明在快速生长期,镁离子的淋洗作用增强。

2.2.4 抽穗期土壤中镁离子含量及其变化量

抽穗期造纸废水处理下土壤中镁离子含量及其变化量如图 10、图 11 所示。

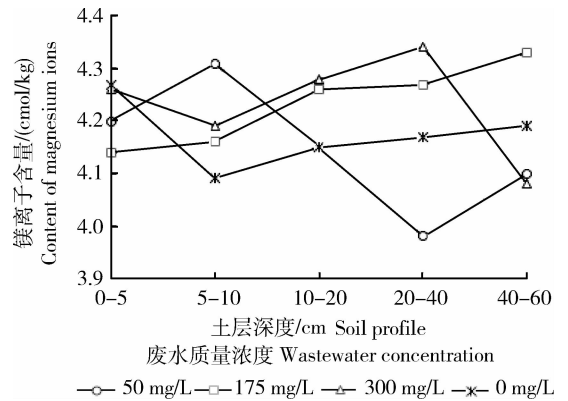


图 10 抽穗期不同土层深度镁离子含量

Fig. 10 Content of magnesium ions in different soil profile in the heading period

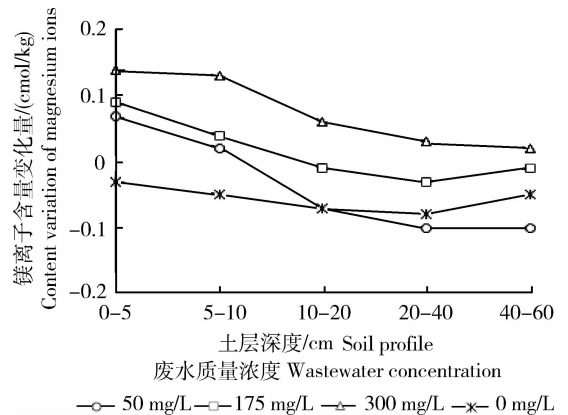


图 11 抽穗期不同土层深度镁离子含量变化量

Fig. 11 Content's variation of magnesium ions in different soil profile in the heading period

由图 10 可知,在抽穗期造纸废水处理下土壤中镁离子含量总体上较 CK 组含量高,变化趋势与发芽期、展叶期、快速生长期基本相同,在土壤剖面中各废水处理下镁离子含量大致呈“W”形。在 0~5 cm 土层中镁离子含量呈现 CK>300 mg/L>50 mg/L>175 mg/L 趋势。由图 11 可知,从总体上看,抽穗期灌溉废水后,土壤中镁离子含量变化量呈现 300 mg/L>175 mg/L>50 mg/L>CK 的趋势。300 mg/L 废水灌溉后,土壤剖面中镁离子含量变化量均为正值,175 mg/L 和 50 mg/L 废水灌溉后,土壤中镁离子含量变化量随着土层加深由正值

变为负值,CK组土壤中不同土层深度镁离子含量变化量均为负值,说明在芦苇抽穗期,高质量浓度造纸废水灌溉加速镁离子在土壤中的累积,废水质量浓度越高,累积量越大,土层深度越深,累积量越小。0~5 cm土层中,3种质量浓度废水灌溉后镁离子含量变化量均为正值,CK组镁离子含量变化量为负值,说明在抽穗期,芦苇从土壤中吸收镁离子,剩余镁离子累积在土壤中。

2.2.5 成熟期土壤中镁离子含量及其变化量

成熟期造纸废水处理下土壤剖面中镁离子含量及其变化量如图12、图13所示。

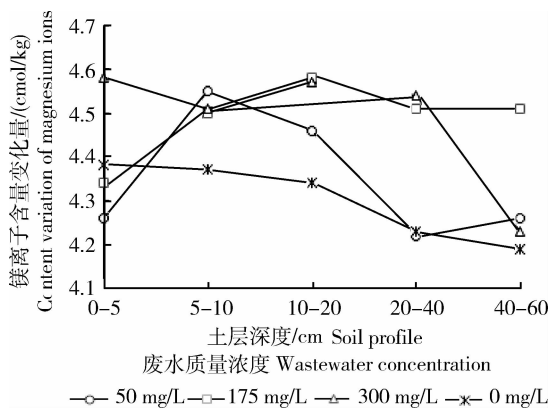


图12 成熟期不同土层深度镁离子含量

Fig. 12 Content of magnesium ions in different soil profile in the mature period

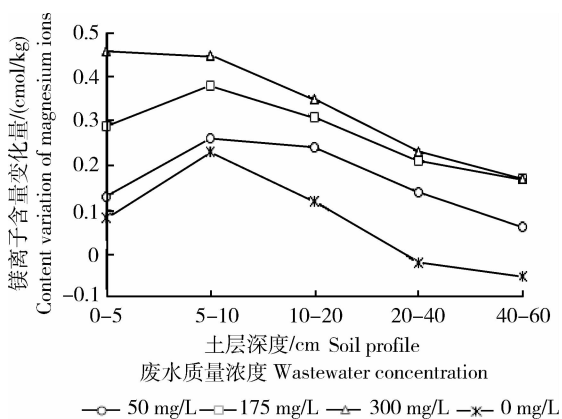


图13 成熟期不同土层深度镁离子含量变化量

Fig. 13 Content variation of magnesium ions in different soil profile in the mature period

由图12可知,在成熟期造纸废水处理下土壤中镁离子含量总体上较CK组含量高,变化趋势与发芽期、展叶期、快速生长期、抽穗期基本相同,在土壤

剖面中镁离子含量大致呈“W”形。0~5 cm土层中镁离子含量呈现 $300\text{ mg/L} > \text{CK} > 175\text{ mg/L} > 50\text{ mg/L}$ 的趋势。由图13可知,从总体上看,成熟期灌溉后,不同土层镁离子含量变化量呈现 $300\text{ mg/L} > 175\text{ mg/L} > 50\text{ mg/L} > \text{CK}$ 的趋势。CK组土壤中镁离子含量变化量随土层加深由正值变为负值,说明在芦苇成熟期,芦苇的自然生长对镁离子吸收作用减弱,镁离子累积在土壤中。废水灌溉后,土壤剖面中镁离子含量变化量均为正值,说明在成熟期,灌溉造纸废水加速了镁离子在土壤中的累积。土壤中不同土层深度镁离子含量变化量的变化趋势基本相似,呈先增加后减小趋势,说明在0~10 cm土层中镁离子累积量随土层加深而增加,在10~60 cm土层中,镁离子累积量随土层加深而减小。

2.3 造纸废水处理湿地系统中镁离子含量平衡分析

造纸废水处理,湿地系统中镁离子含量平衡分析如表1所示。表中以灌入每个芦苇试验池的废水量为 0.2 m^3 计算,废水镁含量即指 0.2 m^3 废水中镁离子的总量;土壤镁初始值与土壤镁残留量均为每个试验池土壤中的镁离子总含量,即 1.2 m^3 土壤中镁离子的总量;芦苇中镁吸收量为每个试验池中所有芦苇植株对镁离子的吸收总量;出水镁含量为试验池出水中镁离子的总量。

由表1可知,废水镁含量+土壤镁初始值=土壤镁残留量+芦苇中镁吸收量+出水镁含量(即镁在湿地系统中的流失量),由此等式可知,湿地系统中镁总量达到平衡。 300 mg/L 废水灌入芦苇湿地后,芦苇对镁的吸收率为7.1%,土壤中镁残留率为82.6%,镁的流失率为10.3%; 175 mg/L 废水灌入后,芦苇镁吸收率为4.6%,土壤镁残留率为80.0%,镁流失率为15.4%; 50 mg/L 废水灌入后,芦苇镁吸收率为2.5%,土壤镁残留率为74.7%,镁流失率为22.8%;CK组,芦苇镁吸收率为2.6%,土壤镁残留率为59.7%,镁流失率为37.7%。造纸废水灌溉后,土壤中镁离子含量增加,不同质量浓度造纸废水灌溉后土壤中镁离子增加量变化趋势为 $300\text{ mg/L} > 175\text{ mg/L} > 50\text{ mg/L} > \text{CK}$,说明造纸废水灌溉芦苇湿地,有助于镁离子在土壤中的累积,且废水质量浓度越高,累积量越大。这是由于随着造纸废水质量浓度增加,有机质含量增加,废水灌溉后土壤中有机质含量增加^[18],土壤中有机质与镁离

子发生络合作用使之在土壤中不至沉淀而增加镁营养成分的有效性^[19],有助于植物吸收利用。当灌入土壤中镁离子浓度大,蒸腾强度大时,根际土壤养分

积累,形成养分聚集区,植物对镁以被动吸收为主^[20],当土壤中镁含量超过植物吸收范围时大量剩余镁累积在土壤中。

表1 湿地系统中镁离子含量

Table 1 Magnesium ions content in the wetland system

废水质量浓度/(mg/L) Waste water quality concentration	废水镁含量/mg Magnesium content in the wastewater	土壤镁初始值/mg Initial content of magnesium in the soil	小计 Total	
300	36 320.00	33 457.58	69 777.58	
175	21 185.46	34 946.63	56 132.09	
50	6 052.73	34 495.47	40 548.20	
CK	0	33 774.38	33 774.38	

废水质量浓度/(mg/L) Waste water quality concentration	土壤镁残留量/mg Residues of magnesium in the soil	芦苇中镁吸收量/mg Rbsorption of magnesium in reed	出水镁含量/mg Content of magnesium in water	小计 Total	
300	57 659.29	4 911.21	7 207.08	69 777.58	
175	44 910.82	2 593.15	86 28.12	56 132.09	
50	30 271.41	1 015.53	9 261.26	40 548.20	
CK	20 156.59	890.84	12 726.95	33 774.38	

3 结论与讨论

3.1 结论

通过对芦苇湿地进行不同质量浓度造纸废水灌溉处理,经分析各芦苇生长期土壤中镁离子含量及其变化量得出如下结论:

1)不同芦苇生长期内,土壤中镁离子含量大小顺序为成熟期>发芽期>抽穗期>快速生长期>展叶期。

2)在不同芦苇生长期内灌溉造纸废水,土壤中镁离子含量变化量的大小顺序为成熟期>发芽期>展叶期>快速生长期>抽穗期。

3)在芦苇不同生长期灌溉不同质量浓度的造纸废水,土壤中镁离子含量随土层深度增加的变化趋势基本相同,呈“W”形,5~10 cm 土层中镁离子含量最多,20~40 cm 土层中镁离子含量最少。

4)灌溉不同质量浓度的造纸废水后,土壤中镁离子含量变化量的变化趋势为 300 mg/L > 175 mg/L > 50 mg/L > CK,说明造纸废水灌溉能增加土壤中镁离子的累积,造纸废水质量浓度越高,镁

离子累积量越大。

5)造纸废水灌溉后,0~5 cm 土层中镁离子含量增加量最大,说明不被芦苇吸收的多余镁离子累积在土壤表层中;5~10 cm 土层中镁离子含量增加量在芦苇发芽期和成熟期较0~5 cm 土层中有持续增加的趋势,是由于在芦苇营养生长期初和营养生长期末,芦苇对土壤中镁离子的吸收量较小,多余镁离子累积在土壤表层中,加之由于淋洗作用使大量土壤表层中的镁离子累积在5~10 cm 土层中;10~60 cm 土层中,随着土层加深,镁离子累积量减小。

3.2 讨论

土壤中镁离子含量动态变化受多种因素影响^[7],镁离子的累积不仅与灌溉有关,还与植物吸收镁的含量有关,当超过植物需要,在湿地中长期大量灌溉废水会导致土壤中镁离子的累积。本试验研究结论与夏江宝等^[11]、刘擎等^[13]、马欣等^[14]研究结果一致,造纸废水灌溉有助于改善土壤理化性质,本试验结果表明造纸废水灌溉有助于镁离子在土壤中的累积,从而有助于湿地植物对镁离子的吸收利用。

从芦苇的生长周期角度分析,在芦苇的生长期初和生长期末灌溉造纸废水对土壤中镁离子的累积效应最明显;从灌溉废水质量浓度角度分析,废水质量浓度越大,镁离子在土壤中累积量越多;从土层深度角度分析,镁离子在土壤表层累积量最大,土层深度越深,镁离子累积量越小。但镁离子在土壤-植物间的动态分布及长期灌溉造纸废水对芦苇湿地土壤理化性质和芦苇生长的影响有待于进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 汪洪. 土壤镁素研究的现状与展望[J]. 中国土壤与肥料, 1997(1):9-13
- [2] 王芳,刘鹏,徐根娣. 土壤中的镁及其有效性研究概述[J]. 河南农业科学, 2004(1):33-36
- [3] 徐畅,高明. 土壤中镁的化学行为及生物有效性研究进展[J]. 微量元素与健康研究, 2007,24(5):51-54
- [4] 自由路,金继运,杨俐苹. 我国土壤有效镁含量及分布状况与含镁肥料的应用前景研究[J]. 中国土壤与肥料, 2004(2):3-5
- [5] 王芳,刘鹏. 土壤镁的植物效应的研究进展[J]. 江西林业科技, 2003(1):34-37
- [6] 杨军芳,周晓芬,冯伟. 土壤与植物镁素研究进展概述[J]. 河北农业科学, 2008,12(3):91-93
- [7] 王龙,王子芳,金昆,等. PH和有机质对三种不同土壤镁吸附特性的影响[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2009,31(7):151-155
- [8] 范立维,卢泽湘,海热提. 造纸废水的人工湿地处理研究进展[J]. 中国造纸学报, 2010,25(2):79-82
- [9] Chen T Y, Kao C M, Yeh T Y, et al. Application of a constructed wetland for industrial wastewater treatment: A pilot-scale study[J]. Chemosphere, 2006,64(3):497
- [10] 钟玉书,王国生,田敏,等. 芦苇湿地生态系统净化造纸废水的研究[J]. 辽宁农业科学, 2006(3):6-8
- [11] 夏江宝,谢文军,孙景宽,等. 造纸废水灌溉对芦苇生长及其土壤改良效应[J]. 水土保持学报, 2011,25(1):111-118
- [12] 程钟,董毛毛. 造纸废水灌溉对湿地土壤中有机质含量的影响[J]. 环境研究与监测, 2006,19(1):29-30
- [13] 刘擎,夏江宝,贾岱,等. 造纸废水灌溉对轻度盐碱芦苇湿地理化性状的影响[J]. 水土保持研究, 2011,18(4):259-267
- [14] 马欣,夏孟娟,陆兆华,等. 造纸废水灌溉黄河三角洲重度退化滨海盐碱湿地对土壤化学性质的影响[J]. 生态学报, 2010,30(11):3001-3009
- [15] 李在田. 芦苇人工湿地造纸废水资源化利用[J]. 水处理技术, 2006,32(2):76-77
- [16] 张金彪,王玉枫. 火焰原子吸收法快速测定土壤中钙和镁[J]. 光谱学与光谱分析, 1993,13(6):79-84
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2002:122-162
- [18] 苏芳莉,陈佳琦,李春云,等. 湿地土壤及芦苇对造纸废水灌溉的响应[J]. 环境科学与技术, 2014,37(8):132-137
- [19] 李文芳,杨世俊,文赤夫,等. 土壤有机质的环境效应[J]. 环境科学动态, 2004(4):31-32
- [20] 史瑞和. 植物营养原理[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1983:248-256

责任编辑:苏燕