

植物光合及蒸腾特性对湿地脱氮效果的影响

雒维国¹,王世和^{1*},黄娟¹,鄢璐¹,黄俊² (1.东南大学市政工程系,江苏 南京 210096; 2.南京农业大学园艺学院,江苏 南京 210095)

摘要: 测定了芦苇光合作用及蒸腾特性随气象和水力条件的变化,及湿地相应的脱氮效率.采用相关系数法分析了芦苇光合及蒸腾特性与脱氮效率之间的关系.结果表明,芦苇的光合作用、蒸腾作用对湿地脱氮效果影响较大,随净光合速率和蒸腾速率的增加,湿地中DO浓度上升,改善了湿地脱氮效果;湿地水深影响芦苇水分利用效率和湿地脱氮效率,与浅水位比较而言,深水位下芦苇的水分利用率和湿地脱氮效率都得到了提高.

关键词: 湿地植物; 光合; 蒸腾; 脱氮

中图分类号: X142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2006)01-0030-04

Influence of plant photosynthesis and transpiration character on nitrogen removal effect in wetland. LUO Wei-guo¹, WANG Shi-he^{1*}, HUANG Juan¹, YAN Lu¹, HUANG Jun² (1.Department of Municipal Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2.College of Horticulture, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China). *China Environmental Science*, 2006,26(1): 30~33

Abstract: The changes of photosynthesis action and transpiration character of reed with meteorologic and hydraulic conditions, and the relevant nitrogen removal efficiency in wetland were determined. The relation between photosynthesis and transpiration characters of reed and nitrogen removal efficiency was analyzed adopting correlation coefficient analysis technique. The photosynthesis and transpiration actions of reed had relatively greater influence on nitrogen removal efficiency in wetland, the dissolved oxygen concentration in wetland was increased and nitrogen removal efficiency in wetland was improved with the enhancement of pure photosynthesis rate and transpiration rate; the water utilizing efficiency of reed and nitrogen removal efficiency in wetland were influenced by the deepness of water in wetland, being increased under deep water level comparing to the low water level.

Key words: wetland plant; photosynthesis; transpiration; nitrogen removal

植物对湿地脱氮的实现起着重要作用,除了根系为微生物提供介质环境外,主要表现为对氮类有机污染物的吸收、利用和转化作用^[1].而植物的光合及蒸腾特性对其本身氮营养物质的代谢有着重要的影响,Evans^[2]认为,植物光合作用与叶氮有着密切关系,甚至一些无光合功能的酶都需要氮,氮的利用是限制植物生长的因素.一些学者^[3,4]研究了湿地中植物的光合作用,认为光合作用会影响植物根部泌氧,间接影响湿地中 NH_4^+-N 的硝化.对植物光合及蒸腾特性影响湿地脱氮的研究尚鲜见报道.

本实验通过构建人工湿地,测定植物光合及蒸腾作用随温度、光强和湿地水深的变化,研究植物光合及蒸腾作用对脱氮效果的影响,探讨湿

地植物脱氮机理.

1 试验部分

1.1 湿地系统的构造

试验在南京锁金村污水处理厂进行.构造湿地系统的长×宽×高为13m×3m×1m,底坡为1%.湿地底面和周边以混凝土浇筑,并做防渗处理.处理区填料由表层土与3层砾石层组成,在处理区前端的15cm处设置多孔隔板便于布水均匀.在集水区的0.25,0.45,0.65m 3个高度处设出水管,以调节湿地水深.湿地栽种芦苇.

收稿日期: 2005-04-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50278016)

* 责任作者, 教授, wshhj@seu.edu.cn

试验在2004年夏季进行,用污水厂初沉池出水作为湿地进水水源,进水COD为180~220mg/L、BOD为90~110mg/L、NH₄⁺-N为30~45mg/L、TN为50~70mg/L,pH值为7.2左右.采用连续方式进水,水力负荷控制在0.15~0.65m³/(m²·d),HRT为2~8d.

1.2 测试方法

TN、NH₄⁺-N和DO的测定采用标准方法^[5].
光合及蒸腾作用的测定采用LI-6400便携式光合作用测定仪(美国,LI-COR公司),开放式气路,光强、温度、CO₂浓度与室外同步.在野外非离体条件下直接测定植物的净光合速率[P_n, μmolCO₂/(m²·s)],蒸腾速率[T_r, mmolH₂O/(m²·s)],气孔导度[C_s, mmol/(m²·s)]等指标,同时记录气温(T,℃),光合有效辐射[PAR,μmol/(m²·s)].使用CI-203激光叶面积仪(美国,CID公司)测定叶面积指数(m²/m²).为了排除叶龄和空间因素影响,在1m×1m样方中,从4株芦苇上选取了不同叶龄的8个叶子,测定后取平均值.测定时分析气室夹在叶片中间,试验在7月中旬进行,晴天少云,风力2~3级,光照较强.从8:00~19:00每隔1h测定1次.

日同化量,日蒸腾量和日蒸腾效率或水分利用率分别由以下公式^[6]计算:

单位面积日同化量=3600×[8:00P_n+18:00P_n+2(10:00P_n+12:00P_n+14:00P_n+16:00P_n)]
单位面积日蒸腾量=3600×[8:00T_r+18:00 T_r+2(10:00T_r+12:00T_r+14:00T_r+16:00T_r)]

水分利用率=日同化量/日蒸腾量

2 结果与讨论

2.1 光合和蒸腾特性及其对脱氮效果的影响

2.1.1 光合及蒸腾作用的日变化特性 在65cm 水深条件下,湿地稳定运行,测定结果如表1所示.在 10:00~14:00 时段,净光合速率保持在一个较高的阶段,最大值出现在中午 12:00.在12:00~14:00 时段,由于温度达到最高值,蒸腾作用最强,叶温迅速上升导致芦苇呼吸酶作用受到抑制,净光合速率有所下降.在 14:00 时随温度降低又回升,出现轻微的“午休”现象.在 8:00~13:00 时段,蒸腾速率随温度升高不断增加,在下午 13:00 时蒸腾作用强度最大.对 P_n 和 T_r 进行相关性分析(表 2),二者的相关系数为 0.9524,为高度线性相关,说明净光合速率的变化与蒸腾速率的变化密切相关,低温条件下净光合速率随蒸腾速率的增加而增加,而高温条件下剧烈的蒸腾作用使植株水分消耗过多,叶温过高,会使光合速率降低;傍晚净光合速率的降低则与光强下降有关.气孔导度在 8:00~13:00 时段,随气温升高不断降低,在 12:00~14:00 时段,强光照导致叶片高温,蒸腾速率加快,气孔导度降低,在中午 13:00 时降到最小值,此后又逐渐上升.

表 1 芦苇的光合及蒸腾作用日变化与湿地脱氮效率日变化
Table 1 The daily changes of reed photosynthesis and transpiration effect and nitrogen removal efficiency of wetland

时间	温度 (℃)	光强 [μmol/(m ² ·s)]	净光合速率 [μmol CO ₂ /(m ² ·s)]	蒸腾速率 [mmol H ₂ O/(m ² ·s)]	气孔导度 [mmol/(m ² ·s)]	出水 DO (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N 去除 率(%)	TN 去除 率(%)
8:00	30.89	1235	7.39	1.52	755	0.35	31.4	45.8
10:00	32.65	1501	14.00	2.90	608	0.41	50.2	59.8
12:00	35.97	1650	21.70	4.11	350	0.55	67.6	76.6
13:00	38.64	2049	19.20	5.06	122	0.56	82.4	72.5
14:00	36.23	1800	21.10	4.71	261	0.62	89.6	79.6
16:00	32.34	1350	8.39	2.55	350	0.52	51.2	73.5
18:00	30.61	485	3.70	1.32	407	0.45	42.3	51.4
19:00	28.64	50	2.32	1.15	523	0.37	39.4	48.6

表 2 芦苇光合及蒸腾参数与湿地 DO 和脱氮效率的相关系数

Table 2 The correlation coefficient between reed photosynthesis, transpiration parameter and outlet DO, nitrogen removal efficiency

参数	净光合速率	蒸腾速率	气孔导度	出水 DO	NH ₄ ⁺ -N 去除率	TN 去除率
净光合速率	1	0.9524**	-0.6302	0.7741	0.8701*	0.8293*
蒸腾速率		1	-0.8236	0.8570*	0.9533**	0.8760*
气孔导度			1	-0.8915	-0.8764	-0.8403*
出水 DO				1	0.9226**	0.9439**
NH ₄ ⁺ -N 去除率					1	0.8733*
TN 去除率						1

注: *, **分别表示 0.05 和 0.01 水平显著

2.1.2 光合及蒸腾作用对DO和脱氮效果的影响 湿地出水的DO水平随芦苇的净光合速率协同变化,忽略出水DO在时间上迟滞于芦苇根系泌氧的特点,可认为DO与 P_n 最大值的出现是同步的.计算得到 P_n 和出水DO的相关系数小于 T_r 与DO的相关系数(表2).

由表1可见,TN去除率在12:00~14:00时段水平较高,这与净光合速率的高值时段是吻合的,同时TN去除率随净光合速率的增减而增减.较高的CO₂同化能力往往导致更高的氮生产能力.芦苇可利用的碳量在空气中要高出在水中几个数量级,所以挺水生长的芦苇在碳素的吸收方面是有利的^[7].计算得到芦苇的单位面积日同化量为509282μmol CO₂/m²,试验测得芦苇的叶面积指数为6.2.对芦苇光合作用过程简化,忽略群体内辐射通量的垂直变化和土壤温度对同化量的影响,用芦苇叶面积指数和光合作用参数计算CO₂同化总量,同时假定芦苇组织代谢中C/N(按照芦苇属植物营养分析计算)为20.0,则单位面积湿地每天通过芦苇吸收的氮元素总量(g)可以用公式近似计算:植物吸收的总氮=(单位面积日同化量×植物叶面积指数×氮元素原子量/碳氮比)×10⁶.
算得单位面积湿地吸收的总氮为2.23g/m²,试验中湿地进水中总氮浓度为51.5mg/L,水力负荷为0.25m³/(m²·d),那么植物对氮的转化部分占湿地总氮去除的比例(η)为17.32%.张荣社等^[8]的研究认为湿地中水生植物吸收的氮量约占总去除氮量8%~16%,本研究结果与其接近.说明植物

对氮的吸收转化作用是湿地脱氮的一个重要途径,光合作用间接影响湿地的脱氮效果.

芦苇的蒸腾速率与NH₄⁺-N的去除效果高度线性相关(表2).由表2可见,光合作用对NH₄⁺-N去除的影响小于蒸腾作用.除了植物对NH₄⁺-N的吸收外,夏季蒸腾强度较大,随水流流向植物根部NH₄⁺-N运输量增加,有利于植物吸收.此外湿地的蒸腾是NH₄⁺-N去除的一个重要途径,在植物生育盛期,蒸腾占主导地位^[9],高的蒸腾速率有助于增强NH₄⁺-N挥发.

2.2 水深变化对光合及蒸腾作用的影响

2.2.1 不同水深芦苇的日同化量、日蒸腾量 and 水分利用率 改变湿地水深,等湿地稳定运行后进行测定(表3).由表3可见,芦苇的日同化量在潜流条件下,随水深的增加而增加.因为湿地水深的下降阻碍了芦苇根系对水分的吸收,加之强烈的蒸腾作用促使组织内部缺水,限制了光合作用的发挥,使得光合速率下降,整体上同化量减少,而水深的降低使得植物群落内湿地介质表面温度升高,增强了芦苇的蒸腾作用,日蒸腾量也随之增加.当湿地漫流运行时,日同化量大于25cm水深和45cm水深,而小于65cm水深,这是因为表面漫流虽然满足芦苇根系对水分的需求,而降低了植物群落内的介质表面温度,使得日蒸腾量大大降低.
2.2.2 不同水深下湿地的DO和氮去除效果 由表3可见,出水平均DO水平与日同化量呈正相关关系,与日蒸腾量呈负相关关系.湿地漫流运行时出水DO平均值大于25cm水深时,这与漫流存在

表面复氧有关.NH₄⁺-N和TN的平均去除率以 65cm水深为最大.

表 3 不同水深条件下芦苇的光合和蒸腾作用对湿地平均脱氮效率的影响
Table 3 The impact of reed photosynthesis and transpiration effect on nitrogen removal efficiency
of wetland in different water level

水深(cm)	日同化量 (μmol CO ₂ /m ²)	日蒸腾量 (mmol H ₂ O/m ²)	水分利用率 (mmol CO ₂ /mol H ₂ O)	出水平均 DO (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N 平均 去除率(%)	TN 平均去除 率(%)
25	324719	144964	2.24	0.29	41.3	30.9
45	455062	115206	3.95	0.34	45.6	52.7
65	509282	112968	4.51	0.48	56.7	63.4
漫流 80	476819	98925	4.82	0.61	52.2	50.3

在水深25~65cm段,随水深增加,在水分利用率增加的同时,湿地脱氮效率得到提高,说明芦苇根系良好的吸水环境有助于促进其对氮污染物的吸收转化.每天单位面积湿地蒸腾水分总量(m³)可以用公式近似计算:植物蒸腾的水分总量=(单位面积日蒸腾量×植物叶面积指数×H₂O分子量)/10⁹.

湿地水力负荷为 0.25m³/(m²·d),定义θ为湿地的蒸腾指数(θ=单位面积每天通过植物蒸腾的水量/水力负荷),算得 25,45,65cm 水深和漫流湿地的θ值分别为 6.48%、5.14%、5.04%和 4.42%,可见在潜流条件下随水深增加,蒸腾指数降低,湿地通过植物蒸腾损失的水量减小.污染物浓度因水量损失而增加的倍数为 1/(1-θ),算得 25cm 水深时污染物浓度增加倍数为 1.075,故试验中由于湿地植物蒸腾引起的水量损失造成的污染负荷增加可以忽略不计,氮的去除可以认为不受蒸腾水分损失的影响,而在大规模的湿地工程应用中此问题不容忽视.

3 结论

- 3.1 芦苇的光合作用对湿地出水DO和TN的去除影响较大,相关系数分别为0.7741和0.8293.
- 3.2 计算表明芦苇对氮的吸收占脱除总氮的17.32%,芦苇对氮的吸收利用是湿地脱氮的一个重要途径.
- 3.3 蒸腾强度与NH₄⁺-N去除关系密切,蒸腾作用越强,NH₄⁺-N去除率越高.

3.4 随湿地水深增加,芦苇的日同化量增加,湿地脱氮效果得到改善,由湿地植物蒸腾间接引起的污染负荷的增加较小,可忽略不计.

参考文献:

[1] 种云霄,胡洪营,钱 易.大型水生植物在水污染治理中的研究进展 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2003,4(2):36-40.

[2] Evans J R. Developmental constrains on photosynthesis: Effects of light and nutrition [A]. Photosynthesis and the environment [C]. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 1994.281-304.

[3] Polprasert C, Khatiwada N R. An integrated kinetic model for water hyacinth ponds used for wastewater treatment [J]. Water Research, 1998,32(1):179-185.

[4] 王庆安,黄时达,孙铁珩.湿地植物光合作用向水体供氧能力的试验研究 [J]. 生态学杂志, 2000,19(5):45-51.

[5] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法 [M]. 第4版.北京:中国环境科学出版社, 2002.

[6] 克累默尔 P J.木本植物生理学 [M]. 北京:中国林业出版社,1983.17-208.

[7] 孙 刚,祝延成.芦苇光合作用与蒸腾作用的日进程 [J]. 生物学杂志, 1999,16(3):24-26.

[8] 张荣社,周 琪,李旭东.自由表面人工湿地脱氮效果中试研究 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2002,3(12):9-11.

[9] 黄冠华,沈荣开,张瑜芳.作物生长条件下蒸发与蒸腾的模拟及土壤水分动态预报 [J]. 武汉水利电力大学学报, 1995,28(5): 481-487.

作者简介: 雒维国(1974~),男,陕西户县人,东南大学博士研究生,主要研究方向为水污染治理.发表论文 9 篇.