

不同湿地植物对外源氮输入响应

崔丽娟¹, 李胜男¹, 李伟¹, 张曼胤¹, 张岩¹, 高常军¹,
赵欣胜¹, 王义飞¹, 朱利²

(1. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091; 2. 汉石桥湿地自然保护区, 北京 101309)

摘要:通过半人为控制模拟试验研究了土壤含氮量及黄花鸢尾、睡莲、芦苇、杞柳4种湿地植物含氮量不同月份的差异及土壤含氮量对植物含氮量和生物量的影响,分析了土壤含氮量与植物含氮量、生物量之间的相关关系。结果表明:当土壤施氮量为 $80\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,黄花鸢尾和睡莲含氮量达到最大,分别为 (19.93 ± 4.63) 、 $(60.49\pm 7.75)\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;种植黄花鸢尾和睡莲筛选池内土壤含氮量整体呈下降的变化趋势,杞柳和芦苇筛选池内土壤含氮量先降低后升高,9月份达最低值,分别为 (0.89 ± 0.14) 、 $(0.82\pm 0.15)\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;4种湿地植物生物量的变化存在一定的时间差异;湿地土壤含氮量对不同植物生物量的影响不同,睡莲和杞柳生物量与土壤含氮量之间呈线性相关。4种湿地植物含氮量与土壤含氮量之间存在一定的相关性,其中,杞柳、芦苇含氮量与土壤含氮量之间呈线性相关。

关键词:湿地植物;氮输入;土壤含氮量;生物量

中图分类号:Q948.8

文献标识码:A

Responses of Wetland Plants to Exogenous Nitrogen Inputs

CUI Li-juan¹, LI Sheng-nan¹, LI Wei¹, ZHANG Man-yin¹, ZHANG Yan¹, GAO Chang-jun¹,
ZHAO Xin-sheng¹, WANG Yi-fei¹, ZHU Li²

(1. Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Hanshiqiao Wetland Nature Reserve, Beijing 101309, China)

Abstract: Semi-artificial control simulation was used to study the seasonal variation of nitrogen in soil and four types of wetland plants. The effects of different soil nitrogen contents on plant biomass were analyzed, the relationships between soil nitrogen and the nitrogen in wetland plants, and between soil nitrogen and plant biomass were analyzed. The results showed that the total nitrogen (TN) in *Nymphaea tetragona* and *Phragmites australis* had an inverse fluctuation after September while the TN in *Iris wilsonii* and *Nymphaea tetragona* reached the values of $(19.93\pm 4.63)\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $(60.49\pm 7.75)\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ at a maximum soil nitrogen input of $80\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. The soil nitrogen, with the plants of *Iris wilsonii* and *Nymphaea tetragona*, changed downward in overall, while the soil nitrogen, with the plants of *Phragmites australis* and *Salix purpurea*, declined to the minimum value at September (*Phragmites australis*: $(0.89\pm 0.14)\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; *Salix purpurea*: $(0.82\pm 0.15)\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) and then increased. The seasonal variations in the biomass existed for the four types of wetland plants. The effects of soil nitrogen on plant biomass changed among different types of wetland plants. Exponential relationships were found between the soil nitrogen and plant biomass of *Nymphaea tetragona* and *Salix purpurea*. The soil nitrogen was related to the nitrogen in the four types of wetland plants, and a linear relationship was found between the soil nitrogen and the nitrogen in *Phragmites australis*, while the nitrogen in *Salix purpurea* changed quadratically with the soil nitrogen.

Key words: wetland plants; nitrogen input; response

收稿日期:2012-02-19

基金项目:林业公益性行业专项“典型湖沼湿地生态系统服务功能评价研究”(201204201);北京市科技计划重大项目“北京市湿地生态系统保护与恢复关键技术研究示范”(D08040600580000)

作者简介:崔丽娟,博士生导师,研究员,主要从事湿地生态研究. E-mail: lkyclj@126.com.

氮是湿地生态系统生产力的重要影响因子^[1]。土壤中的氮对湿地植物的生长及群落组成具有重要影响^[2-3]。N素作为植物生长不可缺少的元素之一,为维持湿地植物正常的生长发育,提供了重要的营养物质。不同的土壤养分状况影响植物的生物量,进而影响植物物种的组成和多样性。随着水体富营养化、酸沉降、温室效应和臭氧层破坏等一系列与N素有关的全球性问题日趋严重,湿地作为N素的源、汇或转化器的功能日渐受到重视。N素作为一种湿地营养水平的指示剂,常常是天然湿地或人工湿地土壤中的主要限制性养分,同时也是江河湖泊发生富营养化的主要诱因之一。湿地通过截留和过滤大量N污染物,在水质保护方面发挥着极其重要的作用。目前,国内外有关湿地土壤中的营养负荷等环境因子对湿地植物的影响研究,主要包括外源氮输入对湿地植物的生长状况、植株含氮量、叶绿素含量和植物光合特性等生理方面的影响^[6-14]。本文拟通过不同湿地植物对外源氮输入响应研究,分析不同土壤氮条件对湿地植物除氮效果的影响,以为湿地植被恢复及湿地管理提供理论依据。

1 试验地概况

试验地位于北京市西北部的延庆县康庄镇军营村西(40°23'43.05"N, 115°56'19.59"E),占地面积约1 000 m²。试验池由配水池、湿地植物筛选池和出水池共3部分组成,其中,湿地植物筛选池的长、宽、高分别为250、200、85 cm,配水池长、宽、高分别为400、700、100 cm;出水池长、宽、高分别为390、350、100 cm。各湿地植物筛选池内填充相同的基质,从下至上依次为砾石15 cm(粒径5~8 cm)、豆石20 cm(粒径0.5~1.0 cm)和沙壤土10 cm(过2 mm筛)。植物筛选池由钢筋混凝土构建而成,中间铺设防渗膜层,每个池子的进水端池底比出水端池底高约2~3 cm,以防止堵塞。

2 研究方法

2.1 试验设计

试验采用半人工控制土壤氮浓度的方法。选用尿素(分子式为CO(NH₂)₂,含N 46%)作为N肥。筛选池按照植物不同分为4组,每组3个重复进行N控制试验。4个处理分别为:(1)对照N0(不施N);(2)施氮N1(20 g·m⁻²);(3)施氮N2(40 g·m⁻²);(4)施氮N3(80 g·m⁻²)。所有处理实行植

物种前1次施用,以后不再追加,其中,N1的氮输入量与当地农田排水中的氮含量相当。

选择黄花鸢尾(*Iris wilsonii* C. H. Wright)、睡莲(*Nymphaea tetragona* Georgi)、芦苇(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.)和杞柳(*Salix purpurea* Thunb.)4种水生植物进行试验。黄花鸢尾、睡莲和芦苇均采用根状茎作种茎,栽植前,在培养池中预培养1周,种植密度为黄花鸢尾6株·m⁻²,共30株;睡莲3株·m⁻²,共15株;芦苇6株·m⁻²,共30株;杞柳采用实生苗栽植,3株·m⁻²,共15株。待植物栽植成活后开始试验。

试验从2010年5月5日开始,至2010年11月11日结束,为野外半自然条件半受控的静态处理试验。试验开始时,向每个筛选池注入清水750 L(15 cm深)。试验中每隔3 d及时补充到15 cm水位线,以补充自然蒸发损失的水量。分别在7月7日、28日、9月14日、28日、11月11日采集土壤和植物样品。每次在每个筛选池内随机选择3株,收集其地上部分,用去离子水清洗吸干水分后,105℃杀青30 min,然后75℃烘至恒质量,测量其生物量,最后把结果换算成单位面积植物干质量。将烘干后的植物样品粉碎,过0.25 mm筛后送实验室待测。预处理好的植物样品采用浓硫酸-过氧化氢法消解,其后植株总氮(TN)用碱性过硫酸钾消解,紫外分光光度法测定。每次在每个筛选池内随机取3份土壤样品,土壤样品在自然风干后,用研钵磨碎,过200目筛,装袋备用待测,土壤TN采用半微量凯氏法测定。所有样品指标的测定都在清华大学环境质量检测中心完成。

2.2 数据处理

运用SPSS 16.0统计软件对湿地土壤及植物含氮量变化在P<0.05水平进行单因素方差分析;用LSD法进行多重比较检验。结合Origin 8.0等软件对湿地土壤中的氮与生物量、植物含氮量之间的相关关系进行拟合分析和绘图处理。

3 结果与分析

3.1 不同湿地植物含氮量的变化

由表1可知:不同氮梯度下,4种湿地植物的平均含氮量在不同时间的差异显著。黄花鸢尾含氮量随时间变化呈减少的趋势;睡莲除了在9月28日总N平均含量最大外,其它几次都维持在一定水平上。杞柳含氮量随时间呈增加-减少-增加的趋势,而

芦苇在9月底之前变化不太明显,9月份之后,则明显减少。不同土壤氮梯度下,4种湿地植物平均含氮量也表现出不同的变化特征(图1)。黄花鸢尾平均含氮量随施氮量的增加而增加,并在N3条件下达到最大,为(19.93 ± 4.63) g · kg⁻¹;睡莲平均含氮

量在N3条件下达到最大,为(60.49 ± 7.75) g · kg⁻¹,4种N处理的含N量均比其他3种植物的高;芦苇和杞柳平均含N量呈现出较一致的变化特征,随N浓度的增加,这2种植物的含N量呈现先增加后减小,并在N2条件下出现最大值(图1)。

表1 不同湿地植物总N平均含量随时间的变化

时间(月-日)	总N平均含量/(g · kg ⁻¹)			
	黄花鸢尾	睡莲	杞柳	芦苇
07-07	22.20 ± 2.91a	58.04 ± 3.99a	32.27 ± 4.27a	40.11 ± 3.11a
07-28	19.34 ± 3.00b	53.90 ± 3.18b	37.34 ± 3.75b	45.67 ± 3.61b
09-14	15.38 ± 2.24cd	53.45 ± 4.02b	43.51 ± 4.17c	47.40 ± 4.65b
09-28	17.41 ± 2.75bc	71.79 ± 4.57b	36.28 ± 3.86bc	47.43 ± 5.93b
11-11	13.98 ± 2.59d	58.20 ± 2.10c	38.00 ± 3.29a	33.05 ± 4.53c

注:平均值 ± 标准差;图中相同字母表示两两之间无显著差异,不同字母表示差异显著。显著性水平 $P < 0.05$ 。下同。

3.2 湿地土壤含N量的差异性分析

由表2知:土壤含N量在不同月份间有所差异。黄花鸢尾筛选池内土壤含N量在7月28日最高,9月28日最低,7月7日和11月11日基本相近,处于中等水平;种植睡莲的筛选池内土壤含N量7月7日达到最高,然后持续降低,至11月份降到最低值;种植杞柳的筛选池土壤含N量7月份变化不显著,9月14日降到最低,之后又缓慢上升,至11月11日达到最高且高于7月7日的土壤含N量;种植芦苇的筛选池内土壤含N量自7月28日开始逐渐降低,至9月14日最低,之后又逐渐升高,至11月11日基本达到7月初的水平。

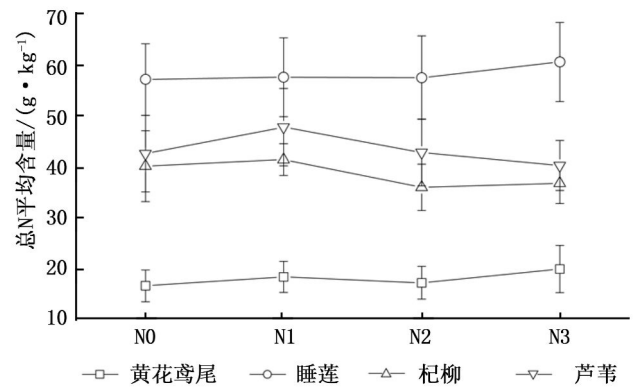


图1 不同N处理下不同湿地植物含N量的变化

表2 不同湿地植物筛选池的土壤总N平均含量

时间(月-日)	土壤总N平均含量/(g · kg ⁻¹)			
	黄花鸢尾	睡莲	杞柳	芦苇
07-07	0.88 ± 0.10a	1.17 ± 0.54a	1.14 ± 0.12ac	1.14 ± 0.11a
07-28	1.23 ± 0.39b	0.84 ± 0.20b	1.16 ± 0.34ac	1.03 ± 0.25a
09-14	1.02 ± 0.35ab	0.64 ± 0.14b	0.89 ± 0.14b	0.82 ± 0.15b
09-28	0.54 ± 0.28c	0.64 ± 0.14b	1.01 ± 0.09ab	1.06 ± 0.16a
11-11	0.86 ± 0.17a	0.62 ± 0.25b	1.28 ± 0.20c	1.10 ± 0.22a

3.3 湿地土壤含氮量对植物生物量的影响

对不同筛选池土壤含N量与植物生物量之间的关系进行线性回归拟合,发现不同湿地植物单位面积的生物量与土壤含N量之间存在一定的线性相关性。图2表明:施N组黄花鸢尾的生物量主要集中在土壤含N量0.60 ~ 1.20 g · kg⁻¹范围内,但生物

量变化也存在高低2个不同集中区域,分别是20 ~ 80 g · m⁻²和120 ~ 160 g · m⁻²。回归分析结果显示:黄花鸢尾生物量和土壤含N量之间相关性不显著($P > 0.05$)。施N组睡莲生物量主要集中在土壤含N量0.40 ~ 1.20 g · kg⁻¹之间,且伴随土壤含N量的增加,睡莲的生物量有逐渐减小的趋势,施N组

睡莲的生物量与土壤含N量之间存在一定线性相关性。施N组土壤含氮量为 $0.67 \sim 1.83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 伴随土壤含N量的增加, 杞柳的生物量呈现显著减小的趋势, 且生物量主要集中在土壤含N量 $0.85 \sim$

$1.40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 杞柳生物量与土壤含N量之间存在一定的线性相关性; 对照组芦苇的生物量呈现随土壤含N量的增加而减少的趋势, 但不存在显著线性关系($P > 0.05$)。

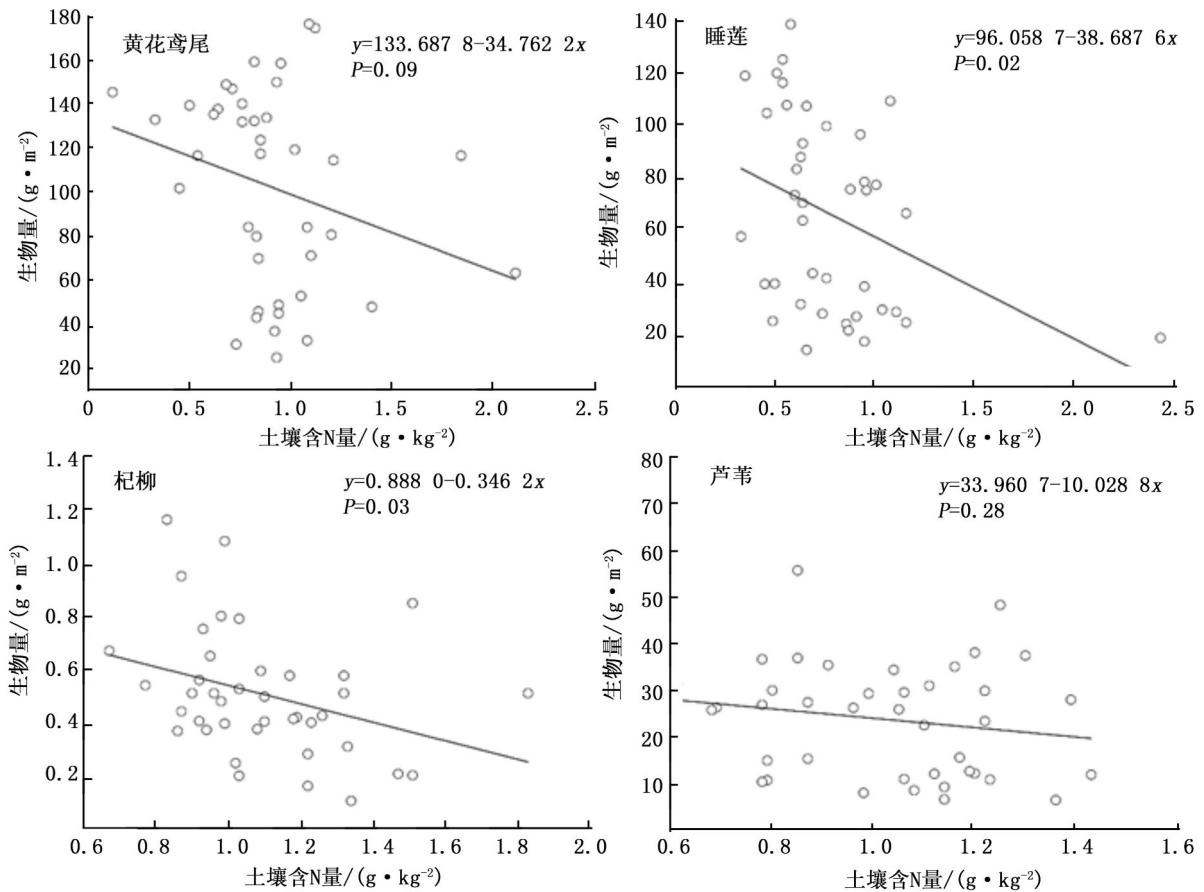


图2 黄花鸢尾、睡莲、芦苇、杞柳生物量与土壤含N量的拟合

3.4 湿地土壤含N量与植物含N量的关系

对不同时间各N处理条件下土壤含N量及湿地植物含N量的均值进行拟合分析。图3表明: 施N组黄花鸢尾和睡莲的含N量与土壤含N量无显著相关关系($P > 0.05$)。施氮组杞柳的含N量随土壤含N量的增加呈明显的减小趋势(图3)。对施N组杞柳含N量和土壤含N量相关散点分布图进行回归统计分析, 结果表明: 施N组杞柳含N量与土壤含N量之间呈现一定的线性相关性 $y = 47.2233 - 8.4013x$ ($P = 0.02$)。在土壤含N量为 $0.60 \sim 1.40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 施N组芦苇含N量随土壤含N量的增加呈现减小的趋势, 表明在此范围内土壤含N量对芦苇含N量具有一定的抑制作用。对施N组芦苇的含N量和土壤含N量相关散点分布图进行回归统计分析, 结果表明: 芦苇的含N量与土壤含N

量之间呈现一定的线性相关性 $y = 60.3965 - 17.1507x$ ($P = 0.01$) (图3), 该方程表明芦苇含N量的变化随土壤含N量的增加而呈线性递减趋势, 且呈显著负相关关系。

4 结论与讨论

氮输入可以促进湿地植物的生长, 提高湿地生态系统总初级生产力和生物量^[15-16]。在种植不同湿地植物的筛选池内, 土壤含N量随时间变化的差异显著。土壤有机氮是全氮的主要存在形态, 温度升高有助于土壤微生物活性的增加。此外, 植物生长对有效态氮的吸收进一步降低了土壤全氮含量。本研究发现, 黄花鸢尾筛选池的土壤含N量7月28日最高, 9月28日最低; 睡莲筛选池内土壤含氮量自7月7日持续降低, 至11月11日降到最低值; 芦

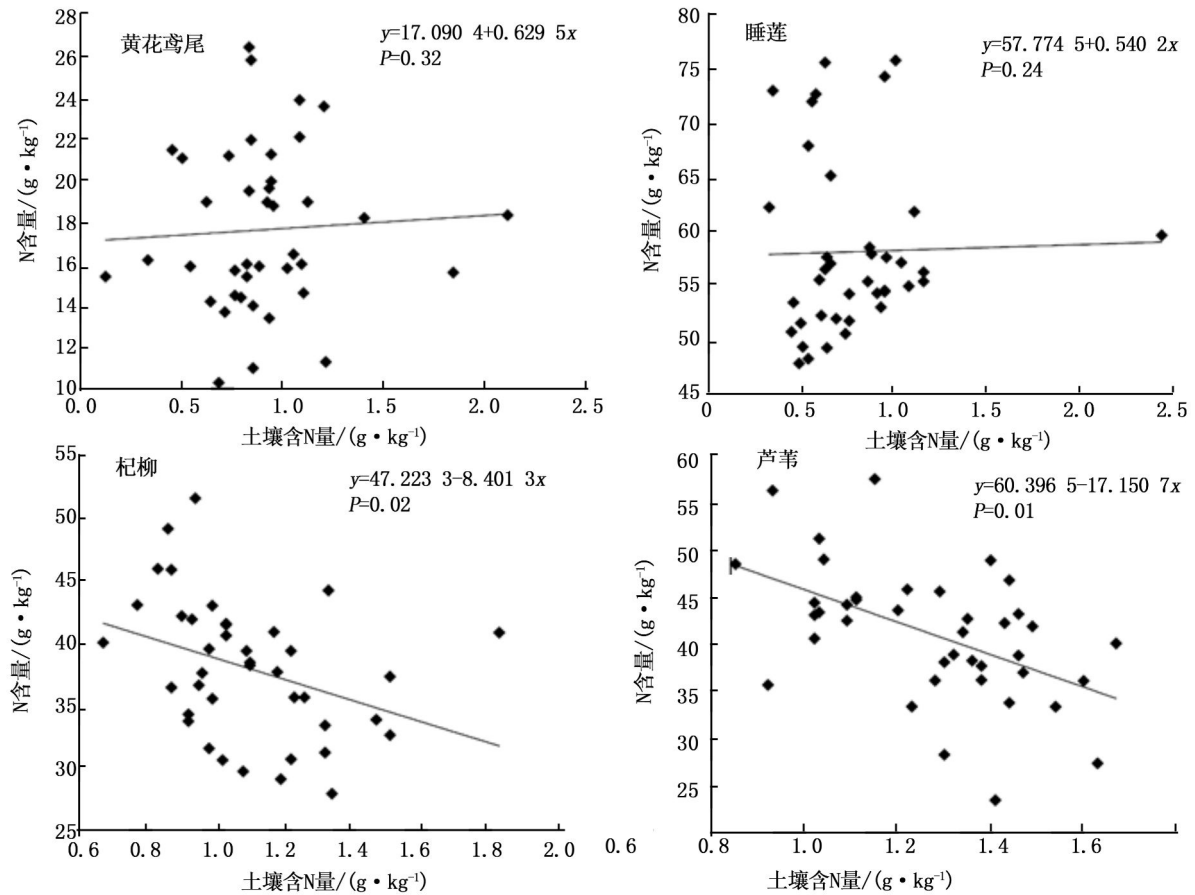


图 3 黄花鸢尾、睡莲、芦苇、杞柳含 N 量与土壤含 N 量的拟合

苇筛选池内土壤含 N 量则自 7 月 7 日开始逐渐降低,至 9 月 14 日降到最低,之后又逐渐升高,并在 11 月 11 日基本达到 7 月 7 日的水平;杞柳筛选池土壤含 N 量变化和芦苇筛选池内的变化基本一致,呈现先降低后升高的变化趋势。

在不同湿地植物的筛选池内,土壤含氮量随不同氮梯度的变化也表现出明显的差异性。不同形态氮对土壤环境无机氮的响应特征存在一定差异,其浓度变化受氮施加方式以及氮施用形态的影响,本研究通过一次性施加无机态氮进一步证实,土壤含氮量与外源氮浓度以及湿地植物的类型密切相关;然而,由于本研究对土壤中无机氮的施加采用间接过渡法,不同形态氮在水土层之间的转化有待于进一步研究。同时,由于湿地土壤自身潜育化过程,以及水体中的氮变化会对土壤氮含量产生影响。今后应加强水体中含氮量对植物生长和植株含氮量影响的研究。

从不同类型湿地植物生物量的变化看,不同湿地植物的生长对土壤含氮量变化的响应差异性显著。黄花鸢尾、芦苇生物量与土壤含氮量之间没有

相关性;而施氮组的睡莲和杞柳的生物量均与土壤含氮量呈线性相关。不同类型植物的含氮量对土壤含氮量变化的响应过程存在明显的差异性。黄花鸢尾和睡莲的含氮量和土壤含氮量不相关,芦苇和杞柳的含氮量与土壤含氮量之间呈线性相关。湿地植物能直接吸收和利用水体中的营养物质。水体中的有机氮被微生物分解与转化,而无机氮作为湿地植物生长过程中不可缺少的物质被湿地植物直接摄取,合成蛋白质与有机氮;同时,由于湿地植物根部的输氧及传递特性,使其根系周围连续呈现好氧、缺氧及厌氧状态,从而为硝化菌和反硝化菌提供了生存条件,硝化和反硝化作用的同时进行,使得湿地中的氮以气体形式进入大气^[17-18]。此外,硝化-反硝化作用是湿地土壤氮循环的重要环节,是土壤氮以气态形式损失的主要途径^[19-20]。

参考文献:

[1] 崔丽娟,艾思龙. 湿地恢复手册-原则、技术与案例分析[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006:14-22
 [2] Gusewell S, Blooens U. Composition of plant species mixtures grown

- at various N:P ratios and levels of nutrient supply[J]. *Basic and Applied Ecology*, 2003, 4(5): 453 - 466
- [3] 崔丽娟, 李 伟, 张曼胤, 等. 不同湿地植物对污水中氮磷去除的贡献[J]. *湖泊科学*, 2011, 23(2): 203 - 208
- [4] Dörge J. Modelling nitrogen transformations in fresh-water wetlands-estimating nitrogen-retention and removal in natural wetlands in relation to their hydrology and nutrient loadings[J]. *Ecological Modelling*, 1994, 75 - 76: 409 - 420
- [5] Chapin C T, Bridgham S D, Pastor J. pH and nutrient effects on above-ground net primary production in a Minnesota, USA bog and fen[J]. *Wetlands*, 2004, 24(1): 186 - 201
- [6] Sajin S A, Bulc T G, Vrhovsek D. Comparison of nutrient cycling in a surface flow constructed wetland and in a facultative pond treating secondary effluent [J]. *Water Science Technology*, 2005, 51(12): 291 - 298
- [7] 刘德燕, 宋长春, 孙 丽. 外源氮输入对湿地植物生长及光合特征的影响[J]. *中国环境科学*, 2007, 27(4): 513 - 517
- [8] Steinbachová-Vojtíková L, Tylová E, Soukup A, *et al.* Influence of nutrient supply on growth, carbohydrate, and nitrogen metabolic relations in *Typha angustifolia* [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 57(3): 246 - 257
- [9] 刘德燕, 宋长春. 湿地植物小叶章对外源氮输入响应[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(12): 2599 - 2604
- [10] 王 斌, 李 伟. 不同 N、P 浓度条件下竹叶眼子菜的生理反应[J]. *生态学报*, 2002, 22(10): 1616 - 1621
- [11] 王 培, 顾宇飞, 朱增银, 等. 不同营养状态下金鱼藻的生理响应[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 337 - 340
- [12] Olde Venterink H, Wassen M, Verkoost A W M, *et al.* Species richness-productivity patterns differ between N-, P-, and K-limited wetlands[J]. *Ecology*, 2003, 84(8): 2191 - 2199
- [13] 徐治国, 何 岩, 闫百兴, 等. 湿地植物对外源氮、磷输入响应研究[J]. *环境科学研究*, 2007, 20(1): 64 - 68
- [14] 张耀鸿, 张富存, 李映雪, 等. 外源氮输入对互花米草生长及叶特征的影响[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(10): 2297 - 2301
- [15] 张丽华, 宋长春, 王德宣. 氮输入对沼泽湿地碳平衡的影响[J]. *环境科学*, 2006, 27(7): 1257 - 1263
- [16] 李英臣, 宋长春, 刘德燕, 等. 不同氮输入梯度下草甸沼泽土反硝化损失和 N₂O 排放[J]. *环境科学研究*, 2009, 22(9): 1103 - 1107
- [17] 刘德燕, 宋长春, 王 丽, 等. 外源氮输入对湿地土壤有机碳矿化及可溶性有机碳的影响[J]. *环境科学*, 2008, 29(12): 3525 - 3530
- [18] 孙志高, 刘景双, 杨继松, 等. 三江平原典型小叶章湿地硝化 - 反硝化与氧化亚氮排放[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 185 - 192
- [19] Aelion C M, Shaw J N. Denitrification in South Carolina (USA) coastal plain aquatic sediments[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(5): 1696 - 1703
- [20] Dong L F, Thornton D C O, Nedwell D B, *et al.* Denitrification in sediments of the River Colne Estuary, England[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 203: 109 - 122