

刘郁林,刘用刚,林世滔,等. 鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤氮素含量的梯度特征[J]. 江苏农业科学,2018,46(11):263-267.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.11.065

鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤氮素含量的梯度特征

刘郁林¹, 刘用刚², 林世滔¹, 谢冬明³

(1. 江西环境工程职业学院,江西赣州 341000; 2. 江西省吉安市山江湖开发治理委员会办公室,江西南昌 330046;

3. 江西科技师范大学,江西南昌 330038)

摘要:以鄱阳湖湿地蚌湖为研究区域,根据湿地海拔高程梯度(10~17 m)采取浅层土壤(0~20 cm)样品,分析土壤全氮含量、铵态氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量的空间梯度特征。结果表明,鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤氮素含量空间梯度特征明显,上层(0~10 cm)、下层(10~20 cm)土壤的氮素含量呈相似的梯度特征,且上层土壤中氮含量较高。土壤中全氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量最高值均出现在 14.5 m 高程,铵态氮含量最高值出现在 10.5 m 高程。Person 相关性检验结果表明,上层土壤中全氮含量、铵态氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量与高程、淹水天数平均值均不存在显著相关关系,铵态氮含量在 0.01 水平上与地上生物量存在显著负相关关系。下层土壤中铵态氮含量与高程、淹水天数最小值、地上生物量均在 0.01 水平上存在显著相关关系,与淹水天数最大值和淹水天数平均值均在 0.05 水平上存在显著正相关关系;全氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量与高程、淹水天数、地上生物量不存在显著相关关系。相关性检验结果表明,浅层土壤氮素含量的空间梯度与现有环境因素(高程、淹水天数、地上生物量)具有一定的相关性,但相关性并不显著,这反映了鄱阳湖蚌湖浅层土壤氮素含量的空间梯度特征是环境因素综合作用的结果。

关键词:鄱阳湖;蚌湖;土壤氮素;梯度特征;湖泊湿地

中图分类号:S153.6⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)11-0263-05

湿地土壤是湿地生态系统的一个重要组成部分,具有维持生物多样性,分配和调节地表水分,过滤、缓冲、分解、固定、

收稿日期:2017-11-08

基金项目:国家自然科学基金(编号:31360120、41561105、71473113);江西省科技支撑计划(编号:20151BBG70014);江西省教育厅科技项目(编号:GJJ161371、GJJ150794);江西科技师范大学青年拔尖人才项目(编号:2015QNBRC008);江西科技师范大学科研创新团队项目(编号:2016CXTD002)。

作者简介:刘郁林(1978—),男,江西赣州人,硕士,副教授,主要从事生态学和森林培育研究。E-mail:liuyulin971@163.com。

通信作者:谢冬明,博士,副教授,主要从事土地资源环境研究。Tel:(0791)83831372;E-mail:xdm0791@126.com。

降解有机物和无机物以及维持历史文化遗迹等功能。它是湿地获取化学物质的最初场所,也是湿地发生化学变化的中介^[1]。与陆地土壤和水成土壤相比,湿地土壤具有其特殊性,在湿地特殊的水文条件和植被条件下,湿地土壤有着自身独特的形成和发育过程,表现出不同于一般陆地土壤的特殊理化性质和生态功能^[2]。湿地土壤氮素作为湿地营养水平重要的指示剂,是湿地土壤中的主要限制性养分,也是引发江河、湖泊等永久性淹水湿地发生富营养化的重要因子之一^[3-4]。湿地土壤是氮的重要储库,发挥着源、汇、转化器的重要功能,氮素在湿地土壤中的含量及其迁移转化过程显著影响着湿地生态系统的结构和功能以及湿地生产力^[5-7]。

鄱阳湖是一个过水性、吞吐型的浅水湖泊,也是我国最大

[4]李世忠,李勇,黄建国,等. 柑橘皮渣资源化利用研究进展[J]. 中国农学通报,2014,30(7):38-41.

[5]Tripodo M M, Lanuzza F, Micali G, et al. Citrus waste recovery: a new environmentally friendly procedure to obtain animal feed [J]. Bioresource Technology, 2004, 91(2):111-115.

[6]付复华,李忠海,单杨,等. 柑橘皮渣综合利用技术研究进展[J]. 食品与机械,2009,25(5):178-184.

[7]赵东方,赵春霞,应丽莎,等. 柑橘皮渣/淀粉基可降解复合缓冲材料的制备及性能表征[J]. 包装工程,2012(21):1-5.

[8]李婧,赵东方,魏丹,等. 柑橘皮渣/淀粉基复合发泡材料加工工艺优化[J]. 包装工程,2015,36(3):36-53.

[9]魏丹,赵东方,张敏. 柑橘皮渣淀粉基复合发泡材料的纳米改性研究[J]. 包装工程,2015,36(5):31-36.

[10]Rodriguez N G, Thielemans W, Dufresne A. Sisal cellulose whiskers reinforced polyvinyl acetate nanocomposites[J]. Cellulose, 2006, 13(3):261-270.

[11]张志军,王慧杰,李会珍,等. 秸秆育苗钵质量和性能影响因素及成本分析[J]. 农业工程学报,2011,27(10):83-87.

[12]刘天舒,李树君,景全荣. 植物纤维餐具干法热压成型工艺响应面法优化[J]. 农业机械学报,2012,43(9):116-119,84.

[13]郭康权,赵东,养养社,等. 植物材料压缩成型时粒子的变形及结合形式[J]. 农业工程学报,1995,11(1):138-143.

[14]申晓燕,朱琦,田景阳,等. 植物纤维与聚乳酸制备生物物质复合材料的研究[J]. 广西大学学报(自然科学版),2012,37(3):555-560.

[15]邵建明,臧玉红. 柑橘皮渣有效成分的研究进展[J]. 承德石油高等专科学校学报,2011,13(2):28-34,41.

[16]蒋希芝,赵永富,曲萍. 生物基可降解营养钵水分变化规律[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):281-283.

[17]包玉衡,李卫红,朱宇杰,等. 聚乳酸/中药渣复合材料水热老化性能研究[J]. 塑料科技,2017,45(5):64-68.

[18]王慧杰,冯瑞云,杨淑巧,等. 秸秆育苗钵产品特性分析[J]. 山西农业科学,2015,43(12):1668-1671,1678.

的淡水湖泊湿地和国际重要湿地^[8]。本研究主要探讨鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤中全氮含量、铵态氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量。土壤全氮是土壤有机态氮和无机态氮 2 种形态氮的总和,大部分以有机态氮的形式存在,无机态氮一般占全氮的 5% 左右^[9]。土壤碱解氮主要包括无机态氮及易水解的有机态氮(氨基酸、酰胺和易分解的蛋白质等),它们是反映土壤供氮能力和衡量氮素水平高低的重要指标^[10-11]。土壤硝态氮是可被植物吸收利用的矿质氮,不被土壤吸附而易造成淋失,因此湿地土壤中硝态氮含量的季节变化特征除与植物吸收作用有关外,还受融雪补给、大气氮沉降、水分条件、冻层深度以及土壤结构等因素的影响^[12]。铵态氮是一种有效态氮素,可被植物直接吸收利用,其含量变化显著影响着湿地土壤氮素的迁移转化过程和湿地植物生产力^[13]。因此,开展鄱阳湖湿地微观尺度下水位梯度变化土壤氮素分布规律的研究更具有科学性,有助于揭示微观尺度下水位变化的湖泊湿地土壤营养物质的响应规律,以期为湿地生态系统的养分管理和生态恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

蚌湖位于鄱阳湖自然保护区的东北端,地理位置为 29°8'27"~29°17'30"N,115°1'4"~115°53'45"E,处于江西省的北部,长江中下游南岸^[14]。蚌湖属亚热带湿润季风型气候,主要受西伯利亚寒流和副热带高压影响,具有冬春寒、夏多雨、秋旱特征,年降水量超过 1 640 mm,主要集中在 4—6 月^[15-16]。水位变化非常明显,年内变幅超过 10 m,年际间最大变幅达 16.69 m^[17]。

1.2 试验设计

本研究试验样地选址在鄱阳湖湿地(图 1)。试验时间为

2016 年 1 月 14—16 日,按照湿地水位梯度,从 10 m(星子水文站,吴淞高程,下同)水位至 17 m 水位区间,以 1 m 落差分别设置 7 个采样区(即 10.5、11.5、12.5、13.5、14.5、15.5、16.5 m),每个采样区设置 3 个采样点,共 21 个采样点。采样区和采样点设置的条件包括:(1)采样点到等高线的距离比较均匀,一般位于高程线的中间部位;(2)可达性,地势平坦,即方便取样;(3)同一采样区中的采样点间隔距离在 150 m 以上;(4)没有人类活动干扰的痕迹。在取样点处用不锈钢取土器分别获得 0~10(上层)、10~20(下层) cm 2 个土层的各 5 个土样,将 5 个土样充分混合后装入密封袋,带回实验室进行处理。采样点的植被群落分别是 16.5 m 主要为狗牙根群落,15.5 m 为假俭草群落,14.5 m 为南荻群落,13.5 m 为藁草群落,12.5 m 为藁草群落,11.5 m 为水田碎米荠群落,10.5 m 为水田碎米荠群落。地上生物量取样方法是在在取样点处,用事先做好的 1 m² 不锈钢圈轻放于具有代表性的草地上,在 1 m² 的样方内,齐地收集植物的地上生物量,清查样方中的凋落物,用密封袋带回实验室分析。

1.3 水文数据来源及说明

水文数据为星子水文站(1954—2013 年)的历年逐日平均水位数据,水位高程为吴淞高程。鄱阳湖是吞吐型湖泊,年内和年际水位变化极为明显。根据近 60 年的逐日水位数据,对不同海拔高程的淹水时间进行统计。由表 1 可知,鄱阳湖不同高程的淹水时间呈明显的梯度特征,不同高程淹水天数随着高程的增加而减少。由于鄱阳湖水水位年际变差比较大,即使在同一高程,不同年份的淹水天数差异也非常明显,淹水天数的年最大值和年最小值之差最小仅为 166 d,最大的达到 211 d;同一高程淹水时间的年际差异最大值出现在 12 m 高程。这说明鄱阳湖洲滩水位梯度非常明显,年际淹水时间变化较为明显。

表 1 鄱阳湖年淹水时间(1954—2013 年)

项目	年淹水时间(d)							
	水位≥10 m	水位≥11 m	水位≥12 m	水位≥13 m	水位≥14 m	水位≥15 m	水位≥16 m	水位≥17 m
最大值	351	318	312	287	225	215	195	180
最小值	185	125	101	86	54	37	0	0
二者差值	166	193	211	201	171	178	195	180
平均值	283	254	226	193	160	128	93	58

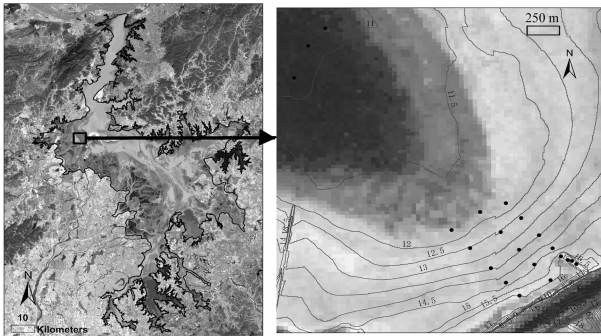


图 1 鄱阳湖湿地采样点位置

1.4 样品分析方法

将获取的土壤样品带回实验室,根据《土壤农业化学方法》^[18]中土壤容重和含水量检测方法计算土壤容重和含水率。采用半微量凯氏法测定全氮含量^[19];采用氯化钾提取 -

流动分析仪法测定铵态氮含量;采用氯化钾提取 - 流动分析仪法(类似传统的靛酚蓝比色法)测定硝态氮含量;采用《土壤理化分析》^[20]中的扩散吸收法测定碱解氮含量。将获取的生物量带回实验室用清水冲洗,除去泥沙,然后进行烘干称质量,80 ℃恒温条件下烘干至少 48 h 至恒质量^[20]。

2 结果与分析

2.1 洲滩生物及生物量特征

根据调查结果,鄱阳湖湿地蚌湖维管束植物的分布特征由湖岸至湖底依次为假俭草(狗牙根)群落(16.5 m)、南荻群落(14.5 m)、藁草群落(分布宽度最大,在高程 10.5~14.5 m 均有分布)、水田碎米荠群落(10.5~11.5 m)。由图 2 可知,蚌湖最高的生物量干质量是在高程 14.5 m;最低生物量干质量是在高程 10.5 m;高程为 16.5 m 时,生物量干质量也较低。从调查结果来看,南荻群落具有较高的生物量,而水田碎

米茼群落生物量较低。南荻群落具有高密度、物种高大等特征,平均株高达到 1.5 m,平均盖度为 95%,植株粗壮、叶片丰茂,因而具有较高的生物量,而水田碎米茼群落具有低密度、物种矮小等特征,平均株高不足 20 cm,平均盖度为 30%,植株茎叶含水量较高,因而群落生物量较低。

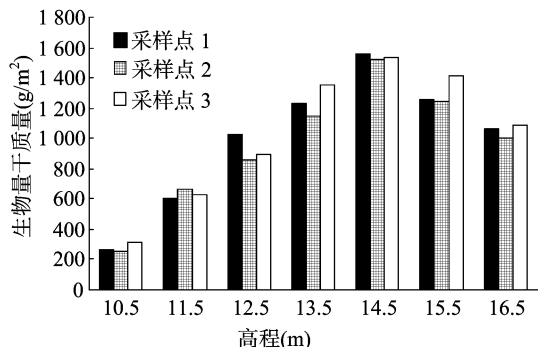
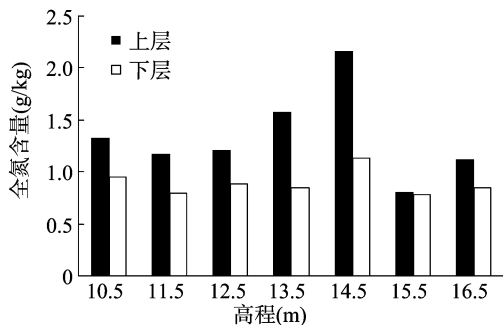


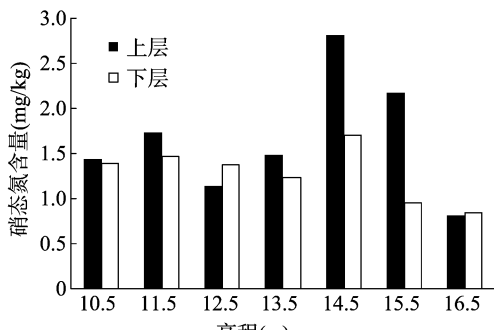
图2 地上生物量

2.2 土壤氮素物质梯度特征

由图 3-a 可知,鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤中全氮含量的梯度特征非常明显,从低海拔高程向高海拔高程呈现递增至递减的变化过程,上层土壤全氮变化值为 0.81 ~ 2.16 g/kg,下层土壤全氮变化值为 0.78 ~ 1.13 g/kg。上层土壤全氮的最高含量出现在高程 14.5 m,下层土壤全氮含量变化不及上层变化明显,但其土壤全氮最高含量仍出现在高程 14.5 m,上层土壤的全氮含量明显高于下层土壤。



a. 全氮含量

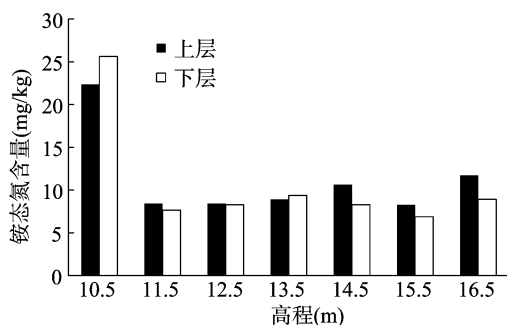


c. 硝态氮含量

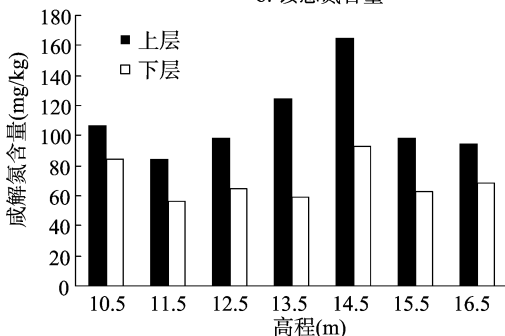
由图 3-b 可知,鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤铵态氮含量的梯度特征非常明显,从低海拔高程向高海拔高程呈现递增至递减的变化过程,上层土壤铵态氮含量变化值为 8.33 ~ 22.41 mg/kg,下层土壤铵态氮变化值为 6.8 ~ 25.65 mg/kg。上层土壤中铵态氮最高含量出现在高程 10.5 m,下层土壤铵态氮含量变化与上层土壤铵态氮含量变化呈现相似的规律,其土壤铵态氮的最高含量同样出现在高程 10.5 m;上层土壤铵态氮含量基本均高于下层土壤。

由图 3-c 可知,鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤硝态氮含量的梯度特征非常明显,从低海拔高程向高海拔高程呈现递增至递减的变化过程,上层土壤硝态氮含量变化值为 0.82 ~ 2.81 mg/kg,下层土壤硝态氮含量变化值为 0.84 ~ 1.70 mg/kg。上层土壤中硝态氮的最高含量出现在高程 14.5 m,下层土壤硝态氮含量变化与上层土壤硝态氮含量变化呈现相似的规律,其土壤硝态氮的最高含量同样出现在高程 14.5 m;上层土壤硝态氮含量基本均高于下层土壤。

由图 3-d 可知,鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤碱解氮含量的梯度特征非常明显,从低海拔高程向高海拔高程呈现递增至递减的变化过程,上层土壤碱解氮含量变化值为 84.53 ~ 165.38 mg/kg,下层土壤碱解氮含量变化值为 56.35 ~ 93.1 mg/kg。上层土壤中碱解氮最高含量出现在高程 14.5 m,下层土壤碱解氮含量变化与上层土壤碱解氮含量变化呈现相似的规律,其土壤碱解氮的最高含量同样出现在高程 14.5 m;上层土壤碱解氮含量均高于下层土壤。



b. 铵态氮含量



d. 碱解氮含量

图3 鄱阳湖湿地蚌湖土壤浅层氮素梯度分布特征

从分析结果来看,除铵态氮外土壤氮素中的全氮、硝态氮、碱解氮,其最高含量的空间分布与地上生物量的空间分布具有一致性,即最高值均出现在高程 14.5 m。土壤上层氮素含量普遍高于土壤下层,表面土壤表层的氮素富集较高,也进一步说明了湿地植物对土壤氮素的吸附作用。

2.3 土壤氮含量与高程、地上生物量、淹水时间的关系

Person 相关性检验结果(表 2、表 3)表明,上层土壤(0 ~ 10 cm)中铵态氮含量在 0.01 水平上与地上生物量存在显著负相关关系;全氮含量、铵态氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量与高程、淹水天数平均值均不存在显著相关关系。下层土壤

(10 ~ 20 cm) 中, 铵态氮含量在 0.01 水平上与高程、地上生物量均存在显著负相关关系, 与淹水天数最大值、淹水天数平均值在 0.05 水平上均存在显著正相关关系; 全氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量与高程、淹水天数、地上生物量均不存在显著相关关系。

表 2 浅层土壤(0 ~ 10 cm) 各指标相关性检验结果

变量	相关系数							
	淹水天数最大值	淹水天数最小值	淹水天数平均值	地上生物量	全氮含量	铵态氮含量	硝态氮含量	碱解氮含量
高程	-0.973 **	-0.989 **	-1.000 **	0.801 **	0.046	-0.413	0.021	0.116
淹水天数最大值		0.976 **	0.972 **	-0.846 **	-0.157	0.357	-0.059	-0.215
淹水天数最小值			0.988 **	-0.823 **	-0.042	0.432	-0.059	-0.114
淹水天数平均值				-0.786 **	-0.035	0.392	-0.014	-0.109
地上生物量					0.384	-0.617 **	0.161	0.362
全氮含量						0.021	0.575 **	0.925 **
铵态氮含量							-0.001	0.100
硝态氮含量								0.587 **

注: “**” “*” 分别表示在 0.01、0.05 水平上显著相关, 下表同。

表 3 浅层土壤(10 ~ 20 cm) 各指标相关性检验结果

变量	相关系数							
	淹水天数最大值	淹水天数最小值	淹水天数平均值	地上生物量	全氮含量	铵态氮含量	硝态氮含量	碱解氮含量
高程	-0.973 **	-0.989 **	-10.000 **	0.801 **	-0.052	-0.566 **	-0.292	-0.036
淹水天数最大值		0.976 **	0.972 **	-0.846 **	-0.009	0.492 *	0.272	-0.012
淹水天数最小值			0.988 **	-0.823 **	0.091	0.573 **	0.296	0.069
淹水天数平均值				-0.786 **	0.056	0.546 *	0.299	0.030
地上生物量					0.134	-0.718 **	-0.130	-0.040
全氮含量						0.156	0.347	0.776 **
铵态氮含量							0.103	0.463 *
硝态氮含量								0.352

相关性检验结果表明, 浅层土壤氮素含量的空间梯度与现有环境因素(高程、淹水天数、地上生物量)具有一定的相关性, 但相关性并不显著, 这反映了鄱阳湖湿地蚌湖浅层土壤氮量的空间分布与积累过程受环境控制的因素比较复杂。

3 讨论

影响土壤氮素循环与收支的因素较多, 物理、化学和生物作用过程在不同的界面中共同存在, 包括不同形式的混合、淋滤、吸附和微生物作用等, 所有这些都影响着氮循环的方向和速度。但湿地植物被认为是影响土壤发育和营养物质富集的关键性因素^[21~23]。本研究结果与 Yoo 等研究结果^[21]相似, 在分析土壤氮素含量与其他因素的相关性时, 铵态氮含量与地上生物量表现出显著的相关性。例如在高程 14.5 m, 地上生物量较高, 土壤中的氮素除铵态氮以外, 全氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量也较高。这一结果进一步证明了湿地植物对湿地土壤发育和营养物质富集的重要性。

湿地土壤氮素含量与水位梯度的相关性研究是学者关注的重点之一^[24]。谭波对三峡消落带的研究结果表明, 淹水时间对土壤氮素含量有影响, 不过淹水时间较长的地带并不是氮含量最高的地带, 而淹水和落干时间相当更有利于氮的积累, 但淹水时间过短也会导致土壤养分积累减少^[25]。王维奇等研究表明, 土壤碳氮比、碳磷比、氮磷比在近潮沟区域表现为随着淹水频率的增加而减小, 远近潮沟同种植物类型的湿地土壤碳氮比、碳磷比、氮磷比则表现为随着淹水频率的增加而增大^[26]。然而土壤氮素含量变化特征与水位梯度变化并

不完全同步。付珊等研究认为, 不同水位梯度下, 土壤碳氮比与有机碳储量变化不完全同步, 表明土壤碳储量是由碳含量和容重共同决定的^[27]。王维奇等研究也表明, 土壤碳氮比、碳磷比、氮磷比对淹水频率响应模式的差异与湿地上覆植被密切相关^[26]。Sleutel 等研究认为, 土壤容重会影响土壤氮的矿化过程, 从而影响土壤的氮循环^[28]。现有研究结果表明, 淹水时间对于湿地土壤氮素的循环规律影响较为复杂, 两者之间没有显著的线性相关性。本研究结果同样证明淹水时间对洲滩氮素空间分布特征影响较为复杂, 不同氮素物质对水位梯度的响应特征不一。

蚌湖是一个水位波动性较为明显的浅水湖泊, 年内和年际水位变化明显, 蚌湖洲滩处于交替淹水过程, 低海拔高程洲滩淹水时间过长, 洲滩光照时间较短, 不利于洲滩植物的正常生长, 过低的生物氮沉淀, 减少了土壤氮的积累^[29]。高海拔高程洲滩退水时间过长, 地下水位较低, 而洲滩植物根系较浅, 造成洲滩植物水分不足, 也不利于洲滩植物的正常生长, 降低了生物氮沉淀, 从而减少了土壤氮的积累^[30]。而处于高程 14 ~ 15 m 的区域, 裸露时间适合洲滩植物的生长周期, 水热条件有助于洲滩植物的物质富集, 增加了土壤中的营养物质累积, 因此土壤中的氮素物质含量较高。

4 结论

浅层土壤全氮含量的梯度特征非常明显, 从低海拔高程向高海拔高程呈现递增到递减的变化过程。土壤全氮最高量出现在高程 14.5 m, 上层土壤全氮含量明显高于下层

土壤。

浅层土壤铵态氮含量的梯度特征非常明显,从低海拔高程向高海拔高程呈现递减到递增的变化过程。土壤铵态氮最高含量出现在高程 10.5 m,上层土壤铵态氮含量基本均高于下层土壤。

土壤硝态氮含量的梯度特征非常明显,从低海拔高程向高海拔高程呈现递增到递减的变化过程。土壤硝态氮最高含量出现在高程 14.5 m,上层土壤硝态氮含量基本均高于下层土壤。

土壤碱解氮含量的梯度特征非常明显,从低海拔高程向高海拔高程呈现递增到递减的变化过程。土壤碱解氮最高含量出现在高程 14.5 m,上层土壤碱解氮含量均高于下层土壤。

SPSS 双变量中的 Person 相关性检验结果表明,上层土壤(0~10 cm)中全氮含量、铵态氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量与高程、淹水天数平均值均不存在显著相关性,铵态氮含量在 0.01 水平上与地上生物量存在显著负相关关系。下层土壤(10~20 cm)中,铵态氮含量与高程、地上生物量在 0.01 水平上存在显著负相关关系,与淹水天数最大值、淹水天数平均值均在 0.05 水平上存在显著正相关关系;全氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量与高程、淹水天数、地上生物量均不存在显著相关关系。

相关性检验结果表明,浅层土壤氮素含量的空间梯度与现有环境因素(高程、淹水天数、地上生物量)具有一定的相关性,如地上生物量较高的高程 14.5 m,除铵态氮含量以外,全氮含量、硝态氮含量、碱解氮含量较高,但是相关性并不显著,这反映了蚌湖浅层土壤氮素含量的空间梯度特征是环境因素综合作用的结果。

参考文献:

- [1]姜明,吕宪国,杨青. 湿地土壤及其环境功能评价体系[J]. 湿地科学,2006,4(3):168-173.
- [2]杨青,刘吉平. 中国湿地土壤分类系统的初步探讨[J]. 湿地科学,2007,5(2):111-116.
- [3]白军红,邓伟,朱颜明,等. 霍林河流域湿地土壤碳氮空间分布特征及生态效应[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1494-1498.
- [4]葛刚,徐燕花,赵磊,等. 鄱阳湖典型湿地土壤有机质及氮素空间分布特征[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(6):619-622.
- [5]Dørge J. Modelling Nitrogen transformations in freshwater wetlands – estimating nitrogen – retention and removal in natural wetlands in relation to their hydrology and nutrient loadings [J]. Ecological Modelling,1994,75/76(37):409-420.
- [6]Martin J F,Reddy K R. Interaction and spatial distribution of wetland nitrogen processes[J]. Ecological Modelling,1997,105(1):1-21.
- [7]白军红,李晓文,崔保山,等. 湿地土壤氮素研究概述[J]. 土壤,2006,38(2):143-147.
- [8]Xie D M,Jin G H,Zhou Y M,et al. Ecological function zoning for poyang lake wetland; a RAMSAR site in China[J]. Water Policy,2013,15(6):922-935.
- [9]赵俊晔. 冬小麦植株-土壤氮素循环及产量与品质形成生理基础的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2004.
- [10]王瑞,何中青,丁建方,等. 洪泽湖农场土壤速效钾含量的地统计学和 GIS 分析[J]. 中国农学通报,2012,28(21):96-101.
- [11]艾尤尔·亥热提,王勇辉,海米提·依米提. 艾比湖湿地土壤碱解氮的空间变异性分析[J]. 土壤,2014,46(5):819-824.
- [12]孙志高,刘景双,牟晓杰. 三江平原小叶章湿地土壤中硝态氮和铵态氮含量的季节变化特征[J]. 农业系统科学与综合研究,2010,26(3):277-282.
- [13]白军红,崔保山,李晓文,等. 向海芦苇沼泽湿地土壤铵态氮含量的季节动态变化[J]. 草业学报,2006,15(1):117-119.
- [14]鄱阳湖研究编委会. 鄱阳湖研究[M]. 上海:上海科学技术出版社,1988.
- [15]江西省林业厅,刘信中,叶居新. 江西湿地[M]. 北京:中国林业出版社,2000.
- [16]江西省水文局. 江西水文[M]. 武汉:长江出版社,2007:90-91.
- [17]王晓鸿,鄢帮有,吴国琛. 山江湖工程[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [18]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [19]刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [20]南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科技出版社,1978:73.
- [21]Yoo G, Spomier L A, Wander M M. Regulation of carbon mineralization rates by soil structure and water in an agricultural field and a prairie-like soil[J]. Geoderma,2006,135:16-25.
- [22]高锦红. 湿地植物芦苇的热值和灰分含量[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):475-477.
- [23]林春英,李希来,韩辉邦,等. 黄河源区河漫滩湿地土壤和植被变化特征[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):423-426.
- [24]白军红,邓伟,朱颜明,等. 水陆交错带土壤氮素空间分异规律研究——以月亮泡水陆交错带为例[J]. 环境科学学报,2002,22(3):343-348.
- [25]谭波. 三峡库区消落带湿地土壤碳氮的分布研究[D]. 重庆:西南大学,2011.
- [26]王维奇,全川,贾瑞霞,等. 不同淹水频率下湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征[J]. 水土保持学报,2010,24(3):238-242.
- [27]付姗,吴琴,尧波,等. 南矶湿地土壤碳、氮、磷化学计量比沿水位梯度的分布[J]. 湿地科学,2015,13(3):374-380.
- [28]Sleutel S,Moeskops B,Huybrechts W,et al. Modeling soil moisture effects on net nitrogen mineralization in loamy wetland soils[J]. Wetlands,2008,28(3):724-734.
- [29]张萌,倪乐意,徐军,等. 鄱阳湖草滩湿地植物群落响应水位变化的周年动态特征分析[J]. 环境科学研究,2013,26(10):1057-1063.
- [30]胡振鹏,葛刚,刘成林,等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水水位对其影响研究[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(6):597-605.