

文章编号: 1000-5862(2019)06-0082-07

鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤碳-氮-磷的时空特征

谢冬明¹, 易青¹, 周国宏¹, 黄庆华¹, 周杨明², 贾俊松^{2*}, 钱海燕³, 朱再昱^{1*}, 叶张煌¹

(1. 江西科技师范大学旅游学院, 江西 南昌 330038; 2. 江西师范大学地理与环境学院, 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 江西 南昌 330022; 3. 东华理工大学地球科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 湿地洲滩土壤碳、氮、磷是重要的营养元素, 其分布特征直接影响湿地生态系统的生产力和生态系统服务功能。通过2014—2017年对鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤(0~20 cm)有机碳、全氮、全磷观察实验分析, 结果表明: 鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤有机碳、全氮、全磷的年际变化特征不同, 有机碳变化不显著, 全氮、全磷变化显著; 浅层土壤有机碳、全磷、全氮的高程梯度变化极显著; 浅层土壤碳氮比、碳磷比年际变化极显著, 氮磷比不显著; 浅层土壤碳氮比高程梯度变化不显著, 碳磷比、氮磷比的高程梯度变化极显著。浅层土壤氮磷含量较其他区域高, 但碳氮比、碳磷比、氮磷比的比值较我国其他区域低。影响鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤碳、氮、磷的因素是多方面的, 植被覆盖变化、淹水时间、鄱阳湖湿地水质等均对土壤碳、氮、磷的时空分布产生影响。

关键词: 有机碳; 全氮; 全磷; 洲滩前缘; 鄱阳湖湿地

中图分类号: S 151.9 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2020.01.14

0 引言

水、土壤和水生生物是构成湿地生态系统的3大要素^[1]。各种营养物质在3大要素之间循环, 实现湿地生态系统服务功能, 如调节空气、净化水体、生产物质、维护生物多样性等^[2-3]。碳、氮、磷是最基本的营养元素, 是生命体的主要化学构成^[4]。生命体中的碳、氮、磷皆来自于土壤, 土壤有机碳直接影响生态系统的生产力, 是湿地生态系统环境响应的重要指标^[5-6]; 土壤氮是植物氮的主要来源, 影响植物的光合作用和初级生产力^[7]; 土壤磷的富集会提升土壤碳、氮、磷的循环速率, 增加土壤微生物的总量^[8-9]。碳、氮、磷的构成是生态系统中的决定性因素, 影响生态系统的能量流动和物质循环^[10]。土壤中的碳、氮、磷比率能够反映土壤的肥力, 间接反映了植物的营养状态^[11], 也决定了植物群落的生产力和物种组成^[12]。因此, 土壤碳、氮、磷的科学问题已

受到学术界的广泛关注和深入研究^[13-14]。

鄱阳湖是中国最大的淡水湖泊, 也是水位急剧变化的季节性湖泊^[15]。鄱阳湖湿地洲滩类型多样, 洲滩前缘和碟形湖泊是主要的洲滩类型, 也是鄱阳湖湿地水陆生态系统处于剧烈变化和人类活动干扰最为频繁的区域^[16]。有关鄱阳湖湿地的研究成果较为丰富^[17], 有关鄱阳湖湿地洲滩碳、氮、磷的研究也有诸多报道, 如马逸麟等^[18]、吴琴等^[19]、付珊等^[20]、葛刚等^[21]、聂发辉等^[22]、Wang Xiaolong等^[23]、Xiang Sulin等^[24-25]、Tong Yali等^[26]、张媛等^[27]、唐国华等^[28]对鄱阳湖湿地洲滩的碳、氮、磷的来源、转移过程与存在形式进行了研究, 表明鄱阳湖土壤碳、氮、磷的分布主要在土壤表层, 梯度变化比较显著, 这些研究成果为本文的实验设计提供了参考。但大多数研究是基于一个时间节点的取样数据分析的结果, 没有深入探讨多时段的不同水位梯度的时空特征, 其研究区域主要集中在碟形湖泊区域, 对于鄱阳湖主体湖泊的洲滩前缘缺少深入研究。

收稿日期: 2019-04-14

基金项目: 国家自然科学基金(31360120, 41561105, 71473113), 江西省科技支撑计划(20151BBG70014), 江西省重点研发计划(20181BBG70037), 江西省教育厅科技课题(GJJ150794, GJJ170687), 江西省社会科学规划智库课题(17ZK27), 江西省高校人文社会科学重点研究基地招标课题(JD15105), 江西省学位与研究生教育教学改革研究(JXYJG-2018-167), 江西科技师范大学青年拔尖人才基金(2015QNBRC008)和江西科技师范大学科研创新团队课题(2016CXTD002)资助项目。

通信作者: 贾俊松(1981-), 男, 江西高安人, 副教授, 博士, 主要从事可持续发展战略研究。E-mail: jiaaniu@126.com

朱再昱(1968-), 男, 江西瑞金人, 教授, 博士, 主要从事经济管理与工程管理研究。E-mail: zzy191@163.com

本文基于4个时期(2014—2017年)的取样数据,对鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤碳、氮、磷的时空特征进行分析,研究结果有利于研究鄱阳湖湿地生态系统的过程与规律,对鄱阳湖湿地保护具有参考价值。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域为鄱阳湖国家自然保护区的泗洲头,位于鄱阳湖的湖心区,是受鄱阳湖水位变化影响最为敏感的区域,地理坐标为 $29^{\circ}14'17.828''\text{N} \sim 29^{\circ}15'6.038''\text{N}$, $116^{\circ}0'31.535''\text{E} \sim 116^{\circ}0'43.664''\text{E}$ ^[29](见图1)。该区域属亚热带湿润季风型气候,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^[30]。鄱阳湖是鄱阳湖流域的聚水区,流域面积为 $16.22 \times 10^4 \text{ km}^2$,流域内的赣江、抚河、信江、饶河(上游由昌江和乐安河组成,在鄱阳县姚公渡处

汇入饶河)、修河5大河流经鄱阳湖,然后进入长江^[31]。鄱阳湖是一个季节性湖泊,鄱阳湖水位变化非常显著,年内变幅超过10 m,年际间最大变幅达16.69 m,从而导致洲滩前缘年内水位变化极为显著,洲滩生态环境处于剧烈的变化之中^[32]。

1.2 实验设计

在研究区域设7条取样带,每条样带各设3个取样点,共21个取样点。根据多年水位变化规律,每个样带的取样点按照湿地水位梯度,从10 m(星子水文站,吴淞高程,下同)水位至17 m水位,以1 m落差分别设置7个采用点(即<11 m,11~12 m,12~13 m,13~14 m,14~15 m,15~16 m,>16 m)。用手持式GPS定位,打桩固定,作为实验永久样地。在取样点处,用不锈钢取土器各取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。取样时间分别为2014年1月13~16日、2015年1月21~25日、2016年1月14~16日、2017年1月9~13日。

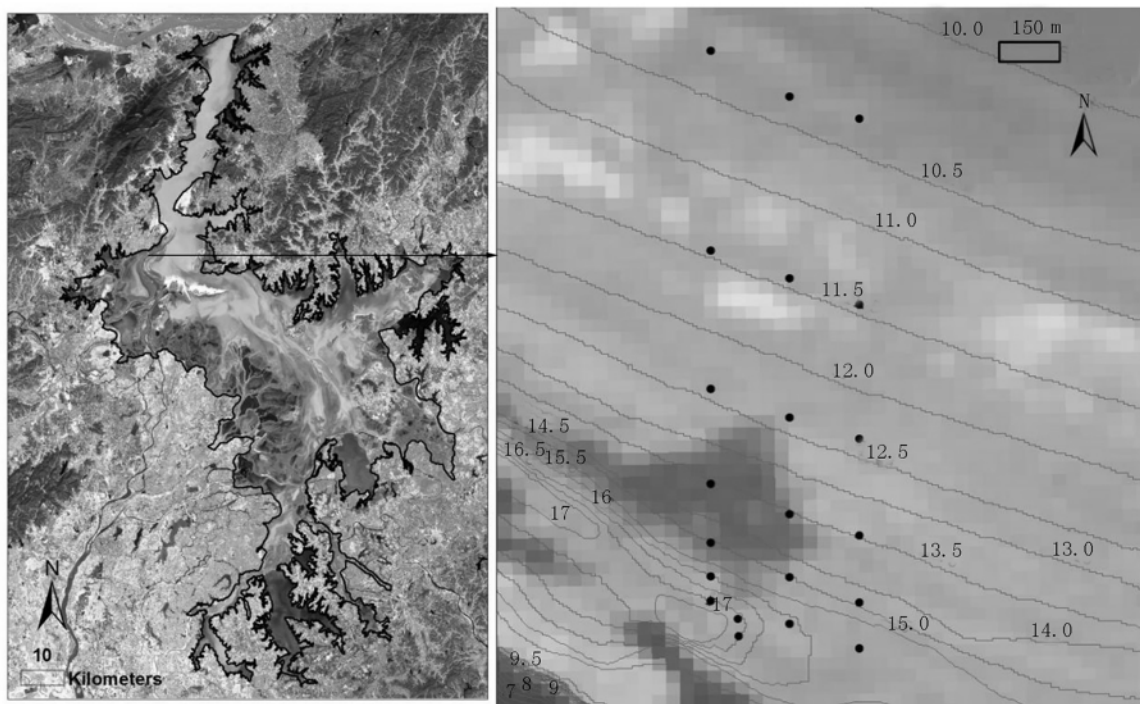


图1 取样点位置

1.3 样品分析方法

根据《土壤农业化学方法》^[33]中的土壤容质量和含水量检测方法计算土壤容质量和含水率。分析指标包括有机碳(Organic Carbon, O_c),采用重铬酸钾氧化-外加加热法;全氮(Total Nitrogen, T_N),采用半微量凯氏法^[34];全磷(Total Phosphorus, T_P),采用硫酸-高氯酸消化-钼锑抗比色法^[34]。

1.4 统计分析方法

采用SPSS21.0和Excel2010对实验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 碳、氮、磷的时间分布特征

鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤有机碳不同年际之间

的变化均值为 $2.69 \sim 3.36 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 差异性不显著 ($P=0.508 > 0.05$). 极大值变化为 $10.96 \sim 22.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 极小值变化为 $0.61 \sim 0.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (见图 2(a)). 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤全氮不同年际之间的变化均值为 $0.29 \sim 0.44 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 差异性显著 ($P=0.023 < 0.05$). 极大值变化为 $1.00 \sim 2.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,

kg^{-1} , 极小值变化为 $0.09 \sim 0.21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (见图 2(b)). 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤全磷不同年际之间的变化均值为 $0.16 \sim 0.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 差异性极显著 ($P=0.000 < 0.01$). 极大值变化为 $0.35 \sim 0.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 极小值变化为 $0.09 \sim 0.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (见图 2(c)).

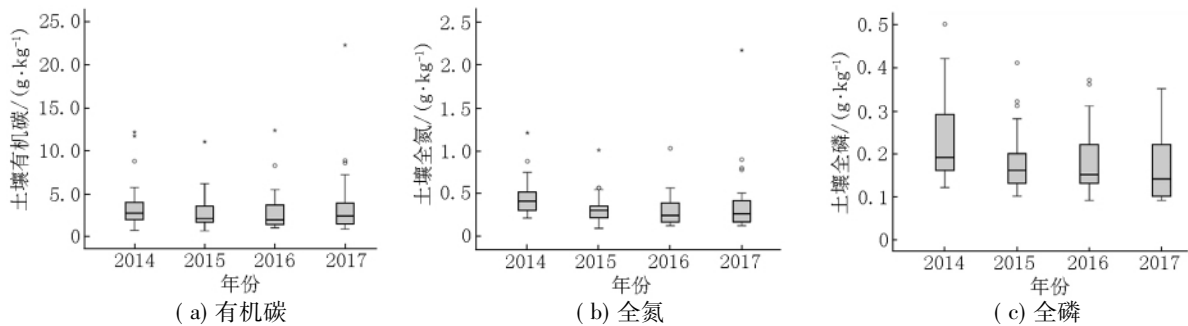


图2 鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤有机碳、全氮、全磷年际分布特征

2.2 碳、氮、磷的梯度特征

鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤有机碳不同高程之间的变化均值为 $2.28 \sim 5.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 差异性极显著 ($P=0.001 < 0.01$), 极大值变化为 $4.95 \sim 22.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 极小值变化为 $0.61 \sim 1.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (见图 3(a)). 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤全氮不同高程之间的变化均值为 $0.29 \sim 0.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 差异性极显著

($P=0.005 < 0.01$). 极大值变化为 $0.54 \sim 2.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 极小值变化为 $0.09 \sim 0.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (见图 3(b)). 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤全磷不同高程之间的变化均值为 $0.14 \sim 0.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 差异性极显著 ($P=0.000 < 0.01$). 极大值变化为 $0.27 \sim 0.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 极小值变化为 $0.09 \sim 0.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (见图 3(c)).

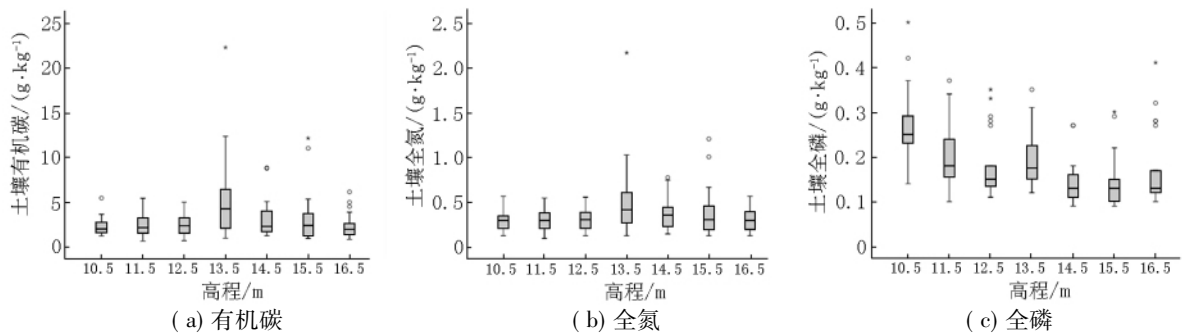


图3 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤有机碳、全氮、全磷梯度分布特征

2.3 碳、氮、磷比的时间分布特征

鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤 C:N 不同年际之间的变化值为 $7.10 \sim 8.90$, 差异性极显著 ($P=0.000 < 0.01$). 极大值变化为 $11.40 \sim 13.40$, 极小值变化为 $2.60 \sim 6.90$ (见图 4(a)). 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤 C:P 不同年际之间的变化值为 $15.40 \sim 20.30$, 差异

性极显著 ($P=0.002 < 0.01$). 极大值变化为 $39.70 \sim 71.00$, 极小值变化为 $3.30 \sim 5.10$ (见图 4(b)). 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤 N:P 不同年际之间的变化值为 $1.70 \sim 2.20$, 差异性不显著 ($P=0.134 > 0.05$). 极大值变化为 $4.30 \sim 7.10$, 极小值变化为 $0.50 \sim 0.17$ (见图 4(c)).

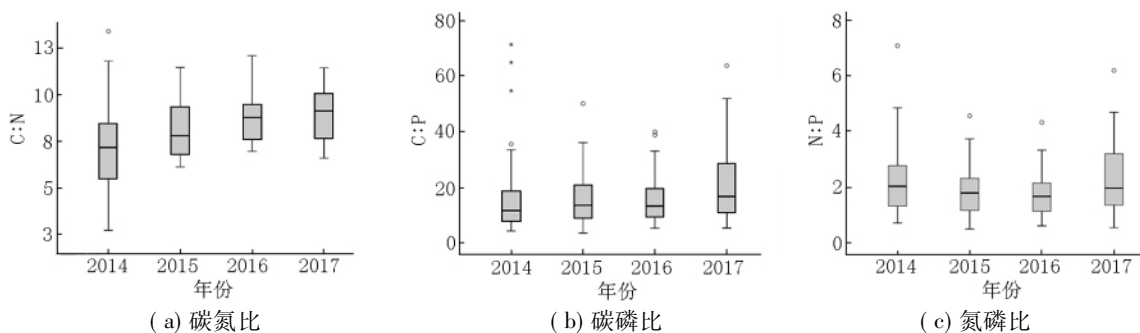


图4 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤碳氮比、碳磷比、氮磷比年际分布特征

2.4 碳、氮、磷比的梯度特征

鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤 C: N 不同高程之间的变化值为 7.60 ~ 9.00, 差异性不显著 ($P=0.216 > 0.05$). 极大值变化为 10.40 ~ 13.40, 极小值变化为 2.60 ~ 6.10(见图 5(a)). 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤 C: P 不同年际之间的变化值为 8.80 ~ 24.90, 差异

性极显著 ($P=0.000 < 0.01$). 极大值变化为 15.60 ~ 71.00, 极小值变化为 3.30 ~ 7.60(见图 5(b)). 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤 N: P 不同年际之间的变化值为 1.20 ~ 2.60(均值为 2.00), 差异性极显著 ($P=0.000 < 0.01$). 极大值变化为 2.30 ~ 7.10, 极小值变化为 0.50 ~ 1.10(见图 5(c)).

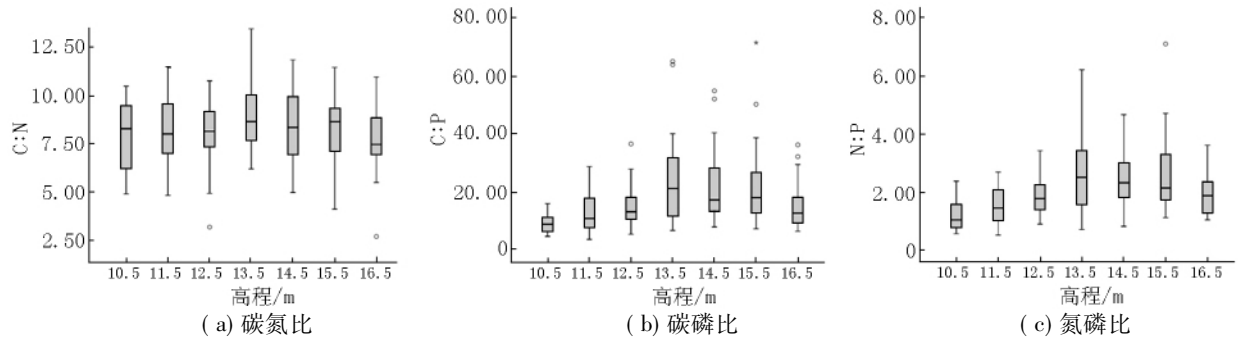


图 5 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤碳氮比、碳磷比、氮磷比空间分布特征

2.5 碳、氮、磷的相互关系

利用 Pearson 双变量相关性检验结果表明, 鄱阳湖洲滩前缘土壤有机碳、全氮、全磷的相关性极显著 ($P=0.000 < 0.01$), 结果如表所示 1.

表 1 鄱阳湖湿地洲滩前缘土壤有机碳、全氮、全磷的相关性

项目	土壤全氮 T_N	土壤全磷 T_P
土壤有机碳 S_{OC}	0.960 **, 0.000	0.275 **, 0.000
土壤全氮 T_N		0.312 **, 0.000

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧) 上显著相关.

丰富、浅层土壤根系储存量较大有一定的关系(见图 6). 全氮、全磷变化显著, 可能与鄱阳湖湿地不同年份的淹水时间长短相关; 而不同高程的浅层土壤碳、全氮、全磷变化极显著, 与不同高程的淹水时间存在明显一致性(见表 2), 与湿地水质特征变化也有一定关系(见表 3).

鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤的碳、氮、磷比较其他区域低, 低于东洞庭湖的 C: N(12.39)、C: P(65.27) 和 N: P(5.39) ^[4], 低于中国土壤均值的 C: N(11.9)、C: P(65.27) 和 N: P(5.2) ^[36], 低于三江平原的 C: N(12.8)、C: P(161.96) ^[12], 也低于干旱地区的湖滨湿地的 C: N(13.70)、C: P(223.02) 和 N: P(15.85) ^[37]. 鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤较低的碳、氮、磷比, 表明土壤中氮、磷含量较为丰富, 特别是磷的含量远高于同类浅层土壤全磷的含量^[38-39]. 鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤有机碳较低, 可能与取样时间有一定关系, 一般认为, 当植被死亡时, 微生物会分解枯枝落叶, 获得能量和营养物质, 向大气排放二氧化碳或甲烷^[40]. 本实验的取样时间均在每年的 1 月份, 是鄱阳湖湿地洲滩前缘植

3 讨论与结论

3.1 讨论

植物生长过程中从土壤中吸收氮、磷和从大气中吸收碳而进行光合作用, 因而土壤中的碳、氮、磷普遍存在显著的正相关性^[35]. 鄱阳湖湿地洲滩浅层土壤碳、全氮、全磷表现同样的相关性特征. 鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤有机碳不同年际之间的变化不显著, 主要可能与鄱阳湖湿地洲滩前缘植被较为

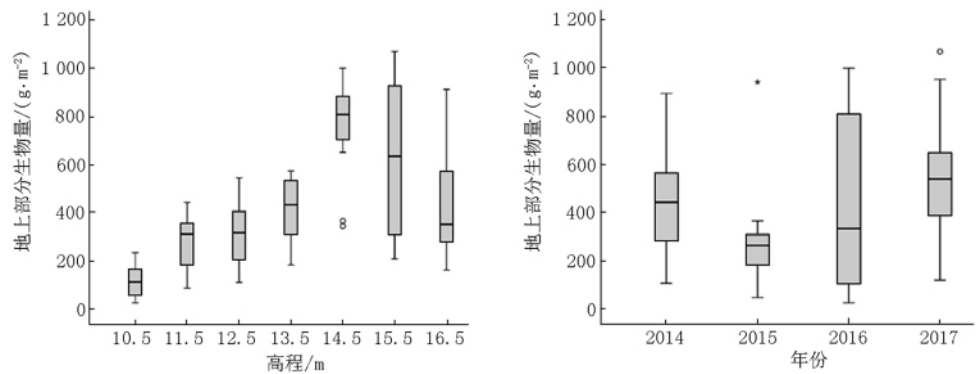


图 6 鄱阳湖湿地洲滩前缘地上部分生物量(干质量)

被大部分物种枯死时期,对土壤有机碳下降有一定的影响.另一方面,鄱阳湖湿地常年水质存在轻度污染,主要污染物为总氮、总磷,特别是总磷超标严

重^[41-42].水体中较高的氮、磷物质,对土壤中的氮、磷富集也具有正面影响,会提升土壤中氮、磷元素的含量.

表 2 鄱阳湖湿地洲滩前缘不同高程年淹水时间 d

年份	高程/m						
	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
2013	224	204	160	116	92	77	22
2014	249	204	186	159	149	140	93
2015	300	261	213	155	91	77	57
2016	301	229	174	154	145	136	128
2017	250	240	235	195	115	73	41

表 3 鄱阳湖水质特征

年份	I~III类水质点比例/%	污染程度	富营养化程度	主要污染物
2013	58.8	轻度污染	中营养	总磷
2014	41.2	轻度污染	中营养	总磷、总氮
2015	17.6	轻度污染	中营养	总磷
2016	11.8	轻度污染	中营养	总磷
2017	0	轻度污染	中营养	总磷

3.2 结论

鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤有机碳的年际变化不显著,氮、磷年际变化显著;而土壤碳氮比、碳磷比极显著,氮磷比不显著.鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤有机碳、全磷、全氮的高程变化极显著;而土壤碳氮比不显著,碳磷比、氮磷比极显著.土壤有机碳、全磷、全氮的相关性极显著.土壤碳氮比、碳磷比、氮磷比的比值较我国其他区域低.影响鄱阳湖湿地洲滩前缘浅层土壤碳、氮、磷的因素是多方面的,与植被覆盖变化、淹水时间、鄱阳湖水质等均存在一定的相关性.

4 参考文献

[1] Wakeley J S. Identification of wetlands in the southern apalachian region and the certification of wetland delineators [J]. Water Air and Soil Pollution, 1994, 77(3/4) : 217-226.

[2] Narayan S, Beck M W, Wilson P, et al. The value of coastal wetlands for flood damage reduction in the northeastern usa [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1) : 9463.

[3] Hansen A T, Dolph C L, Fofoula-Georgiou E, et al. Contribution of wetlands to nitrate removal at the watershed scale [J]. Nature Geoscience, 2018, 10(17) : 56-61.

[4] Hu Cong, Li Feng, Xie Yonghong, et al. Soil carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry of three dominant plant communities distributed along a small-scale elevation gradient in the East Dongting Lake [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2017: S1474706516302546.

[5] Nahlik A M, Fennessy M S. Carbon storage in us wetlands [J]. Nature Communications, 2016, 7: 13835.

[6] Cao Qingqing, Wang Hui, Zhang Yiran, et al. Factors affecting distribution patterns of organic carbon in sediments at regional and national scales in China [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1) : 5497.

[7] Wang Junjing, Bai Junhong, Zhao Qingqing, et al. Five-year changes in soil organic carbon and total nitrogen in coastal wetlands affected by flow-sediment regulation in a Chinese delta [J]. Sci Rep, 2016, 6: 21137.

[8] Corstanje R, Reddy K R, Portier K M. Soil microbial eco-physiology of a wetland recovering from phosphorus eutrophication [J]. Wetlands, 2007, 27(4) : 1046-1055.

[9] Huang Wei, Chen Qiuwen, Ren Kuixiao, et al. Vertical distribution and retention mechanism of nitrogen and phosphorus in soils with different macrophytes of a natural river mouth wetland [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, 187(3) : 97.

[10] 程滨, 赵永军, 张文广, 等. 生态化学计量学研究进展 [J]. 生态学报, 2010, 30(6) : 1628-1637.

[11] Wang Shaoqiang, Yu Guirui. Ecological stoichiometry characteristics of ecosystem carbon, nitrogen and phosphorus element [J]. Acta Ecol Sin, 2008, 28: 3937-3947.

[12] Mao Rong, Chen Huimin, Zhang Xinhou, et al. Effects of P addition on plant C, N, P stoichiometry in an N-limited temperate wetland of Northeast China [J]. Sci Total Environ, 2016, 559: 1-6.

- [13] Sundareshwar P V, Morris J T, Koepfler E K, et al. Phosphorus limitation of coastal ecosystem processes [J]. *Science*, 2003, 299: 563-565.
- [14] Yu Lingfei, Huang Yao, Sun Feifei, et al. A synthesis of soil carbon and nitrogen recovery after wetland restoration and creation in the united states [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 7966.
- [15] Xie Dongming, Jin Guohua, Zhou Yangming, et al. Study on ecological function zoning for Poyang Lake Wetland: a RAMSAR site in China [J]. *Water Policy*, 2013(15): 922-935.
- [16] 谢冬明,郑鹏,邓红兵,等. 鄱阳湖湿地水位变化的景观响应 [J]. *生态学报*, 2011, 31(5): 1269-1276.
- [17] 谢冬明,周杨明,钱海燕. 鄱阳湖湿地复合生态系统研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [18] 马逸麟,鄢海满,彭晓玫,等. 江西省鄱阳湖及周边经济区土壤有机碳储量分布特征 [J]. *岩矿测试*, 2014, 33(2): 246-255.
- [19] 吴琴,尧波,幸瑞新,等. 鄱阳湖典型湿地土壤有机碳分布及影响因子 [J]. *生态学杂志*, 2012, 31(2): 313-318.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 聂发辉,李娟花,刘占孟. 鄱阳湖湿地土壤对氨氮的吸附性能研究 [J]. *华东交通大学学报*, 2015, 32(2): 136-142.
- [23] Wang Xiaolong, Han Jingyi, Xu Ligang, et al. Soil characteristics in relation to vegetation communities in the wetlands of Poyang Lake, China [J]. *Wetlands*, 2014, 34: 829-839.
- [24] Xiang Sulin, Nie Fahui, Wu Daishe, et al. Nitrogen distribution and diffusive fluxes in sediment interstitial water of Poyang Lake [J]. *Environ Earth Sci*, 2015, 74: 2609-2615.
- [25] Yang Zhiping, Wang Lingqing, Tao Liang, et al. Nitrogen distribution and ammonia release from the overlying water and sediments of Poyang Lake, China [J]. *Environ Earth Sci*, 2015, 74: 771-778.
- [26] Tong Yali, Tao Liang, Wang Lingqing, et al. Simulation on phosphorus release characteristics of Poyang Lake sediments under variable water levels and velocities [J]. *J Geogr Sci*, 2017, 27(6): 697-710.
- [27] 张媛,望志方,张琍,等. 鄱阳湖丰水期不同底质类型下氮、磷含量分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(1): 135-142.
- [28] 唐国华,林玉茹,胡振鹏,等. 鄱阳湖区氮磷污染物分布、转移和削减特征 [J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(9): 145-154.
- [29] 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.
- [30] 刘兴中,叶居新. 江西湿地 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [31] 江西省水文局. 江西水文 [M]. 武汉: 长江出版社, 2007.
- [32] 王晓鸿,鄢帮有,吴国琛. 山江湖工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [33] 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.
- [34] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述: 中国生态系统研究网路观测与分析标准方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [35] Wang Junjing, Bai Junhong, Zhao Qingqing, et al. Five-year changes in soil organic carbon and total nitrogen in coastal wetlands affected by flow-sediment regulation in a Chinese delta [J]. *Scientific Reports*, 2006, 6(1): .
- [36] Tian Hanqin, Chen Guansheng, Zhang Chi, et al. Pattern and variation of C, N, P ratios in China's soils: a synthesis of observational data [J]. *Biogeochemistry*, 2009, 98(1/2/3): 139-151.
- [37] 闫玉琴,解刚,项宇,等. 毛乌素沙地湖滨带沉积物碳氮磷生态化学计量学特征 [J]. *水土保持学报*, 2018, 32(2): 223-228.
- [38] 彭佩钦,张文菊,童成立,等. 洞庭湖湿地土壤碳-氮-磷及其与土壤物理性状的关系 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 1872-1878.
- [39] 白军红,邓伟,王庆改,等. 内陆盐沼湿地土壤碳氮磷剖面分布的季节动态特征 [J]. *湖泊科学*, 2007, 19(5): 599-603.
- [40] Zhang Zhongsheng, Lu Xianguo, Song Xiaolin, et al. Soil C, N and P stoichiometry of *deyeuxia angustifolia* and *Carex lasiocarpa* wetlands in Sanjiang Plain, northeast China [J]. *J Soil Sediment*, 2012, 12: 1309-1315.
- [41] 江西省生态环境厅. 江西省环境状况公报 [EB/OL]. [2018-06-01] [2019-03-05]. <http://www.jxepb.gov.cn/hjzx/sjzx/hjzkgb/index.htm>.
- [42] 谢冬明,周国宏,陈亚云,等. 鄱阳湖湿地洲滩浅层土壤氮素的时空特征 [J]. *江西师范大学学报: 自然科学版*, 2017, 41(2): 160-167.

The Spatio-Temporal Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Surface Soil of Tideland in Poyang Lake Wetlands

XIE Dongming¹, YI Qing¹, ZHOU Guohong¹, HUANG Qinghua¹, ZHOU Yangming², JIA Junsong^{2*},
QIANian Haiyan³, ZHU Zaiyu^{1*}, YE Zhanghuang¹

(1. School of Tourism, Jiangxi Science and Technology Normal University, Nanchang Jiangxi 330038, China; 2. College of Geography and Environment, Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China; 3. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang Jiangxi 330013, China)

Abstract: Carbon, nitrogen and phosphorus are important nutrient elements in soil of wetland tideland, and their distribution characteristics directly affect the productivity and ecosystem service function of wetland ecosystem. Based on the observation and analysis of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in surface soil (0 ~ 20 cm) of tideland in Poyang Lake wetlands with sampling from 2014 to 2017, the results show that the interannual variation characteristics of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in surface soil in tideland of Poyang Lake wetlands are different. The change of organic carbon is not significant, but the change of total nitrogen and total phosphorus is significant. The changes of organic carbon, total phosphorus and total nitrogen in surface soil are very significant when gradient is various. The interannual changes of C/N ratio and C/P ratio in surface soil are very significant, but the N/P ratio is not significant. The changes of C/N ratio in surface soil is not significant, but the changes of C/P ratio and N/P ratio are very significant when gradient is various. The content of nitrogen and phosphorus is higher than that in other regions, however, the ratio of C/N, C/P and N/P in surface soil are lower than those in other regions in China with interannual changes various gradient changes. The factors that affected carbon, nitrogen and phosphorus in surface soil of tideland in Poyang Lake Wetlands are complicated and perennial. The changes of vegetation cover, flooding time and water quality of Poyang Lake wetlands have influence on the spatial and temporal distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus.

Key words: organic carbon; total nitrogen; total phosphorus; tideland; Poyang Lake wetlands (责任编辑: 刘显亮)

(上接第 50 页)

- [10] Kim H, Jung H-Y, Kwon H, et al. Predictor-estimator: neural quality estimation based on target word prediction for machine translation [J]. ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing, 2017, 17 (1): 1-22.
- [11] Devlin J, Chang M W, Lee K, et al. Bert: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding [EB/OL]. [2019-03-20]. <https://arxiv.org/abs/1810.04805?context=cs>.
- [12] Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, et al. Attention is all you need [EB/OL]. [2019-04-06]. <https://arxiv.org/abs/1706.03762>.
- [13] Sennrich R, Haddow B, Birch A. Neural machine translation of rare words with subword units [EB/OL]. [2019-03-17]. <https://arxiv.org/abs/1508.07909>.
- [14] Vaswani A, Bengio S, Brevdo E, et al. Tensor2tensor for neural machine translation [EB/OL]. [2019-03-16]. <https://arxiv.org/abs/1803.07416>.
- [15] Papineni K, Roukos S, Ward T, et al. BLEU: a method for automatic evaluation of machine translation [EB/OL]. [2019-03-19]. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1073135>.

The Study on the Method of Machine Translation Reordering Based on QE

ZHAI Yujin, LI Peiyun, XIANG Qingyu, LI Maoxi*, QIU Bailian, ZHONG Maosheng, WANG Mingwen
(College of Computer Information Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

Abstract: A multi-model ensemble quality estimation method is proposed, which integrates the BERT context vectors. Based on quality estimation, a multi-candidate translation reordering method has been proposed. The experimental results show that both methods have achieved good results.

Key words: machine translation; machine translation quality estimation; reordering; encoder-decoder model; convolutional neural network (责任编辑: 冉小晓)