

刘本法, 颜 凤, 乔亚军, 等. 不同围填海土地利用类型对土壤氮元素的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 284–288.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.060

不同围填海土地利用类型对土壤氮元素的影响

刘本法, 颜 凤, 乔亚军, 安树青

(南京大学生命科学学院, 江苏南京 210023)

摘要:土壤氮元素是植物生长的重要营养元素, 不同土地利用类型对土壤氮元素的影响不同。近年来, 滨海湿地的围垦作为应对土地资源短缺的一个重要对策被广泛地使用, 而由围垦所导致的不同土地类型对土壤氮元素影响方面的研究较少。通过比较盐城围填海区域芦苇沼泽、农田、盐田、鱼塘、城镇建设和光滩 6 种土地类型对植物地上生物量、土壤总氮含量、铵态氮变化量和硝态氮变化量、土壤氮矿化速率的影响, 试图探讨不同土地利用类型对土壤氮元素的影响。研究表明, 芦苇沼泽的植物总生物量远高于其他围填海类型; 与芦苇沼泽相比, 农田和鱼塘土壤总氮含量水平偏高, 对土壤总氮影响较大; 农田和鱼塘以外的其他土地利用类型土壤的铵态氮含量均呈上升趋势; 鱼塘中土壤硝态氮含量的增加量显著高于芦苇沼泽土地利用类型; 不同围填海利用类型的氮矿化速率随着土壤深度的增加而减小, 其中鱼塘氮矿化速率显著高于其他土地利用类型。以上研究结果表明, 与其他几种土地利用类型相比, 农田和鱼塘土地类型的总氮含量与硝态氮含量较高, 对滨海湿地氮元素的平衡有较大影响, 应适度开发。

关键词:围填海; 土地利用类型; 总氮; 生物量; 氮矿化速率

中图分类号: S181; X37 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0284-04

氮元素是植物生长的重要营养元素, 也是土壤生产力的重要限制性因子, 在湿地生态系统中显得尤为重要^[1]。土壤中的氮素主要以有机氮和无机氮 2 种形式存在, 其中有机氮占据着土壤总氮的主要部分, 无机氮只占土壤总氮的很少部分^[2]。土壤氮矿化是土壤有机氮向无机氮转化的过程, 土壤氮矿化过程主要受环境因子的影响^[3]。

近年来滨海湿地围垦作为应对土地资源短缺的一个重要对策, 被全球范围内广泛应用^[4-6]。围垦可以显著改变滨海湿地土壤的理化性质, 对土壤的氮矿化过程产生巨大影响。大面积的围垦对滨海湿地造成诸多不利影响, 如改变区域的潮流运动特性, 引起泥沙淤积和营养物质迁移规律的变化, 严重破坏了滨海区域生态环境^[7]。如何平衡滨海湿地的发展及其保护已成为一个亟待解决的问题^[8-12]。随着围填海面积越来越大, 怎样合理规划和利用围填海正成为生态学家研究的热点之一^[6,13]。

滨海湿地的围垦产生了各种不同的土地利用类型, 而不同土地利用方式是滨海湿地土壤理化特性改变的重要影响因素。有研究表明, 河口滩地围垦后土壤电导率迅速下降, pH 值和碳酸盐含量也显著下降, 而围垦后的农田由于连年的耕作施肥使土壤总氮和有机碳含量显著增加, 进一步加剧了土壤有机质表层与下层的含量差异^[14]。Li 等也发现围垦后的土壤有机质、可利用的磷元素、硝态氮的空间分布与围垦时间与土地利用类型紧密联系^[15]。

收稿日期: 2017-12-15

基金项目: 国家重点基础研究计划(“973”计划)(编号: 2013CB430405)。

作者简介: 刘本法(1994—), 男, 江西九江人, 硕士, 主要从事湿地生态学研究。E-mail: 1959306452@qq.com。

通信作者: 安树青, 博士, 教授, 主要从事湿地生态学研究。E-mail: anshuq@nju.edu.cn。

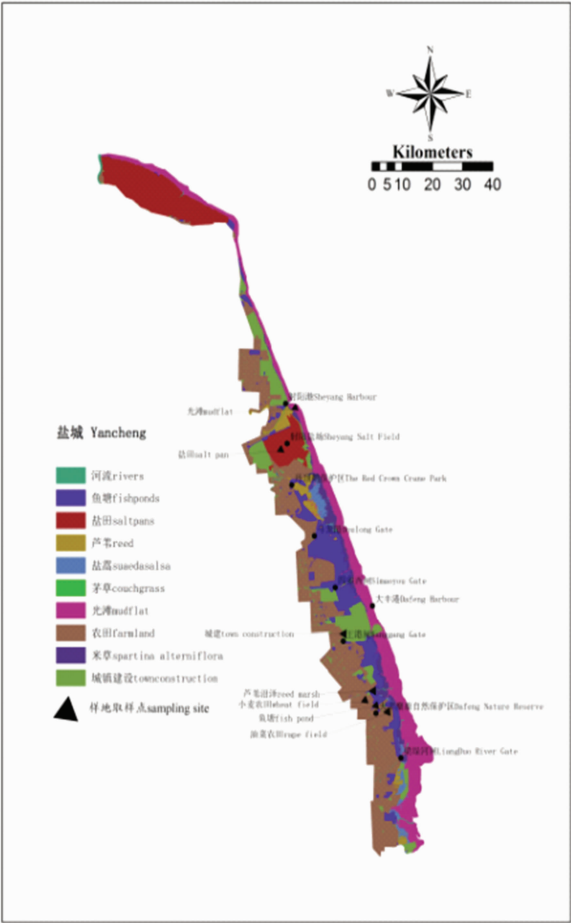
氮元素不仅是有机体内核酸和蛋白质的基本组成元素, 也被认为是滨海湿地进程, 如初级资源产量的一个重要的限制性因子, 因此研究滨海湿地土壤氮含量的变化显得尤为重要^[16]。土壤氮元素的研究现大多集中在不同滨海湿地对土壤氮元素的影响方面, 而关于滨海湿地围垦形成的不同土地类型对土壤氮元素影响方面的研究较少。不同的土地利用方式对土壤氮元素的影响, 如农田土地利用类型中农民施加的氮肥、城建土地类型上人类建设活动等对土壤氮元素的影响各不相同。本试验通过研究盐城围填海的 6 种不同土地利用类型(芦苇沼泽、农田、盐田、鱼塘、城镇建设、光滩), 对植物生物量、土壤总氮含量、铵态氮变化量、硝态氮变化量、土壤氮矿化速率的影响, 试图揭示不同围填海土地利用类型对土壤氮元素的影响规律, 以期对滨海湿地围填海活动的有效管理以及滨海湿地土地的合理利用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 取样地点和方法

研究地点位于江苏盐城 32°35′~34°28′N 和 119°37′~120°53′E, 处于亚热带区域。年平均气温为 13.7~14.8℃, 年平均降水量是 1 010 mm^[17]。自然植被群落从沿海到内陆呈现分层模式, 依次是光滩区域、互花米草占主导的植被群落、盐地碱蓬植被群落、白茅草、芦苇以及其他旱生植被群落; 另外, 从沿海到内陆, 海三棱藨草呈现散乱分布^[18]。

通过对盐城围填海区域的实地调查, 结合不同时期的遥感影像图, 找出围填海区域并确定不同的土地利用类型, 分为芦苇沼泽、农田、盐田、鱼塘、城镇建设、光滩 6 种不同的土地利用类型。本试验在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区和江苏省射阳盐场及周边围填海地区确定了 7 个样地, 即芦苇沼泽、盐田、鱼塘、城镇建设、小麦农田、油菜农田、光滩。在 2016 年的 6 月中下旬进行取样, 每个样地随机选取 4 个采样点, 每个采



取样地点分为光滩、盐田、城建、芦苇沼泽、鱼塘、小麦农田和油菜农田

图1 不同围填海土地类型的取样地点

样点的大小为 30 cm × 30 cm, 分别采集样方内的土壤与植物部分。土壤样品分为 3 层(0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 30 cm) 收集; 植物分部位收集, 包括根、茎、叶、种子和地上凋落物。

植物样品带回实验室后, 各个部位用自来水分别清洗干

净, 然后在 80 ℃ 条件下烘干至恒重来计算各植物部位生物量。土壤样品用流动分析仪分别测定土壤硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$) 和铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) 含量。另外, 在原取样地点取回土壤进行室内培养试验, 用冰箱保存取回来的湿土, 调节土壤的含水量为野外自然含水量, 置于塑料瓶内, 用封口膜封好, 置于 25 ℃ 的培养箱内, 遮光培养。每隔一周打开封口膜换气, 并加水至培养前的质量以补充蒸发的水量。培养 28 d 后, 测定土壤硝态氮和铵态氮含量, 并分别对比了室内培养前后, 不同土地利用类型的土壤硝态氮和铵态氮含量的变化量。

1.2 数据分析

采用 SPSS 22.0 对数据进行分析, 利用单因素方差分析对数据如下几个方面进行检测: (1) 不同土地利用类型之间植物生物量的差异显著性; (2) 土壤总氮含量、硝态氮变化量、铵态氮变化量、土壤氮矿化速率在同一土壤深度下不同土地利用类型之间的差异显著性; (3) 土壤总氮含量、硝态氮变化量、铵态氮变化量、土壤氮矿化速率在同一土地类型不同土壤深度之间的差异显著性。

其中, 盐田、鱼塘、城镇建设、光滩 4 种土地利用类型的土样中基本没有植物, 无法做生物量分析, 因此, 笔者比较了芦苇沼泽、小麦农田、油菜农田这 3 种土地利用方式的植物生物量。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用类型的植物生物量

芦苇沼泽的植物总生物量为($5\,763.00 \pm 543.52$) g/m^2 , 远高于小麦农田和油菜农田, 几近小麦农田和油菜农田的 2 倍(表 1)。从植物根部生物量来看, 芦苇沼泽最高, 而油菜农田最低; 从植物茎的生物量来看, 也是芦苇沼泽最高, 而小麦农田最低; 从植物叶子的生物量来看, 油菜农田最高, 小麦农田最低; 从植物种子的生物量来看, 小麦农田最高而芦苇沼泽最低, 与植物茎正好相反; 从植物地上凋落物种子的生物量来看, 芦苇沼泽最高而油菜农田最低, 规律与植物根部生物量一致。

表 1 不同土地利用类型各植物部位生物量

植被类型	生物量(g/m^2)					
	根	茎	叶	种子	地上凋落物	植物生物量
小麦农田	$1\,117.55 \pm 409.19\text{b}$	$593.36 \pm 57.88\text{b}$	$324.01 \pm 27.45\text{c}$	$972.21 \pm 168.81\text{a}$	$135.14 \pm 74.74\text{b}$	$3\,142.27 \pm 173.52\text{b}$
油菜农田	$479.17 \pm 199.14\text{c}$	$655.85 \pm 227.69\text{b}$	$1\,117.92 \pm 117.92\text{a}$	$593.15 \pm 69.54\text{b}$	$134.00 \pm 28.00\text{b}$	$2\,980.09 \pm 155.57\text{b}$
芦苇沼泽	$2\,926.00 \pm 1\,594.00\text{a}$	$1\,548.00 \pm 651.00\text{a}$	$610.00 \pm 221.00\text{b}$	$97.00 \pm 12.00\text{c}$	$582.00 \pm 100.00\text{a}$	$5\,763.00 \pm 543.52\text{a}$

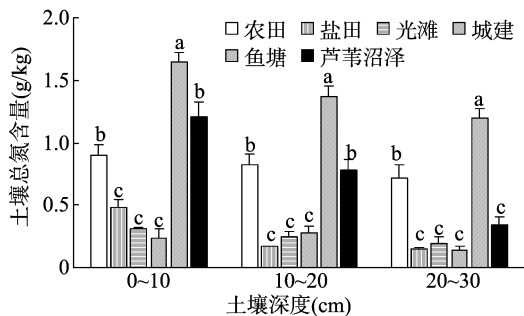
注: 同列数据后不同小写字母表示不同土地利用类型间生物量差异显著($P < 0.05$)。

2.2 不同土地利用类型土壤总氮含量

由图 2 可知, 除城建外的各个土地类型的土壤总氮含量都随着土壤深度的增加而减少; 城建土壤总氮含量在 10 ~ 20 cm 的土壤深度时最高, 在 20 ~ 30 cm 时最低; 鱼塘土地利用类型各个土壤深度中的总氮含量都远高于其他类型, 其次为农田和芦苇沼泽土地类型, 盐田、光滩和城建土地类型土壤总氮相对来说较低。在深度为 0 ~ 10 cm 的土壤中, 鱼塘土壤总氮含量最高, 城建最低; 在深度为 10 ~ 20 cm 的土壤中, 鱼塘总氮含量最高, 盐田最低; 在深度为 20 ~ 30 cm 的土壤中, 鱼塘总氮含量最高, 而盐田与城建总氮含量相差不大且较低。

2.3 不同土地利用类型对土壤硝态氮、铵态氮变化量的影响

由图 3 可知, 室内培养之后, 农田、鱼塘的土壤铵态氮含量在各土壤深度均有所减少, 其中土壤深度越深农田铵态氮减少量越小, 鱼塘铵态氮减少量越大; 盐田、光滩、城建的土壤铵态氮含量在各土壤深度都有增加, 其中盐田的土壤铵态氮含量随着土壤深度的增加而增加, 光滩在土壤深度为 0 ~ 10 cm 时铵态氮增加量最小, 在土壤深度为 10 ~ 20 cm 时最大, 而城建与盐田的变化规律相反; 此外, 芦苇沼泽类型在土壤深度为 0 ~ 10 cm 中的铵态氮含量降低, 而在 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 时含量增加。在 0 ~ 10 cm 时, 农田、鱼塘和芦苇沼泽铵态氮含量减少, 而盐田、光滩和城建增加; 在 10 ~ 20 cm 时, 农田和鱼塘铵态氮含量减少, 其他类型都有所增加, 其中



柱上不同小写字母表示同一土壤深度不同土地

利用类型间差异显著 ($P < 0.05$)。下图同

图2 不同围填海土地利用类型在各个深度下的总氮含量

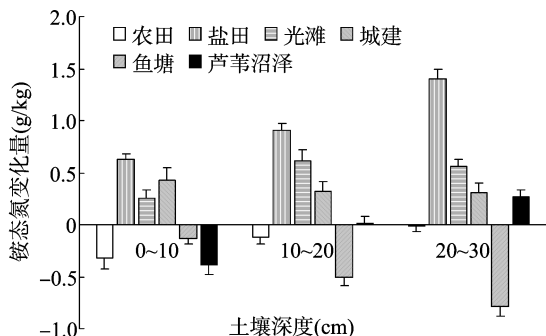


图3 不同围填海土地利用类型铵态氮的含量变化

盐田增加量最大;在 20 ~ 30 cm 时,规律与 10 ~ 20 cm 一致。

在室内培养之后,各土地利用类型土壤硝态氮含量均有所增加,且随着土壤深度地增加其硝态氮含量增加量越小;其中鱼塘土地利用类型的土壤硝态氮含量增加显著高于其他土地利用类型(图4)。在土壤深度为 0 ~ 10 cm 时,鱼塘硝态氮含量增加最大,城建类型最小;在土壤深度为 10 ~ 20 cm 时,鱼塘硝态氮增加量最大,城建最小且其增加量几乎为零;在 20 ~ 30 cm 土壤深度时,鱼塘硝态氮含量增加最大,而盐田硝态氮增加量最小。

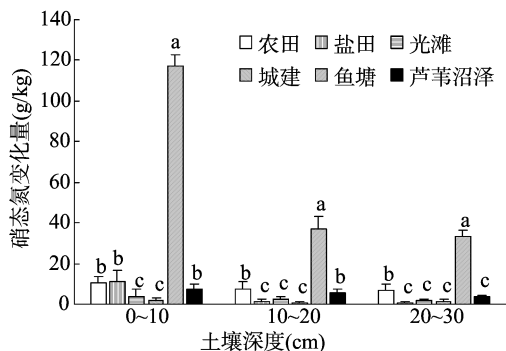


图4 不同围填海土地利用类型硝态氮的含量变化

2.4 不同土地利用类型氮矿化速率的差异

所有土地利用类型的氮矿化速率都随着土壤深度的增加而减小(图5)。在各个土层深度中,鱼塘的氮矿化速率远高于其他土地利用类型,城镇建设土地利用类型氮矿化速率最低。其中,农田和鱼塘土地利用类型的土壤氮矿化速率在各个土壤深度中都高于芦苇沼泽;在土壤深度为 0 ~ 10 cm 时,盐田氮矿化速率高于芦苇沼泽,而在 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 低于芦苇沼泽;光滩和城建都比芦苇沼泽低。

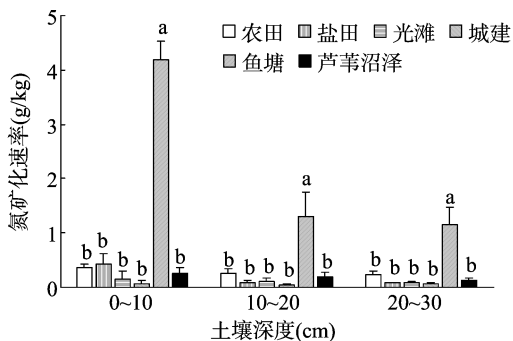


图5 不同围填海土地利用类型在各土壤深度氮矿化速率

3 讨论与结论

不同土地利用方式对植物生物量的影响各不相同,试验结果表明自然滨海湿地芦苇沼泽的植物总生物量显著高于小麦农田和油菜农田,而其他几种土地类型的植物生物量基本为零,这与人类对围垦区域的不同利用方式密切相关。

对不同土地类型的土壤总氮含量分析可知,鱼塘土地利用类型在各土层中的总氮含量显著高于其他类型,这是由于长期的水淹作用导致鱼塘营养元素滞留,使土壤氮元素的有效来源增加^[19],氮积累的速率增加,从而大大增加了土壤中的总氮含量。农田土地利用类型也显示了较高的总氮含量水平,这与农田土壤施加大量氮肥有关。彭佩钦等研究发现,施用中量或者高量有机肥能使土壤总氮含量提高 39.8% ~ 51.7%^[20]。自然状态下,随着土壤深度的增加,土壤有机质含量逐渐减少,土壤总氮含量减少,本试验结果显示芦苇沼泽土地利用类型的总氮含量随着土壤深度的增加而减少,符合这一规律。

土壤中的无机氮主要以铵态氮和硝态氮的形式存在,是植物生长过程中重要营养元素,由于土壤中无机氮含量非常少,只占土壤总氮含量的 1% ~ 2%^[1],所以对土壤无机氮的研究非常重要。本试验结果显示:室内培养之后,农田和鱼塘土地利用类型的铵态氮含量在各土壤深度都有所减少,这可能是因为农田中农民的施肥耕作和鱼塘中的渔业养殖活动,使得铵态氮释放速率加快;盐田和光滩土地类型土壤铵态氮含量在各土壤深度都有所增加,这与频繁水淹、土壤无法松动有关;芦苇沼泽在 0 ~ 10 cm 的土壤深度中铵态氮含量减少,而在 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 的土壤深度时增加,说明自然滨海湿地土壤铵态氮含量在土壤表层是减少的,在土壤深层是增加的,这与土壤中的硝化细菌的活性密切相关。土壤表层通气性良好,硝化细菌的活性较高,而在深层土壤中硝化细菌的活性较低。

鱼塘土地利用类型的土壤硝态氮含量增加显著高于其他土地利用类型,这是因为鱼塘的水产养殖活动使底泥中的有机质含量较高,进而提高了鱼塘中的异养硝化速率,使得鱼塘中的硝态氮含量较高。农田的硝态氮含量增加也比较高,这与农民频繁的耕作活动密不可分,农民经常往农田里面施加氮肥,而氮肥在土壤中经过一系列的转化形成硝态氮,使得土壤中的硝态氮含量明显增加。城镇建设土地利用类型的硝态氮含量几乎没有变化,这是因为人类的建设活动使得土壤得不到松动,以致硝态氮含量没有变化。另外,芦苇沼泽的硝态

氮含量变化并不大,可以推测,在自然状态下滨海湿地的硝态氮含量变化可能不大。

土壤氮矿化可以将土壤中的有机氮转化为无机氮,这个过程基本决定了土壤有多少氮元素可以被植物吸收利用^[21-22]。氮矿化对不同环境因子的变化很敏感,如土壤温度、地下水位和土壤理化性质^[22-26],而围垦所形成的不同土地利用类型对土壤的理化特性改变不一样,因此对其土壤氮矿化速率的影响也有所不同^[27-29]。本试验结果表明,不同土地利用类型的氮矿化速率随着土壤深度的增加而减小,这是由于随着土壤深度的增加,微生物数量迅速减少,土壤透气性逐渐降低,可供降解的有机物质越来越少^[30]。芦苇沼泽土地利用类型氮矿化速率基本高于光滩和城镇建设土地类型,低于鱼塘和农田土地利用类型,而在土壤深度为 0~10 cm 时低于盐田,在 10~20、20~30 cm 时高于盐田,可知不同围填海土地利用类型对滨海湿地的土壤氮矿化速率影响不同。其中鱼塘土地类型的氮矿化速率显著高于其他土地类型,这是因为鱼塘里面鱼的废物排泄和大量的底栖动物的活动,大大增加了鱼塘中的有机物质含量。

相较于其他 4 种土地利用类型,鱼塘和农田土地利用类型对土壤总氮和硝态氮含量影响较大,对滨海湿地氮元素的平衡有较大影响,在进行围垦活动时应保持合适的规模;不同土地利用类型对土壤铵态氮含量的影响不同,其中农田和鱼塘土地类型的铵态氮含量在各个土壤深度都有所下降,盐田、光滩和城镇建设土地类型的铵态氮含量在各土壤深度都有所增加,这对于今后滨海湿地围垦形成哪种土地类型有较大参考价值;鱼塘土地类型氮矿化速率显著高于其他土地类型,对自然滨海湿地的氮元素影响较大。

参考文献:

- [1] 周志华,肖化云,刘从强. 土壤氮素生物地球化学循环的研究现状与进展[J]. 地球与环境,2004,32(3/4):21-25.
- [2] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2012:216-227.
- [3] 李贵才,韩兴国,黄建辉,等. 森林生态系统土壤氮矿化影响因素研究进展[J]. 生态学报,2001,21(7):1187-1195.
- [4] An S Q, Li H, Guan B H, et al. China's natural wetlands: past problems, current status, and future challenges[J]. *Ambio*, 2007, 36(4):335-342.
- [5] 张晓祥,严长清,徐盼,等. 近代以来江苏沿海滩涂围垦历史演变研究[J]. 地理学报,2013,68(11):1549-1558.
- [6] Cui B S, He Q, Gu B H, et al. China's coastal wetlands: understanding environmental changes and human impacts for management and conservation[J]. *Wetlands*, 2016, 36(S1):S1-S9.
- [7] 胡小颖,周兴华,刘峰,等. 关于围填海造地引发环境问题的研究及其管理对策的探讨[J]. 海洋开发与管理,2009,26(10):80-86.
- [8] Mukai H. Habitat diversity and its loss in Japanese coastal marine ecosystems[C]. Kyoto: International Symposium on Integrated Coastal Management for Marine Biodiversity in Asia, 2010.
- [9] Wolanski E. Estuaries of Australia in 2050 and beyond[M]. Heidelberg: Springer, 2014:1-13.
- [10] Diop S, Barusseau J P, Descamps C. The land/ocean interactions in the coastal zone of west and central Africa[M]. Heidelberg: Springer, 2014:203-212.
- [11] Naser H A. Marine ecosystem diversity in the Arabian Gulf: threats and conservation[M/OL]. [2017-12-01]. <https://www.intechopen.com/books/biodiversity-the-dynamic-balance-of-the-planet/marine-ecosystem-diversity-in-the-arabian-gulf-threats-and-conservation>.
- [12] Duan H B, Zhang H, Huang Q F, et al. Characterization and environmental impact analysis of sea land reclamation activities in China[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2016, 130:128-137.
- [13] 中国科学院学部. 我国围填海工程中的若干科学问题及对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2011, 26(2):171-173.
- [14] Iost S, Landgraf D, Makeschin F. Chemical soil properties of reclaimed marsh soil from Zhejiang Province, P. R. China[J]. *Geoderma*, 2007, 142(3/4):245-250.
- [15] Li X Z, Sun Y G, Ülo M, et al. Effects of land use intensity on soil nutrient distribution after reclamation in an estuary landscape[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(4):699-707.
- [16] Levine J M, Brewer J S, Bertness M D. Nutrients, competition and plant zonation in a New England salt marsh[J]. *Journal of Ecology*, 1998, 86(2):285-292.
- [17] Fang S B, Jia X B, Qian Q T, et al. Reclamation history and development intensity determine soil and vegetation characteristics on developed coasts[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 586:1263-1271.
- [18] Fang S B, Xu C, Jia X B, et al. Using heavy metals to detect the human disturbances spatial scale on Chinese Yellow Sea coasts with an integrated analysis[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 184(1/2/3):375-385.
- [19] 冯育青,陈月琴,阮宏华,等. 苏州太湖湖滨带不同水分梯度土壤氮的时空变异特征[J]. 华东森林经理, 2010, 24(1):7-14.
- [20] 彭佩钦,张文菊,童成立,等. 洞庭湖典型湿地土壤碳、氮和微生物碳、氮及其垂直分布[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1):49-53.
- [21] Wang C H, Wan S Q, Xing X R, et al. Temperature and soil moisture interactively affected soil net N mineralization in temperate grassland in Northern China[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(5):1101-1110.
- [22] Gao H F, Bai J H, Xiao R, et al. Soil net nitrogen mineralization in salt marshes with different flooding periods in the Yellow River Delta, China[J]. *Clean - Soil Air Water*, 2012, 40(10):1111-1117.
- [23] Zaman M, Saggat S, Blennerhassett J D, et al. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, 41(6):1270-1280.
- [24] Chen Y T, Borken W, Stange C F, et al. Dynamics of nitrogen and carbon mineralization in a fen soil following water table fluctuations[J]. *Wetlands*, 2012, 32(3):579-587.
- [25] Ehrenfeld J G, Yu S. Patterns of nitrogen mineralization in wetlands of the New Jersey Pinelands along a shallow water table gradient[J]. *American Midland Naturalist*, 2012, 167(2):322-335.
- [26] Fujita Y, Bodegom P V, Venterink H O, et al. Towards a proper integration of hydrology in predicting soil nitrogen mineralization rates along natural moisture gradients[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2013, 58:302-312.

黄 志, 颜 未, 蒯琳萍. 钴铯锶 3 种核素对大肠杆菌的毒性研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 288–293.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.061

钴铯锶 3 种核素对大肠杆菌的毒性研究

黄 志, 颜 未, 蒯琳萍

(上海交通大学核科学与工程学院, 上海 200240)

摘要:为了研究核电站建设运营、矿源开采等行为对周边环境的影响,以大肠杆菌为对象,通过绘制生长曲线以及 MTT(噻唑蓝)法定量测量钴(Co)、铯(Cs)、锶(Sr)3 种核素对大肠杆菌的毒性作用,得到了钴、铯、锶 3 种核素与大肠杆菌的剂量-抑菌率关系,同时通过测定细胞壁通透性以及胞内活性氧含量,发现这 3 种离子对大肠杆菌的抑菌作用与细胞壁通透性以及胞内活性氧的积累可能存在正相关关系。结果表明,Co²⁺、Sr²⁺、Cs⁺ 对大肠杆菌的半致死浓度分别为 3.38、251、1 600 mg/L,其金属毒性由强到弱顺序为 Co²⁺ > Sr²⁺ > Cs⁺,并且 Sr²⁺ 对大肠杆菌生长具有双向性影响,低浓度(<10 mg/L)时表现为促进生长作用,而浓度增高则表现为抑制作用。Co²⁺ 的抑菌作用与大肠杆菌细胞壁通透性增大有关,而 Sr²⁺、Cs⁺ 的抑菌作用通过金属离子诱导细胞体内活性氧含量增大,从而抑制细菌生长。从宏观层面反应了 3 种核素的金属毒性,并从微观层面进行了机理的探讨,为后续研究钴、铯、锶等核素对生物体的致毒效应以及环境中核素的生物监测方法提供参考依据。

关键词:Co;Sr;Cs;金属毒性;大肠杆菌;活性氧含量;细胞壁通透性

中图分类号:X172 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)06-0288-06

随着核技术在军事、工农业、科研等领域的广泛应用,由泄漏物质造成的放射性污染以及钴、铯、锶等金属产生的金属毒性对周边水域的影响也引起了广泛的关注^[1]。我国核工业高速发展使得核电站的建设已经成为我国能源战略中的一项重要议事,而内陆核电站的建设更是面临着更严格的安全考量。由于内陆核电站受纳水体体积小,一旦发生泄漏,将对周围居民的生活带来巨大的影响,因此为保证环境污染水平监测的可靠性,内陆核电站需要更多的科学评价标准^[2]。同时由于磷酸盐矿、煤矿、铁矿等矿源经常伴随着天然核素的存在,这些矿源的开采利用也将会对环境带来污染^[3]。核素通过扩散迁移流入到生态环境中,最终会对人类健康产生各种影响^[4-5],因此需要采取有效的手段进行污染检测。生物监测可作为一项重要的手段,能够更加客观地评价内陆核电站在正常运行、事故工况以及退役过程中释放的核素对环境产生的影响^[6]。同时,随着核能源的大力发展,核废料的处理量也在逐年增长,而原料的开采以及废料的处理,均不可避免

地会对周围环境造成一定的影响,尤其是像钴、铯、锶等核素,如何评价这些核素对环境的影响也成了当务之急。

作为自然界中数量最多、生物量最大、对生命元素循环具有最大影响的种群,在水体环境监测上,微生物具有得天独厚的优势^[7]。低等微生物对环境包括核素在内的金属污染物、有机化合物等污染会表现得更加敏感,它们能够最快地感受到生态系统中环境质量的变化,并通过相关机制做出反应。因此,微生物被认为是最有潜力的指示生物^[8]。大肠杆菌是重要的微生物研究材料,也是重要的环境污染指示菌,以大肠杆菌为研究对象,能够更普遍地反应核素泄漏对环境的影响,也能够通过跟踪污染区域的大肠杆菌生长情况来评估该区域的污染程度。

MTT(噻唑蓝)比色法一般用于细胞活性检测,利用双波长法可以有效地去除包括死菌体、培养基在内的干扰物对试验的影响^[9]。传统的平板计数工作量大,耗时长,与之相比,MTT 法工作量小,操作快捷并且重复性高,已经广泛应用于细胞毒性试验。近年来 MTT 法也越来越多地应用于活菌数的测量,本试验利用 MTT 法测量大肠杆菌的存活率,数据可靠且重复性高。

目前,在农药等污染领域中,将微生物作为污染指示生物的相关研究已经取得了令人瞩目的成就^[10]。然而,在核素污染领域,选用微生物进行生物监测的研究鲜有报道。本试验通过研究 Co、Sr、Cs3 种核素外源添加对大肠杆菌生长速率

收稿日期:2017-12-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:11575114)。

作者简介:黄 志(1993—),男,湖北武汉人,硕士研究生,主要从事辐照对环境中微生物影响的研究。E-mail:freedomstjthz@163.com。

通信作者:蒯琳萍,博士,教授,主要从事环境微生物、微生物生态学。E-mail:sjtu-lkuai@qq.com。

[27] 卢 佳,胡正义. 围海造田长期耕种稻田和旱地土壤氮矿化速率及供氮潜力比较[J]. 植物营养与肥料学报,2010(1):62-70.

[28] 李 铭,朱利川,张全发,等. 不同土地利用类型对丹江口库区土壤氮矿化的影响[J]. 植物生态学报,2012,36(6):530-538.

[29] Chen S X, Wang G B, Hong - Hua R, et al. Seasonal variations of

soil nitrogen mineralization under different land - use types in a coastal area in northern Jiangsu, China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 32(10):276-282.

[30] Verhoeven J T A, Maltby E, Schnitz M B. Nitrogen and phosphorus mineralization in fens and bogs[J]. Journal of Ecology, 1990, 78(3):713-726.