

长江中游下荆江段漫滩系统土壤氮空间分布特征研究*

丁越, 陈湘, 邹茹倩, 胡玉洁, 尹茜, 薛兴华

(湖北民族学院 生物科学与技术学院 生物资源保护与利用湖北省重点实验室, 湖北 恩施 445000)

摘要:【目的】对比研究河段尺度土地利用方式与水文地貌单元不同组合模式下土壤氮分布的差异性。【方法】选取长江中游下荆江段7种典型组合模式下的15个样地,0~20 cm土层每隔5 cm环刀采样,然后测定土壤的全氮含量及容重,并计算土壤氮密度和储量。【结果】0~20 cm土层的土壤全氮含量及氮储量在芦苇地中较在蕙杨林地中高,且在江心洲人工芦苇地中最大,在堤岸蕙杨林地最小。不同地貌单元0~20 cm土壤全氮含量及氮储量的对比则是同为芦苇地以在江心洲最高,然后依次是河漫滩、堤岸;同为蕙杨林地以在故道中最高,然后依次是河漫滩、堤岸。在土壤全氮含量及氮密度的垂向分布上,农林活动增强了0~10 cm土层土壤氮的相对富集、加大了垂向变异,江心洲人工芦苇地的垂向分布特征体现了大洪水间歇期土壤氮的阶段性累积过程,不同组合模式下土壤氮的差异性在0~10 cm土层较大、>10~20 cm土层较小。【结论】河流漫滩系统土壤氮不仅受到土地利用的影响,还与水文地貌性质如洪水脉冲、侵蚀与堆积特性等有关。

关键词: 河流漫滩系统;土壤氮;土地利用;地貌单元;下荆江段

中图分类号: S153.6

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2018)01-0124-07

河流漫滩系统及河岸带作为淡水-陆地生态系统的关键交界面,尤其是大河漫滩发育区,在区域氮循环中起着重要作用^[1-2],洲滩及河岸还是淡水生态系统富营养化元素的重要输入通道^[3-4]和源^[5]。土壤氮动态作为全球氮循环的重要环节^[6-7],土地利用被认为是影响土壤氮循环格局的主要因子,并对土壤系统的稳定性和可持续性产生重要影响^[8-10]。许多学者对土壤氮动态与土地利用方式的关联性进行了研究^[11-12],认识到土地利用方式转化会导致土壤氮含量显著变化^[13-14],不同土地利用方式下土壤氮含量差异明显^[15-16],为土地利用方式优化和土地系统可持续发展提供了基础^[17]。现有研究重点关注了流域尺度、大空间范围下土地利用的土壤氮生态效应问题^[18-19],而大河洲滩河岸系统不仅受到土地利用方式的影响,还可能与复杂多样的水文地貌特性有关^[20],探讨河流漫滩系统土地利用方式与水文地貌单元的组合效应具有重要意义,但目前对此还鲜见报道。长江中游是中国重要的生态、经济廊道,本研究以长江中游下荆江段为实证研究区,探讨不同土地利用方式下,河段尺度内江心洲、河漫滩、河岸、故道等水文地貌单元土壤氮含量、密度和储量的空间分布特征,为河段尺度河流系统的管理和修复提供基础。

1 研究区与方法

1.1 研究区概况

长江中游下荆江段自藕池口至城陵矶,是典型的蜿蜒型河段,全长165 km,直线距离仅有85 km。研究区水文动力地貌过程复杂,河道蜿蜒、九曲回肠,江心洲(滩)、边滩、河漫滩发育,水文地貌多样。本研究选取下荆江段的河流漫滩系统为研究对象,包括江心洲、河漫滩、堤岸、故道等典型地貌单元。研究区属于亚热带季风气候,河滩系统均为砂质、砂壤质土。

下荆江段土地利用类型以芦苇地、蕙杨林地、耕地及未利用地为主。堤岸系统中大多栽植蕙杨(*Populus*),且多间作油菜(*Brassica campestris*)、小麦(*Triticum* spp.)等作物,而相对宽广的河漫滩及江心洲多为芦苇地,每年春季采摘芦笋,秋季收割成熟芦苇(*Phragmites australis*),并焚烧残余秸秆,地势相对较低的堤岸未利用地则为近自然状态的芦苇地。综合考查研究区土地利用方式与水文地貌特征,得到7种典型组合模式及相应的研究样地(表1)。

* 收稿日期:2016-11-02 修回日期:2017-02-27 网络出版时间:2017-05-16 11:23

资助项目:国家自然科学基金(No.31460132);湖北民族学院大学生创新项目(No.2015Z053)

第一作者简介:丁越,女,研究方向为资源与环境科学,E-mail:m18372500572@163.com;通信作者:薛兴华,副教授,E-mail:xinghua_xue@163.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20170516.1123.004.html>

1.2 样品采集与实验分析

依据上述 7 种土地利用方式与水文地貌单元的典型组合模式,每种模式下选取 2~3 个样地,共选择了 15 个样地(表 1)。在每个样地中心区的代表性位置设置 1~2 个剖面采样点,共 17 个样点。在土壤剖面上,沿土壤垂直方向,于 0~20 cm 土层内,利用环刀自上而下每隔 5 cm 采集一个土样,共计 68 个土样。土壤样品带回实验室后,立即进行容重(D ,单位: $g \cdot cm^{-3}$)及含水量测定,然后风干,测定吸湿水含量。

土壤全氮含量(Total nitrogen content, TN, 公式

中用 V_{TN} 表示,单位: $g \cdot kg^{-1}$)采用凯氏测氮法(HJ 717—2014)^[21]测定。按 $V_{ND_i} = (V_{TN_i} \times D_i \times E_i) / 100$, $V_{NS} = \sum V_{ND_i}$ 分别计算各深度层土壤氮密度(Nitrogen density, ND, 公式中用 V_{ND} 表示,单位: $kg \cdot m^{-2}$)及 0~20 cm 土层氮储量(Nitrogen stock, NS, 公式中用 V_{NS} 表示,单位: $t \cdot hm^{-2}$),该方法在其他相关研究中亦得到了应用^[17]。此外以上两式中 $i=1,2,3,4$ 并对应于 0~5 cm, >5~10 cm, >10~15 cm, >15~20 cm 土层; E_i 为第 i 层土层厚度(单位: cm)。

2 结果与分析

2.1 土地利用方式与水文地貌单元典型组合模式下 TN 的对比

不同组合模式下的土壤 TN,具有芦苇地和耕地较薏杨林地高、淤积型地貌单元(江心洲和河漫滩)较冲刷型地貌单元(堤岸)高的特征。在土地利用方式上,0~20 cm 土层的 TN 在 2 种人工芦苇地中(江心洲人工芦苇地、河漫滩人工芦苇地)明显较在其他 5 种样地高(表 2);同类地貌单元但不同土地利用方式下的对比结果为:TN 在河漫滩人工芦苇地较在河漫滩薏杨林地高;3 种堤岸样地中,以在堤岸耕地最高,然后依次是堤岸自然芦苇地、堤岸薏杨林地。这表明芦苇地内的芦笋采摘、成熟芦苇收割、残余秸秆焚烧等干扰活动增加了表层土壤氮的含量,火烧加速了有机质的分解、养分的累积^[22-25],相关研究亦表明农林相关生产干扰可增加土壤表层全氮含量^[26-28]。

而薏杨林人工栽植后,干扰相对较少,养分循环过程缓慢,从而使得土壤含氮量相对较低。在水文地貌单元上的对比是,3 种薏杨林地中, TN 在河漫滩薏杨林地最高,然后依次是故道薏杨林地、堤岸薏杨林地;3 种芦苇地中, TN 在江心洲人工芦苇地最高,然后依次是河漫滩人工芦苇地、堤岸自然芦苇地,显示了水文地貌特性的影响,堤岸为侵蚀型地貌单元,它的水土侵蚀程度大于河漫滩、故道及江心洲,氮易于流失。

表 1 下荆江段土地利用方式与水文地貌单元典型组合模式及样地选择

Tab. 1 The typical combining modes of land use and hydrogeomorphic unit at the lower Jingjiang reach, and the sampling sites

| 土地利用类型 | 地貌单元 | 样地名称 | 样地位置 | 样地描述 | |
|--------|------|----------|--|--|--|
| 芦苇地 | 江心洲 | 江心洲人工芦苇地 | 石首倒口窑(29°44.83'N,112°22.42'E) 监利乌龟洲(29°48.16'N,112°53.77'E) | 采摘芦笋,收割成熟芦苇,焚烧残余秸秆 | |
| | | 河漫滩 | 河漫滩人工芦苇地 | 岳阳上泥滩(29°26.49'N,113°6.12'E) 岳阳君山(29°30.24'N,113°2.17'E) | 情况同上 |
| | 堤岸 | | 堤岸自然芦苇地 | 石首保护区(29°47.02'N,112°33.18'E) 监利马家台(29°46.40'N,112°46.19'E) 岳阳上泥滩(29°26.54'N,113°6.03'E) | 近自然状态,极少人类活动直接干扰 |
| | | 薏杨林地 | 河漫滩 | 河漫滩薏杨林地 | 石首寡妇葵(29°45.13'N,112°34.30'E) 石首下马头(29°46.55'N,112°28.49'E) |
| | 堤岸 | | | 堤岸薏杨林地 | 石首保护区(29°46.89'N,112°32.96'E) 石首小河口(29°44.75'N,112°36.89'E) |
| | | | 故道 | 故道薏杨林地 | 石首保护区(29°35.15'N,113°0.09'E) 监利尺八湾(29°48.40'N,112°36.76'E) |
| 耕地 | 堤岸耕地 | | | 石首杨家台(29°47.77'N,112°29.21'E) 监利庙岭(29°44.23'N,112°56.31'E) | 种植油菜、小麦 |

表 2 下荆江段土地利用方式与水文地貌单元典型组合模式下 0~20 cm 土壤的 TN 及 D

Tab. 2 The total nitrogen content and bulk density of 0~20 cm soils across the different combining modes of land use and hydrogeomorphic unit at the lower Jingjiang reach

| 土地利用方式 | TN/($g \cdot kg^{-1}$) | D /($g \cdot cm^{-3}$) |
|----------|--------------------------|----------------------------|
| 江心洲人工芦苇地 | 1.28 | 1.67 |
| 河漫滩人工芦苇地 | 1.21 | 1.49 |
| 堤岸自然芦苇地 | 0.88 | 1.54 |
| 故道薏杨林地 | 0.93 | 1.73 |
| 河漫滩薏杨林地 | 0.97 | 1.58 |
| 堤岸薏杨林地 | 0.82 | 1.71 |
| 堤岸耕地 | 0.90 | 1.75 |

土壤 TN 的垂向分布如图 1 所示。首先,在垂向总体变化趋势上,除江心洲人工芦苇地外,土壤 TN 具有随深度增加而降低的特征,土壤氮在 0~10 cm 土层相对富集,在 >10~20 cm 的亚表层含量较少,与相关研究成果的结论一致^[29-31];尤以耕地土壤氮的表聚性最强,0~5 cm 土层 TN 分别是 >5~10 cm, >10~15 cm, >15~20 cm 土层的 1.79 倍, 1.71 倍, 3.48 倍。江心洲人工芦苇地 TN 的垂向分布呈斜“Z”型,即高低值相间, TN 在 5~10 cm, >15~20 cm 土层较高,在 0~5 cm, >10~15 cm 土层较低。其中原因可能是江心洲受到一定重现期大洪水过程的干扰,每次大洪水过程之后土壤发育、养分累积,下次大洪水携带泥沙覆于前次发育的土壤之上, >5~10 cm 及 >15~20 cm 土层代表大洪水间隙期土壤氮的阶段性和累积过程。

再者,土地利用方式和水文地貌特性均影响到土壤 TN 的垂向变异性。在土地利用方式上, TN 的垂向变异在芦苇地和耕地较在薏杨林地大。具体来看,土壤 TN 的垂向变异系数在河漫滩人工芦苇地明显较在河漫滩薏杨林地大,分别为 26.63%, 15.78%; 在 3 种堤岸样地中以在堤岸耕地最大(48.34%), 然后依次是堤岸自然芦苇地(38.63%)、堤岸薏杨林地(30.80%)。芦苇地和耕地不同于薏杨林地, 每年逐季节周期性的农业干扰活动增强了土壤氮向表层的聚集, 加大了垂向变异程度。在水文地貌单元上, 土壤 TN 垂向变异系数在 3 种薏杨林地中, 以在堤岸薏杨林地最大(30.80%), 然后依次是故道薏杨林地(28.32%)、河漫滩薏杨林地(15.78%); 在 3 种芦苇地中以在江心洲人工芦苇地最大(39.40%), 然后依次是堤岸自然芦苇地(38.63%)、河漫滩人工芦苇地(26.63%)。该结果表现出河漫滩土壤 TN 的垂向变异较其他水文地貌单元小, 这与河漫滩季节性洪水漫滩过程有关, 淋溶作用减小了垂向变异, 而江心洲土壤 TN 较大的垂向变异则是受到大洪水间歇期内土壤氮的阶段性和累积的影响。

不同组合模式间土壤 TN 的差异性在 0~15 cm 内随深度增加而减小, 在 >15~20 cm 土层则有所增加。不同组合模式之间土壤 TN 的变异系数(为避免江心洲人工芦苇地 TN 特殊垂向分布的干扰, 这里针对其他 6 种组合模式进行计算), 在 0~5 cm, >5~10 cm, >10~15 cm 土层分别为 22.26%, 14.86%, 14.78%, 在 >15~20 cm 土层为 35.42%。0~5 cm 土层的 TN, 在芦苇地及耕地较在薏杨林地高, 以在河漫滩人工芦苇地最高(1.66 g·kg⁻¹), 在河漫滩薏杨林地和堤岸薏杨林地最低(分别为 0.97, 1.13 g·kg⁻¹); 5~10 cm 土层的 TN 在江心洲人工芦苇地最高(1.85 g·kg⁻¹), 其次为堤岸自然芦苇地(1.22 g·kg⁻¹), 在堤岸薏杨林地和堤岸耕地最低(分别为 0.89, 0.83 g·kg⁻¹); >15~20 cm 土层的 TN, 在江心洲人工芦苇地最高(1.43 g·kg⁻¹), 在河漫滩人工芦苇地次之(1.00 g·kg⁻¹), 在堤岸薏杨林地(0.45 g·kg⁻¹)和耕地(0.42 g·kg⁻¹)最低。

2.2 不同组合模式下土壤容重的对比

不同土地利用方式下的土壤容重(表 2)在耕地和薏杨林地较在芦苇地大。具体来看, 在 3 种堤岸样地中以在堤岸耕地最大(1.75 g·cm⁻³), 然后依次是堤岸薏杨林地(1.71 g·cm⁻³)、堤岸自然芦苇地(1.54 g·cm⁻³); 2 种河漫滩样地中, 在河漫滩薏杨林地较河漫滩人工芦苇地大, 分别为 1.58, 1.49 g·cm⁻³, 土地利用方式的影响明显。不同水文地貌单元之间的对比表现为, 洪水干扰弱、缺失松散沉积物补给、土壤持续粘化的地貌单元土壤容重大, 如故道和堤岸, 受洪水季节性干扰的河漫滩容重较小, 即土壤容重在 3 种薏杨林地中, 以在故道薏杨林地最大(1.73 g·cm⁻³), 然后依次是堤岸薏杨林地(1.71 g·cm⁻³)、河漫滩薏杨林地(1.58 g·cm⁻³); 3 种芦苇地中, 以在江心洲人工芦苇地大(1.67 g·cm⁻³), 然后依次是堤岸自然芦苇地(1.54 g·cm⁻³)、河漫滩人工芦苇地(1.49 g·cm⁻³)。

土壤容重的垂向分布如图 2 所示。在垂向总体变化趋势上, 除江心洲人工芦苇地外, 其余组合模式的土壤容重随深度增加而增大, 与相关研究结果一致^[32-33]; 薏杨林地(故道薏杨林地、河漫滩薏杨林地、堤岸薏杨林地)土壤容重的垂向变化相对较小。江心洲人工芦苇地的土壤容重呈凸型分布, 即在 0~5 cm, >15~20 cm 土层较小, 而在 >5~10 cm, >10~15 cm 土层较大。这可能与前述大洪水间歇期土壤阶段性发育过程有关。

不同组合模式间土壤容重的差异性具有随深度增加而减小的特征。不同组合模式之间土壤容重的变异系数, 在 0~5 cm 土层最大(20.27%), 然后在 >5~10 cm, >15~20 cm, >10~15 cm 土层中依次减少, 分别为

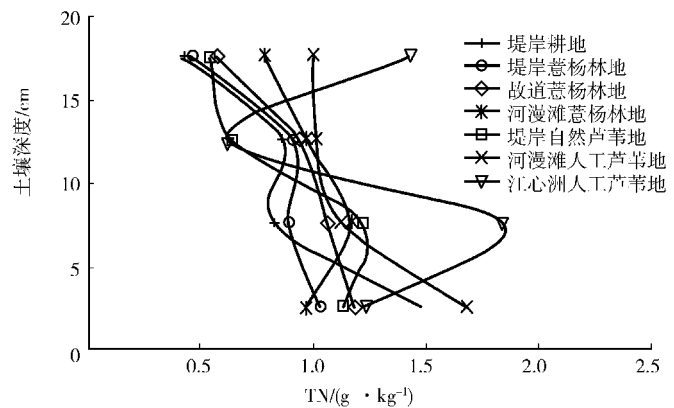


图 1 不同组合模式下土壤 TN 的垂向分布

Fig. 1 The vertical distributions of soil total nitrogen content across different combining modes of land use and hydrogeomorphic unit

15.76%, 5.34%, 4.17%。

2.3 不同组合模式下土壤 ND 的对比

不同组合模式间土壤 ND 的差异性见图 3。在 0~5 cm 土层较大、在 >5~15 cm 土层较小,但在 >15~20 cm 土层有所增加。对各深度层土壤 ND,分别计算不同组合模式之间的变异系数(为避免江心洲人工芦苇地 ND 特殊垂向分布的干扰,这里针对其他 6 种组合模式进行计算)得到,在 0~5 cm, >5~10 cm, >10~15 cm 土层分别为 23.78%, 9.12%, 12.92%, 在 >15~20 cm 土层为 32.12%。在 0~5 cm 土层,耕地和两种人工芦苇地的土壤 ND 较高,薏杨林地的其次,堤岸自然芦苇地的最低,反映出农林活动对最表层土壤氮的增加作用。由图 3 可见,在 >15~20 cm 土层不同组合模式间较大的差异性,主要受到两种河漫滩地明显较高的氮密度的影响,是否与前述河漫滩季节性洪水漫滩引起的淋溶淀积作用有关,还有待开展更深入的研究。

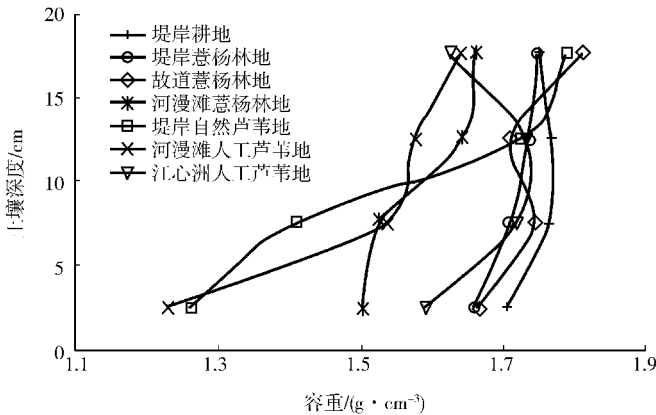


图 2 不同组合模式下土壤容重的垂向分布

Fig. 2 The vertical distributions of soil bulk density across different combining modes of land use and hydrogeomorphic unit

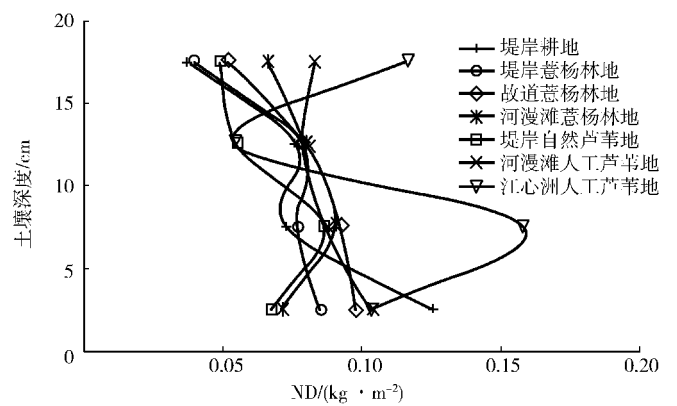


图 3 不同组合模式下土壤氮密度的垂向分布

Fig. 3 Vertical distribution of soil nitrogen density across different combining modes of land use and hydrogeomorphic unit

土壤 ND 在垂向总体分布趋势上(图 3)与土壤 TN(图 1)具有相似性,即除了江心洲人工芦苇地外,均呈现出随深度增加而减小的特征。江心洲人工芦苇地土壤 ND 具有斜“Z”型分布特征,显示出如上文所述大洪水间歇期土壤氮的阶段性累积过程。但若以表层(0~10 cm)和亚表层(>10~20 cm)来考查,可以发现 7 种组合模式均表现出表层土壤 ND 较亚表层大,反映出表层土壤氮的相对富集,如堤岸耕地表层土壤氮密度较亚表层大 74.9%。

但不同组合模式下土壤 ND 的垂向变异程度存在较大差异,垂向变异系数在堤岸耕地最大(46.66%),在江心洲人工芦苇地较小(39.70%),在河漫滩地(河漫滩人工芦苇地、河漫滩薏杨林地)最小(分别为 12.14%, 14.00%)。这反映出土地利用和水文地貌过程复杂的综合作用,具体表现为:干扰强度大的农林活动(如耕作活动)和江心洲大洪水间歇干扰加大了土壤 ND 的垂向变异,而河漫滩季节性洪水漫滩过程引起的淋溶淀积作用使得土壤 ND 垂向变异减小。

2.4 不同组合模式下土壤 NS 的对比

结果显示,下荆江段漫滩系统土地利用方式与水文地貌单元的 7 种典型组合模式中,江心洲人工芦苇地的土壤氮储量最高(0.43 t·hm⁻²),其次是在河漫滩人工芦苇地中(0.35 t·hm⁻²),在堤岸自然芦苇地中最低(0.26 t·hm⁻²),而在薏杨林地中也仅为 0.28~0.32 t·hm⁻²(图 4)。

具体来看,不同组合模式的对比,反映出河段尺度内河流漫滩系统土壤 NS 既与土地利用方式有关,又受到了水文地貌特性的影响。首先,在土地利用方式上,相同水文地貌条件下,土壤 NS 在人工芦苇地最大,其次是耕地,在薏杨林地较小,但它们都要比在自然芦苇地中大,即 3 种堤岸样地中,土壤 NS

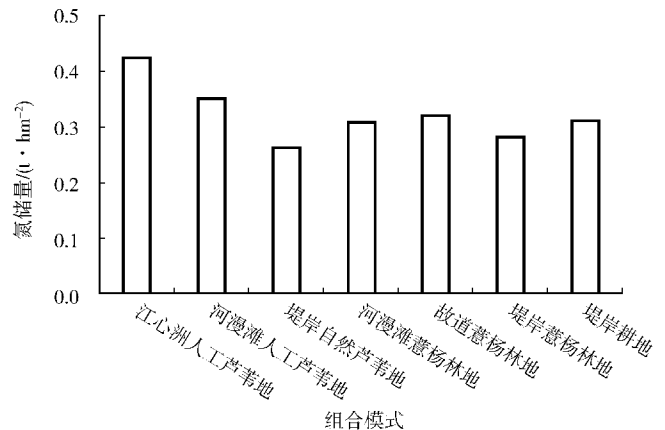


图 4 不同组合模式下的土壤氮储量

Fig. 4 The soil nitrogen stocks across different combining modes of land use and hydrogeomorphic unit

在堤岸耕地最大($0.31 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),在堤岸薏杨林地($0.28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、堤岸自然芦苇地($0.26 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)中较小;NS在河漫滩人工芦苇地中($0.35 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)较在河漫滩薏杨林地中($0.31 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)大。如上文所述,其中原因是农林活动,尤其是芦苇地和耕地每年逐季节周期性农业活动,对土壤氮循环和累积的增进作用。另一方面,在水文地貌单元上,堆积型地貌单元土壤NS较侵蚀型地貌单元高,其中原因在于堆积型地貌单元有利于土壤氮的累积,而侵蚀型地貌单元土壤氮易流失。如同是芦苇地,土壤NS在江心洲人工芦苇地最大($0.43 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),在河漫滩人工芦苇地($0.35 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、堤岸自然芦苇地($0.26 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)中较小;3种薏杨林地中,以在故道薏杨林地($0.32 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)最大,在河漫滩薏杨林地($0.31 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、堤岸薏杨林地($0.28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)中较小。

3 结论

长江中游下荆江段漫滩系统土地利用方式与水文地貌单元典型组合模式下土壤TN、ND及NS的对比研究表明,7种组合模式中江心洲人工芦苇地土壤氮储存最高,在堤岸自然芦苇地和堤岸薏杨林地最低,河流漫滩系统土壤氮动态不仅受到土地利用方式的影响,还与水文地貌特性有关,二者不仅影响土壤氮在量上的多寡,而且影响氮的垂向分布。

在土地利用上,相同水文地貌条件下,人工芦苇地和耕地0~20 cm土壤的TN及NS较薏杨林地大,即在河漫滩人工芦苇地中较在河漫滩薏杨林地大;3种堤岸样地中以在堤岸耕地最大,然后依次是堤岸薏杨林地、堤岸自然芦苇地,反映出漫滩系统内芦苇地和耕地每年的逐季节周期性农业活动增进了土壤氮的累积。在水文地貌单元上,堆积型水文地貌单元的土壤氮储存较侵蚀型水文地貌单元大,表现为土壤全氮含量及储量,在3种芦苇地中以在江心洲人工芦苇地最大,然后依次是河漫滩人工芦苇地、堤岸自然芦苇地;在故道和河漫滩薏杨林地较堤岸薏杨林地大,堤岸处于侵蚀状态,土壤氮易流失,而河漫滩为堆积型地貌单元,有利于土壤氮累积。

土壤TN及ND在垂向总体分布趋势上,除江心洲人工芦苇地外,呈现随深度增加而减少的特征,江心洲人工芦苇地斜“Z”型分布特征可能与大洪水间歇期内土壤氮阶段性累积过程有关。不同土地利用方式下,土壤TN及ND的差异性在0~10 cm的表层更大,而在>10~20 cm亚表层则相对较小。下荆江河段河流漫滩系统内的农林活动,尤其是芦苇地的相关农业活动,增强了土壤氮在表层的相对富集,加大了垂向变异。一定重现期的大洪水干扰,因为土壤氮分层阶段性累积过程,极大地增加了土壤氮的垂向变异;而季节性洪水漫滩则可能会因为淋溶淀积作用而减小土壤氮的垂向变异。

参考文献:

- [1] 夏天翔,李文朝,熊飞.抚仙湖不同类型岸带沉水植物分布及水体氮磷特征[J].生态学杂志,2007,26(6):846-852.
XIA T X, LI W C, XIONG F. Submerged macrophytes distribution and water body nutrient contents in different type littoral zones of Fuxian lake[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(6): 846-852.
- [2] 张凤凤,李土生,卢剑波.河岸带净化水质及其生态功能与恢复研究进展[J].农业环境科学学报,2007(B10):459-464.
ZHANG F F, LI T S, LU J B. Purification ecological and restoration functions of riparian zone[J]. Journal of Agro-environment Science, 2007(B10): 459-464.
- [3] 饶良懿,崔建国.河岸植被缓冲带生态水文功能研究进展[J].中国水土保持科学,2008,6(4):121-128.
RAO L Y, CUI J G. Research advances on the eco-hydrological functions of riparian buffer[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6(4): 121-128.
- [4] NAIMAN R J, Decamps H. The ecology of interfaces: riparian zones[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1997, 28(1): 621-658.
- [5] MILLER R B, FOX G A, PENN C J, et al. Estimating sedi-ment and phosphorus loads from streambanks with and without riparian protection[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 189: 70-81.
- [6] 李英臣,宋长春.氮磷输入对湿地生态系统碳蓄积的影响[J].土壤通报,2012,43(1):224-229.
LI Y C, SONG C C. Effects of exogenous nitrogen and phosphorus input on carbon accumulation in wetland system[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(1): 224-229.
- [7] 张亚亚,李军,牛颖权,等.土壤可溶性有机氮的研究进展[J].生态学杂志,2016,35(6):1661-1669.
ZHANG Y Y, LI J, NIU Y Q, et al. Soluble organic nitrogen in soil: a review[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(6): 1661-1669.
- [8] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响:以河北省遵化市为例[J].地理学报,2001,56(4):447-455.
GUO X D, FU B J, CHEN L D, et al. Effects of land use on soil quality in a hilly area: a case study in Zunhua county of Hebei province[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 447-455.
- [9] 尹刚强,田大伦,方晰,等.不同土地利用方式对湘中丘陵区

- 土壤质量的影响[J].林业科学,2008,44(8):9-15.
- YIN G Q, TIAN D L, FANG X, et al. Effects of land use types on soil quality of the hilly area in Central Hunan province[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(8): 9-15.
- [10] 刘世梁,傅伯杰,吕一河,等.坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J].生态学报,2003,23(3):414-420.
- LIU S L, FU B J, LÜ Y H, et al. Assessment of soil quality in relation to land use and landscape position on slope [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 414-420.
- [11] 胡慧蓉,马焕成,王艳霞,等.土地利用方式变化对土壤养分与有机碳、氮的影响[J].中国水土保持,2010(11):40-42.
- HU H R, MA H C, WANG Y X, et al. Influence of land use types to nutrients, organic carbon and organic nitrogen of soil [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2010(11): 40-42.
- [12] 洪瑜,方晰,田大伦.湘中丘陵不同土地利用方式土壤碳氮含量的特征[J].中南林学院学报,2006,26(6):9-17.
- HONG Y, FANG X, TIAN D L. Soil carbon and nitrogen concentration under different land use in central hilly area of Hunan province [J]. *Journal of central south forestry college*, 2006, 26(6): 9-17.
- [13] 张健,陈凤,濮励杰,等.区域土壤质量对土地利用变化响应研究:以土壤氮元素为例[J].长江流域资源与环境,2008,17(1):36-42.
- ZHANG J, CHEN F, PU L J, et al. Responses of regional soil quality to land use changes: a case of n element [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(1): 36-42.
- [14] 刘纪远,王绍强,陈镜明,等.1990~2000年中国土壤碳氮蓄积量与土地利用变化[J].地理学报,2004,59(4):483-496.
- LIU J Y, WANG S Q, CHEN J M, et al. Storages of soil organic carbon and nitrogen and land use changes in China: 1990—2000 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 483-496.
- [15] 董云中,王永亮,张建杰,等.晋西北黄土高原丘陵区不同土地利用方式下土壤碳氮储量[J].应用生态学报,2014,25(4):955-960.
- DONG Y Z, WANG Y L, ZHANG J J, et al. Soil carbon and nitrogen storage of different land use types in North-western Shanxi Loess plateau [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(4): 955-960.
- [16] 张珍明,林绍霞,张清海,等.不同土地利用方式下草海高原湿地土壤碳、氮、磷分布特征[J].水土保持学报,2013,27(6):199-204.
- ZHANG Z M, LIN S X, ZHANG Q H, et al. The distribution characteristics of soil carbon, nitrogen and phosphorus under different land use patterns in the Caohai plateau wetland [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(6): 199-204.
- [17] 李东,王子芳,郑杰炳,等.紫色丘陵区不同土地利用方式下土壤有机质和全量氮磷钾含量状况[J].土壤通报,2009(2):310-314.
- LI D, WANG Z F, ZHENG J B, et al. Contents of soil organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium under different land-use patterns in purple hilly area [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009(2): 310-314.
- [18] 王小利,郭胜利,马玉红,等.黄土丘陵区小流域土地利用对土壤有机碳和全氮的影响[J].应用生态学报,2007,18(6):1281-1285.
- WANG X L, GUO S L, MA Y H, et al. Effects of land use type on soil organic c and total n in a small watershed in loess hilly-gully region [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1281-1285.
- [19] 陆安祥,赵云龙,王纪华,等.不同土地利用类型下氮、磷在土壤剖面中的分布特征[J].生态学报,2007,27(9):3923-3929.
- LU A X, ZHAO Y L, WANG J H, et al. Distribution characteristics of nitrogen and phosphorus in agricultural soil profiles under different land use [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3923-3929.
- [20] 薛兴华,袁龙义.河流景观生态学视角下三峡工程对荆江河岸段的生态效用分析[J].长江大学学报(自然科学版),2012,9(3):15-23.
- XUE X H, YUAN L Y. Discussion on ecologic effects of Three Gorges project on Jingjiang reach by view of fluvial landscape ecology [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2012, 9(3): 15-23.
- [21] 中华人民共和国环境保护部科技标准司. HJ 717—2014, 土壤质量全氮的测定凯氏法[S].北京:中国环境出版社,2015. Department of Science, Technology and Standards of Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. HJ 717—2014, Soil quality determination of total nitrogen modified Kjeldahl Method [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.
- [22] 乔有明,王振群,段中华.青海湖北岸土地利用方式对土壤碳氮含量的影响[J].草业学报,2009,18(6):105-112.
- QIAO Y M, WANG Z Q, DUAN Z H. Effects of different land-use types on soil carbon and nitrogen contents in the northern region of Qinghai lake [J]. *Acta prataculturae Sinica*, 2009, 18(6): 105-112.
- [23] 王越,范北林,丁艳荣,等.长江中下游护岸生态修复现状与探讨[J].水利科技与经济,2011,17(10):25-28.
- WANG Y, FAN B L, DING Y R, et al. The status quo and discussion on revetment ecological restoration of the middle and lower Yangtze river [J]. *Water conservancy science and technology and economy*, 2011, 17(10): 25-28.
- [24] 王晓波,车威,纪荣婷,等.秸秆还田和保护性耕作对砂姜黑土有机质和氮素养分的影响[J].土壤,2015(3):483-489.
- WANG X B, CHE W, JI R T, et al. Effects of straw returning and conservation tillage patterns on the contents of organic matter and nitrogen nutrient in the Lime concretion black soil [J]. *Soils*, 2015(3): 483-489.
- [25] 田国成,王钰,孙路,等.秸秆焚烧对土壤有机质和氮磷钾含量的影响[J].生态学报,2016,36(2):387-393.
- TIAN G C, WANG Y, SUN L, et al. Effects of wheat

- straw burning on content of soil organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(2): 387-393.
- [26] 郭彦军, 韩建国. 农牧交错带退耕还草对土壤化学性质的影响[J]. *草地学报*, 2008, 16(4): 386-391.
- GUO Y J, HAN J G. Effects of returning cultivated land to grassland on soil chemical properties in the agro-pastoral transitional zone of Northern China[J]. *Acta Agraria Sinica*, 2008, 16(4): 386-391.
- [27] 曾希柏, 黄雪夏, 刘子刚, 等. 种植年限对三江平原农田土壤剖面性质及碳、氮含量的影响[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(6): 1186-1195.
- ZENG X B, HUANG X X, LIU Z G, et al. Effects of the period of wetland reclamation on the character of soil profiles, C and N contents in Sanjiang plain[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(6): 1186-1195.
- [28] 马华, 陈秀芝, 潘卉, 等. 持续收割对上海九段沙湿地芦苇生长特征、生物量和土壤全氮含量的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2013, 29(2): 209-213.
- MA H, CHEN X Z, PAN H, et al. Effects of continuous harvesting on growth and biomass of phragmites australis and soil total nitrogen content in Jiuduansha Wetland, Shanghai[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2013, 29(2): 209-213.
- [29] 闫德仁. 人工林土壤养分含量变化的对比研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2014(9): 57-62.
- YAN D R. Comparative study on the change of soil nutrients for plantations[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014(9): 57-62.
- [30] 苟丽晖, 孙兆地, 聂立水, 等. 北京松山自然保护区不同母质油松林土壤氮、磷、钾含量垂直分布[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(4): 961-966.
- GOU L H, SUN Z D, NIE L S, et al. Vertical distribution patterns of nitrogen, phosphorus, and potassium in Chinese pine forest soils developed from different parent materials in Songshan Mountain Nature Reserve, Beijing of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(4): 961-966.
- [31] 王勇辉, 陈升, 焦黎. 艾比湖主要补给河流下游河岸带土壤养分特征[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(2): 196-202.
- WANG Y H, CHEN S, JIAO L. Soil nutrient characteristics in river riparian zone of major supply rivers in lake Ebinur[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(2): 196-202.
- [32] 王金贵, 王益权, 徐海, 等. 农田土壤紧实度和容重空间变异性研究[J]. *土壤通报*, 2012, 43(3): 594-598.
- WANG J G, WANG Y Q, XU H, et al. Spatial variability of soil compaction and bulk density in farmland[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43(3): 594-598.
- [33] 王荣新, 车宗玺. 祁连山青海云杉林土壤理化指标空间变异性分析[J]. *甘肃林业科技*, 2012, 37(1): 6-12.
- WANG R X, CHE Z X. The Spatial variability analysis on physical and chemical indicators of picea crassifolia in Qilian mountains [J]. *Journal of Gansu Forestry Science Technology*, 2012, 37(1): 6-12.

Study on the Spatial Distribution Characteristics of Soil Nitrogen at the River-Floodplain System of Lower Jingjiang Reach of Middle Yangtze River

DING Yue, CHEN Xiang, ZOU Ruqian, HU Yujie, YIN Qian, XUE Xinghua

(College of Biological Science and Technology, Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization of Hubei Province, Hubei University for Nationalities, Enshi Hubei 445000, China)

Abstract: [Purposes] It aims to explore the relation of soil nitrogen distribution to the combining modes of land use and hydrogeomorphic units within a river-floodplain system. [Methods] Fifteen positions representing seven typical combining modes at the lower Jingjiang reach of middle Yangtze River were selected for soil sampling. Soil samples were collected from the depth 0~20 cm at 5 cm intervals by using soil sample rings. Soil total nitrogen content and bulk density were then determined, and soil nitrogen density and stock was calculated. [Findings] The soil nitrogen content and stock at depth 0~20 cm were larger in reed lands than in poplar lands, and were highest in the reed lands of channel islands and lowest in the poplar lands of levee banks. The comparison between different hydrogeomorphic units indicated that the soil nitrogen content and stock for reed lands were highest at channel islands, less at floodplains, and lowest at levee banks. For poplar lands, the highest soil nitrogen content and stock were observed at oxbow-lake areas, lower at floodplains, and the lowest at levee banks. The vertical distribution of soil nitrogen indicated that the agricultural and afforestation activities have enhanced the relatively enrichment of soil nitrogen at the 0~10 cm depth, and that The differences in soil nitrogen content and density between different combining modes were larger at the 0~10 cm depth than at the >10~20 cm depth. [Conclusions] The soil nitrogen within a river-floodplain system was not only affected by land uses, but was also connected with the hydrogeomorphic characteristics such as flood pulses and erosion-deposition features.

Keywords: river-floodplains system; soil nitrogen; land use; geomorphic units; lower Jingjiang reach

(责任编辑 黄 颖)