

黄河下游河漫滩和由其开垦的 农田土壤碳、氮和磷含量

李英臣^{1,2,3}, 杨凤姣¹, 李仪颖¹, 王浩楠¹, 朱红雷^{1,2,3}, 于飞^{1,2,3}, 侯翠翠^{1,2,3*}

(1. 河南师范大学生命科学学院, 河南 新乡 453007; 2. 黄河流域生态治理与保护研究中心, 河南 新乡 453007;
3. 河南省濮阳黄河湿地生态系统野外科学观测研究站, 河南 濮阳 457000)

摘要:于2018年6月13~14日,在黄河下游河南省郑州市狼城岗镇附近的天然河漫滩和由其开垦的已经耕种了13 a、24 a和33 a的农田中,分别设置了采样地;在各采样地,采集0~20 cm和20~40 cm深度的土壤样品,测定其有机碳、全氮和全磷含量,比较天然河漫滩和不同耕作年限的农田土壤中有机碳、全氮和全磷含量及其生态化学计量学特征。研究结果表明,与农田土壤相比,天然河漫滩0~20 cm和20~40 cm深度的土壤有机碳、全氮和全磷含量都最小;随着耕作年限增加,农田0~20 cm深度土壤有机碳、全氮和全磷含量都增大;在各采样地,20~40 cm深度土壤有机碳、全氮和全磷含量显著小于0~20 cm深度土壤;随着耕作年限增加,农田0~20 cm深度土壤碳氮比呈单峰型变化,20~40 cm深度土壤碳氮比呈单谷型变化;与农田相比,天然河漫滩土壤的粉粒和黏粒含量都最小,砂粒含量最大;随着耕作年限增加,农田0~20 cm和20~40 cm深度土壤粉粒和黏粒含量增大,砂粒含量减小;土壤pH、粉粒含量、黏粒含量分别与土壤有机碳含量、全氮含量、全磷含量、碳磷比和氮磷比显著相关。

关键词:河漫滩;开垦;农田;土壤;有机碳;氮;磷;黄河下游

中图分类号:S153 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-5948(2021)04-479-07

土壤中碳、氮和磷含量及其化学计量学特征主要受区域水热条件和成土作用的影响,同时也受到人类活动的影响^[1-2]。随着人口增长和经济发展,河漫滩被大面积开垦为农田,耕作活动改变了土壤的理化性质,并且在耕作过程中人为施加的氮、磷等营养物质,会改变土壤碳、氮和磷含量及其生态化学计量比。目前,已经开展了对天然沼泽^[3]、滨海湿地^[4]和河口湿地^[5]开垦为农田后的土壤碳、氮和磷含量的研究。随着耕作年限的增加,农田土壤中碳、氮和磷的生态化学计量学特征也需深入研究。

黄河含沙量极高,其下游水流变缓,河道摆动,造成泥沙大量沉积,形成大面积的河漫滩。黄河河南段的河漫滩总面积约为 $14.24 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[6]。

当地居民对黄河下游河漫滩的开垦越来越严重,特别是小浪底大坝建成后,黄河下游水量得到控制,开垦活动更加严重^[7]。

本研究在黄河下游河南省郑州市狼城岗镇附近天然河漫滩和由天然河漫滩开垦的农田,设置采样地,研究天然河漫滩和不同耕作年限的农田土壤碳、氮和磷含量及其生态化学计量学特征,以期明确开垦活动对土壤的影响和退耕还湿工程提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 采样地

在黄河下游河南省郑州市狼城岗镇附近天然河漫滩(34°53'45"N~34°57'7"N, 114°7'55"E~

收稿日期:2020-11-24; 修订日期:2021-07-20

基金项目:国家自然科学基金项目(41930643和41601534)、国家重点研发计划子课题(2016YFD0300203-3)、河南省高等学校重点科研项目(19A180020)和河南师范大学国家基金培育项目(2017PL10)资助。

作者简介:李英臣(1982-),男,山东省聊城人,副教授,主要从事湿地环境变化与物质循环研究。E-mail: liyingchen@htu.edu.cn

通讯作者:侯翠翠,副教授。E-mail: houcuicui0902@126.com

114°10'40"E)和由天然河漫滩开垦的农田中,设置了采样地。该区气候属温带大陆性季风气候,年平均气温为14.2℃,年降水量为616 mm,降水主要集中在夏季,无霜期约为240 d。土壤类型为冲积土。

当地河漫滩的开垦始于20世纪50年代。当地主要的耕作模式为小麦(*Triticum aestivum*)和玉米(*Zea mays*)轮作。每年6月,收获小麦后,将小麦秸秆打碎还田,然后播种玉米,10月收获玉米,然后,进行土壤翻耕和整地,再次播种小麦。农田以施复合肥为主,每年的施肥量约为150 kg/hm²氮、33 kg/hm²磷和124 kg/hm²钾,有的农田在种植冬小麦前施用部分农家肥。

1.2 样品采集与测定

通过对当地农户的调查走访,利用当地农业部门提供的资料和Google Earth遥感影像,选择天然河漫滩和由天然河漫滩开垦的已经耕作了13 a、24 a、33 a的农田,设置采样地,采集土壤样品。

在每处采样地,设置3块50m×50m的样方,每个样方之间的距离大于200 m。于2018年6月13~14日,在收获冬小麦后,采集土壤样品。在每个样方内,利用土钻,分别采集0~20 cm和20~40 cm深度的土壤样品,每个深度采集3个土壤样品。共采集72个土壤样品。

在采集土壤样品的同时,采用环刀法,测定土壤容重。将采集的土壤样品在去除根系等杂质

后,混合均匀装入样品袋,带回实验室。在实验室中,将土壤样品分为两部分,一部分用于测定土壤pH和土壤粒度,另外一部分自然风干后,磨碎(粒径<0.15 mm),用于测定土壤有机碳、全氮和全磷含量。

利用元素分析仪(Vario PYRO cube, Elementar, German),直接测定土壤有机碳含量。采用凯氏定氮法,测定土壤全氮含量。采用高氯酸-硫酸消化-钼锑抗比色法^[8],测定土壤全磷含量。利用粒度分析仪(Microtrac S3500, Malvern, UK),测定土壤粒度。根据国际制土壤粒径分类方法,将土壤分为砂粒(>20 μm)、粉粒(2~20 μm)和黏粒(<2 μm)。

1.3 数据分析和处理

采用单因素方差分析方法,检验不同耕作年限和不同深度的土壤理化性质的差异。采用相关分析法,分析土壤理化指标之间的关系。采用多重方差分析方法,研究耕作年限、土壤深度以及两者交互作用对土壤有机碳、全氮和全磷含量及其生态化学计量学特征的影响。

利用Excel 2016软件和SPSS 16.0软件,进行数据前期处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质

由表1可知,不同耕作年限的农田土壤容重都

表1 各采样地土壤的理化指标

Table 1 Soil physical and chemical indexes at different sampling sites

采样地	土壤深度(cm)	容重(g/cm ³)	pH	砂粒含量(%)	粉粒含量(%)	黏粒含量(%)
天然河漫滩	0~20	(1.56±0.02) ^{ab}	(8.55±0.04) ^{ac}	(90.17±7.80) ^{ac}	(9.81±9.79) ^{aA}	(0.02±0.02) ^a
	20~40	(1.58±0.01) ^{ab}	(8.74±0.03) ^{bb}	(100.00±0.00) ^{ab}	(0.00±0.00) ^{aA}	(0.00±0.00) ^a
耕作了13 a的农田	0~20	(1.32±0.07) ^{aA}	(8.17±0.04) ^{bb}	(73.94±0.95) ^{bb}	(25.71±4.70) ^{bb}	(0.35±0.18) ^a
	20~40	(1.48±0.04) ^{aA}	(7.96±0.10) ^{aA}	(88.31±2.60) ^{bb}	(11.68±2.92) ^{ba}	(0.01±0.02) ^a
耕作了24 a的农田	0~20	(1.51±0.01) ^{ab}	(8.19±0.03) ^{bb}	(68.40±1.61) ^{bb}	(31.37±0.91) ^{bb}	(0.23±0.18) ^a
	20~40	(1.48±0.01) ^{aA}	(8.05±0.10) ^{aA}	(92.89±1.07) ^{bb}	(7.11±1.23) ^{aA}	(0.00±0.00) ^a
耕作了33 a的农田	0~20	(1.53±0.02) ^{ab}	(7.79±0.04) ^{ba}	(40.50±2.60) ^{aA}	(56.02±1.53) ^{ac}	(0.71±0.00) ^a
	20~40	(1.43±0.02) ^{ba}	(8.01±0.02) ^{aA}	(44.82±12.80) ^{aA}	(54.10±4.00) ^{bb}	(1.09±0.23) ^a

注:表中数据为(平均值±标准差)。数据右上角小写字母不同表示同一耕作年限下不同深度土壤数据差异显著($n=3$, $p<0.05$),数据右上角大写字母不同表示同一深度不同耕作年限下的土壤数据差异显著($n=3$, $p<0.05$)。

显著小于天然河漫滩($n=3, p<0.05$),随着耕作年限增加,0~20 cm深度土壤容重整体变化不大,但是20~40 cm深度土壤容重逐渐减小。各采样地土壤整体呈弱碱性,不同耕作年限的农田土壤pH都显著小于天然河漫滩($n=3, p<0.05$)。与农田相比,天然河漫滩土壤粉粒和黏粒含量相对最小,砂粒含量相对最大,天然河漫滩开垦为农田,改变了土壤粒径结构,整体上砂粒含量减小,耕作33 a后,0~20 cm深度土壤砂粒含量从90.17%减小到40.50%,20~40 cm深度土壤砂粒含量从100.00%减小到44.82%,粉粒和黏粒含量增大。

与农田相比,天然河漫滩0~20 cm和20~40 cm深度的土壤有机碳、全氮和全磷含量都相对

偏小(表2)。除了耕作了24 a的农田土壤全磷含量,其它采样地0~20 cm深度土壤有机碳、全氮和全磷含量都显著大于20~40 cm深度。

随着耕作年限增加,农田0~20 cm深度土壤有机碳、全氮和全磷含量都逐渐增大,耕作了33 a的农田土壤有机碳、全氮和全磷含量显著大于天然河漫滩($n=3, p<0.05$)。随着耕作年限增加,20~40 cm深度土壤全氮含量逐渐增大,有机碳和全磷含量总体上在增大,耕作了33 a的农田土壤有机碳、全氮和全磷含量显著大于天然河漫滩($n=3, p<0.05$)。

2.2 土壤碳、氮、磷化学计量比

随着耕作年限增加,农田0~20 cm深度土壤

表2 各采样地土壤中有有机碳、全氮和全磷含量
Table 2 The contents of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in the soils at different sampling sites

采样地	土壤深度(cm)	有机碳质量比(mg/g)	全氮质量比(mg/g)	全磷质量比(mg/g)
天然河漫滩	0~20	(1.32±0.04) ^{aA}	(0.11±0.01) ^{aA}	(0.49±0.04) ^{aA}
	20~40	(0.64±0.05) ^{bA}	(0.05±0.00) ^{bA}	(0.24±0.01) ^{bA}
耕作了13 a的农田	0~20	(7.47±1.31) ^{aB}	(0.39±0.01) ^{aB}	(0.62±0.01) ^{aB}
	20~40	(1.74±0.25) ^{bB}	(0.16±0.01) ^{bB}	(0.37±0.03) ^{bB}
耕作了24 a的农田	0~20	(9.86±1.62) ^{aB}	(0.44±0.03) ^{aB}	(0.59±0.04) ^{aB}
	20~40	(1.43±0.14) ^{bB}	(0.18±0.01) ^{bB}	(0.57±0.00) ^{aC}
耕作了33 a的农田	0~20	(15.26±0.20) ^{aC}	(1.03±0.02) ^{aC}	(0.88±0.01) ^{aC}
	20~40	(5.90±0.49) ^{bC}	(0.41±0.02) ^{bC}	(0.53±0.00) ^{bC}

注:表中数据为(平均值±标准差)。数据右上角小写字母不同表示同一耕作年限下不同深度土壤数据差异显著($n=3, p<0.05$),数据右上角大写字母不同表示同一深度不同耕作年限下的土壤数据差异显著($n=3, p<0.05$)。

表3 各采样地土壤碳氮比、碳磷比和氮磷比
Table 3 The ratios of carbon and nitrogen, carbon and phosphorus, nitrogen and phosphorus in the soils in different sampling sites

采样地	土壤深度(cm)	土壤碳氮比	土壤碳磷比	土壤氮磷比
天然河漫滩	0~20	(11.71±0.19) ^{aA}	(2.68±0.17) ^{aA}	(0.23±0.01) ^{aA}
	20~40	(12.40±0.84) ^{aBC}	(2.61±0.23) ^{aA}	(0.21±0.01) ^{aA}
耕作了13 a的农田	0~20	(19.20±3.46) ^{aBC}	(12.03±2.02) ^{aB}	(0.63±0.01) ^{aB}
	20~40	(10.59±0.66) ^{aAB}	(4.64±0.29) ^{bB}	(0.44±0.00) ^{bC}
耕作了24 a的农田	0~20	(22.31±2.29) ^{aC}	(16.78±2.17) ^{aBC}	(0.75±0.02) ^{aC}
	20~40	(8.07±0.52) ^{bA}	(2.51±0.25) ^{bA}	(0.31±0.01) ^{bB}
耕作了33 a的农田	0~20	(14.76±0.22) ^{aAB}	(17.32±0.30) ^{aC}	(1.17±0.04) ^{aD}
	20~40	(14.54±1.61) ^{aC}	(11.21±0.58) ^{bC}	(0.78±0.05) ^{bD}

注:表中数据为(平均值±标准差)。数据右上角小写字母不同表示同一耕作年限下不同深度土壤数据差异显著($n=3, p<0.05$),数据右上角大写字母不同表示同一深度不同耕作年限下的土壤数据差异显著($n=3, p<0.05$)。

碳氮比呈单峰型变化(表3)。其中,耕作了24 a的农田土壤碳氮比最大,为22.31,且其显著大于耕作了33 a的农田和天然河漫滩的土壤碳氮比($n=3, p<0.05$)。随着耕作年限增加,农田20~40 cm深度土壤碳氮比呈单谷型变化。其中,耕作了24 a的农田土壤碳氮比最小,为8.07。

随着耕作年限增加,农田0~20 cm深度土壤碳磷比逐渐增大。各耕作年限的农田0~20 cm深度土壤碳磷比显著大于天然河漫滩和耕作了13 a的农田($n=3, p<0.05$)。随着耕作年限增加,农田20~40 cm深度土壤碳磷比整体增大,但在耕作了24 a的农田采样地略有减小,耕作了33 a的农田土壤碳磷比显著偏大($n=3, p<0.05$)。

随着耕作年限增加,农田0~20 cm深度土壤氮磷比逐渐增大。不同耕作年限的农田土壤氮磷比之间差异显著($n=12, p<0.05$)。随着耕作年限增加,农田20~40 cm深度土壤氮磷比波动增大,不同耕作年限的农田土壤氮磷比之间差异显著($n=12, p<0.05$)。

多重方差分析结果表明,耕作年限和土壤深度对土壤中有机碳、全氮和全磷含量影响显著,且

两者之间存在交互作用(表4)。耕作年限对土壤碳磷比和氮磷比都影响显著,土壤深度对碳氮比、碳磷比和氮磷比都影响显著。

2.3 土壤理化指标与之间的关系

土壤有机碳、全氮的和全磷含量分别与土壤pH、黏粒含量、粉粒含量和砂粒含量显著相关($n=24, p<0.05$)(表5)。土壤碳磷比分别与土壤pH、粉粒含量和砂粒含量显著相关($n=24, p<0.05$)。土壤氮磷比分别与土壤pH、黏粒含量、粉粒含量和砂粒含量显著相关($n=24, p<0.05$)(表5)。

3 讨论

在本研究中,随着耕作年限增加,农田不同深度土壤有机碳含量都增大,这与其它研究结果^[9-11]相似。原因主要包括以下几方面:农田种植作物的枯落物进入土壤后,直接增加了土壤有机碳含量^[11],另外有机肥施入也在一定程度上增加了土壤有机碳含量^[10];随着耕作年限增加,土壤中粉粒和黏粒含量增加,研究表明细颗粒比粗颗粒土壤更利于有机碳的固定^[12],土壤粒度的改变会减少有机碳的淋溶损失^[13];黄河水长期的灌溉也会增

表4 耕作年限和土壤深度对土壤有机碳、全氮和全磷含量及相互比例影响的双因素方差分析结果

Table 4 Results of two-way analysis of variance indicating the effect of cultivation years, soil depth, and their interactions on contents of organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and their ratios

	有机碳含量	全氮含量	全磷含量	碳氮比	碳磷比	氮磷比
耕作年限	77.0*	578*	94.1*	2.9	42.6*	374.7*
土壤深度	179.7*	692*	226.2*	23.9*	82.1*	242.6*
耕作年限×土壤深度	18.6*	111.8*	22.9*	9.7*	14.7*	35.6*

注: *表示在 $p<0.001$ 水平上显著相关。 $n=3$ 。

表5 土壤理化指标之间的相关系数

Table 5 The correlation coefficients between soil physical and chemical indexes

	pH	土壤容重	黏粒含量	粉粒含量	砂粒含量
有机碳含量	-0.560**	-0.880	0.495*	0.771**	-0.771**
全氮含量	-0.653**	-0.800	0.574**	0.816**	-0.816**
全磷含量	-0.657**	-0.189	0.482*	0.695**	-0.695**
碳氮比	-0.121	-0.193	0.077	0.387	-0.387
碳磷比	-0.530*	-0.192	0.379	0.756**	-0.756**
氮磷比	-0.714**	-0.207	0.517**	0.884**	-0.884**

注: *和**分别表示在 $p<0.05$ 和 $p<0.01$ 水平上显著相关。 $n=24$ 。

加一部分土壤细颗粒及其携带的有机碳^[14]。在本研究中,20~40 cm深度土壤有机碳含量增大可能包括以下两方面原因:部分表层土壤中的有机物会通过淋溶作用渗入深层土壤,导致有机碳聚集^[15];深层土壤微生物含量减小,微生物活性减弱,也在一定程度上有利于有机碳的积累^[16]。但是,在本研究中,随着耕作年限增加,农田表层土壤有机碳含量依然大于深层土壤,表明农田表层土壤有机碳的累积速率高于淋溶速率。随着耕作年限增加,农田土壤全氮和全磷含量都逐渐增大,主要原因是氮、磷化学肥料和有机肥料的输入。氮、磷肥料的输入对提升土壤肥力,增加土壤有机碳含量具有重要作用,但是随着氮、磷含量的增大,营养淋失的生态风险加大,今后应加强这方面的研究。

土壤碳、氮、磷生态化学计量比是反映土壤营养循环的重要指标,同时也是指示土壤营养水平的重要因子^[1]。土壤碳氮比大(碳氮比大于25)则表明土壤中有机的累积速率大于分解速率,有机质发生累积^[17]。在本研究中,土壤碳氮比为8.1~22.3,土壤中有机的累积速率小于分解速率^[18]。相关分析结果表明,耕作年限对土壤碳氮比影响不显著,原因可能是土壤碳、氮含量具有很好的协同作用,且随着耕作年限的变化具有相同的规律^[2]。土壤深度对土壤碳氮比影响显著。随着耕作年限增加,农田0~20 cm深度土壤碳氮比呈单峰型变化,可能是因为天然河漫滩土壤有机碳含量很小,在开垦初期土壤有机碳含量迅速增大,施加的肥料虽然使土壤全氮含量增大,但是有机碳含量增幅更大,所以土壤碳氮比增大;随着耕作年限继续增加,农田土壤有机碳含量继续增大,但是土壤全氮含量的增速更快,使土壤碳氮比减小。农田20~40 cm深度土壤碳氮比呈单谷型变化,可能是因为开垦初期,肥料输入后一部分淋溶到土壤深层,但有机碳主要集中在表层,随着耕作年限增加,深层土壤中的有机碳含量也开始增大。随着耕作年限增加,两个土层土壤碳磷比和氮磷比都增大,原因可能是土壤有机碳和全氮含量迅速增大,而土壤全磷含量相对稳定^[2]。在本研究中,土壤碳磷比远远小于世界平均水平^[19]。

在本研究中,随着耕作年限增加,农田不同深度土壤pH都减小,主要原因可能是化肥中的氮输

入使土壤酸性增强^[20];另外,进行农业耕作后,土壤呼吸活性增强,土壤孔隙中的CO₂含量增大,使得土壤酸性增强^[21]。随着耕作年限增加,土壤黏粒和粉粒含量增大,砂粒含量相应减小,主要是耕作使大粒径的土壤破碎为细小颗粒;另外,农作物根系的破碎和农作物残余物的分解回归促进土壤尤其是表层土壤粒径变小^[22]。土壤pH和土壤粒度与土壤碳、氮、磷含量及碳磷比、氮磷比都显著相关,表明耕作使土壤质地和pH改变,从而改变土壤碳、氮、磷的生态化学计量比。研究表明,土壤粉粒与土壤有机碳含量显著相关^[15],在本研究中,土壤碳氮比与pH及土壤粒度不相关,这可能与土壤碳氮比随耕作年限变化相对稳定有关,具体原因为碳、氮元素之间具有紧密的联系且对环境变化的响应几乎同步^[23]。

4 结 论

在黄河下游河南省郑州市狼城岗镇附近,与农田相比,天然河漫滩0~20 cm和20~40 cm深度的土壤有机碳、全氮和全磷含量都偏小。随着耕作年限增加,0~20 cm和20~40 cm深度土壤有机碳、全氮和全磷含量都增大,农业耕作会使土壤碳储量增大,也会增加土壤营养含量。

耕作年限对土壤碳氮比影响不显著,耕作年限和土壤深度对土壤碳磷比和氮磷比影响显著,土壤碳磷比和氮磷比都随着耕作年限的增加而逐渐增大。

与农田相比,天然河漫滩土壤粉粒和黏粒含量相对最小,砂粒含量相对最大。随着耕作年限增加,农田土壤粉粒和黏粒含量增大。土壤pH、粉粒和黏粒含量分别与土壤有机碳、全氮含量、全磷含量、碳磷比和氮磷比显著相关。

参考文献

- [1]王绍强,于贵瑞.生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J].生态学报,2008,28(8):3937-3947.
- [2]王杰,孙志高,李家兵,等.2015年7月末不同淹水条件下闽江河口沼泽土壤中有机碳和氮的分布[J].湿地科学,2018,16(4):559-567.
- [3]简兴,王松,翟晓钰,等.安徽三汉河国家湿地公园不同土地利用方式下表层土壤活性有机碳含量[J].湿地科学,2019,17(5):

- 511-518.
- [4]QU F Z, YU J B, DU S Y, *et al.* Influences of anthropogenic cultivation on C, N and P stoichiometry of reed-dominated coastal wetlands in the Yellow River Delta[J]. *Geoderma*, 2014, **235-236**: 227-232.
- [5]刘文龙, 谢文霞, 赵全升, 等. 胶州湾芦苇滩土壤碳、氮和磷分布及生态化学计量学特征[J]. *湿地科学*, 2014, **12**(3): 362-368.
- [6]刘继平. 河南黄河湿地资源现状与保护[J]. *中南林业调查规划*, 2015, **34**(3): 5-8.
- [7]胡琴, 陈为峰, 宋希亮, 等. 开垦年限对黄河三角洲盐碱地土壤质量的影响[J]. *土壤学报*, 2020, **57**(4): 824-833.
- [8]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: 156-157, 159-162.
- [9]翟国庆, 李永江, 韩明钊, 等. 不同开垦年限坡地黑土耕层土壤有机碳库分配特征[J]. *应用生态学报*, 2019, **30**(12): 4127-4134.
- [10]ZHANG H, WU P, YIN A, *et al.* Prediction of soil organic carbon in an intensively managed reclamation zone of eastern China: A comparison of multiple linear regressions and the random forest model[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **592**: 704-713.
- [11]HATI K M, SWARUP A, DWIVEDI A K, *et al.* Changes of soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping fertilization and manuring[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, **119**: 127-134.
- [12]LAL R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems[J]. *Global Change Biology*, 2018, **24**: 3285-3301.
- [13]SIX J, ELLIOTT E, PAUSTIAN K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, **32**: 2099-2103.
- [14]DONG L L, ZHANG H D, WANG L Q, *et al.* Irrigation with sediment-laden river water affects the soil texture and composition of organic matter fractions in arid and semi-arid areas of Northwest China[J]. *Geoderma*, 2018, **328**: 10-19.
- [15]KAISER K, KALBITZ K. Cycling downwards - dissolved organic matter in soils[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, **52**: 29-32.
- [16]YOU M Y, HAN X Z, HU N, *et al.* Profile storage and vertical distribution (0-150 cm) of soil inorganic carbon in croplands in northeast China[J]. *Catena*, 2020, **185**: 104302.
- [17]吕永磊, 梁文业, 张仲胜. 西藏地区典型泥炭地土壤理化性质及其碳、氮、磷化学计量学特征[J]. *湿地科学*, 2017, **15**(4): 526-531.
- [18]杨荣, 赛那, 苏亮, 等. 内蒙古包头黄河湿地土壤碳氮磷含量及其生态化学计量学特征[J]. *生态学报*, 2020, **40**(7): 2205-2214.
- [19]XU X F, THORNTON P E, POST W M. A global analysis of soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in terrestrial ecosystems[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2013, **22**: 737-749.
- [20]RAZA S, NA M, WANG P, *et al.* Dramatic loss of inorganic carbon by nitrogen-induced soil acidification in Chinese croplands. *Glob Change Biol*, 2020, **26**: 3738-3751.
- [21]ANDREWS J A, SCHLESINGER W H. Soil CO₂ dynamics, acidification, and chemical weathering in a temperate forest with experimental CO₂ enrichment[J]. *Global Biogeochem Cycles*, 2001, **15**: 149-162.
- [22]AWALE R, CHATTERJEE A, FRANZEN D. Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil[J]. *Soil & Tillage Research*, 2013, **134**: 213-222.
- [23]王维奇, 曾从盛, 钟春棋, 等. 人类干扰对闽江河口湿地土壤碳、氮、磷生态化学计量学特征的影响[J]. *环境科学*, 2010, **31**(10): 2411-2416.

Contents of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Soils in River Flat of Lower of the Yellow River and Farmland Cultivated from River Flat

LI Yingchen^{1,2,3}, YANG Fengjiao¹, LI Yiying¹, WANG Haonan¹, ZHU Honglei^{1,2,3}, YU Fei^{1,2,3}, HOU Cuicui^{1,2,3}

(1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, Henan, P.R.China; 2. Research Center for Ecological Management and Protection of the Yellow River Basin, Xinxiang 453007, Henan, P.R.China; 3. Puyang Field Scientific Observation and Research Station for Yellow River Wetland Ecosystem, Henan Province, Puyang 457000, Henan, P.R.China)

Abstract: The study was conducted during June 13 to 14 in June, 2018. The investigated fields were nature river flat and farmlands with different cultivation years (13 years, 24 years and 33 years), located in Langchenggang Town near Zhengzhou City, in the lower of the Yellow River. Soil samples at the depth of 0-20 cm and 20-40 cm were collected to analyze the contents of soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and their stoichiometry under different cultivation years. The results showed that the contents of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus in soils of 0-20 cm and 20-40 cm in nature flat were the lowest. The contents of organic carbon, total nitrogen, total phosphorus increased as cultivation years increased at 0-20 cm depth. The contents of organic carbon, total nitrogen and total phosphorus were significantly lower than those at 0-20 cm depth at all the sampling sites. As cultivation years increased, the ratios of carbon and nitrogen in soils at 0-20 cm depth in farmland changed in a single peak type, while changing in a single valley type at 20-40 cm depth. The effect of cultivation years on ratios of carbon and nitrogen was not significant. Ratios of carbon and phosphorus and ratios of nitrogen and phosphorus gradually increased with cultivation years increasing. Cultivation years and soil layers all significantly affected ratios of carbon and phosphorus and ratios of nitrogen and phosphorus, and existed interactive effect. The slit and clay proportions in nature flat were lowest and the sand proportion was the highest. As cultivation years increased, the slit and clay proportions increased, corresponding the sand proportion decreasing. There were significant correlation among pH, slit and clay proportions and contents of carbon, nitrogen and phosphorus in soils, ratios of carbon and phosphorus, ratios of nitrogen and phosphorus.

Keywords: river flat; cultivation; farmland; soil; organic carbon; nitrogen; phosphorus; lower of the Yellow River