

保定东部平原区夏玉米田土壤氮磷时空分布规律

王 哲, 夏 辉, 袁 浩, 谷书杰

(河北农业大学 城乡建设学院, 河北 保定 071000)

摘 要:为研究保定东部平原区夏玉米种植农田农业面源污染情况,于 2016 年夏玉米种植期分别在定位试验场及保定东部平原区进行了取土试验,探索了 2 m 土层内土壤氮磷含量及时空分布规律。结果表明:农民传统田间管理下,土壤硝态氮垂直方向上随土层深度呈“S”型分布,空间上表土层硝态氮东部低西部高,南部低北部高,心土层与底土层硝态氮在研究区中部出现局部高点,底土层硝态氮东部低西部高;土壤铵态氮垂直方向上分布均匀,大致都稳定在 0.6 mg/kg 左右,空间上表土层铵态氮变化较为明显,心土层及底土层变化幅度较小,极差小于 3 mg/kg。同时,心土层与底土层铵态氮均呈现东部高西部低,南部高北部低的趋势;土壤有效磷垂直方向上随深度的增加先减小再增加最后减小,空间上表土层有效磷含量降幅最大且变化较为明显,极差为 32.66 mg/kg,表土层有效磷南部低北部高,心土层与底土层均呈现东部高西部低的趋势,而南北部具有差异性。因此,根据该区域农业面源的时空动态变化,统筹考虑夏玉米生育期各土层氮磷含量合理施肥,将对该区域减少面源污染以及生态建设具有重要现实意义。

关键词:农业面源污染;硝态氮;铵态氮;有效磷;夏玉米;保定东部平原区

中图分类号:S151.9;S158

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)02-0093-06

Spatial and Temporal Distribution of Soil Nitrogen and Phosphorus in Summer Corn Field in Eastern Plain of Baoding

WANG Zhe, XIA Hui, YUAN Hao, GU Shujie

(College of Urban and Rural Construction, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: In order to study the agricultural non-point source pollution of summer maize farmland in Eastern Plain of Baoding City, soil sampling were taken in the positioning test site and Eastern Plain of Baoding City in 2016, respectively, and the temporal and spatial distribution of soil nitrogen and phosphorus contents in 2 m soil layer were investigated. The results showed that under the traditional field management, the vertical distribution of soil nitrate nitrogen presented as the S-shape along soil depth; spatially, nitrate nitrogen of surface soil was lower in the east and higher in the west, lower in the south and higher in the north; there were a local high values of nitrate nitrogen in subsoil and deep soil in the middle part of the study area, and the content of nitrate nitrogen in deep soil was lower in the east and higher in the west of the study area; the vertical distribution of ammonium nitrogen was uniform, and content was almost stable with the value of about 0.6 mg/kg; ammonium nitrogen in surface soil layer changed obviously on the spatial scale, while the range of ammonium nitrogen content in subsoil layer and deep soil layer changed slightly, and the range was less than 3 mg/kg; at the same time, contents of ammonium nitrogen in the subsoil and deep soil layer were high in the east and low in the west, high in the south and low in the north; the vertical distribution of available phosphorus decreased at first, then increased, and finally decreased with the increase of soil depth, and the content of available phosphorus in the surface soil layer decreased the most and changed obviously in space, the range was 32.66 mg/kg; the available phosphorus of the surface soil layer was low in the south and high in the north, and the those of the subsoil and deep soil layer were high in the east; There was the low trend in the west, but there was a difference between the contents in the north and the south. Therefore, according to the spatial and temporal changes of agricultural non-point sources in this region, it is of great practical significance to reduction of non-point source pollution and ecological construction in this region

收稿日期:2019-03-22

修回日期:2019-04-22

资助项目:国家重点研发计划子课题(2018YFD 0300503-13);河北农业大学 2019 年研究生校级教学案例项目(1009065-1)

第一作者:王哲(1994—),男,河北衡水人,硕士,研究方向为农业水土资源与环境。E-mail:272061004@qq.com

通信作者:夏辉(1978—),女,河北承德人,博士,副教授,主要从事农业水土资源与环境研究。E-mail:xiahui1106@163.com

through considering the reasonable fertilization based on nitrogen and phosphorus contents in different soil layers during the growing period of summer maize.

Keywords: agricultural non-point source pollution; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; available phosphorus; summer maize; Eastern Plain Area of Baoding City

农业面源污染是指在农业生产活动中,氮素和磷素等营养物质、农药以及其他有机或无机污染物质,通过农田的地表径流和农田渗漏,造成的水环境的污染^[1]。《第一次全国污染源普查公报》显示,我国农业源已成为污染源之首,是氮磷排放的主要来源,其排放量分别为 270.46 万 t,28.47 万 t,分别占排放总量的 57.2%,67.4%,其中种植业是主要部分^[2-4]。许多农民为追求高产大量施用化肥,不仅造成肥料的浪费,还加大氮磷淋失的风险,引发地下水硝酸盐污染、水体富营养化等一系列负面环境问题^[5-6]。有研究表明我国主要粮食作物的氮肥和磷肥的平均利用率分别为 27.56%,11.6%^[7],氮磷施用量需在一定范围内才能促进植物对氮磷养分的吸收^[8]。

2015 年中央 1 号文件强调要“加强农业生态治理”和农业生产面源污染的防控。河北省作为我国的一个农业大省,农业面源污染问题一直存在,公开的数据显示,2017 年河北省农用化肥使用量居于全国农用化肥使用量的第 3 位。保定市是京津冀地区中心城市之一,随着雄安新区的建立,保定市的战略地位越来越重要,该区域的生态好坏将深刻影响雄安新区的未来。因此,本研究以保定东部平原农业生产区为研究对象,探索农民传统田间管理下夏玉米种植农田 2 m 土层范围内土壤氮磷含量变化情况,分析该区域农业面源污

染时空变化特征,以期为河北省中西部平原区农业面源污染风险管控和生态环境质量提升提供科学依据,同时为该区域进一步提出合理施用化肥建议提供科学指导。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

1.1.1 研究区概况 研究区位于保定东部淀西平原区,北纬 38°19′—39°13′,东经 114°44′—116°15′,按流域划分属于白洋淀以西的淀西清南区,东起潞龙河西至京广铁路,北起南拒马河南至沙河,主体位于河北省保定市东部,面积约为 3 952 km²,属暖温带大陆性季风气候,四季分明。多年平均气温 13.4℃;年平均风速 1.8 m/s;年平均降水量 498.9 mm,降水集中在 6—8 月,7 月最多;年平均蒸发量为 1 430.5 mm。

1.1.2 试验场概况 试验场位于河北省保定市安新县安州镇白庄村(38°85′N,115°47′E),地处保定东部淀西平原区,位于研究区内,属暖温带半湿润大陆季风气候,多年平均气温为 12.1℃,平均风速 2.5 m/s,年平均降水 529.5 mm,年内分配不均,主要集中在 7—9 月份,占全年总降水量的 67.9%以上。多年平均蒸发量 1 773.4 mm。土壤类型为潮褐土,0—140 cm 土壤质地为粉质黏土,140—200 cm 为粉土。0—2 m 土壤基本理化性质见表 1。

表 1 试验场土壤基本理化性质

土层深度/cm	土层	容重/(g·cm ⁻³)	全氮/(g·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)
0—40	表土层	1.58	0.89	33.15	4.40	158.01	12.85
40—100	心土层	1.69	0.74	18.84	3.06	199.36	10.39
100—200	底土层	1.66	0.58	5.44	1.44	78.22	4.17

1.2 试验设计

为了能够更加全面了解保定东部平原区内夏玉米种植期农业面源污染情况,本研究分为两部分,第一部分为定位试验场取土测定试验,在夏玉米生育期进行取土,研究土壤氮磷在垂直方向的分布特性,第二部分为研究区内取土测定试验,在夏玉米生育期进行取土,探索土壤氮磷在空间上的分布特性。两部分试验夏玉米播种、灌溉、施肥等田间管理均按农民传统习惯进行,夏玉米播种和收获时间为 2016 年 6 月 14 日和 10 月 1 日,夏玉米生育期灌 2 次水,播种后灌蒙头水 70 mm,抽雄期配合施肥灌第二次水 60 mm,均采用当地农民传统地面灌溉方式,夏玉米播种前底施复合肥,抽雄期追施复

合肥,玉米季施用氮肥 155.8 kg/hm²,磷肥 62.3 kg/hm²,钾肥 62.3 kg/hm²。

1.3 试验方法

1.3.1 研究区取土点及取土时间的选择 研究区土壤样品的采集应能够如实反映研究区土壤氮磷的分布情况及变化规律。因此,取土点的选择主要考虑以下因素:(1)具有代表性。包括其土壤质地、种植作物及施肥方式等,农民田间管理均按传统习惯进行;(2)分布均匀。尽可能将取土点较为均匀地分布在研究区域内。基于以上原则,最终确定 10 个取土点,取土点分布在高阳县、清苑区、蠡县、望都县、定州市、安国县、雄县、容城县、徐水区和安新县 10 个县。研

究区取土试验取土点基本信息见表 2。

由于土壤中氮磷含量受降雨、灌溉、施肥、作物吸收、挥发等因素影响,为使各取样点的数据具有同步性,研究区内土壤采集定在在 2016 年 9 月 4—6 日集中完成。取土时间的确定主要考虑以下因素:(1)该时间段无降雨;(2)9 月正处于夏玉米生长期,这个时期一般不会进行灌溉;(3)6—9 月为研究区的主汛期,降雨较为集中,9 月后降雨逐渐减少。经过一个汛期后,土壤中的氮磷物质随着水分下渗将发生淋洗现象。因此,该时间段取土更加能够反映出研究区面源污染物进入土壤甚至浅层地下水的过程。

表 2 取土点基本信息

取样点编号	所在区县	经度	纬度
1	高阳县	115°41′42″E	38°43′32″N
2	清苑区	115°26′33″E	38°39′04″N
3	蠡县	115°31′47″E	38°34′19″N
4	望都县	115°13′03″E	38°37′53″N
5	定州市	115°05′08″E	38°30′34″N
6	安国县	115°15′22″E	38°25′51″N
7	雄县	116°02′59″E	39°13′08″N
8	容城县	115°48′28″E	38°59′23″N
9	徐水区	115°41′51″E	38°57′22″N
10	安新县	115°48′12″E	38°53′12″N

1.3.2 土壤样品采集与处理 在试验场夏玉米的拔节期(2016 年 7 月 3 日)、小喇叭口期(2016 年 7 月 15 日)、抽雄期(2016 年 7 月 31 日)、开花期(2016 年 8 月 14 日)、灌浆期(2016 年 9 月 10 日)以及研究区夏玉米的灌浆期(2016 年 9 月 4 日—6 日)的 10 个取样点进行土壤样品采集。取样方式为土钻打孔取土,分层取样,距地表 1 m 范围每隔 10 cm 取样 1 次,距地表 1—2 m 范围每隔 20 cm 取样 1 次,每次取土垂直方向上共取 14 次,取样完毕立即密封并冷冻保存,带回实验室测定。对夏玉米种植、灌溉、施肥等田间活动进行监测并记录;试验场设置小型气象站记录日降水量;土壤硝态氮测定采用紫外分光光度法;土壤铵态氮测定采用靛酚蓝比色法;土壤有效磷测定采用钼锑抗比色法。

1.4 数据处理

利用 Excel 与 SPSS 17.0 软件进行统计分析;以纬度为 x 轴,经度为 y 轴,土壤指标含量为 z 轴,利用 Surfer 软件绘制等值线图。由于取样在垂直方向上间隔距离不一样,在分析数据时采用加权平均值,文中平均值均指加权平均值。

2 结果与分析

2.1 土壤硝态氮分布规律

表 3 为试验场夏玉米种植期垂直方向上各土层

土壤硝态氮含量状况,由数据可看出夏玉米种植期土壤硝态氮含量随土层深度的增加呈现先减小再增加最后减小的趋势,大致呈“S”型变化,硝态氮含量在 30 cm 土层处出现波谷,最小值为 2.66 mg/kg,出现在灌浆期,80 cm 土层处出现波峰,最大值为 40.25 mg/kg,出现在抽雄期,此土层夏玉米各生育期硝态氮含量均最大,同时该层含水量也最大,土壤孔隙小,土壤黏粒增加,吸附作用大,对硝态氮向深层土壤渗漏有一定阻碍作用,故储存在该层的硝态氮较多,易形成累积,此外 7 月、8 月份降雨充沛,遇较大降雨此土层硝态氮易随水分向土壤深处迁移淋溶,增加了该区域地下水污染的风险。7 月 31 日 2 m 内土层的硝态氮含量基本都高于其他同等深度土壤硝态氮含量是因为 7 月 29 日施用复合肥且 7 月 28 日与 30 日降雨造成的,表层土壤硝态氮随水分向土壤深处移动。80 cm 之后土层硝态氮含量随土层深度的增加而逐渐减小,最后在 2 m 土层深度稳定在 5 mg/kg 左右。夏玉米全生育期表土层硝态氮平均含量为 12.15 mg/kg、心土层为 24.82 mg/kg、底土层为 7.73 mg/kg,底土层与表土层硝态氮含量相差 4.42 mg/kg,两层硝态氮含量较为接近,处于同一水平,但心土层硝态氮含量明显大于其他两层,将近表土层和底土层的两倍多,因此,在夏玉米种植期间心土层硝态氮含量大,累积多,淋溶比例大。

表 3 试验场夏玉米种植期间各土层硝态氮含量状况

土层 深度/cm	拔节期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	小喇叭 口期含量/ (mg·kg ⁻¹)	抽雄期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	开花期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	灌浆期 含量/ (mg·kg ⁻¹)
20	15.13	13.92	40.47	6.01	8.58
30	12.45	11.62	24.02	3.42	2.66
40	16.27	14.01	15.22	5.01	3.55
50	21.96	14.12	17.15	15.34	10.08
60	37.54	25.08	36.99	21.43	20.36
70	28.44	37.16	38.54	23.11	22.66
80	24.02	39.58	40.25	24.66	24.51
90	25.05	26.66	35.34	20.44	19.69
100	16.31	20.69	21.53	19.72	14.23
120	11.15	16.76	17.67	11.87	9.77
140	8.72	12.75	9.93	9.36	8.43
160	4.67	8.03	7.37	8.22	7.42
180	4.60	5.98	4.57	7.71	6.22
200	3.98	4.90	4.56	5.92	5.80

图 1 为研究区内 10 个取样点表土层、心土层和底土层空间上土壤硝态氮含量变化情况。在 0—2 m 土壤范围内,位于研究区中部的 2 号取样点土壤硝态氮含量最高,平均含量为 36.96 mg/kg,1 号取样点、8

号取样点、4 号取样点和 3 号取样点土壤硝态氮含量较低,平均含量均小于 5 mg/kg。由图 1 可看出,研究区表土层硝态氮含量总体趋势是东部低西部高,南部低北部高,且变化幅度较大,极差为 39.28 mg/kg;心土层和底土层内硝态氮含量在研究区中部 2 号取样点均出现了局部高点,硝态氮污染风险大,遇较大灌水或降雨都将会导致硝态氮向深层土壤

淋洗甚至进入地下水,底土层硝态氮含量从东到西逐渐增加。通过对 10 个取样点各土层硝态氮含量进行统计分析可知,研究区内距离地表 60—70 cm 处土壤硝态氮含量较为稳定,距地表 90 cm 处土壤硝态氮含量变幅最大,0—2 m 土壤中硝态氮含量最大值出现在距地表 20 cm 位置,到 70 cm 处降到最小值后再有所回升。

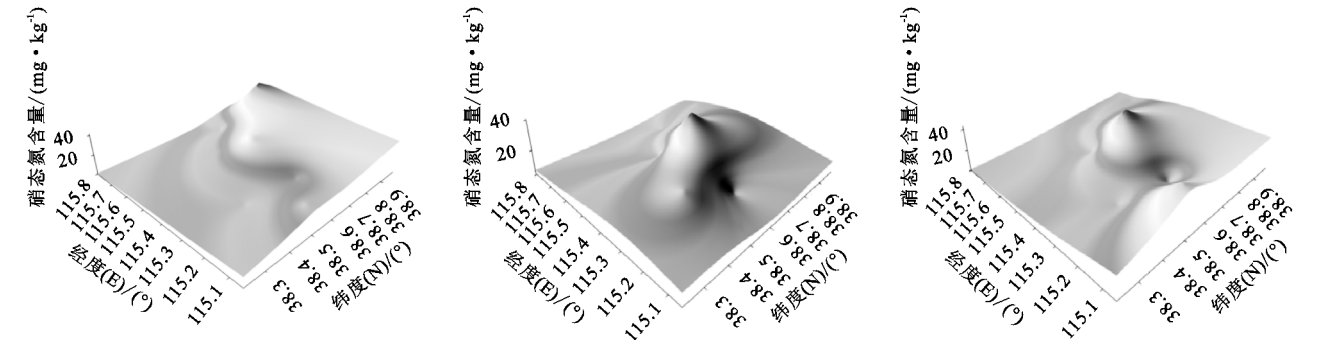


图 1 研究区夏玉米种植期土壤硝态氮含量变化情况

2.2 土壤铵态氮分布规律

表 4 为试验场夏玉米种植期垂直方向上各土层土壤铵态氮含量状况,夏玉米种植期土壤铵态氮变化与硝态氮不同,铵态氮不易随水分运动并能够被作物直接吸收利用,由数据可看出土壤铵态氮含量在垂直方向上变化不大,分布均匀,7 月 3 日拔节期 20 cm 处铵态氮含量达到 2.5 mg/kg,主要是由于冬小麦收获夏玉米播种后,土壤波动较大,受施入底肥、灌水与土壤翻动等各方面的影响,表层土壤土质疏松,蒸发量大,在田间,氨挥发随风速和光照强度的增大而增多,因此,30 cm 土层铵态氮含量就恢复了正常值,除 20 cm 土层外,其他土层铵态氮含量基本稳定在 0.6 mg/kg 左右,7 月 31 日 20 cm 土层处铵态氮含量高达 3.6 mg/kg 是由于 7 月 29 日小喇叭口期施用复合肥所造成的。夏玉米种植期表土层铵态氮平均含量为 0.90 mg/kg、心土层为 0.59 mg/kg、底土层为 0.51 mg/kg,心土层铵态氮含量与表土层铵态氮含量相差 0.31 mg/kg,降幅 34.44%,底土层硝态氮含量与表土层硝态氮含量相差 0.39 mg/kg,降幅 43.33%。

图 2 为研究区内 10 个取样点表土层、心土层和底土层空间上土壤铵态氮含量变化情况。在 0—2 m 土壤范围内,研究区内 1 号取样点土壤铵态氮含量最高,平均含量为 3.47 mg/kg,6 号取样点、2 号取样点和 5 号取样点土壤铵态氮含量较低,平均含量均小于 1 mg/kg。由图 2 可看出,研究区心土层与底土层铵态氮含量均呈现东部高西部低,南部高北部低的趋势,两者变化幅度较小,极差分别为 2.85、2.40 mg/kg,而表土层铵态氮含量则呈波浪形,变化较为明显,极差为 3.40 mg/kg。

表 4 试验场夏玉米种植期间各土层铵态氮含量状况

土层 深度/cm	拔节期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	小喇叭 口期含量/ (mg·kg ⁻¹)	抽雄期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	开花期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	灌浆期 含量/ (mg·kg ⁻¹)
20	2.50	1.04	3.58	0.64	0.71
30	0.64	0.62	0.59	0.45	0.76
40	0.93	0.81	0.64	0.42	0.79
50	0.78	0.59	0.43	0.43	0.72
60	0.60	0.55	0.57	0.43	0.63
70	0.76	0.57	0.50	0.43	0.54
80	0.96	0.68	0.47	0.44	0.78
90	0.72	0.70	0.46	0.45	0.70
100	0.81	0.49	0.43	0.56	0.60
120	0.59	0.53	0.41	0.41	0.48
140	0.60	0.44	0.40	0.41	0.49
160	0.57	0.51	0.46	0.54	0.58
180	0.70	0.58	0.46	0.47	0.47
200	0.69	0.42	0.41	0.41	0.57

2.3 土壤有效磷分布规律

表 5 为试验场夏玉米种植期垂直方向上各土层土壤有效磷含量状况,由数据可看出夏玉米生育期土壤有效磷随土层深度的增加先减小再增加最后减小,但与土壤硝态氮变化不同,土壤有效磷增加幅度较小。表土层有效磷含量降幅最大,同时 20 cm 土层出现夏玉米种植期间有效磷的最大值 16.71 mg/kg,处于开花期。土壤有效磷含量在 60 cm 土层附近出现波动,主要由于此层腐殖质含量较高,团粒结构丰富,具有较高的保水保肥能力,富集了部分有效磷,有效磷含量出现短暂增高。夏玉米种植期表土层有效磷平均含量为 7.02 mg/kg、心土层为 3.44 mg/kg、底土层为 2.52 mg/kg,心土层与底土层土壤有效磷含量变化幅度不大,土壤有效磷在 20 cm 土层保持较高水平,主要有

两点:一是与农民田间管理采取的措施有关。农民一般施肥仅仅局限在土壤表层,有效磷在土壤表层富集;二是有效磷本身性质造成的。有效磷的移动性较小,在垂向上只能以水溶态的形式发生小范围的迁移。

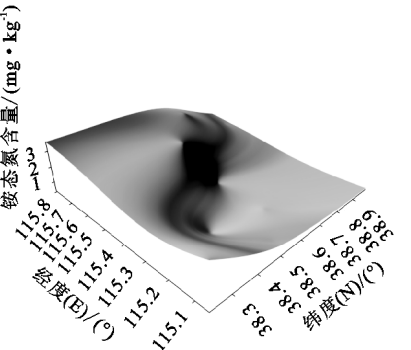
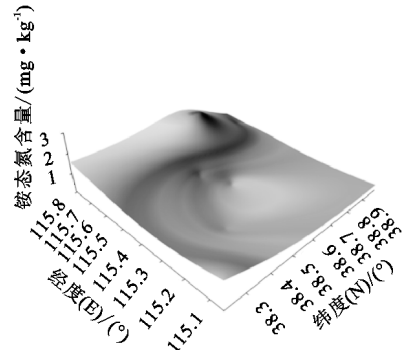
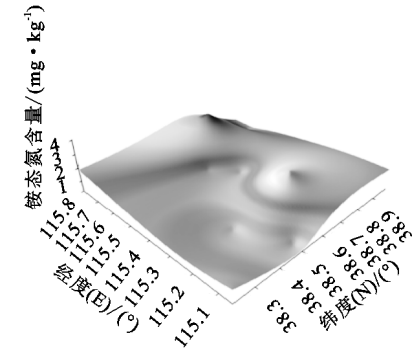


图 2 研究区夏玉米种植期土壤铵态氮含量变化情况

表 5 试验场夏玉米种植期间各土层有效磷含量状况

土层 深度/cm	拔节期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	小喇叭 口期含量/ (mg·kg ⁻¹)	抽雄期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	开花期 含量/ (mg·kg ⁻¹)	灌浆期 含量/ (mg·kg ⁻¹)
20	16.52	10.72	15.17	16.71	9.58
30	5.15	7.36	5.19	7.85	5.86
40	2.90	6.28	2.96	5.25	3.71
50	2.82	4.33	2.81	3.41	3.86
60	3.18	2.96	2.52	4.29	3.56
70	3.68	4.47	3.26	6.32	5.20
80	1.69	2.81	2.23	5.81	3.86
90	2.19	3.10	1.95	4.72	4.23
100	1.91	3.25	2.45	3.85	3.64
120	2.02	3.25	1.87	3.12	2.82
140	2.09	2.02	2.09	2.97	2.30
160	1.54	2.87	1.95	3.85	2.52
180	1.80	2.74	1.23	3.20	3.49
200	1.22	3.10	1.95	3.25	3.67

140—200 cm 土层有效磷含量变化不稳定,主要由于试验场潜水埋藏深度较浅,7 月、8 月份降雨充沛,地下水位上升,土壤与地下水之间存在物质交换,深层土壤有效磷含量受潜水的影 响较大。

根据全国第二次土壤普查养分分级标准,试验场夏玉米种植期间表土层有效磷为 4 级,心土层有效磷为 5 级,底土层有效磷为 6 级;研究区夏玉米种植期间表土层有效磷为 3 级,心土层有效磷为 5 级,底土层有效磷为 4 级。图 3 为研究区内 10 个取样点表土层、心土层和底土层空间上土壤有效磷含量变化情况。在 0—2 m 土壤范围内,研究区内 3 号取样点土壤有效磷含量最高,平均含量为 17.90 mg/kg,研究区内 6 号、8 号和 9 号取样点土壤有效磷含量较低,平均含量在 5.0 mg/kg 左右。由图 3 可看出,表土层有效磷含量在整个研究区变化较为明显,极差为 32.66 mg/kg,由南到北表土层有效磷含量大致呈增大趋势,表土层有效磷易随水分迁移,形成地表径流进入水体造成水体富营养化等,心土层有效磷呈东部高西部低,南部低北部高的趋势,底土层有效磷呈东部高西部低,南部高北部低的趋势,心土层和底土层有效磷含量变化幅度较小,极差分别为 4.92,8.69 mg/kg。

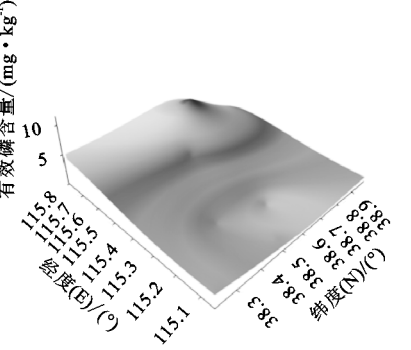
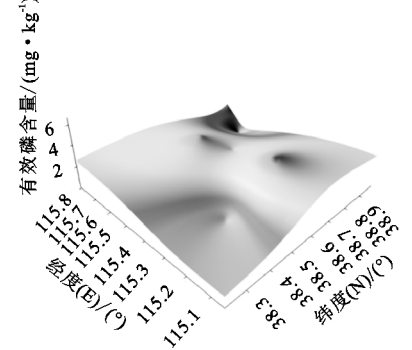
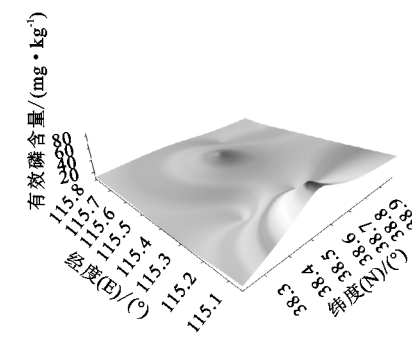


图 3 研究区夏玉米种植期土壤有效磷含量变化情况

3 讨论

氮磷的淋失不仅直接影响农业生产成本,而且所导致的农业面源污染成为一个世界性的难题^[9]。因灌溉不当或夏季集中降雨造成的土壤硝态氮淋失是

我国华北平原氮损失的重要途径之一^[10]。本研究通过田间取土测定试验,针对试验场夏玉米全生育期农田土壤氮磷的含量和分布规律进行了垂直方向上的研究分析,并对保定东部平原区夏玉米种植农田土壤氮磷的含量及变化进行了空间上的探索。通过对比

试验场与研究区夏玉米灌浆期土壤氮磷在表土层、心土层及底土层的分布特性,以期获得试验场与研究区夏玉米灌浆期土壤氮磷含量及分布的关系,从而更全面地了解农业面源污染状况。研究表明,试验场垂直方向上夏玉米灌浆期土壤硝态氮呈先增大后减小的趋势,铵态氮及有效磷均呈减小的趋势,而研究区垂直方向上土壤氮磷都呈现先减小后增加的趋势,在含量上夏玉米灌浆期研究区表土层、底土层比试验场分别高 8.65, 3.77 mg/kg,但是研究区心土层硝态氮含量比试验场低 8.66 mg/kg,试验场硝态氮在心土层累积多;研究区铵态氮含量比试验场分别高 1.15, 0.70, 1.12 mg/kg;研究区表土层、心土层及底土层有效磷含量比试验场分别高 14.04, 0.18, 2.86 mg/kg。综上可知研究区土壤硝态氮含量除心土层以外,均比试验场对应土层含量高,研究区土壤铵态氮、有效磷含量除表土层有效磷含量以外,各土层含量较试验场对应土层含量变化幅度小,但是研究区内土壤氮磷与试验场内变化规律不尽一致,主要是由于农业面源污染具有多源性、随机性、分散性、分布广、间歇性和难以监测性的特点^[3]。饶静等^[11]从宏观、中观和微观 3 个层面分析了我国农业面源污染发生机制;丘雯文^[12]、杨滨键^[13]等的研究表明我国农业面源污染具有明显的空间差异,东部和中部地区的排放强度较高,西部和东北地区则相对较低,农业面源污染排放总体差异表现为“下降—上升—下降”的波动变化趋势,农业生产结构、生产规模的不同也使农业面源污染表现出明显的地域差异性。针对农业面源污染造成的污染,目前主要治理措施有源头控制、迁移过程拦截、末端治理等^[14-15]。土壤中氮磷的大量输出是引起农业面源污染的主要原因,要防治农业面源污染最关键的问题是对氮磷的来源加以控制,因此,在研究区内根据各土层的氮磷含量合理施肥将会减少农业面源污染,对保护环境具有重要意义。但是农业面源污染的机制、影响因素以及防治措施都不唯一,并且具有不确定性,对此还有待进一步研究。

4 结论

(1) 土壤硝态氮在垂直方向上随土层深度的增加呈“S”型变化,心土层硝态氮累积多,淋溶比例大,降雨与灌溉将会导致此层硝态氮向深层淋洗。空间上研究区表土层硝态氮东部低西部高,南部低北部高,变化幅度较大,心土层和底土层硝态氮含量在研究区中部出现了局部高点,底土层硝态氮含量从东到

西逐渐增加。

(2) 土壤铵态氮垂直方向上分布均匀,心土层和底土层铵态氮含量较为接近。空间上研究区心土层与底土层铵态氮均呈现东部高西部低,南部高北部低的趋势,两者变化幅度小,表土层铵态氮则呈波浪形,变化幅度较为明显。

(3) 土壤有效磷在垂直方向上随土层深度的增加先减小再增加最后减小,主要受施肥和地下水埋深的影响。空间上表土层有效磷在整个研究区变化较为明显,由南到北表土层有效磷含量大致呈现增大的趋势,心土层有效磷呈现东部高西部低,南部低北部高的趋势,底土层有效磷呈现东部高西部低,南部高北部低的趋势,心土层和底土层有效磷变化幅度较小。

参考文献:

- [1] 熊昭昭,王书月,童雨,等.江西省农业面源污染时空特征及污染风险分析[J].农业环境科学学报,2018,37(12):2821-2828.
- [2] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部.第一次全国污染源普查公报[EB/OL].北京:国家统计局,2010.http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/qttjgb/qgqgtjgb/201002/t20100211_30641.html.
- [3] 唐肖阳,唐德善,鲁佳慧,等.汉江流域农业面源污染的源解析[J].农业环境科学学报,2018,37(10):2242-2251.
- [4] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等.中国农业面源污染形势估计及控制对策: I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J].中国农业科学,2004,37(7):1008-1017.
- [5] 盖霞普,刘宏斌,翟丽梅,等.长期增施有机肥/秸秆还田对土壤氮素淋失风险的影响[J].中国农业科学,2018,51(12):2336-2347.
- [6] 王甜,黄志霖,曾立雄,等.三峡库区柑橘园施肥量对土壤氮淋失及残留量的影响[J].环境科学,2019,40(3):1468-1474.
- [7] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [8] 柴颖.氮磷肥施肥对土壤速效养分及玉米产量的影响[D].新疆石河子:石河子大学,2015.
- [9] 赵春晓,郑海春,邵翻身,等.不同处理对河套灌区玉米土壤硝态氮和铵态氮动态及氮肥利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2017(6):99-104.
- [10] 赵靓.氮、磷化肥用量对土壤养分和玉米产量的影响[D].新疆石河子:石河子大学,2014.
- [11] 饶静,许翔宇,纪晓婷.我国农业面源污染现状、发生机制和对策研究[J].农业经济问题,2011,32(8):81-87.

(下转第 111 页)

[8] 王浩,贾仰文,王建华,等.人类活动影响下的黄河流域水资源演化规律初探[J].自然资源学报,2005,20(2):157-162.

[9] 陈建国,周文浩,孙高虎.论黄河小浪底水库拦沙后期的运用及水沙调控[J].泥沙研究,2016(4):1-8.

[10] 胡春宏.我国多沙河流水库“蓄清排浑”运用方式的发展与实践.水利学报,2016,47(3):283-291.

[11] 齐璞,刘月兰,李世滢,等.黄河水沙变化与下游河道减淤措施[M].郑州:黄河水利出版社,1997.

[12] 赵业安,周文浩,费祥俊,等.黄河下游河道演变基本规律[M].郑州:黄河水利出版社,1998.

[13] 许炯心.黄河下游洪水的泥沙输移特征[J].水科学进展,2002,13(5):362-368.

[14] 钱意颖,叶青超,周文浩.黄河干流水沙变化与河床演变[M].北京:中国建材工业出版社.

[15] 许炯心.黄河下游洪水的输沙效率及其与水沙组合和河床形态的关系[J].泥沙研究,2009(4):45-50.

[16] 冉立山,王随继,范小黎,等.黄河内蒙古头道拐断面形态变化及其对水沙的响应[J].地理学报,2009,64(5):531-540.

[17] Wang S, Yan M, Yan Y, et al. Contributions of climate change and human activities to the changes in runoff increment in different sections of the Yellow River[J]. Quaternary International, 2012,282:66-77.

[18] 王随继,闫霞霞,颜明,等.皇甫川流域降水和人类活动对径流量变化的贡献率分析:累积量斜率变化率比较方法的提出及应用[J].地理学报,2012,67(3):388-397.

[19] Wang S, Wang Y, Ran L, et al. Climatic and anthropogenic impacts on runoff changes in the Songhua River basin over the last 56 years(1955—2010), North-eastern China[J]. Catena, 2015,127:258-269.

[20] 刘成,王兆印,隋觉义.黄河干流沿程水沙变化及其影响因素分析[J].水利水电科技进展,2008,28(3):1-7.

[21] 刘勤,严昌荣,张燕卿,等.近 50 年黄河流域气温和降水量变化特征分析[J].中国农业气象,2012,33(4):475-480.

[22] 常军,王永光,赵宇,等.近 50 年黄河流域降水量及雨日的气候变化特征[J].高原气象,2014,33(1):43-54.

[23] 李立刚,陈洪伟,李占省,等.小浪底水库泥沙淤积特性及减淤运用方式探讨[J].人民黄河,2016,38(10):40-42.

(上接第 98 页)

[12] 丘雯文,钟涨宝,原春辉,等.中国农业面源污染排放的空间差异及其动态演变[J].中国农业大学学报,2018,23(1):152-163.

[13] 杨滨键,尚杰,于法稳.农业面源污染防治的难点、问题及对策[J].中国生态农业学报,2019,27(2):236-245.

[14] 蒋倩文,刘锋,彭英湘,等.生态工程综合治理系统对农业小流域氮磷污染的治理效应[J].环境科学,2019,40(5):2194-2201.

[15] 杨林章,施卫明,薛利红,等.农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践:总体思路与“4R”治理技术[J].农业环境科学学报,2013,32(1):1-8.

(上接第 103 页)

[19] 徐勇,田均良,刘普灵,等.黄土高原坡耕地水土流失地形分异模拟[J].水土保持学报,2005,19(5):18-25.

[20] 陈光荣,张国宏,高世铭,等.粮草豆隔带种植保护性耕作对坡耕地水土流失的影响[J].水土保持学报,2009,23(4):54-58.

[21] 王立,黄高宝,王生鑫,等.粮草豆隔带种植保护性耕作水土流失规律[J].水土保持学报,2012,26(2):54-57.

[22] 张晓艳,王立,黄高宝,等.道地药材保护性耕作对坡耕地土壤侵蚀的影响[J].水土保持学报,2008,22(2):58-61.

[23] 顾朝军,穆兴民,孙文义,等.极端暴雨洪水及侵蚀产沙对延河流域植被恢复响应的比较研究[J].自然资源学报,2017,32(10):1755-1767.

[24] 卫伟,陈利顶,傅伯杰,等.半干旱黄土丘陵沟壑区降水特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律[J].生态学报,2006,26(11):3847-3853.

[25] 马星,郑江坤,王文武,等.不同雨型下紫色土区坡耕地产流产沙特征[J].水土保持学报,2017,31(2):17-21.

[26] 孙从建,侯慧新,陈伟,等.典型黄土塬区不同植物措施水土保持效应分析[J].自然资源学报,2019,34(7):1405-1406.

[27] 王丰,徐佩,严坤,等.三峡库区典型农作物对降雨侵蚀的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):92-101.

[28] 高磊,饶良懿,崔飞波,等.太行山土石山区侵蚀性降雨对典型植物措施产流产沙的影响[J].水土保持学报,2017,31(1):5-11.

[29] 苗全安,曹凑贵,汪金平,等.丹江口库区坡耕地不同作物对土壤溅蚀的影响[J].中国水土保持科学,2011,9(5):11-14.

[30] 宋江平,李忠武,刘春,等.湘北红壤低山丘陵区典型水土流失治理模式径流泥沙效应[J].水土保持学报,2018,32(1):32-38.