

不同材料对河套灌区土壤磷素淋溶分布的影响

赵春晓, 魏淑贞, 郜翻身, 高娃, 王迎男, 郑海春

(内蒙古自治区土壤肥料和节水农业工作站, 呼和浩特 010010)

摘要:【目的】进一步加强对内蒙古河套灌区农业化肥面源污染进行监测和探讨治理措施。【方法】采用大田土壤淋溶试验, 分析了河套灌区农田在活性炭、膨润土、生物菌肥、颗粒有机肥、聚丙烯酰胺、聚丙烯酸钾、腐殖酸、缓控肥8种材料处理对玉米生育期内土壤淋溶液中总磷和可溶性磷动态特征变化的影响。【结果】与常规处理相比, 膨润土、活性炭、聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺处理土壤淋溶液总磷质量浓度平均降低24.76%、21.32%、18.36%、17.31%; 可溶性磷质量浓度平均降低32.47%、31.15%、28.45%、22.82%; 与常规处理相比, 生物菌肥、腐殖酸、缓控肥处理土壤水TP和SP质量浓度降低不太明显, 颗粒有机肥可增加土壤水中磷素量; 作物累积吸磷量随施肥量的增加而增加, 但增加幅度较小。磷素一般主要集中在0~40 cm土壤淋溶层, 在40 cm以下淋溶层, 磷素量随淋溶层增加而基本保持不变。在土壤水中可溶性磷所占的比例较大, 达到土壤水淋溶液中TP的47.6%~82.1%, 平均值为67.8%, 可溶性磷为土壤水磷素主要存在形态。【结论】8种材料均在不同程度上对土壤淋溶液总磷和可溶性磷具有影响, 其中以膨润土、活性炭、聚丙烯酸钾、聚丙烯酰胺效果最为明显。

关键词:面源污染; 治理措施; 养分淋失; 特征分布

中图分类号: S275; S157

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2017.0354

赵春晓, 魏淑贞, 郜翻身, 等. 不同材料对河套灌区土壤磷素淋溶分布的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(11): 63-68.

0 引言

磷素是作物生长的必需元素, 传统认为土壤对磷素的吸附能力和载荷容量大且磷素移动性差, 大量施用磷素可获得高产而不用担心磷素的淋溶损失^[1]。目前, 国内外对磷素的研究主要集中在磷的吸附、解吸以及流失形态等方面。研究表明, 0~30 cm土层磷流失量最大^[2]。我国在这方面的研究是从黄土高原结合水土流失开始的, 通过室内降雨模拟试验^[3], 但室内与大田实际条件相差甚远, 其研究结果在实际应用上存在一定的局限性。而国内在自然状况下针对农田大水漫灌对土壤养分流失形态的变化规律研究比较少见。内蒙古河套灌区农作物种植集约化程度高, 因不合理施肥导致的农业面源污染日益严重。当季农作物对磷肥利用率只有12.4%, 加上后期效应一般也不超过25%, 约占施肥总量的75%~90%滞留在土壤中^[4]。大量磷素随农田退水排入黄河导致黄河中上游水体中磷的超标率达90%以上^[5], 其中来自于农业面源污染的总磷约占水环境污染总量的62.4%^[6]。土壤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磷的来源加以控制。近年来, 随着对点源污染的有效控制, 面源污染的重要性得以被确认。欧洲的自然水体中磷素有35%~70%来源于农业面源污染的扩散^[7]。为此, 针对河套灌区化肥面源污染存在的 key 问题, 从污染物源头治理, 研究探讨河套灌区农田施肥后磷素在0~100 cm淋溶层的淋溶特征及其所造成的农业面源污染治理技术措施。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于内蒙古巴彦淖尔市杭锦后旗头道桥镇联增村(106°34'—107°34'E, 40°26'—41°13'N), 地处河

收稿日期: 2017-06-15

基金项目: 内蒙古河套灌区化肥面源污染监测与综合防治技术体系研究项目

作者简介: 赵春晓(1990-), 男, 内蒙古人。主要从事科学施肥和土壤改良。E-mail: zhaochunxiao0101@163.com

套灌区中上游,属温带大陆性气候。土壤以灌淤土为主,以小麦、玉米和向日葵为主栽作物;主要灌溉用水来自黄河,采用大水漫灌方式,集中于春灌、夏灌和秋浇时段。河套灌区年均降雨量为136.7 mm,年平均蒸发量为2 032~3 179 mm,年蒸发量一般为年降水量的10~30倍^[8]。

1.2 试验设计

田间试验从2016年5月4日播种开始至2016年9月28日收获结束,供试作物为玉米(哲单314),播种前对试验区取土分析,结果如表1所示。小区随机排列,设9个处理(表2),3次重复,小区规格为19 m×7 m,玉米全生育期内施肥、灌水各3次,播种前基施50%的氮肥和全部磷,各材料均采用撒施方式。试验区灌溉采用大水漫灌形式,用水量约为900 m³/hm²,第1次灌水在5月11日(苗期),第2次灌水在6月8日(拔节期),第3次灌水在7月7日(大喇叭口期),浇水前追施尿素(2次追施N肥占总量的50%),作物生育期内各田间管理措施均保持一致。

表1 试验区土壤性质

土层深度/cm	TN量/ (g·kg ⁻¹)	有机质量/ (g·kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N量/ (mg·kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N量/ (mg·kg ⁻¹)	全磷量/ (g·kg ⁻¹)	有效磷量/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾量/ (mg·kg ⁻¹)
0~20	1.13	16.84	2.26	42.44	0.86	13.03	724.10
20~40	1.02	13.55	3.47	29.56	0.74	5.27	812.96
40~60	0.83	10.43	2.95	15.73	0.43	1.46	493.63
60~80	0.71	7.58	2.63	10.13	0.42	1.63	412.85
80~100	0.29	2.32	2.06	11.94	0.33	2.10	284.13

表2 试验处理

处理	肥料种类及用量	备注
膨润土(B)	磷酸二铵601.5 kg/hm ² +尿素827 kg/hm ² +膨润土6 015 kg/hm ²	主要成分为蒙脱石, SiO ₂ 占比50.5%, Al ₂ O ₃ 占比14.5%。
活性炭(C)	磷酸二铵601.5 kg/hm ² +尿素827 kg/hm ² +活性炭1 503 kg/hm ²	黑色多孔的固体炭质,比表面积500~1 700 m ² /g间,吸附性能很强。
有机肥(F)	磷酸二铵466 kg/hm ² +尿素398 kg/hm ² +有机肥3 760 kg/hm ²	市售颗粒状有机肥,可增加土壤有机质,改善土壤的理化性质。
腐殖酸(HA)	磷酸二铵601.5 kg/hm ² +尿素827 kg/hm ² +腐殖酸1 504 kg/hm ²	褐煤简单加工而成,与水中的金属离子离合,可改良土壤结构。
常规(CK)	磷酸二铵601.5 kg/hm ² +尿素827 kg/hm ²	试验区当地常规施肥量
缓控肥(HK)	缓控肥1 521 kg/hm ²	N、P、K养分配比28:12:10,具有“前控后释”减少养分淋失特点。
聚丙烯酸钾(PAA)	磷酸二铵601.5 kg/hm ² +尿素827kg/hm +聚丙烯酸钾75 kg/hm	分子量约1 000万,淡黄色颗粒状水溶性高分子聚合物,遇水膨胀。
聚丙烯酰胺(PAM)	磷酸二铵601.5 kg/hm ² +尿素827kg/hm +聚丙烯酰胺75 kg/hm	分子量约2 100万,白色颗粒状高分子聚合物,遇水膨胀。
生物菌肥(W)	磷酸二铵503kg/hm ² +尿素316 kg/hm ² +生物菌肥1 503 kg/hm ²	有效活菌数≥2亿/g

1.3 测定项目与方法

在整个生育期间,每次灌水5 d后取样,将各小区淋溶灌内的全部土壤水淋溶液用气泵式样品采集器取样,分别采集0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm,并记录每次采集的土壤水淋溶液总量。采样前对样品瓶进行编号,用蒸馏水清洗;采样时再用土壤水淋溶液润洗,确保每个样品量在1 000 mL以上,取样后土壤水淋溶液样品要冷冻保存,并及时送检,不能及时分析的样品需放在-4 ℃冰箱保存,分析前室温自然化冻,均匀混合,取上清液测定总磷和可溶性磷,降雨时加测。吸磷量、磷肥利用率、肥料偏生产力和农学效率计算式为:吸磷量=茎叶(或籽粒)含氮量×茎叶(或籽粒)干物质产量,磷肥利用率=(处理区作物吸磷量-对照区作物吸磷量)/施磷量,肥料偏生产力(PFP)=产量/特定肥料纯养分的投入量,农学效率(AE)=(施肥后所获得的作物产量-不施肥条件下作物的产量)/化肥投入量。

2 结果与分析

2.1 不同材料对土壤淋溶液总磷(TP)淋溶动态分布特征的影响

由图1可知,土壤淋溶液中TP主要存在于土壤淋溶层0~40 cm,TP平均质量浓度为13.8 mg/L,40~100 cm淋溶层TP平均质量浓度为7.6 mg/L。玉米生育期内基肥与追肥均撒施于土壤表层,土壤中存在的大量有机胶体增加了对P的吸附,且P素的迁移性小^[9],因此大部分集中于0~40 cm淋溶层。苗期和拔节期土壤淋溶液均是在施肥后进行的大水漫灌,导致大量P随灌溉水向下迁移,导致土壤水中P质量浓度升高,玉米苗期基肥占施肥量的50%,P质量浓度在苗期达到峰值;随着作物的生长以及土壤对P的吸附固定作用^[10],P在大喇叭口期质量浓度降低,淋溶风险下降。收获前期,作物生长进入旺盛期,对各形态P的需求和吸收量增加,与此同时土壤对P仍有吸附固定作用,导致P质量浓度降到最低。不同材料处理间由于材料理化性状

不同,与CK相比,B、C处理能够显著增加土壤孔隙度和有效提高了土壤吸附性,减少P向深层淋溶,降低淋溶液P质量浓度,分别减少24.76%和21.32%。PAA、PAM处理均属于保水材料,可有效抑制水分蒸发,防止水土流失,在灌溉条件下,仍可节水50%以上,减少淋溶液下渗,与CK相比,有效抑制P素淋溶18.36%和17.31%。HA处理对碱性土壤有缓冲作用^[11],改善土壤团粒结构,增加土壤代换量,延缓P的钝化^[12],有蓄肥保肥作用。HK处理具有“前控后放”特性,作物苗期玉米养分需求少肥料养分释放缓慢,后期随作物生长而逐渐释放,有效减少养分淋失。W处理由于试验地采用大水漫灌方式进行灌溉,不利于微生物存活,试验处理效果不太明显。

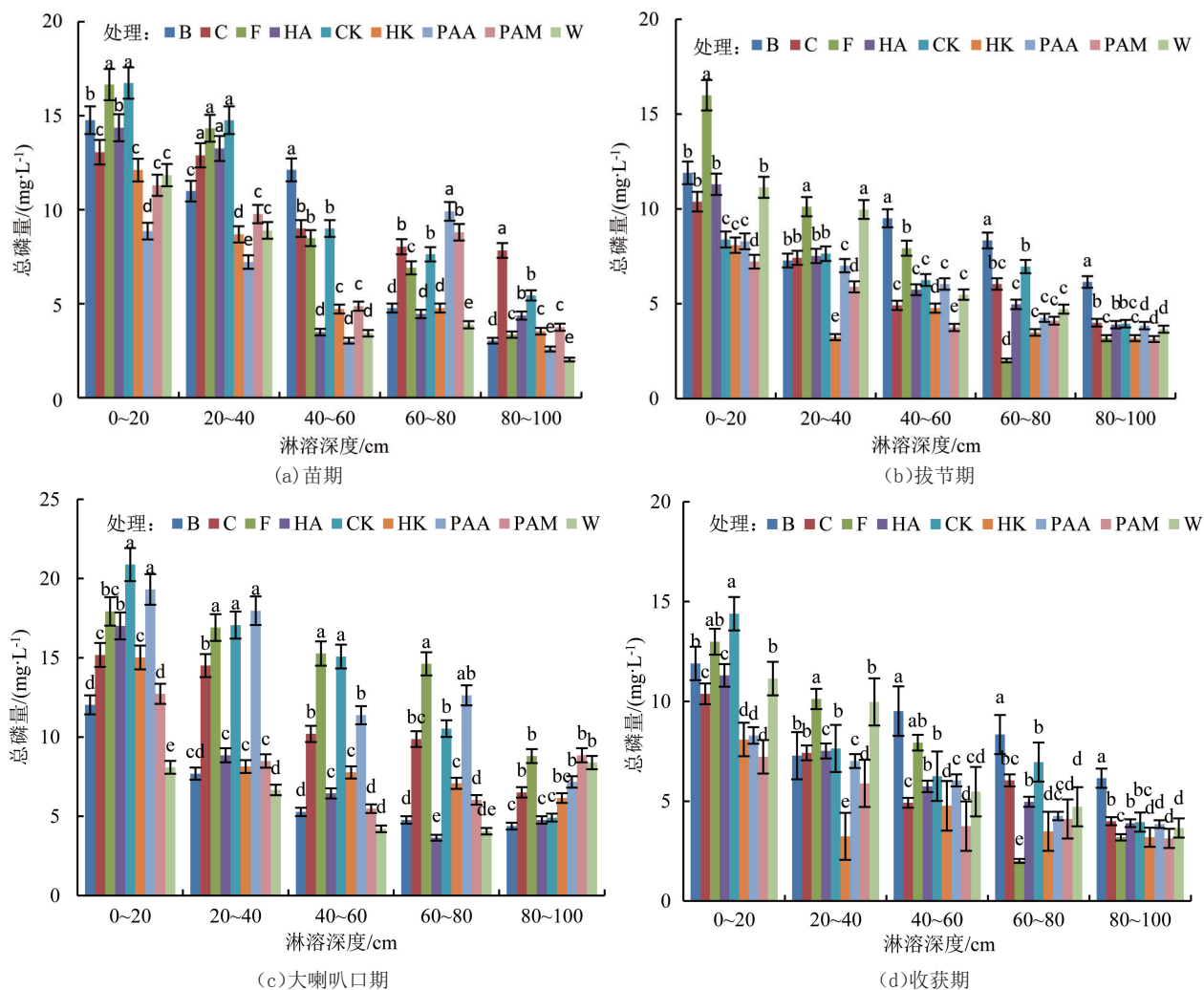


图1 不同材料对土壤淋溶液TP淋溶动态分布特征的影响

2.2 不同材料对土壤淋溶液可溶性磷(SP)淋溶动态分布特征

由图2可知,在0~20 cm淋溶层SP质量浓度平均值为3.21 mg/L,20~40、40~60、60~80 cm淋溶层质量浓度平均值分别为2.74、2.31、1.97 mg/L,80~100 cm淋溶层SP质量浓度平均值为1.31 mg/L。可见,SP随着淋溶层的增加而逐渐下降,在水分淋溶和作物等作用,浅层的养分向下不断迁移,使浅层各养分质量浓度较快的下降,造成地下水环境的污染,表层土壤相对于深层土壤的流失潜能较高。研究表明农田磷素以径流流失为主,施肥对磷素径流流失影响明显^[13]。已有研究表明,施入土壤后磷肥只有少部分在土壤中呈离子态的磷酸盐能被作物吸收,而溶于土壤水溶液中的则直接随灌溉水淋溶到深层地下水^[14]。

同一淋溶层不同材料处理下,F处理对淋溶层SP影响显著,这是因为F处理增施有机肥,有机肥中含P量较高,施肥后短时间内大水漫灌导致磷素大量淋溶到土壤中,使SP质量分数升高,较CK质量分数平均提高14.84%。B、C处理对土壤磷素具有较强的吸附性,SP质量分数平均降低32.47%和31.15%;PAM和PAA平均降低28.45%和22.82%。HK处理由于施用缓控释肥,故养分在作物幼苗期缓慢释放,在作物生育后期仍能持续供应,能使耕作层土壤养分在玉米生育后期内仍能维持较高水平,因此在大喇叭口期淋溶液SP质

量浓度相对较高。

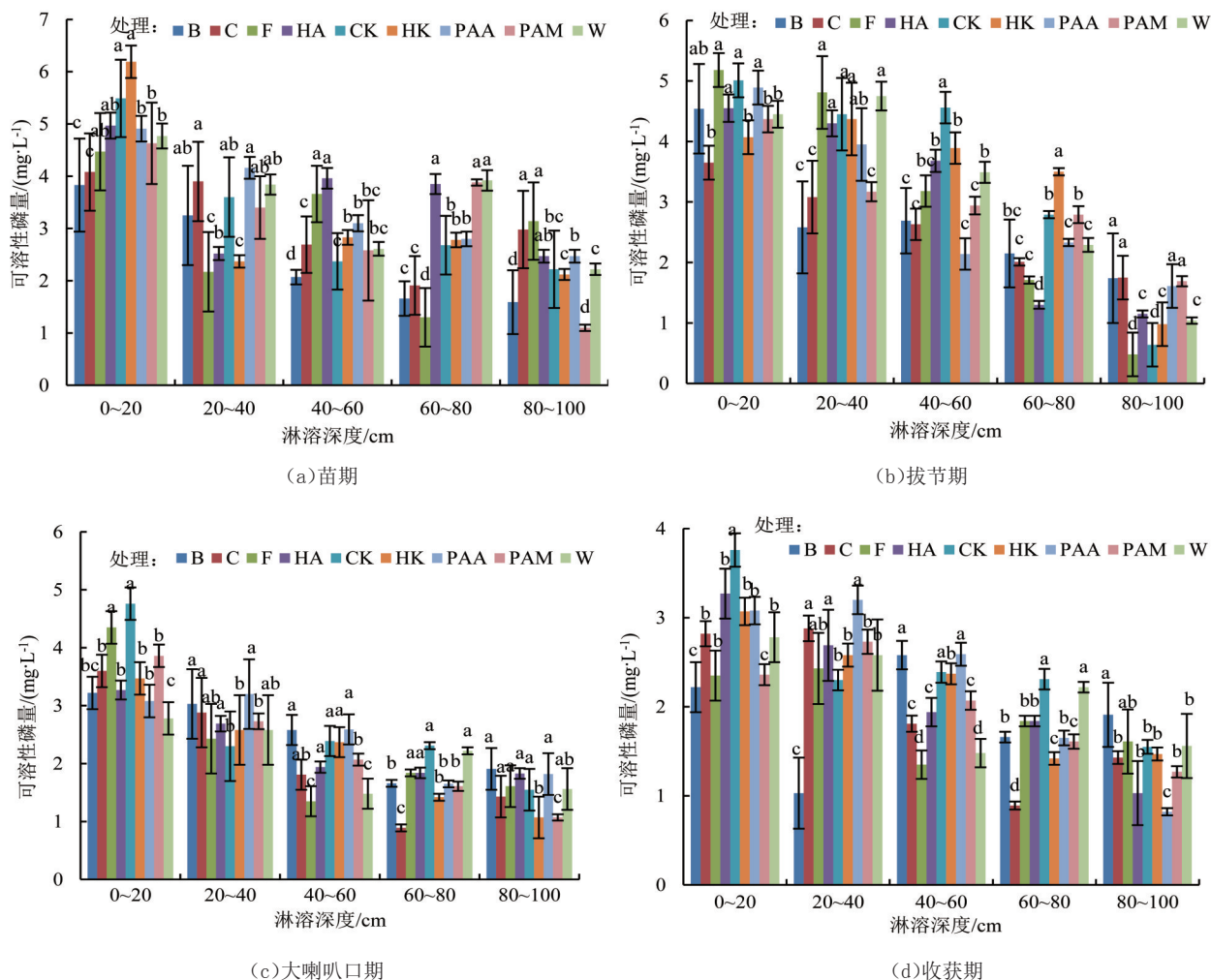


图2 不同材料土壤-可溶性磷淋溶动态分布特征

2.3 不同材料处理对作物产量、磷素吸收与残留的影响

作物收获后,土壤和淋溶液中有相当数量的磷素残留,淋溶液中磷素越高,则磷素的淋失率越大,淋失的磷素必将形成农业面源污染。玉米需肥量大,对磷肥较为敏感^[15]。研究表明,施用适量磷素对玉米有极显著的增产作用,长期不施磷肥会造成土壤全磷和有效磷量降低,甚至导致玉米绝产^[16]。磷素可以促进氮素向籽粒运转,影响玉米灌浆期和籽粒发育,增加穗粒数^[17],从而增加产量。

由表3可知,不同材料处理影响土壤磷素淋溶特征分布吸附和固定,进而影响作物对磷的吸收,B、C、PAA、PAM较CK增产3.7%、1.2%、3.0%、1.8%,磷肥利用率较CK增加5.23%、4.36%、2.07%、0.76%。

表3 不同处理下作物的产量、磷素吸收量与残留量

处理		B	C	F	HA	CK	HK	PAA	PAM	W
生物量/(kg·hm ⁻²)	茎叶	146.43 a	292.34a	224 c	381 bc	247 c	221 b	214ab	217 ab	219 c
	籽粒	7695 a	7507 a	7524a	7435 a	7419 a	7443 a	7638 a	7558 a	7424 a
吸磷量/(kg·hm ⁻²)	茎叶	143 a	145a	181a	80 b	79 a	81 a	81a	81a	80 b
	籽粒	93 a	92 ab	91ab	90 b	91 a	92 ab	91ab	92ab	90 b
磷肥利用率/%		9.65 a	9.57 a	13.42 a	10.32 b	9.17 a	10.52 a	9.36 a	9.24 a	8.84 b
磷残留率/%		51.18 a	55.38 a	59.62 ab	62.94 b	61.18 a	63.31 a	59.68 ab	57.02 ab	64.94 b

3 讨论

农田磷淋溶是磷素损失的主要途径,肥料种类和土壤结构对磷的淋溶有着极其重要的影响。本试验是在田间自然状况下进行,农田施肥量和田间管理均依照当地常规进行。已有研究^[18]表明,5、8 a长期施肥农田(黏土)的多数磷累积在上部45 cm土壤剖面,该结果与本研究磷素主要集中在0~40 cm土壤淋溶层基本

一致;可溶性磷所占的比例较大,占土壤水淋溶液中总磷的47.6%~82.1%,可溶性磷为磷素存在的主要形态,这与已有研究在冬麦不同施磷水平下土壤磷素淋溶试验^[19]结果相一致;同时,有关研究表明在农田中施入保水剂磷素淋失量显著低于不加保水剂处理^[20]。本文在施用有机肥、腐殖酸、缓控肥和生物菌肥处理时对减少磷素淋溶的效果不太明显,可能是因为施用有机肥短期内导致磷素在土壤中富集,导致淋溶液磷素增加;而腐殖酸和生物菌肥需长期施用对于保持、改善和提高土壤肥力、活化土壤养分作用显著;施用缓控肥处理未能有效降低P素淋溶,与实际理论存在差异,可能与当地采用大水漫灌方式有关,有待单独进行缓控肥肥料试验验证。河套灌区磷肥的利用率不足20%,造成的农业面源污染日益严重,由于磷素淋溶常发生在孤立的事件中,有随机性、阵发性,更重要的是,磷在土壤中的形态十分复杂,各形态间存在的动态相互转化,同时磷素淋溶与土壤质地、土壤结构、植被覆盖、降雨量、施肥量以及土壤含磷量等有着密切的联系^[20]。因此仍需进一步长期进行监测,包括流域监测、小区监测、农田多点位监测,同时结合室内淋溶模拟试验计算淋失量。

4 结 论

土壤淋溶液中TP和SP在不同淋溶层质量浓度变化趋势大致基本一致。TP的变化幅度小于SP的,且TP的变化较SP的变化略有滞后。磷素质量浓度与地下水位和灌水时间紧密相关,灌水后地下水位明显上升,且地下水中SP和TP的量也较灌水前显著增加。在40 cm以下淋溶层,磷素量随淋溶层增加而基本保持不变,说明土壤对P的吸附能力很强,磷素主要集中在0~40 cm土壤淋溶层。不同材料处理间膨润土、活性炭、聚丙烯酰胺、聚丙烯酸钾处理效果明显,土壤淋溶液总磷质量浓度较常规处理平均降低24.76%、21.32%、18.36%、17.31%,可溶性磷降低32.47%、31.15%、28.45%、22.82%,玉米籽粒产量分别提高了3.7%、1.2%、3.0%、1.8%,磷肥利用率显著较CK增加5.23%、4.36%、2.07%、0.76%。

参考文献:

- [1] 吕家珑. 农田土壤磷素淋溶及预测[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2 689-2 701.
- [2] 赵牧秋, 温林钦. 施磷对下辽河平原稻田土壤溶液可溶性磷动态变化的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(2): 332-335.
- [3] 王桂琴, 马友华, 孙兴旺, 等. 巢湖流域麦稻轮作农田径流氮磷流失研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 6-10.
- [4] 张璇, 郝芳华. 河套灌区不同耕作方式下土壤磷素的流失评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 37-40.
- [5] 张曙光, 张学奎, 王金玲. 关于黄河非点源污染控制问题的思考[J]. 中国水土保持, 2004(8): 11-12.
- [6] 刘路广, 崔运来, 冯跃华. 引黄灌区潜水蒸发规律与计算方法研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 18-22, 33.
- [7] HECKRATH G, BROOKES P C, POULTON P R, et al. Phosphorus Leaching from Soils Containing Different Phosphorus Concentrations in the Broad balk Experiment[J]. Journal of Environmental Quality, 1995, 24(5): 904-910.
- [8] 张霞, 程献国, 张会敏, 等. 内蒙引黄灌区田间节水潜力计算方法分析[J]. 节水灌溉, 2006(2): 20-23.
- [9] 朱红英, 董树亭, 胡昌浩, 等. 不同控释肥用量对玉米生产效应的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(2): 114-116.
- [10] 韩志卿, 韩志才, 张电学, 等. 长期施肥对褐土及其微团聚体磷素形态分布和有效性的影响[J]. 华北农学报, 2011(6): 24-28.
- [11] BARONTI S, ALBERTI G, GENESIO. Effects on soil fertility and on crops production[C]//2nd International Biochar Conference IBI September.UK: Newcastle-Gateshead, 2008: 698-703.
- [12] 王超, 赵培, 高美荣. 紫色土丘陵区典型生态-水文单元径流与氮磷输移特征[J]. 水利学报, 2013, 44(6): 748-755.
- [13] 孙海栓, 吕乐福, 刘春生, 等. 不同形态磷肥的径流流失特征及其效应[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 90-93.
- [14] 王丽, 王力, 王全九. 不同坡度坡耕地土壤氮磷的流失与迁移过程[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 69-75.
- [15] 孙桂芳, 金继运, 石元亮. 土壤磷素形态及其生物有效性研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2011(2): 1-9.
- [16] 于天一, 李玉义, 逢焕成, 等. 长期不施磷肥对旱地红壤养分比例与玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(2): 25-28.
- [17] 甄兰, 廖文华, 刘建玲. 磷在土壤环境中的迁移及其在水环境中的农业非点源污染研究[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(3): 124-127.
- [18] SOGBEDJ I J M, VAN ES H M, YANG C L, et al. Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type [J]. Journal of Environment Quality, 2000, 29(6): 1 813-1 820.
- [19] 张翠容, 吕家珑, 潘杨, 等. 冬麦不同施磷水平下土壤磷素淋溶试验[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 105-109.
- [20] 杜建军, 苟春林, 崔英德, 等. 保水剂对氮肥氮挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1 296-1 301.

Impact of Soil Amended with Different Materials on Phosphorus Leaching in Hetao Irrigation District

ZHAO Chunxiao, WEI Shuzhen, GAO Fanshen, GAO Wa, WANG Yingnan, ZHENG Haichun
(Inner Mongolia Autonomous Region Soil Fertilizer and Water Saving Agricultural Workstation, Hohhot 010010, China)

Abstract:【Objective】 Soil amendment is a technique to improve soil productivity, and the objective of this paper is to study the change of phosphorus leaching in soil amended with different materials in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia Hetao. 【Method】 The experiment was conducted in a corn field in Hetao Irrigation District with soil amended by activated carbon, bentonite, biological fertilizer, organic fertilizer, granular polyacrylamide and polyacrylic acid potassium, and humic acid fertilizer, respectively. During the experiment, we measured the change in total phosphorus (TP) and soluble phosphorus (SP), and analyzed phosphorus leaching. 【Result】 Compared with conventional treatment, soil amended with bentonite, activated carbon, potassium polyacrylate, and polyacrylamide reduced the total soluble P by 24.76%, 21.32%, 18.36% and 17.31%, respectively; and the concentration of soluble P by 32.47%, 31.15%, 28.45% and 22.82% respectively. Compared with the conventional treatment, soil amended with biological fertilizer, humic acid and slow-released fertilizer did not have a noticeable impact on TP and SP concentration in soil water, while the soil amended with granular organic fertilizer increased phosphorus content in soil water. The phosphorus taken up by plant increased slowly with fertilizer application. Phosphorus was mainly found in the 0~40 cm soil, while below 40 cm the phosphorus content remained also unchanged. The fraction of soluble phosphorus in soil water was large, reaching 47.6% to 82.1% of TP in found soil water at an average of 67.8%. Soluble phosphorus was the main form of phosphorus in soil water. 【Conclusion】 The eight amending materials affect total phosphorus and soluble phosphorus differently, and compared with others, bentonite, activated carbon, potassium polyacrylate and polyacrylamide affected P more significantly after being amended with soil.

Key words: non-point source pollution; treatment measures; nutrient leaching; characteristic distribution

责任编辑:刘春成

(上接第56页)

The Interactive Impact of Water and Nitrogen on Greenhouse Green Pepper Under Film-mulched Drip Irrigation

CHENG Minghan^{1,2,3}, HAO Zhongyong^{1,3*}, YANG Shengli^{1,3}, JIAO Xiyun², FAN Haiyan^{1,3}

(1. Beijing Water Science and Technology Research Institute, Beijing 100048, China; 2. Hohai University Water Conservancy and Hydropower College, Nanjing 210098, China; 3. Beijing Non-conventional Water Resources Development and Utilization and Water Saving Engineering Technology Research Center, Beijing 100048, China)

Abstract:【Objective】 Nitrogen fertilizer is one of important fertilizers for crop growth, and the purpose of this paper is to experimentally explore the interactive effects of water and nitrogen fertilizer on greenhouse pepper under different combined ratios of irrigation and nitrogen fertigation. 【Method】 We examined two irrigation rates: one at 70% of the field capacity (W1) and the other one at 80% of the field capacity (W2), and three nitrogen applications: 50 kg/hm² (F1), 85 kg/hm² (F2) and 120 kg/hm² (F3), with the combination of conventional irrigation and fertilization as control. Overall, there were seven treatments. In each treatment, we measured the plant height, stem diameter, leaf area index, net photosynthetic rate, transpiration rate, total yield, water use efficiency, and partial productivity of nitrogen fertilizer. 【Result】 The yield in nitrogen application of 120 kg/hm² was significantly higher than that in other treatments. The principal component analysis showed that the yield of pepper under the seven treatments was ranked in W1F3>W2F3>CK>W2F2>W1F1>W1F2>W2F1. 【Conclusion】 The combination of irrigation by keeping soil moisture at 70% of the field capacity and 120 kg/hm² of nitrogen application is the optimal irrigation and nitrogen fertilization for the greenhouse green peppers studied in this paper.

Key words: water-nitrogen coupling; total yield; water production efficiency; principal component analysis

责任编辑:赵宇龙