

保水材料对河套灌区土壤硝态氮和 铵态氮动态变化的影响

赵春晓¹, 郑海春², 杨彦明¹, 红 梅¹, 郜翻身²

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古土壤肥料和节水农业工作站, 呼和浩特 010010)

摘 要:为了研究内蒙古河套灌区农业化肥面源污染检测和治理措施, 采用大田土壤淋溶试验, 分析了河套灌区农田在保水材料处理下, 玉米生育期内土壤硝态氮、铵态氮累积量及动态变化特征。结果表明, 与CK相比, 保水材料处理玉米苗期土壤 NO_3^- -N累积量平均提高20.49%, 收获期平均降低13.98%; 苗期土壤 NH_4^+ -N累积量平均提高35.21%, 收获期平均降低28.93%。保水材料有效地抑制了氮素的淋溶损失, 提高了氮素利用率, 同时保证了玉米生育后期有效氮的供应, 避免短时间内氮素的大量累积, 在一定程度上减少了化肥面源污染, 为农业面源污染治理提供有力措施。

关 键 词: 保水材料; 土壤残留; 氮素利用率; 养分淋溶损失

中图分类号: S152.7

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.02.012

赵春晓, 郑海春, 杨彦明, 等. 保水材料对河套灌区土壤硝态氮和铵态氮动态变化的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(2): 76-80.

0 引 言

化肥的施用促进了粮食增产, 但盲目施肥不仅增加农业生产成本, 而且造成肥料资源的巨大浪费。农田氮素淋溶损失是造成农业面源污染的主要原因之一^[1], 国内外对农田面源污染氮素淋溶损失已经做了相关分析研究, 但研究方法主要集中在地面覆盖、滴灌和工程节水等技术方面。虽然这些措施能够在一定程度上提高化肥利用率, 但造价高、耗资大的弊端使其不能有效的推广应用^[2], 而对于保水材料的施用多集中于室内土壤养分流失及转化, 大田研究相对较少。保水材料在我国被称为继化肥、农药、地膜之后的第四种最有希望被农民接受的新型农用制品^[3], 是高效、多功能、低能耗、低投入、使用方便的新型技术产品, 是国家鼓励推广并重点支持开发的农业新技术产品。

保水材料是利用强吸水性树脂制成的具有超高吸水能力的高分子聚合物, 实质在于其具有强的吸附性, 吸水后膨胀为凝胶抑制土壤中养分向下渗透和向上散失, 对养分起到了缓冲作用^[4], 使得溶于水中的养分和一些作物需要的物质也随之被固定, 后期又能将水分缓慢释放供土壤、植物吸收利用^[5], 一定程度上减少土壤中肥料养分的无效损失, 提高了土壤养分利用率, 进而达到减少化肥的深层渗漏和土壤养分淋溶流失, 减少农业面源污染。

内蒙古河套灌区是中国三个特大型灌区之一, 是商品粮生产、加工、输出基地主要区域, 对内蒙古农业经济、粮食安全具有举足轻重地位; 农田化肥用量已由1978年的 7×10^4 t迅速上升到2014年的 223×10^4 t, 其中氮肥用量 97.14×10^4 t, 约占化肥总用量43.6%, 年氮肥施用强度达到 361.86 kg/hm^2 , 且逐年上涨, 化肥利用率仅为30%左右^[6], 较大部分氮素通过挥发、淋失、渗漏损失, 农业面源污染已经严重影响了我国生态环境的安全。兹就保水材料在河套灌区大田施用对土壤 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N动态变化特征进行研究, 分析保水材料对氮素淋失的影响, 为治理化肥面源污染提供重要的理论依据和合理防治措施。

收稿日期: 2016-06-23

基金项目: 内蒙古河套灌区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。硕士研究生。E-mail: zhaochunxiao0101@163.com

通信作者: 郑海春(1960-), 男。二级推广研究员, 主要从事土壤改良和科学施肥。E-mail: haichunzheng@126.com

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验田位于内蒙古巴彦淖尔市杭锦后旗联增村,地处北纬 $40^{\circ}19'$ — $41^{\circ}18'$,东经 $106^{\circ}20'$ — $109^{\circ}19'$;属温带大陆性气候,年平均降雨量 138.2 mm ,蒸发量 $2\,096.4\text{ mm}^{[7]}$;作物以小麦、玉米和向日葵为主;主要灌溉用水来自黄河水,集中在春灌、夏灌和秋浇3个时段。

1.2 试验设计

该试验田种植作物为玉米(哲单314),田间试验从2015年5月5日播种开始至2015年9月26日收获结束。试验处理及施肥量分别为:农民常规施肥小区,记为CK,基肥施肥量二铵 7 kg ,尿素 10 kg ,第一次追施尿素 5 kg ,第二次追施尿素 5 kg ;农民常规施肥+聚丙烯酸钾试验区(PAA处理),每个小区PAA用量为 1 kg ;农民常规施肥+聚丙烯酰胺试验区(PAM处理),每个小区PAM材料用量为 1 kg 。田间试验小区随机排列,每个处理3次重复,小区面积: $19\text{ m}\times 7\text{ m}=133\text{ m}^2$ 。农民常规施肥(磷酸二铵 600 kg/hm^2 做基肥+尿素 825 kg/hm^2 做追肥)和保水材料(75 kg/hm^2)均采用撒施方式,保水材料与基肥同期施用且施用一次,其他田间管理措施相同。

1.3 试验方法

1.3.1 灌水及施肥

在玉米全生育期内施肥、灌水各3次,在播种前基施50%的氮肥和全部磷肥。试验区灌溉采用漫灌的形式,用水量为 $700\sim 900\text{ m}^3/\text{hm}^2$,第一次灌水在5月11日(苗期),浇第一水前追施尿素(基肥占N肥总量的50%);第二次灌水设在6月8日(拔节期),第三次灌水在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%)。

1.3.2 土壤样品采集

在生育期内,分别采集 $0\sim 20$ 、 $20\sim 40$ 、 $40\sim 60$ 、 $60\sim 80$ 、 $80\sim 100\text{ cm}$ 土层土样,用土钻取土,每个小区随机采取3个样点,将同一土层土样混合,确保 $0\sim 20\text{ cm}$ 土壤样品总量不少于 2.5 kg ,其余层次土壤样品不少于 1.0 kg 。同时,采集新鲜土壤样品 1.0 kg 置于封口袋中,立即冷冻保存,以备测土壤 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N。土壤中的 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N用 2 mol/L 的KCl溶液浸提,称 5 g 新鲜土放入振荡瓶中,加 5 mL 的KCl溶液,振荡 1 h 过滤,然后用连续流动分析仪测定滤液中 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N质量分数。

1.4 计算方法

吸氮量=茎叶(或籽粒)含氮量 $\times$ 茎叶(或籽粒)干物质产量

氮肥利用率=(作物吸氮量-对照区作物吸氮量)/施氮量 $\times 100\%$

氮素残留率=(收获后处理区 $0\sim 100\text{ cm}$ 土层残留N量-对照 $0\sim 100\text{ cm}$ 土层残留N量)/施氮量 $\times 100\%$

2 结果与分析

2.1 NO_3^- -N累计量垂直分布特征

由图1可见,在不同土层不同生育期土壤 NO_3^- -N质量分数变化均呈现为先减小再升高趋势。以苗期为例,在 $0\sim 20\text{ cm}$ 土层,保水材料处理下 NO_3^- -N的质量分数高于CK,PAM、PAA处理土壤 NO_3^- -N质量分数较CK分别提高24%和18%,且各处理差异均显著。可见,保水材料能够有效地吸附氮素,使其截留在浅土层,不至于随着水分的迁移向下淋失,提高了土壤保肥能力和促进养分有效利用率。随着土层深度增加,在 $20\sim 60\text{ cm}$ 土层中 NO_3^- -N质量分数随垂直深度增加逐渐减少,变化趋势缓慢,可见保水材料施入土壤后对浅土层产生的影响大于深土层;在 $60\sim 100\text{ cm}$ 土层中,各处理实验区 NO_3^- -N质量分数均增大,且保水材料处理 NO_3^- -N质量分数小于CK,即 $\text{CK}>\text{PAA处理}>\text{PAM处理}$;这是由于当地土壤水分的渗漏以及地下水层较浅,同时难以被土壤颗粒吸附的 NO_3^- -N,随着灌溉水淋溶进入深层土壤。一般认为 $0\sim 60\text{ cm}$ 土层中 NO_3^- -N易被作物根系吸收,而 $60\sim 100\text{ cm}$ 土层 NO_3^- -N在作物生长期难以利用, 100 cm 深土层的土壤水分几乎处于饱和状态。保水材料的施用可显著增强土壤的反硝化趋势,从而削弱了土壤中 NO_3^- -N的积累。大田施用保水材料可增加土壤团聚体量,提高土壤阳离子交换量,增加对 NO_3^- -N的固持作用,进而阻碍了 NO_3^- -N向地下部迁移。

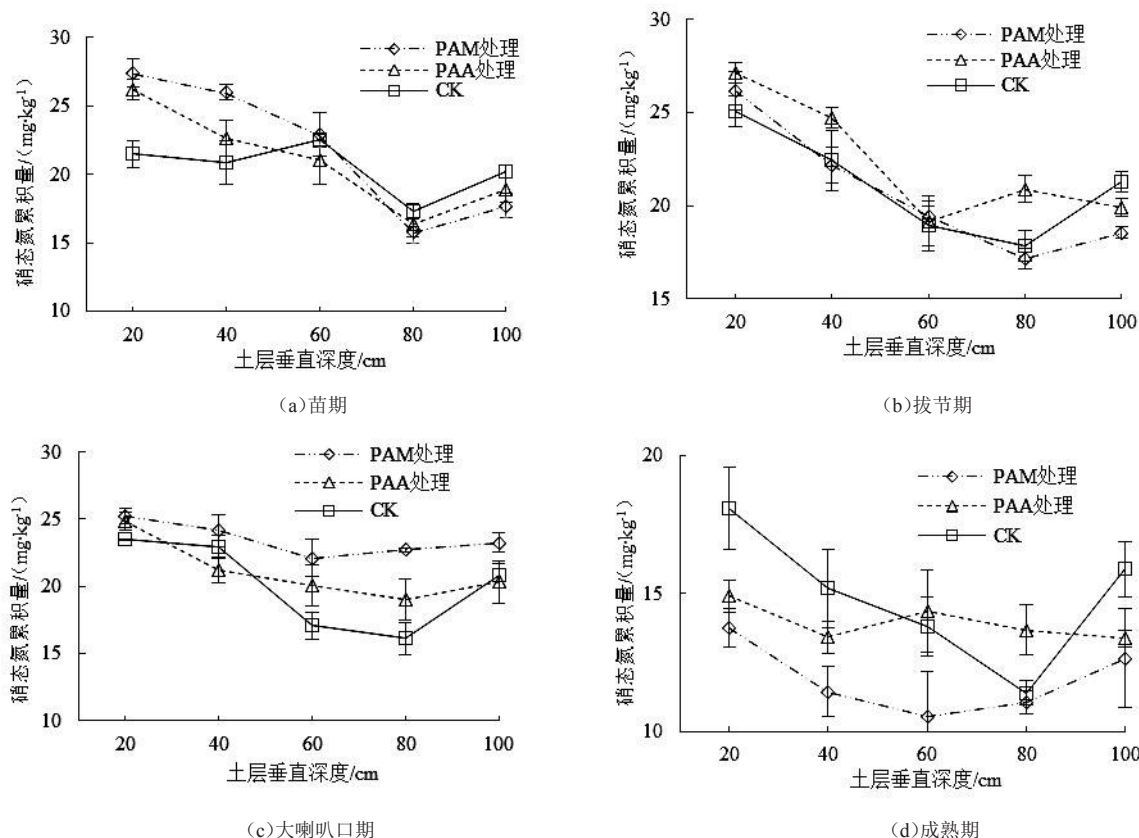


图1 0~100 cm 土层中 NO_3^- -N 量垂直分布

2.2 NH_4^+ -N 累积量垂直分布特征

由表1可知,由于保水材料采用表面撒施方式,对土壤 NH_4^+ -N 累积量的影响主要是浅土层,施用后土壤内部团粒结构增多,空隙性得到改善,进入分子内部的养分暂时被包裹起来^[8],从而固定下来延缓养分释放抑制其流失。以苗期为例,在0~20 cm 土层保水材料处理 NH_4^+ -N 累积量显著高于CK,各试验小区随着土层深度的增加 NH_4^+ -N 质量分数均呈现下降趋势,在0~80 cm 土层, NH_4^+ -N 质量分数表现为: PAA 处理>PAM 处理>CK,保水材料处理比CK 试验 NH_4^+ -N 质量分数增加了11.3%,80~100 cm 土层 NH_4^+ -N 质量分数表现为: CK>PAM 处理>PAA 处理,保水材料处理较CK 平均降低7.8%;而CK 试验区,在80~100 cm 土层中, NH_4^+ -N 质量分数升高,这与当地的地下水埋深较浅有关,水势的作用下上升补给土壤水分,淋溶水含 NH_4^+ -N 导致80~100 cm 土层 NH_4^+ -N 量增加。 NH_4^+ -N 的淋溶主要以水分的迁移为载体,保水材料可减少水分的深层渗漏,增强土壤对 NH_4^+ -N 的吸附作用,使 NH_4^+ -N 难以迁移至更深层次,有效抑制 NH_4^+ -N 向地下水的迁移。

表1 NH_4^+ -N 累积量的垂直分布

表 1 NH ₄ ⁺ -N 累积量的垂直分布									mg/kg
时期	土层深度/cm	PAA 处理	PAM 处理	CK	时期	土层深度/cm	PAA 处理	PAM 处理	CK
苗期	0~20	13.95±1.79 a	9.83±3.23 a	7.11±0.54 b	大喇叭口期	0~20	9.94±3.02 a	12.30±6.26 a	10.14±1.53 a
	20~40	6.40±0.14 b	9.77±3.31 a	5.42±0.11 c		20~40	7.86±0.23 ab	9.53±1.37 b	6.25±0.27 cd
	40~60	6.17±1.32 b	7.94±2.44 a	6.21±0.92 ab		40~60	6.50±0.25 b	8.42±2.24 b	5.90±0.29 d
	60~80	10.18±0.74 c	7.76±1.41 a	5.88±0.56 bc		60~80	5.91±0.61 b	7.21±0.73 b	8.12±0.02 b
	80~100	7.67±2.26 bc	6.79±1.36 b	8.18±1.31 a		80~100	6.05±0.12 b	7.40±0.28 b	7.35±0.3 bc
拔节期	0~20	23.29±0.78 a	22.97±0.17 a	20.93±2.25 a	成熟期	0~20	4.68±0.78 a	7.28±4.06 a	9.53±2.41 a
	20~40	18.78±2.28 b	17.30±0.30 b	11.03±5.64 b		20~40	1.26±0.04 c	2.45±0.28 b	2.08±0.42 b
	40~60	14.49±2.97 c	14.89±2.80 bc	9.35±2.08 b		40~60	1.26±0.11 c	3.37±1.20 b	5.03±3.62 ab
	60~80	14.50±2.68 c	12.13±0.30 cd	8.48±3.10 b		60~80	2.24±0.26 b	1.99±0.37 b	1.92±0.66 b
	80~100	12.02±0.54 c	9.31±2.68 d	11.59±0.40 b		80~100	2.02±0.27 b	1.71±0.13 b	4.80±3.47 ab

注 不同小写字母代表 $p<0.05$ 水平下差异显著,下同。

2.3 不同生育期 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 累积量变化特征

由表2可知,不同生育期土壤氮素累积量随灌水、施肥以及作物的生长状况呈现不同动态变化特征,由于保水材料采用表面撒施方式,对浅土层氮素具有明显的吸附作用,因此选取0~20 cm 土层,分析保水材料

施用后不同生育时期土壤氮素累积量变化。苗期(5月11日)土壤中氮素主要来源于基肥,玉米处于苗期作物根系不发达,对养分需求量较小,同时灌水量小,土壤中氮素不易随水分淋溶流失,因此土壤 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N累积量较大,保水材料处理对 NO_3^- -N的吸附作用大于CK,具体表现为:PAM处理>PAA处理>CK。与CK相比,保水材料处理 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N累积量平均分别提高20.49%和24.16%。随着生育期推进,玉米于拔节期第一次追肥(6月8日),土壤中氮素来源于基肥和第一次追肥,苗期未被吸收的氮素仍残留于土壤中,导致拔节期土壤氮素累积量达到最高值,且PAA处理与CK差异显著。大喇叭口期(7月7日)是玉米大量利用吸收养分关键时期,此时的氮素主要来源于第二次追肥,且灌区灌水主要集中于7月,使得氮素更易随灌溉水淋溶下渗,使土壤中氮素累积量下降。由于 NO_3^- -N不易被土壤吸附且淋失量大,此时也是化肥面源污染最严重时期。成熟期(9月25日)玉米生育后期追肥停止以及秋灌次数较多从而土壤氮素累积量显著下降,达到最低值。与CK相比,保水材料由于前期对氮素的吸附作用,多余氮素储存于浅层土壤中,当追肥的停止后,保水材料又具有缓慢释放功能,使吸附于土壤中 NO_3^- -N释放,供作物根系进一步充分吸收利用,而CK土壤中氮素随灌溉水淋溶迁移到深层土壤,作物难以利用,氮素残留量增加,因此成熟期CK土壤中硝态氮累积量显著高于保水材料处理。保水材料处理较CK中 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N残留量平均下降13.98%和28.93%。成熟期各处理土壤氮素残留量表现为:CK>PAA处理>PAM处理,即成熟期CK土壤中氮素残留量最高。保水材料的施用,增强了土壤对N的吸持、固定,使氮的有效性得到提高,同时可有效延缓释放所存储的养分,供作物后期吸收,从而抑制氮素淋溶损失减少土壤氮素残留量。

表 2 不同生育期 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N累积量					mg/kg
处理	氮素形态	苗期	拔节期	大喇叭口期	成熟期
PAA	NO_3^- -N	27.41±1.26 a	26.13±1.03 a	23.56±2.57 a	13.74±1.68 b
	NH_4^+ -N	8.87±3.25 a	16.61±3.99 a	7.25±1.58 a	3.29±1.07 b
PAM	NO_3^- -N	26.21±1.02 ab	27.11±1.14 b	24.82±2.21 ab	14.91±1.49 b
	NH_4^+ -N	8.42±2.32 a	15.32±3.48 ab	8.97±2.59 a	3.35±2.09 ab
CK	NO_3^- -N	21.48±2.21 b	25.72±1.57 b	23.48±1.67 a	18.08±1.14 a
	NH_4^+ -N	6.56±3.20 b	12.27±2.36 b	7.55±1.81 a	4.67±1.82 a

2.4 氮肥用量对作物产量、氮素吸收与残留的影响

保水材料对土壤中氮素的影响主要取决于对 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N吸附以及保肥延缓肥效,同时玉米产量又决定氮肥在土壤中的残留情况。由表3可知,与CK相比,PAA处理显著增加了作物的产量和吸氮量,其中茎叶生物量和籽粒产量分别增加了507 kg/hm²和260 kg/hm²,二者吸氮量分别增加了2 kg/hm²和4 kg/hm²。PAM处理显著增加了作物的产量和吸氮量,其中茎叶生物量和籽粒产量分别增加了211 kg/hm²和72 kg/hm²,二者吸氮量分别增加了1 kg/hm²和2 kg/hm²;施用保水材料的氮肥利用率比CK平均提高14.7%。就土壤残留态氮而言,由于保水材料在玉米生育期内前期吸附的氮素在后期释放有利于作物,与CK相比较降低10.3%,说明施用保水材料能够减少土壤中氮素残留量。

表 3 不同处理水平的作物产量、氮素吸收量与残留量						
施氮量/(kg hm ⁻²)	生物量/(kg·hm ⁻²)		吸氮量/(kg·hm ⁻²)		氮肥利用率/%	氮残留率/%
	茎叶	籽粒	茎叶	籽粒		
PAA	7 288 a	7 695 a	82 a	94 a	35.42 a	51.18a
PAM	6 992 a	7 507 a	81 a	92 ab	33.87 a	55.38 a
CK	6 781 b	7 435 a	80 b	90 b	30.61 b	62.94 b

3 结论与讨论

1)试验表明,各试验区 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N量均随垂直深度的增加而减少。在0~60 cm土层中,与CK相比,保水材料对土壤中 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N的吸附作用显著,保水材料处理土层 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N累积量下降缓慢,避免了养分随灌溉水的淋溶而下降,且有效吸附量平均提高21%和28%。保水材料可避免氮素短时间内的大量淋失,起到了保持、延缓肥效和提高肥料利用率的作用。黄震等^[9]通过温室试验,研究了保水材料在一定范围浓度内对土壤养分的保蓄作用,可有效抑制养分向更深层次对流和扩散。

2)试验表明,与CK相比,玉米苗期保水材料处理土壤中 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N累积量分别提高20.49%和

24.16%,成熟期降低13.98%和28.93%,且成熟期各处理氮素累积量呈现为:CK>PAM处理>PAA处理,即成熟期CK施肥下土壤中 NO_3^- -N累积量最高,这些累积的 NO_3^- -N若未及时被作物吸收利用,会随灌水逐渐向下层淋溶,最终污染地下水源。经研究可知保水材料可延缓肥料,有效抑制氮素淋失,减少土壤残留量,增加作物产量。黄占斌^[10]等研究保水剂与尿素磷肥混合使用,玉米对尿素和磷肥利用效率提高了18.72%和27.06%;周斌^[11]等研究保水长效肥复合肥可延长灌水间隔期,使养分释放充分,保蓄养分,促进植物增产,与本文研究结果较为相似。

在追求产品产量、质量以及减少面源污染的多重要求下,利用效果好、成本低、节能环保的保水材料是我国可持续农业发展规划中最具研发前景的新型材料。保水材料在施用时应结合当地实际情况,建立长期定位观测,充分研讨发挥保水材料保肥和延缓肥效的特性,减少养分淋失,避免短时间内氮素大量淋溶,通过合理施肥、科学调控,最大限度减少农业面源污染。该试验将继续探讨保水材料长期施用对农田经济效益变化的影响,期望取得良好发展态势。

参考文献:

- [1] 杜军,杨培岭.不同灌期对农田氮素迁移及面源污染产生的影响[J]. 农业工程学报,2011,16(1):17-21.
- [2] 郑良永.保水剂在我国的研究应用现状与展望[J]. 广西热带农业,2005,12(6):26-27.
- [3] 杨连利,李仲谨,邓娟利.保水剂的研究进展及发展新动向[J]. 材料导报,2005,19(6):42-44.
- [4] 马煥成,罗质斌,陈义群,等.保水剂对土壤养分的保蓄作用[J]. 浙江林学院学报,2004,21(4):40-44.
- [5] 雷辉刚,魏竹涟,江锡瑜,等.保水剂在玉米栽培上的应用[J]. 贵州农业科学,1992,6(3):35-39.
- [6] 冯兆忠,王效科.河套灌区秋浇对不同类型农田土壤氮素淋失的影响[J]. 生态学报,2003,23(8):76-79.
- [7] 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.
- [8] 员学峰,吴普特,汪有科,等.施加PAM条件下土壤养分淋溶试验研究[J]. 水土保持通报,2003,23(2):30-32.
- [9] 黄震,黄占斌,李文颖,等.不同保水剂对土壤水分和氮素保持的比较研究[J]. 中国生态农业学报,2010,18(2):245-249.
- [10] 黄占斌,张国桢,李秧秧,等.保水剂特性测定及其在农业中的应用[J]. 农业工程学报,2002,18(1):22-26.
- [11] 周斌.保水长效复合肥的生产及其应用[J]. 化肥工业,2003,30(4):55-59.

Effect of Water Retaining Material on Soil Nitrate Nitrogen and Ammonium Nitrogen Dynamic Change in Hetao Irrigation Area

ZHAO Chunxiao¹, ZHENG Haichun², YANG Yanming¹, HONG Mei¹, GAO Fansheng²

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Inner Mongolia Soil and Fertilizer Work station, Hohhot 010010, China)

Abstract: To study non-point source pollution detection and control measures of Hetao irrigation area of Inner Mongolia agricultural, chemical fertilizer field soil leaching tests were used and soil nitrate nitrogen and ammonium nitrogen dynamic change in the Hetao irrigation farmland under the water-retaining material processing were analyzed. The results showed that water-retaining material could effectively adsorb NO_3^- -N and NH_4^+ -N leaching amount in shallow soil and it could reduce nutrient leaching. So it had the protecting of fertilizer applied delay effect. Compared to CK, soil NO_3^- -N accumulation amount of water-retaining material processing treatments increased by 20.49% in corn seedling period, but increased by 13.98% on average in the harvest period; Soil NH_4^+ -N accumulation amount increased by 35.21% on average, but increased by 28.93% on average in the harvest period. Water-retaining material effectively inhibited nitrogen leaching losses and improved the utilization rate of nitrogen. At the same time, it could guarantee the effective nitrogen supply of following corn stage and avoid a large number of accumulations in a short time. So to a certain extent, water-retaining material reduces the fertilizer non-point source pollution and provides the effective measures for agricultural pollution control.

Key words: water saving materials; residue in soil; nitrogen utilization rate; nutrient leaching loss

责任编辑:陆红飞