

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

赵春晓¹, 郑海春^{1*}, 郜翻身¹, 高 娃¹, 王 霞², 王 昇³

(1. 内蒙古自治区土壤肥料和节水农业工作站, 内蒙古 呼和浩特 010010;

2. 内蒙古巴彦淖尔市农业技术推广中心, 内蒙古 巴彦淖尔市 015000;

3. 内蒙古赤峰市农牧业科学研究院, 内蒙古 赤峰 024000)

摘 要: 为了探讨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缓控释尿素、活性炭、生物菌肥处理下, 玉米生育期内土壤硝态氮、铵态氮动态变化特征及氮肥利用情况。结果表明, 缓控释尿素、活性炭、微生物菌肥处理与常规处理相比, 在玉米拔节期、大喇叭口期土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量变化不太显著, 而苗期土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量平均分别提高 24.76%、18.36%、4.31%, 收获期平均分别降低 23.98%、12.53%、5.47%; 苗期土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量较常规处理分别平均提高 28.21%、15.47%、5.24%, 收获期平均分别降低 26.33%、16.93%、7.37%; 氮肥利用率分别较常规处理提高 15.71%、10.65% 和 5.16%。

关键词: 硝态氮; 养分淋失; 治理措施; 面源污染

中图分类号: S143.1; S513

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 06-0099-06

增施氮肥作为农业生产中的主要增产因子已经越来越多的被人们接受和认可。在追求经济效益的同时, 化肥的施用量迅速增加, 然而氮肥利用率却逐年下降, 其中氮肥施用量的 60% ~ 70% 不能被作物吸收^[1], 大多数以气态扩散到了大气里或经过降水、地表径流和土壤渗滤等作用进入到水环境中, 引发“从水体到大气”的全方位立体污染^[2], 造成湖泊、水库等水域的富营养化、土壤理化性状改变 (土壤板结、盐碱化、酸化、有机质含量偏低等) 及农产品中硝酸盐和亚硝酸盐含量超标严重。氮肥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^[3]。据统计, 内蒙古河套灌区总耕地灌溉面积为 57.4 万 hm^2 , 2015 年灌区化肥施用量达到 69 万 t, 有效成份折合 N 为 6.08 万 t, 铵氮超标率在 60% 以上, 作物对氮肥的利用率仅为 30%^[4]。

目前, 国内围绕灌区农业面源污染治理措施

的研究基本上是对灌区进行节水改造、水资源优化等方面展开的, 而在不改变农作物种植结构和耕作方式的前提下, 从污染物源头治理所采取的防治措施、明确污染物流失途径的迁移规律以及对污染物治理所采取的措施比较少。缓控释肥料具有“前控后释”的特性, 避免养分短期内大量流失^[5]; 生物炭具有多孔性、较大的表面积和电荷密度^[6], 较强的吸附作用能够延缓并减少硝态氮和铵态氮的淋失; 生物菌肥主要通过其特有的有益微生物菌群发挥功效^[7], 制造和协助作物吸收养分, 维持和提高土壤肥力, 提高养分利用率。因此, 本文采用缓控释肥料、活性炭以及生物菌肥探讨农业面源污染治理的防治措施, 在田间自然状态下, 通过土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量测定对土壤中氮素的积累与淋失程度进行评价, 了解氮素迁移规律, 减少其对农田生态环境的污染。

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, 地处河套灌区中上游, 地理座标为东经

收稿日期: 2017-01-17; 最后修订日期: 2017-08-03

作者简介: 赵晓春 (1990-), 男, 内蒙古人, 农艺师, 硕士, 研究方向为科学施肥。E-mail: zhaochunxiao0101@163.com。

通讯作者: 郑海春, E-mail: haichunzheng@126.com。

106°34′~107°34′, 北纬 40°26′~41°13′, 属温带大陆性气候^[8]。作物以小麦、玉米和向日葵为主; 主要灌溉用水来自黄河, 集中在春灌、夏灌和秋浇 3

个时段。河套灌区年均降水量 136.7 mm, 年平均蒸发量 2 032~3 179 mm, 年蒸发量一般为年降水量的 10~30 倍^[9]。

表 1 试验区土壤基本性状

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

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, 种植作物为玉米 (哲单 314)。田间试验小区随机排列, 小区面积 19 m × 7 m = 133 m², 作物生育期内各处理小区灌水时间、灌水量等管理措施均保持一致。

试验共设 4 个处理 3 次重复。各处理材料用量及性质分别为: 农民习惯施肥处理记为 CK, 磷酸二铵 (N 18%, P₂O₅ 46%) 600 kg/hm²作基肥 + 尿素 (N 46%) 825 kg/hm²作追肥; 缓控释肥处理记为 HK, 缓控释肥 (N - P₂O₅ - K₂O: 24 - 10 - 12) 一次性基施 785.6 kg/hm²; 农民习惯施肥 + 活性炭处理记为 C, 以木炭为原料, 孔半径 > 20 000 nm, 一次性撒施 1 503.7 kg/hm²; 农民习惯施肥 + 微生物菌肥处理记为 W, 有效活菌数 ≥ 2 亿/g, 一次性表面撒施 1 284.5 kg/hm²。

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。试验区灌溉采用大水漫灌的形式, 农民习惯施肥和保水材料均采用撒施方式。用水量为 700~900 m³/hm², 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 (两次追施 N 肥占总量的 50%)。

1.3 试验方法

在生育期内, 用土钻分别采集 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层土样置于密封口袋中, 每个小区随机采取 3 个样点, 将同一层次土样混合, 确保 0~20 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, 取完样品立即冷冻保存, 以备测土壤 NO₃⁻ - N 和 NH₄⁺ - N。

土壤中的 NO₃⁻ - N 和 NH₄⁺ - N 用 2 mol/L 的 KCl 溶液浸提, 称 5 g 新鲜土样放入振荡瓶中, 加 5 mL KCl 溶液, 振荡 1 h 过滤, 然后用连续流动分析仪测定滤液中 NO₃⁻ - N 和 NH₄⁺ - N 含量。

1.4 计算方法

吸氮量 (kg/hm²) = 茎叶 (或籽粒) 含氮量 (%) × 茎叶 (或籽粒) 干物质产量 (kg/hm²)

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

氮素残留率 (%) = (施氮区 0~100 cm 土层 N 残留量 - 空白处理区 0~100 cm 土层 N 残留量) / 施氮量 × 100

2 结果与分析

2.1 不同处理 NO₃⁻ - N 含量垂直分布特征

由图 1 可见, 以苗期为例, 在 0~20 cm 土层, HK 处理下 NO₃⁻ - N 含量最高, 其次为 C 处理 > W 处理 > CK, 各处理土壤 NO₃⁻ - N 含量较 CK 分别提高 24.76%、18.36%、4.31%, 且各处理差异均显著。由于苗期玉米植株较小, 吸收养分有限, 大量养分易随灌溉水淋溶损失, 而 HK 处理养分释放缓慢, 避免了养分短期内的大量释放, 一定程度上减少 NO₃⁻ - N 淋失。活性炭较强的吸附能力, 增加对 NO₃⁻ - N 的固持作用, 进而阻碍 NO₃⁻ - N 向地下部迁移, 同时改善土壤渗透性, 提高土壤持水能力, 减少淋溶水体积, 间接减少养分淋失^[10-13]。而微生物菌肥处理 NO₃⁻ - N 含量较 CK 仅提高 4.31%, 由于试验田处于河套灌区, 属轻度盐碱^[13], 生物菌肥的活菌数量、活性强度与周围环境密切相关, 包括温度、水分、酸碱度、营养条件及土壤中其它微生物的排斥作用都有一定影响^[14], 导致微生物不易存活。20~80 cm 土层, 随着垂直深度的增

加, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量呈递减趋势, 主要与当地灌区水位较浅有关, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 易随着土壤水淋溶而向下迁

移, 在 80 ~ 100 cm 土壤水与浅水层聚集导致 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量升高。

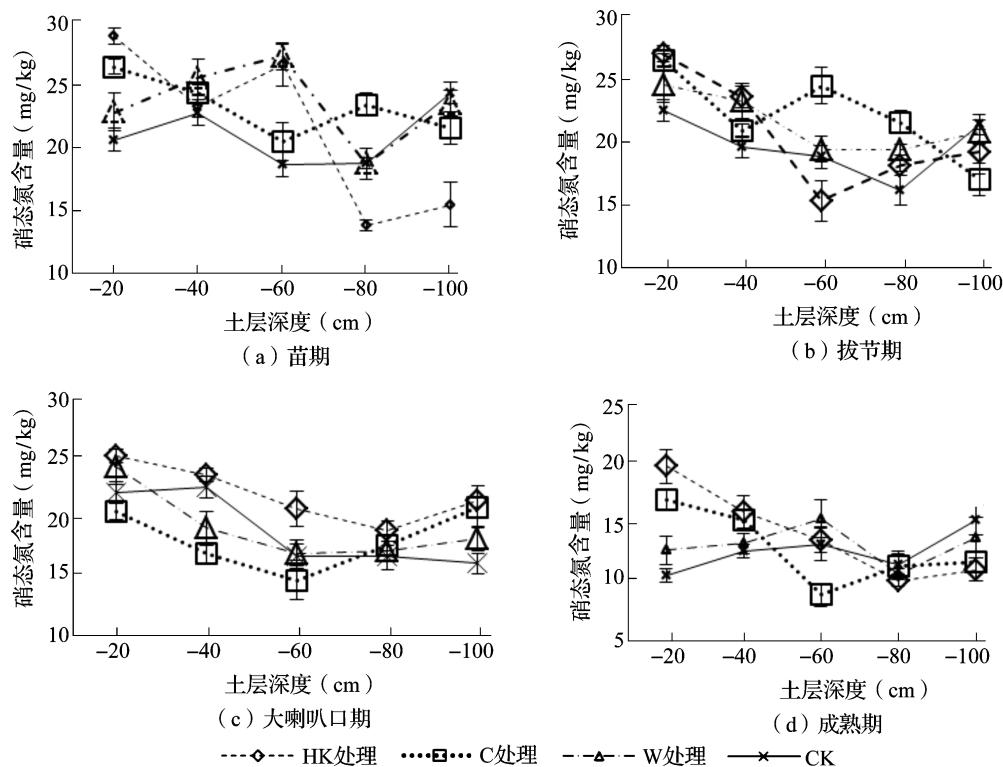


图 1 不同处理 0 ~ 100 cm 土层中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的垂直分布

2.2 不同处理 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量垂直分布特征

由于各种材料处理均采用表面撒施方式, 并与基肥同施, 且 0 ~ 20 cm 处 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度受施肥影响最剧烈^[15], 因此以苗期为例, 分析 0 ~ 20 cm 土层各处理区 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量。由表 2 可知, HK 处理含量最高, 为 12.35 mg/kg, 其次为 C、W 处理, 较 CK 处理分别增加 18.74%、12.67%、6.14%。各试验小区随着土层深度的增加 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量均呈现下降趋势, 在 0 ~ 80 cm 土层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量表现为: HK 处理 > C 处理 > W 处理 > CK。在 80 ~ 100 cm 土层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量表现为: CK > W 处理 > C 处理 > HK 处理, 各处理较 CK 平均降低 17.8%、14.2%、6.7%。说明 3 种材料抑制 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 向深层淋失, 增加耕作层土壤对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的吸附, 提高了养分利用率。

2.3 不同生育期 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量变化特征

由表 3 可知, 不同生育期土壤氮素含量随灌水、施肥以及作物的生长状况呈现不同动态变化特征, 由于作物根系对养分的吸附主要集中于 0 ~ 20 cm 土层^[16], 而本试验以每 20 cm 作为一个梯度, 因此选取 0 ~ 40 cm 土层作研究, 分析各处理不同生育时期

土壤氮素变化特征。苗期 (5 月 11 日) 作物根系不发达, 对养分需求量较小, 苗期土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量具体表现为: HK > C > W > CK, 其它 3 处理分别较 CK 提高 27.61%、22.02%、3.21%。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, 拔节期 HK 处理土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量最高, 为 26.13 mg/kg。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, 使土壤中氮素含量下降。玉米生育后期成熟期 (9 月 25 日) 追肥停止以及秋灌灌水较大, 从而土壤氮素含量显著下降, 达到最低值。 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量峰值随着施肥量的增加而增加, 第一次追肥 (拔节期) 3 ~ 5 d $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量达到峰值, HK 处理呈现为拔节期 > 苗期 > 大喇叭口期 > 成熟期, 其余各处理呈现为拔节期 > 大喇叭口期 > 苗期 > 成熟期。常规处理在玉米整个生育期 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度变化较大, 活性炭、缓控释肥、微生物肥处理 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度变化较稳定。

表 2 不同处理 0 ~ 100 cm 土层 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量的垂直分布 (mg/kg)

时期	土层深度 (cm)	HK 处理	C 处理	W 处理	CK
苗期	0 ~ 20	12.35 ± 1.79	8.91 ± 3.23	7.75 ± 0.87	7.11 ± 0.54
	20 ~ 40	10.40 ± 0.14	6.40 ± 3.31	6.42 ± 1.24	5.42 ± 0.11
	40 ~ 60	7.17 ± 1.32	8.09 ± 2.44	8.15 ± 0.72	6.21 ± 0.92
	60 ~ 80	5.91 ± 0.74	7.38 ± 1.41	6.53 ± 1.23	5.88 ± 0.56
	80 ~ 100	7.67 ± 2.26	8.01 ± 1.36	8.70 ± 0.45	9.33 ± 1.31
拔节期	0 ~ 20	23.29 ± 0.78	22.97 ± 0.17	20.18 ± 1.69	20.93 ± 2.25
	20 ~ 40	18.78 ± 2.28	17.30 ± 0.30	12.63 ± 1.21	11.03 ± 5.64
	40 ~ 60	14.49 ± 2.97	14.89 ± 2.80	10.73 ± 1.80	9.35 ± 2.08
	60 ~ 80	14.50 ± 2.68	12.13 ± 0.30	10.28 ± 1.30	8.48 ± 3.10
	80 ~ 100	12.02 ± 0.54	9.31 ± 2.68	11.65 ± 1.43	11.59 ± 0.40
大喇叭口期	0 ~ 20	9.94 ± 3.02	12.30 ± 6.26	11.41 ± 0.94	10.14 ± 1.53
	20 ~ 40	7.86 ± 0.23	9.53 ± 1.37	8.01 ± 0.94	6.25 ± 0.27
	40 ~ 60	6.50 ± 0.25	8.42 ± 2.24	7.23 ± 2.80	5.90 ± 0.29
	60 ~ 80	5.91 ± 0.61	7.21 ± 0.73	7.06 ± 0.64	8.12 ± 0.02
	80 ~ 100	6.05 ± 0.12	7.40 ± 0.28	6.89 ± 1.06	7.35 ± 0.30
成熟期	0 ~ 20	5.68 ± 0.78	7.28 ± 4.06	6.11 ± 0.98	9.53 ± 2.41
	20 ~ 40	1.26 ± 0.04	2.45 ± 0.28	2.01 ± 0.84	2.08 ± 0.42
	40 ~ 60	1.26 ± 0.11	3.37 ± 1.20	1.83 ± 1.31	5.03 ± 3.62
	60 ~ 80	2.24 ± 0.26	1.99 ± 0.37	1.71 ± 0.82	1.92 ± 0.66
	80 ~ 100	2.02 ± 0.27	1.71 ± 0.13	1.68 ± 1.06	4.80 ± 3.47

表 3 不同处理不同生育期 0 ~ 40 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量变化特征 (mg/kg)

处理	氮素形态	苗期	拔节期	大喇叭口期	成熟期
HK	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	27.41 ± 1.26 a	26.13 ± 1.03 a	23.56 ± 2.57 a	13.74 ± 1.68 b
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	8.87 ± 3.25 a	16.61 ± 3.99 a	7.25 ± 1.58 a	3.29 ± 1.07 b
C	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	26.21 ± 1.02 ab	24.11 ± 1.14 b	24.82 ± 2.21 a	14.91 ± 1.07 a
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	8.42 ± 2.32 a	15.32 ± 3.48 ab	8.97 ± 2.59 a	3.35 ± 2.09 ab
W	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	22.17 ± 1.24 b	24.72 ± 1.57 a	23.48 ± 1.67 a	17.08 ± 0.94 a
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	7.16 ± 3.20 b	12.27 ± 2.36 b	7.55 ± 1.81 a	4.67 ± 1.82 a
CK	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	21.48 ± 2.21 b	23.72 ± 1.57 b	23.21 ± 1.67 a	18.08 ± 1.14 a
	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	6.56 ± 3.20 b	12.27 ± 2.36 b	7.55 ± 1.81 a	4.67 ± 1.82 a

注：同一氮素形态同一生育期数据后字母不同表示处理间差异 0.05 水平显著。

2.4 不同处理对作物产量、氮素吸收以及土壤残留的影响

作物收获后，土壤中有相当数量的氮素残留^[17]，如果土壤中氮残留相对较高，导致氮素的损失率较大，流失的 N 素必将会对土壤、甚至地下水产生污染^[18]，作物对土壤氮素的吸收可以改变土壤剖面硝态氮的分布，限制土壤氮素向更深土层迁移，或者在向下移动过程中发生反硝化，这对地

下水是很不利的^[18-19]。而在灌溉农业区，土壤中积累的硝态氮最终随灌溉水淋溶而不能保持在土壤中供下季作物吸收利用。

由于 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 本身带负电荷，不易被土壤吸附，土壤中氮素含量主要取决于作物生育期对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 吸收利用以及秋后氮素在土壤中的残留量。由表 4 可知，与 CK 相比，HK、C、W 处理增加了作物的产量和吸氮量，其中茎叶生物量分别

增加了 507、211、43 kg/hm²，籽粒产量分别增加了 260、112、89 kg/hm²，吸氮量分别增加了 4、3、2 kg/hm²；氮肥利用率分别较常规施肥处理提高 15.71%、10.65% 和 5.16%。在作物秋收后测定 0~100 cm 土壤氮素残留平均率，HK 处理和 C 处理显著低于 CK，W 处理效果不显著。

表 4 不同处理对作物产量、氮素吸收量与残留量的影响

试验 处理	生物量 (kg/hm ²)		吸氮量 (kg/hm ²)		氮肥利用率 (%)	0~100 cm 氮残留率 (%)
	茎叶	籽粒	茎叶	籽粒		
HK	7 288 a	7 695 a	82 a	94 a	35.42 a	51.18 b
C	6 992 a	7 507 a	81 a	92 ab	33.87 a	55.38 b
W	6 824 ab	7 524 a	81 a	91 ab	32.19 ab	59.62 ab
CK	6 781 b	7 435 a	80 a	90 b	30.61 b	62.94 a

3 结论与讨论

试验结果表明，各试验区 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量均随垂直深度的增加而减少。在 0~60 cm 土层中，与 CK 处理相比，HK 处理能够有效降低氮素的淋溶损失，提高了土壤中氮素的养分利用率；C 处理能增强土壤对养分的吸附能力，延缓了养分的释放，长期施用效果更加显著；而 W 处理由于生存条件的限制，效果不太显著。赵斌^[20]等人研究的控释肥对夏玉米产量及田间氨挥发和氮素利用率的影响；高德才^[21]等以玉米秸秆生物炭和尿素为材料进行土柱模拟试验发现，适量施用生物炭可显著降低 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 的淋失。

试验表明，与 CK 相比，玉米苗期 HK、C、W 处理土壤中 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量分别提高 24.76%、18.36%、4.31% 和 28.21%、15.47%、5.24%，成熟期分别降低 23.98%、12.53%、5.47% 和 26.33%、16.93%、7.37%，且成熟期各处理氮素含量呈现为 CK>W 处理>C 处理>HK 处理，即成熟期 CK 施肥土壤中 NO₃⁻-N 含量最高，这些累积的硝态氮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^[22]。经试验得出缓控肥料处理可有效抑制氮素淋失，减少土壤残留量，增加作物产量；活性炭处理可增加作物生育期内土壤耕作层养分，增加肥料利用率，减少土壤水的淋失。

由于 NO₃⁻-N 不易被土壤吸附，其淋失量与当地灌水量、灌水方式密切相关，同时，氮素在土壤

中的迁移转化过程十分复杂，本文未对氮素转化以及土壤固氮、有机氮等进行研究，同时用于控制土壤氮素损失的材料对农作物品种特性、土壤质地、水肥条件、气候及灌水模式等因素的要求不同，需进一步进行长期监测定位，形成一个完成体系。

参考文献：

- [1] 张维理，田哲旭，张宁，等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查 [J]. 植物营养与肥料学报，2005，11 (2): 80-87.
- [2] 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.
- [3] 窦培谦，王晓燕，王丽华. 非点源污染中氮磷迁移转化机理研究进展 [J]. 首都师范大学学报 (自然科学版)，2006，27 (2): 93-98.
- [4] 邢英，李心清，王兵，等. 生物炭对黄壤中氮淋溶的影响 [J]. 生态学杂志，2011，30 (11): 2483-2488.
- [5] 李宗新，董树亭，王空军，等. 不同施肥条件下玉米田土壤养分淋溶规律的原位研究 [J]. 应用生态学报，2008，19 (1): 65-70.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 杜建军，毋永龙，田吉林，等. 控/缓释肥料减少氨挥发和氮淋溶的效果研究 [J]. 水土保持学报，2007，21 (2): 49-52.
- [10] 同延安，吕殿青，张航. 灌区土壤氮素平衡与硝态氮淋失 [J]. 陕西农业科学，2004，(5): 12-13.
- [11] 孙克刚，李锦辉，姚键，等. 不同施肥处理对作物产量及土体 NO₃⁻-N 累积的长期定位试验 [J]. 土壤肥料，1999，(6): 18-20.
- [12] 张喜英. 作物根系与土壤水利用 [M]. 北京：气象出版社，1999.
- [13] 周志红，李心清，等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用 [J]. 地球与环境，2011，39 (2): 278-284.
- [14] 党廷辉，郭胜利，樊军，等. 长期施肥条件下黄土旱源土壤 NO₃⁻-N 的淋溶分布规律 [J]. 应用生态学报，2003，14 (8): 1265-1268.
- [15] 樊军，郝明德，党廷辉. 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响 [J]. 土壤与环境，2000，9 (1): 23-26.
- [16] 黄满潮，章申，张国梁. 应用大型原装土柱渗漏计测定冬小麦—夏玉米轮作期硝态氮淋失 [J]. 环境科学学报，2003，23 (1): 11-16.
- [17] 王淑平，江源，贾书刚，等. 秸秆还田对玉米高产、稳产、优质效应研究 [J]. 吉林农业大学学报，1997，19 (4): 56-59.

- [18] 黄高宝, 张恩和, 胡恒觉. 不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制 [J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (3): 293–297.
- [19] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (5): 622–627.
- [20] 赵斌, 董树亭, 王空军, 等. 控释肥对夏玉米产量及田间氮挥发和氮素利用率的影响 [J]. 应用生态学报, 2009, 20 (11): 2678–2684.
- [21] 高德才, 张蕾, 刘强, 等. 旱地土壤施用生物炭减少土壤氮损失及提高氮素利用率 [J]. 农业工程学报, 2014, 17 (6): 54–61.
- [22] 王小彬, 蔡典雄, 张镜清, 等. 旱地玉米 N 吸收及其 N 肥利用率研究 [J]. 中国农业科学, 2001, 34 (2): 179–186.

Effect of different materials on dynamic change of soil nitrate and ammonium nitrogen and N uptake by maize in Hetao irrigation area

ZHAO Chun-xiao¹, ZHENG Hai-chun^{1*}, GAO Fan-shen¹, GAO Wa¹, WANG Xia², WANG Sheng³ (1. Inner Mongolia Soil and Fertilizer Work Station, Hohhot Inner Mongolia 010010; 2. Inner Mongolia Agricultural Technology Promotion Center of Bayannaoer City, Bayannaoer Inner Mongolia 015000; 3. Inner Mongolia Agricultural and Animal Husbandry Industry Scientific Research Institute of Chifeng City, Chifeng Inner Mongolia 024000)

Abstract: To support the agricultural non-point source pollution detection and control strategies in Hetao irrigation area of Inner Mongolia, field soil leaching tests were conducted with different kinds of materials to study the dynamic change of soil nitrate and ammonium nitrogen and N uptake by maize. Four treatments were set up, including CK (farmer conventional fertilization with urea), HK (controlled release urea was used), C (farmer conventional fertilization with urea, plus activated carbon) and W (farmer conventional fertilization with urea, plus microbial fertilizer). The results showed that compared to CK, soil NO_3^- -N accumulation amount of the treatments HK, C and W increased by 24.76%, 18.36%, 4.31% in corn seedling period, but reduced by 23.98%, 12.53%, 5.47% on average in the harvest period. Soil NH_4^+ -N accumulation amount increased by 28.21%, 15.47%, 5.24% in seedling period, but in the harvest period reduced by 26.33%, 16.93%, 7.37%. Nitrogen utilization rates were 15.71%, 10.65%, 5.16% higher than the conventional ones. It was concluded that controlled release urea, activated carbon and microbial fertilizer effectively adsorbed NO_3^- -N and NH_4^+ -N in shallow soil and reduced nutrient leaching.

Key words: nitrate nitrogen; nutrient leaching; control measures; non-point source pollution