

DOI: 10.5846/stxb201602020237

杨世琦, 韩瑞芸, 王永生, 刘汝亮, 谢晓军, 杨正礼. 基于秸秆还田条件下的黄灌区稻旱轮作土壤硝态氮淋失特征研究. 生态学报, 2017, 37(9):

Yang S Q, Han R Y, Wang Y S, Liu R L, Xie X J. Effect of straw application to soil nitrate leaching of paddy-upland rotation in the Yellow River irrigation area. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(9):

基于秸秆还田条件下的黄灌区稻旱轮作土壤硝态氮淋失特征研究

杨世琦^{1,2}, 韩瑞芸¹, 王永生³, 刘汝亮⁴, 谢晓军⁵, 杨正礼^{1,2,*}

1 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081

2 农业部农业环境与气候变化重点开放实验室, 北京 100081

3 中国科学院地理科学与资源研究所生态网络观测与模拟重点实验室, CERN 综合研究中心, 北京 100101

4 宁夏农林科学院, 银川 750002

5 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100

摘要:宁夏引黄灌区农田面源污染较为严重, 区内大部分排水沟水质为劣 V 类, 其主要污染物硝态氮与铵态氮。本试验设置常规施肥 (CK)、常规施肥条件下施用 4500 kg/hm² (T₁, 半量还田) 和 9000 kg/hm² (T₂, 全量还田) 秸秆 3 个处理。利用树脂芯法吸附 10 cm、20 cm、30 cm、60 cm 和 90 cm 土层的硝态氮流失量。2009—2013 年的试验结果表明: 秸秆还田能够减少土壤 30 cm 土层的硝态氮淋失。与对照硝态氮淋失量 (15.76 kg/hm²) 相比, T₁ (13.76 kg/hm²) 与 T₂ (13.74 kg/hm²) 均达到显著差异 ($P < 0.05$), 淋失量分别减少 12.71% 和 12.84%, T₁ 与 T₂ 没有达到显著差异。秸秆还田对土壤硝态氮淋失的影响效应主要体现在 30 cm 土层处, 10、20、60 与 90 cm 土层处的处理与对照都没有达到显著差异。秸秆还田提高了 30 cm 土层的土壤有机质与土壤总氮, 与对照 (13.78 g/kg) 相比, T₁ 与 T₂ 土壤有机质分别提高 0.89 g/kg 和 1.24 g/kg; 试验结束后, 对照、T₁ 和 T₂ 的总氮是达到 0.64、0.66 和 0.69 g/kg, 与对照相比, 处理分别提高了 2.76% 和 6.83%。秸秆还田有助于作物增产, T₁ 与 T₂ 的水稻平均增产 9.24% 和 10.37%, 小麦增产 10.11% 和 11.51%。

关键词: 秸秆还田; 黄灌区; 稻旱轮作; 土壤硝态氮; 淋失

Effect of straw application to soil nitrate leaching of paddy-upland rotation in the Yellow River irrigation area

YANG Shiqi^{1,2}, HAN Ruiyun¹, WANG Yongsheng³, LIU Ruliang⁴, XIE Xiaojun⁵

1 Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Key Laboratory of Agro-Environment and Climate Change, Ministry of Agricultural, Beijing 100081, China

3 Synthesis Research Center of CERN, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

4 Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agro-Forestry Science, Yinchuan 750002, China

5 College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: The Yellow River irrigation area within Ningxia was a region severely polluted by non-point sources, where surface water quality in most drainage ditches was classified as Inferior Category V, and the primary pollutants were nitrate and ammonium. In this region a 5-year straw application and nitrate leaching experiment had been conducted, which

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2014ZX07201-009)

收稿日期: 2016-02-02; 网络出版日期: 2016-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shiqiyang@126.com

consisted of 3 treatments: traditional fertilizing without rice straw amendment (CK), traditional fertilizing with 4500 kg/hm² rice straw returning application (T1, semi), and traditional fertilizing with 9000 kg/hm² rice straw amendment (T2, total). Nitrate nitrogen leaching losses within 10, 20, 30, 60, 90 cm soil layers were measured by the resin core method. Results indicated straw application could reduce soil nitrate leaching losses within the 30 cm layer. From the nitrate nitrogen loss of CK (15.76 kg/hm²), the loss of T1 (13.76 kg/hm²) and T2 (13.74 kg/hm²) all showed significant differences ($P < 0.05$), soil nitrate leaching losses were decreased by 12.71 % and 12.84 %, respectively. However no significant differences ($P > 0.05$) was detected between T1 and T2. The effects of straw application were only observed in plowing layer (30 cm depth soil layer), no significant difference was detected between experimental treatments and control (CK) in deeper layers (60 and 90 cm) and in topsoil (10 and 20 cm). Straw application could increase soil organic matter (SOM) and total nitrogen (TN) content: SOM of T1 and T2 were increased by 0.89 g/kg and 1.24 g/kg compared to CK (13.78 g/kg). TN of CK, T1 and T2 were 0.64, 0.66 and 0.69 respectively, at 0—30 cm layer, which were increased by 2.76% and 6.83%. Straw application could also increase crop yield, rice production of T1 and T2 were increased by 9.24% and 10.37%, and winter wheat yield were increased by 10.11% and 11.51%, respectively.

Key Words: Straw application; the yellow River irrigation area; paddy-upland rotation; soil nitrate; leaching

《2013 年中国环境状况公报》表明,我国十大流域国控断面中,Ⅰ—Ⅲ类比例占 71.7%,Ⅳ—Ⅴ类比例占 19.3%,劣Ⅴ类比例占 9.0%;61 个重点湖(库)中 24 个劣于Ⅲ类标准;全国重点城市的饮用水水源水质达标率仅为 72.3%,农村近 3 亿人饮用水不达标,地下饮用水源 10%不达标;农村仍有 2.98 亿人饮用水不安全^[1]。1990 年调查表明美国面源污染约占总污染量的 2/3,其中农业面源污染占总污染量的 68%—83%,导致 50%—70%的地表水体受污染或受影响;2006 年再次调查表明农业面源污染面积减少了 65%^[2]。宁夏黄灌区是我国北方重要的灌溉农区,也是黄河上游农田退水导致氮素流失与水污染的重灾区,灌区主排水沟 NH₄⁺-N 浓度 20—30mg/L,最高可达 70mg/L,多为劣Ⅴ类水质,断面水质达标率仅为 38.3%,将近一半的浅层地下水 NO₃⁻-N 浓度超过 10mg/L^[3]。华北地区 14 个县调查表明,有一半地下水硝酸盐含量超过 10mg/L^[4]。

秸秆等有机物料的施用可以提高土壤有机质,减少土壤硝态氮流失^[5-6],过量施用增加硝态氮流失^[7-9]。经过堆肥处理有机物料施用能够减少硝态氮流失^[10,11]。碳氮比较高的有机物料中的氮素释放慢,施用畜禽粪便能够调节土壤氮素代谢释放速率^[12]。施用化肥的土壤硝态氮流失是有机肥的 4.4—5.6 倍,有机无机混施介于中间^[13-14]。大豆秸秆还田矿化的硝态氮流失贡献为 1/4,非豆科农作秸秆还田矿化的硝态氮流失高于这一比例^[15]。日本岐阜县各務原 1970—2000 年关于有机肥、合理施肥和施用缓释肥对比试验表明,有机肥能够提高土壤吸肥力,在硝态氮流失控制方面显示重要作用。施用有机肥提高 C/N 有利于控制微生物的发酵过程,减少氮素短期释放,提高保肥性。欧洲每个生长季的有机氮肥施入折合硝态氮为 110—140kg/hm²,显著减少硝态氮淋溶^[16]。有机肥长期大量的施用也会引起土壤中硝态氮的累积与淋溶,禽粪施用量不能超过 11.2t/hm²^[17]。堆肥能够延缓有机氮向无机氮转化从而降低土壤硝态氮流失^[18]。Mamo 等发现蔬菜田有机肥替代化学氮肥能够有效的降低硝态氮流失^[19]。Brinton 发现玉米田施用腐熟堆肥比未腐熟堆肥的硝态氮流失的少^[20]。水稻秸秆堆肥还田情况下的 10cm 土层的硝态氮浓度比对照低,20cm 土层比 10cm 土层的硝态氮浓度也要低很多^[21]。流域调查中发现可溶性有机碳与硝态氮浓度表现典型负相关,土壤有效氮富余总是与碳源亏空紧密相关^[22]。施用有机物料能够促进微生物氮形成,降低土壤无机氮浓度^[23]。在硝酸盐敏感地区的农田有机肥施用不应超过 175 N kg/hm²^[24]。一般认为,施用有机肥减少土壤硝态氮淋失的主要原因是通过增加土壤有机质含量而改善土壤理化性状和提高粘粒及团聚体的含量,增强土壤束缚硝态氮性能,进而限制硝态氮垂直移动和减少淋失。

树脂芯法被认为是测定土壤氮素矿化速率最优的方法,是将上下两端均开放管埋入土壤中,同时管子顶端和底端均放上离子交换树脂袋。管子顶部的树脂袋可防止其他离子进入土壤,底端的树脂袋可吸附从管芯

中淋溶出来的离子。在借鉴离子交换树脂研究硝态氮流失方法的基础上^[25,26],试验采用改进树脂芯法,研究黄灌区秸秆还田对土壤氮素流失的影响,通过观测不同阶段树脂吸附硝态氮量,以估算农田不同土层的硝态氮单位面积淋失负荷。

2 材料与方法

2.1 研究区域概况

试验区位于宁夏引黄灌区的灵武农场(106°17'52"E,38°07'26"N),属温带干旱区,无霜期 150—163 天,干旱少雨,降水量 193mm,蒸发量 1763mm。雨季 7—9 月,占全年降雨的 70%,冬季少雪。年均温 8.9℃。土壤类型灌淤土,养分含量低,表层土易积盐,土壤 pH 高。稻旱轮作是最典型的种植模式。试验区农田土壤主要理化性状见表 1。

表 1 土壤主要理化性状

Table 1 The trail soil Physical and chemical properties

土壤深度 Soil depth/cm	容重 Bulk density/ cm ³	有机质 SOM/ (g/kg)	总氮 TN/ (g/kg)	总磷 TP/ (g/kg)	土壤有效养分 Soil available nutrients/(mg/kg)					土壤盐分 T-salt	土壤 pH
					氮 N	磷 P	钾 K	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N		
0—30	1.49	13.78	0.87	0.80	93.43	27.34	145.87	10.21	0.98	1.13	8.59
30—60	1.58	7.33	0.75	0.78	63.76	14.89	137.10	6.97	0.96	0.91	8.76
60—90	1.43	4.14	0.49	0.50	34.17	4.42	98.25	6.23	0.93	0.74	9.21

2.2 试验设计

试验位于灵武农场,田间小区水泥埂隔开,沿埂开沟深 120cm(地上高 40cm,地下深 80cm),沟内压塑料膜,以防小区相互干扰。试验 3 个处理,CK 为无秸秆还田,T1 为半量秸秆还田(4,500 kg/hm²)、T2 全量秸秆还田(9,000 kg/hm²)。常规施肥处理,3 次重复。小区面积 200m²。水稻秸秆切碎 5—10cm 还田,翻深 30cm。水稻试验施肥:尿素(纯 N)300 kg/hm²、磷酸钙 P₂O₅ 105 kg/hm²、氯化钾肥(k₂O)60 kg/hm²;全部的磷钾肥与 50%尿素做基肥于一次施入,剩余 50%氮肥按 3:1:1 比例做追肥,分 3 次分别于苗期(5 月下旬)、分蘖期(6 月下旬)和孕穗期(7 月下旬)施入。水稻行距 30cm,株距 10cm。水稻 5 月中旬插秧,9 月下旬收获,大田生长期约 120 天。全生育期灌水量 15,000m³/hm²,8 月中旬停止灌水。小麦试验的施肥:尿素(纯 N)225 kg/hm²、磷酸钙 P₂O₅ 150 kg/hm²、氯化钾肥(k₂O)90 kg/hm²;全部的磷钾肥与 50%尿素做基肥于一次施入,剩余的 50%氮肥按 3:1:1 比例做追肥,分 3 次分别于苗期(3 月上旬)、拔节期(5 月上旬)和孕穗期(6 月上旬)施入。冬小麦生长期冬灌 1,350 m³/hm²(10 月下旬)、返青水 900 m³(3 月下旬),拔节期 1050 m³(5 月中旬)、抽穗期 1,050 m³(6 月上旬)。播种 10 月 4 日,收获 6 月 29 日,全生育期 269 天。2010 与 2013 年种植水稻,2011 与 2013 年种植小麦。

2.3 研究方法

树脂芯法在用于草原或者表层土壤氮矿化量的测定,与直接采集土壤或测定土壤渗漏水的结果基本一致。本试验采用改进的树脂芯法,由 76mm(直径)×0.82mm(管壁厚度)的不锈钢管(高度根据需要调整)、60 目尼龙网制作的 8×8cm 树脂袋(内装有 15g 氯型,强碱性阴离子树脂)和两片直径为 74mm 的铝塑板(铝塑板上打有 13 个直径为 3mm 的小孔)组成,装置见图 2。树脂袋上下的两片铝塑板以防上下层土壤对树脂袋的污染,铝塑板设置小孔。为减少管内外土壤环境差异,管壁上打孔。把手的功能是方便树脂管提取。采用 717#型强酸性苯乙烯系阳离子交换树脂,离子交换树脂预处理方法采用 GB/T5476—1996。主要改进之处体现在一是取样深度增加,最深 90cm;二是取样频次增加且不破坏土壤结构,基本上实现原为培养。树脂管长度有 22、32、42、72 和 102cm 共 5 个型号,分别用于收集 10、20、30、60 和 90cm 土层的硝态氮淋失量。树脂管成直线排列,间隔 2m,每个小区沿对角线 3 组重复。树脂管下端楔型面 10cm 长,铝塑板通过防滑轴固定与高

于楔面 2cm 处, 盖子与把手方便放置和提取树脂管。试验开始, 先将树脂管打入土壤, 再提出去掉楔面及楔面上 2cm 的土壤(收集起来回填), 三是放入铝塑板和树脂袋(16g)并固定好, 四是将树脂管原位放入土壤中, 五是培养一段时间后提出树脂管, 取出树脂袋送回实验室冰箱保存, 并放入新的树脂袋开始下一阶段培养。

离子交换树脂吸附硝态氮用 1mol/L KCL 溶液浸提, 硝态氮采用紫外分光光度法测定。不同土壤层次硝态氮淋失量用下面公式计算:

试验数据处理采用 SPSS 19 和 Excel2010, 显著性检验($\alpha=0.05$)采用单向方差分析法(ANOVA)。

3 结果

3.1 硝态氮淋失量

不同土层与不同处理下的土壤硝态氮淋失量见表 2。30cm 土层的处理与对照相比, 硝态氮淋失量减少, 除 2011 年的冬小麦试验结果, 其它 3 年的水稻试验均达到显著差异水平($P<0.05$, 下同), 但 T1 与 T2 差异不显著。稻田的硝态氮淋失量 14.06—18.12 kg/hm², 冬小麦田的淋失量 0.83—11.95 kg/hm²。试验期内在 30cm 以上土层, 除了 2012 年与 2013 年的 10cm 土层, 处理(T1 和 T2)与对照 CK 的硝态氮淋失量没有达到显著差异。30cm 土层以下, 处理与对照的硝态氮淋失量均未达到显著差异。秸秆还田有效降低 30cm 土层的硝态氮淋失量, 与对照(15.76 kg/hm²)相比, T1(13.76 kg/hm²)和 T2(13.74 kg/hm²)达到了显著差异, 流失量分别减少 12.71 % 和 12.84 %; 然而处理之间没有达到显著差异。

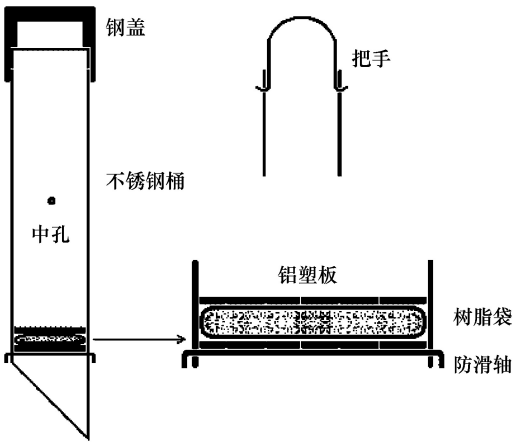


图 1 树脂管装置示意图
Fig.1 A device of resin-core for soil nitrate loss determination

表 2 不同土层与不同处理下的硝态氮淋失量

Table 2 Nitrate loss at different soil layers and treatments in the trail period							
土层 Soil layers	处理 Treatments	硝态氮淋失量 Nitrate loss/(kg/hm ²)				同一处理均值 Mean of treatments	同一土层均值 Mean of the same soil layer
		2010	2011	2012	2013		
10cm	CK	16.81a	12.85a	15.08b	14.39b	14.78a	15.83a
	T1	17.65a	12.83a	17.81a	18.17a	16.62a	
	T2	18.57a	12.36b	17.47a	16.00a	16.10a	
	年均 Mean	17.68a	12.68b	16.79a	16.19a	—	
20cm	CK	16.59a	12.52a	16.47a	16.40a	15.49a	15.20a
	T1	15.94a	11.54a	13.84a	18.34a	14.92a	
	T2	16.38a	11.40a	16.31a	16.65a	15.18a	
	年均 Mean	16.30a	11.82b	15.54a	17.13a	—	
30cm	CK	18.12a	11.95a	17.01a	15.98a	15.76a	14.42b
	T1	14.45b	11.69ab	14.84b	14.06b	13.76b	
	T2	14.33b	10.83b	15.08b	14.71b	13.74b	
	年均 Mean	15.63a	11.49b	15.64a	14.92a	—	
60cm	CK	9.47a	9.00a	8.34a	8.20a	8.75a	8.59c
	T1	9.79a	7.26a	8.53a	8.30a	8.47a	
	T2	9.11a	7.96a	8.96a	8.12a	8.54a	
	年均 Mean	9.46a	8.07b	8.61ab	8.21b	—	

续表

土层 Soil layers	处理 Treatments	硝态氮淋失量 Nitrate loss/(kg/hm ²)					同一土层均值 Mean of the same soil layer
		2010	2011	2012	2013	同一处理均值 Mean of treatments	
90cm	CK	9.17a	8.00a	9.19a	8.65a	8.75a	7.99c
	T1	8.01a	6.26a	8.46a	7.98a	7.68a	
	T2	6.82a	6.65a	8.43a	8.22a	7.53a	
	年均 Mean	8.00ab	6.97b	8.69a	8.29ab	—	
5 个土层均值 Mean of 5 soil layers		13.41a	10.21b	13.06a	12.95a	—	12.41

Notes: a 和 b 表示 $\alpha=0.05$ 的差异性

3.2 土壤硝态氮淋失特征

3.2.1 稻田与麦田硝态氮淋失的差异

稻田与麦田土壤剖面(10、20、30、60 和 90 cm)的硝态氮流失在 30cm 土层以上均达到显著差异(见表 2 的年均值,代表作物间的差异),稻田的硝态氮淋失量大于麦田;60cm 土层差异性特征不明显。冬小麦田 30cm 土层处硝态氮淋失量是稻田的 74.64%,表明通过扩旱压稻能够减少灌区土壤硝态氮流失。3 年水稻试验结果没有显著差异,表明了试验具有较好的重复性。

3.2.2 不同土层差异

由表 2 可以看出,30cm 土层硝态氮淋失与其上层及下层土壤的硝态氮淋失量达到了显著差异;10cm 与 20cm、60cm 与 90cm 均未达到显著性差异。这一结果表明,30cm 土层能够反映耕作层土壤硝态氮淋失的情况及特征,其主要原因是 30cm 是耕作层与犁底层的分界线。

3.2.3 全生育期土壤硝态氮淋失特征

树脂与土壤取样时间基本固定 5、6、7、8、9 月下旬。从图 2 看出,稻田 30cm 土层以上,接近 80%的硝态氮流失量发生在 6 月下旬之前(a., d.和 e.);30cm 土层以下,50—60%的硝态氮流失量发生在 6 月下旬之前(a., d.和 e.)。冬小麦田,差不多 80%的硝态氮流失量也发生在 6 月之前(b.),如果把冬小麦收获之后的 4 个月流失量计算在内,也差不多占到了 70%(c.)。由此看来,硝态氮淋失主要发生在水稻与冬小麦的生育前期,除了施肥量较大因素外,作物根系小、养分的需求小,土壤硝态氮吸收利用率较低也是重要原因;水稻进入分蘖期与冬小麦进入抽穗期以后,由于作物吸收土壤养分增加,土壤硝态氮淋失量显著降低。

4 讨论

4.1 秸秆还田与土壤硝态氮浓度的变化

土壤硝态氮浓度是硝态氮淋失的主要原因。稻田 30cm 土层硝态氮浓度高值出现在 5 月与 6 月,与其它时段相比达到了显著差异;冬小麦田的硝态氮重点流失时期在 4 月,土壤硝态氮浓度显著高于其它月份。土壤硝态氮淋失发生程度与土壤硝态氮浓度高度吻合,浓度高则淋失量大。稻田的处理(T1 和 T2)与对照相比,土壤硝态氮浓度在 4 月、5 月和 6 月达到显著差异(2012 年 T1 的 5 月份例外),T1 和 T2 在 7 月与 8 月没有达到显著差异(2010 年与 2013 年 7 月的 T2 例外),但处理的土壤硝态氮浓度高于对照。2010 年的 9 月,处理的硝态氮浓度高于对照,但 T1 与 T2 没有达到显著差异。在水稻生长初期,秸秆还田可能有利于降低土壤硝态氮浓度,但是在中后期不影响或稍增加土壤硝态氮浓度。这个推断需要在长期试验中再予以证实。对于冬小麦而言,处理(T1 与 T2)与对照相比,只有 4 与 5 月份达到显著差异,T1 与 T2 达到了显著差异。汪军等研究表明,稻田秸秆还田能够显著降低土壤硝态氮浓度,而且与秸秆还田量负相关^[27],而杨振兴等在北方半干旱区的 16 年秸秆还田试验表明土壤 0—200cm 土层的土壤硝态氮明显累积^[28]。土壤无机氮残留量较高时,可选择碳氮比较高的秸秆,在较长的一段时间内有利于微生物对土壤氮素的固定,减少氮素损失;土壤无机氮残留量较低时,碳氮比较低的秸秆能被微生物较快地矿化释放氮素供给下季作物前期的生长^[29]。

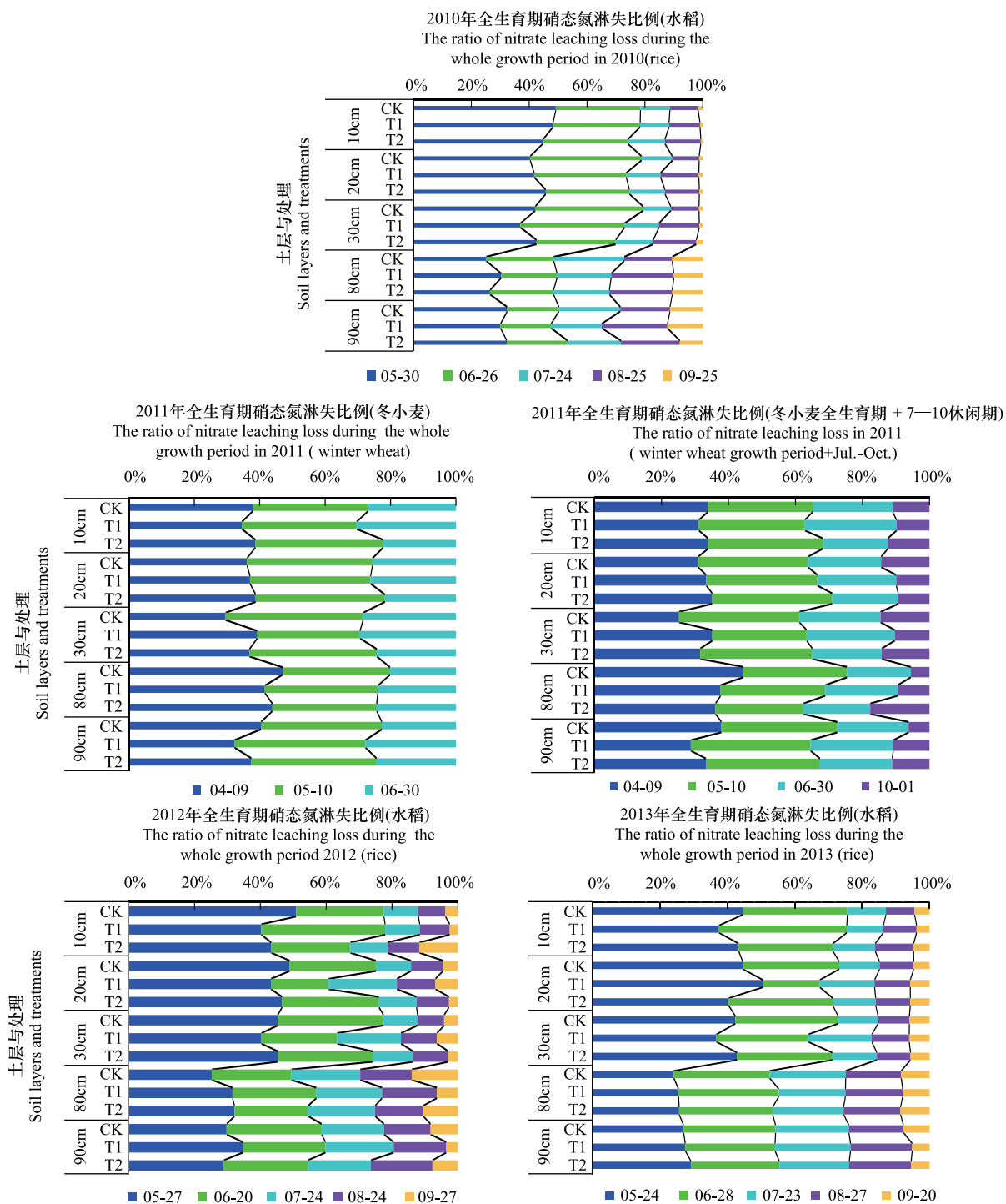


图2 试验期作物在全生育期不同阶段土壤硝态氮淋失比例变化

Fig.2 The ratio of nitrate leaching loss during the whole growth period in 4 years

4.2 土壤渗滤液的硝态氮浓度变化

秸秆还田处理的土壤渗滤液浓度低于对照,其浓度随生育期呈现下降趋势。T1 和 T2 与对照相比,没有达到显著差异(除 5 月)。Gollany 等研究发现秸秆还田能够显著降低土壤渗滤液硝态氮浓度和减少硝态氮淋失^[30-32],江永红等发现秸秆还田能够降低稻田田面水及渗滤液硝态氮与亚硝态氮浓度,可能是秸秆与作物争氮,降低无机氮浓度^[33],Keeney 发现秸秆还田能增加有机碳,固定土壤无机氮^[34],刁晓林等发现秸秆还田降低土壤渗滤液硝态氮浓度,水稻生长后期与对照前期的浓度接近,但亚硝态氮浓度增加^[35],Beaudoin 等认为

土壤亚硝态氮浓度增加是由于硝态氮被秸秆固定^[36],Zhu 等则认为秸秆降解产生的有机酸抑制了亚硝态氮向硝态氮转变^[37]。张静等研究结果却是秸秆还田使土壤无机氮增加^[38],崔思远等在南方稻田发现秸秆还田初期可能导致更多的硝态氮流失^[39]。

4.3 土壤 TN 的变化

2013 年试验结束后测定,10cm 土层,对照、T1 和 T2 的 TN 分别是 0.86, 0.89 and 0.90 g/kg,处理与对照相比提高了 3.25% 和 4.31%;20cm 土层是 0.78, 0.82 and 0.89 g/kg,处理与对照相比提高了 4.83% 和 13.89%;30cm 土层是 0.64, 0.66 and 0.69 g/kg,处理与对照相比提高了 2.76% and 6.83%。秸秆还田有利于提高土壤 TN。土壤总氮提高有利于减少硝态氮淋失,由于土壤氮素主要以有机态氮的形式存在,无机氮仅占总氮的 1%,大多数氮素必须经过微生物的分解和矿化才能转化为矿质氮^[40]。微生物对土壤氮素转化与被降解底物的碳氮比有关,如果添加物的碳氮比超过微生物的碳氮比,微生物需吸收土壤中的无机氮维持代谢活动;如果添加物质的碳氮比小于微生物的碳氮比,微生物将通过矿化作用释放氮素增加土壤无机氮含量^[41]。

4.4 土壤有机质变化

试验结束期(2013 年 9 月下旬)测定 30cm 土壤有机质,与对照(13.78 g/kg)相比,T1 和 T2 的土壤有机质分别增加 0.89 g/kg 与 1.24 g/kg。处理 T1 和 T2 的大团聚体分别提高 7.4% 与 12.8%。秸秆还田提高有机质,有助于促进大团聚体形成,而大团聚体能够保持养分与减少流失^[42]。连续 8 年的定位试验表明玉米秸秆还田促使土壤有机质提高 4.9 g/kg^[43]。秸秆还田提高氮素供应率,显著减少氮肥施用量和氮素损失量,减少农田氮的面源污染^[44]。我国农田秸秆还田率不足 50%,与欧美国家相比差距约为 40 多个百分点^[45]。

4.5 作物产量

秸秆还田提高了作物产量,与对照相比,2010 年水稻的 T1 与 T2 分别增长 7.79% 和 14.56%;2011 年冬小麦的 T1 与 T2 分别增长 10.11% and 11.51%;2012 年水稻的 T1 与 T2 分别增长 8.17% 和 10.35%;2013 年水稻的 T1 与 T2 分别增长 9.45% 和 9.26%;水稻 3 年平均增产 9.24% 和 10.37%。2012 年在试验地附近开展了秸秆还田推广示范,示范面积 1/5hm²,其中对照、半量还田和全量还田面积各为 1/15hm²。小面积示范结果表明,半量与全量还田的 30cm 土层的硝态氮淋失与对照相比分别减少 12.13% 和 18.02%;土壤铵态氮相比分别增加了 48.24% 和 65.84%,尽管增加比例很大,但土壤铵态氮浓度只有硝态氮的 1/10 左右,同时铵态氮不易淋失。2013 年在宁夏青铜峡市推广秸秆还田 2.3hm²,其中 1.9hm²全量还田,0.4hm²无秸秆还田。结果表明,秸秆还田硝态氮淋失减少 15.44%,水稻产量提高 7.23%。曾木祥等认为,我国的秸秆还田量大约在 1500—9000 kg/hm²,平均 4611 kg/hm²,增产幅度 1.7%—15.8%,平均增产 15.17%^[46]。李录久等研究表明,麦秆施用量 3000 kg/hm²时,小麦减产 470 kg/hm²,玉米减产 60 kg/hm²,减产率 7.16% 和 0.91%,减产不显著。当麦秆施用量 6000 kg/hm²时候,小麦减产 262 kg/hm²,而玉米增产 113 kg/hm²,增产 3.2%,秸秆还田量的大小对作物产量有一定影响^[47]。钟杭等试验表明稻草全量和半量还田后,大麦产量分别增加 16.68% 和 12.28%,增产幅度均达到极显著水平^[48]。李本荣等认为稻田秸秆还田的氮肥施用量为 180—240 kg/hm²能获得较高氮肥利用率^[49]。

5 结论

在宁夏引黄灌区秸秆还田土壤硝态氮淋失降低 12.71—12.84%,有机质提高 0.89—1.24g/kg, TN 提高 2.76%—6.83%,水稻产量提高 9.24—10.37%。长期秸秆还田为化肥减量奠定基础,进一步减少化肥面源污染。由于宁夏灌区农田土壤有机质含量普遍偏低,且秸秆还田长期未得到重视,建议全量秸秆还田。

参考文献 (References):

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 2013 中国环境状况公报. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2014.
- [2] 丁恩俊, 谢德体. 国内外农业面源污染研究综述. 中国农学通报, 2008, 24(增刊): 180-185.

- [3] 刘国强, 杨世琦. 宁夏引黄灌区农田退水污染现状分析. 灌溉排水学报, 2010, 29(1): 104-108.
- [4] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, Kolbe H. 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. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [5] 王立河, 赵喜茹, 王喜枝, 谭金芳, 王立秋, 孙新政. 有机肥与氮肥配施对日光温室黄瓜和土壤硝酸盐含量的影响. 土壤通报, 2007, 38(3): 472-476.
- [6] 赵云英, 谢永生, 郝明德. 施肥对黄土旱塬区黑垆土土壤肥力及硝态氮累积的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6): 1273-1279.
- [7] 黄治平, 徐斌, 涂德浴. 连续施用猪粪菜地土壤基质化研究. 安徽农业大学学报, 2007, 34(2): 262-264.
- [8] 郭彦军, 田茂春, 宋代军, 杨游, 张家骅, 沃丽娜, 张彦, 周祚平, 刘伯云, 任良彬, 谢云洪, 胡斯元. 施用羊粪条件下人工草地土壤硝态氮淋失量研究. 水土保持学报, 2007, 21(2): 53-56.
- [9] 王艳萍, 高吉喜, 刘尚华, 杜相革. 有机肥对桃园土壤硝态氮分布的影响. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1501-1505.
- [10] 高伟, 郑国砥, 高定, 陈同斌, 韩晓日, 张义安. 堆肥处理过程中猪粪有机物的动态变化特征. 环境科学, 2006, 27(5): 986-990.
- [11] 赵明, 蔡葵, 赵征宇, 于秋华, 王文娇. 不同有机肥料中氮素的矿化特性研究. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 146-149.
- [12] 王艳博, 黄启为, 孟琳, 沈其荣. 有机无机肥料配施对盆栽菠菜生长和土壤供氮特性的影响. 南京农业大学学报, 2006, 29(3): 44-48.
- [13] Kramer S B, Reganold J P, Glover J D, Bohannon B J M, Mooney H A. Reduced nitrate leaching and enhanced denitrifier activity and efficiency in organically fertilized soils. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(12): 4522-4527.
- [14] Oelmann Y, Kreutziger Y, Bol R, Wilcke W. Nitrate leaching in soil: tracing the NO_3^- sources with the help of stable N and O isotopes. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(12): 3024-3033.
- [15] 杨赵, 杨育华, 支国强, 毕金. 不同碳形态有机质对土壤氮磷流失的影响. 环境科学与技术, 2011, 34(6G): 51-54.
- [16] 袁新民, 同延安, 杨学云, 李晓林, 张福锁. 有机肥对土壤 NO_3^- -N 累积的影响. 土壤与环境, 2000, 9(3): 197-200.
- [17] Adams P L, Daniel T C, Nichols D J, Pote D H, Scott H D, Edwards D R. Poultry litter and manure contributions to nitrate leaching through the vadose zone. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(4): 1206-1211.
- [18] Maynard A A. Agricultural composts as amendments reduce nitrate leaching from soil. Frontiers of Plant Science-Connecticut Agricultural Experiment Station, 1989, 42(1): 2-3.
- [19] Mamo M, Rosen C J, Halbach T R. Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost. Journal of Environmental Quality, 1998, 28(4): 1074-1082.
- [20] Brinton Jr W F. Nitrogen response of maize to fresh and composted manure. Biological Agriculture & Horticulture, 1985, 3(1): 55-64.
- [21] Takahashi T, Inagaki H, Fukushima T, Oishia T, Matsuno K. Increasing nitrate removal at low temperatures by incorporating organic matter into paddy fields. Soil Science and Plant Nutrition, 2010, 56(1): 163-167.
- [22] Konohira E, Yoshioka T. Dissolved organic carbon and nitrate concentrations in streams; a useful index indicating carbon and nitrogen availability in catchments // Kohyama T, Canadell J, Ojima D S, Pitelka L F, eds. Forest Ecosystems and Environments. Tokyo: Springer, 2005: 125-131.
- [23] Szili-Kovács T, Török K, Tilston E L, Hopkins D W. Promoting microbial immobilization of soil nitrogen during restoration of abandoned agricultural fields by organic additions. Biology and Fertility of Soils, 2007, 43(6): 823-828.
- [24] Canter L W. Nitrates in groundwater. New York: CRC Press Inc. Lewis Publishers, 1997: 204-204.
- [25] 李清荣, 王正银, 李泽碧, 王慧敏. 离子交换树脂膜测定肥料养分在土壤中的变化. 农业工程学报, 2007, 23(2): 71-76.
- [26] 陈伏生, 曾德慧, 范志平, 陈广生, Singh A N. 沙地不同树种人工林土壤氮素矿化过程及其有效性. 生态学报, 2006, 26(2): 341-348.
- [27] 汪军, 王德建, 张刚, 王灿. 连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响. 水土保持学报, 2010, 24(5): 40-44, 62-62.
- [28] 杨振兴, 周怀平, 关春林, 解文艳. 长期秸秆还田对旱地土壤硝态氮分布与累积的影响. 华北农学报, 2013, 28(3): 179-182.
- [29] 郭瑞英. 设施黄瓜根层氮素调控及夏季种植填闲作物阻控氮素损失研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [30] Gollany H T, Molina J A E, Clapp C E, Allmaras R R, Layese M F, Baker J M, Cheng H H. Nitrogen leaching and denitrification in continuous corn as related to residue management and nitrogen fertilization. Environmental Management, 2004, 33(S1): S289-S298.
- [31] 耿玉辉, 卢文喜, 姜亦梅. 秸秆培肥土壤对优先流中养分淋失的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(11): 146-150, 155-155.
- [32] 徐泰平, 朱波, 汪涛, 况福虹. 秸秆还田对紫色土坡耕地养分流失的影响. 水土保持学报, 2006, 20(1): 30-32, 36-36.
- [33] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
- [34] Keeney D R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution // Stevenson F J, ed. Nitrogen in Agricultural Soils. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 1982: 605-649.
- [35] 刁晓林, 曾祥亮, 龚振平, 马春梅, 张磊, 董守坤. 秸秆还田对水稻生育期间土壤溶液中养分变化的影响. 东北农业大学学报, 2010, 41(4): 43-48.
- [36] Beaudoin N, Saad J K, Van Laethem C, Machet J M, Maucorps J, Mary B. Nitrate leaching in intensive agriculture in Northern France: effect of

- farming practices, soils and crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 111(1-4): 292-310.
- [37] Zhu J G, Liu G, Han Y, Zhang Y L, Xing G X. Nitrate distribution and denitrification in the saturated zone of paddy field under rice/wheat rotation. *Chemosphere*, 2003, 50(6): 725-732.
- [38] 张静, 王德建, 王灿. 用原状土柱研究太湖地区稻麦轮作农田养分淋溶量. *土壤*, 2008, 40(4): 591-595.
- [39] 崔思远, 尹小刚, 陈阜, 唐海明, 李锋, 张海林. 耕作措施和秸秆还田对双季稻田土壤氮渗漏的影响. *农业工程学报*, 2011, 27(10): 174-179.
- [40] Recous S, Aita C, Mary B. In situ changes in gross N transformations in bare soil after addition of straw. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 31(1): 119-133.
- [41] Hodge A, Robinson D, Fitter A. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen?. *Trends in Plant Science*, 2000, 5(7): 304-308.
- [42] 汪炎炳, 徐建文. 秸秆还田培肥改土试验研究. *土壤通报*, 1991, 22(4): 171-173.
- [43] 王海景, 康晓东. 秸秆还田对土壤有机质含量的影响. *山西农业科学*, 2009, 37(10): 42-45, 63-63.
- [44] Watanabe T, Man L H, Vien D M, Khang V T, Ha N N, Linh T B, Ito O. Effects of continuous rice straw compost application on rice yield and soil properties in the Mekong Delta. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2009, 55(6): 754-763.
- [45] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 郭瑞英. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展. *中国生态农业学报*, 2013, 21(5): 526-535.
- [46] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪, 张玉洁, 崔勇, 单秀枝, 廖超子, 田有国. 我国主要农区秸秆还田试验总结. *土壤通报*, 2002, 33(5): 336-339.
- [47] 李录久, 杨哲锋, 李文高, 徐志斌, 胡永年, 苗春苗, 肖凤体. 秸秆直接还田对当季作物产量效应. *安徽农业科学*, 2000, 28(4): 450-450, 457-457.
- [48] 钟杭, 张勇勇, 林潮澜, 蒋小留. 麦稻秸秆全量整草免耕还田方法和效果. *土壤肥料*, 2003, (3): 34-37.
- [49] 李本荣, 文顺元, 王伯仁, 黄晶. 秸秆还田下氮肥用量对水稻产量及氮素吸收的影响. *耕作与栽培*, 2010, (2): 10-11.