

DOI: 10.5846/stxb201402100231

杨世琦, 王永生, 韩瑞芸, 谢晓军, 杨正礼. 宁夏引黄灌区秸秆还田对麦田土壤硝态氮淋失的影响. 生态学报, 2015, 35(16): 5537-5544.

Yang S Q, Wang Y S, Han R Y, Xie X J, Yang Z L. Effect of nitrate leaching of winter wheat field based on straw application in the Yellow River irrigation area of Ningxia. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(16): 5537-5544.

宁夏引黄灌区秸秆还田对麦田土壤硝态氮淋失的影响

杨世琦^{1,2}, 王永生³, 韩瑞芸¹, 谢晓军⁴, 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 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100

摘要:以宁夏引黄灌区为例,探索秸秆还田条件下冬小麦土壤硝态氮淋失规律。试验设置常规施肥(CK)、常规施肥条件下施用 4500kg/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、20、30、60cm 和 90cm 土层的硝态氮流失量。结果表明:硝态氮(纯 N)淋失量 6.26—12.85 kg/hm², 是冬小麦施用化肥氮量的 2.78%—5.71%。与对照 CK 相比, T₁ 和 T₂ 在 10cm 土层减少 0.09% 和 3.97%; 20cm 土层减少 8.51% 和 9.81%; 30cm 土层减少 2.25% 和 10.34%; 60cm 土层减少 23.85% 和 13.08%; 90cm 土层减少 27.65% 和 20.73%。10cm 和 20cm 土层, 处理与对照以及处理之间均未到显著性差异 ($P < 0.05$); 30cm 处理, T₁ 与 CK 以及 T₁ 与 T₂ 未达到显著性差异, 但 T₂ 与 CK 达到显著性差异表明全量还田效果最好; 60cm 土层, 处理与对照、以及处理之间均达到显著性差异; 90cm 土层, 处理与对照之间达到显著性差异, 处理之间未达到显著性差异。硝态氮淋失主要发生在冬小麦返青至灌浆期间, 占全生育期淋失量的 52.95%—67.79%。T₁、T₂ 冬小麦产量增产率分别为 10.11% 与 11.51%。可见, 秸秆还田能够减少灌区土壤硝态氮淋失量。

关键词:引黄灌区; 秸秆还田; 麦田; 硝态氮; 淋失

Effect of nitrate leaching of winter wheat field based on straw application in the Yellow River irrigation area of Ningxia

YANG Shiqi^{1,2}, WANG Yongsheng³, HAN Ruiyun¹, XIE Xiaojun⁴, YANG Zhengli^{1,2,*}

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 College of Agronomy, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: The Yellow River irrigation of Ningxia is an important irrigation area in North China, and is a region with severe nitrate leaching and water pollution. Water quality in many drainage ditches is classified as Inferior Category V, and the main pollutants are nitrate and ammonium. The concentration of ammonium is generally 20—30 mg/L and the maximum concentration can reach 70 mg/L; therefore, quality of downstream water can be markedly affected. The contribution of field total nitrogen and ammonia nitrogen are up to 61%—66% and 76%—81%, respectively. The concentration of nitrate is more than 10 mg/L in half of all shallow groundwater. The content of soil organic matter is low in this area, which ranges from 9.2 to 14.5 g/kg with an average level of 10.2 g/kg. This may cause nitrate to be easily lost from the soil. In order to

基金项目: 环保公益性行业科研专项经费(201009017)

收稿日期: 2014-02-10; 网络出版日期: 2014-10-08

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

control the leaching of soil nitrate nitrogen in the Yellow River irrigation area, we intended to restore soil organic matter through the straw-returning method. In a case study conducted in the Yellow River irrigation of the Ningxia area, the patterns of nitrate leaching were studied in soil using the rice straw-returning. The field experiment contained three treatments including tradition fertilization without rice straw (CK), tradition fertilization combined with rice straw of 4500 kg/hm²(T₁, half straw application), and traditional fertilization combined with rice straw of 9000 kg/hm²(T₂, total straw application). Nitrate nitrogen leaching loss in soil layers 10, 20, 30, 60, and 90 cm deep was measured by the resin core method. We found that nitrate leaching losses with and without treatments ranged from 6.26 to 12.85 kg/hm² (pure nitrogen), representing 2.78%—5.71% of fertilizer nitrogen. Compared to CK, the nitrate leaching loss at 10 cm depth in T₁ and T₂ had a 0.09% decrease and 3.97% decrease, respectively; at 20 cm depth, T₁ and T₂ decreased the loss by 8.51% and 9.81%; at 30 cm depth, the reduction of nitrate leaching loss reached to 2.25% (T₁) and 10.34% (T₂); at 60 cm depth. Such decreases were 23.85% (T₁) and 13.08% (T₂); at 90 cm depth, T₁ and T₂ further reduced 27.65% and 20.73% loss, respectively. T₁, T₂, and CK were not significantly different in nitrate leaching loss at 10 and 20 cm depth ($P < 0.05$). Furthermore, there was no significant difference between T₁ and CK or between T₁ and T₂. However, T₂ led to significant improvement at 30 cm depth, indicating that total straw application was an effective way to prevent nitrate leaching loss in the irrigation area. Nitrate nitrogen leaching losses among T₁, T₂, and CK at 60 cm depth were significantly different. Both treatments showed significant alleviation for nitrate leaching loss compared with CK at 90 cm depth, although there was no significant difference between these two methods. The critical period of nitrate nitrogen leaching loss began from spring to the early filling stage, because nitrate nitrogen leaching loss during this time was 52.95%—67.79% of the total. The yield increase of winter wheat in T₁ and T₂ fields was 10.11% and 11.51%, respectively. Taken together, these data suggest that the rice straw returning method is effective at reducing the nitrate nitrogen leaching loss at deep soil layers in the Yellow River irrigation of Ningxia area.

Key Words: the Yellow River irrigation area of Ningxia; straw application; winter wheat field; nitrate; leaching loss

宁夏黄灌区是我国北方重要的灌溉农区,同时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 浓度一般都在 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%^[1]。抽样表明灌区将近一半的浅层地下水 NO₃⁻-N 浓度超过 10mg/L^[2]。调研取样中发现土壤有机质范围 9.2—14.5g/kg,平均 10.2 g/kg,最高值也仅有 19.0g/kg,含量在 15.0g/kg 以下的比例占到了 95%,保水保肥性较差也是导致土壤养分流失的重要原因。日本岐阜县各務原 1970—2000 年开始针对地下水硝态氮超标问题,通过施用有机肥、合理施用化肥和施用缓释肥研究,表明有机肥能够提高土壤保肥能力,能控制硝态氮淋失量,是减少土壤硝态氮向地下淋溶的重要措施。施用有机肥能保持土壤较高的 C/N,有利于激发微生物活性,促进无机氮向有机氮转化,减少无机氮短期浓度增加引起流失风险。在欧洲,每个生长季施入有机氮肥折合硝态氮为 110—140kg/hm²,能显著减少硝态氮淋溶^[3]。

以往的研究表明,秸秆添加对作物吸收氮素起着积极作用,减少氮素淋洗损失,增加氮素利用率,提高氮素有效性^[4]。秸秆还田使土壤溶液中 NH₄⁺-N 含量增加,而对 NO₃⁻-N 含量的影响则是前期还田与不还田差异不明显,后期秸秆还田处理降低了土壤溶液中 NO₃⁻-N 含量^[5]。也有研究表明,秸秆还田措施使早稻初期渗漏水中 NO₃⁻-N 含量显著高于不还田处理,对 NH₄⁺-N 淋失没有明显影响。NO₃⁻-N 渗漏量约为 NH₄⁺-N 的 30%—50%^[6]。秸秆含氮量少于 1.2%时,无机氮就会被固定在有机化合物之中,相当于 C/N 在 30—25 之间,而多数作物秸秆的 C/N 高于这个数值,因此,秸秆还田有利于氮的有机化,减少无机氮淋失风险^[7,8]。室内培养实验表明,在秸秆被微生物腐解期间,平均每添加 1000 kg 秸秆,就有 10 kg(N) hm⁻² a⁻¹的矿质态氮被微生物固定^[7]。施用有机肥能够提高土壤肥力,但长期大量施用也会引起土壤中硝态氮的累积和发生淋溶,导致地下水硝酸盐污染。Adams 研究表明,禽粪施用量超过 11.2t hm⁻² a⁻¹就会产生淋溶^[9]。近年关于有机无机肥配施

的条件下,不同土层中 NO_3^- -N 的淋失和迁移的研究较多,结果也不尽相同。一些研究认为,有机肥在一定程度上能够减少 NO_3^- -N 的淋失^[10-12];但过量使用情况下,也会产生 NO_3^- -N 的淋失问题^[13-15]。对有机物料进行堆肥处理,能够使有机肥的矿化速率降低,增加有机肥的稳定性,施肥后对减少 NO_3^- -N 的淋失有积极作用^[16-17]。土壤中绝大多数氮是有机态氮,全氮量的消长取决于土壤有机质含量的变化,即取决于土壤有机质积累和分解的相对强度^[18-19]。有机肥替代部分化肥,能更好的调节土壤氮素的释放^[20],有机无机肥配施能提高土壤中的氮素矿化作用^[21-22],在提高 SOM 含量的同时,也提高了耕层的碱解氮含量,随着土层深度的不断增加,可供降解的土壤有机质减少,微生物种类减少、活性降低,土壤矿质态氮量随之下降^[23]。从另一个角度看,有机质降解需要一个过程,控制土壤碱解氮浓度累积;与此同时,有机肥能提升有机质,改善土壤理化性状和提高大团聚体的含量,有利于储存养分^[24,25]。

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的管理入土壤中,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^[26-29],试验采用改进树脂芯法,研究秸秆还田对土壤氮素流失的影响。冬小麦土壤深度设置 10、20、30、60cm 和 90 cm 深度;每层放置一定数量的树脂材料,不同阶段通过测定树脂吸附不同土壤层次向下淋失的硝态氮数量,用以估算不同有机肥水平处理下的灌区冬小麦田不同土层的硝态氮单位面积的淋失负荷。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验小区位于宁夏灵武农场(106°17'52"E,38°07'26"N),位于西北内陆中温带干旱区,属于典型大陆气候,具有雨雪稀少、气候干燥、日照充足、风大沙多的特点。种植方式年间稻旱轮作,主要种植作物有水稻、玉米和小麦。土壤为灌淤土,肥力中等,0—30cm 土层容重 1.57 g/cm³,有机质含量 14.47 g/kg,土壤全氮 0.87 g/kg,速效氮 76.0mg/kg,速效磷 26.1mg/kg,速效钾 175.0mg/kg,0—20、20—40、40—60、60—80、80—100、100—120cm 土层容重依次为 1.45、1.56、1.58、1.44、1.46、1.42g/cm³。年均气温 8.9℃,年均降水量 193mm,降水多集中于 7—9 月,约占全年降水量的 70%。年均蒸发量 1763mm,无霜期 150d 左右,年均日照时间 2800—3100h。昼夜温差较大。

1.2 试验设计

秸秆还田始于 2008 年,2009 年种植水稻,2010 年种植冬小麦。水稻收获同时,秸秆粉碎 10cm 长,于冬小麦播种前翻入 30cm 深土中。CK 为常规施肥,处理 T₁、T₂在常规施肥的基础上,分别施用 4500、9000kg/hm² 水稻秸秆。每公顷施用尿素、重过磷酸钙、氯化钾分别为 225 kg(纯 N)、150 kg(P₂O₅)和 90 kg(K₂O)。磷钾肥作为基肥一次性施入,N 肥 50%做基肥,其余 50%按照 3:1:1 的比例作为追肥,分 3 次施入,分别在 4 月 3 日(返青)追施 30%,5 月 6 日(拔节)追施 10%,6 月 2 日(抽穗)追施 10%。冬小麦于 2010 年 10 月 4 日播种,行距 12cm。10 月下旬冬灌,3 月 26 日灌返青水,5 月 11 日灌拔节水,6 月 2 日灌抽穗水。冬灌水量 1350 m³/hm²,返青灌溉水量 900 m³/hm²,拔节期和抽穗期灌水量分别为 1050 m³/hm²。2011 年 6 月 29 日收获,全生育期 269d。小区面积为 200m²,试验 3 次重复。小区四周开沟,压 120cm 塑料膜,土壤回填并用水泥起田埂 40cm。

1.3 试验方法

树脂芯法主要用于土壤氮素矿化量的测定^[13-16]。离子吸附树脂法在土壤氮素研究上日渐增多,树脂法测定硝态氮的水平与直接采集土壤或测定土壤渗漏水的结果基本一致。本研究采用改进的树脂芯法,由 76mm(直径)×0.82mm(管壁厚度)的不锈钢管(高度可以根据测定层次设定)、60 目尼龙网制作的 8cm×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 1。管子下部做成楔面,以方便将管子打入土体,钢盖可以保证管子在打入土壤过程中不被冲力打卷,树脂袋上下的两片铝塑板可以防止上下层土壤对树脂袋的污染,同时铝塑板上的小孔

可以保证土壤溶液的通过;管体打孔与土体联通,尽量减少管内外差异;底部防滑轴,可以防止管子提取过程中树脂袋脱落到土体内(土壤氮素流失原位吸附装置,国家专利号(201020282864.4))。

试验开始时,在小区内垂直打入长度为 22、32、42、72、102cm(楔面长 10cm)的不锈钢管,待钢管上端略低于田面 1cm 左右时停止(稍低于田面便于小区追肥、灌水一致性),并利用把手将不锈钢管从地下带土柱提出,用螺丝刀剔除管子底部 2cm(楔面以上)厚的土壤后,依次放入事先准备好的铝塑板—树脂袋—铝塑板—防滑轴,然后回填楔面土壤,小心地将不锈钢管插入原处进行培养。一段时期取样,拔出树脂管,取出树脂袋放入备用容器,再次放入处理好的树脂袋,把树脂管再次放入原处,继续下一阶段试验。取出的树脂袋在冰箱保存(-4℃),实验室分析时,用 KCl 溶液解析样品。田间试验每个小区 5 个管子为一排,相互间隔约 2m,沿对角线设置 3 个重复。

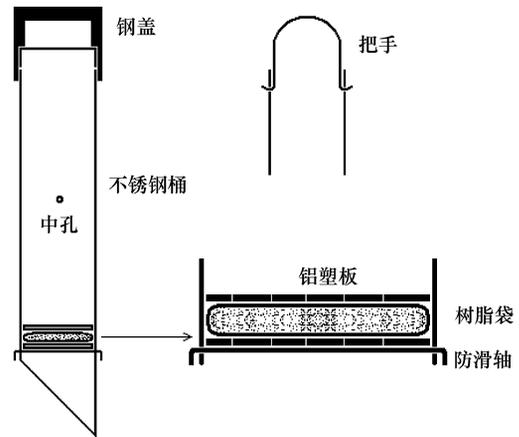


图 1 改进的树脂芯装置图

Fig.1 The improved device figure of the resin-core

1.4 测定方法与计算方法

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

$$\text{硝态氮淋失量}(\text{kg}/\text{hm}^2) = \text{树脂吸附硝态氮含量}(\text{kg})/\text{树脂管面积}(\text{m}^2) \times 10000(\text{m}^2)$$

2 结果与分析

2.1 硝态氮淋失量

冬小麦生长季内各处理 5 个层次的硝态氮淋失总量情况如图 2 所示。试验结果表明,硝态氮(纯 N)淋失量范围在 6.26—12.85 kg/hm²,占生育期施用化肥氮量的比例范围在 2.78%—5.71%之间。土壤硝态氮淋失变化趋势是随土层深度增加,淋失量减小,90cm 土层与 10 层面土层相比,处理 T₁ 和 T₂ 减少了 85.78% 和 104.88%,对照减少了 69.65%。10、20cm 和 30cm 土层之间的硝态氮淋失量差异较小,它们与 60、90cm 土层相比有较大的差异。各个土层处理 T₁ 和 T₂ 淋失量与对照 CK 相比,10cm 土层减少 0.09% 和 3.97%;20cm 土层减少 8.51% 和 9.81%;30cm 土层减少 2.25% 和 10.34%;60cm 土层减少 23.85% 和 13.08%;90cm 土层减少

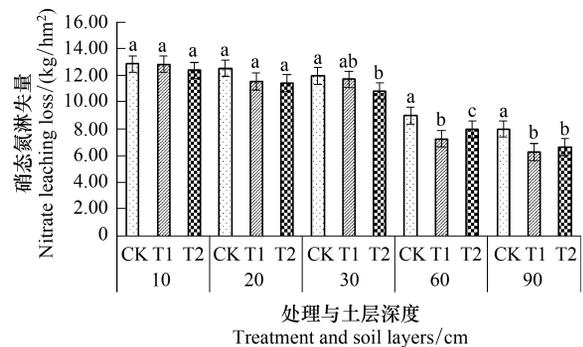


图 2 冬小麦生育期内不同层次硝态氮淋失量

Fig.2 The different soil layers leaching loss of nitrate nitrogen in the winter wheat growth period

a, b, c 不同字母间表示显著差异

27.65% 和 20.73%。同一土层内的显著性差异水平($P < 0.05$)分析结果:10cm 土层,处理与对照以及处理之间均未到显著性差异;20cm 土层,处理与对照以及处理之间均未到显著性差异;30cm 处理,T₁ 与 CK 以及 T₁ 与 T₂ 未达到显著性差异,但 T₂ 与 CK 达到显著性差异;60cm 土层,处理与对照、以及处理之间均达到显著性差异;90cm 土层,处理与对照之间达到显著性差异,处理之间未达到显著性差异。

水稻试验结果表明,30cm 土层的硝态氮淋失量范围是 14.19—18.83 kg/hm²;冬小麦在该层的淋失量的范围是 10.83—11.95 kg/hm²;相比较而言,冬小麦淋失量最大值降低了 57.57%,最小值降低了 31.02%。由此看来,在宁夏引黄灌区种植冬小麦能够有效的降低农田土壤硝态氮淋失负荷。如果在生育期内考虑淋失量(冬

小麦 269d,水稻 120d),冬小麦的生长周期是水稻的 2.24 倍,水稻田的淋失强度明显高于小麦田。由于灌区属于一熟区,不论旱作还是稻作,具有一定的休闲期,休闲期内也不可避免的发生硝态氮淋失现象。冬小麦休闲期从 6 月下旬或 7 月上旬收获至 10 月上旬结束,再加上生育期共约 361d,冬小麦田的硝态氮淋失范围则为 7.02—14.63 kg/hm²;从 10 月上中旬开始准备下一年作物施肥整地或播种,如果种植水稻,则意味着水稻的休闲期至下一年 4 月下旬泡田,再加上生育期共约 346d,水稻田的硝态氮淋失范围则为 16.48—23.27 kg/hm²。可以看出,仍然是水稻的淋失量高于冬小麦。灌区的其它旱作物还有冬小麦、春玉米和油菜等,不同旱作情况下的土壤硝态氮淋失量有待进一步比较研究。

冬小麦生育期内在返青期、孕穗期和收获期共取样 3 次,测定不同阶段土壤硝态氮淋失量(表 1)。3 个阶段用 P₁、P₂、P₃表示,分别代表播种至返青期、拔节至孕穗期、抽穗至收获期。从表 1 中可以看出,冬小麦土壤在不同时间段的淋失量差异特征。10cm 土层,流失比例基本上是 P₁ 与 P₂ 相当,都大于 P₃;20cm 土层与 10cm 土层非常相似;30cm 土层处,流失比例基本呈现 P₂>P₁>P₃(T₁例外);60cm 土层,流失比例呈现 P₁>P₂>P₃;90cm 土层,流失比例基本呈现 P₂>P₁>P₃(CK 例外)。综合分析上述现象,P₁ 阶段淋失比例高的主要原因该阶段间期很长 187d,导致硝态氮淋失量较大;P₂ 阶段淋失比例高的主要原因是返青后气温升高,土壤水分活动逐渐加强,加上作物幼苗营养体小对养分的吸收利用有限,硝态氮淋失比例也较高;在 P₃ 阶段,尽管灌水量增加,同时有追肥中耕等环节,但由于营养体生长旺盛,对养分的吸收利用能力也有很大提高。同一时段与同一土层不同处理之间的流失比例变化情况相对复杂一些。大体上,10cm 和 20cm 土层,处理与对照在 3 个阶段流失比例差距较小;30cm 土层处,P₁ 阶段处理高于对照,P₂ 阶段处理低于对照,P₃ 阶段处理 T₁ 接近对照,处理 T₂ 小于对照;60cm 和 90cm 土层,在 P₁ 阶段处理小于对照,P₂ 阶段对照与处理接近,P₃ 阶段处理大于对照。从以上分析可以得出,处理与对照的土壤硝态氮在冬小麦生育期的淋失变化过程,上层土壤(小于 20cm)秸秆还田对硝态氮的淋失影响较小;而 30cm 土层是过渡层或转折层,是秸秆还田后发挥功效的土层,尤其在后期(P₂ 和 P₃ 阶段)硝态氮淋失量开始呈现明显降低(与 P₁ 阶段相比)。下层土壤(60—90cm)随着生育期后移,处理比对照流失的大。因此,秸秆还田在不同阶段对硝态氮淋失的影响不同,其原因有待进一步研究。

2.2 生育季内硝态氮的日平均淋失量

由于取样时间间隔不一致,为了进一步揭示反映硝态氮淋失量特征,对硝态氮淋失量日平均变化情况加以分析。从图 3 中可以看出,10、20、30、60cm 和 90cm 土层的 NO₃-N 的淋失主要发生在 4 月 9 日至 5 月 10 日期间,即冬小麦的分蘖—拔节时期。由于灌水、追肥与土壤短时期盈余等因素的影响,加上此时冬小麦地上部生长相对较弱对养分的消耗能力较低,导致硝态氮淋失量增大。冬小麦土壤硝态氮流失的第 2 个主要时期是 5 月 10 日至 6 月 30 日,该阶段的前期是冬小麦拔节—孕穗—抽穗时期,是养分需求旺盛时期,尽管有追肥与灌溉等因素的影响,但硝态氮流失强度相对减小,非常接近全生育期日均淋失量。这两个阶段的土壤硝态氮流失均高于冬小麦全生育期的平均流失水平。冬小麦播种—分蘖时期(上年 10 月 4 日至该年度 4 月 9 日)

表 1 不同阶段不同土层土壤硝态氮流失比例 / %

Table 1 The ratio of nitrate nitrogen leaching loss on different phases and different soil layers

土层深度 Depth of soil	处理 Treatment	阶段 Phase		
		P ₁	P ₂	P ₃
10	CK	37.91	35.23	26.83
	T ₁	34.56	35.11	30.36
	T ₂	38.68	39.08	22.20
20	CK	36.15	38.34	25.52
	T ₁	37.03	36.84	26.12
	T ₂	38.76	39.54	21.71
30	CK	29.56	42.07	28.39
	T ₁	39.25	31.40	29.35
	T ₂	36.85	38.99	24.19
60	CK	47.00	32.81	20.14
	T ₁	41.60	34.56	23.89
	T ₂	43.84	31.88	24.22
90	CK	40.38	36.91	22.66
	T ₁	32.27	40.08	27.71
	T ₂	37.44	38.31	24.25

P₁: 上年 10 月 4 日至当年 4 月 9 日, P₂: 4 月 9 日至 5 月 10 日, P₃: 5 月 10 日至 6 月 30 日

的硝态氮日均流失量低于全生育期平均水平,主要受制于土壤上冻限制了水分运动,尽管时期很长(187d),但硝态氮的日均流失量明显下降。另外从 10cm 到 90cm,随着土壤深度的增加,土壤硝态氮的日均淋失量表现下降趋势。全生育期冬小麦日均淋失量范围 23.29—47.75 g/hm²。

2.3 土壤硝态氮含量变化

从图 4 可以看出,对照 CK 在 5 月和 6 月的土壤硝态氮浓度要高于 4 月,决定 5—6 月硝态氮淋失风险增加,而 5 月与 6 月的日均淋失量也要高于 4 月之前的时期;处理 T₁ 在 5 月的表现与对照 CK 情况相似,但 4 月与 6 月两个时段非常接近;处理 T₂ 不同土层土壤的硝态氮浓度大小关系是 5 月大于 4 月和 4 月大于 6 月,说明秸秆还田后的土壤在后期土壤硝态氮浓度降低,降低了淋失发生的可能性,这对控制硝态氮淋失有重要的作用。

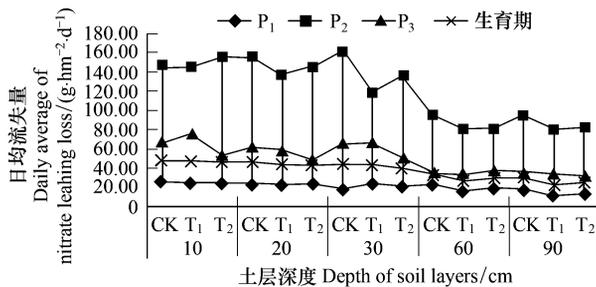


图 3 冬麦田土壤硝态氮淋失量日平均变化

Fig. 3 The variation of the daily average nitrate nitrogen leaching loss of winter wheat field

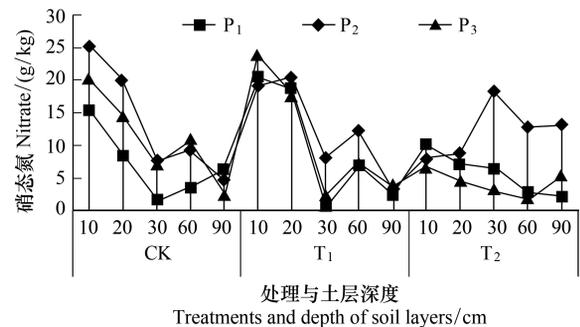


图 4 不同处理的土壤硝态氮变化情况

Fig. 4 The concentration of nitrate nitrogen at different treatments and soil lays and phases

2.4 产量情况

与 CK 相比,处理 T₁、T₂ 的增产率分别为 10.11% 与 11.51%,具有较大增产幅度;从谷草比的情况来看, T₁、T₂ 对谷草比的降低较为明显,说明秸秆还田以后会使谷草比降低,使小麦的秸秆高度和重量相对比例有所下降,使更多的营养元素被小麦种子吸收,千粒重增加,促使小麦产量提高。还田稻秆的 C/N 相对较高(32.04),激发了土壤微生物的固氮活性,早期减少氨挥发、硝化-反硝化,淋失;后期逐渐释放养分,供应作物生长需求,降低淋失几率,有利于促进冬小麦增产。

表 2 冬小麦产量比较

Table 2 The yield of winter wheat

处理 Treatments	谷草比 Ratio of grain to straw	产量 Yield/(kg/hm ²)	增产率 Growth rate/%
CK	1.612a	3753b	—
T ₁	1.603a	4133a	10.11
T ₂	1.585a	4185a	11.51

表中不同字母间表示差异显著 $\alpha=0.05$

3 讨论

土壤硝态氮流失的影响因素包括施肥量、施肥方法、肥料种类、灌水量、灌水方法、灌水时期、土壤理化性质、种植作物、农作制度以及自然因素等,不同区域的试验结果不尽相同,甚至完全不同。宁夏引黄灌区秸秆还田试验结果表明,秸秆还田能够降低土壤硝态氮淋失,旱田与稻田相似。处理与对照在 10cm 与 20 层面土层没有达到显著性差异,这一结果与上年稻田试验结果相似;30cm 土层处全量还田出现明显差异,也与上年稻田试验结果相似;60cm 土层没有达到显著性差异以及 90cm 土层达到显著差异的结果也与上年稻田试验结

果相似^[30]。在单季稻和双季稻条件下,秸秆还田显著降低了土壤硝态氮和铵态氮的含量,且其含量与秸秆用量呈显著负相关^[31]。秸秆还田在较长的一段时间内有利于微生物对土壤氮素的固定作用,减少氮素损失^[32]。秸秆腐解初期虽然氮的矿化与固定同时进行,但平衡的结果总是固定大于矿化^[33]。秸秆还田显著降低田面水和渗漏水中铵态氮和硝态氮浓度,由于秸秆分解过程中会与作物竞争氮素养分,从而降低了田面水无机氮浓度,减少氮素损失^[34]。有研究结果表明增施秸秆会增加稻田无机氮的淋溶^[35],稻田氮素的渗漏损失较少且不受施氮量的影响,但秸秆还田可以显著降低渗漏水中硝态氮的浓度和土壤中硝态氮的淋洗量^[36]。

秸秆还田减少无机氮淋失的主要原因,一是增加土壤有机质,提高土壤保水能力,减少硝态氮淋失;二是促使土壤大中团聚体增多,提高氮素环境容量;三是有机质吸附土壤中的铵态氮,减少氮素移动。在草甸黑土 8 年试验结果表明,秸秆还田更有利于大团粒结构的形成,还有利于土壤有机质积累与全氮含量提高^[37]。Keeney 研究表明,秸秆还田可以增加土壤有机碳量,固定了残留在土壤中的肥料氮,从而降低稻田氮素的损失^[38]。连续 8a 小麦与玉米秸秆两茬还田,有机质提高 4.9 g/kg,全氮提高 0.5 g/kg^[39]。土壤有机质含量提升与硝态氮淋失降低呈现一定相关性,关于土壤有机质含量与硝态氮淋失数量的关系应深入研究。

土壤有机质能够提高化肥利用效率,减少养分流失,但是不合理大量施用也会导致有机肥自身流失^[40]。土壤氮素淋失的控制是一个碳氮平衡过程,合适的碳氮比例有利于减少氮素流失,提高无机氮的利用效率。有机农业的土壤也发生硝态氮淋失问题,欧盟有机农业限制有机肥(折合纯 N)的施用量不超过 170kg/hm²,英国洛桑试验站的结果则将 276 kg/hm²作为有机肥的限量指标^[41]。尽管有机农业的有机质含量明显较高,可有效的减少 N 素淋失,但仍存在淋失问题^[42]。宁夏引黄灌区土壤有机质偏低,施用有机肥和提升土壤有机质的空间较大,从控制灌区硝态氮淋失、提升土壤有机质和改善土壤理化性状等方面考虑,应该重视和强化秸秆还田,一旦土壤有机质水平提高,化肥用量也就有降低可能性。

本试验的处理与对照的化肥氮施用量相同,处理 T₁ 和 T₂ 土壤氮含量高于对照。因此,进一步试验应该考虑秸秆的含氮量及其矿化速率问题,采取等氮试验处理。另外,过去的试验表明,秸秆还田增加 N₂O 排放量,但累积增加量有限,周年还田条件下仅增加 1.41%。小麦成熟后期,处理表现脱绿延迟迹象,可能是氮素富余引起的,在水稻试验中甚至出现倒伏现象。因此,在秸秆还田情况下,应该考虑减少化肥氮施用量问题。土壤硝态氮流失是一个复杂过程,除了土壤因素外,一般认为土壤水分也是导致硝态氮流失的重要原因之一。在宁夏银南灌区,灌溉排水量控制不合理,硝态氮在下渗水流的驱动力作用下,易发生淋失^[28]。一些研究表明秸秆还田降低作物产量,主要原因一是秸秆土壤空隙增多(尤其玉米秸秆),引起种子出芽率降低导致减产;二是在春旱或不能灌溉情况下,秸秆吸水导致土壤水分亏缺影响幼苗生长,易发生减产。这两种情况在灌区一般都不会发生,因此秸秆还田后增产。秸秆还田激发了土壤微生物固氮,早期减少硝态氮淋失;后期逐渐释放被作物吸收利用,减少了土壤残留和淋失几率。我国每年生产约 7 亿 t 秸秆,其肥量相当于 350 多万 t 氮肥,但我国秸秆还田率不足 50%,而美国已达到 69%,英国为 73%^[43]。

采用的树脂芯法观测稻田土壤硝态氮淋失的主要优点是提高了试验重复性,尽最大可能降低了试验过程对土壤的扰动与结构破坏,试验的准确度与精确度有较大提高;另外结果分析处理上直接得到土层硝态氮淋失量,省去了估算环节,方法简单。不足之处一是树脂材料与土壤存在界面差异,扰动了土壤水分及其溶质的运动过程,这一点与真空抽取法和渗漏计法有共同之处,目前还没有更好的办法;二是由于管壁打孔有限,形成了管子内外水分运动环境差异;三是管子直径太小,不能生长作物,忽略了作物对硝态氮的影响。

4 结论

本试验结果表明,秸秆还田能够减少耕作层(30cm)土壤硝态氮淋失数量,有效控制硝态氮向深层淋失,全量还田减少效果明显优于半量还田;另外,还能明显提高冬小麦产量。建议灌区秸秆还田至少半量以上,最好提倡全量还田。在宁夏引黄灌土壤有机质普遍较低的情况下,提倡和重视秸秆还田有利于控制土壤氮素产生的面源污染,促进灌区粮食产量的提高。

参考文献 (References):

- [1] 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): 103-107.
- [2] 张爱平, 杨世琦, 张庆忠, 杨淑静, 杨正礼. 宁夏灌区农田退水污染形成原因及防治对策. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 1037-1042.
- [3] 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.
- [4] 强学彩. 秸秆还田量的农田生态效应研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [5] 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): 43-47.
- [6] Nicholson F A, Chambers B J, Mills A R, Strachan P J. Effects of repeated straw incorporation on crop fertilizer nitrogen requirements, soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses. Soil Use and Management, 1997, 13(3): 136-142.
- [7] 张亚丽, 张娟, 沈其荣, 王金川. 秸秆生物有机肥的施用对土壤供氮能力的影响. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1575-1578.
- [8] 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(27): 174-179.
- [9] 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.
- [10] 谢红梅, 朱波, 朱钟麟. 无机与有机肥配施下紫色土铵态氮、硝态氮时空变异研究——夏玉米季. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 103-106.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 郭彦军, 田茂春, 宋代军, 杨游, 张家骅, 沃丽娜, 张彦, 周祥平, 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.
- [15] 王艳萍, 高吉喜, 刘尚华, 杜相革. 有机肥对桃源土壤硝态氮分布的影响. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1501-1505.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 艾娜, 周建斌, 杨学云, 梁斌. 长期施肥及撂荒对土壤氮素矿化特性及外源硝态氮转化的影响. 应用生态学报, 2008, 19(9): 1937-1943.
- [19] Islam M M, Iyamuremye F, Dick R P. Effect of organic residue amendment on mineralization of nitrogen in flooded rice soils under laboratory conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1998, 29(7/8): 971-978.
- [20] 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.
- [21] 王斯佳, 韩晓增, 侯雪莹. 长期施肥对黑土氮素矿化与硝化作用特征的影响. 水土保持学报, 2008, 22(2): 170-173.
- [22] 宋永林, 李秀英, 李小平. 长期施肥对褐潮土氮、有机质动态变化的影响. 中国农学通报, 2010, 26(18): 206-209.
- [23] 王常慧, 邹国元, 韩兴国. 草地生态系统中土壤氮素矿化影响因素的研究进展. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2184-2188.
- [24] 刘方春, 聂俊华, 刘春生, 付连刚, 肖秋生. 不同施肥措施对土壤硝态氮垂直分布的特征影响. 土壤通报, 2005, 36(1): 50-53.
- [25] Jensen E S. Nitrogen immobilization and mineralization during initial decomposition of ^{15}N -labelled pea and barley residues. Biology and Fertility of Soils, 1997, 24(1): 39-44.
- [26] Zhang Q C, Wang G H. Research on effect of temperature on nutrient release of paddy soil by using ion-exchange resin capsules. Chinese Journal of Rice Science, 2003, 17(4): 365-368.
- [27] Li Q R, Wang Z Y, Li Z B, Wang H M. Assessment of changes of fertilizer nutrient in soil by ion exchange resin membrane method. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(2): 71-76.
- [28] 刘杏认, 董云社, 齐玉春, Domroes M. 温带典型草地土壤净氮矿化作用研究. 环境科学, 2007, 28(3): 633-639.
- [29] 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.
- [30] 王永生, 黄剑, 杨世琦. 宁夏黄灌区秸秆还田对硝态氮流失量的影响. 农业环境科学学报, 2011, 30(4): 697-703.
- [31] 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): 40-45.
- [32] 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
- [33] 杨志谦, 王维敏. 秸秆还田后碳、氮在土壤中的积累与释放. 土壤肥料, 1991, (5): 43-46.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 汪军, 王德建, 张刚, 王灿. 秸秆还田条件下氮肥用量对稻田氮素淋失的影响. 中国环境科学, 2010, 30(12): 1650-1657.
- [37] 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.
- [38] Keeney D R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. Nitrogen in agricultural soils // Stevenson F J. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America; Madison, Wisconsin, 1982: 605-649.
- [39] 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.
- [40] 李志芳. 有机农业土壤氮素流失与防止措施. 农业环境保护, 2002, 21(1): 90-92.
- [41] Canter L W. Nitrates in Groundwater. New York: CRC Press Inc. Lewis Publishers, 1997: 204-204.
- [42] 尹娟, 费良军, 勉韶平. 宁夏银南灌区稻田控制排水条件下氮素淋失的研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 108-112.
- [43] 任仲杰, 顾孟迪. 我国农作物秸秆综合利用与循环经济. 安徽农业科学, 2005, 33(11): 2105-2106.