

黄淮海平原集约化种植条件下的土壤剖面硝态氮变化^①

赵炳梓, 张佳宝

(封丘农业生态国家实验站, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 (中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

摘要: 通过田间试验研究玉米-冬小麦轮作系统下, 两种不同水平的 N 肥施用量对 NO_3^- -N 在黄淮海平原土壤剖面的分布及其动态变化规律的影响, 并评估其对环境的潜在污染能力。土壤 NO_3^- -N 监测为每间隔 20 cm 至剖面深 180 cm。结果显示: 作物收获后土壤剖面 0~180 cm 的残留 NO_3^- -N 含量为 107~443 kg/hm², 年际间和不同作物间的变异性较大。土壤剖面 NO_3^- -N 含量随着施肥量的增加有增加的趋势, 但差异不显著。当前当地农民常规施肥量处理和为常规施肥量 2 倍处理在试验期间出现的土壤剖面 NO_3^- -N 含量峰值均在 2003 年的玉米生长季节, 分别为 688 kg/hm² 和 881 kg/hm², 但该玉米生长季节出现的大雨导致 0~180 cm 土层 50% 左右的 NO_3^- -N 积累在 100~180 cm 土层深处, 该深度的 NO_3^- -N 比较容易通过淋洗迁移出作物-土壤系统, 也有可能是潜在的作物 N 素来源。由于类似大雨在当地出现的频率比较高, 因此, 即使在当前当地农民的传统耕作管理措施下, 土壤 NO_3^- -N 可能存在对环境的污染威胁, 但程度如何, 尚需进一步研究。

关键词: N 肥施水平; 土壤 NO_3^- -N; 剖面分布; 动态变化; 黄淮海平原

中图分类号: S154.4; S152.4

进入农田的 N 肥量如果超过作物的需求量将会造成土壤剖面 NO_3^- -N 的积累, 而 NO_3^- -N 阴离子比较容易移动, 因而积蓄在土壤剖面的 N 比较容易以 NO_3^- -N 的形式通过迁移淋失而导致地下水 NO_3^- -N 的污染, 同时也有可能以气态形式通过反硝化或挥发释放到大气中, 这样的行为既造成 N 肥的损失又导致环境污染, 尤其是对地下水资源的污染威胁问题一直是科学家们的关注焦点。

在我国, 有关 NO_3^- -N 对环境的污染问题也已经引起了科学家们的高度关注, 尤其在象黄淮海平原这样的高度集约经营农业区域。黄淮海平原总面积约 35 万 km², 其中农业用地约 1800 万 hm², 主要种植作物为冬小麦和玉米轮作, 另外还有蔬菜和果树。化学肥料是该地区的主要 N 肥来源, 施用量每年超过 N 400 kg/hm²。由于存在有限的农业用地和不断增长的人口之间的矛盾, 高度集约经营农业在该地区越来越广泛。李保国等^[1]的研究表示约占黄淮海平原面积 10% 的浅层地下水中 NO_3^- -N 含量超过 20 mg/L, 而约占其平原面积 11.5% 的浅层地下水中的 NO_3^- -N 含量在 10~20 mg/L 之间, 该研究同时也告诫我们 NO_3^- -N 通过迁移淋失到达地下水的现象在该地区可能已经发生。

土壤剖面 NO_3^- -N 是导致地下水 NO_3^- -N 污染的来源, 而土壤水分的运移是导致土壤剖面 NO_3^- -N 迁移的

动力, 因而土壤剖面 NO_3^- -N 的含量及其动态分布行为显著影响着其对环境的潜在污染能力。但是, 土壤剖面 NO_3^- -N 的分布趋势和含量水平取决于多种因素, Isfan 等^[2]和 Campbell 等^[3]认为 N 肥施用量及灌溉方法和灌溉量是决定土壤剖面 NO_3^- -N 含量及其分布的主要因素。

研究 NO_3^- -N 在土壤中的分布可以利用原状土柱, 也可以通过田间实际情况观察。利用原状土柱监测 NO_3^- -N 的去向相对比较容易, 因为一些变量的输入和输出比较容易控制和测定。但田间土壤的变异性很大, 利用原状土柱试验有可能表达也有可能不能表达田间的实际情况; 另外, 与田间实际情况相比, 原状土柱的边界效应有可能影响我们对水分在土壤中的迁移或转化作出符合实际的解释, 同时边界中根系和有机物的消长规律也有可能和田间实际情况不相符。因此本研究利用田间试验的方法, 其主要目标包括: ①了解田间尺度下不同 N 肥施水平对 NO_3^- -N 在土壤剖面的分布及其动态变化规律的影响; ②评估土壤剖面 NO_3^- -N 变化对环境的潜在污染威胁。

1 材料与方法

1.1 试验地点

田间试验在中国科学院封丘农业生态试验站内进

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-406)、国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2005CB121103) 和中国科学院知识创新工程领域前沿项目 (ISSASIP02027) 共同资助。

作者简介: 赵炳梓 (1967—), 女, 浙江人, 副研究员, 主要从事土壤水分与作物生长、溶质迁移的研究。E-mail: bzhaoy@issas.ac.cn

行, 该试验站位于河南省封丘县 (东经 $114^{\circ}24'$, 北纬 $35^{\circ}00'$), 属于典型季风气候区。土壤为潮土, 表层 pH 8.4, 表层有机质含量 $<7 \text{ g/kg}$ 。土壤剖面质地: $0 \sim 34 \text{ cm}$ 土层为砂质壤土; $34 \sim 90 \text{ cm}$ 土层为黏土; $>90 \text{ cm}$ 土层为砂土。

1.2 试验设计和作物管理

田间试验的监测从 2002 年 6 月初开始, 至 2004 年 3 月底结束, 共进行了 22 个月。试验有 2 个处理, 分别在相邻的两块地上进行, 每块地的长 $\times$ 宽为 $25 \text{ m} \times 56 \text{ m}$ 。处理一的施肥量为当地平均常规施肥量 (常规施肥), 即玉米和小麦的施肥水平分别为 $\text{N } 140$ 和 250 kg/hm^2 ; 处理二的施肥量等于常规施肥量的 2 倍 (超常规施肥), 即玉米和小麦的施肥水平分别为 $\text{N } 280$ 和 500 kg/hm^2 。

所有的田间和作物生长过程中的管理措施均按照当地农民的日常方法进行。通常情况下, 当地农民选择 $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ 和/或 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 作为 N 肥, 先将肥料手施于作物行中间, 然后用铁锹翻埋肥料至土表 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 。玉米地的所有肥料均在大喇叭口期 (大约在每年的 7 月中下旬) 施入; 而在小麦地, 60% 的肥料作为基肥施入, 剩余的 40% 在翌年的返青拔节期 (大约在每年的 2 月下旬或 3 月上旬) 施入。玉米的生长季节为每年的 6 月上旬至 9 月底或 10 月初; 而小麦的生长季节为每年的 10 月中旬至翌年的 6 月初。

1.3 土样采集和土壤 NO_3^- -N 提取

土壤样品用土钻每间隔 20 cm 采集至剖面 180 cm 深度, 每次采样均在每小区随机采集 3 点作为重复, 2002 年玉米种植前 (即试验开始前) 和结束分别采样 1 次, 从 2003 年 3 月初开始每间隔 1 个月或 1 个星期采集样品 1 次, 施肥、灌溉、大雨后加密。运回实验室的土壤样品在 24 h 内用 2 mol/L 的 KCl 提取 (土: 水=1:5), 流动分析仪 (SKALAR, San Plus System, Netherlands) 测定, 然后将结果折算成每单位烘干土重含 NO_3^- -N 的量 (NO_3^- -N mg/kg), 再根据土壤剖面不同层次的体积质量 (容重) 折算成每公顷土壤含 NO_3^- -N 的量 (NO_3^- -N kg/hm^2), 计算公式为: NO_3^- -N $\text{kg/hm}^2 = (\text{NO}_3^-$ -N $\text{mg/kg} \times \text{BD} \times \text{H})/100$, 其中 BD 为土壤体积质量 (kg/m^3), H 为土层厚度 (m)。剖面不同层次的土壤体积质量用环刀法测定。

1.4 降雨量资料的收集和数据的统计分析

试验期间的气象资料采集自试验地旁 0.5 km 处的小型气象站, 长期资料搜集自与试验地相距 11 km 的封丘县气象局。

本文试验在相邻的两块田地上进行, 每块地作为一个试验单元或试验小区, 因此这样的试验属于就地监

测型试验, 而非具有真正重复的大型小区试验。尽管在均一管理小区的不同点上采样得到的子样品不能认为是真正的重复, 但 Villar-Mir 等^[4]依然认为小区内部试验误差的估计有助于对所得数据的精确评价、增加所得结论的可靠性; 依然可以用同一小区的子样品数据 (不是真正的重复所得数据) 用方差分析方法来表示不同小区 (即不同处理) 之间的显著性差异。因此, 本研究用方差分析方法检验不同施肥水平对土壤 NO_3^- -N 含量的显著性影响, 用直线回归描述土壤剖面 $0 \sim 180 \text{ cm}$ 的 NO_3^- -N 含量与 $100 \sim 180 \text{ cm}$ 的 NO_3^- -N 含量之间的关系, 所有统计分析用 SPSS 11.5 进行。

2 结果与讨论

2.1 作物收获后土壤中残留的 NO_3^- -N 量

不同季节作物收获后土壤剖面残留 NO_3^- -N 含量的变异性很大, 即使在同样管理水平 (包括施肥条件), 同一作物收获后, 其在年际间的变化也比较大 (表 1)。比如, 比较小麦收获后的土壤剖面 $0 \sim 180 \text{ cm}$ 的残留 NO_3^- -N 含量发现, 常规施肥处理中 2002 年的残留量是 2003 年的 4 倍多, 因为试验前一季当地小麦的所有管理均与常规施肥处理一致, 而当 2003 年的超常规施肥处理小麦收获后, 其剖面残留的 NO_3^- -N 含量比试验前的结果还低, 这可能与不同年份作物生长的不同气候条件有关。Liu 等^[5]在北京潮土上的试验结果同样也发现作物收获后土壤剖面残留 NO_3^- -N 含量在年际间和不同作物间的差异比较大。因此, 在常规施肥情况下, 2003 年小麦收获后可供下一季作物利用的 N 量比较低, 预示着由于作物生长期间的气候条件和/或施肥条件的不同, 在精准预测或推荐下一季的合理施肥量时必须首先获得下一季作物种植前的实际土壤养分含量资料。

总的来说, 施肥量有增加作物收获后土壤剖面残留 NO_3^- -N 含量的趋势, 但施肥量之间的显著性差异只有在 2003 年的玉米收获后才有表现, 而 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 和 $100 \sim 180 \text{ cm}$ 土层的 NO_3^- -N 含量占 $0 \sim 180 \text{ cm}$ 土层 NO_3^- -N 全量的比例在整个试验阶段的不同施肥量处理间均没有显著性差别 (表 1)。考虑土表 40 cm 和深度 100 cm 以下土层的原因是因为尽管在封丘地区的小麦的根系有时可深达 190 cm 左右^[6], 但作物根系吸收养分最活跃分布深度在 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 之间, 据肉眼观察, 该范围的根系分布密度和数量均远高于 40 cm 以下的土层, 因为封丘地区潮土在剖面深度 40 cm 左右往往有一厚达 30 cm 左右的质地黏重的土层, 可能严重影响着作物根系的向下穿插; 并且大部分根系分布在剖面 100 cm 深度以上范围, 因此, 100 cm 以下土层中的

$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 对植物的有效性相对较小, 是潜在的地下水 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 污染源, 而剖面 180 cm 深度通常认为是该区域作物-土壤系统的最深界面。

作物收获后土壤剖面残留的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 有很大部分累积在 100 cm 以下的剖面深层, 从本试验共 4 季的监测结果来看, 无论施肥水平如何, 其中有 3 季,

其土壤剖面全量 40% 以上的残留 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 累积在 100 cm 以下的剖面深层, 最高出现在 2003 年的夏玉米收获后, 达 60% 左右 (表 1)。可以预见, 这部分 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 如果遇到适宜的环境条件 (比如遇到大雨) 很容易通过迁移到达土壤的更深层次而有可能污染地下水。

表 1 作物收获后土壤剖面 0~180 cm 残留 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ (kg/hm^2) 含量及其在剖面 0~40 cm 和 100~180 cm 所占比例

Table 1 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ residue (kg/hm^2) within the 0 to 180 cm soil layer after crop harvest and its proportions within the 0 to 40 cm and 100 to 180 cm layers

处理	2002-06-13 (试验前)			2002-09-30			2003-06-10			2003-10-02		
	(小麦收获后)			(玉米收获后)			(小麦收获后)			(玉米收获后)		
	土壤		比例 (%)	土壤		比例 (%)	土壤		比例 (%)	土壤		比例 (%)
	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	0~40	100~180	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	0~40	100~180	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	0~40	100~180	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	0~40	100~180
	(0~180 cm)	cm	cm	(0~180 cm)	cm	cm	(0~180 cm)	cm	cm	(0~180 cm)	cm	cm
常规	443.3	5.4	48.2	179.9a	27.2a	44.3a	106.9a	27.1a	29.4a	130.9a	15.1a	58.1a
施肥	(163.0)	(1.9)	(27.4)	(62.6)	(12.3)	(13.0)	(42.4)	(14.9)	(19.6)	(17.4)	(8.8)	(8.5)
超常规	443.3	5.4	48.2	342.1a	36.5a	41.9a	351.1a	23.7a	34.3a	214.7b	5.0a	60.5a
施肥	(163.0)	(1.9)	(27.4)	(199.6)	(30.8)	(37.7)	(271.6)	(19.1)	(10.7)	(33.6)	(1.0)	(12.4)

注: 括号内数据为标准偏差; 每列数据后的不同字母表示处理间达 $p<0.05$ 的显著性差异。

2.2 小麦-玉米地土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 动态变化

不同肥料处理间土壤剖面 0~180 cm $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量随着时间的变化趋势非常相似 (图 1), 增施 N 肥增加土壤剖面的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量, 就每次采样的平均值来说, 超常规施肥处理的土壤剖面 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量始终高于常规施肥处理, 它们在整个试验期间的平均值分别为 N 439

和 $312 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。但通过对整个试验期间 25 天的结果分别进行方差分析显示, 25 天中只有 2 天的结果在处理间达显著性差异, 出现在 2003 年玉米生长的后期 (2003 年 9 月 10 日) 和玉米收获后 (2003 年 10 月 2 日), 表明不同施肥处理对试验期间大部分时间的土壤剖面 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的累积没有显著影响。这不得不让人考虑

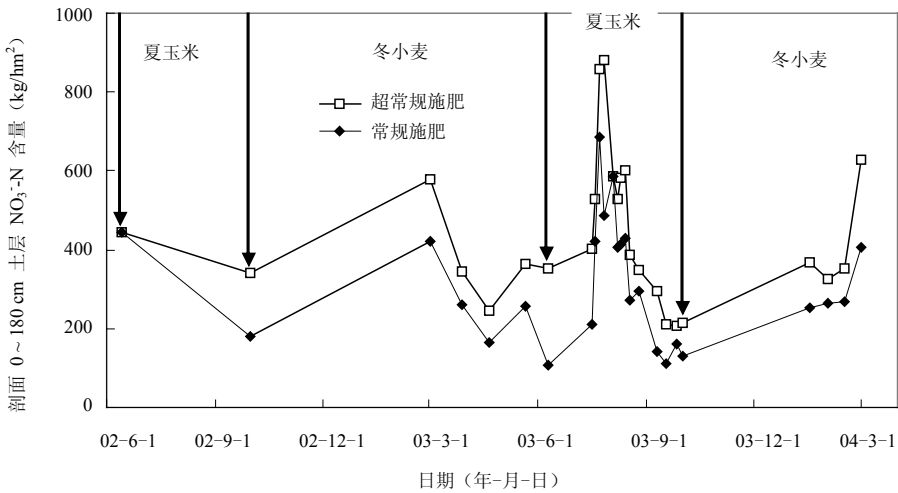


图 1 试验期间剖面 0~180 cm 土层 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量变化 (所有数据为 3 个子样品的平均值, 其标准差变化范围为 17~503, 为了使图更加清晰, 标准差数据变化没有在图上标出。箭头表示作物的播种日期。)

Fig. 1 Variation of soil $\text{NO}_3^- \text{-N}$ in content in the 0~180 cm soil layer during the experiment

到多施入 NO_3^- -N 的去向问题, 是被作物吸收从而提高作物的生产力还是通过迁移淋失到地下水或通过气态损失到大气?

可以预见, 从 10 月中旬小麦播种到翌年的 2 月中旬至 3 月初, 土壤剖面的 NO_3^- -N 含量变化处于一个比较平稳的阶段, 因为该阶段为小麦的播种出苗、分蘖、越冬阶段, 生长缓慢, 对水分和养分的需求均较低; 另外, 小麦播种后, 气温不断降低, 土壤温度亦逐渐下降, 到 12 月初至翌年的 2 月中下旬或 3 月初的越冬期达年最低值, 不利于土壤 N 素的硝化作用。从 2004 年 1 月中旬至 2 月中旬连续 3 次的土壤剖面 NO_3^- -N 含量监测资料也证明, 超常规施肥和常规施肥处理的土壤剖面 0~180 cm 的 NO_3^- -N 含量平均分别为 N 349 和 262 kg/hm^2 , 变异系数 CV 分别为 0.06% 和 0.03%, 属弱变异性。

从 2003 年 3 月初至 2003 年 6 月初为小麦的活跃生长阶段, 小麦经历返青拔节、抽穗开花、灌浆成熟, 土壤剖面 NO_3^- -N 含量持续下降, 常规施肥处理从 N 423 kg/hm^2 降至 107 kg/hm^2 , 而超常规施肥处理从 N 580 kg/hm^2 降至 351 kg/hm^2 , 表明该阶段的土壤剖面 NO_3^- -N 连续不断被小麦吸收和/或通过淋溶或反硝化损失。事实上, 4 月中下旬为土壤剖面 NO_3^- -N 含量下降最为明显的时候, 因为该阶段小麦需吸收大量养分来满足灌浆需求。

2003 年的 6 月中旬至 2003 年 9 月底的玉米生长阶段最值得关注, 因为试验期间的土壤剖面 NO_3^- -N 含量的峰值和异常高降雨均在该阶段出现, 常规施肥和超常规施肥处理的土壤剖面 0~180 cm 土层的 NO_3^- -N 含量的峰值均出现在 7 月下旬, 含量分别达 N 688 和 881 kg/hm^2 , 如此高的 NO_3^- -N 含量可能来源于 7 月中下旬进行的对夏玉米的施肥及同时期比较活跃的土壤硝化作用, 因为小麦收获后, 当地气温和土壤温度均逐渐上升, 至 7 月份达年最高值, 7~9 月份又正值当地雨季, 土壤干湿交替频繁, 十分有利于土壤 N 素硝化。实际上, 从 7 月中旬至 8 月中旬的一个月期间, 土壤剖面的 NO_3^- -N 含量始终维持在比较高的水平, 常规施肥和超常规施肥处理分别大于 N 400 和 500 kg/hm^2 , 一旦过了 8 月中旬, 它们的含量分别大幅下降至 N 272 和 387 kg/hm^2 , 及至该季节的玉米收获后, 它们的含量分别进一步降低至 N 131 和 215 kg/hm^2 。

在整个试验期间, 常规施肥和超常规施肥处理的土壤剖面 100~180 cm 土层的 NO_3^- -N 含量与剖面 0~180 cm 土层的 NO_3^- -N 含量之间成极显著线性相关(图 2); 而土表 0~20 cm 或 0~40 cm 的 NO_3^- -N 含量与剖面 0~180 cm 土层的 NO_3^- -N 含量之间的相关关系在两

种施肥水平下均表现出不显著(具体数据未在此列出)。上述相关关系表明用土表几十厘米的 NO_3^- -N 含量在该区域不能相应反应整个土壤剖面作物根系分布区域的 NO_3^- -N 含量水平, 因此很难利用土表的 NO_3^- -N 含量水平来预测作物-土壤系统 NO_3^- -N 含量对环境的潜在污染可能; 而作物-土壤系统 NO_3^- -N 含量水平的变化显著决定着其在系统深层的含量水平。造成这种现象的原因可能主要与试验期间玉米生长季节的 6~9 月份的强降雨导致的水分在土壤剖面的快速运移有关。2003 年 6~9 月份的总降雨量达 625.7 mm, 是过去 30 年同时期多年平均的 1.5 倍以上; 而当地土壤剖面 0~100 cm 的有效水贮水库容也只有 197 mm ^[7], 因此, 这样强度的降雨足可以再充满土壤水库容, 从而导致没有被作物吸收的 NO_3^- -N 在土壤剖面向土层深度迁移。彭琳等^[8]的研究表明, 在壤土旱地土壤上, 每 2~3 mm 降雨量可使土壤中 NO_3^- -N 下渗 1 cm; 而

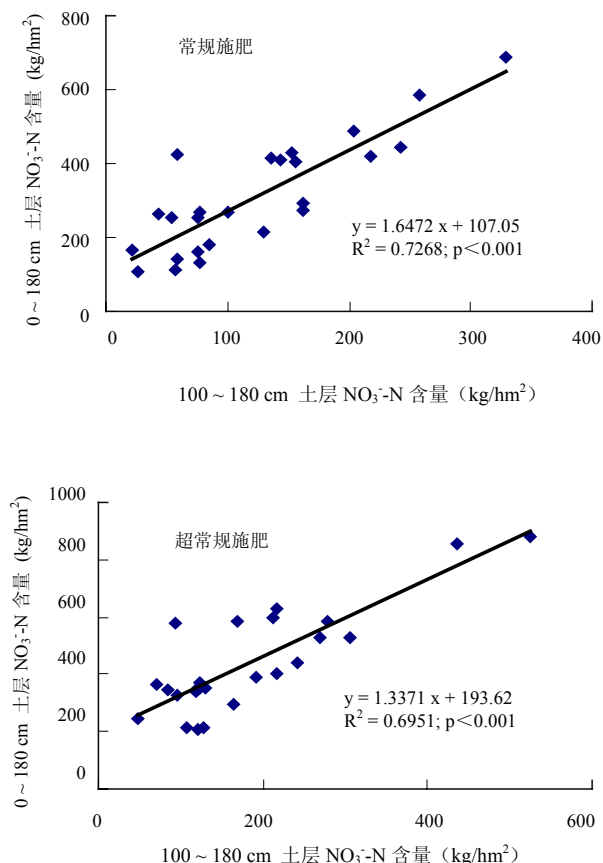


图 2 试验期间剖面 100~180 cm 土层 NO_3^- -N 含量与 0~180 cm 土层 NO_3^- -N 含量之间的相关关系

Fig. 2 Soil NO_3^- -N content in the 100~180 cm soil layer in relation to that in the 0~180 cm soil layer during the experiment

当土壤饱和后,每 25 mm 的灌溉或降雨可使 NO_3^- -N 在砂土上的迁移速率达每天 15~20 cm^[9]。

图 3 的结果同样表示试验期间的大雨是造成土壤剖面的 NO_3^- -N 从表层往深层迁移的主要原因之一,再加上大雨导致的土壤厌氧条件不利于玉米对土壤养分和水分的吸收、过高的空气相对湿度限制了由土表蒸发造成的土壤水分损失,进一步更加剧水分和养分在土壤剖面向下迁移。在 7~9 月份的雨季,剖面 100~180 cm 土层 NO_3^- -N 含量占 0~180 cm 土层 NO_3^- -N 含量的比例显著高于其他季节,常规施肥和超常规施肥处理在该阶段的平均为 47% 和 50% 左右,最高达 60% 以上,而在其他时段的平均值分别只有 29% 和 30%。

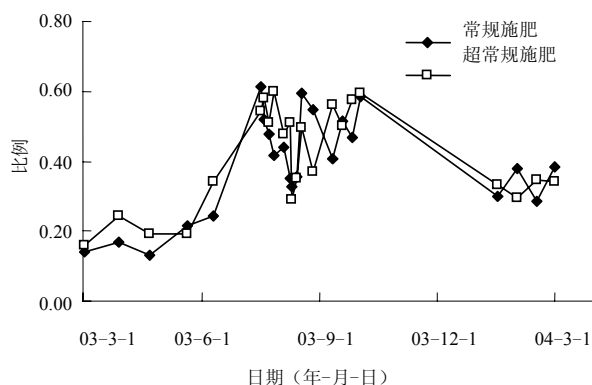


图 3 剖面 100~180 cm 土层 NO_3^- -N 含量占 0~180 cm 土层 NO_3^- -N 含量的比例 (所有数据为 3 个子样品的平均值,其标准差变化范围为 2.1~38,为了使图更加清晰,标准差数据变化没有在图上标出)

Fig. 3 Proportion of the soil NO_3^- -N content in the 100~180 cm soil layer to that in the 0~180 cm soil layer

2003 年 8 月下旬至 9 月的 10 多天内,试验地区连续不断降雨高达 240 mm,有可能促使积累在剖面深层的 NO_3^- -N 迅速迁移出作物-土壤系统,这也可能是造成土壤剖面的 NO_3^- -N 含量在 2003 年 8 月中旬后迅速下降的主要原因;迁移出作物-土壤系统的 NO_3^- -N 是否对当地环境或地下水存在污染的威胁,尤其在这种极端的气候条件下,而这种极端气候条件在当地出现的频率比较高,1964~1995 年间的气象资料表示,30 年有 11 年出现类似的气候 (具体数据没有列出)。因此,即使在常规施肥条件下,土壤 NO_3^- -N 是否存在对当地环境的污染威胁,进一步的研究将十分必要。

3 结论

黄淮海平原的典型地区的试验结果表明作物收获后土壤剖面残留的 NO_3^- -N 含量在年际间和不同作物间的变异性很大,因此在精准预测或推荐下一季作物的肥料施用量时必须充分考虑到这一点;土壤剖面 NO_3^- -N 含量有随施 N 量增加而增加的趋势,但双倍的施 N 量在大部分时候并没有显著增加土壤剖面的 N 素累积,多施 N 肥的去向如何,值得我们进一步关注;大雨是促使土壤 NO_3^- -N 向剖面深层迁移的主要原因,剖面 0~180 cm 间积累的 NO_3^- -N 全量与 100~180 cm 间含有的 NO_3^- -N 量之间成显著正相关,而与表层 0~20 cm 或 0~40 cm 间积累的 NO_3^- -N 含量之间的相关关系不明显,表明在研究黄淮海平原土壤剖面的 NO_3^- -N 含量时不能仅考虑表层的 NO_3^- -N 含量变化;积累在剖面 100~180 cm 间的 NO_3^- -N 比较容易迁移出作物-土壤系统,也有可能是潜在的作物 N 素来源,因此,是否存在对环境的污染威胁,尚需进一步的研究。

参考文献:

- [1] 李保国, 白由路, 胡克林, 黄元仿, 陈德立. 黄淮海平原浅层地下水中 NO_3^- -N 含量的空间变异与分布特征. 中国工程科学, 2001, 3 (4): 42-45
- [2] Isfan D, Zizka J, D'Avignon A, Deschênes M. Relationships between nitrogen rate, plant nitrogen concentration, yield and residual soil nitrate-nitrogen in silage corn. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1995, 26: 2531-2557
- [3] Campbell CA, Read DWL, Biederbeck VO, Winkleman GE. The first 12 years of a long-term crop rotation study in southwestern Saskatchewan-Nitrate-N distribution in soil and N uptake by the plant. Can. J. Soil Sci., 1983, 63: 563-578
- [4] Villar-Mir JM, Villar-Mir P, Stockle CO, Ferrer F, Aran M. On-farm monitoring of soil nitrate-nitrogen in irrigated cornfields in the Ebro valley (Northeast Spain). Agron. J., 2002, 94: 373-380
- [5] Liu X, Ju X, Zhang F, Pan J, Christie P. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the North China Plain. Field Crops Res., 2003, 83: 111-124
- [6] 陈志雄, Vauclin Michel. 封丘地区土壤水分平衡研究 IV. 雨养条件下三个不同湿度麦季的小麦耗水量与水分利用率. 土壤学报, 1991, 28(4): 396-403
- [7] 赵炳梓, 徐富安. 土壤结构特性与农田水分管理. 土壤, 1991, 23 (6): 285-290
- [8] 彭琳, 彭祥林. 卢宗藩壤土旱地土壤硝态氮季节性变化与夏季休闲的培肥增产作用. 土壤学报, 1981, 18(3): 212-222
- [9] Saffigna PG and Keeney DR. Nitrogen and chloride uptake by irrigated Russet Burbank potatoes. Agron. J., 1977, 69: 258-264

Variation of Soil NO_3^- -N in Content and Its Distribution in Soil Profile under Intensive Agriculture in the North China Plain

ZHAO Bing-zi, ZHANG Jia-bao

(*State Experimental Station for Agro-Ecology, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute
of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China*)

Abstract: A field experiment was conducted in the North China Plain to investigate effect of N application rate on soil NO_3^- -N and its distribution in the soil profile under a maize-winter-wheat cropping system. The potential hazard of soil NO_3^- -N to the environment was also evaluated. Soil NO_3^- -N contents were measured of soil layers, 20 cm each, of a 180-cm deep soil profile. After the crops were harvested soil NO_3^- -N residues in the profile varied greatly from year to year and from crop to crop in the field experiment with values ranging from 107 to 443 kg/hm². A general trend of soil NO_3^- -N content increasing with N application rate was observed, while significant difference was hardly observed. During the experiment, a peak soil NO_3^- -N content of 688 and 881 kg/hm² for present local farmers' traditional N rate and 2 times the traditional N rate, respectively, was observed in the growth period of maize in 2003. It is generally considered that the soil NO_3^- -N within the layer of 100~180 cm could easily transport by leaching to the environment that beyond the bottom of the plant-soil system or be regarded as potential N source for subsequent crop growth. About 50% of the soil NO_3^- -N content at layers of 0~180 cm was accumulated in the deeper layers of 100~180 cm during the growth period of maize in 2003, mainly caused by the heavy rainfall occurred concurrently. It was reported that such kind of heavy rainfall occurred with high frequency. Therefore, potential contamination with NO_3^- -N might occur even with local farmers' traditional management strategy. Further research is required to investigate the contamination degree.

Key words: N fertilization rate, Soil NO_3^- -N, Profile distribution, Dynamics, Huang-Huai-Hai Plain