

## 施用不同肥料土壤水解氮的垂直分布特征

李洪涛, 高红莉, 王钰涵, 郭雷 (河南省科学院地理研究所, 河南郑州 450052)

**摘要** 以许昌市建安区高效农田灌区为例, 研究施用不同肥料土壤水解氮含量的垂直分布特征。结果表明, 经过一个耕作周期, 施用氮含量 322.5 kg/hm<sup>2</sup> 的有机无机复混肥、施用氮含量 202.5 kg/hm<sup>2</sup> 的复合微生物肥料与施用氮含量 397.5 kg/hm<sup>2</sup> 的常规施肥, 三者之间土壤中水解氮含量差异不显著 ( $P>0.05$ ); 土壤中水解氮含量表层含量最高, 在 1.5 m 深度出现第二峰值, 4.0 m 以下各土层间均差异不显著; 土壤中水解氮含量的垂直分布在夏季与秋季略有不同, 但差异不显著 ( $P>0.05$ )。

**关键词** 无机养分; 水解氮; 垂直分布; 有机无机复混肥; 微生物肥料

中图分类号 S158 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)03-0076-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.03.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Vertical Distribution Characteristics of Hydrolyzed Nitrogen in Soils with Different Fertilizers

LI Hong-tao, GAO Hong-li, WANG Yu-han et al (Institute of Geography, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou, Henan 450052)

**Abstract** The vertical distribution characteristics of soil hydrolytic nitrogen content were studied by applying different types of fertilizers in high efficiency farmland irrigation area of Jian'an District of Xuchang City. The results showed that after one tillage cycle, the difference of soil hydrolytic nitrogen content among organic-inorganic compound fertilizer with nitrogen content of 322.5 kg/hm<sup>2</sup>, compound microbial fertilizer with nitrogen content of 202.5 kg/hm<sup>2</sup> and conventional fertilization with nitrogen of 397.5 kg/hm<sup>2</sup> had no significant difference ( $P>0.05$ ). The content of hydrolyzed nitrogen in the surface layer of soil was the highest, and the second peak appeared at 1.5 m depth, there was no significant difference among soil layers below 4.0 m. The vertical distribution of soil hydrolytic nitrogen content in summer and autumn was slightly different, but the difference was not significant ( $P>0.05$ ).

**Key words** Inorganic nutrient; Hydrolyzed nitrogen; Vertical distribution; Organic-inorganic compound fertilizer; Microbial fertilizer

化肥的施用是提高粮食产量的重要措施<sup>[1-3]</sup>, 然而农业生态系统的恢复能力有限, 化肥过量施用会引起土壤污染、地下水污染、河流污染等一系列的环境问题。施肥造成环境污染主要是氮磷元素的富集和迁移。水解氮易溶于水, 在土壤中有很强的迁移性, 因此在降雨或者灌溉条件下, 由于淋溶作用迁移至地下水体中, 从而造成地下水环境的污染<sup>[4-5]</sup>。因此, 研究水解氮的渗漏并对其所造成的污染风险进行评估, 对保护地下水环境、建设环境友好型社会、走可持续发展道路都有十分重要的意义。笔者以许昌市建安区高效农田灌区为例, 通过田间施用不同类型肥料试验, 研究许昌市建安区高效农田灌区土壤水解氮的垂直分布特征, 为当地农业施肥管理以及相似区域因地制宜展开农业生产活动提供科学的依据。

## 1 材料与方

**1.1 试验地点与材料** 试验设在许昌市建安区高效农业灌溉示范区(113°35'~114°04'E, 33°52'~34°10'N)。该区域属北暖温带季风气候区, 春季干旱多风, 夏季炎热雨集中, 秋季晴和凉爽日照长, 冬季寒冷少雨雪, 年降水量 671~736 mm, 降雨多集中在 6—9 月, 年平均气温在 14.3~14.6℃。土壤以沉积层为主, 为黏质砂土、砂壤土、黏土, 含水组以松散岩类孔隙含水组为主。地下水埋深在 10~15 m, 地下水补给以降雨入渗为主。农作物以冬小麦夏秋季玉米、大豆为主。

冬小麦供试肥料一为有机无机复混肥, 36%的无机养分(N:P:K=18:13:15)+15%的有机质; 供试肥料二为复合微生物肥料, 28%的无机养分(N:P:K=12:12:4)+25%的有机质

微生物菌剂; 供试肥料三为常规施肥, 45%的无机养分(N:P:K=25:15:5)。夏秋季玉米供试肥料一为有机无机复混肥, 35%的无机养分(N:P:K=25:5:5)+15%的有机质; 供试肥料二为复合微生物肥料, 25%的无机养分(N:P:K=15:5:5)+25%的有机质微生物菌剂; 供试肥料三为常规施肥, 46%的无机养分(N:P:K=28:8:10)。

**1.2 试验设计与样品采集** 试验设置 3 个施肥处理: 处理①, 有机无机复混肥; 处理②, 复合微生物肥料; 处理③, 常规施肥; 施用量均按 225 kg/hm<sup>2</sup>。试验田总面积为 3 hm<sup>2</sup>, 按照 3 个施肥处理作为 3 个处理, 每个处理设置 3 个重复, 试验田共划分为 9 个处理单元, 每个处理单元约 0.2 hm<sup>2</sup>, 处理顺序随机排列。试验从 2018 年 10 月初开始整理土地, 10 月 12 日施肥播种, 按设计 2019 年 6 月 10 日第 1 次采集样品, 2019 年 10 月 10 日第 2 次采集样品。土样采集: 每个处理设 1 个采探点, 采集采探点周围 20 cm 深混合土样作为表层土样, 其他土层土样使用汽油冲积取土钻钻取土柱, 每隔 50 cm 采集一次, 每次从土柱底端截取 10 cm 土柱作为样品, 样品重量约 200 g。

**1.3 样品的测定** 将所采集样品粉碎, 过 100 目筛, 根据检测方法称取所需土样。样品检测所用试剂均为分析纯。土壤水解性氮的测定方法采用碱解扩散法。

**1.4 数据处理** 采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件对检测数据进行对比分析, 通过单因素方差分析(One-way ANOVA)的 LSD 法对数据进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

通过对 6 月份土壤水解氮含量进行差异显著性检验(表 1)可知, 表层(0 m)与其他土层水解氮含量差异显著; 2.0 m 以上土层与 3.0 m 以下土层水解氮含量差异显著, 3.0 m 以

**基金项目** 河南省科学院基本科研费项目(200601074); 河南省科学院科技开放合作项目(210901007); 河南省科学院杰出青年人才项目(210401011); 河南省科学院重大科研聚焦专项(210101007)。

**作者简介** 李洪涛(1978—), 男, 河南许昌人, 助理研究员, 从事生态环境领域相关研究。

**收稿日期** 2021-05-08

下各土层间均差异不显著。由图 1 可知,6 月份土壤表层水解氮含量高于其他土层,在总含量中的占比最高;1.0 m 土层水解氮含量低于上下土层,出现第一波谷;1.5 m 土层水解氮含量高于上下土层,出现非常明显的第二波峰;2.0 m 以下土层水解氮含量虽然仍有波动,但整体呈现下降趋稳态势。处理①和处理③土壤表层水解氮含量高于其他土层,在总含量中的占比最高,处理②0.5 m 土层水解氮含量略高于土壤表层,在总含量中的占比最高;处理②在 0.5~2.0 m 土层的水解氮含量高于其他 2 个处理;3 个处理 1.0 m 土层水解氮含量均低于上下土层,出现第一波谷,1.5 m 土层水解氮含量高于上下土层,出现非常明显的第二波峰,2.0 m 以下土层水解氮含量虽然仍有波动,但整体呈现下降趋稳态势。

通过对 10 月份土壤水解氮含量进行差异显著性检验(表 1)可知,表层及 0.5 m 土层与其他土层土壤水解氮含量差异显著;1.5 m 土层与其他土层水解氮含量均差异显著;2.0 m 和 2.5 m 土层与其他土层水解氮含量差异显著;3.0 m 以上土层(除 1.0 m 土层)与 4.0 m 以下土层(除 5.5 m 土层)水解氮含量差异显著,4.0 m 以下各土层间差异不显著。由图 2 可知,3 个处理 0.5 m 以上土层水解氮含量高于其他土层,在总含量中的占比最高;1.0 m 土层水解氮含量低于上下土层,出现第一波谷;2.0 m 以下土层水解氮含量虽然仍有波动,但整体呈现下降趋稳态势。处理①和处理③1.5 m 土层水解氮含量高于上下土层,出现第二波峰;处理②在 2.0 m 土层出现第二波峰,且其波峰呈现出与其他 2 个处理不同的趋势。

表 1 土壤水解氮垂直方向变化

采样深度 Sampling depth/m	6 月 June	10 月 October
0	102.86±3.25 a	95.05±2.78 a
0.5	65.94±29.60 cd	95.56±4.14 a
1.0	47.79±6.24 c	33.89±1.09 de
1.5	85.72±12.33 b	58.38±7.79 b
2.0	69.92±9.51 bc	48.62±9.34 c
2.5	52.78±4.44 de	44.07±7.14 c
3.0	41.52±7.66 e	35.78±1.06 d
3.5	44.02±2.83 e	30.11±2.92 de
4.0	29.66±4.03 e	21.34±1.25 e
4.5	25.55±2.76 e	20.15±0.39 e
5.0	30.02±1.11 e	24.16±3.30 e
5.5	30.88±2.75 e	28.39±1.41 de
6.0	30.39±4.57 e	27.70±0.67 e
6.5	28.46±5.67 e	23.88±3.48 e
7.0	28.67±3.21 e	19.18±4.31 e

注: 同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ )

通过对 6 月份和 10 月份土壤水解氮含量 2 次样品间显著性检验可知,6 月份与 10 月份土壤水解氮含量整体差异不显著,3 个处理间 6 月份与 10 月份土壤水解氮含量也差异不显著。结合图 1~2 可知,处理①和③在 0.5 m 土层处出现了 10 月份水解氮含量高于 6 月份的现象;0.5~4.0 m 土壤水解氮含量 6 月份整体高于 10 月份;4.0 m 以下土壤中不同月份间各处理差值较小。

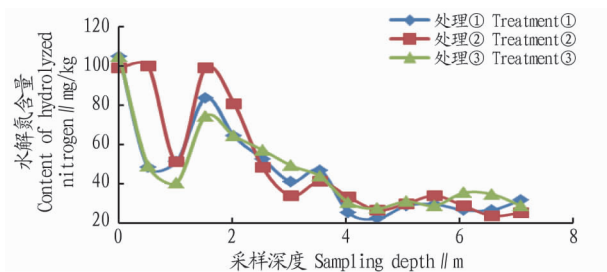


图 1 6 月份不同处理水解氮分布

Fig. 1 Distribution of hydrolyzed nitrogen in different treatments in June

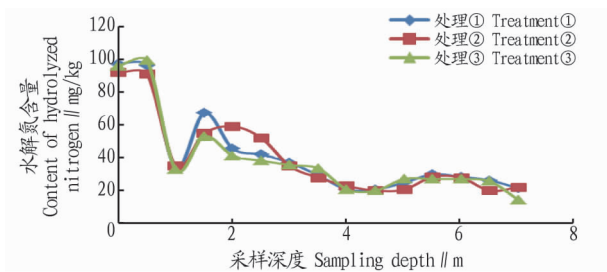


图 2 10 月份不同处理水解氮分布

Fig. 2 Distribution of hydrolyzed nitrogen in different treatments in October

### 3 结论与讨论

**3.1 有机质和微生物菌剂有效提高氮利用率** 李春越等<sup>[6]</sup>研究黄土旱塬农田土壤得出,土壤微生物量碳、磷分别与土壤有机质、全氮、全磷呈显著正相关;土壤微生物量氮与有机质、全氮呈显著正相关;长期单施化肥使土壤酸碱度发生改变,对微生物的生命活动产生抑制作用;而长期化肥配施有机肥能不同程度提高土壤养分含量,促进土壤微生物的生长繁殖,进而增强微生物对碳、氮、磷等元素的吸收利用。龚雪蛟等<sup>[7]</sup>研究表明有机肥一方面对提高土壤有机质含量,尤其是活性有机质含量和碳库管理指数效果明显,另一方面可增加土壤氮磷钾养分容量,减少作物生长消耗带来的土壤养分亏损,促进土壤质量良性发展。胡留杰等<sup>[8]</sup>研究表明菌渣还田能够增加土壤微生物群落的规模及土壤酶活性,有利于土壤质量的改善,同时还增强了土壤潜在的抑病能力。杨振兴等<sup>[9]</sup>研究表明氮磷有机肥配施土壤有机质含量均高于施用氮磷化肥处理。

在该试验一个耕作周期,处理①施用无机养分(N、P、K)共计 35.5 kg,其中 N 为 21.5 kg;处理②施用无机养分共计 26.5 kg,其中 N 为 13.5 kg;处理③施用无机养分共计 45.5 kg,其中 N 为 26.5 kg;3 个施肥处理所施用的肥量相同,施肥中所含的无机养分不同,处理①的施氮量为处理③的 81%,处理②的施氮量仅为处理③的约 51%,但在耕作期间和一个耕作周期后,3 个处理间土壤中水解氮含量差异不显著( $P>0.05$ )。表明添加有机质和有机质微生物菌剂是提高氮利用率的有效方法。

**3.2 水解氮在土壤中的垂直分布** 水解氮在土壤中的含量由浅到深整体呈现出降低—上升—降低—趋稳的垂直分布特征,0.5 m 以上土层>1.5 m 土层>2.0 m 土层>1.0 m 土层>2.5 m 土层>其他土层;4.0 m 以下各土层间差异不显著。

土壤表层水解氮含量高于其他土层,在总含量中的占比最高。1.5~2.0 m 土层水解氮含量高于上下土层,出现非常明显的第二波峰。根据杜晓晴<sup>[10]</sup>的研究,土壤密度与水分运移过程中到达稳渗时间和最大速率相关性强,万静等<sup>[11]</sup>研究表明土壤质地为粉砂壤或壤土,有机质与氮磷含量较高,因此该处出现第二波峰可能与该深度土壤的理化性质有关,其具体相关性及土壤理化性质尚需进一步研究。

**3.3 秸秆还田和降雨与土壤中的水解氮运移有相关性** 秋收后土壤表层水解氮含量高于夏季,根据其他学者的相关研究秸秆直接还田或间接还田能提高土壤有机质含量、改善土壤肥力<sup>[12-14]</sup>,第2次采集土样时间为玉米秸秆还田后第18天,因此采集土样时玉米秸秆中的部分水解氮已转移到土壤中,同时采集土样中含有已粉碎的秸秆,这可能是秋收后土壤表层水解氮高于夏季的主要因素。

此次试验周期内土壤深层水解氮秋季低于夏季,试验田所处位置为温带季风气候,降雨多集中在6—9月,杜晓晴<sup>[10]</sup>研究表明水分运移过程对全氮和速效钾的影响较大,水流能携带土壤中的氮素和速效钾运动,降低土壤中氮素和钾素的含量。因此,6月份所采集深层土样经过冬春两季,降水量少,水分对氮素的运移效果较夏季(雨季)小,导致土壤深层水解氮秋季低于夏季。

(上接第75页)

防控示范区建设等项目有机融合,有效整合项目资金和技术力量,切实为持续高质量发展稻田综合种养提供有力保障。

**4.2 科学规范种养** 针对近几年稻田综合种养发展出现的沟坑面积过大、稻米产量偏低等问题,广陵区农业部门发布了推进稻田综合种养产业规范发展的指导意见,督促产业科学、健康发展。要按照管理要求规范生产,兼重稻渔(牧),不能出现稻田池塘化、非粮化现象,影响粮食产能。对不规范的田间工程加以切实整改,有效保障粮食安全,真正实现一田多产增收,确保“稻渔(牧)”双赢<sup>[10,16]</sup>。同时,要务实发展稻田综合种养,因地制宜,充分考虑到投入成本高、养殖风险大等因素的影响,对市场行情进行充分分析,不能盲目跟风。

**4.3 强化主体培育** 通过拓宽融资渠道、提供技术服务等方式,扶优扶强,做大做强“龙头”企业,培育一批产业化程度高、带动能力强的建设主体,让“龙头”企业发挥榜样力量。加强技术培训,多组织有意发展稻田综合种养的农户进行考察观摩和经验交流活动,提高农户种养殖水平。

**4.4 促进品牌发展** 提升品牌建设水平和市场营销能力,挖掘稻田综合种养稻米和水产品精深加工,打造富有本地特色的、叫得响的稻田综合种养品牌。实行订单种植,采用品牌代理、电商销售等途径,拓宽销售渠道。加快与二、三产业融合发展,引入旅游观光、休闲娱乐等元素,提高产品附加值。

**4.5 加强技术集成** 积极开展稻田综合种养试验研究,在种养品种、水稻栽培管理、种苗投放和喂养、病虫绿色防控、稻米和水产品品质提升等方面加强技术协作和科技攻关,集成适合广陵区的稻田综合种养技术模式。培养稻田综合种

## 参考文献

- [1] 郝明德,王旭刚,党廷辉,等. 黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J]. 作物学报,2004,30(11):1108-1112.
- [2] 宇万太,赵鑫,张璐,等. 长期施肥对作物产量的贡献[J]. 生态学杂志,2007,26(12):2040-2044.
- [3] 张少民,郝明德,陈磊. 黄土高原长期施肥对小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(6):85-89.
- [4] 谢云,王延华,杨浩. 土壤氮素迁移转化研究进展[J]. 安徽农业科学,2013,41(8):3442-3444,3462.
- [5] 段永惠,张乃明,洪波,等. 滇池流域农田土壤氮磷流失影响因素探析[J]. 中国生态农业学报,2005,13(2):116-118.
- [6] 李春越,郝亚辉,薛英龙,等. 长期施肥对黄土旱塬农田土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J]. 农业环境科学学报,2020,39(8):1783-1791.
- [7] 龚雪蛟,秦琳,刘飞,等. 有机类肥料对土壤养分含量的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(4):1403-1416.
- [8] 胡留杰,李燕,田时炳,等. 菌渣还田对菜地土壤理化性状、微生物及酶活性的影响研究[J]. 中国农学通报,2020,36(1):98-104.
- [9] 杨振兴,周怀平,解文艳,等. 长期施肥对褐土有机质、氮动态变化的影响[J]. 山西农业科学,2019,47(12):2131-2134.
- [10] 杜晓晴. 密云水库水源涵养林土壤水分运移及营养物质迁移研究[D]. 北京:北京林业大学,2015.
- [11] 万静,马秀. 长江南京段堤岸立地条件分析及风景林营建技术[J]. 林业科技开发,2015,29(6):154-157.
- [12] 潘晶,齐诗月,肖露,等. 玉米秸秆还田养分释放规律及对玉米根际土和根系酶活性的影响[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版),2018,36(6):539-544.
- [13] 葛坤. 小麦玉米秸秆全量还田减量施肥技术研究[J]. 现代农业科技,2016(12):9-12,15.
- [14] 张苏芮,李一鸣. 小麦—玉米轮作体系下长期秸秆还田对土壤养分含量的影响综述[J]. 现代农业科技,2020(7):189,192.

养技术和管理人才,支撑稻田综合种养产业高质量发展。

## 参考文献

- [1] 方应,夏慧婷,吴小文,等. 稻田不同生态综合种养模式及效益分析[J]. 安徽农学通报,2020,26(15):41-42.
- [2] 曾兵兵,赵和平. 2种不同稻田综合种养模式对比试验[J]. 安徽农学通报,2020,26(22):93-94.
- [3] 寇祥明,谢成林,韩光明,等. 3种稻田生态种养模式对稻米品质、产量及经济效益的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2018,39(3):70-74.
- [4] 车阳,程爽,田晋钰,等. 不同稻田综合种养模式下水稻产量形成特点及其稻米品质 and 经济效益差异[J]. 作物学报,2021,47(10):1953-1965.
- [5] 王强盛,黄不生,甄若宏,等. 稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(4):639-645.
- [6] 成永旭,刘洪天,常东,等. 稻蟹共作与蟹单作模式下中华绒螯蟹肠道及养殖环境细菌群落组成比较[J]. 上海海洋大学学报,2017,26(5):682-690.
- [7] 王刚,魏泽能,陆剑锋. 稻蟹共作模式种养试验与效益分析[J]. 科学养鱼,2021(8):47-48.
- [8] 李嘉尧,常东,李柏年,等. 不同稻田综合种养模式的成本效益分析[J]. 水产学报,2014,38(9):1431-1438.
- [9] 余开,宋迁红,赵永锋. 江苏省稻渔综合种养现状与产业化发展思考[J]. 中国农学通报,2020,36(23):161-164.
- [10] 王强盛,韦琼,薄雨心,等. 稻田综合种养技术的绿色效应与发展途径[J]. 中国稻米,2019,25(3):11-14.
- [11] 江峰,副成欣,戴其根,等. 稻鸭共作技术研究进展[J]. 安徽农业科学,2019,47(18):13-16.
- [12] 姚义,谢成林,陆佩玲,等. 扬州市稻田高效种养模式应用现状及发展对策[J]. 中国稻米,2017,23(5):28-31.
- [13] 李阳阳,江军梁,陈泽,等. 江苏省稻田综合种养产业发展现状与问题探讨[J]. 中国稻米,2021,27(2):11-14.
- [14] 王春华. 稻田套养小龙虾综合种养关键技术[J]. 渔业致富指南,2019(23):53-55.
- [15] 张从义,雷晓中,朱勇夫,等. 湖北省稻田综合种养技术推广现状与发展对策[J]. 科学养鱼,2018(5):3-5.
- [16] 肖放. 新形势下稻渔综合种养模式的探索与实践[J]. 中国渔业经济,2017,35(3):4-8.