

不同施肥措施对土壤氮素时空变化的影响

马茂亭, 安志装, 邹国元, 杜连凤, 刘宝存, 赵同科

(北京市农林科学院 植物营养与资源研究所, 北京 100097)

摘要:对北京市延庆地区农民常规施肥模式进行了优化, 研究其对土壤全氮、硝态氮和铵态氮含量的影响。结果表明: 优化施肥处理(化学氮肥(N)用量为 120 kg/hm², 磷肥(P₂O₅)用量为 90 kg/hm², 钾肥(K₂O)用量为 135 kg/hm², 有机肥用量为 7 500 kg/hm²)具有提高土壤全氮含量的趋势, 优化施肥处理与常规施肥处理相比, 能有效降低土壤硝态氮含量和阻控其往下淋溶; 该研究还发现, 土壤铵态氮含量与施氮量和时间变化具有一定的关系。

关键词:施肥; 土壤; 全氮; 硝态氮; 铵态氮

中图分类号:S 143.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)22-0168-04

化肥在粮食增产中起着非常重要的作用, 曾宪坤^[1]引述联合国粮农组织(FAO)的评估意见, 认为在粮食作物单产中化肥的贡献约占 40%~60%的份额。但是施肥必须考虑土壤条件, 只有在土壤对某一养分供应不足时才需要施肥^[2]。然而, 大多数农民没有考虑土壤条件、作物需求、合理配施等因素, 盲目、大量施用化肥。就北京市而言, 蔬菜生产中普遍存在着施肥量大和有机无机施肥不合理等现状。据统计, 北京市每年化肥施用总量达 13.43 万 t(氮、磷、钾纯量之和), 平均超过 500 kg/hm², 远高于国际公认的控制水体污染而确定的 225 kg/hm² 化肥使用安全上限, 部分露地菜田以肥料形式投入的总养分达 1 258 kg/hm², 同时存在化肥配比不合理(重氮磷肥使用, 轻钾肥使用), 与有机肥配比不合理施用的情况, 容易造成肥料使用浪费, 致使养分释放和作物需求不同步, 使土壤中硝态氮不断积累, 存在往下淋溶的风险^[3]。针对这些问题, 我国科研工作者进行了大量的研究工作, 主要集中在有机无机肥料配施对作物产量、品质及氮肥利用率方面, 多为关注社会效益方面的研究^[4-5], 而对土壤环境与土壤质量方面的研究较少。现以北京市延庆县长期监测点为试验点, 研究不同有机无机配施施肥模式对土壤全氮、硝态氮和铵态氮的影响效果。

第一作者简介:马茂亭(1983-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为农业面源污染控制。E-mail: mamaoting@139.com.

责任作者:赵同科(1959-), 男, 博士, 研究员, 研究方向为农业环境。E-mail: tkzhao@126.com.

基金项目:国家公益性行业(农业)专项资助项目(201003014-3); 国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2012BAD15B01)。

收稿日期:2012-07-30

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蔬菜: 试验阶段共种植 3 茬蔬菜作物, 分别为稀特菜根芹菜(*Apium graveolens* L. var. *rapaceum* DC.)、甘蓝(*Brassica oleracea* var. *capitata*)、白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Makino. var. *communis* Tsen et Lee)。

供试肥料: 氮肥为尿素(N 含量为 46%), 磷肥为普钙(P₂O₅ 含量为 12%), 钾肥为硫酸钾(K₂O 含量为 50%), 有机肥为腐熟鸡粪(含 N 1.88%, P₂O₅ 1.19%, K₂O 0.91%)。

供试土壤: 该试验为田间小区长期定位监测试验, 地点位于北京市西北延庆县延庆农场北京市农林科学院蔬菜研究中心蔬菜基地。供试土壤类型为轻壤质潮土, 土壤基本理化性质见表 1、机械组成见表 2。

表 1 土壤基本理化性质

Table 1 Physiochemical properties of soil

土层	全氮/ g · kg ⁻¹	全磷/ g · kg ⁻¹	有机质/ g · kg ⁻¹	硝态氮/ mg · kg ⁻¹	铵态氮/ mg · kg ⁻¹	有效磷/ mg · kg ⁻¹	有效钾/ mg · kg ⁻¹	pH
0~20	1.50	0.95	25.60	50.61	5.13	79.50	166.00	7.64
20~40	0.91	0.74	15.00	28.63	5.11	20.90	86.60	7.90
40~60	0.63	0.65	10.30	24.66	3.22	6.58	68.20	8.06
60~80	0.59	0.61	7.73	22.93	3.40	5.32	59.00	7.95
80~100	0.48	0.61	8.00	19.40	3.08	4.82	49.80	7.81

表 2 基础土样机械组成

Table 2 Foundation soil samples of machinery

土壤深度 /cm	砂粒 0.02 mm ≤ Φ < 2.00 mm	粉粒 0.002 mm ≤ Φ < 0.02 mm	粘粒 Φ < 0.002 mm
0~20	48.60	24.73	26.67
20~40	48.60	24.73	26.67
40~60	46.54	24.73	28.73
60~80	48.60	24.73	26.67
80~100	52.72	20.61	26.67

1.2 试验方法

试验共设 5 个处理:有机肥、常规、优化、减量和增量处理,以不施肥为对照。每茬蔬菜施肥中,1/3 氮肥、全用量磷钾肥及有机肥在种植前一次性底施。其余 2/3 氮肥在缓苗后和生育膨大期分 2 次进行追施。每处理重复 3 次。

土样采集分别在 2008 年 5 月 19 日、2008 年 9 月 23 日、2009 年 8 月 8 日和 2009 年 11 月 2 日,其中第 1 次采集是在根芹种植期内进行,后 3 次分别在根芹、甘蓝和白菜种植季收获后采集,由于试验方案进行调整,在甘蓝和白菜 2 季蔬菜种植期内未进行土样采集。

表 3 试验处理及施肥量

Table 3 Experiment treatments and fertilization amount

处理	描述	化肥/kg·hm ⁻²			有机物(实物) /kg·hm ⁻²
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
对照	不施肥	0	0	0	0
有机肥	单施有机肥	0	0	0	7 500
常规	氮磷钾肥+有机肥	300	120	45	7 500
优化	在常规处理基础进行科学 设计 NPK 及有机肥配比	120	90	135	7 500
减量	将优化施肥处理中 化学氮肥施用量减少 1/2	80	90	135	7 500
增量	将优化施肥处理中 化学氮肥施用量增加 1/2	240	90	135	7 500

注:有机肥为腐熟鸡粪,其氮磷钾养分含量分别为 2.14%、0.88% 和 1.53%。

2 结果与分析

2.1 施肥处理对表层土壤全氮含量的影响

土壤全氮是土壤肥力重要指标,由表 1 可知,基础土壤中 0~20 cm 土层全氮含量为 1.50 g/kg,达到了“北京市土壤养分指标评分规则”中全氮指标的极高水平(1.2 g/kg)^[6]。农田系统在不施用任何肥料情况下,土壤中氮素循环主要分为作物吸收、矿化作用和挥发,其中作物吸收起主要作用,由图 1 可知,经过 3 茬蔬菜作物种植季后,对照处理下表层土壤中全氮含量呈现明显下降趋势,下降幅度达 23.7%,其中常规和有机肥处理下也有下降趋势,其下降幅度为 5%和 3%,而优化处理下,表层土壤中全氮含量略为升高,其升高幅度为 1.5%,其中减量和增量 2 种施肥处理无明显变化。

综上,对照处理下,表层土壤全氮含量下降趋势明显;与常规施肥处理相比,优化施肥处理具有提高表层土壤中全氮含量趋势。

2.2 施肥处理对土壤硝态氮含量时空变化的影响

由表 1 可知,在 2008 年 4 月份采集基础土壤中的硝态氮含量随着土壤深度增加而逐渐降低,其中表层土壤硝态氮含量为 50.61 mg/kg。表层土壤是耕作、施肥及作物根系主要活动范围,其硝态氮含量变化受这些外界条件影响较大,表层土壤以下硝态氮含量变化主要由于硝态氮本身移动特性引起的,所以受时间变化影响较

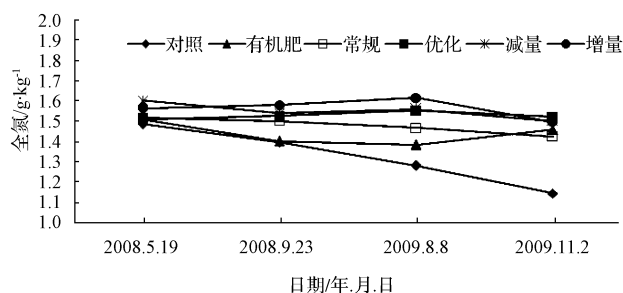


图 1 表层土壤全氮含量与时间变化关系

Fig. 1 Relationship between surface soil total nitrogen content and time change

大。对土样硝态氮含量进行分析(图 2),随着试验进行在不同采集时期和施肥处理下,土壤硝态氮含量整体也呈现随着土壤深度加深而降低的变化规律。

从不同采集时期进行分析,种植后第 1 次采集土样硝态氮含量变化趋势与基础土样一致(图 2-A),原因在于此次采集时间间隔较短,各土层硝态氮含量受周围环境影响较小;后 3 次采集表层以下土样,其硝态氮含量之间变化不大,但与第 1 次相比,20~40、40~60、60~80、80~100 cm 4 层土壤都有不同程度地降低,原因可能随着土壤水向下移动,硝态氮运动至 1 m 以下深层土体中。从不同施肥处理进行分析,第 1 次采集的表层土壤,由于与基础土样间隔时间较短,各施肥处理下表层土壤硝态氮含量变化不大,第 2 次采集后发现,常规和增量施肥处理下表层土壤硝态氮含量远高于其它各施肥处理,其中与优化施肥处理相比,常规和增量分别增加了 112%和 146%,第 3 次采集后,与第 2 次结果相似,常规和增量施肥处理下表层土壤硝态氮含量比优化分别增加了 46%和 141%,不过在此次土样分析发现,减量施肥处理比优化还高出 19%,原因由于此茬蔬菜作物为甘蓝,其生长需肥氮磷钾养分比例为 1:0.3:1.1;而优化和减量施肥处理下无机态养分比例分别为:1:0.75:1.1 和 1:1.1:1.7,可知优化施肥养分比例更接近与甘蓝养分需求,减量处理养分比例差距较大,这可能是造成此现象主要原因;第 4 次采集土样,其表层土壤硝态氮含量比前 3 次都较低,主要原因可能由于白菜生物量大、对氮素吸收利用较高。此次土样中增量施肥处理比优化增加 30%,而常规施肥处理比优化降低了 11%。

综上,不同施肥处理下,表层土壤中硝态氮含量变化显著,其中优化施肥处理比常规和增量能较好地降低表层土壤中硝态氮含量从而有效阻控其往下深层土体淋溶风险,甚至比减量施肥处理效果还要好一些;表层以下土壤,其硝态氮含量主要受时间变化影响较大,从以上分析来看,20~100 cm 土壤中硝态氮有往下迁移的风险。

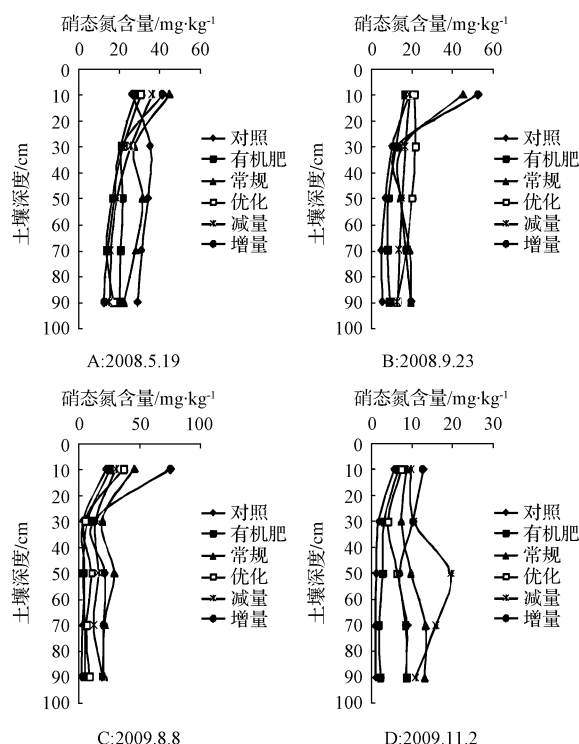


图2 土壤硝态氮含量与时间变化关系

Fig. 2 Relationship between $\text{NO}_3^- \text{--N}$ in soil and time changing

2.3 施肥处理对土壤铵态氮含量时空变化的影响

由表1可知,基础土壤中0~40 cm土层铵态氮含量明显高于40 cm以下,而0~20与20~40 cm土层间不存在明显差异,40~60、60~80和80~100 cm土层间与0~40 cm差异变化趋势相似。从不同采集时期分析来看,第1次采集后表层土壤铵态氮含量要明显高于后3次,表层土壤以下各土层间土壤铵态氮含量不存在明显差异,其中对照处理下表层土壤铵态氮含量具有随着试验时间延长逐渐降低的趋势;从不同施肥处理来看,第1次采集土样显示各施肥处理下在0~100 cm土层间变化趋势为随土层深度加深而增加,其中表层土壤铵态氮含量大小变化趋势为有机肥<对照<减量<优化<增量<常规,表层以下土壤不存在显著性变化规律,后3次采集土样在不同施肥处理和表层土壤以下都未呈现明显变化规律,不过表层土壤中,增量施肥处理比减量高出12%~47%,比优化高出21%~183%,不过与第3、4次不同的是第2次采集时增量施肥处理比优化还降低2%,优化施肥处理对表层土壤中铵态氮含量影响不是很明显。

综上,施氮量大小和时间变化对表层土壤铵态氮含量有一定影响,表层土壤以下铵态氮含量与二者关系不大。

3 讨论与结论

土壤全氮是土壤肥力重要指标之一,包括所有形式的有机和无机氮素,是标志土壤氮素总量和供应植物有

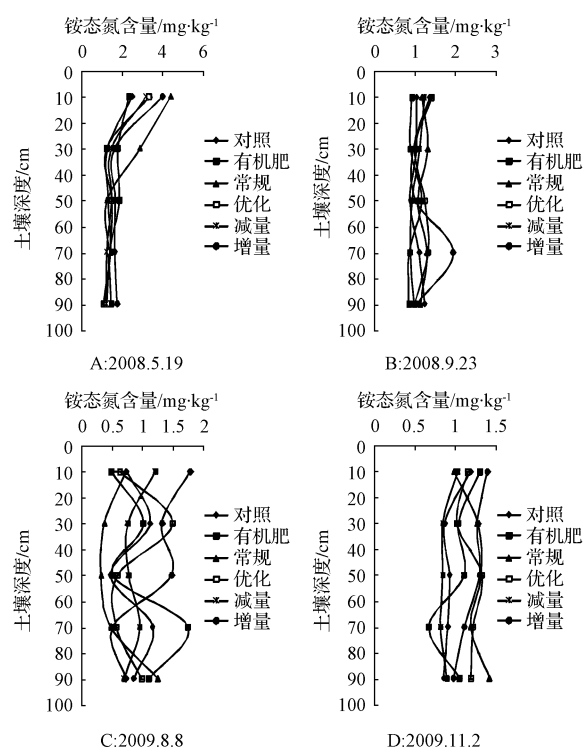


图3 土壤铵态氮含量与时间变化关系

Fig. 3 Relationship between $\text{NH}_4^+ \text{--N}$ in soil and time changing

效氮素的源和库,综合反映了土壤氮素状况^[7]。该试验经过2 a研究,发现延庆地区农民常规施肥处理下,表层土壤全氮含量呈现下降趋势,表明此种施肥模式不能提高土壤肥力,保证长期农民生产耕作需要,其中优化施肥处理下表层土壤全氮含量与基础土样相比,提高了1.5百分点,可见长期保证进行优化施肥(化学氮肥用量为120 kg/hm^2 ,磷肥用量为90 kg/hm^2 ,钾肥用量为135 kg/hm^2 ,有机肥用量为7 500 kg/hm^2)具有提高土壤全氮含量可能,这与余江敏等^[8]的研究所得“长期科学合理有机无机肥料配施,可以有效提高土壤中氮素含量,改善土壤质量”的结论相似。

众所周知,土壤硝态氮是土壤氮素一种存在形式,硝态氮在土壤中主要以溶质的形式存在于土壤溶液中,其运移规律直接受土壤含水量、水流运动状态和土壤物理性质的影响。硝态氮的运移可分为垂直向下淋移和水平扩散2种形式^[9-10],硝态氮在土壤中存在形态决定了其易移动的特点,一旦过量累积就会导致其往下淋溶运移,甚至污染地下水^[11]。不合理的施肥模式会造成过多的氮肥施入农田中,从而为土壤硝态氮过量累积往下淋溶埋下了风险,该试验中优化施肥处理下,表层土壤中硝态氮含量在各个采集时期都明显低于常规施肥处理,有效地减少了表层土壤中硝态氮往下淋溶的风险,而在表层以下土壤,由于优化施肥处理阻控效果,20~100 cm各层土壤硝态氮含量具有随时间推移呈现

降低的趋势,而常规施肥处理反之。

铵态氮在土壤中的大量存在是淋溶损失的基础,而不合理施用氮肥是土壤中铵态氮淋溶的主要原因^[12]。该研究发现,施氮量与表层土壤中铵态氮含量具有一定的关系,与许祥富等^[12]研究结论相似。由于铵态氮具有挥发和硝化的特性,该研究发现同一土层和同一施肥处理下土壤铵态氮含量具有降低的趋势。

长期坚持进行优化措施下施肥有利于提高表层土壤全氮含量;同时优化施肥处理与常规施肥处理相比,可有效降低表层土壤中硝态氮含量,从而阻控其往下淋溶的风险;另外表层土壤中铵态氮含量变化与施肥和时间具有一定关系。

参考文献

- [1] 曾宪坤. 中国化肥工业的现状和展望[J]. 土壤学报, 1995, 32(2): 117-125.
- [2] 曾骏, 郭天文, 包兴国, 等. 长期施肥对土壤有机碳和无机碳的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(2): 11-14.
- [3] Shen Q R, Ran W, Cao Z H. Mechanisms of nitrite accumulation occur-

ring in soil nitrification [J]. Chemosphere, 2003, 50(6): 747-753.

- [4] 沈明星, 刘凤军, 吴彤东, 等. 有机无机氮肥比例对小白菜产量和硝酸盐、VC 含量的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(3): 560-563.
- [5] 张小莉, 孟琳, 王秋君, 等. 不同有机无机复混肥对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 624-630.
- [6] 延庆县耕地资源管理信息网[EB/OL]. <http://nongye.bjyq.gov.cn/yanqingweb/trfl-pingjiabiaoazhun.html>, 2011. 9. 19.
- [7] 李菊梅, 王朝辉, 李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 232-238.
- [8] 余江敏, 李伏生, 雷文杰, 等. 根区局部灌溉和有机无机氮比例对玉米水分利用和土壤氮磷含量的影响[J]. 土壤通报, 2001, 42(1): 22-26.
- [9] Knighton R E. Simulation of solute transport using a CTMP[J]. Water Resour Res, 1987, 23(10): 1917-1925.
- [10] Chang C, Entz T J. Nitrate leaching losses under repeated cattle feed lot manure applications in Southern Alberta [J]. Environ Qual, 1996, 25: 145-153.
- [11] Ceccon P. N in drainage water as influenced by soil depth and N fertilizer a study in lysimeters[J]. European Journal of Agronomy, 1995, 4(3): 289-298.
- [12] 许祥富, 林钊沐, 李清火, 等. 施氮量对橡胶园土壤铵态氮和硝态氮垂直分布的影响[J]. 热带农业科学, 2009, 29(5): 6-11.

Effects of the Fertilization Measures on Spatial-temporal Dynamics of Soil Nitrogen

MA Mao-ting, AN Zhi-zhuang, ZOU Guo-yuan, DU Lian-feng, LIU Bao-cun, ZHAO Tong-ke

(Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097)

Abstract: According to the analysis of conventional fertilization pattern of farmers in Beijing's Yanqing, the effects of total nitrogen content, nitrate content and ammonium N in soil were studied. The results showed that optimized fertilization (Chemical nitrogen fertilizer for 120 kg/hm², phosphatic fertilizer for 90 kg/hm², potash fertilizer for 135 kg/hm², organic fertilizer for 7 500 kg/hm²) may improve soil total nitrogen content. Optimized fertilization could reduce the nitrate nitrogen content in soil and prevent its downward leaching than conventional fertilization. In addition, there was a relationship among soil ammonium N in soil and different nitrogen applications and time.

Key words: fertilization; soil; total nitrogen content; nitrate content; ammonium N

欢迎订阅 2013 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管主办的大豆专业领域学术性期刊,也是被国内外多家重要数据库和文摘收录源收录的重点核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》主要面向从事大豆科学研究的科技工作者,大专院校师生、各级农业技术推广部门的技术人员及科技种田的农民。

国内外公开发行,双月刊,16开本,每期180页。国内每期订价:10.00元,全年60.00元,邮发代号:14—95。国外每期订价:10.00美元(包括邮资),全年60美元。国外由中国国际图书贸易总公司发行,北京399信箱。国外代号:Q5587。

本刊热忱欢迎广大科研及有关企事业单位刊登广告,广告经营许可证号:2301030000004。

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号《大豆科学》编辑部。 邮编:150086

电话:0451-86668735 E-mail: dadoukx@sina.com ddkexue@126.com