

集约化种植条件下土壤硝态氮动态变化及累积特征研究

左海军^{1,2}, 张奇¹, 徐力刚¹, 王晓龙¹, 吴忠东³, 吕伟明⁴

(1. 中国科学院 南京地理与湖泊研究所 湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 山东理工大学 资源与环境工程学院, 山东 淄博 255048; 4. 江阴市环境监测站, 江苏 江阴 214431)

摘要: 选取江阴市沿江平原地区的 3 种典型农业种植区, 即大棚葡萄集约化种植基地、蔬菜集约化种植基地和常规种植农田为研究对象, 通过田间现场采样分析的方法研究了不同种植方式下土壤剖面硝态氮含量的动态变化和累积特征。结果表明, 葡萄种植基地 0—100 cm 各土层硝态氮含量随时间的变化波动较大, 而蔬菜种植基地和常规种植农田的表层土壤硝态氮含量变化幅度大于深层土壤; 3 种典型种植区的土壤硝态氮含量均呈现随着土层深度的增加而逐渐减小的趋势, 其中土壤硝态氮含量最大值出现在葡萄种植基地的 20—40 cm 土层中; 葡萄种植基地各土层硝态氮平均累积量均高于蔬菜种植基地和常规种植农田, 大棚葡萄集约化种植基地 0—100 cm 土层硝态氮平均累积总量高达 400.96 kg/hm², 显著高于蔬菜集约化种植基地和常规种植农田的累积总量, 这进一步表明不合理过量追肥导致土壤中硝态氮大量累积, 增大了氮素淋失和地下水环境污染的风险。

关键词: 种植方式; 土壤硝态氮; 集约化种植; 累积

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)04-0016-06

中图分类号: S157.4

Characteristics of Soil Nitrate Nitrogen Dynamic Variations and Accumulation Under Intensive Planting

ZUO Hai-jun^{1,2}, ZHANG Qi¹, XU Li-gang¹, WANG Xiao-long¹, WU Zhong-dong³, LÜ Wei-ming⁴

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Shandong University of Technology, Institute of Resources and Environment Engineering, Zibo, Shandong 255048, China; 4. Jiangyin Environment Monitoring Station, Jiangyin, Jiangsu 214431, China)

Abstract: Three typical agricultural planting areas in riparian plain of Jiangyin City, i. e., greenhouse vine intensive planting base, vegetable intensive planting base, and general planting farmland, were selected as research objects and dynamic changes of soil nitrate nitrogen content under different planting patterns were studied by the experimental method of field sampling analysis. Results indicated that the variation of nitrate nitrogen content in vine planting base fluctuated greatly with time. However, the variation amplitude of nitrate nitrogen content in surface soil was greater than that in deep soil layer in vegetable intensive planting base and general planting farmland. Nitrate nitrogen content in three typical planting areas showed a decreased tendency with the depth of soil profile, including the maximum of soil nitrate nitrogen content appearing in the 20—40 cm layer in vine planting base. The average accumulation of nitrate nitrogen in every soil layer in vine planting base was higher than that in vegetable intensive planting base and general planting farmland. The average accumulation of nitrate nitrogen in the 0—100 cm soil layer in greenhouse vine intensive planting base was up to 400.96 kg/hm², which was significantly higher than that in vegetable intensive planting base and general planting farmland. This indicated that unreasonable excessive fertilization let to nitrate nitrogen accumulation in the soil profile and increased the risk of nitrogen leaching loss and groundwater environmental pollution.

Keywords: planting pattern; soil nitrate nitrogen; intensive planting; accumulation

收稿日期: 2008-12-05

修回日期: 2009-03-13

资助项目: 国家自然科学基金项目 (40871026; 40701176); 中国科学院“百人计划”项目; 湖泊与环境国家重点实验室开放基金项目

作者简介: 左海军 (1978—), 男 (汉族), 山东省枣庄市人, 博士研究生, 主要从事土壤水运移与农业非点源污染方面的研究。E-mail: zuohaijun2003@163.com。

通信作者: 张奇 (1966—), 男 (汉族), 江苏省吴江市人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水文过程及模拟研究。E-mail: qzhang@niglas.ac.cn。

当前,随着农业生产技术和化肥工业的不断进步,现代农业生产已经突出地表现为高投入、高产出的集约化生产模式,农业增产增收在很大程度上依赖于农业生产资料的投入,特别是化学肥料的投入。但是,长期以来由于人类活动的干扰,如大量无公害蔬菜基地和水果基地等的建设,农业耕作方式的改变,化肥使用量的增加等使得农田土壤中氮素含量大量盈余,导致部分农田土壤环境质量恶化、农产品质量下降、水环境污染加剧等生态环境问题凸现,最终影响人们的健康和生活质量。

研究表明^[1-3]土壤环境质量下降、地下水硝酸盐含量上升最主要的原因是农田区,特别是集约化种植区大量施用氮素化肥和牧区畜禽粪便的分解淋失造成的。我国是世界上氮肥使用量最多的国家之一,但氮肥的利用率仅为30%~35%,其损失率平均达45%^[4]。张维理^[5]对我国北方14个县市69个地点的调查发现,半数以上调查地点的地下水、饮用水硝酸盐含量超标。蔬菜是喜肥作物,特别喜好氮肥,集约化种植区菜地中的纯氮肥施用量是普通大田作物的数倍甚至数十倍,而且氮肥利用率很低,因此集约化种植区农田氮肥损失与污染状况十分令人担忧^[6]。李正兆、蒋鸿昆等^[7-8]研究发现在抚仙湖流域典型农田区人类的农业耕作导致流域水质以及地下水中氮素、磷素有明显的升高趋势;孙丽梅、董章杭等^[9-10]通过在典型集约化蔬菜种植区——山东省寿光市开展调查发现长期大量施用化肥、农药对生态环境造成了恶劣影响,地下水硝酸盐含量与同区氮肥施用水平呈正相关,氮肥过量施用是造成地下水硝酸盐污染的根本原因;寇长林等^[11]研究了我国北方3种重要的集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响,发现过量氮肥用量导致氮素的大量盈余,在淋洗作用下已对浅层地下水造成了严重污染。

江阴沿江平原地区属苏南特色农业带,流域内主要以无公害蔬菜基地和水果种植为主,农业生产集约化程度高。近年来由于人类活动的干扰,农业集约化种植的程度正在不断提高,化肥的使用量呈递增趋势,加上使用技术欠佳,当季有效利用率偏低,大量残留物积累于土壤,流失到河流中,导致农业生态环境质量逐年恶化,造成农产品多级污染,品质日益下降,正严重威胁着人们的身体健康。在该区开展这方面的研究工作,对江阴市乃至整个苏南平原区集约化种植下的氮素损失途径、去向以及氮素的流失通量研究均有重要的指导意义。本研究通过在江阴沿江平原地区选择3种典型种植区来开展土壤硝态氮含量的田间定点监测试验,深入分析不同种植方式对土壤剖

面硝态氮含量动态变化和累积特征差异的影响及其原因,为减轻农田氮素淋失及其造成的环境污染危害和制定最佳田间管理措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于江阴沿江平原地区的西部,为典型的北亚热带季风气候,雨量充沛、日照充足、四季分明,其中年均日照时数2 074.9 h,年均温度15.1℃,年均降雨量1 040.7 mm,年均蒸发量1 383.1 mm,年均无霜期225 d,年均风速3.1 m/s,平均海拔6 m左右,土壤肥沃,灌排体系齐全,是发展集约化种植粮食作物和蔬菜生产的理想地区。本研究选取3种典型种植方式,即大棚葡萄(*Vitis vinifera* Linn.)集约化种植、蔬菜集约化种植和常规种植,试验地点分别位于璜土葡萄基地、东支蔬菜基地和西石桥农田。璜土葡萄基地的土壤类型为粉沙壤土,属于淤育型水稻土,面积为0.50 hm²,常年种植大棚葡萄;东支蔬菜基地的土壤类型为黄泥土,属于潴育型水稻土,面积为0.45 hm²,种植方式为黄瓜(*Cucumis sativus* Linn.)—大白菜(*Brassica pekinensis* Rupr.)轮作;西石桥农田的土壤类型为乌栅土,属于脱潜型水稻土,面积为0.45 hm²,种植方式为油菜(*Brassica napus* Linn.)—大豆(*Glycine max* Merr.)轮作。其中,蔬菜轮作种植和大棚葡萄种植是江阴沿江平原地区极具代表性的种植方式,体现了高效集约化种植的生产特点;西石桥农田则代表常规农业种植方式的耕作特点。

1.2 土壤样品采集与测定

田间现场采样时间为2008年5—10月。在上述每个典型种植区内沿“S”形路线随机选取5点,用土钻按0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm和80—100 cm间隔;分5个层次采集0—100 cm剖面的土壤样品。采集时在每块样地应多采些混合土样,剔除土样中含的根茬等杂物,将每个种植区的同一层次各样点土样混合均匀后装入密封袋中标记,随即放入冰盒密封保存。由于每个地区种植的作物不同,其中璜土葡萄基地的采样点选在行内两葡萄植株间,东支蔬菜基地、西石桥农田采样点则选在作物种植的行间。采集后的土壤样品当日带回实验室,采用常规分析方法测定土壤基本理化性质(表1)^[12]。

1.3 测定项目与分析方法

试验所测定的项目包括土壤水分含量和土壤硝态氮含量。土壤水分含量采用烘干法测定,土壤硝态氮采用酚二磺酸比色法测定。将采集后预留的新鲜土样风干后过1 mm筛,称取5 g土壤样品,然后加

入 50ml 1 mol/L KCl 溶液浸提,震荡 60 min,过滤后上清液放入 -4℃ 冰箱中保存,采用连续流动注射分

析仪测定浸提液中硝态氮含量(mg/kg)。试验数据采用 SPSS 14.0 和 Excel 2003 软件进行统计分析。

表 1 3 种植区的土壤基本理化特性

试验地点	土层深度/cm	土壤容重/(g·cm ⁻³)	黏粒/%	粉粒/%	砂粒/%	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)
璜土葡萄基地	0—20	1.23	42.6	47.6	9.8	11.56	0.67	0.81
	20—40	1.48	31.6	51.5	16.9	11.65	0.68	0.82
	40—60	1.53	44.7	44.9	10.4	12.34	0.72	0.85
	60—80	1.56	34.1	53.3	12.6	13.71	0.79	0.94
	80—100	1.62	37.5	48.2	14.3	7.48	0.43	0.58
东支蔬菜基地	0—20	1.31	41.2	52.1	6.7	6.79	0.39	0.46
	20—40	1.46	44.4	49.5	6.1	5.02	0.29	0.44
	40—60	1.55	39.5	57.2	3.3	6.11	0.35	0.49
	60—80	1.69	26.6	67.8	5.6	4.42	0.26	0.58
	80—100	1.72	26.4	67.7	5.9	4.10	0.24	0.54
西石桥农田	0—20	1.08	46.8	49.4	3.8	9.70	0.56	0.87
	20—40	1.37	49.3	47.2	3.5	8.08	0.47	0.82
	40—60	1.41	48.4	43.5	8.1	9.79	0.57	0.71
	60—80	1.41	46.2	43.6	10.2	6.39	0.37	0.56
	80—100	1.42	43.6	42.1	14.3	5.06	0.29	0.53

注:土壤容重测定采用环刀法;土壤机械组成测定采用比重计法;土壤有机质测定采用重铬酸钾—硫酸法;土壤全氮测定采用凯氏定氮法;土壤全磷测定采用钼锑抗比色法。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式下土壤硝态氮含量的变化

2.1.1 大棚葡萄集约化种植基地土壤硝态氮含量的动态变化 璜土大棚葡萄集约化种植基地不同深度土壤硝态氮含量的动态变化过程如图 1 所示。由图中可知,在葡萄生长期 0—100 cm 土壤剖面硝态氮含量明显偏高且变化幅度较大,这主要是由于葡萄是深根系作物,在葡萄早春芽变前深施大量有机肥作为基肥,其后又在葡萄的不同生长阶段多次过量追肥,导致未被吸收利用的氮素大量累积于土壤中;另一方面,该区土壤类型为粉沙壤土,土壤中沙粒、黏粒含量适中,通气性和透水性较好,既保水保肥又有适当的渗漏量,有利于土壤水分的垂向交换,使得土壤养分易于随下渗水向深层土壤迁移,造成各土层的土壤硝态氮含量均处于较高水平且各土层之间变化较大。

在大棚葡萄生长期,4 月为葡萄抽芽期,此时采用沟施化肥(以尿素为主)方法对葡萄进行根部追肥;5 月葡萄处于开花期,结合灌溉追施氮磷钾复合肥,导致 5 月 20 日土壤硝态氮含量普遍偏高,最大值 40.06

mg/kg 出现在 20—40 cm 土层中;随着葡萄进入花期后的结果初期,此时兼施有机肥和氮磷钾复合肥及微量元素,造成 6 月 26 日 0—20 cm 土层的土壤硝态氮含量高达 38.20 mg/kg;7 月中下旬葡萄进入浆果着色期,由于葡萄果实生长大量消耗土壤养分,加上近期雨水较多,土壤经常处于湿润状态,土壤水分的垂向交换剧烈,致使表层土壤中累积的大量氮素向深层土壤迁移,造成 7 月 28 日土壤剖面硝态氮含量显著下降,各土层普遍低于 20.00 mg/kg;8 月葡萄进入成熟期,为了弥补氮素淋失引起的土壤养分供应亏缺,沟施大量有机肥和化肥,造成 8 月 26 日土壤剖面硝态氮含量显著升高;9 月下旬采收葡萄后随即转入后期管理,由于前期葡萄生长大量消耗土壤养分,加上灌溉淋洗作用导致 9 月 25 日剖面中下部土层的氮素被淋失下移,土壤硝态氮含量下降到 30.00 mg/kg 左右;10 月中下旬葡萄开始落叶,生长过程放缓,由于近期降雨量较大导致土壤养分淋洗严重,造成 10 月 28 日土壤硝态氮含量明显降低,由表层向深层土壤硝态氮含量呈现递增的趋势,表明土壤氮素发生明显下移淋失,进一步增加了深层土壤和浅层地下水的氮素污染风险^[13]。

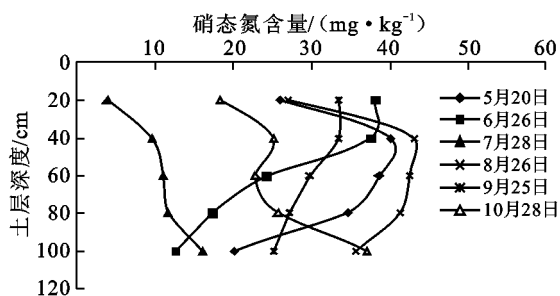


图1 瓊士大棚葡萄集约化种植基地不同深度土壤硝态氮含量动态(2008年)

2.1.2 蔬菜集约化种植基地土壤硝态氮含量的动态变化 东支蔬菜集约化种植基地不同深度土壤硝态氮含量的动态变化过程如图2所示。由图中可知,在黄瓜—大白菜轮作期间0—20 cm土层的土壤硝态氮含量较高,由表层向深层土壤硝态氮含量呈现逐渐减少的趋势。究其原因,一方面是由于黄瓜、大白菜均为浅根系作物,生长期内对养分需求量较大,且追肥深度大多集中于根系分布较多的耕作层中,导致未被作物吸收利用的残留肥料大量累积于表层土壤中;另一方面,本地区土壤类型为黄泥土,0—100 cm土壤剖面以重壤土为主,土壤中黏粒含量较高,黏性较重,而且渗育层(25—75 cm)发育较厚,起到托水托肥的作用,土壤保水保肥能力较强,透水性能较差,不利于表层土壤中残留硝态氮的垂向迁移,这也进一步加剧了表层土壤中硝态氮的大量累积。

在黄瓜—大白菜轮作期内,5月中旬黄瓜处于幼苗期,在黄瓜播种前农田翻耕并施入大量优质有机肥作为基肥,此时黄瓜根系刚开始发育,对土壤养分的吸收能力不足,导致5月20日土壤剖面硝态氮含量较高,0—20 cm土层的土壤硝态氮含量达到了7.72 mg/kg;6月中下旬黄瓜进入开花期和结果初期,追施有机肥造成6月26日0—20 cm土层的土壤硝态氮含量高达9.76 mg/kg,随土壤深度增加硝态氮含量急剧减小;7月中下旬黄瓜进入结果后期,土壤养分被大量吸收利用,加上灌溉引起的淋洗作用,致使7月28日土壤剖面硝态氮含量大幅下降,其中0—20 cm土层的土壤硝态氮含量仅为3.66 mg/kg;8月中旬黄瓜收获后将黄瓜秸秆全部清除,施基肥耕翻后播种大白菜,其中基肥以有机肥为主,并配施适量化肥;8月下旬大白菜处于幼苗期,由于施基肥量较大,加上此时大白菜根系较浅,对水肥的吸收能力较弱,导致8月26日0—20 cm土层的土壤硝态氮含量高达12.30 mg/kg;9月下旬大白菜进入莲座期,为了保证莲座叶强壮生长,增加了追肥量和灌溉水量,大白菜快速生长对土壤养分消耗过多加上过量灌溉引起的

强烈淋洗作用共同导致9月25日土壤剖面硝态氮含量显著下降,其中80—100 cm土层的土壤硝态氮含量仅为0.19 mg/kg;10月中下旬大白菜进入结球期,多次追施速效肥料以满足其心叶猛长对土壤养分的大量需求,除去被大白菜吸收利用的养分外,残留于土壤中的氮素引起表层土壤硝态氮含量升高,0—20 cm土层的土壤硝态氮含量增大为4.60 mg/kg,而土壤剖面中下部土层硝态氮含量变化不大。

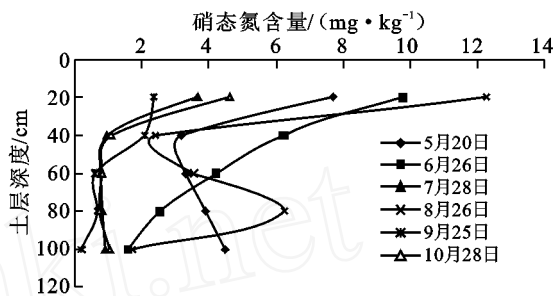


图2 东支蔬菜集约化种植基地不同深度土壤硝态氮含量动态(2008年)

2.1.3 常规农业种植农田土壤硝态氮含量的动态变化 西石桥常规农田不同深度土壤硝态氮含量的动态变化过程如图3所示。由图中可知,大豆—油菜轮作期间0—100 cm土壤剖面以0—20 cm土层的土壤硝态氮含量较高,由表层向深层土壤硝态氮含量呈现逐渐减少的趋势。这是由于油菜、大豆均为需肥多、耐肥性强的作物,所施基肥、追肥深度均集中于土壤表层,造成氮素大量累积在土壤表层中;另一方面,该区土壤类型为乌栅土,土壤质地黏重,透水透气性较差,不利于土壤养分的分解释放和下渗,导致表层土壤硝态氮含量偏高,随土层深度增加其含量逐渐降低。

在大豆—油菜轮作期内,5月中旬油菜处于角果期,前期的油菜花期追肥造成土壤养分累积于上部土体中,使得5月20日0—20 cm土层的土壤硝态氮含量高达8.34 mg/kg,随土层深度增加土壤硝态氮含量显著减小;6月中上旬油菜收获后施基肥翻耕播种大豆,6月下旬大豆处于幼苗生长期,追肥导致6月26日土壤剖面硝态氮含量显著增大,0—20 cm土层的土壤硝态氮含量高达8.89 mg/kg,由表层向深层土壤硝态氮含量逐渐减少;7月下旬大豆进入初花期,由于大豆生长大量消耗土壤养分,加上干湿交替的土壤环境使得土体变干收缩,易垂直开坼,加剧了土壤漏水漏肥的程度,致使7月28日土壤剖面硝态氮含量急剧减小,0—20 cm土层的土壤硝态氮含量仅为3.40 mg/kg;8月大豆进入结荚期,这是大豆生育最旺盛、需水需肥量较大的时期,此时追肥以根区施肥结合喷洒叶面肥料进行,造成8月26日土壤剖面

上部土层的硝态氮含量有所升高,其中 0—20 cm 土层的土壤硝态氮含量达到 5.11 mg/kg;9 月中下旬大豆籽粒饱满接近成熟,土壤养分被大量消耗,加上频繁灌溉导致土壤氮素被淋洗下移,致使 0—20 cm 土层的土壤硝态氮含量降至 4.24 mg/kg,40—100 cm 各土层的土壤硝态氮含量均低于 1.00 mg/kg;随着豆荚变黄进入成熟期,于 10 月 5 日收获大豆后,土地处于耕作休闲期,10 月 15 日灌溉一次,施基肥(以有机肥为主,少量复合肥)后翻耕播种油菜,10 月下旬油菜处于幼苗期,此时油菜根系刚刚发育,对土壤养分的吸收能力较弱,导致氮素大量累积于表层土壤中,其中 10 月 28 日 0—20 cm,20—40 cm 土层的土壤硝态氮含量分别高达 14.90 和 6.47 mg/kg,向深层土壤硝态氮含量逐渐递减。

为了进一步系统分析种植方式、土壤特性和田间管理措施等因素对土壤硝态氮含量变化的影响,表 2 给出了不同种植方式下各层土壤硝态氮含量的平均值和变差系数 C_v (标准差/均值)。结果显示,3 种植方式下土壤硝态氮含量平均值都以表层土壤中的为最高,随着土层深度的增加呈现逐渐减小的趋势。其中,蔬菜集约化种植基地和常规种植农田土壤硝态氮含量平均值的最大值都出现在 0—20 cm 土层中,分别为 8.06 和 7.48 mg/kg,由表层向底层土壤硝态氮含量逐渐降低;而大棚葡萄集约化种植基地土壤硝

态氮含量平均值的最大值出现在 20—40 cm 土层中,为 31.52 mg/kg,表明累积在 0—20 cm 土层中的氮素发生了明显地淋洗下移。

与蔬菜集约化种植基地、常规种植农田相比,大棚葡萄集约化种植基地 0—100 cm 土壤剖面各土层硝态氮含量明显偏高,这主要是由于该地区人为频繁施肥、过量施肥造成的。由表 2 还可以看出,大棚葡萄集约化种植、蔬菜集约化种植和常规种植方式下 0—100 cm 土壤剖面各土层硝态氮含量的变差系数变化范围分别在 0.39~0.50,0.73~0.91,0.48~0.79 之间;其中又以蔬菜集约化种植基地土壤硝态氮含量的变异幅度最大。60—80 cm,80—100 cm 土层的变差系数分别高达 0.89 和 0.91;表明土壤特性、田间管理措施等因素对土壤硝态氮含量的动态变化有重要影响。

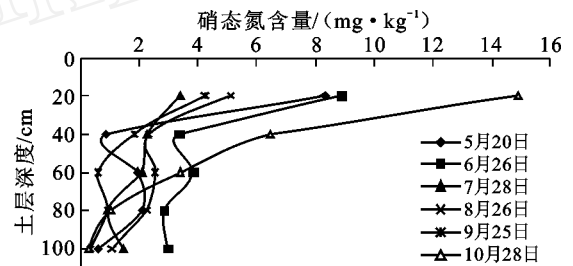


图 3 西石桥常规农田不同深度土壤硝态氮含量动态(2008 年)

表 2 不同种植方式下各土层硝态氮含量平均值和变差系数

土层深度/ cm	大棚葡萄集约化种植		蔬菜集约化种植		常规种植	
	均值/(mg·kg ⁻¹)	C_v	均值/(mg·kg ⁻¹)	C_v	均值/(mg·kg ⁻¹)	C_v
0—20	24.48	0.50	8.06	0.82	7.48	0.57
20—40	31.52	0.39	2.64	0.73	2.86	0.68
40—60	28.13	0.41	2.21	0.75	2.41	0.48
60—80	26.32	0.47	2.49	0.89	1.68	0.49
80—100	24.46	0.43	1.65	0.91	1.12	0.79

2.2 不同种植方式下土壤硝态氮累积对比分析

研究区 3 种典型农业种植条件下的耕作方式以旱作为主,研究表明旱作农田土壤的无机氮形式主要是硝态氮,这也是农作物吸收利用的主要氮素形态。不同农业种植区人为过量施肥及频繁灌溉,加上监测期内降水量较大,导致残留于土壤中的大量硝态氮易随土壤水下移而发生淋失,进一步增大了土壤中硝态氮发生淋失的潜在风险。本研究根据测定的土壤硝态氮含量计算了不同种植方式下 0—100 cm 土壤剖面各土层的硝态氮平均累积量。其中,硝态氮平均累积量由下面的公式计算:

$$T = D \times W \times C \times 0.1 \quad (1)$$

式中: T ——每一土层的硝态氮平均累积量 (kg/hm²); D ——每一土层的厚度 (cm); W ——每一土层的土壤容重 (g/cm³); C ——每一土层的土壤硝态氮平均含量 (mg/kg); 0.1——换算系数^[14-15]。

由图 4 可知,大棚葡萄集约化种植基地 0—100 cm 土壤硝态氮平均累积总量高达 400.96 kg/hm²,而蔬菜集约化种植基地、常规种植农田的土壤硝态氮平均累积总量分别仅为 46.59,38.70 kg/hm²。大棚葡萄集约化种植基地 0—100 cm 土壤剖面各土层硝态氮平均累积量显著高于蔬菜集约化种植基地和常规种植农

田,其中土壤硝态氮平均累积量最大值出现在该地的20—40 cm 土层,达到了 93.30 kg/hm^2 ,随着土层深度的增加,硝态氮平均累积量逐渐减少。对于蔬菜集约化种植基地和常规种植农田来说,硝态氮平均累积量的最大值都出现在0—20 cm 土层,分别达到了 20.64 和 16.16 kg/hm^2 ,表层土壤硝态氮平均累积量显著大于其它土层,表明过量施肥加剧了表层土壤中的氮素累积。不同种植方式下的硝态氮累积水平均以上部土层的为高,这表明高强度降雨或过量灌溉将导致土壤氮素大量流失,造成地下水污染或水体富营养化,也进一步说明过量施肥不仅没有取得增产增收的效益,反而浪费了肥料资源,增加了农业生产成本,还带来了严重的环境污染危害。

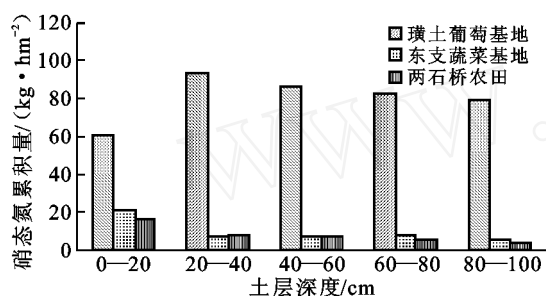


图4 不同种植方式下各土层硝态氮平均累积量

3 结论

(1) 0—100 cm 土壤剖面中各土层硝态氮含量以表层土壤为最高,由表层向底层土壤硝态氮含量呈逐渐减小的趋势,其中大棚葡萄集约化种植基地各土层土壤硝态氮含量均高于蔬菜集约化种植基地和常规农业种植区。

(2) 3种植方式下土壤硝态氮平均累积总量排序依次为:大棚葡萄集约化种植 > 蔬菜集约化种植 > 常规种植,其中大棚葡萄集约化种植基地土壤硝态氮平均累积总量高达 400.96 kg/hm^2 ,显著高于蔬菜集约化种植基地、常规种植农田,表明在大棚葡萄集约化种植基地过量施肥导致土壤中硝态氮的大量累积,极易经雨水或灌溉水入渗进入深层土壤和地下水及地表水,从而造成诸多环境污染问题。

(3) 土壤性质、气候条件、作物生长、田间水肥管理、氮素迁移与转化特性等因素共同决定了农田土壤硝态氮的垂向分布格局,因此从量化角度分析不同因子对集约化种植区土壤氮素垂向分布特征与损失的影响,还有待于今后更加深入的研究。

[参 考 文 献]

- [1] William J G, Andrew N S. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27(2): 267-277.
- [2] Shearer G, Kohl D H, Chien S H. The nitrogen:15 abundance in a wide variety of soils [J]. *Soil Sci. Soc. AM. J.*, 1982, 42: 899-902.
- [3] McLay C D A, Dragten R. Predicting groundwater nitrate nitrogen concentration in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches [J]. *Environmental Pollution*, 2001, 115(2): 191-204.
- [4] 李庆远, 朱兆良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题 [M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998: 38-51.
- [5] Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, et al. Investigation of nitrate nitrogen pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in north China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 1995, 1(2): 80-87.
- [6] Zhang W L, Wu S X. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I: estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [7] 李正兆, 高海鹰, 张奇, 等. 抚仙湖流域典型农田区地下水硝态氮污染及其影响因素 [J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1): 286-290.
- [8] 蒋鸿昆, 高海鹰, 张奇, 等. 抚仙湖梁王河流域农业耕作与流域水质响应关系研究 [J]. *环境科学*, 2007, 28(10): 2294-2300.
- [9] 孙丽梅, 唐剑锋. 集约化蔬菜种植区化肥·农药施用情况: 以山东省寿光市为例 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(28): 8944, 9033.
- [10] 董章杭, 李季, 孙丽梅. 集约化蔬菜种植区化肥施用对地下水硝酸盐污染影响的研究: 以“中国蔬菜之乡”山东省寿光市为例 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1139-1144.
- [11] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(4): 660-667.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 49-58.
- [13] 刘微, 赵同科, 王丽英. 不同水分、施氮量对土壤中硝态氮含量分布的影响 [J]. *华北农学报*, 2006, 21(3): 27-30.
- [14] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 等. 蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留 [J]. *环境科学*, 2002, 23(3): 79-83.
- [15] 段宗颜, 肖焱波, 苏凡, 等. 玉米高产栽培的氮肥优化调控技术研究 [J]. *中国农业科技导报*, 2002, 4(4): 40-43.