

洞庭湖区不同土地利用方式耕作土壤氮素含量与循环*

黄伟生^{1,2} 彭佩钦^{1**} 黄道友¹ 苏以荣¹ 朱奇宏³

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所 长沙 410125; 2. 惠州大亚湾经济技术开发区环境
监测站 惠州 516081; 3. 华中农业大学资源环境学院 武汉 430070)

摘要 通过对洞庭湖典型地区的密集采样分析和农户调查,研究了 4 种利用方式耕作土壤全 N、微生物生物量氮(MB-N)含量、两者关系和 N 素循环特征。结果表明:耕作土壤全 N、MB-N 含量平均值为 $3.00 \pm 0.48 \text{g/kg}$ 和 $101.4 \pm 49.2 \text{mg/kg}$ 。双季稻、一季稻、水田旱作和旱地全 N 平均含量依次为 $3.12 \pm 0.40 \text{g/kg}$ 、 $3.03 \pm 0.39 \text{g/kg}$ 、 $2.79 \pm 0.43 \text{g/kg}$ 、 $2.10 \pm 0.46 \text{g/kg}$ 。4 种利用方式的 MB-N 含量分别为 $124.0 \pm 56.6 \text{mg/kg}$ 、 $96.4 \pm 39.2 \text{mg/kg}$ 、 $108.0 \pm 48.6 \text{mg/kg}$ 、 $75.2 \pm 30.5 \text{mg/kg}$ 。除水田旱作外,MB-N 与全 N 之间存在极显著的正相关关系($P < 0.01$)。土壤 N 素盈余量依次为双季稻($105.0 \text{kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > 一季稻($75.1 \text{kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > 水田旱作油菜($64.5 \text{kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > 旱地苕麻($51.9 \text{kg/hm}^2 \cdot \text{a}$)。
关键词 洞庭湖区 土地利用方式 全 N 微生物生物量氮 N 循环 N 平衡

Nitrogen cycle and content in plowable soil layer under different land-use types in Dongting Lake region. HUANG Wei-Sheng^{1,2}, PENG Pei-Qin¹, HUANG Dao-You¹, SU Yi-Rong¹, ZHU Qi-Hong³ (1. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. Environmental Monitoring Station of Huizhou Dayawan Economic Technological Development Zone, Huizhou 516081, China; 3. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China), *CJEA*, 2007, 15(4): 49~52

Abstract By high density sampling and farming household investigation, total N content, microbial biomass N (MB-N) content, total N and MB-N relationship, and N cycle characteristics and N balance of plowable soil layer under different land-use types were studied in Dongting Lake region. Results show $3.00 \pm 0.48 \text{g/kg}$ total N content and $101.4 \pm 49.2 \text{mg/kg}$ MB-N content in farmlands respectively. Total N contents for double cropping paddy fields, single cropping paddy fields, dry farming paddy fields and dry lands are $3.12 \pm 0.40 \text{g/kg}$, $3.03 \pm 0.39 \text{g/kg}$, $2.79 \pm 0.43 \text{g/kg}$ and $2.10 \pm 0.46 \text{g/kg}$; and MB-N contents are $124.0 \pm 56.6 \text{mg/kg}$, $96.4 \pm 39.2 \text{mg/kg}$, $108.0 \pm 48.6 \text{mg/kg}$ and $75.2 \pm 30.5 \text{mg/kg}$ respectively. Except for dry farming in paddy soils, MB-N and total N are significantly passively correlative ($P < 0.01$) for all other land-use types. The order of N surplus for the different land-use types is: double cropping paddy field ($105.0 \text{kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > single cropping paddy field ($75.1 \text{kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > dry farming paddy soil ($64.5 \text{kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > dry land ($51.9 \text{kg/hm}^2 \cdot \text{a}$).

Key words Dongting Lake, Land-use types, Total N, Microbial biomass N, N cycle, N balance

(Received June 26, 2005; revised Oct. 17, 2005)

土地利用变化一方面导致进入土壤中的肥料和植物残体的数量和性质各异,另一方面土壤水分管理、耕作方式等农艺措施的差异,影响土壤 N 素的矿化、运输和植物的吸收与利用,因而造成土壤 N 素的差异^[1,2,12]。湖南省洞庭湖集约农业区包括 19 个县(市、区)和 15 个国营农场,是湖南省主要的商品粮、棉、油基地,在湖南省乃至全国的农业可持续发展中占有重要的地位^[3]。随着社会发展,洞庭湖地区土地利用方式发生了重大变化。任可爱等^[4]研究了不同耕作制度稻田有机质和 N、P、K 的变化,而对该区土壤全 N、土壤微生物生物量氮(MB-N)含量及其在 N 素循环的作用研究尚未见诸报道。本文选取洞庭湖典型样区为研究对象,通过密集采样分析结合农户调查的方法,研究耕作土壤 N 素含量和循环特征,以期为科学管理土地,维持和提高湖区土壤肥力提供依据。

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-426)、国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412503)和中国科学院知识创新工程领域前沿项目(02200220020223)资助

** 通讯作者

收稿日期:2005-06-26 改回日期:2005-10-17

1 研究区域概况与研究方法

研究区地处 $112^{\circ}16' \sim 112^{\circ}56' E$ 、 $28^{\circ}42' \sim 29^{\circ}11' N$ 的湖南省沅江市,位于洞庭湖腹地,属于典型的中亚热带湿润季风气候区,土壤为长江冲积物母质发育而成的水稻土和潮土。采样区耕作制度 1979 年以前均为稻-稻-肥,1981 年实现联产承包责任制后,由于作物产量提高、比较利益和农村劳动力转移等原因,耕作制度发生了重大改变,大部分改为双季稻-冬闲(简称双季稻,下同),部分改为一季稻-冬闲(简称一季稻,下同),部分水田改为旱作(简称水田旱作)和旱地。一季稻水田以中稻为主,水田旱作作物以油菜为主(改为旱作不超过 3 年),旱地作物以苧麻为主。2004 年 3 月在采样区选取 370hm^2 的典型区域,采集双季稻、一季稻、水田旱作、旱地等利用方式的土壤表层样($0 \sim 15 \text{cm}$),按 $3 \sim 4$ 个样/ hm^2 的采样密度随机布点,采用“S”形取样法采集土样。其采样数分别为 331 个、211 个、25 个和 59 个,共 626 个土样。采样过程中应用全球定位系统(GPS)对每个土样点(地块)准确定位,并现场调查每个土样点(地块)的基本情况,如取样点的地(丘)块名称、面积,户主姓名,耕作制度,灌溉情况,近 3 年来的投入、产出水平以及施肥的具体情况(包括肥料种类、名称与数量)等。土壤全 N 用元素分析仪(Vario MAX CN)测定,土壤微生物生物量氮采用氯仿熏蒸- K_2SO_4 提取方法测定^[12,13],转换系数 K_N 取值为 2.22 ^[12]。

2 结果与分析

2.1 不同利用方式下土壤全 N 含量

表 1 表明,耕作土壤的全 N 平均含量为 $3.00 \pm 0.48 \text{g/kg}$,但变化幅度较大(极差为 3.05g/kg)。双季稻、一季稻、水田旱作和旱地全 N 平均含量分别为 $3.12 \pm 0.40 \text{g/kg}$ 、 $3.03 \pm 0.39 \text{g/kg}$ 、 $2.79 \pm 0.43 \text{g/kg}$ 、 $2.10 \pm 0.46 \text{g/kg}$,相应的变异系数依次为 12.9% 、 12.9% 、 15.4% 和 21.7% (表 1)。除一季稻水田与水田旱作土壤全 N 含量差异为不显著水平($P > 0.05$)外,其余任 2 种利用方式的全 N 含量差异均达到极显著水平($P < 0.01$)(表 1)。

表 1 不同利用方式下土壤全 N 含量*

Tab.1 Contents of total N of soil under different land-use types

土地利用类型 Land-use type	种植制度 Cropping system	样本数 Sample number	变幅/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Range	均值/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ Mean	标准差 STDEV	变异系数/% C.V.
水田	双季稻	331	1.75~4.06	3.12Aa	0.40	12.9
	一季稻	211	1.66~3.77	3.03Bb	0.39	12.9
水田旱作	油菜	16	1.68~3.49	2.79Bb	0.43	15.4
旱地	苧麻	45	1.01~3.22	2.10Cd	0.46	21.7
合计/平均	农用地	603	1.01~4.06	3.00	0.48	16.1

* 大写字母不同表示差异达 99% 显著水平,小写字母不同表示差异达 95% 显著水平,下同。

条件的影响较少(本研究区内自然条件相对较一致)。

图 1a 表明,双季稻、一季稻、水田旱作和旱地全 N 含量的主要分布区间依次为 $2.51 \sim 4.00 \text{g/kg}$ 、 $2.51 \sim 3.50 \text{g/kg}$ 、 $2.51 \sim 3.50 \text{g/kg}$ 、 $1.51 \sim 2.50 \text{g/kg}$,相应的发生频率为 91.2% 、 83.4% 、 87.5% 、 71.1% 。 Fig.1 The frequency distribution of total N (a) and microbial biomass N (b) under different land-use types

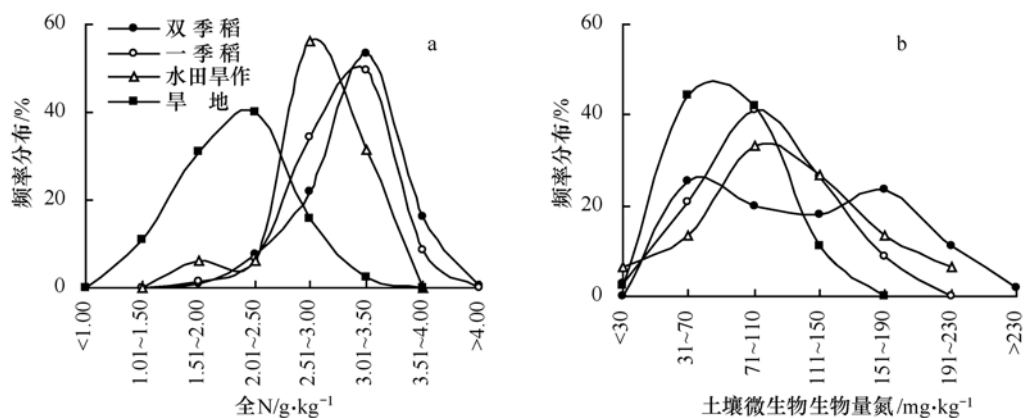


图 1 不同利用方式耕作土壤全 N(a)和微生物生物量氮(b)的频率分布图

2.2 不同利用方式的土壤微生物生物量氮(MB-N)含量

表 2 表明,耕作土壤 MB-N 含量平均值在 $75.2 \sim 124.0 \text{mg/kg}$ 之间,平均为 $101.4 \pm 49.2 \text{mg/kg}$ 。表 2 还表明,MB-N 含量平均值依次为双季稻 > 水田旱作 > 一季稻 > 旱地。旱地与双季稻、旱地与水田旱作 MB-N 含量差异均达到极显著水平($P < 0.01$),旱地与一季稻 MB-N 含量差异仅达到显著水平($P < 0.05$),而一

季稻与双季稻 MB-N 含量差异达到显著水平 ($P < 0.05$) (表 2)。土壤 MB-N 含量差异情况主要与植被类型和秸秆还田量、复种指数等农业管理措施有关。图 1b 表明, 双季稻、一季稻、水田旱作和旱地 MB-N 含量的主要分布区间分别为 31~190 mg/kg、31~150 mg/kg、31~190 mg/kg、31~110 mg/kg, 相应的发生频率为 87.3%、88.2%、86.7%、86.7%。

表 3 不同利用方式微生物生物量氮与全 N 的关系

Tab.3 Relations of soil microbial biomass N and total N under different land-use types

土地利用类型	种植制度	样本数	线性方程	相关系数 (r)
Land-use type	Cropping system	Sample number	Linear model	Correlation coefficient
水田	双季稻	55	$Y = 74.643X - 105.28$	0.805**
	一季稻	34	$Y = 35.723X - 2.9731$	0.542*
水田旱作	油菜	15	$Y = 44.825X - 11.168$	0.508
旱地	苎麻	45	$Y = 32.167X + 12.031$	0.536*
合计/平均	农用地	149	$Y = 49.992X - 32.027$	0.693**

2.4 N 素的循环与平衡特征

土壤 N 素的平衡和动态取决于系统的输入量和输出量,其盈亏状况也决定了土壤的 N 素状况。以双季稻水田、一季稻水田、水田旱作油菜和苎麻旱地作物系统为例,研究了 4 种利用方式土壤 N 素循环与平衡状况(表 4)。研究区秸秆产量以经济系数计算^[5],稻草还田量早稻、晚稻和中稻分别为 75%、50% 和 50%;苎麻秸秆还田量为 100%,油菜秸秆随作物收获带走。有研究表明,根茬可作为土壤 N 素的内循环,水田灌溉水中带入的 N 量和渗漏水带走的 N 量大体相当^[6,7]。因此,N 素循环的参数可以简化为计算种苗、干湿沉降、非共生固氮、化肥和有机肥等输入项,以及旱地的渗漏与排水、N 肥的各种损失(氨挥发、反硝化损失)和作物移出量等输出项。其中,计算参数均参考有关研究结果^[6,7]。

表 4 表明,在双季稻、一季稻、油菜和苎麻作物系统中,化肥 N 占 N 素输入总量的比例分别为 77.5%、73.8%、81.4%、87.0%,而作物收获移出的 N 量占输出总量的比例分别为 59.9%、59.9%、51.9%、56.7%。土壤 N 素的盈余量依次为双季稻 ($105.0 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > 一季稻 ($75.1 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > 油菜 ($64.5 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$) > 苎麻 ($51.9 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{a}$)。这也印证了土壤全 N 含量差异的分析结果。

3 小结与讨论

土壤 MB-N 具有源和库的作用,其含量与周转对土壤 N 素循环与平衡状况具有重要意义^[9]。大量的研究表明,土壤 MB-N 含量差异主要受土壤性质、气候、施肥、耕作、水分管理等因素影响^[9,10,12,13]。不同利用方式下,土壤 MB-N 含量、土壤 MB-N 与全 N 的相关关系表现出明显差异,这主要与新鲜有机物(根茬和秸秆)的输入量和还田方式(苎麻秆表面覆盖、稻草翻压还田)有关。由植被类型和土壤水分管理引起的微生物群落和种类

表 2 不同利用方式土壤微生物生物量氮含量

Tab.2 Contents of soil microbial biomass N under different land-use types

土地利用类型	种植制度	样本数	变幅/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	均值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	标准差	变异系数/%
Land-use type	Cropping system	Sample number	Range	Mean	STDEV	C.V.
水田	双季稻	55	34.9~234.2	124.0Aa	56.6	45.7
	一季稻	34	31.3~173.4	96.4ABb	39.2	40.7
水田旱作	油菜	15	63.0~193.9	108.0Aab	48.6	45.0
旱地	苎麻	45	32.3~149.7	75.2Bc	30.5	40.5
合计/平均	农用地	149	31.3~234.2	101.4	49.2	48.5

2.3 土壤微生物生物量氮与全 N 的关系

表 1 和表 2 数据表明,农用地 MB-N 占全 N 的比例平均为 3.38%,双季稻、一季稻、水田旱作和旱地 MB-N 占全 N 的比例分别为 3.97%、3.18%、3.87%、3.58%。结果还表明,双季稻的 MB-N ($Y, \text{mg/kg}$) 与全 N ($X, \text{g/kg}$) 之间存在极显著的线性相关 ($r = 0.805^{**}$),一季稻和旱地则存在显著的线性相关 ($r = 0.542^*$ 和 $r = 0.536^*$),而水田旱作不存在显著的线性相关(表 3)。

表 4 不同利用方式的氮素循环与平衡状况*

Tab.4 Characteristics of N cycling and balance under different land-use types

项目	Item	含 N 量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ N content			
		双季稻	一季稻	油菜	苎麻
		Double rice	One rice	Rape	Ramie
输入	种子(苗)	4.5	2.3	0.5	—
	干湿沉降	3.2	3.2	3.2	3.2
	非共生固氮	37.5	37.5	37.5	15.0
	化肥	403.3	216.7	179.3	398.5
	有机肥	71.7	33.9	—	41.2
合计		520.2	293.5	220.4	457.8
输出	作物收获移出 N 量	248.5	130.8	81.0	230.0
	各种损失	166.7	87.6	74.9	174.1
	渗漏与排水	—	—	—	1.9
合计		415.2	218.4	155.9	406.0
平衡	输入-输出	105.0	75.1	64.5	51.8

* 养分含量数据来自中国有机肥养分数据集^[8];计算的参数参考鲁如坤等的结果^[6,7]。

的不同导致了微生物生物量的差异。此外,土壤 MB-N 的季节性变化特点也是重要原因。采样时间是 2004 年 3 月,水田旱作的油菜正是盛花期,其根系产物(分泌物、脱落细胞等)可以为微生物提供能源,维持较高的微生物量,促进了 N 的微生物固持。而水田处于休闲期,苕麻也是刚刚在生长期,新鲜有机物进入量低,土壤微生物活性低。据研究^[10],湖南稻田 6 个长期定位试验点的土壤 MB-N 含量在 33.0~193mg/kg,占全 N 的比例为 2%~5%(平均为 3.6%),其关系达到极显著水平($P<0.01$)。本研究的结果与其十分接近。

研究显示,虽然洞庭湖区 N 的投入量低于同纬度的太湖地区(500~750kg/hm²·a),但土壤全 N 含量却高于太湖地区(1.61g/kg)^[11]。这可能与土壤性质、秸秆还田的数量、耕作制度和土地生产力有关。洞庭湖区的 N 素循环特点表明,化肥与有机肥(主要是秸秆还田)配施不仅使 N 素盈余,也有效提高了土壤全 N 和 MB-N 含量,土壤全 N 的平均含量已经高于一级农田的标准(>2.50g/kg)。因此,恢复种植绿肥,增加土地的复种指数,增施有机肥,尤其是强化秸秆还田,协调土壤水分和肥力的农业管理措施以维持和提高洞庭湖区耕作土壤全 N 和 MB-N 含量,是实现农业可持续发展的重要措施。

致谢 汪汉林副研究员、路鹏博士、邹炎博士、唐国勇博士、宋变兰硕士等参加土样采集、分析和农户调查工作,谨表谢意!

参 考 文 献

- 1 罗为检,王克林,刘明.土地利用及其格局变化的环境生态效应研究进展.中国生态农业学报,2003,11(2):150~152
- 2 巨晓棠,刘学军,张福锁.不同氮肥施用后土壤各氮库的动态研究.中国生态农业学报,2004,12(1):91~94
- 3 杨光立,李林,叶桃林,等.略论洞庭湖集约农区耕作改制及农业可持续发展策略.作物研究,1997(3):1~3
- 4 任可爱,肖和艾,李玲,等.洞庭湖区稻田土壤有机质和氮磷钾含量的变化.农业现代化研究,2005,26(2):150~153
- 5 钟华平,岳燕珍,樊江文.中国作物秸秆资源及其利用.资源科学,2003,25(4):62~67
- 6 鲁如坤,刘鸿翔,闻大中,等.我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究.Ⅰ.农田养分支出参数.土壤通报,1996,27(4):145
- 7 鲁如坤,刘鸿翔,闻大中,等.我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究.Ⅱ.农田养分收入参数.土壤通报,1996,27(5):151
- 8 全国农业技术推广中心.中国有机肥养分数数据集.北京:中国科技出版社,1999
- 9 何振立.土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义.土壤,1997(2):61~69
- 10 刘守龙,肖和艾,童成立,等.亚热带稻田土壤微生物生物量碳、氮、磷状况及其对施肥的反应特点.农业现代化研究,2003,24(4):278
- 11 高超,张桃林,吴蔚东.太湖地区农田土壤养分动态及其启示.地理科学,2001,21(5):428~432
- 12 Brookes P. C., Landman A., Pruden G., et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biol. Biochem., 1985, 17(6): 837~842
- 13 Wu J., Brookes P. C., Jenkinson D. S. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil. Soil Biol. Biochem., 1993, 25(10): 1435~1441