

稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对 氮素肥力的影响*

高亚军** 黄东迈 朱培立 王志明

(江苏省农科院土肥所, 南京 210014)

李 生 秀

(西北农林科技大学资源与环境科学系, 陕西杨陵 712100)

摘 要 通过十二年的耕作和施肥长期定位试验研究表明, 苏南太湖稻麦轮作地区, 长期休闲的农田 0~5cm 土层最高含氮量可达 2.89%, 休闲田结合每季耕翻, 全氮含量下降, 只及最高含氮量的 70%, 保持在 2% 左右。无论免耕与否, 不施肥土壤 (0~5cm) 全氮含量为最高含氮量的 50% 左右, 单施化肥时为 52%~56%, 猪粪 + 化肥为 63%, 秸秆 + 化肥为 63%~70%。不同耕作处理对土壤全氮、氮素矿化势、生物量氮和矿质氮在土层中的分布及含量有明显的影响。施肥, 特别是配施有机肥对土壤全氮和土壤供氮容量的影响大于耕作对其的影响。固定态铵的含量不仅与土壤中的粘土矿物有关, 施肥对其也有影响。

关键词 稻麦轮作, 耕作方式, 培肥制度, 氮素肥力

中图分类号 S158.5

我国南方水旱轮作的面积较大^[1], 在这些地区如何通过合理的土壤管理措施既可达到高产节源, 培肥土壤, 又能有效控制和减少环境污染, 发展生态农业是当前的重要问题。关于旱地作物实行免耕法的研究国内外报道较多, 而水旱轮作条件下免耕、少耕的研究国外鲜有报道, 国内约在七十年代末开始从事这方面研究, 并作了一些工作^[2~10]; 在水田或旱地长期施用不同肥料对土壤培肥效果的研究历史更悠久^[11~14]。水旱轮作造成了一个特殊的土壤环境, 在此条件下, 结合不同的培肥制度长期实行免耕或耕翻会对土壤肥力, 尤其是氮素肥力产生什么影响, 在这方面的研究报道甚少。本文通过种植了 25 季的稻麦轮作定位试验对此问题做了探讨。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤与供试作物

供试土壤为长江冲积母质发育的灰潮土 (Gray Fluvo-aquic Soil); 耕层 (0~15cm) 有机质含量

* 国家自然科学基金重点项目 (批准号 39430090) 和国家自然科学基金项目 (批准号 33880537)

** 高亚军现在西北农林科技大学工作

收稿日期: 1999-03-15; 收到修改稿日期: 2000-03-29

19.7g / kg, 全氮 1.28g / kg, 速效磷(P_2O_5) 20.8mg / kg, 非交换性钾(K) 422mg / kg, 交换性钾(K) 58mg / kg, pH8.09; 粘土矿物以水云母为主, 还有一些绿泥石、高岭石等; 小于 $2\mu\text{m}$ 的土壤颗粒占 68g / kg, $2\sim 10\mu\text{m}$ 的占 114g / kg, $10\sim 50\mu\text{m}$ 的占 637g / kg, $50\sim 100\mu\text{m}$ 的占 91g / kg。

供试作物为水稻和小麦, 均选用当地主导品种, 水稻为早单八, 小麦为杨麦五号。

1.2 田间试验

田间长期定位试验由江苏省农科院于 1983 年 6 月布设在张家港市鹿苑镇。该地区海拔 4m 左右(青岛高程), 常年降雨量 1039.3mm, 年均蒸发量 800mm, 常年平均气温 15.2°C , 年均 5cm 地温 16.8°C , 比气温略高。

试验设免耕(NT)和常规耕翻(CT)两种耕作方式, 对不同耕作方式的施肥处理为不施任何肥料(对照, CK)、单施化肥(尿素、过磷酸钙、氯化钾)(CF)、猪粪与化肥(尿素、过磷酸钙、氯化钾)配施(PM)、秸秆与化肥(尿素、过磷酸钙、氯化钾)配施(CS)和常年休闲(F)五种培肥制度, 完全组合共包括十个处理, 重复三次, 30 个小区随机排列, 小区面积 33.3m^2 。常规耕翻指每季作物播前将土壤耕翻一遍(一般耕深达 15cm), 基肥及作物残茬耕翻入土中, 作物收获后只留低茬而将秸秆其余部分移走。免耕操作为播前只作表层(不深于 5cm)的旋耕灭茬, 不进行耕翻, 而肥料表施。休闲小区常年不施任何肥料, 也不种任何作物, 保持天然杂草植被, 免耕休闲区每季杂草收后铺盖于地表, 耕翻休闲区杂草在耕翻时一并埋入土壤耕层。各施肥处理养分总投入量见表 1。

定位试验于 1995 年 10 月结束, 共种植 13 季水稻、12 季小麦。每年 10 月下旬种植小麦, 6 月上旬收获; 6 月下旬种植水稻, 10 月上旬收获。每季作物分小区计产(籽粒产量和茎秆产量), 采集小麦与水稻的籽粒和茎秆样品, 1995 年采集休闲区杂草地地上部样品, 烘干后用以测定其养分含量(产量结果另文报道)。1995 年 10 月水稻收获后每个处理采集一份多小区、多点混合土壤样品, 分 $0\sim 5\text{cm}$, $5\sim 15\text{cm}$, 和 $15\sim 30\text{cm}$ 三个层次, 所有土样风干后磨细, 分别过 2mm、1mm 和 0.25mm 筛以备分析。

表1 各处理十二年总施肥量

Table 1 Total amount of fertilizers applied in each treatment during the 12 years of cropping (kg/hm^2)

处理 Treatment	单施化肥 CF	猪粪+化肥 PM	秸秆+化肥 CS
N	4856	5241(33.9%)	4607(12.1%)
P_2O_5	1500	4649(68.0%)	1875(13.0%)
K_2O	3645	5177(29.6%)	4589(20.5%)

注: 括号中为有机态养分所占的比例

1.3 测定项目及分析方法:

土壤全氮: 开氏法; 土壤矿质氮: 用 2mol/L KCl 浸取(液:土 = 10:1), 蒸馏滴定; 土壤矿物固定态铵: 先用碱性次溴化钾氧化, 然后用 HF-HCl 处理浸取晶格固定态铵, 蒸馏滴定; 土壤可矿化氮: 淹水密闭培养法, 即风干土加水使其处于厌气条件, 密闭后置于 30°C 培养, 取培养 1、2、3、5、8、12 和 18 周的样品, 用 KCl 浸取其矿化产生的铵态氮, 蒸馏滴定; 土壤生物量氮: 将 2mm 的风干土样取两份, 加水使其含水量达到田间持水量的 65% 左右, 于 30°C 恒温条件下培养 10 天。然后其中一份置于氯仿蒸汽中熏蒸 24 小时(25°C), 完毕后土壤中的残余氯仿驱除, 用 0.5mol / L K_2SO_4 溶液(液土比 4:1)振荡 30 分钟浸取。浸取液用开氏法定氮。土壤生物量氮按下式计算: $B_N = 2.22E_N$, 其中 E_N 为熏蒸土壤中氮含量与未熏蒸土壤氮含量的差值^[15]。

2 结果与讨论

2.1 土壤全氮

如表 2 所示,土壤 0~5cm 免耕处理全氮含量均高于耕翻,5~15cm 正好相反,耕翻处理全氮含量高于免耕,但高出的幅度都不大,15~30cm 土层免耕与耕翻无显著差异。免耕土壤全氮在剖面中呈明显的层次性分布,表层含量与下层相差很大,相对而言,耕翻土壤 0~15cm 土层全氮含量相差较小,分布较均匀。

各种肥料处理对土壤全氮的贡献大小依次为:休闲 > 有机肥与无机肥配合 > 单施无机肥 > 对照。有机肥在保持和提高土壤 N 素储量方面比无机肥具有更大的作用;长期施化学肥料的土壤往往比不施肥土壤的全 N 含量稍高,但低于有机肥与化肥配施的处理。

本试验中加入休闲处理,其目的在于探索太湖地区农田基本处于自然生态条件下,土壤肥力的长期积累究竟可达何种状况,同时,拟以此为基础,探讨土壤管理对土壤肥力的影响。由于免耕休闲 0~5cm 土层的肥力较能代表杂草植被下土壤的天然肥力积累,本文将以此层为基础对这一问题进行分析。

如表 2 所示,免耕休闲处理 0~5cm 土壤全氮含量达 2.89%(M),它可能是这一水旱轮作地区农田长期休闲后,土壤全氮达到的最高值或近于最高值。休闲田结合每季耕翻,全氮量下降,只及 M 值的 70%,保持在 2% 左右。无论免耕与否,大体上不施肥处理的全氮约为 M 值的 50% 左右,单施化肥的略高于不施肥,为 M 值的 52%~56%,猪粪 + 化肥的为 M 值的 63%,秸秆 + 化肥的为 M 值的 63%~70%。从这一地区已有的土壤氮素状况看^[6],上述试验结果比较接近农田实际。不同耕作方法明显影响了氮素在层次间的分布,而施肥,特别是连年配施有机肥,明显地提高了土壤氮素含量水平。

表2 土壤全氮含量

Table 2 Total nitrogen content of soils (g/kg)

耕作方式 Tillage methods	土层 Soil depth (cm)	肥料处理 Fertilizer treatments				
		休闲 F	对照 CK	化肥 CF	猪粪+化肥 PM	秸秆+化肥 CS
		免耕 NT	0~5	2.89(100)	1.48(51)	1.61(56)
	5~15	1.61	1.12	1.03	1.23	1.30
	15~30	0.85	0.73	0.75	0.61	0.62
耕翻 CT	0~5	2.01(70)	1.38(48)	1.50(52)	1.82(63)	1.82(63)
	5~15	1.62	1.16	1.35	1.53	1.31
	15~30	0.89	0.65	0.68	0.73	0.64

注: ()中是以0~5cm免耕休闲土壤全氮含量为100时的相对值

2.2 土壤可矿化氮

全氮含量代表土壤中氮的总贮备,而真正反映土壤供氮能力的是可矿化氮含量。为了研究各种土壤管理措施条件下土壤的供氮特点,本研究用淹水密闭培养法测定了土壤

氮矿化势 (N_0)^[17]。

本试验中所用的土样共 30 个, 其中 10 个为 15~30cm 土层土壤, 它们在不同时间内的净矿化氮量没有明显差异, 显然其矿化模式不会符合一级动力学方程, 无法按同样方法计算其矿化氮含量, 因而在此处没有考虑。

由不同处理的土壤氮素矿化势 N_0 (表 3) 可以看出, 免耕土壤 0~5cm 的氮素矿化势均高于耕翻; 5~15cm 土层, 休闲的免耕土壤仍高于耕翻的休闲田, 其它培肥处理都是免耕低于耕翻。说明长期休闲的土壤在免耕状态下其供氮量要比经常耕翻的土壤高, 连年种植作物的免耕土壤其供氮能力表现为表层比耕翻大而下层比耕翻小, 整个耕层土壤则二者无显著差异。余晓鹤等^[6]也有类似的报导; 而 Carter^[7]和 El-Haris^[18]用 Stanford 的通气培养法测出的旱地土壤氮矿化势同样反映了在免耕与耕翻条件下土壤供氮能力的这一特点。免耕条件下, 休闲土壤保持着最高的可矿化氮量, 而耕翻条件下, 休闲土壤的可矿化氮量下降。

免耕条件下, 有机肥配施化肥土壤的 N_0 仅次于休闲土壤, 不施肥土壤的 N_0 值最低, 单施无机肥土壤的 N_0 低于配施有机肥土壤, 这个顺序与全氮含量是完全一致的。耕翻条件下, 配施有机肥土壤拥有最大的氮矿化势。朱培立等^[17]曾报道, 施用桉麻的土壤氮矿化势两年内均比施硫酸的高, 而且土壤中的残留桉麻氮矿化势亦高于残留硫酸氮。台湾的长期定位试验有类似的结果^[13]。看来, 施加有机肥对土壤供氮能力的提高具有非常重要的作用。

表3 土壤氮素矿化势 N_0

Table 3 Soil N mineralization potential N_0 (mg/kg)

耕作方式 Tillage method	土层 Soil depth (cm)	肥料处理 Fertilizer treatments				
		休闲 F	对照 CK	化肥 CF	猪粪+化肥 PM	秸秆+化肥 CS
		免耕 NT	0~5	217.4	58.0	89.1
耕翻 CT	5~15	61.6	21.4	12.8	52.8	18.5
	0~5	88.5	42.9	86.6	118.6	117.1
	5~15	54.8	23.4	67.6	85.3	55.0

2.3 土壤生物量氮

土壤微生物所固定的那部分氮素, 即生物量氮, 是土壤有效氮的一部分, 它在土壤氮素循环中具有重要的作用, 同时受土壤管理措施的强烈影响。本研究结果见表 4。

各施肥处理免耕土壤表层生物量氮均高于耕翻, 但差异不大, 而耕翻土壤 5~15cm 生物量氮比免耕高出 20.3%~57.8%, 耕翻土壤 15~30cm 生物量氮含量比免耕高出 8.7%~71.2%。这是由于在耕翻条件下所施肥料能比较均匀地分布于 5~15cm 及其下层的土壤内, 从而有利于土壤下层中微生物的大量繁衍。

一般认为不施肥土壤提供给作物的有效氮一部分来自土壤生物量氮, 长期施用无机氮肥或与磷、钾肥配施的土壤, 即使全氮含量没有增加, 也能观察到生物量氮的增加。表 4 表明, 施肥土壤和休闲土壤的生物量氮数量都高于不施任何肥料的土壤, 有机肥与无机肥

表4 土壤生物量氮含量 B_N

Table 4 Microbial biomass nitrogen content of soils (mg/kg)

耕作方式 Tillage methods	土层 Soil depth (cm)	肥料处理 Fertilizer treatments				
		休闲 F	对照 CK	化肥 CF	猪粪+化肥 PM	秸秆+化肥 CS
		免耕 NT	0~5	263.8	101.4	145.5
	5~15	86.1	44.0	46.2	63.4	70.4
	15~30	32.7	4.8	9.5	5.3	7.8
耕翻 CT	0~5	133.0	100.6	132.2	158.1	154.6
	5~15	83.5	55.2	109.4	103.0	110.0
	15~30	23.1	6.2	10.4	18.4	13.3

配施的土壤生物量氮大于施无机肥的土壤,免耕休闲处理生物量氮最高,耕翻休闲处理生物量氮却只与施无机肥的处理相当,这说明耕翻会造成休闲土壤微生物量氮的急剧下降,休闲土壤只有在长期不扰动条件下才有利于生物量氮的积累。

2.4 土壤矿质态氮

矿质态氮只占土壤全氮的一小部分,但它是植物吸收的主要氮形态,在土壤氮素循环中同样具有重要的作用。一般来说,土壤矿质态氮含量具有很大的时空变异性,但似仍有一些趋势可循。如表5所示,与全氮、氮矿化势(N_0)及生物量氮明显不同的是,免耕土壤表

表5 土壤矿质态氮含量

Table 5 Mineral nitrogen content of soils (mg/kg)

耕作方式 Tillage methods	土层 Soil depth (cm)	肥料处理 Fertilizer treatments				
		休闲 F	对照 CK	化肥 CF	猪粪+化肥 PM	秸秆+化肥 CS
		免耕 NT	0~5	22.4	14.9	19.6
	5~15	5.2	8.1	11.3	8.0	15.0
	15~30	3.5	6.2	7.7	5.2	8.5
耕翻 CT	0~5	14.1	20.0	24.1	24.7	30.9
	5~15	6.4	13.6	13.0	15.4	11.9
	15~30	7.5	5.4	6.1	10.9	7.7

层矿质态氮含量大多低于相应的耕翻土壤(休闲处理例外,可能由于免耕的总氮储量及供氮能力远大于耕翻);5~15cm免耕土壤矿质氮含量也低于相应的耕翻处理(秸秆+化肥处理除外)。一些学者在旱地土壤中也有类似的发现^[9,18],指出免耕土壤耕层矿质氮含量,尤其是硝态氮含量一般低于耕翻土壤,Rice认为这是由于免耕土壤耕层具有较少硝化细菌和较多反硝化细菌所致^[10]。也可能与免耕土壤一般排水较好^[19],硝态氮容易沿免耕土壤中较多的大孔隙向下层迁移有关。

2.5 土壤矿物固定态铵

矿物固定态铵是土壤的一个重要氮源,其含量主要与土壤中的粘粒含量及粘土矿物类型等有关。耕作和施肥对固定态铵的影响研究似不多。本研究结果显示(表 6),耕翻土壤中矿物固定态铵含量似有高于免耕土壤的趋势,土壤的搅拌和扰动或许有助于铵态氮

表6 土壤矿物固定态铵含量

Table 6 Content of fixed ammonium by minerals in soils (mg/kg)

耕作方式 Tillage methods	土层 Soil depth (cm)	肥料处理 Fertilizer treatments				
		休闲 F	对照 CK	化肥 CF	猪粪+化肥 PM	秸秆+化肥 CS
		免耕 NT	0~5	178.0	154.9	192.0
	5~15	158.6	154.7	168.1	178.7	212.0
	15~30	176.8	149.2	158.7	170.8	178.2
耕翻 CT	0~5	187.5	184.1	186.0	224.0	267.0
	5~15	195.8	177.5	187.7	209.0	204.1
	15~30	182.7	174.5	169.6	183.8	153.4

的矿物固定。

对于以水云母为主的灰潮土,表 6 所示,30cm 以内各土层固定态铵含量和相应的土壤全氮、生物量氮、矿质氮不同,各层之间的变化较小。休闲处理无论免耕或耕翻,并不因土壤全氮含量的增高而影响固定态铵的含量。但是猪粪 + 化肥和秸秆 + 化肥的各层固定态铵含量均大于对照,也大于单施化肥的处理。王岩等的研究指出,有机肥与无机肥配施时,因无机肥促进了有机肥的分解,粘土矿物对有机肥料氮的固定也相应比单施有机肥的提高,这一过程又受有机肥 C/N 比的制约。施入无机氮肥可迅速增高土壤固定态铵含量,但它的释放和被植物吸收也很快^[20]。说明除粘土矿物和粘粒含量等因素外,施肥和有机物的再循环对土壤耕作层固定态铵含量及其动态也有影响。

参 考 文 献

1. 张同树, 程尧. 我国富水区域水旱轮作与农业持续发展. 农业技术经济, 1998, 2: 52~54
2. 赵诚斋, 周正庆, 董百舒. 苏南地区水稻土的合理耕作的研究. 土壤学报, 1981, 18: 223~233
3. 董百舒, 贡伯兴, 朱宗武. 江苏少、免耕种麦的研究. 中国农业科学, 1981, 20(1): 46~52
4. Huang Dongmai, Zhu Peili. The soil fertility of no-tillage rice-based cropping systems in southern China. IBSRAM Monograph (Printed in Thailand), 1991, 2: 365~375
5. Blevins R L, Thomas G W, Cornelius P L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. Agron. J., 1977, 69: 383~386
6. 余晓鹤, 朱培立, 黄东迈. 土壤表层管理对稻田土壤 N 矿化势、固 N 强度及铵态 N 的影响. 中国农业科学, 1991, 24: 73~79
7. Carter M R, Rennie D A. Changes in soil quality under zero-tillage farming system: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. Can. J. Soil. Sci., 1982, 62: 587~597
8. Blevins R L, Cook D, Phillips S H *et al.* Influence of no-tillage on soil moisture. Agron. J., 1971, 63: 593~596

9. Dowdel R J, Cannell R Q. Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content. *J. Soil Sci.*, 1975, 26: 53~61
10. Rice C W, Smith M S. Denitrification in no-tilled and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1982, 46: 1168~1173
11. 林葆. 我国肥料长期试验的主要结果和展望. 见: 中国农业资源与环境持续发展的探讨论文集. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1988. 117~120
12. 沈善敏. 国外的长期肥料试验(二). *土壤通报*, 1984, 15(2): 134~138
13. 林家芬, 李子纯, 张爱华等. 长期连用同样肥料对于土壤化学性质与稻谷数量之影响. *J. Taiwan Agri. Res.*, 1973, 22: 241~262
14. Suzuki M. 连续 60 年施用有机或无机肥对水田土壤肥力和水稻产量的影响. *土壤学进展*, 1993, 21: 30~32
15. Shibahara F, Inubushi K. Measurements of microbial biomass C and N in paddy soils by the fumigation-extraction method. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1995, (41): 681~689
16. 朱兆良. 土壤氮素. 见: 熊毅, 李庆远编. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1988, 464~482
17. 朱培立, 黄东迈. 土壤中残留氮矿化势研究. *江苏农业科学*, 1983, 11: 1~6
18. El-haris M K, Cochran K L, Elliott L F et al. Effect of tillage cropping, and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1983, 47: 1157~1161.
19. 高家骅, 章云, 黄东迈等. 黄泥土稻田免耕的防渍促爽效应. *江苏农业科学*, 1983, 10: 33~36
20. 王岩, 张莹, 沈其荣, 史瑞和, 黄东迈. 施用有机、无机肥后土壤微生物量、固定态铵的变化及其有效性研究. *植物营养与肥料学报*, 1997, 2(4): 303~314

THE LONG TERM IMPACT OF DIFFERENT SOIL MANAGEMENT ON NITROGEN FERTILITY IN RICE-BASED CROPPING SYSTEM

Gao Ya-jun Huang Dong-mai Zhu Pei-li Wang Zhi-ming

(*Soil and Fertilizer Institute, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014*)

Li Sheng-xiu

(*Department of Resources and Environmental Science, Northwestern Agricultural University, Yangling 712100*)

Summary

The influence of long-term application of fertilizers and tillage under conditions of 12-year rice-based cropping system on soil nitrogen fertility was studied on Taihu region of the south Jiangsu Province. The results showed that total N content in the soil layer of 0~5 cm reached 2.89%(M) in the long-term fallowed soil. The treatment of fallow in combination with plowing every crop season reduced total N content to 2%, occupying 70% of the M value. The total N content accounted for 50% of M value for the treatment without fertilizer, 52%~56% for chemical fertilizer treatment only, 63% for treatment of pig manure plus chemical fertilizer and 63%~70% for crop straw-chemical fertilizer treatment. The various tillage methods significantly affected contents and distribution of soil total N, mineralization potential of N, microbial biomass N and mineral N in the soil profile. As to soil total N content and N supply capacity, fertilization, especially the combination of chemical fertilizer and organic manure played a greater role than the tillage did. The content of mineral-fixed ammonium in soil was related not only to soil clay minerals but also to fertilization.

Key words Rice-based cropping system, Tillage methods, Fertilization, Soil fertility