

稻田土壤表层管理对氮素利用 和产量的影响*

朱培立 黄东迈 张振华

(江苏省农科院土肥所)

朱宗武 张 仁

(江苏省国营练湖农场试验站)

摘 要

在变性土性水稻土上,利用 ^{15}N 同位素研究了在稻麦轮作并长期实行免耕或耕作的条件下,晒垡及粘闭等措施对水稻氮素吸收利用和产量的影响。

江苏太湖稻麦轮作地区,历来农业集约化程度较高,随着农业生产条件和轮作制度的发展,土壤耕作管理也不断演变,这一地区传统的水稻耕作管理方式大体是:耕翻—晒垡—灌水—耕耙平整,以及水稻生长期间的中耕耘耥和烤田等。70年代以来,随着双季稻三熟制和稻田机械耕作的发展,土地利用率提高,土壤淹育时间长,表层土壤由于耕耘机的水耙搅动,土粒的分散度高,犁底层以上出现了青泥层,表土次生潜育化的现象在一些排水不良的土壤上比较普遍。80年代以来,随着免、少耕法在三麦等秋播作物上普遍推广应用,表明它在低湿粘重的土壤上具有增产效果。但稻田上,目前仍处在试验阶段。

在国外,免耕对象以旱地居多,而在水旱轮作制中如何推广是一个值得研究的问题。近十余年来,研究稻田的耕作管理侧重于它对土壤的物理性质的影响方面^[1~3],但对土壤肥力的影响则研究不够;而有关在水旱轮作并长期实行免耕条件下,稻田土壤变化状况的报道就更少了。本文利用 ^{15}N 同位素研究了在稻麦轮作并长期免耕条件下,耕作管理对水稻产量和土壤氮素吸收利用的影响。由于土壤耕作管理的内容极其广泛,本文只涉及土壤的表层管理问题。

一、材料和方法

试验于1984年在丹阳市练湖农场试验站已连续13季实行免耕与常规耕翻的定位试验田上进行,即分别在连续免耕区(下称免区)和连续常规耕翻区(下称耕区)内设置不同耕作管理的微区,微区面积为万分之一亩。试验时将高为33厘米、直径为29厘米的无底塑料筒垂直打入犁底层,筒体露出土面8厘米。把需要进行耕翻的0—15厘米土层从筒内取出,按要求进行模拟处理:晒垡处理的土壤晒至土壤含水量2%;粘闭处理的土壤加水搅拌,然后将它们重新装入相应的筒内进行试验。

供试土壤为发育于湖积物母质上变性土性的暗色水稻土,质地为重粘壤。免区土壤全氮为

* 中国科学院自然科学基金资助课题。

2.3gkg⁻¹，全磷1.2gkg⁻¹，有机质32.5gkg⁻¹，pH5.35，<0.002mm粘粒41.6%，<0.01mm微粒66.7%；耕区土壤的全氮为2.2gkg⁻¹，全磷1.2gkg⁻¹，有机质32.0gkg⁻¹，pH为5.26，<0.002mm粘粒为41.9%，<0.01mm微粒为65.3%。试验处理为：

连续免耕区(免区)	连续耕翻区(耕区)
1. 连免无氮肥(免区+免无氮)	连耕无氮肥(耕区+耕无氮)
2. 连免面施硫酸铵(免区+免)	连耕混施硫酸铵(耕区+耕)
3. 耕翻晒垡施硫酸铵(免区+耕+晒)	连耕晒垡施硫酸铵(耕区+耕+肥)
4. 耕翻粘闭施硫酸铵(免区+耕+粘)	连耕粘闭施硫酸铵(耕区+耕+粘)
5. 耕翻无氮肥(免区+耕无氮)	
6. 耕翻混施硫酸铵(免区+耕)	

免区中添设5、6两处理，用以探讨经7年连续免耕后的土壤对耕翻及施肥的效应。试验重复12次。肥料用量：施氮区为每公顷112.5公斤，其中一半微区施¹⁵N标记硫酸铵(原子百分超11.2%)，另一半微区施非标记硫酸铵，所有微区均施五氧化二磷每公顷112.5公斤，氧化钾每公顷168.8公斤。各种肥料加水溶解后，属连续免耕处理的均表施，属耕翻处理的在土壤入筒时混施。在栽秧后15、30、60天采样测定稻株全氮动态变化，每次2重复，收获时考查6个重复的农艺性状及水稻产量，其中施¹⁵N硫酸铵的3重复用以测定稻株全氮(开氏法)。¹⁵N原子百分超由南京土壤研究所质谱组测定。

二、结果与讨论

(一)表层土壤的不同耕作管理对水稻产量的影响 试验田在进行7年稻麦轮作连续免耕与常规耕翻对比试验时，每年每公顷投入约450公斤氮，其中用于小麦300公斤，用于水稻150公斤。免区或耕区的小麦、水稻产量在年度间均有增有减，年总产基本持平或免区稍有增产；两种作物相比，小麦增产较多，平均5.22%，水稻只为3.93%，连续13季免耕并未出现稻麦减产现象。为了探讨较长期免耕后，再进行不同耕作、施肥措施对产量的影响，试验于第14季水稻上，进行了两种耕作方法(免耕、常规耕)和4种管理措施(无氮肥、施氮肥、深度晒垡及搅拌粘闭)的比较。方差分析结果表明，该土壤连免至第14季，两种耕作方法间水稻产量仍不显著，而4个不同管理措施，以及耕作方法与管理措施之间却存在着显著差异，这种差异表明两种耕作方法与氮肥施用以及晒垡措施之间有明显的交互效应(表1)。

1. 耕作方式与氮肥对水稻产量的影响 如前所述，稻麦轮作连续13季免耕，肥料季季面施，能够得到与常规耕作相近的产量水平，这包含了耕作与施肥两因素的作用，表2表明，免区水稻继续免耕，仅此一季不施氮肥，水稻产量比相应耕区加耕处理的减产40.7%；免区虽

表 1 表层土壤的不同管理方法水稻产量变量分析

处 理	自 由 度	平 方 和	变 量	F	F _{0.05}	F _{0.01}
区组间	5	394.3	78.9	0.6709	2.49	3.61
处理组合	7	11441.7	1634.5	13.90**	2.30	3.21
耕作方式	1	69.8	69.8	0.5935	4.13	7.44
管理措施	3	8668.5	2889.5	24.57**	2.88	4.42
耕×管	3	2703.4	901.1	7.662**	2.88	4.42
机误变量	35	4116.0	117.6			
总 数	47	15954				

不施氮肥而仅进行一次耕翻, 水稻产量可比继续免耕区提高24.1%, 可见耕翻对水稻的增产作用是明显的。在投入氮肥量较高的条件下, 三种耕作方式的水稻产量因氮肥的供应均得到大幅度提高, 其中免区提高幅度较大, 可达到与耕区+耕处理相近的产量水平。看来两个因素中, 氮肥因素的增产作用比耕作因素大得多, 通常使用的耕作施肥管理措施, 氮肥的增产作用, 在一定程度上掩盖了耕作的作用, 使得免区与耕区之间产量差异不显著。但在不施氮肥条件下, 土壤耕翻对水稻的增产作用是明显存在的, Maurga, P. R. 及 Lal, R.^[4]也曾报道了耕翻移栽和免耕直播对水稻产量无明显影响, 但氮磷的施用量及其交互作用显著影响水稻产量。

表 2 耕作施肥处理间水稻产量差异比较*

耕 作	肥 料	平均产量 (克/区)	LSR _{0.05}	LSR _{0.01}	增 产	氮肥区增产
耕区+耕	无 氮	53.29	a	A	140.7	100.0
免区+免		37.88	b	A	100.0	
免区+耕		47.01			124.1	
平 均		46.06 ± 7.75				
耕区+耕	施 氮	78.05	a	A	103.8	164.9
免区+免		75.17	a	A	100.0	
免区+耕		74.60			99.24	
平 均		75.94 ± 1.84				

* 潮积粘质水稻土

表 3 耕作晒垡措施间水稻产量差异比较*

处 理	产 量 (克 / 区)	LSR _{0.05}	LSR _{0.01}	增 产 效 果	
免区+耕+晒	89.12	a	A	141	120
耕区+耕+晒	63.13	b	B	100	
免区+耕	74.60				100

* 潮积粘质水稻土

2. 耕作方式与晒垡对水稻产量的影响 土壤进行晒垡的增产作用, 在华东地区 5 种水稻土上的结果已有报道, 其增产效果与土壤性质、栽培制度及耕作方法有关^[5,6]。本试验的研究结果进一步证明, 土壤在较长期免耕后, 进行耕翻晒垡的增产作用更为显著(表 3)。这可能是由于长期免耕土壤中易分解的养分积累较多, 通过晒垡大量释放, 而使水稻增产显著^[5,6]。

3. 粘闭措施对水稻产量的影响 土壤进行带水反复耕耙的粘闭措施, 是我国长期种植水稻不可缺少的耕作方式。有些资料报道, 太湖地区有渗漏的粘质黄泥土粘闭植稻^[7], 尼日利亚国际热带农研所在砂壤土和砂质壤土上, 持续15季水稻粘闭和免耕试验^[4], 其结果均表明只要控制杂草, 粘闭措施并无增产效果, 本试验在潮积粘质水稻土免区和耕区进行粘闭种植, 也表明粘闭措施对水稻产量无显著影响。对于此类耕后不进行深度晒垡采用粘闭种植而无增产效果的土壤, 似可简化这一耕作程序, 以实现省工耕作。当然, 对这一问题还要因地制宜, 粘闭的效应往往因土而异, 我们只能根据各地实际效果, 要取得完全一致的结论是困难的。

(二) 表层土壤不同耕作管理对水稻吸收氮素的影响 由于不同的耕作方法, 产生了不同的土壤环境, 必将影响土壤氮素的矿化与固定过程, 以及影响作物对氮素的吸收和氮肥的利

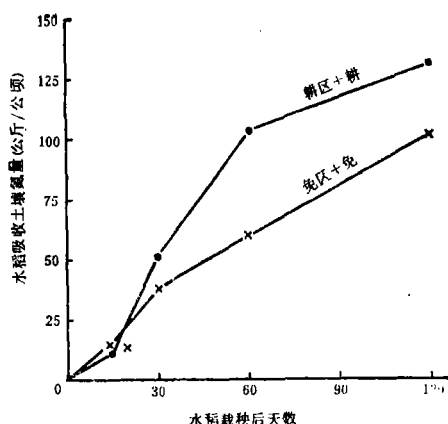


图 1 免区、耕区水稻吸收土壤氮量(无氮肥)

用率。

1. 耕地的影响 图 1 表明,在不施氮肥的条件下,水稻移栽半月内,连免区土壤供氮较多,其后,连耕区在水稻生长期间吸收土壤氮素一直高于连免区,水田耕翻作业在一定程度上能促进土壤氮的矿化和作物的吸收利用。在施氮肥条件下,通过 ^{15}N 同位素示踪 表明(表 4),连续免耕处理稻株总吸氮量较低,肥料氮吸收量及肥料氮占总吸氮量比例 F/T 值较高(30.3%);连续耕翻区的结果则相反,稻株总吸氮量虽较高,但肥料氮吸收量和 F/T 值却较低(25.9%),表明在施肥条件下,耕翻土壤仍可促进土壤有机氮矿化,提高土壤供氮能力,

表 4

耕地对水稻吸收氮素的影响

处 理	总 吸 氮 量		肥 料 氮 (F)	土 壤 氮 (S)	$\frac{S}{T}$ %	$\frac{F}{T}$ %
	公斤/公顷 (T)	± %				
耕区 + 耕	222	11.0	57.5	164	73.9	25.9
免区 + 免	200	—	60.5	139	69.5	30.3

而较长期实行免耕,水稻对肥料氮的依存性虽有所提高,但对土壤固有氮的依存性却有降低趋势。这在农业生产上会导致两种情况,一是土壤免耕后要达到与常规耕作相当的高额产量,可能需要施用更多的氮肥。二是在免耕条件下,氮素化肥的吸收利用率比常规耕作的有所提高。支配这一现象的主要因素是土壤长年免耕,形成与耕区不同的耕作环境,肥料和稻麦根茬常年在土表富积,造成 A_1 层土壤 C/N 值增加,致使免耕表施的硫酸氮在土壤矿化—固定周转供应过程中,表现暂时有机化的固定作用较占优势。由于这些新固定有机氮的有效性比土壤固有氮高^[9,10],因而可在水稻生长期间陆续矿化,更有利于水稻对氮肥的吸收。这可能就是变性土性水稻土长期免耕后,硫酸氮表施的供肥特点。总之,对于免耕田的肥料管理要根据其不同的供肥特点因地制宜。

2. 晒垡的影响 稻田晒垡的增产作用为我国农民所熟知,早有“霉风吹一吹,胜似一窖灰”之说,晒垡可以促进土壤氮的释放,过去已有不少研究报道^[3-6]。免耕条件下,土壤缺少耕翻,也就难以进行晒垡,在较长期免耕后,土壤进行一次耕翻晒垡,干土效应更大(表5),

表 5

晒垡对水稻吸收氮素的影响

处 理	总 吸 氮 量		吸收土壤氮 公斤/公顷 (S)	吸收肥料氮 公斤/公顷 (F)	$\frac{S}{T}$ %	$\frac{F}{T}$ %
	公斤/公顷 (T)	%				
耕区 + 耕	222	—	164	57.5	73.9	25.9
耕区 + 耕 + 晒	249	12.2	212	37.4	85.1	15.0
免区 + 耕	193	—	139	54.3	72.0	28.1
免区 + 耕 + 晒	361	87.0	311	50.6	86.1	14.0

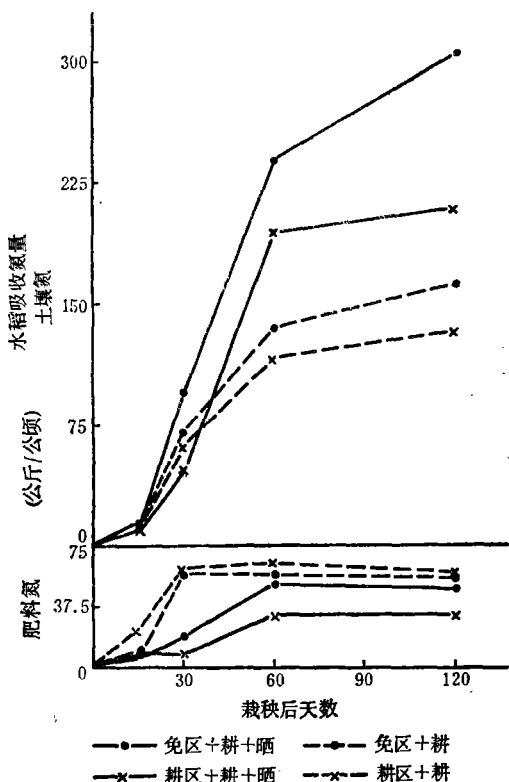


图2 晒垡处理水稻吸氮量动态变化

分化、增穗、增粒，从而促进增产。

3. 耕耙搅拌(粘闭)的影响 对移栽水稻来说,耕耙整田历来是一项必要的操作。通过带水耕耙使土粒分散,土壤结构性能改变,土壤充空气隙明显下降,通气性变差,产生所谓的粘闭。本试验主要探讨稻田耕翻后土壤高度搅拌粘闭对土壤中氮素和水稻产量的影响。试验结果表明,耕区或免区耕翻施肥后,不进行晒垡,只进行搅拌粘闭操作,模拟耕耙和水耙后的土壤分散状态、水稻吸收总氮量均比未粘闭处理稍低,同时在水稻生长期,粘闭土壤的操作对土壤氮和肥料氮供应过程的影响也不显著。

稻田表土层是否需要搅拌粘闭是一个有争论的问题,它的增产效益在不同地带和生产条件下结果不同,因此报道不一^[1]。看来太湖地区分布的粘质水稻土,过度地搅拌粘闭对水稻产量和土壤氮素的供应并无明显效果,同时,在水旱作物多熟栽培条件下,水田土壤颗粒的过度分散、结构粘闭,也是形成耕层土壤次生潜育化(青泥层)的一个重要因素。因此,稻田过度地碎土粘闭是无益的,不利于作物生长,水稻劳模陈永康水田耕整要求“上有泥糊,下有团块”,看来更为合理,它有利于保持土壤的良好结构,改善水稻生长条件,并能节省能量投入。

参 考 文 献

- [1] S. K. De Datta and R. Barber, Soil and Rice, P623-648 (IRRI Publication), 1978.
- [2] R. Lal, Soil Physics and Rice, P283-307 (IRRI Publication), 1985.
- [3] P. K. Sharma and S. K. De datta, P217-234 (IRRI Publication), 1985.
- [4] Maurya, P. R. and R. Lal, P337-345, in Soil tillage and crop Production, R. Lal, ed IITA Proc Ser 2, Ibadam, Nigeria, 1979.

(下转第301页)

水稻总吸氮量比相应未晒垡处理提高87%。常规耕翻的土壤晒垡效应只有12%。虽然晒垡效应的机制还不太清楚,但本试验¹⁵N同位素示踪结果表明,由于晒垡所增加的可利用氮,全部来源于土壤有机氮的矿化,当季肥料氮在土壤矿化固定过程中,其可利用量仅稍有降低,并且较长期免耕后进行晒垡的处理,这种反差更大,土壤有机氮的矿化量更多,每公顷可供水稻吸收的数量是311公斤(表5),比相应未晒垡的土壤每公顷增加172公斤氮,相当于每公顷多投入860公斤硫酸铵,因此,在栽培管理上必须加以注意。

在水稻生长期,不同耕作管理条件下,晒垡也影响土壤中二种氮源释放利用过程。图2表明,深度晒垡处理,硫酸氮供应期由栽秧后30天延至60天,供应量较少且缓慢,肥效变得稳长。土壤固有氮的供应,在栽秧后30—60天中最多,约占水稻总吸氮量的一半,比相应未晒垡处理的高2—3倍,尤以长期免耕后进行晒垡的处理,土壤供氮表现出前期早、中期多、后期稳长的特点,有利水稻幼穗

- [4] Chang, S. C. and Jackson, M. L.: Soil sci. Soc. Amer. Proc., 21(3): 265-269, 1957.
- [5] 蒋柏藩, 顾益初: 石灰性土壤无机磷分级体系的研究。中国农业科学, 22卷, 第3期, 58—65页, 1989。
- [6] 李阿荣等: 石灰性土壤适用磷肥品种的研究。土壤, 17卷, 第6期, 319—322页, 1985。
- [7] Terman, G. L. et al.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 22(1): 25-29, 1958.
- [8] 蒋柏藩: 中国磷矿农业利用的研究。中国农业科学, 21卷, 第4期, 62—67页, 1988。
- [9] Engelstad, O. P. (editor): Fertilizer technology and use. (3 Ed.), P. 354. published by Soil Sci. Soc. Amer., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- [10] Leher, J. R. and Brown, W. E.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 22(1): 29-32, 1958.
- [11] Jiang Baifan and Gu Yichu: Fertilizer Research, 20(3): 159-165, 1989.
- [12] Taylor, A. W. et al.: Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 27(2): 148-151, 1963.
- [13] 蒋柏藩等: 南方水稻土中的磷酸铁对水稻磷素营养的意义。土壤学报, 11卷, 第4期, 361—369页, 1963。
- [14] 顾益初, 蒋柏藩: 石灰性土壤无机磷分级的测定方法。土壤, 22卷, 第2期, 101—102页, 1990。

(上接第284页)

的毅力, 没有脚踏实地勤奋工作, 是不可能获得成功的”。他也常常教诲年青人: “忠于职业”和“锲而不舍”是一个科学家应该具备的品格, 要想在工作中取得成就, “认真”和“学习”都是绝对必要的, 只有不断学习才能跟上科学发展的步伐。这是一位在科研战线上奋斗了60个春秋的老科学家的由衷之言, 也是他身体力行的精辟概括。他为我国农业生产及土壤学科发展作出了巨大贡献, 赢得了人们的尊敬与爱戴, 为后人树立了榜样, 是当代年青人学习的楷模。

在这喜庆的日子里, 我们祝愿李庆逵先生健康长寿。

(上接第295页)

- [6] 黄东迈、张柏森, 水稻田于耕及湿耕对于土壤中氮素转化及水稻产量的影响。土壤学报, 第5卷, 第3期, 1957年。
- [6] 沈梓培、黄东迈、白纲义、段秀泰, 水稻土晒干措施的增产效果及其与土壤性质的关系。土壤学报, 第7卷, 第3—4期, 1959年。
- [7] 张佳宝、赵诚斋, 太湖地区黄泥土的粘闭对作物生长的影响。土壤, 第18卷, 第6期, 1986年。
- [8] 黄东迈, 免耕少耕条件下土壤肥力与施肥, 土壤通报, 第19卷, 第2期, 1988年。
- [9] 黄东迈、朱培立、高家骅, 有机、无机态肥料氮在水田和旱地的残留效应。中国科学B辑, 第10期, 1982年。
- [10] 朱培立、黄东迈, 土壤中残留氮矿化势研究。江苏农业科学, 第11期, 1983年。