

三种施肥模式对石灰性土壤培肥的影响*

王经权 周健民 钦绳武 顾益初

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 试验在中国科学院封丘农业生态实验站的石灰性潮土上进行, 在氮、磷、钾固定用量和比例的基础上, 选定全施有机肥、全施化肥、有机肥和无机肥配合施用三种处理。结果表明, 这三种施肥模式都显著地提高了土壤全氮和速效氮、土壤全磷和有效磷、土壤全钾和速效钾含量。有机肥在提高土壤全氮和速效氮含量方面效果明显优于无机肥, 对土壤速效磷含量的影响也高于无机肥, 但是对土壤全磷含量的增加效应上不如无机肥大。无论是有机肥中的钾还是无机肥中的钾, 对土壤全钾的贡献没有明显的差别; 但是在土壤速效钾方面, 无机肥中的钾对其影响大于有机肥中的钾。有机肥和无机肥的配合施用是提高石灰性潮土土壤肥力更好的方法。

关键词 石灰性土壤, 施肥模式, 有机肥, 化肥

中图分类号 S158

随着社会对粮食需求量不断增长, 农田施肥量也在不断增加, 这必然造成农田养分损失量相应的增加。研究认为, 农业系统中氮肥损失率可达 20%~ 60%^[1]; FAO^[2] 估计在中国每年由农田进入水体的磷量为 19.5 kg hm⁻² (P₂O₅)。近年来人类赖以生存的环境不断恶化, 由于施肥不当使大气、水体都受到不同程度的污染, 人类健康受到威胁^[2~5]。通过选定科学的施肥模式, 在长期定位试验的基础上, 寻求有利于促进植物生长、保持土壤肥力、维护生态环境的施肥措施迫在眉睫^[1, 3, 5~7], 而当前对于有机肥和无机肥在保持土壤肥力、维护生态环境方面的作用的认识分歧较大^[8, 9]。本试验比较了有机肥、无机肥以及有机无机肥配施的施肥模式在连续定位试验 10 年后对土壤全量养分和速效养分的效应, 为提出更合理的施肥措施提供了科学依据和参考。

1 试验设计

1.1 试验区概况

试验地位于河南封丘中国科学院封丘农业生态实验站。本区地处黄河中下游, 农作历史悠久, 是我国重要的粮食生产基地。土壤为轻壤质石灰性潮土, 养分供应特点为: 低氮, 低磷, 高钾^[10]。

1.2 试验设计

1986 年开始匀地, 1989 年秋天布置试验。

* 收稿日期: 2001- 11- 10; 收到修改稿日期: 2002- 04- 08

试验设四个处理, 四次重复, 小区面积 47.5 m^2 , 每个小区间用水泥预制板隔离, 埋入土中 60 cm , 露出地面 10 cm 。本试验采用的四个处理分别为: (1) F(氮磷钾)、(2) FM(氮磷钾+有机肥)、(3) M(有机肥)、(4) CK(对照)。无机肥料: 尿素、过磷酸钙、硫酸钾。有机肥以粉碎的麦秆为主, 经堆制发酵后再施用, 每季每 hm^{-2} 用量 $4\ 500 \text{ kg}$, 加上适量的大豆饼和棉仁饼以提高其含 N 量, 使用前分析其 N、P、K 养分含量, 以等 N 量为标准, 有机肥中 P、K 不足部分用化肥补足。

试验采用小麦—玉米一年两熟轮作, 肥料用量如表 1:

表 1 试验区施肥量

Table 1 Fertilization rate in experimental plots (kg hm^{-2})

作物 Crop	施肥方式 Fertilization model	N	P_2O_5	K_2O
小麦	基肥	90	75	150
	追肥	60	0	0
玉米	基肥	60	60	150
	追肥	90	0	0

1.3 样品来源与分析项目

土壤样品(1989~1999 共 10 年) 取自长期定位肥料试验小区土壤表层 $0\sim 20 \text{ cm}$ 。测定项目: 全氮、全磷、全钾、速效氮、有效磷、速效钾, 以常规化学分析方法测定^[11]。

2 结果分析

2.1 试验 10 年土壤表层氮素含量的变化

不同施肥处理对土壤表层全氮和速效氮含量变化的影响与差异性检验结果见表 2~表 4。

表 2 1989 和 1999 十年前后各处理土壤表层氮素含量

Table 2 The nitrogen content in surface layer of soil in 1989 and 1999

年份 Year	处理 Treatment	全氮 Total N (g kg^{-1})	速效氮 Rapidly available N (mg kg^{-1})
1989		0.430	70.5
	F	0.604	78.1
	FM	0.687	88.5
1999	M	0.867	96.1
	CK	0.419	69.9

表 3 试验 10 年后不同处理土壤表层全氮含量变化的差异性检验

Table 3 Difference analysis of total nitrogen content in surface layer of soil after 10 years experiment

处理 Treatment	t 检验 t test			
	1989	CK	M	FM
F	18.607*	18.252**	25.051**	7.551**
FM	57.111**	43.510**	29.176**	
M	100.490**	74.018**		

注: 1989 年为与原始土壤养分差异性检验结果: $t_{0.01} = 4.604$, $t_{0.05} = 2.776$; ** 为 0.01 水平差异显著

表 4 试验 10 年后不同处理土壤表层速效氮含量变化的差异性检验

Table 4 Difference analysis of readily available nitrogen content in surface layer of soil after 10 years experiment

处理 Treatment	t 检验 t test			
	1989	CK	M	FM
F	8.407**	5.066**	72.678**	74.162**
FM	24.198**	12.934**	97.405**	
M	15.787**	12.658**		

注: 1989 年为与原始土壤养分差异性检验结果; $t_{0.01} = 4.604$, $t_{0.05} = 2.776$; ** 为 0.01 水平差异显著

从表 3、4 可以看出, 经过 10 年的施肥试验, 三种施肥处理土壤表层全氮和速效氮含量与 10 年前土壤表层全氮和速效氮含量、对照处理的土壤全氮和速效氮含量以及三种处理相互间的土壤全氮和速效氮含量, 差异都达到极显著水平。

从图 1、图 2 和表 2 看, 无论是土壤速效氮还是土壤全氮, 在三种施肥处理下其表层含量都比对照和十年前有显著提高。尽管各施肥处理的土壤氮素都呈逐年增加的趋势, 但是不同的肥料对土壤氮素增加的幅度却不同, 有机肥对土壤氮素增加的贡献远大于无机肥, 这与国内外试验结果一致^[12, 13]。与 1989 年相比, 10 年后三种肥料处理(F 为化肥处理, FM 为有机无机配施处理, M 为有机肥处理)土壤全氮分别增加 39.8%、59%、100.6%, 土壤速效氮分别增加 10.8%、25.5%、36.3%。究其原因: 主要是有机肥的施用直接增加了土壤有机质含量, 提高了土壤的保氮能力, 减少了氮素损失; 其次能被作物吸收利用的

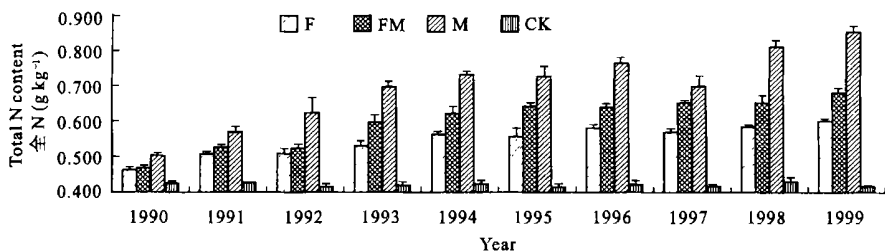


图 1 试验 10 年土壤表层全氮含量变化

Fig. 1 The diversity of total nitrogen content in surface layer of soil from 1989 to 1999

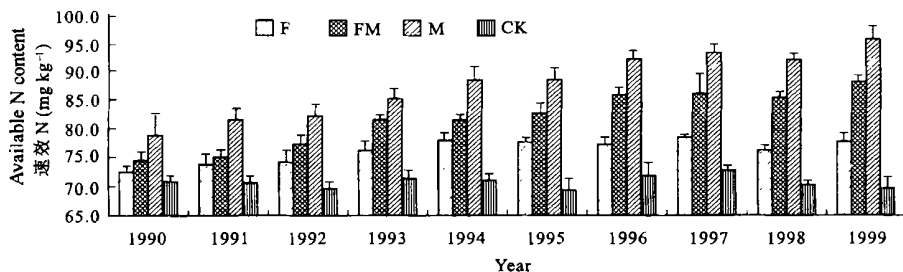


图 2 试验 10 年土壤表层速效氮含量变化

Fig. 2 The diversity of readily available nitrogen content in surface layer of soil from 1989 to 1999

速效氮养分比无机肥处理的要少。显然, 施用有机肥来增加土壤氮素含量, 要比施用无机肥效果显著。

2.2 试验 10 年土壤表层磷素含量的变化

不同施肥处理对土壤表层全磷和有效磷含量变化的影响和差异性检验结果见表 5、表 6 和表 7。

表 5 1989 和 1999 十年前后各处理土壤表层磷素含量

Table 5 The phosphorus content in surface layer of soil 1989 and 1999

年份 Year	处理 Treatment	全磷 Total P(g kg ⁻¹)	有效磷 Available P(mg kg ⁻¹)
1989		0.510	2.02
	F	0.576	3.26
	FM	0.555	4.51
1999	M	0.550	6.19
	CK	0.511	2.22

表 6 试验 10 年后不同处理土壤表层全磷含量变化的差异性检验

Table 6 Difference analysis of total phosphorus content in surface layer of soil after 10 years experiment

处理 Treatment	t 检验 t test			
	1989	CK	M	FM
F	9.764 ^{**}	8.467 ^{**}	3.763 [*]	2.684
FM	10.933 ^{**}	8.410 ^{**}	1.211	
M	16.571 ^{**}	10.447 ^{**}		

注: 1989 年为与原始土壤养分差异性检验结果; $t_{0.01} = 4.604$, $t_{0.05} = 2.776$; * 和 ** 分别为 0.05 和 0.01 水平差异显著

表 7 试验 10 年后不同处理土壤表层速效磷含量变化的差异性检验

Table 7 Difference analysis of available phosphorus content in surface layer of soil after 10 years experiment

处理 Treatment	t 检验 t test			
	1989	CK	M	FM
F	35.823 ^{**}	22.937 ^{**}	41.730 ^{**}	20.73 ^{**}
FM	51.518 ^{**}	40.059 ^{**}	22.247 ^{**}	
M	67.734 ^{**}	57.946 ^{**}		

注: 1989 年为与原始土壤养分差异性检验结果; $t_{0.01} = 4.604$, $t_{0.05} = 2.776$; * 和 ** 分别为 0.05 和 0.01 水平差异显著

从表 6、7 可以看出, 经过 10 年的连续培肥试验, 三种肥料处理土壤表层全磷和有效磷含量与 10 年前土壤表层全磷和有效磷含量、对照处理的土壤表层全磷和有效磷含量比较, 差异都达到极显著水平。F 处理和 M 处理比较, 土壤表层有效磷含量差异达到极显著水平, 土壤表层全磷含量差异达到显著水平; F 处理和 FM 处理比较, 土壤表层速效磷含量

差异极显著,土壤表层全磷含量差异不显著;FM处理和M处理比较,土壤表层速效磷含量差异极显著,土壤表层全磷含量差异不显著。

10年连续试验土壤表层全磷和有效磷含量变化见图3、图4和表5。三种处理土壤表层磷素含量都呈逐年增加趋势,与1989年相比,三种肥料处理的土壤全磷含量增加幅度分别为12.9%、8.8%、7.8%(F处理、FM处理、M处理),土壤速效磷的增加幅度分别为61.4%、123.3%、206.4%(F处理、FM处理、M处理)。

土壤全磷和土壤速效磷增加趋势不同的原因,可能是有机肥处理使土壤中磷的活性增高,损失增大。有试验表明^[14,15],有机质含量高的土壤,磷的下移量和下移距离大于有机质含量低的土壤。但也有研究指出^[16],磷的下移程度,在几年甚至几十年内不会有显著表现。据此可以认为,有机肥处理较无机肥处理,磷被土壤固定的数量减少,在土壤表层形成较高浓度的速效磷区域,不仅使作物对磷的吸收量增加,同时也增大了随地表径流流失的量,即增大了磷的损失。

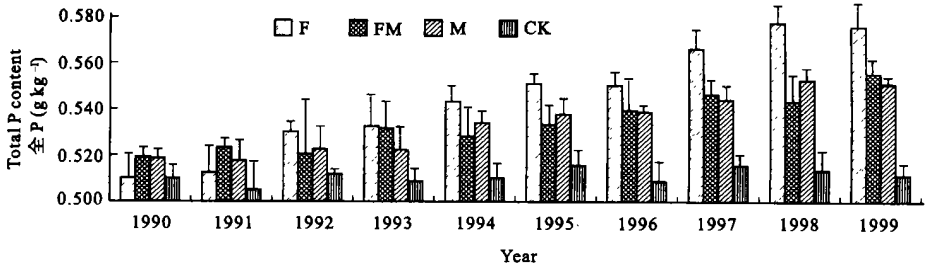


图3 试验10年土壤全磷含量变化

Fig. 3 The diversity of total phosphorus content in surface layer of soil from 1989 to 1999

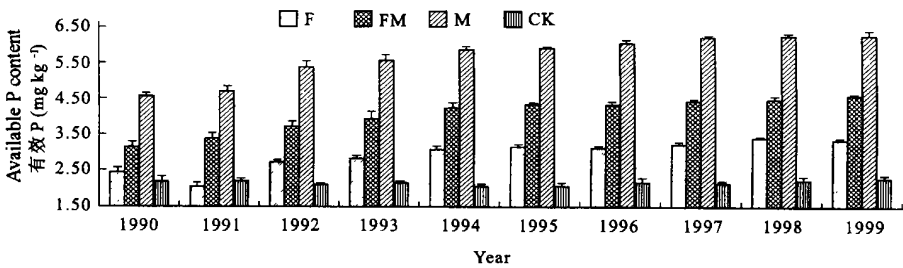


图4 试验10年土壤有效磷含量变化

Fig. 4 The diversity of available phosphorus content in surface layer of soil from 1989 to 1999

许多研究资料证实,施用有机物的土壤,其对P的吸附能力减小。在石灰性土壤上,有机质与P竞争在CaCO₃表面的相同吸附位,有机质吸附减少了吸附P的键能^[14]。Swenson^[15]认为在有机质存在的条件下土壤磷活性的增加是由于分解产物中有机酸导致的,有机阴离子可与铁、铝等离子结合形成比磷酸铁、铝更稳定的络合物,释放到土壤溶液中,这些有机阴离子也可以结合到铁、铝的共价键上,阻止磷酸铁、铝的形成。本试验中有机肥处理与无机肥处理比较,土壤及其矿物对P的吸附减少,P的固定量小,从而形成高

的土壤有效磷浓度, 加大了磷的淋失, 从而表现在土壤表层磷的总量减少。

2.3 试验 10 年土壤表层钾素含量的变化

不同施肥处理对土壤表层全钾和速效钾含量变化的影响和差异性检验结果见表 8、表 9 和表 10。

从表 9 和表 10 可以看出, 经过连续 10 年的定位施肥试验, 三种处理的土壤表层全钾和速效钾含量, 与 10 年前土壤表层全钾和速效钾、对照处理的土壤表层全钾和速效钾含量相比较, 差异都达到极显著水平。三种施肥处理间, 除了 F 和 FM 处理比 M 处理土壤速效钾含量差异达到显著水平外, 其余各项含量均未达到显著水平。

表 8 1989 和 1999 十年前后各处理土壤表层钾素特征

Table 8 The potassium content in surface layer of soil in 1989 and 1999

年份 Year	处理 Treatment	全钾 Total K (g kg ⁻¹)	速效钾 Readily available K (mg kg ⁻¹)
1989		18.80	72.5
	F	19.50	143.0
	FM	19.48	132.6
1999	M	19.54	124.3
	CK	19.05	86.5

表 9 试验 10 年后不同处理土壤表层全钾变化的差异性检验

Table 9 Difference analysis of total potassium content in surface layer of soil after 10 years experiment

处理 Treatment	t 检验 t test			
	1989	CK	M	FM
F	26.750 [*]	8.869 ^{**}	0.083	0.372
FM	14.857 [*]	6.920 ^{**}	0.300	
M	23.667 [*]	8.532 ^{**}		
CK	5.071 ^{**}			

注: 1989 年为与原始土壤养分差异性检验结果; $t_{0.01} = 4.604$, $t_{0.05} = 2.776$; * 和 ** 分别代表 0.05 和 0.01 水平的差异显著

表 10 试验 10 年后不同处理土壤表层速效钾变化的差异性检验

Table 10 Difference analysis of readily available potassium content in surface layer of soil after 10 years experiment

处理 Treatment	t 检验 t test			
	1989	CK	M	FM
F	14.706 [*]	11.339 ^{**}	3.434 [*]	1.914
FM	49.422 [*]	25.782 ^{**}	3.767 [*]	
M	30.455 [*]	17.729 ^{**}		
CK	10.497 ^{**}			

注: 1989 年为与原始土壤养分差异性检验结果; $t_{0.01} = 4.604$, $t_{0.05} = 2.776$; * 和 ** 分别代表 0.05 和 0.01 水平的差异显著

10年连续定位施肥处理后,土壤全钾和速效钾含量变化见图5、图6和表8。与1989年相比,三种施肥处理的土壤表层全钾含量都有较明显的增长,增幅3.5%~3.7%,但是三种处理间差异不显著,这说明无论是施用有机肥还是化肥,对土壤全钾的贡献差异不明显;三种处理的土壤表层速效钾含量增加幅度为71.4%~97.2%,其中以F处理为最高,FM处理次之,M处理最低。可能是在石灰性土壤中,化肥中的钾以离子形式进入土壤,直接体现在土壤速效钾浓度增加;而有机肥处理,部分钾难以在短时间内释放,对土壤速效钾贡献较小。

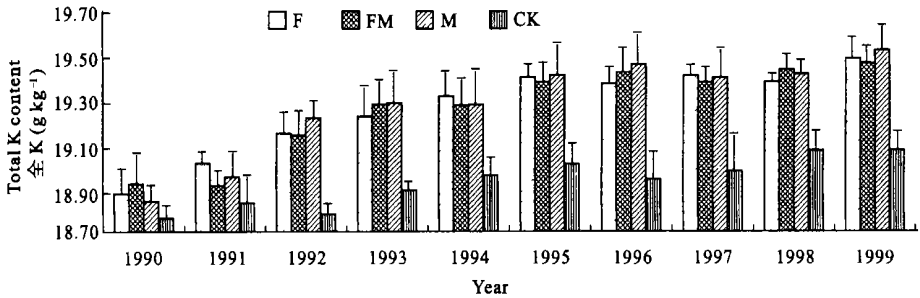


图5 试验10年土壤全钾含量变化

Fig. 5 The diversity of total potassium content in surface layer of soil from 1989 to 1999

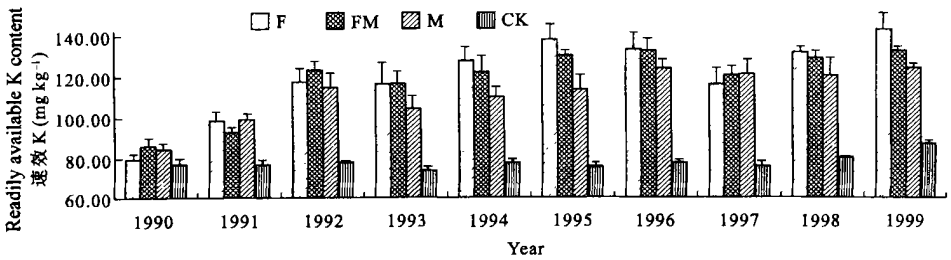


图6 试验10年土壤速效钾含量变化

Fig. 6 The diversity of readily available potassium content in surface layer of soil from 1989 to 1999

3 结论

1. 与对照相比较,三种施肥模式能显著增加土壤全氮和速效氮、土壤全磷和有效磷以及土壤全钾和速效钾的含量,对改善石灰性土壤的土壤肥力有显著效果。

2. 有机肥在提高土壤全氮和速效氮含量方面效果明显优于无机肥,对土壤速效磷含量的影响也高于无机肥,但是对土壤全磷含量的增加效应不如无机肥,表明大量施用有机肥容易提高磷的有效性,但也容易带来更大的农田磷素损失。

3. 三种施肥模式相互间比较对土壤全钾含量的影响效应差异不显著,但是在土壤速效钾方面,无机肥中的钾对其影响则大于有机肥中的钾。

4. 从土壤肥力和环境方面综合考虑,单纯施用有机肥或化肥的施肥模式都有一定缺

陷; 结合实际生产需要, 采用以化肥为主、适当配施有机肥的施肥模式是提高和保持石灰性土壤肥力行之有效的良好方法, 也是今后研究和推广工作的重点。

参 考 文 献

1. 鲁如坤. 土壤—植物营养学(原理与施肥). 北京: 化学工业出版社, 1998
2. FAO. Prevention of water pollution by agriculture and related activities. Water Rep. 1, 1993, 223~ 245
3. 高拯民. 土壤—植物系统中氮的损失和环境保护. 我国土壤氮素研究工作的现状与展望. 北京: 科学出版社, 1986. 82~ 91
4. 王少彬. 中国大气中氧化亚氮浓度及土壤排放通量的测定. 中国农业科学, 1994, 27(2): 13~ 23
5. 马立珊. 农田中氮肥管理与环境质量和作物品质. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科技出版社, 1992. 267~ 287
6. 李光锐. 氮肥的损失途径和合理利用. 土壤肥料. 合肥: 安徽科技出版社, 1985
7. 张继宏, 颜丽. 农业可持续发展的土壤培肥研究. 沈阳: 东北大学出版社, 1995
8. 党廷辉, 彭琳, 戴鸣均. 旱塬长期施肥对冬小麦产量及土壤养分的影响. 水土保持通报, 1993, 13(5): 78~ 82
9. Wadman W P, Neeteson J J. Nitrate leaching losses from organic manure—the Dutch experience. Aspects of Applied Biology, 1992, (30): 117~ 143
10. 钦绳武, 顾益初, 朱兆良. 潮土肥力演变与施肥作用的长期定位试验初报. 土壤学报, 1998, 35(3): 367~ 374
11. 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
12. 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期施用氮磷钾化肥和有机肥对土壤氮磷钾养分的影响. 土壤肥料, 1998(1): 7~ 10
13. 沈善敏. 国内外长期肥料试验(二)(三). 土壤通报, 1984, 15(3)(4): 134~ 138, 184~ 185
14. Holford I C R, Mattingly G E G. The high and low-energy phosphate adsorbing surface in calcareous soil. J. Soil Sci., 1975, 26: 407~ 417
15. Swenson R E. Fixation of phosphate by iron and aluminum and replacement by organic and inorganic ions. Soil Sci., 1949, 67: 3~ 22
16. Cooke G W. Some priorities for British soil science. J. Soil Sci., 1979, 30: 187~ 213

EFFECT OF THREE FERTILIZING MODELS ON SOIL FERTILITY OF CALCAREOUS SOIL

Wang Jing-quan Zhou Jian-min Qin Sheng-wu Gu Yi-chu
(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Summary

The experiment was carried out in calcareous soil in Fengqiu Agri-ecological Experimental Station (Chinese Academy of Sciences). Organic fertilizer, inorganic fertilizer and organic fertilizer matching inorganic fertilizer were used in fixed proportion ($N\ 300\ kg\ hm^{-2}$, $P_2O_5\ 135\ kg\ hm^{-2}$, $K_2O\ 300\ kg\ hm^{-2}$). After 10 year experiment, the content of total N, P, K and available N, P, K of soil were increased significantly under three fertilizing treatments. Compared with inorganic fertilizer treatment, organic fertilizer treatment had better effect on increasing the contents of total nitrogen and available nitrogen as well as the content of available P. However, there are no significant difference on the content of total potassium of soil among three treatments. The experiment results shown that it is more suitable way to match organic fertilizer and inorganic fertilizer for increasing soil fertility.

Key words Calcareous soil, Fertilizing model, Organic fertilizer, Inorganic fertilizer

欢迎订阅 2003 年《中国农业资源环境文摘》 原名《中国农业文摘—土壤肥料》

《中国农业文摘—土壤肥料》于 1985 年创刊,收录了全国 200 余种农业科技期刊中关于土壤学、肥料学、植物营养学和生态环境科学方面的文献,是本学科专业核心期刊评价的指标刊物,也是我国本学科唯一一种文献检索刊物。为适应新形势下科研工作与农业生产的要求,我们拟将《中国农业文摘—土壤肥料》于 2003 年起更名为《中国农业资源环境文摘》,刊物性质与发行范围不变。《中国农业资源环境文摘》的报道内容包含原来《中国农业文摘—土壤肥料》的报道范围,侧重报道生态农业、环境科学、资源可持续利用以及学科之间交叉领域的新理论、新技术和新方法,使交叉领域内容新颖的文献及时报道出来,为广大土壤科学、资源与环境科学的科技工作者服务,促进学术交流,推动学科发展。

本刊仍为双月刊,16 开,刊号:CN 11-4920/S,ISSN 1002-543X。邮发代号:18-124。每期定价 10.00 元。公开发行,全国邮局均可订阅,如错过订期,可直接向编辑部订阅。编辑部地址:北京中关村南大街 12 号中国农业科学院科技文献信息中心,邮编:100081。编辑部电话:010-68919886 转 2313。