

有机肥和无机肥在提高黄潮土肥力中的作用研究*

蒋仁成 厉志华 李德民

(江苏徐淮地区徐州农科所)

摘 要

1981—1986 年在黄潮土上的小麦—玉米肥料定位试验,对肥料用量、作物吸收量和土壤养分积累量的回归分析结果:化肥 N 和有机肥 N 有 8.76% 和 42.54% 进入土壤 N 库;化肥 P 和有机肥 P 有 17.61% 和 17.20% 进入土壤速效 P 库;化肥 K 和有机肥 K 有 4.5% 和 2.3% 进入土壤速效 K 库。化肥对土壤有机质含量略有增加趋势,有机肥对补给土壤 P、K 养分,改善土壤物理性状有明显效果。有机无机配合施用具有培肥、增产两方面的作用。

施肥与土壤肥力互有联系和互有影响^[1]。我国有施用有机肥的传统,近年来化肥用量已跃居世界前列,故研究有机、无机肥连续施用对提高土壤肥力的作用,明确不同肥料的培肥功能,既能指导当前合理分配和施用肥料,又可为预测土壤肥力演变提供科学依据。为此自 1981—1986 年进行了肥料定位试验。

一、试验设计和方法

供试土壤为淮北黄潮土,肥力中上。主要理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的理化性状*

Table 1 Properties of the tasted soils

采土深度 (cm) Sampling depth	物理性粘粒 (<0.01 mm) % Physical clay	粘粒 (<0.002 mm) % Clay	质地 Texture	有机质 (%) O. M.	pH (水) (H_2O)	全氮 (%) Total N	全磷 (P %) Total	速效磷 (ppm-P) Available	速效钾 (ppm-K) Available	缓效钾 (ppm-K) Slowly available
0—20	14.11	5.98	砂壤	1.079	8.25	0.066	0.074	12	62	634
20—40	16.14	6.99		0.456	8.36	0.033	—	3	—	—

* 土壤速效磷采用 Olsen 法;土壤速效钾用中性 1N NH_4OAc 提取法;缓效性钾用 1N HNO_3 煮沸 10 分钟提取法。下同。

试验设计 I. 主处理不施有机肥:付处理 1.空白(O); 2.施氮肥(N); 3.施氮磷肥(NP); 4.施氮磷钾肥(NPK)。II. 主处理施有机肥:付处理为 5.不施化肥(M); 6.施氮肥(MN); 7.施

* 本文承蒙中国科学院南京土壤所研究员鲁如坤先生审阅并修改。本项工作得到江苏省农科院尤德敏研究员、邱嘉璋副研究员的指导。本所付勤、颜俊华同志参加部分化验工作。在此,一并致谢。

氮磷肥 (M N P); 8. 施氮磷钾肥 (M N P K)。有机肥用量 1981—1984 年每季每亩马粪 2500 公斤, 1985—1986 年为 1250 公斤。马粪平均含 N 0.516%, 含 P_2O_5 0.356%, 含 K_2O 0.787%。每季每亩化肥用量氮区为 10 公斤 N 的尿素, 磷区为 5 公斤 P_2O_5 的普钙, 钾区为 7.5 公斤 K_2O 的氯化钾。小区面积 0.05 亩, 重复 4 次, 轮作方式小麦—玉米。每季作物收获后采植株和土壤样品用常规方法进行主要养分的分析。

二、结果和讨论

(一) 养分平衡及其与土壤养分含量的关系

养分平衡是指土壤中养分的供给与作物对养分的吸收量之间的收支关系。6 年中平均氮、磷、钾养分的投入和作物的吸收量(指从田间取走部分, 下同)之间的平衡状况列于表 2。

表 2 土壤养分平衡表(公斤/亩/年)
Table 2 Balance sheet of soil nutrients (kg/mu/yr.)

处 理 Treatment		O	N	NP	NPK	M	MN	MNP	MNPK
N	施入	0	20.0	20.0	20.0	21.5	41.5	41.5	41.5
	消耗	6.7	17.4	18.5	20.8	13.5	23.5	24.4	25.2
	盈亏	-6.7	2.6	1.5	-0.8	8.0	18.0	17.1	16.3
P_2O_5	施入	0	0	10.0	10.0	14.8	14.8	24.8	24.8
	消耗	3.8	5.0	6.9	7.5	7.5	8.7	9.6	9.8
	盈亏	-3.8	-5.0	3.1	2.5	7.3	6.1	15.2	15.0
K_2O	施入	0	0	0	15.0	32.8	32.8	32.8	47.8
	消耗	7.1	12.2	12.7	20.0	16.1	20.6	22.4	29.3
	盈亏	-7.1	-12.2	-12.7	-5.0	16.7	12.2	10.4	18.5

表 2 表明: 作物对养分的吸收量都是随氮磷钾配合的完全程度而增加, 即 $NPK > NP > N > 0$ 。在本试验的化肥施用水平下, NPK 处理的 N 素每年每亩亏缺 0.8 公斤, P_2O_5 盈余 2.5 公斤, K_2O 亏缺 5.0 公斤。配合有机肥时, 各处理养分均有盈余, 预计每亩年施肥量在马粪 2500 公斤加化肥 N 素 20 公斤、钾素 (K_2O) 15 公斤的情况下, 才能维持氮、磷、钾养分的基本平衡。这一设想在 1985—1986 年的试验结果中得到验证。

肥料施入土壤后, 将发生一系列的转化、挥发、流失和固定等过程^[1], 盈余的养分不一定全部呈有效状态残留在土壤中。但第 6 年各处理土壤主要养分含量(见表 3) 与养分盈亏(表 2) 仍有密切关系。养分盈亏量 (x , 公斤/亩) 与土壤养分含量 (y) 的关系如下:

$$\hat{y}_{全N(\%) } = 0.076 + 0.00017x \quad r = 0.9363^{**}$$

$$\hat{y}_{全P(\%) } = 0.077 + 0.00021x \quad r = 0.8568^*$$

$$\hat{y}_{速P(ppm) } = 13.68 + 0.2636x \quad r = 0.9625^{**}$$

$$\hat{y}_{速K(ppm) } = 64.95 + 0.1028x \quad r = 0.8894^*$$

说明由于养分的性质和形态不同, 残留在土壤中的比率差异是很大的。特别是 N 素, 由于变化复杂, 很难用纯收支来计算消长规律。

表3 第6年土壤主要养分含量
Table 3 Contents main soil nutrients in the 6th year

处 理 Treatments	全N(%) Total N	水解N (ppm) Hydrolysable N	全磷(%) Total P	速效磷 (P, ppm) Available	速效钾 (K, ppm) Available
O	0.069	53	0.074	4.4	52
N	0.076	58	0.072	2.6	52
NP	0.071	58	0.081	13.1	50
NPK	0.075	58	0.079	9.0	60
M	0.100	95	0.085	41.5	75
MN	0.108	88	0.081	27.5	65
MNP	0.116	105	0.130	67.0	67
MNPK	0.116	92	0.100	74.2	103

(二) 不同肥料对作物养分吸收和土壤中养分消长的影响

施肥季数 x 与土壤养分的消长 y (以空白区为 0) 的关系用图 1 至图 3 表示, 以说明随施肥年限(季)的延续土壤养分的变化趋势。另以每年(季)化肥和有机肥养分的施入量(公斤/亩)为自变量, (分别以 x_1, x_2 表示), 作物累计吸收量和耕层土壤(以 15 万公斤计)养分储量(公斤/亩)为应变量, (以 $y_{\text{吸}}, y_{\text{储}}$ 表示), 成立 $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$ 的关系式, 求得肥料利用率和土壤养分储量情况, 分述如下。

1. 土壤全 N 量的消长 农田土壤的 N 素来源除施入的各种含氮肥料和作物残体以及根茬外, 还有降雨、灌溉水和微生物固氮也能增加部分 N 素。而土壤 N 素损失途径有被作物移走、淋失、侵蚀及变成气态而挥发^[2] 等。因此, 土壤 N 素的变化是复杂的。图 1 表明 N 处理全 N 含量年度间波动较大, 含量与年限的相关性不明显, 无上升或下降趋势。而有机肥对土壤全 N 积累的作用非常明显。

下列方程说明: 作物对两种肥料 N 的吸收利用和土壤 N 素的积累作用是不同的。

$$\hat{y}_{\text{吸N}} = 0.9785 + 0.5689x_1 + 0.2545x_2 \quad R = 0.9914^{**}$$

$$\hat{y}_{\text{储N}} = 219.15 + 0.0876x_1 + 0.4254x_2 \quad R = 0.9535^{**}$$

上式表明化肥 N 的利用率累计平均为 56.89%, 而有机肥 N 为 25.45%; 化肥 N 在土壤中的残留量为施入量的 8.76%, 而有机肥 N 为 42.54%。有机肥对土壤全 N 的积累比化肥高 3.8 倍。这与过去研究结果基本一致^[5,7]。

2. 土壤速效磷的消长 施入土壤的磷素除被作物吸收外, 大部分积累在土壤中, 但有一部分磷被土壤“固定”^[4], 另一部分进入速效磷库^[3]。图 2 所示, 连续单施氮肥, 使土壤速效磷逐年下降, 施用普钙和有机肥速效磷均有不同程度增加, 图中指出 MN 的 b 值明显超过 NP 的 b 值, 而 MNP 的 b 值更大, 说明磷肥与有机肥配合有利于土壤磷的有效化。

两种肥料磷的利用和进入土壤速效磷库的情况可由以下公式表示。

$$\hat{y}_{\text{吸P}} = -0.488 + 0.0581x_0 + 0.1244x_1 + 0.1933x_2 \quad R = 0.9839^{**}$$

$$\hat{y}_{\text{储P}} = 12.000 - 0.0601x_0 + 0.1761x_1 + 0.1720x_2 \quad R = 0.8568^{**}$$

式中 x_0 为施入化肥 N 量, 表明增施氮肥, 作物需从土壤中吸收施 N 量的 5.81% 的磷素, 土壤磷减少施 N 量的 6.01%; 普钙和有机肥磷的累计利用率分别为 12.44% 和 19.33%,

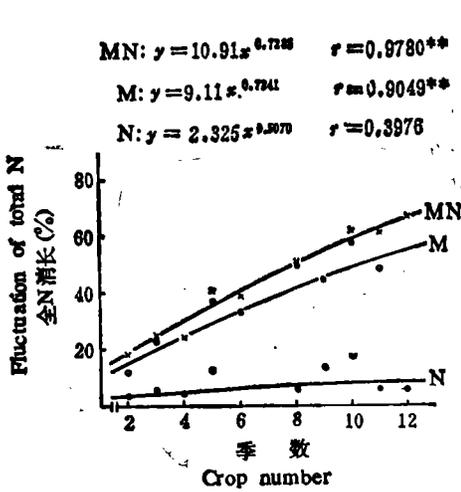


图1 土壤全N的消长

Fig. 1 The fluctuation of total N in soil

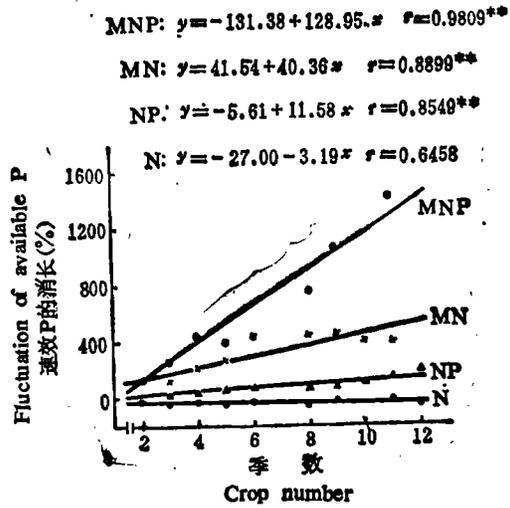


图2 土壤速效P的消长

Fig. 2 The fluctuation of available P in soil

分别有 17.61% 和 17.20% 的磷进入土壤速效磷库。结果与国外相近^[5]。残留的另一部分磷“固定”在土壤中,使全磷含量也有提高(见表 3)。

3. 土壤钾素的消长 作物的吸钾量与氮相当,比磷高一倍以上,在本试验施肥水平下, NPK 处理的钾素是亏缺的(见表 2),但施钾处理的土壤速效钾和缓效钾仍略有提高(见表 4、图 3)。根据施钾量和表 4 数据换算得到下列公式:

$$\phi_{\text{速K}} = 10.088 + 0.5266x_1 + 0.2466x_2 \quad R = 0.8730^*$$

$$\phi_{\text{缓K}} = 16.552 - 0.0122x_0 + 0.0445x_1 + 0.0228x_2 \quad R = 0.8889^{**}$$

$$\phi_{\text{总K}} = 225.374 + 0.1450x_1 + 0.0391x_2 \quad R = 0.5628^{\Delta}$$

上式表明:两种肥料K的累计利用率分别为 52.66% 和 24.66%; 残留在土壤中的速效K分别为 4.5% 和 2.3%; 残留在土壤中的缓效K分别为 14.5% 和 4.0%。可见在本试验条件下,肥料对提高土壤有效K的效果较小。值得探讨的是 NP 处理的土壤有效K,也没有因作物的逐年吸收消耗而下降,说明土壤的供钾容量较大,用 1N HNO₃ 连续提取土壤溶液得到证明,第 6 次的提取液仍能测得 100—120 ppm 的 K。但速效K连续二次即被提完。第 9 季小麦 NP 和 NPK 处理的速效K由播前相差 12 ppm 至 3 月下旬相差至 28 ppm, 钾肥有增产效应,这表明提高作物需钾高峰期的土壤供钾强度的现实意义。

(三) 不同肥料对土壤有机质消长和土壤物理性状的影响

国外研究报道,长期施用无机氮肥,可略提高土壤有机碳、氮库^[6]。本试验单施氮肥对有机质的增减无明显影响,氮肥配合磷钾肥施用,有机质略有增加,有机肥对土壤有机质积累作用十分明显,如图 4。

根据有机肥用量 (x , 1000 公斤/亩) 与土壤有机质含量 (y , %) 的关系式 $y = 1.126 + 0.024x$ $r = 0.9386^{**}$ 推算,每施 1000 公斤有机肥,可提高土壤有机质绝对含量 0.024%。

腐殖质是土壤有机质不断分解和合成过程中形成的一种比较稳定的物质。它对土壤

表 4 土壤含钾量与作物吸钾量的关系

Table 4 The relationship between K content in soil and K absorbed by crop

处 理 Treatment		1981年	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年
速效钾 (ppm-K)	NP	53	51	55	51	50	50
	NPK	53	60	67	64	67	60
	MNP	63	77	80	71	75	67
	MNPK	70	98	95	100	103	103
缓效钾 (ppm-K)	NP	661	710	705	735	783	783
	NPK	711	754	881	795	822	890
	MNP	744	773	776	748	680	718
	MNPK	701	840	917	824	837	827
作物吸钾量 (K ₂ O kg/mu)	NP	11.8	13.0	14.6	11.9	13.3	11.6
	NPK	17.5	18.0	21.6	22.1	22.0	19.2
	MNP	21.9	22.2	25.9	25.7	19.3	19.3
	MNPK	25.6	26.0	31.8	29.2	32.3	30.9

$$\text{MNPK: } y = 28.85x^{0.5308} \quad r = 0.8766^*$$

$$\text{M: } y = 11.30x^{0.6087} \quad r = 0.7691^{\Delta}$$

$$\text{NPK: } y = 5.68x^{0.5695} \quad r = 0.7063$$

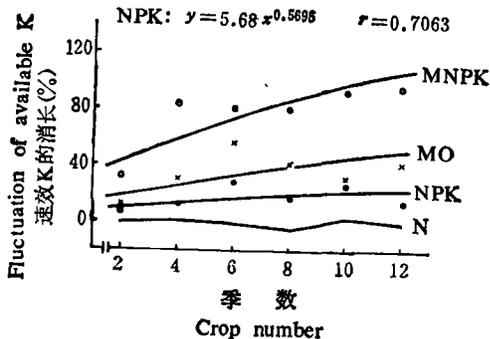


图 3 土壤速效 K 的消长

Fig. 3 The fluctuation of available K in soil

$$\text{MN: } y = 17.243x^{0.5984} \quad r = 0.8803^{**}$$

$$\text{NPK: } y = 3.3074x^{0.6077} \quad r = 0.8878^{**}$$

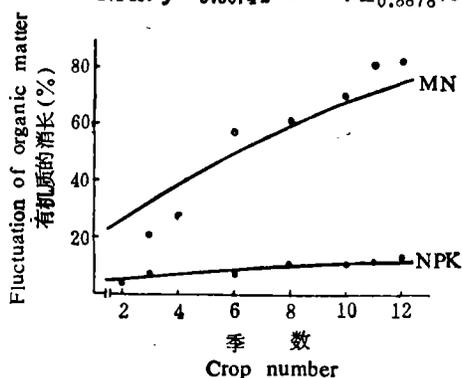


图 4 有机质的消长

Fig. 4 The fluctuation of organic matter

表 5 不同施肥处理对土壤腐殖质和物理性状的影响

Table 5 Effect of application of various fertilizers on humas and physical properties of the soil

处 理 Treatments	总 C (%) Total C	胡敏酸 C HA		富非酸 C FA		胡敏素 C Humins		胡/富 HA/FA	0.25—5mm 团聚体 (%) Aggregate	土壤容重 (g/cm ³) Bulk density	总空隙度 (%) Pore spac
		含量 (%)	占总 C (%)	含量 (%)	占总 C (%)	含量 (%)	占总 C (%)				
O	0.570	0.097	17.0	0.064	11.2	0.409	71.8	1.52	6.468	1.28	52
N	0.646	0.097	15.0	0.120	18.7	0.428	66.3	0.81	6.151	1.31	51
M	1.003	0.073	7.3	0.248	24.7	0.662	66.0	0.30	8.370	—	—
MN	1.034	0.178	17.2	0.160	15.5	0.697	67.4	1.11	9.438	1.23	54

供肥和团聚体形成有直接的贡献。第 6 年作物收获后耕层土壤腐殖质组分(见表 5)表明:单施化肥土壤总 C % 虽比空白区略高,但不很明显,且胡富比低,土壤物理性差;单施有机肥土壤总 C % 虽有提高,但有机质腐殖化进程较慢,富非酸含量较高,胡富比低;化肥与有机肥配合,无论总 C % 和胡富比都高于两肥单施。土壤总团聚体比化肥增加 53.4%,容重下降 6.1%,孔隙度提高 5.9%。因此,有机肥除了提供作物养分外,对培肥改土的效果也是毋庸置疑的。

(四) 不同肥料的效应变化

从表 6 可看出,各付处理的产量顺序均为 NPK > NP > N > 0, 单施氮肥可以获得连续 3 年的较高产量,平均年亩产 820 公斤,第 4 年起由于土壤磷钾养分供应不足,后 3 年产量下降 20.0%。氮磷钾配合与氮肥和有机肥配合的产量相近,表明有机肥的直接作用主要是补充土壤磷钾养分。单施有机肥,由于氮素释放缓慢,产量仅为 NPK 处理的 72.8%(施入总养分超过 NPK 的 53.6%),因此,氮肥与有机肥配合可以达到高产、稳产、节本和培肥土壤的目的。

表 6 历年产量统计

Table 6 Effect of application of various fertilizers on crop yield

处理 Treatments	1981 年			1982 年			1983 年			1984 年			1985 年			1986 年			平均 Average					
	产量 (kg/ mu)	差异 显著性		产量 (kg/ mu)	差异 显著性		产量 (kg/ mu)	差异 显著性		产量 (kg/ mu)	差异 显著性		产量 (kg/ mu)	差异 显著性		产量 (kg/ mu)	差异 显著性		产量 (kg/ mu)	差异 显著性				
		Yield	5%		1%	Yield		5%	1%		Yield	5%		1%	Yield		5%	1%		Yield	5%	1%	Yield	5%
不施 有机肥																								
O	402.9	c	B	346.5	d	C	443.7	c	C	388.4	d	D	360.9	d	D	338.1	d	D	380.1	d	C			
N	801.1	b	A	751.6	c	B	908.6	b	B	692.5	c	C	601.7	c	C	673.6	c	C	738.2	c	B			
NP	790.2	b	A	830.0	b	B	907.5	b	B	794.0	b	B	688.4	b	B	916.2	b	B	821.0	b	B			
NPK	846.7	a	A	941.5	a	A	1022.5	a	A	898.0	a	A	843.3	a	A	1060.8	a	A	935.4	a	A			
施有 有机肥																								
M	582.3	b	B	618.9	b	B	789.2	b	B	735.9	b	B	666.8	c	C	693.5	c	C	681.2	b	B			
MN	865.9	a	A	965.1	a	A	1057.5	a	A	917.7	a	A	809.4	b	B	1111.4	b	B	954.6	a	A			
MNP	868.8	a	A	981.0	a	A	1074.1	a	A	942.6	a	A	814.8	b	B	1117.8	b	B	966.6	a	A			
MNPK	888.7	a	A	965.5	a	A	1064.5	a	A	959.1	a	A	926.6	a	A	1195.2	a	A	999.9	a	A			

三要素中以氮肥效果最好,平均增产 94.2%,但自第 4 年起有下降趋势;磷肥在前三年基本无效,后三年平均增产 21.8%,但与有机肥配合效果不佳。钾肥前二年仅在玉米上有一定效果,第 3 年后肥效增加,平均增产 15.7%。可见在北方石灰性土壤上连续单施氮磷化肥,三、四年后也需要增施钾肥。

综上所述得到二点启示:长期单施氮肥,土壤磷钾大量亏缺,作物产量将会愈来愈低,因此在化肥的供应调配方面,要从宏观上协调时空分配和养分比例。目前徐州地区氮肥的问题,首先要解决供应与需要季节的矛盾;高产和中低产地区的统筹平衡。全市缺磷土壤(速效磷低于 5 ppm)面积占 70%左右,要进一步增加磷肥投放量,使氮磷比例调整到 1:0.5 左右。钾的问题在目前生产水平下尚不突出,但试验结果预示着长期得不到钾素补偿的土壤和以氮磷化肥为主的高产田块,有可能发生潜在性缺钾的危机,须重视增辟有机肥源和针对性的调进化学钾肥。

参 考 文 献

- [1] 浙江农业大学主编, 1980: 农业化学。上海科技出版社。
[2] N. C. 布雷迪(南京农学院土化系等译), 1982: 土壤的本质与性状。科学出版社。
[3] 沈善敏, 1985: 论我国磷肥生产与应用对策(一)。土壤通报, 第16卷3期, 97—103页。
[4] 蒋仁成、李德民, 1981: 徐州地区三要素化肥的肥效及其分析。江苏农业科学, 第3期, 1—7页。
[5] 蒋仁成、厉志华、李德民, 1985: 连续施用三要素化肥的肥效以及土壤养分的变化。江苏农业学报, 第1卷3期, 44—47页。
[6] 沈善敏, 1984: 国外的长期肥料试验(二)。土壤通报, 第15卷3期, 134—138页。
[7] 张洪源、刘明中, 1986: 有机无机氮肥配合10季施用效果。江苏农业学报, 第2卷1期, 37—40页。

STUDIES ON ROLE OF CHEMICAL AND ORGANIC FERTILIZER IN PROMOTING THE FERTILITY OF YELLOW FLUVO-AQUIC SOILS

Jiang Rencheng, Li Zhihua and Li Demin

(Xuzhou Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Province)

Summary

The regression analysis results of rate of fertilizer, amount uptaken by crops and accumulation of soil nutrients in the localized trial of fertilizers on wheatcorn on yellow fluvo-aquic soils during 1981—1986 showed that 8.76% of chemical fertilizer-N and 42.54% of organic fertilizer-N entered into soil N pool, 17.61% of chemical fertilizer-P and 17.20% of organic fertilizer-P into soil available P pool, and 4.5% of chemical fertilizer-K and 2.3% of organic fertilizer-K into soil available K pool. Chemical fertilizers tended to increase in organic matter content of the soils, while significantly good effect of organic fertilizers was found on supplementing soil nutrients such as P and K and improving soil physical properties. Combined application of chemical and organic fertilizers was effective both in promoting soil fertility and raising crop yield.