

有机无机肥料对黑土肥力和作物产量影响的监测研究

孙宏德¹, 朱 平¹, 刘淑环¹, 尚惠贤¹, 任 军¹, 高洪军¹,
彭 畅¹, 赵秉强², 张夫道²

(1 吉林省农业科学院土壤肥料研究所, 吉林公主岭 136100; 2 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

摘要:通过对黑土肥力和肥料效益的监测研究, 探索出不同施肥条件下的增产效应、对作物养分和品质的影响及肥力演变规律, 为合理施肥和持续高产提供科学依据。

关键词:监测研究; 黑土肥力; 肥料效益

中图分类号: S147.2; S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2002)S0-0110-07

The monitoring research of influence on fertility of black soil and crop yield by using organic and inorganic fertilizers

SUN Hong-de¹, ZHU Ping¹, LIU Shu-huan¹, SHANG Hui-xian¹, REN Jun¹, GAO Hong-jun¹,
PENG Chang¹, ZHAO Bing-qiang², ZHANG Fu-dao²

(1 Inst. of Soil and fertilizer, Jilin AAS 136100, China; 2 Inst. of Soil and Fertilizer, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Through the monitoring research in black soil fertility and benefit of fertilizer, the result that increase production effect, affect of crop nutrient and quality, evolvement law of soil fertility in condition of different applying fertilizer. It supplied basis for applying fertilizer rational and continued high yield.

Key words: Monitoring research; fertility of black soil; benefit of fertilizer

土壤肥料长期定位试验是一项基础性工作, 其研究结果对指导和推动农业生产, 丰富和发展土壤肥料科学有着重要作用, 这已被国外经验所证实^[1]。我国的长期定位试验始于 50 年代^[2], 由于种种原因没有坚持下来, 使不少与土壤肥料有关的重大农业生产问题得不到明确、肯定的答复。例如: 耕地土壤肥力是上升还是下降了? 演变趋势如何? 需采取哪些措施才能保持和提高地力? 长期施用化肥对土壤肥力有何影响, 土壤会不会板结和污染? 有机无机肥怎样搭配才能提高地力, 高产稳产? 玉米连作, 少耕或免耕对土壤肥力、肥料效益和作物产量的影响? 等等。这些问题靠短期试验难以回答, 只有长期定位试验才能得出准确、可靠的结论^[3]。

在发展高产、优质、高效农业和对资源、环境、生态问题日趋重视的今天, 土壤肥料长期定位试验就愈显得重要。

黑土是我国主要耕地土壤之一, 总面积达 1000 万 hm^2 , 耕地面积 700 多万 hm^2 , 占吉林、黑龙江两省总耕地面积的 50% 左右。粮食产量占两省总产量的 70% 左右, 商品率占 60% 以上。黑土土质肥沃, 黑土区雨热同季, 是我国北方玉米、大豆、小麦的主要产区, 粮食产量、人均量、商品量居全国首位, 是国家重要的商品粮和畜牧业基地。但由于近年来重用轻养, 土壤有机质呈下降趋势, 由原来的 4% 以上下降到目前的 2%~3%。若不尽快采取得力措施, 肥沃的黑土就会越种越薄, 将直接影响农林牧业的

定稿日期: 2002-05-15

基金项目: 基础研究重大项目(973)前期研究专项(2001CCB00800); 科研院所社会公益研究专项资金(2000-173, 2001DIA10004)项目资助。

作者简介: 孙宏德(1938—), 男, 辽宁庄河人, 研究员, 主要从事土壤培肥及土壤改良工作。

持续稳定发展。黑土肥力和肥料效益监测基地的主要任务和目的是:监测研究黑土肥力演变规律;有机无机培肥技术;高效低耗施肥体系;农田生态及物质循环机理等。为东北黑土区提高土壤肥力和肥料效益,进而为效益农业和农业现代化提供决策性的科学依据和技术规范。

1 材料与方法

1.1 自然条件

黑土主要分布在松嫩平原的滨北与滨平铁路线的两侧,北起黑龙江左岸,南至吉林省的四平,海拔 150~220m,年平均气温 4~5℃,年最高温度 34℃,最低温度 -35℃,无霜期 110~140d,有效积温 1600~3000℃,年降水量 450~650mm,年蒸发量 1200~1600mm,年日照时数 2500~2700h。

黑土开垦较晚,自然肥力较高。但由于春风大,降水又高度集中于 7、8 月份,致使水蚀、风蚀较重,部分地区出现了“破皮黄”或“黄土包”。春季易旱,夏季易涝,一遇欠收,产量下降 20%~30%,重灾区颗粒不收,中低产田面积有扩大趋势,急需培肥与综合治理。

1.2 土壤条件

“国家黑土肥力与肥料效益监测基地”位于吉林省农科

院内,为中层黑土,成土母质为第四纪黄土状沉积物,地势平坦,大地形呈漫岗波状起伏。土壤剖面形态特征如下:

AA:0~20cm,耕作层,暗灰色,粘壤土,粒状、团粒状结构,多根,湿润,疏松多孔,有铁锰结核。

A:20~41cm,灰色,粘壤土,片状、小团块状、团粒结构,根系较多,较湿、疏松,多铁锰结核。

AB:41~64cm,灰棕色,粘土,小团块结构,根系较少,潮湿,较紧实,多铁锰结核(粒径 2~5mm)。

B:64~89cm,黄棕色,粘土,块状结构,少量根系,湿,较紧实,有洞穴和铁锰结核。

BC:89~120cm,暗棕色,粘土,棱块状结构,极少量根系,湿,紧实,锈斑、SiO₂胶膜。通层无 HCl 反应。

土壤剖面机械组成、理化性状见表 1、表 2 和表 3。

1.3 田间试验设计与方法

监测试验区于 1987~1989 年进行 3 茬匀地试验,取植株样 10 点,每点面积 2.1m²。平均玉米产量为 1.95kg/m²,标准差为 0.1804,变异系数为 4.6%,小于 6%。符合长期监测试验地要求的标准。正式试验于 1990 年开始,田间试验处理如下:1)空白(不施肥,不种作物),2)CK(种作物,不施肥),3)N;4)NP,5)NK,6)PK,7)NPK,8)M₁+NPK(常量),9)1.5(M+NPK)(常量的 1.5 倍),10)S+NPK(常量),11)M+NPK(常量,玉米 2 年、大豆 1 年轮作),12)M₂+NPK。

表 1 土壤剖面机械组成
Table 1 Machine component of basic soil profiles

发生层次 Horizon	深度 Depth (cm)	各粒径土粒含量(%) Contents of different particle size				质地 ¹⁾ Soil texture
		2.0~0.2mm	0.2~0.02mm	0.02~0.002mm	<0.002mm	
AA	0~20	5.50	32.81	29.87	31.05	CL
A	20~41	2.91	33.09	37.18	27.15	CL
AB	41~64	2.75	37.76	45.32	13.00	C
B	64~89	1.46	38.90	44.18	14.68	C
BC	89~120	1.41	38.93	44.21	14.45	C

CL:粘壤土 Clay loam;C:粘土 Clay soil

表 2 土壤剖面物理性状
Table 2 The physical properties of soil profiles

发生层次 Horizon	深度 Depth (cm)	容重 Bulk density (g/cm ³)	总孔隙度 Total pore space (%)	田间持水孔隙 Pore space of field capacity (%)	通气孔隙 Ventilated pore space (%)
AA	0~20	1.19	53.39	35.83	18.08
A	20~41	1.27	51.23	38.47	12.76
AB	41~64	1.33	49.83	42.08	7.25
B	64~89	1.35	46.53	34.04	12.49
BC	89~120	1.39	45.02	39.30	5.72

表 3 土壤剖面化学性质
Table 3 The chemical properties of soil profiles

发生层次 Horizon	深度 Depth (cm)	有机质 OM	全 N Tot N.	全 P ₂ O ₅ Tot. P ₂ O ₅	全 K ₂ O Tot. K ₂ O	碱解 N Alk. hydr. N	速 P ₂ O ₅ Avai. P ₂ O ₅	速 K ₂ O Avai. K ₂ O	pH
			g/kg			mg/kg			
AA	0~20	23.3	1.40	1.39	22.1	114	27.0	190	7.6
A	20~41	15.2	1.30	1.35	22.3	98	15.5	181	7.5
AB	41~64	7.1	0.57	1.00	22.0	41	7.2	185	7.5
B	64~89	6.8	0.50	0.98	22.1	39	4.2	189	7.6
BC	89~120	6.3	0.38	0.91	22.2	37	4.1	187	7.6

小区面积 400m²(0.7m×57.14m,10 垄),顺序排列,无重复。供试作物为玉米(大豆),1990~1993 为丹玉 13,1994 年为吉单 304。施肥量: N 165 kg/hm²,P₂O₅ 82.5 kg/hm²,K₂O 82.5 kg/hm²。除 11 区外,有机肥与无机肥为等 N 量,有机与无机 N 的比例为 7:3,秸秆用量 7500 kg/hm²,N 不足以无机 N 补充。有机肥作底肥,磷、钾和 1/3 氮作底肥,其余 2/3 氮于拔节前追施于表土下 10cm 处,秸秆粉(Φ2cm)于追肥后施于垅沟内。每年于 4 月下旬播种,按常规管理,9 月下旬收获,按 18%水分测产。

2 结果与分析

2.1 不同肥料处理玉米产量效益

2.1.1 玉米增产效益 1990~1994 年不同肥料处理玉米增产效应及其方差分析,列于表 4、表 5。除 PK 外余各肥料处理均较对照增产极显著。增产顺序依次为 M₂+NPK>1.5(M+NPK)>NPK>NK>秸秆+NPK≥M+NPK>N。每 kg N 增产玉米 17~25 kg。每 kg P₂O₅ 增产玉米 5~12 kg,每 kg K₂O 增产玉米 0.6~0.8kg。即 N 肥增产效应大于

P 肥大于 K 肥。等 N 量的有机肥不如化肥,但随着逐年施入,玉米产量有上升的趋势,差异趋向减少。1994 年更新品种,加之连续定位施肥,产量呈增加趋势,增产幅度为 6%~30%。

按 1994 年化肥、玉米价格计算,不同肥料处理经济效益列表 6。由表 6 看出,除 PK 处理外,其余处理经济效益均比对照显著。每公顷增收最低为 3460 元,最高为 6255 元(种子、田间管理费未扣除)。经济效益顺序依次为:M₂+NPK>1.5(M+NPK)>NPK<NP>M+NPK>秸秆+NPK>NK>N。在本肥料用量范围内,肥料投入多,效益也随着增加。

研究表明,不同施肥处理对灾害性天气的反应不同。1992 年春旱严重,自播种后 40 余天未下透雨,致使平均减产 25% 左右。对照区减产幅度最大,比 4 年平均产量减 36%。有机肥加化肥区,减产幅度均在 24% 以下,其中秸秆加化肥区减产幅度最小,为 8%。表明有机无机肥配合施用,有利于增强土壤抗逆能力。

表 4 1990~1994 年各处理玉米产量
Table 4 Maize yield of different treatment from 1990 to 1994

处理 Treatment	产量 Yield(kg/hm ²)					平均产量 Average yield	比 CK 增产 Increase
	1990	1991	1992	1993	1994	(kg/hm ²)	(%)
CK	4065.0	4920.0	2647.5	4282.5	4837.5	4150.5	-
N	7080.0	8325.0	6442.5	7860.0	8970.0	7720.5	86.0
NP	8595.0	8895.0	6510.0	8752.5	11152.5	8781.0	111.5
NK	8340.0	8790.0	6540.0	8145.0	10207.5	8404.5	102.5
PK	5325.0	4995.0	3885.0	4095.0	4950.0	4650.0	12.0
NPK	8790.0	8970.0	6720.0	8362.5	11325.0	8833.5	112.8
M+NPK	8145.0	7875.0	6615.0	6105.0	11047.5	7957.5	91.7
1.5(M+NPK)	9030.0	9210.0	6780.0	7050.0	12787.5	8971.5	116.2
S+NPK	6135.0	8100.0	7335.0	7455.0	10822.5	7969.5	92.0
M ₂ +NPK	10320.0	9720.0	7515.0	8715.0	12825.0	9819.0	136.6

表 5 增产效应方差分析

Table 5 Statistical analysis of increase effect

处理 Treat.	X	X-4150.5	X-4650	X-7720.5	X-7957.5	X-7969.5	X-8406	X-8781	X-8833.5	X-8971.5
M ₂ + NPK	9819.0	5668.5	5169.0	2098.5	1861.5	1879.5	1413.0	1038.0	985.5	847.5
1.5(M + NPK)	8971.5	4821.0	4321.5	1251.0	1014.0	1002.0	565.5	565.5	138.0	
NPK	8833.5	4818.0	4171.5	1113.0	876.0	864.0	427.5	427.5		
NP	8781.0	4630.5	4131.0	1060.5	823.5	811.5	375.0			
NK	8406.0	4255.5	3756.0	685.5	448.5	436.5				
S + NPK	7969.5	3819.0	3819.0	249.0	12.0					
M + NPK	7957.5	3807.0	3307.5	237.0						
N	7720.5	3570.0	3070.5							
PK	4650.0	499.5								
CK	4150.5									

L.S.D_{0.05} = 1206 kg/hm²; L.S.D_{0.01} = 1608.6 kg/hm²

表 6 不同肥料处理经济效益(1994)

Table 6 Profit of different fertilizer treatment

处理 treat.	投入量 (kg/hm ²) Input						产出 Output		效益分析 Profit analysis		
	硫酸钾 Potassium sulfate	二铵 Ammonium	三料 Triple super phosphate	硝铵 Amminium nitrate	农肥 Farm manure	秸秆 Straw	折金额 Sum of money (¥ /hm ²)	产量 Yields (kg/hm ²)	比对照增产 Increase (kg/hm ²)	公斤粮 成本 Cost of per kg	肥料增产 效益 Increase profit after fertilization
CK								4837.5			
N				471.3			659.8	8970.0	4132.5	0.16	3472.0
NP		179.4		379.1			979.5	11152.5	6465.0	0.16	5178.0
NK	165			471.3			990.0	10207.5	5370.0	0.18	4380.0
PK	165		179.4				688.5	4950.0	112.5	6.12	-576.0
NPK	165	179.4		379.1			1309.5	11325.0	6487.5	0.20	5335.0
M+ NPK	165	179.4		379.1	23100		1471.5	11047.5	6210.0	0.24	4738.0
1.5(M+NPK)	165	269.1		568.7	34650		2208.0	12787.5	7950.0	0.28	5742.0
S+ NPK	165	179.4		379.1		7500	1455.0	10822.5	5985.0	0.45	4515.0
M ₂ + NPK	165	179.4		379.1	60000		1729.5	128125.0	7987.5	0.22	6258.0

注(Note):1994年硝铵 Amminium nitrate1400 ¥/t,二铵 Ammonium 2500 ¥/t,三料 Triple super phospaate 2000 ¥/t,硫酸钾 Potassium sulfate 2000 ¥/t,有机肥 Farm manure 7 ¥/t,秸秆 Straw 20 ¥/t,玉米 maize seeds 1000 ¥/t,种子、田间管理用工费未扣除 the cost of seeds and managementwas not deducted.

2.2 不同肥料处理对作物养分和品质影响

由表 7 看出,施肥使玉米子粒和植株体含 N 量均高于对照, N、NP、NK 处理植株 N 总量分别比 CK 增加 23%,33%与 31%,NPK 和 M + NPK 增加 42%~46%,1.5(M + NPK)增加 76%。表 7 还看出,玉米子粒和植株总 P₂O₅ 量,N 区比对照增加 11%;NP、NK 处理增加 17~26%;NPK 和 M + NPK 增加 35~39%;1.5(M + NPK)增加 67%。

钾同氮、磷趋势一样(表 7),但增加幅度略小于

氮磷。N 处理比对照增加 7.5%;NP、NK 处理增加 130.15%;NPK 和 M + NPK 处理增加 23%左右;1.5(M + NPK)处理增加 40%左右。

由表 8 看出,施肥区子粒淀粉含量比对照区呈下降趋势,下降幅度为 4%左右。蛋白质和 8 种必需氨基酸和赖氨酸呈增加趋势,尤以增量有机肥加化肥区为明显,蛋白质比对照区增加 40%,8 种氨基酸增加 4.5%,赖氨酸增加 2.9%。表明有机肥和化肥配施,有改善籽粒品质的作用。

表7 不同处理玉米 N、P₂O₅、K₂O 量变化 (1994, kg/hm²)Table 7 Change of N, P₂O₅, K₂O contents in maize of different treatments

处理	子粒 Grain			茎叶 Shoot			根部 Root			总量 Total		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	84.30	16.35	30.15	62.10	38.70	147.30	2.55	2.85	0.90	148.99	57.90	133.50
N	126.00	18.15	32.40	55.50	43.20	109.80	3.00	3.15	1.20	184.50	64.50	143.55
NP	125.85	20.70	34.80	68.70	49.05	118.20	4.20	3.60	1.50	198.60	73.35	154.50
NK	144.15	19.05	34.05	63.60	45.60	115.95	4.50	3.45	1.65	195.00	68.25	151.65
PK	85.95	16.50	30.30	61.95	3.90	102.75	3.00	3.00	0.90	150.90	58.50	133.80
NPK	151.50	22.65	37.20	62.40	53.85	126.30	4.00	4.05	1.80	217.95	80.55	165.30
M+NPK	147.60	22.05	37.05	60.30	52.50	126.00	4.20	3.90	1.80	212.10	78.45	165.00
1.5(M+NPK)	179.55	27.45	42.30	78.75	65.10	143.55	4.80	4.80	2.10	262.95	97.20	188.40
S+NPK	147.75	22.05	37.05	60.15	52.50	126.00	4.35	3.90	1.80	212.25	78.45	165.00
M ₂ +NPK	180.30	25.65	43.95	79.20	61.05	143.70	4.05	4.50	2.10	263.55	91.20	188.40
本底样	72.00	13.95	23.85	49.20	32.85	78.60	1.50	2.40	0.60	122.70	49.20	105.75

表8 玉米子粒蛋白质等变化 (%)

Table 8 Protein change of maize seeds

处理 Treat.	淀粉 Starch	蛋白质 Protien	8种 氨基酸 8 amino acids	赖氨酸 Lysine
CK	73.60	7.36	36.68	2.78
N	70.40	9.45	37.55	2.82
NP	69.50	10.40	37.60	2.79
NPK	69.90	10.36	37.90	2.83
1.5(M+NPK)	70.10	10.98	38.34	2.86

2.3 不同肥料处理对土壤肥力的影响

2.3.1 不同肥料处理对土壤养分的影响 匀地试验后(1989年)土样与1994年收获后各处理的土壤养分变化列于表9。

由表9看出,单施化肥和无肥区,有机质含量呈缓慢下降趋势,耕层下降4%~8%,20~40cm下降3%~7%,土壤有机质绝对值年递减0.07~0.5 g/kg;空白和有机肥区,呈增加趋势,耕层增加2%~10%,20~40cm增加2%~11%,土壤有机质绝对值年递增0.5g/kg左右。空白、倍量和2吨有机肥加化肥区,全氮、碱解氮呈增加趋势,耕层增加3.1%~8.6%,20~40cm增加2.1%~7.6%,其余各处理均呈下降趋势,耕层下降7.1%~20%,20~40cm下降3.1%~4.7%。空白、倍量和2吨有机肥加化肥区,全磷和有效磷呈增加趋势,耕层增加1.4%~23%,20~40cm增加1.5%~14%,NP、PK和有机肥加化肥区有效磷也呈增加趋势,增加幅度为10%~15%;其余各区均呈下降趋势,耕层下降2.3%~6.5%,20~40cm下降7.5%~11%。

增量、秸秆加化肥区、2吨有机肥加化肥区全钾和有效钾呈增加趋势,耕层增加4%~7%,20~40cm增加1.2%~2.7%。NK、PK区有效钾也呈增加趋势,增加幅度为3%左右。其余各区波动不大,基本处于平衡状况。各处理间pH在7.5~7.7之间波动,无明显差异。

2.3.2 不同处理对土壤物理性质影响 1989年匀地试验后土壤与1994年收获后各处理土壤物理性状变化列于表10。由表10看出,空白和有机肥加化肥区,土壤容重呈下降趋势,下降幅度为2%~10%,但对照和化肥区呈增加趋势,增加幅度为2%~5%。空白、有机肥加化肥区总孔隙度呈增加趋势,增加幅度为2%~5%,而化肥区呈下降趋势,下降幅度为4%左右。田间持水孔隙和通气孔隙也有类似趋势。

2.3.3 不同施肥处理对土壤养分平衡及肥料利用率影响 由表7与表9看出,本试验一季玉米吸总N量为184.5~264.0 kg/hm²,其中土壤供N 148.5 kg/hm²,约占55%~80%。CK、N、NP、NK区呈亏缺状态,NPK区基本维持平衡,有机肥加化肥区少有积累。一季玉米吸收P₂O₅量为64.5~97.5 kg/hm²,其中土壤供P₂O₅ 58.5 kg/hm²,约占总吸收量的60%~90%,施磷区、有机肥加化肥区少量积累,N、NK区稍有亏缺。一季玉米吸收K₂O量144.0~187.5 kg/hm²,其中土壤供K₂O 133.5 kg/hm²,约占总吸收量的70%~92%。施钾区、有机肥加化肥区有少量积累,余者少有亏缺。

在本试验条件下,氮肥利用率为21.5%~46.0%;磷肥利用率为18.7%~40.4%;钾肥利用

率为 22.0%~44.1%,氮磷钾配施和有机无机肥配 百分点(表 11)。
施,可明显提高肥料利用率,提高幅度为 10~20 个

表 9 不同处理土壤养分变化
Table 9 Change of soil nutrients of different treatments

处 理 Treatment	深度 Depth (cm)	有机质 OM	全 N Tot. N	全 P Tot. P	全 K Tot. K	碱解 N Alk. hydr. N	速效 P Avai P	速效 K Alk. K	pH
		g/kg				mg/kg			
匀地后 (1989 年)	0~20	23.3	1.40	1.39	22.1	114	27.0	190	7.6
	20~40	15.2	1.30	1.35	22.3	98	15.5	181	7.5
空白	0~20	23.4	1.44	1.39	22.8	115	27.4	195	7.6
	20~40	15.2	1.34	1.37	22.4	97	15.7	183	7.6
CK	0~20	21.4	4.11	1.30	21.1	110	15.6	190	7.6
	20~40	14.3	1.21	1.25	22.0	95	14.1	182	7.5
N	0~20	21.2	0.11	1.21	21.8	112	15.7	191	7.6
	20~40	14.1	1.23	1.25	22.1	95	14.5	180	7.6
NP	0~20	22.2	1.22	1.25	21.5	113	31.1	190	7.6
	20~40	14.0	1.05	1.20	21.7	93	17.1	182	7.7
NK	0~20	23.0	1.26	1.17	22.5	112	19.1	194	7.6
	20~40	14.5	1.21	1.20	21.7	96	15.5	185	7.5
PK	0~20	22.9	1.30	1.35	22.9	112	35.9	195	7.7
	20~40	14.8	1.21	1.31	22.3	98	17.5	187	7.6
NPK	0~20	22.4	1.30	1.32	22.8	113	26.3	190	7.7
	20~40	14.1	1.24	1.20	21.9	98	18.1	182	7.6
M+ NPK	0~20	23.8	1.29	1.35	23.0	115	28.6	191	7.6
	20~40	15.6	1.26	1.30	22.5	96	19.5	180	7.6
1.5(M+ NPK)	0~20	25.8	1.49	1.57	23.5	120	32.9	195	7.6
	20~40	16.5	1.35	1.51	22.9	110	21.6	184	7.5
S+ NPK	0~20	23.6	1.35	1.41	23.4	110	31.2	194	7.6
	20~40	16.1	1.25	1.36	22.8	96	19.7	185	7.5
M ₂ + NPK	0~20	25.2	1.52	1.71	23.7	121	32.0	196	7.6
	20~40	16.8	1.40	1.54	22.5	107	22.1	183	7.6

表 11 N、P、K 肥利用率
Table 11 Utilization rate of N, P, and K

处理 Treatments	施肥量(kg/hm ²) Fertilizers amount			作物吸收(kg/hm ²) Uptake of grain			与 CK 差(kg/hm ²) Difference to CK			利用率(%) Utilization rates		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0	0	148.95	57.90	133.50	—	—	—	—	—	—
N	165	—	—	184.50	—	—	35.55	—	—	21.5	—	—
NP	165	82.5	—	198.60	73.35	—	49.65	15.45	—	30.1	8.7	—
NK	165	—	82.5	195.00	—	151.65	46.05	—	18.15	27.9	—	22.0
NPK	165	82.5	82.5	217.95	80.55	165.30	69.00	22.65	31.80	41.8	27.4	38.5
M+ NPK	165	82.5	82.5	212.10	78.45	165.00	63.15	20.55	31.50	38.2	24.9	38.2
1.5(M+ NPK)	247.5	123.75	123.75	260.25	97.20	188.10	114.00	39.30	54.60	46.0	31.8	44.1
S+ NPK	165	82.5	—	212.25	78.45	—	63.30	20.55	—	38.3	24.9	—
M ₂ + NPK	315	82.5	—	263.55	91.20	—	114.60	33.30	—	36.4	40.4	—

表 10 土壤物理性状变化 (1994)
Table 10 Change of soil physical properties

处理 Treatment	深度 Depth (cm)	容重 Unit weight (g/cm ³)	总孔隙度 Total pore space	田间持水孔隙 Pore space of field capacity	通气孔隙 Ventilated pore space
匀地后	0~20	1.19	55.9	35.8	18.1
	20~40	1.27	81.2	33.5	128
空白	0~20	1.07	58.5	41.8	17.5
	20~40	1.26	51.6	34.1	16.7
CK	0~20	1.24	54.2	32.5	23.7
	20~40	1.29	50.5	33.0	17.4
N	0~20	1.25	55.6	40.5	15.8
	20~40	1.28	51.0	37.7	16.7
NP	0~20	1.25	54.6	36.5	16.7
	20~40	1.28	51.0	36.4	15.2
NK	0~20	1.24	55.5	38.4	17.4
	20~40	1.29	51.9	36.1	15.9
PK	0~20	1.21	54.6	32.8	17.8
	20~40	1.29	50.4	32.6	12.6
NPK	0~20	1.24	54.8	32.6	17.8
	20~40	1.29	50.6	31.4	12.8
M+NPK	0~20	1.10	57.8	40.5	17.3
	20~40	1.25	51.6	34.1	17.5
1.5(M+NPK)	0~20	1.09	57.9	41.0	18.1
	20~40	1.11	53.4	39.3	16.9
S+NPK	0~20	1.10	57.0	40.9	16.1
	20~40	1.22	53.3	38.0	15.3
M ₂ +NPK	0~20	1.10	57.4	42.9	18.3
	20~40	1.20	54.3	40.0	17.1

3 结语

3.1 施肥可明显提高玉米产量,1990~1994 年平均比对照增产 86%~136%,每 kg N 增产玉米 17~25kg,每 kg P₂O₅ 增产 5~13kg,每 kg K₂O 增产 0.6~8kg。增收 230~415 元/hm²。

3.2 施肥可明显提高玉米子粒和植株 N、P、K 含量,提高子粒蛋白质、8 种氨基酸,特别是赖氨酸含量,N、P、K 配施、有机无机肥配施改善子粒品质作用尤为明显。

3.3 有机无机肥配合施用,可增加土壤物理性状,培肥和提高地力,增强土壤抗逆能力,并提高化肥利用率 10% 以上。

参 考 文 献:

[1] 陈恩凤. 土壤肥力物质基础及其调控[M]. 北京:科学出版社, 1990.

[2] 林葆,李家康. 五十年来中国化肥肥效的演变和平衡施肥[A]. 中国农业科学院土壤肥料研究所. 国际平衡施肥学术讨论会论文集[C]. 北京:农业出版社,1988. 43~56.

[3] 沈善敏. 国外的长期肥料试验(一)(二)(三)[J]. 土壤通报, 1984,15(2~4):85-91,134-138,184-185.