植物营养与肥料学报 1999,5(2):115～121
Plant Nutrition and Fertilizer Science

红壤旱地肥力变化及有效施肥技术

陈永安　陈典毫　游有文　黄佳良　秦瑞君
(中国农业科学院土壤肥料研究所,北京　100081)

摘要　红壤不施肥或施用单一营养元素化肥,连续种植,导致土壤肥力下降;施用氮磷钾化肥,有一定增产效果,连续种植导致部分中量元素和微量元素的亏缺。施用有机肥配合施用化肥,保证了作物高产稳产,是培肥土壤的主要途径。

关键词　红壤旱地　肥力　施肥技术

红壤是热带、亚热带地带性土壤,我国约有 19.70 万平方公里[1],主要分布在长江以南广阔的低山丘陵区,包括赣、湘、川、滇南、鄂东南、粤、桂和闽北等地区,是我国粮、经作物,肉类和果品的重要生产基地。但该地区高温多雨,生物循环活跃,土壤风化强烈,在不合理的利用条件下,植被破坏,土壤易遭到侵蚀。随着人口增加,农田面积减少加剧,如湘、赣、川 3 省人均耕地面积 1980 年为 0.069 公顷,1992 年下降为 0.056 公顷,如按此速度变化,到 2000 年将下降为 0.049 公顷[2]。人们为了从土壤获得更多粮食和原料,重用轻养造成土壤养分不平衡,肥力下降。

红壤旱地具有巨大的生产潜力,利用价值极高。为此,选择红壤旱地进行红壤肥力和肥料效益的长期监测,贯彻全国统一监测试验技术方案[3],系统积累有关资料,为保护土壤,培肥地力和合理施肥,尽快恢复和提高红壤的综合生产力,促进农业持续发展提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验设施

定位试验设在湖南省祁阳县官山坪,地处东经 111°52′32″,北纬 26°45′12″,海拔高度约为 120m,年平均气温 18°C,≥10°C 积温 5600°C,年降雨量 1250mm,蒸发量 1470mm,无霜期约为 300d,年日照时数 1610h,太阳辐射量为 4550MJ/m^2。温、光、热资源丰富,适合于多种作物和林木生长[4]。但该地早春常有寒潮侵袭和降雨时空分布不均等问题。

试验地处丘岗地中部,为第四纪红壤,具有深厚的红色风化层,原为坡地,70 年代改作水田。由于水源不足,80 年代改为旱土,1989 至 1990 年进行匀地,1990 年秋开始试验。采用水泥埂分隔成东西 2 个重复区。重复 I 区面积为 20m×9.65m。重复 II 区面积为 20m×9.15m。

1.2　试验设计

试验设:(1) 不耕作、不施肥、不种植(CK_0);(2) 不施肥(CK_1);(3) 氮(N);(4) 氮磷(NP);(5) 氮钾(NK);(6) 磷钾(PK);(7) 氮磷钾(NPK);(8) 常量有机肥+常量氮磷钾(MNPK);(9) 增量有机肥+增量氮磷钾(IMNPK);(10) 秸杆还田+常量氮磷钾(SNPK);(11) 常量有机肥(M);除处理(1)和处理(11)外,每处理设 2 次重复。

种植制度:小麦、玉米轮作。小麦、玉米品种分别为:1991 年,湘麦 11 号,掖单 4 号;1992～1996 年,湘

收稿日期:1998-12-10

麦12号,掖单51。

肥料品种为尿素、过磷酸钙和氯化钾。其 $N:P_2O_5:K_2O$ 为 1:0.5:0.5,每季作物施 N 82.5kg/hm^2,P_2O_5 41.25kg/hm^2,K_2O 41.25kg/hm^2。有机肥料采用猪粪,施用有机肥料处理要求与化学肥料处理含氮量相同,不考虑磷、钾元素。有机肥料加氮磷钾处理,有机肥料与化肥的氮素比为 7:3;秸秆还田处理为每季作物所产秸秆的一半还田,不计算氮、磷、钾含量。增量处理为常量处理的一倍。1993年,红壤试验地施 N 300kg/(hm^2·a),氮磷钾比例为 1:0.4:0.4,小麦占总施肥量的30%,增量处理比常量处理增加50%。所有肥料按照小麦、玉米各处理规定的施肥用量,分别于播种前全部作为基肥一次施入。

1.3 分析方法:

土壤有机质——重铬酸钾容量法;全氮——半微量凯氏法;全磷——NaOH浸提,钼锑抗比色法;全钾——NaOH浸提火焰光度计法;碱解氮——碱解扩散法;有效磷——0.5mol/L $NaHCO_3$ 浸提,钼锑抗比色法;有效钾——NH_4OAc 浸提火焰光度计法;有效锌、有效铜——0.1mol/L HCl浸提原子吸收光谱测定;有效铁——DTPA浸提原子吸收光谱测定;有效锰——EDTA醋酸铵浸提原子吸收光谱测定;有效硼——沸水浸提姜黄素比色。

植株样品用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 加热消煮,全氮——蒸馏法;全磷——钒钼黄比色法;全钾——火焰光度计法。

2 结果与分析

2.1 不同试验年度对作物产量的影响

试验采用小麦、玉米一年二熟制,1991年至1996年,种植小麦、玉米各6季。

小麦年度产量列于表1。结果表明,1996年产量最低,而1994、1992年较高,分析年度间产量差异的情况同气候变化情况密切相关。1996年由于当年小麦进入灌浆期遇到持续阴雨,严重影响小麦生殖生长,产量下降;而1992、1994年当年小麦在进入灌浆成熟期时遇到较晴朗的天气,小麦后期生长良好,所以产量较高。可见小麦的生长受气候影响较大。

表1还看出,玉米年度间产量差异不明显,说明本试验选择7月下旬前成熟的玉米品种,玉米生长受气候影响不大。

2.2 不同施肥处理对产量的影响

2.2.1 N肥对作物产量的影响 从表1结果看出,完全无肥 CK_1 及PK处理的产量处于最低水平。红壤基础肥力差,不能均衡供应作物正常生长发育的矿质营养[5,6]。无肥处理作物生长不良,1991年,小麦株高68.1cm,比正常生长植株矮13.6cm;玉米株高137.1cm,比正常生长植株矮35.1cm。连续6年种植,由于土壤养分耗竭,作物产量逐年下降。1996年小麦产量比1991年降低44.2%;玉米降低70.4%。PK处理因氮素水平的制约,产量也处于最低水平,随着氮素的逐年消耗,该处理1996年比1991年,小麦产量下降61.9%,玉米下降54.9%。由此可知氮素是红壤首要补充的营养元素。由表1还看出,CK_1 与N处理间、NPK与PK处理间相比,差异极显著。单施N肥小麦比无肥区 CK_1 6年平均增产89.4%;玉米增产2.5倍。但随种植年限的延长,增产幅度逐年下降。就 CK_1 与PK相比而言,小麦处理间差异达显著水平,而玉米则不显著,表明玉米比小麦更需要充足的N素营养[7,8]。

2.2.2 P、K肥对产量的影响 红壤本身磷含量较低[5,6],作物生长发育需要吸收多种营养元素,在连续施用氮素化肥条件下,土壤磷素成为制约作物产量提高的障碍因素。NP与N

表 1　小麦、玉米年度间、不同处理间产量多重比较

Table 1　Multiple comparison of wheat and maize yields between different years and treatments

项目 Item		产量 Yield(kg/hm²) 小麦 Wheat	玉米 Maize
年度间 Year	1991	1498.5 ab AB	2743.5 ns
	1992	1656.0 b AB	3090.0 ns
	1993	1236.0 ab AB	3397.5 ns
	1994	1690.5 b B	2457.5 ns
	1995	1257.0 ab AB	2718.0 ns
	1996	1036.5 a A	2889.0 ns
处理间 Treatment	CK_1	468.0 a A	465.0 a A
	N	886.5 bc AB	1627.5 b B
	NP	1729.5 e CD	3601.5 de DE
	NK	975.0 bc AB	2394.0 bc BC
	PK	861.0 b AB	486.0 a A
	NPK	1830.0 e D	3669.0 de DEF
	MNPK	1800.0 e D	3964.5 de EF
	IMNPK	1941.0 e D	5124.0 f G
	SNPK	1965.0 e D	4443.0 ef FG
	M	1263.0 cd BC	3057.0 cd CD

处理间、NPK 与 NK 处理间相比,产量差异极显著,其中 NP 处理与单施 N 肥处理比较,小麦增产 95.1%,玉米增产 1.21 倍(表 1)。可见,在施用氮肥基础上,施用磷肥增产效果突出。一方面反映了红壤严重缺磷,另一方面表明氮肥如与磷肥配合施用,更能发挥其增产作用。

NK 与 N 处理间、NPK 处理与 NP 处理间相比较,作物产量差异均不显著。表明该试验地红壤含钾丰富,钾肥增产效果不明显。

2.2.3　有机肥对作物产量的影响　单施有机肥处理(猪粪占 70%,圈草占 30%),与化肥处理等氮量。由于有机肥中矿质态氮含量低,大多为有机化合物。作基肥施用,腐解时,往往引起作物苗期生长不良,该处理小麦和玉米每公顷平均产量为 1263.0 千克和 3057.0 千克,小麦和玉米产量都比等氮量 NPK、MNPK 处理低,小麦产量差异显著。

等氮量的 NPK 与有机无机肥配合(MNPK)处理,作物均能正常发育,小麦和玉米年每公顷平均产量相近。两个处理的差异不显著,表明有机无机肥配合施用后,调节了 C/N[9],使其养分释放比单施有机肥可以满足作物生长需要。

增量有机无机肥配合(IMNPK)处理产量比 NPK 和 MNPK 处理都高。其中种植需肥量大的高产作物玉米,年平均每公顷达 5124.0 千克,差异显著。

秸秆与化肥配施(SNPK)处理的产量对需肥量较少的小麦而言,略高于 IMNPK 和 MNPK,但其处理间的差异不显著。

2.3 不同处理对土壤理化性状的影响

2.3.1 土壤养分 试验进行4年,与匀地时相比,所有施肥处理耕层(0～20cm)有机质含量均有增加。MNPK及IMNPK处理,有机质含量分别提高0.23和0.31个百分点。而心土层(20～40cm)的有机质含量,施用化肥处理多数略有下降,施用有机肥处理略有上升(表2)。表明在作物种植过程中,施肥是补充和维持土壤有机质的必要手段。施用有机肥更有利于土壤有机质累积。

红壤在高温多雨条件下氮素损失的途径是氨的挥发和NO_3-N的淋失[10],不利于土壤氮累积。对照地土壤氮素含量比匀地时都有所下降;施用氮素化肥的处理,耕层全氮含量与匀地时比较均无显著变化,而施用有机肥处理,耕层全氮含量比匀地时明显增加。施用氮素化肥及有机肥的处理由于水分下渗作用,心土层全氮含量比匀地时略有增加。土壤碱解氮的变化趋势与全氮变化一致。

连续种植4年8季作物后发现,未补充磷肥的处理,耕层土壤全磷和有效磷含量下降,增施磷肥后,土壤耕层全磷和有效磷有所提高。施用钾肥和有机肥后,土壤耕层与心土层有效钾比匀地时提高;缓效钾变化趋势与有效钾一致。

表2结果还看出,经过种植,无肥区及施用化肥区,耕层土壤有效锌下降27.2%～43.7%,土壤处于缺锌状态。但MNPK处理耕层有效锌比匀地时提高1.3倍,IMNPK处理提高1.8倍,心土层有效锌含量也明显增加。耕层及心土层的有效硼含量与匀地时变化不大,处于有效硼含量较低的状态,但MNPK及IMNPK处理,耕层和心土层有效硼含量比匀地时略有提高。各处理有效铜含量都有增加,但红壤有效铜含量接近缺铜临界值指标。由于全铜含量丰富,尚不会引起铜营养元素的亏缺。各处理耕层有效铁含量均有增加,尤其施用有机肥的处理增加较多,有效锰含量也均有提高。

表2 不同处理对土壤养分的影响

Table 2 The effect of different treatments on soil nutrients

处理 Treatment	土层 Soil layer (cm)	有机质 Organic matter (%)	全量(%) Total nutrient			有效态(mg/kg) Available nutrient									代换量 CEC (cmol/kg)	酸碱度 pH
			N	P_2O_5	K_2O	碱解氮 Avail.N	有效磷 Avail.P	有效钾 Avail.K	缓效钾 Slow avail.K	铜 Cu	锌 Zn	铁 Fe	锰 Mn	硼 B		
匀地	0-20	1.15	0.107	0.073	1.600	79.0	13.9	104.0	267	1.79	2.13	13.7	60.9	0.35	10.4	5.7
	20-40	0.82	0.052	0.041	1.711	42.0	9.0	56.8	175	1.41	0.52	6.2	43.8	0.20	11.2	5.5
CK	0-20	1.10	0.096	0.048	1.523	80.5	6.8	81.9	229	2.37	1.20	11.5	36.1	0.36	11.7	6.0
	20-40	0.63	0.051	0.036	1.700	40.8	5.0	38.8	170	1.86	0.65	5.3	28.7	0.17	11.5	6.2
N	0-20	1.21	0.100	0.047	1.693	85.8	6.1	77.1	230	2.04	1.20	19.1	90.1	0.35	9.3	5.0
	20-40	0.76	0.051	0.037	1.766	52.7	4.6	37.6	180	1.83	0.53	9.9	38.3	0.21	9.7	5.5
NP	0-20	1.26	0.107	0.067	1.529	79.9	18.6	64.8	228	2.30	1.55	18.9	92.1	0.37	10.6	5.5
	20-40	0.99	0.067	0.045	1.701	59.3	9.1	44.5	214	2.04	0.66	9.9	70.8	0.32	9.8	6.0
NPK	0-20	1.30	0.107	0.076	1.650	51.3	23.7	135.1	320	2.09	1.31	15.6	71.4	0.47	9.5	5.3
	20-40	0.74	0.070	0.044	1.581	57.4	7.4	56.5	242	1.78	0.88	9.9	73.1	0.31	11.1	5.4
MNPK	0-20	1.38	0.130	0.098	1.563	97.0	25.9	189.0	488	3.23	4.92	26.0	57.3	0.54	12.8	6.3
	20-40	0.87	0.060	0.044	1.773	57.2	10.9	60.8	234	1.94	1.48	9.8	48.4	0.35	11.4	6.2
IMNPK	0-20	1.46	0.137	0.107	1.871	106.8	27.8	243.0	632	4.55	5.97	32.7	79.5	0.68	14.5	6.3
	20-40	1.01	0.054	0.049	1.748	59.3	13.3	104.5	336	2.24	1.90	14.5	43.5	0.27	12.5	6.4

2.3.2　土壤物理性状　表3表明,经过耕作和作物根系活动,大多处理容重减轻,总孔隙度和非毛管孔隙度增加,保持土壤固、液、气适宜的三相比例,使耕层土壤具有良好的结构。但心土层土壤物理性状变劣。经过4年8季作物的种植,心土层土壤紧实,结构差,降雨时水分下渗慢,排水不良。缺水时因毛细管现象,加剧干旱程度。红壤土质粘重,加之过多耕作、踩踏等,是导致心土层变劣的主要原因[11~13]。

从表3还看出,有机肥处理耕层容重比化肥处理有所增加,而SNPK处理比匀地时的容重则明显下降。单施有机肥处理却使耕层土壤容重增加;MNPK和IMNPK对容重的影响也各不相同。而心土层的土壤除SNPK处理外,其余有机肥处理的物理性状差异不大。施用有机肥(厩肥、粪肥)引起的土壤物理性状比化肥差的主要原因,是在施肥的过程中,由于其肥料数量比化肥多得多,施肥方式仍沿用传统的人工方法,且其施肥的时间正处于该地区的多雨季节,因此施用有机肥的土壤比施用化肥的土壤遭受更严重的践踏,使得土壤物理性状恶化。秸杆还田由于其施用的物料较粗,使得土壤疏松透气性好,从而有利于土壤物理性质的改善。

表3　不同肥料处理对土壤物理性质的影响

Table 3　The effect of different fertilizer treatments on soil physical properties

处理 Treatment	土层深度(cm) Layer	土壤容重(g/cm^3) Bulk density	孔隙度(%) Porosity	毛管孔隙度(%) Capillary porosity	非毛管孔隙度(%) Noncapillary porosity	田间持水量(%) Field capacity
匀地	0-20	1.17	55.8	29.8	26.0	25.5
	20-40	1.32	50.2	32.1	18.0	24.3
CK_0	0-20	1.28	51.7	30.3	21.4	23.7
	20-40	1.35	49.1	31.6	17.5	23.4
CK_1	0-20	1.09	58.9	30.1	28.8	27.6
	20-40	1.53	42.3	37.2	5.1	24.3
N	0-20	1.03	61.1	26.7	34.4	25.9
	20-40	1.49	43.8	35.6	8.2	23.9
NP	0-20	1.05	60.4	27.8	32.6	26.5
	20-40	1.33	49.8	33.1	16.7	24.9
NK	0-20	1.06	60.0	28.4	31.6	26.8
	20-40	1.45	45.3	35.5	9.8	24.5
PK	0-20	1.07	59.6	28.3	31.3	26.4
	20-40	1.50	43.4	36.9	6.5	24.6
NPK	0-20	1.04	60.7	27.5	33.2	26.4
	20-40	1.53	42.3	30.1	12.2	24.9
MNPK	0-20	1.19	55.1	29.8	25.3	25.0
	20-40	1.54	41.9	36.8	5.1	23.9
IMNPK	0-20	1.11	58.1	29.8	28.3	26.8
	20-40	1.51	43.0	37.0	6.0	24.5
SNPK	0-20	1.07	59.6	27.5	32.1	25.7
	20-40	1.40	47.2	33.3	13.9	23.8
M	0-20	1.20	54.7	31.9	22.8	26.6
	20-40	1.52	42.6	37.2	5.4	24.5

3 结 论

3.1 红壤不施肥或施用单一化肥,连续种植数年导致土壤肥力急剧下降。

3.2 施用氮磷钾肥,有一定增产效果,但连续种植也会导致锌硼等微量元素匮乏,不能保持作物高产。

3.3 施用有机肥有利于土壤有机质、氮素、磷素、钾素的积累;有利于提高土壤有效锌、硼等微量元素含量。而施用化肥,土壤处于缺锌、硼状态,但可以提高有效铜、有效锰、有效铁含量。

3.4 单施有机肥不能充分发挥其肥效,有机无机肥配合施用,可以满足作物生长需要。

3.5 长期耕作,可以使耕层土壤保持了良好物理性状,但使心土层土壤物理性状变劣。施用有机肥(厩肥、粪肥)使得土壤物理性状比化肥差,应注意选用优质有机肥料和改进其施肥的时期和方式。

3.6 秸秆还田配施 NPK 有利于作物产量的提高,并且有利于土壤物理性质的改善。可以作为红壤旱地施肥中的一个最有效的措施。

参考文献

1 全国土壤普查办公室. 中国土种志. 农业出版社, 1993, 1:16, 3:74, 6:22.

2 陈印军. 我国红黄壤地区湘、赣、川三省农业生产优势、潜力, 问题及对策. 中国红黄壤地区农业综合发展与对策, 中国农业出版社, 1997, 21～25.

3 李纯忠等. 不同土壤肥力变化规律监测研究. 土壤肥料, 1997, 2:8～14.

4 湖南省祁阳县气象站. 1949～1990 气象资料.

5 朱祖祥主编. 土壤学(下册). 农业出版社, 1983.

6 熊 毅, 李庆逵主编. 中国红壤(第二版). 科学出版社, 1987.

7 Jokela WE and Randall GW. Corn yield and residual nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. Agron. J., 1989, 81:457～460.

8 Huggins DR and Pan WL. Evaluation of the N efficiency of cropping systems through N component analysis. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992.

9 朱祖祥主编. 土壤学(上册). 农业出版社, 1983.

10 王家玉等. 应用缓效氮肥提高氮肥利用率的研究. 氮肥产量环境, 中国农业科技出版社, 1997.

11 Woorhees WB. Wheel－induced soil physical limitation to root growth. In:Stewart BA(ed.), Advances in soil science, Spring－Verlag, New York, 1992, 19:73～95.

12 Kassel DK, Raczkowski CW and Denton HP. Tillage effects on corn production and soil physical properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 1995, 59:1436～1443.

13 Horowitz AJ, Cassel DK, and Lopez MJ. Soil physical properties of hillside soils under two corn production systems in northern Honduras. Proc. Soil Sci. Soc. of North Carolina, 1996, 39:85～92.

VARIATIONS OF RED EARTH FERTILITY AND AVAILABLE TECHNIQUES OF FERTILIZATION

Chen Yongan　Chen Dianhao　You Youwen　Huang Jialiang　Qin Rujun
(*Soil and Fertilizer Institute, CAAS, Beijing* 100081)

Abstract The long-term monitoring soil fertility on using nitrogenous fertilizer, phosphate fertilizer, potash fertilizer and organic manure was conducted on the bases on long-term monitoring soil fertility in Qiyang County. Results indicated that on the treatment of without fertilizer and the treatment of using only one fertilizer, the plant could not grow normally, yield and soil fertility decreased year after year. On the treatment of NP and NPK, the plant could grow normally, yield increased, but the contents of available zinc and boron on soil decreased rapidly. On the treatments of MNPK and SNPK not only maintained the equilibrium of nitrogen, phosphorus and potassium, but also supplied some micronutrients into soil. So they are the main ways to increase yield and fertilize soil. On the treatment of IMNPK, the average yield of corn was 5124 kg/hm^2, more than other treatments. But on this treatment, the wheat grew abnormally fast and lodged easily. On the wheat and corn rotation system, application of organic manure(or straw) combined with chemical fertilizers was an important way to gain high and stable yield of crop and to improve fertility of soils in the upland of red earth.

Key words Upland of red earth　Fertility　Techniques of fertilization.