

# 黄土丘陵区栗褐土定位连续施肥效应\*

李 旭 段建南

(山西大学黄土高原研究所·山西太原·030006)

**摘 要** 晋西北河曲县砖窑沟流域栗褐土上连续 7 年定位施肥试验的增产和培肥效应分析表明:连续施肥与 CK 相比,增产幅度有增大趋势,而且抗逆性增强。有机肥与无机肥合施的增产和培肥效应最明显,多年平均增产幅度是 CK 的 1.5 倍。有机肥与氮肥合施的增产效应最大。高量有机肥与氮肥合施的培肥效果最好,多年平均增产效应是 CK 的 2 倍。

**关键词** 栗褐土 定位试验 土壤培肥

## Effects of Consecutive Fertilization on Chestnut-cinnamon Soil of Loess Hilly Region

Li Xu Duan Jiannan

(Institute of Loess Plateau, Shanxi University, 030006, Taiyuan Municipality)

**Abstract** Based on the consecutive located fertilization of 7 years on chestnut-cinnamon soil in Zhuanyaogou watershed Northwestern Shanxi, the effects of increasing soil fertility and crop yield were studied. The results showed that the increasing yield range became higher after fertilizing the soil consecutively, and the soil adversity resistance was improved. The effects of increasing soil fertility and crop yield by using mixture of organic and inorganic fertilizers were much more significant than using the organic only-or-only inorganic fertilizer, and the former's increasing yield range on average was 1.5 times as great as the control. The application of manure mixed with nitrogen was the best for increasing crop yield. The application of high level manure with nitrogen fertilizer had the best effect of increasing soil fertility, which was 2 times great as the control.

**Keywords** chestnut-cinnamon soil; located experiment; improvement of soil fertility

栗褐土是晋西北黄土丘陵区的地带性土壤,是褐土向栗钙土过渡的一个土类,主要发育在黄土母质上。在自然成土条件下,土壤形成过程中物理风化强烈,淋溶作用微弱,好气性微生物活动强盛,有机物质分解快,积累少。由于季节性淋溶,土体中有微弱的粘化作用,并有假菌丝状的碳酸钙淀积物。主要成土过程可概括为微弱的腐殖化、钙积和粘化三个过程。故而具有以下特征:土层深厚,土质均匀,土性软绵,质地多为轻壤,土体构型属通体型,层次发育微弱,粘化钙积不明显,通体强石灰反应,表土有机质含量低,平均 5.5g/kg,养分贫乏,供氮磷能力差。

土体通透性好。同时,农业利用的限制因子多,生产力低下,低产田面积大,砖窑沟流域栗褐土中 81.62% 属于低肥力土壤。因此,必须改土培肥,探讨不同施肥方案的土壤培肥与增产作用,寻求快速有效的培肥方案,提高土壤生产力,为该地区发展高产高效农业找到行之有效的培肥途径。为此,我们从 1988 年开始,在黄土丘陵区砖窑沟流域设置了长期定位施肥试验,研究有机肥和无机肥对栗褐土的培肥增产效应,寻求适合该区特点的培肥途径。现对连续 7 年的试验结果进行初步分析。

## 1 试验材料与方法

试验布置在沙坪村窑家嘴梁顶平地上,供试土壤为轻壤黄土质淡栗褐土,0~20cm 表土农化性状:土壤有机质含量为 5.64g/kg,全氮为 0.445g/kg,全磷为 1.23g/kg,碱解氮为 34.9mg/kg,速效磷为 2.69mg/kg,阳离子代换量为 6.97cmol/100g 土。

试验设 8 个处理,3 次重复,小区面积 4m×6m,随机区组排列,每年试验小区的处理不变,各处理所有施肥量于春耕时一次施入,试验处理及其施肥量见表 1。氮肥用含氮 46% 的尿素,磷肥用含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>14% 的过磷酸钙,有机肥施用当地圈肥,养分状况见表 2。种植作物为糜子—马铃薯轮作(第一年的前茬为马铃薯),耕作管理措施与大田相同,收获按小区单收单打计产。隔年在各小区内采集 0~20cm 和 20~40cm 的分层土样,用常规方法测定有关土壤理化性状。

表 1 试验处理及其施肥量

处理代号	不施肥 (CK)	单施 氮肥 (N)	氮磷 同施 (NP)	单施低量 有机肥 (M <sub>1</sub> )	低量有机 肥与氮肥 (M <sub>1</sub> N)	低量有机 肥与氮磷 (M <sub>1</sub> NP)	高量有机 肥与氮肥 (M <sub>2</sub> N)	高量有机 肥与氮磷 (M <sub>2</sub> NP)
有机肥(t/hm <sup>2</sup> )	0	0	0	22.5	22.5	22.5	45	45
氮(kg/hm <sup>2</sup> )	0	120	120	0	120	120	120	120
磷 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/hm <sup>2</sup> )	0	0	75	0	0	75	0	75

表 2 有机肥养分状况

年份(年)	种 类	水分(%)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)
1988	猪圈肥	29.08	88.1	3.44	3.06
1989	驴圈肥	24.50	245.1	5.20	1.79
1990	猪圈肥	32.00	126.3	2.50	1.27
1991	羊圈肥	17.00	25.9	1.26	1.85
1992	骡圈肥	27.00	165.6	3.72	1.88
1993	猪圈肥	23.50	109.0	3.96	2.80
1994	骡圈肥	64.30	504.4	5.92	2.62

试验区 1988 年降水量为 463.5mm,糜子生育期(6 月中~9 月下)降水 333.8mm。干旱的 1989 年降水量 353.9mm,马铃薯生育期(6 月中~10 月上)降水 221.5mm。1990 年降水量为 498.7mm,糜子生育期降水量 324.4mm,该年 8 月 9 日~10 日正当糜子抽穗扬花期间,遭到两次百年不遇的冰雹袭击,主穗全部被打毁,最后产量是由分蘖小穗形成。1991 年降雨 303.0mm,马铃薯生育期降水 134.5mm,为大旱年。1992 年降水 548.5mm,糜子生育期降水 399.6mm。1993 年降水 239.3mm,马铃薯生育期降水 199.45mm。1994 年降水 368.6mm,糜子生育期降水 280.8mm。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 增产效应分析

分别对7年的试验小区作物产量进行方差分析,得到各年试验结果的区组间  $F < F_{0.05}$ , 处理间  $F > F_{0.01}$ , 表明重复间的土壤肥力整体上无显著差异,处理间的作物产量有极显著差异。应用 SSR 测验对每年各处理间的多重比较结果表明,除第1年的  $M_1$  与 CK 无显著差异外,其余各年的施肥处理都比 CK 有极显著或显著的增产效应。施肥处理之间,7年中有 86.9% 的有机肥和无机肥合施的处理 ( $M_1N, M_1NP, M_2N, M_2NP$ ) 比有机肥或无机肥单施的处理 ( $N, NP, M_1$ ) 有极显著或显著的增产效应,其余 13.1% 未显著差异水准的比较中绝大多数是与 NP 处理的比较,可见氮磷化肥配合施用也有一定优势。单施化肥 ( $N, NP$ ) 比单施有机肥 ( $M_1$ ) 的增产效应,除 1990 年不显著外,其余 6 年达显著以上水平。NP 比 N 的增产效应在显著水平左右摆动。有机肥与无机肥合施的 4 个处理之间的比较中有 73.8% 未达到显著差异,其余 26.2% 达到显著或极显著差异的是第 1 年的  $M_1NP$  和  $M_2NP$ , 分别比  $M_1N$  和  $M_2N$  增产,第 2 年的  $M_2NP$  比  $M_2N$  增产、第 4 年的  $M_2N$  比其余 3 个处理都增产。有机肥的高量与低量处理之间产量差异不显著,而前两年有机肥与氮磷化肥合施的增产优势有逐渐减弱的趋势。将各年试验各处理的作物平均产量列于表 3, 可见所有施肥处理的作物单产较对照均有明显的增加,增产幅度较大的处理均为有机肥与无机肥合施(7年平均为 150% 多),其次为  $NP > N > M_1$ 。  $M_1N$  处理的 7 年平均增产幅度大于  $M_1$  与 N 两处理的和,显示了有机肥与氮肥合施的正交互效应,7 年平均增产幅度最多的  $M_1NP$  处理与对应的  $N_1$  和 NP 两处理比较,表现为负交互作用,  $M_2NP$  处理的平均增产幅度又比  $M_1NP$  小,这是有机肥与磷肥有负交互作用的表现。由于各年作物不同,气候条件的变化,以及自然灾害等偶然因素,产量的年间变化较大,用单产的绝对值难以

表 3 试验作物各年平均产量及其比对照增产幅度

年份与作物	CK	N	NP	$M_1$	$M_1N$	$M_1NP$	$M_2N$	$M_2NP$
1988 年糜子产量(kg/hm <sup>2</sup> )	2 439	3 585	3 647	2 589	377.4	4 167	3 935	4 190
增产(%)	—	47.0	49.5	6.2	54.7	70.8	61.3	71.8
1989 年马铃薯产量(kg/hm <sup>2</sup> )	1 812	3 095	3 471	2 357	3 732	3 671	3 572	3 837
增产(%)	—	70.9	91.5	30.0	105.9	102.5	97.0	111.7
1990 年糜子产量(kg/hm <sup>2</sup> )	281	546	560	441	720	788	764	725
增产(%)	—	97.7	99.5	57.2	156.7	108.7	172.2	158.3
1991 年马铃薯产量(kg/hm <sup>2</sup> )	1 419	2 828	3 092	1 865	3 216	3 140	3 545	3 173
增产(%)	—	99.2	117.8	31.3	126.8	121.2	149.9	123.5
1992 年糜子产量(kg/hm <sup>2</sup> )	924	2 622	3 051	1 740	3 747	3 830	3 872	3 744
增产(%)	—	183.8	230.2	88.3	305.5	314.4	319.2	305.2
1993 年马铃薯产量(kg/hm <sup>2</sup> )	959	2 067	3 059	1 703	3 572	3 806	3 408	3 495
增产(%)	—	115.5	219.0	77.6	272.5	296.9	255.4	264.4
1994 年糜子产量(kg/hm <sup>2</sup> )	800	1 584	2 241	1 700	2 808	2 892	2 883	3 134
增产(%)	—	98.1	180.3	112.6	251.2	261.7	260.6	291.9
1988~1994 年产量(kg/hm <sup>2</sup> )	1 235	2 333	2 732	1 772	3 082	3 185	3 140	3 185
年平均增产(%)	—	88.9	121.3	43.5	149.7	158.0	154.3	158.0

注:马铃薯产量为鲜薯块 5 折 1 计。

进行逐年比较,若用表 3 中各年比 CK 增产的相对值,在同种作物内进行逐年的纵向比较,可以消除上述偶然因素的干扰。由此可见,两种作物的各施肥处理比 CK 增产的幅度都表现出逐年递增的趋势,尤其是 4 个有机肥与无机肥合施的处理表现出相似的大幅度加速度上升趋势。即使是在遭遇特大雹灾的 1990 年和大旱的 1991 年,仍表现出同样的趋势。表明连续施肥既可以不断提高土壤生产力,还能提高土壤的抗逆性能。

## 2.2 培肥效应分析

从第 1 年初、第 3,5,7 年末,分别取耕层土测定主要土壤农化性状(详见表 4)可知,经过 7 年连续处理之后,表土农化性状已发生变化。其中有机质变化最明显;CK 明显减少,N 处理变化不大,NP 略有增加,所有施有机肥的处理均为逐年增加,7 年增加依次为  $M_2NP108\%$ ,  $M_2N68\%$ ,  $M_1NP67\%$ ,  $M_251\%$ ,  $M_1N37\%$ 。可以看出,对于增加土壤有机质的效应,施有机肥明显优于不施,高量的又明显优于低量的,产量高的优于产量低的。表明土壤有机质的增加一方面来自施入的有机肥,另一方面来自作物根茬残留物。全氮的变化为, $M_2N$  和  $M_2NP$  分别增加了 83%和 49%,CK 明显减少了 6%, $M_1$ , $M_1NP$  和 N、NP 和  $M_1N$  经前 3 年的减少后略有增加,均超过原水平。可见,不施肥明显降低了全氮水平,只有高量有机肥与化肥合施可稳定提高全氮水平,其余的施肥处理除 CK 降低外全氮水平低而不稳。表明在试验条件下,土壤全氮含量低,供氮不足,只有大量施入有机肥并配以氮肥才能维持或提高土壤全氮水平。比较 C/N 的变化,所有处理的 C/N 值前 3 年均不同程度的提高,后 4 年以“加速度”提高, $M_1$ , $M_1NP$ ,  $M_2NP$  提高的速度减慢, $M_2N$  期稳定,N 和  $M_1N$  转变为降低,总的来看,只有 N 和  $M_2N$  基本维持了 7 年前的 C/N 值,其余的都比原值高 1.9~3.5。其变化过程及结果反映出试验过程中土壤碳与氮含量各自变化的不同对比关系,如  $M_2N$  是碳与氮的积累同步,故 C/N 值基本不变,符合培肥之目的,是可取的;N 是由于碳与氮前后均变化不大,故保持了较稳定的 C/N 值;

表 4 不同施肥条件下 0~20cm 栗褐土主要农化性状变化

农化性状	测定时间 (年、月)	CK	N	NP	$M_1$	$M_1N$	$M_1NP$	$M_2N$	$M_2NP$
有机质(g/kg)	198805	6.1	5.9	5.1	5.3	5.7	5.5	6.2	5.3
	199010	4.3	5.8	4.2	5.8	7.2	6.0	8.6	7.2
	199210	5.2	5.8	6.6	7.3	7.0	8.4	11.0	10.8
	199410	5.0	6.0	7.2	8.0	7.8	9.2	10.4	11.0
全氮(g/kg)	198805	0.49	0.38	0.48	0.44	0.50	0.46	0.36	0.45
	199010	0.31	0.34	0.37	0.37	0.40	0.37	0.46	0.44
	199210	0.33	0.39	0.42	0.44	0.47	0.47	0.59	0.64
	199410	0.47	0.60	0.54	0.53	0.61	0.69	0.69	0.67
全磷(g/kg)	198805	1.33	1.33	1.10	1.05	1.26	1.33	1.17	1.26
	199010	1.40	1.21	1.46	1.38	1.36	1.67	1.30	1.51
	199210	1.23	1.23	1.59	1.31	1.32	1.68	1.27	1.69
	199410	1.27	1.23	1.53	1.50	1.28	1.42	1.29	1.52
C/N	198805	7.2	9.0	6.2	7.0	6.6	6.9	10.0	6.8
	199010	8.0	9.9	6.6	9.1	10.5	9.4	10.8	9.5
	199210	9.1	8.6	9.1	9.6	8.5	10.4	10.8	9.8
	199410	6.2	5.6	7.7	8.8	7.4	7.7	8.7	9.5

CK是由于氮减少比碳减少的快,故C/N值明显提高,其余的处理为碳增加的同时氮增加较少( $M_2NP$ )或基本不增加( $M_1NP, M_1$ )甚至略有减少( $NP, M_1N$ ),故C/N值升高。以上现象提醒我们培肥土壤既要提高有机质的数量,还要提高其质量,应采取措施,促进碳与氮的同步增加。全磷的变化:CK和N略有减少, $M_2N$ 和 $M_1N$ 增加甚微,增加较明显的分别为 $NP39\%$ 、 $M_2NP21\%$ 、 $M_1NP7\%$ 、 $M_143\%$ 。可见,施磷肥的处理全磷含量都明显增加,其它处理中施有机肥的也增加或维持了全磷含量,只有不施肥或单施氮肥才造成磷素的少量亏缺。与上述氮素的变化情况相比,表明在当前的生产水平上,土壤磷素不如氮素缺乏。

### 3 结 语

根据连续7年定位试验结果及其分析,可得到以下初步结论:

(1)连续施肥有明显的增产效应,而且还可以提高土壤的抗逆性能。有机肥与无机肥合施的增产效应大于二者分别单施的效应,有机肥与氮肥有正交互效应,与磷肥呈负交互效应,这是晋西北栗褐土施肥效应的一个特征。高量有机肥与低量有机肥的产量差异不显著,有机肥与氮磷肥合施和有机肥与氮肥合施后5年差异不显著。7年间,随着时间的延长,施肥与不施肥的产量差距越来越大,尤其是有机肥与无机肥合施呈“加速度”增产的趋势,表明连续有机肥与无机肥合施可不断提高土壤生产力,其潜力还很大;单施氮磷化肥也显示出比单施氮肥增产越来越显著的趋势;单施有机肥增产效应在后5年有越来越差的趋势。

(2)连续有机肥与无机肥合施有明显的培肥效应,主要表现为土壤有机质、全氮、全磷含量的明显增加,并能维持稳定的C/N值,特别是高量有机肥与氮肥的配合效果最好。单施有机肥或氮磷化肥土壤有机质和全磷增加,而全氮则有减少的趋势。单施氮肥土壤养分变化甚微。不施肥土壤养分明显减少。总的来看,各种施肥处理中,土壤有机碳大多增加,而氮素有增有减且增加幅度较小,所以C/N值大多升高。土壤磷素大多增加。培肥过程中,氮素相对亏缺现象应引起重视。

(3)栗褐土有机质含量低,耕层有机质含量为 $0.53 \pm 0.09\%$ ;矿化率高,年矿化率为 $5.16 \pm 1.30\%$ ,欲保持有机质平衡,每年需要施入有机肥约 $7.5t/hm^2$ (仅为 $M_1$ 水平 $1/3$ )。若每年施入高量有机肥 $45t/hm^2$ (即 $M_2$ 水平),连续3年可使耕层有机质含量由现在的 $5.3g/kg$ 提高到 $6.8g/kg$ 以上。经过7年连续定位培肥,与CK相比,无机肥与有机肥合施是栗褐土有机质含量提高一倍,供氮能力提高 $60\%$ ,供磷能力提高2倍。故晋西北黄土丘陵区低产栗褐土快速培肥是完全可能的。

(4)综合各施肥处理的增产与培肥效应,针对晋西北栗褐土特性,为达到培肥与增产同步之目的,应采取以有机肥与氮肥配合为主的施肥方案,磷肥在有机肥不足情况下配合氮肥施用。对肥力较低的土壤,为实现快速培肥与增产,可采用高量有机肥与氮肥配合的施肥方案。

#### 参 考 文 献

- 1 段建南等.土壤培肥途径研究.见:黄土高原整治研究.北京:科学出版社,1992
- 2 段建南等.黄土丘陵土壤培肥效应的研究.中国科学技术协会首届青年学术年会论文集(农科分册).北京:中国科学技术出版社,1992
- 3 段建南等.黄土高原砖窑沟试验区土壤资源与改良利用途径.自然资源学报,1994,9(3)
- 4 段建南等.晋西北砖窑沟试验区土壤改良途径.土壤学报,1994,31(4)
- 5 唐耀先等.不同肥力棕黄土几项有机质指标的研究.沈阳农学院学报,1993,(1)