

# 陕北坡地长期施肥效应及土壤肥力变化

郑剑英 吴瑞俊

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

**摘要** 坡耕地多年施肥试验表明:肥料效应总趋势为·MNP>MN>NP>M>P>N>CK, 化肥配施效果优于单施,且有机肥与氮磷配施效果最佳,M,N,P交互作用最强,高达669kg/hm<sup>2</sup>,作物产量与养分的吸收基本一致。单施化肥土壤有机质变化不明显,而全氮减少,有机肥与化肥配施,其土壤有机质、全氮含量增加。长期施肥土壤碱解氮含量均下降,而有机肥缓解了下降速度。施磷处理土壤速效磷增加明显。

**关键词** 坡地 长期施肥 肥料效应 土壤养分变化

## Effects of Long-term Applying Fertilizer and Changes of Soil Nutrient

Zheng Jianying Wu Ruijun

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling District, Xianyang Municipality, Shaanxi Province)

**Abstract** The many years experiments in slope farmland show that effects tendency of fertilizer is as follows, MNP>MN>NP>M>P>N>CK, the effects of applying mixed fertilizer is superior to applying single fertilizer, and the effect of applying organic matter mixed with NP is the best, the mutual effects among N, P and M are most powerful, the value of it reached 669 kg/hm<sup>2</sup>, the crop yield keeps consistent with the nutrient absorbed. Soil organic matter has no obvious change and total N content is decreased as applying single fertilizer, soil organic matter and total N content is increased as applying organic matter mixed with fertilizer. Soil valid N content is decreased as a long-term applying fertilizer, but applying organic matter may alleviated this decreasing tendency. Applying P may enhance the soil valid P obviously.

**Key words** slope farmland; long-term applying fertilizer; effects of fertilizer; changes of soil nutrient

陕北黄土丘陵区,地形破碎,梁峁起伏,沟壑纵横,耕地面积中90%以上分布在坡地上。严重的水土流失造成该区土壤肥力退化,生产力低下,加之黄绵土本身蓄水保肥能力差,致使产量低而不稳。近年来,通过施用有限的化肥和有机肥,产量有所提高,但由于交通不便,经济发

展较慢,对坡地的投入仍处于低投入阶段。为了开发生产潜力,寻求合理的施肥及培肥措施,指导农民科学用肥,我所于1983年开始在该区山坡地上进行了长期的肥料定位试验。

## 1 试验区概况及处理

试验布设在安塞县沿河湾乡峙峁峁村坡地上,坡度 $19^{\circ}$ ,坡向北,海拔1300m左右,年降水量351.3~729.2mm,平均549.1mm,6~9月降水量占全年降水量的72.9%,年平均气温 $9.3^{\circ}\text{C}$ ,无霜期157~194天。土壤为黄绵土,旱作。坡地0~20cm土壤养分含量:有机质4.1g/kg,全氮0.39g/kg,全磷0.59g/kg,碱解氮23.8mg/kg,速效氮10mg/kg,速效磷1.8mg/kg,pH8.3。共设7个处理(对照、磷肥、氮肥、氮+磷肥、有机肥、有机肥+氮肥、有机肥+氮+磷肥),3次重复。施肥量:有机肥7500kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),氮肥用尿素(含N量46%)114kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),磷肥为三料磷肥(含 $\text{P}_2\text{O}_5$ 46%)57kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )。轮作方式:谷子→荞麦→谷子→糜子。土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷均按常规方法测定。植株按不同部位测定N,P含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同肥料与历年作物产量的关系

陕北黄土丘陵区的耕种土壤为黄绵土,据多年测定结果表明,该土壤N,P俱缺,加上严重的水土流失,导致坡地土壤肥力低下,在这种土地类型上,进行不同肥料品种的长期试验,必然产生不同的效应。从表1中的12年长期施肥结果看出,不同肥料品种及其搭配,增产效果是不

表1 不同肥料与历年作物产量的关系

年份(年)	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	平均	
CK	1191	192	909	214.5	390	99	336	363	309	115.5	708	327	429.5	
P	产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	1317	574.5	1010	520.5	960	213	450	565.5	541.5	316.5	813	486	646.5
	增产率(%)	10.6	199.2	11.1	142.6	146.1	115.1	33.9	55.8	75.2	174.0	14.8	48.8	50.6
	1kg养分增产(kg)	11.0	33.3	8.8	26.7	49.7	9.9	9.9	17.6	20.2	17.5	9.1	13.8	19.0
N	产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	141.6	147	802.5	139.5	360	106.5	357	468	358.5	159	766.5	469.5	462
	增产率(%)	18.9	-23.4	-11.7	-35.0	-7.7	7.6	6.2	28.9	16.0	37.7	8.3	43.6	7.7
	1kg养分增产(kg)	4.3	-0.86	-2.0	-1.4	-0.57	0.14	0.40	2.00	0.94	0.82	1.11	2.71	0.63
NP	产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	2067	1182	1623	709.5	1110	601.5	904.5	1878	1106	697.5	2130	979.5	1250
	增产率(%)	73.5	515.6	78.1	230.7	184.6	507.5	169.1	417.3	257.7	503.8	200.8	199.5	191.2
	1kg养分增产(kg)	13.6	15.4	11.1	7.7	11.2	7.8	8.9	23.6	12.5	9.0	22.2	10.2	12.8
M	产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	1416	427.5	1164	604.5	772.5	184.5	523.5	867	654	388.5	1220	760.5	748.5
	增产率(%)	18.9	122.6	28.0	181.8	98.0	190.9	55.8	138.8	111.6	236.3	72.2	132.5	74.5
	1kg养分增产(kg)													
MN	产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	2121	768	1560	682.5	1043	592.5	1374	1979	1311	574.5	2366	1324	1308
	增产率(%)	78.1	300.0	71.6	218.1	167.3	498.4	308.9	445.0	324.2	397.4	234.1	305.0	204.9
	1kg养分增产(kg)	13.4	6.5	7.5	1.5	5.1	7.8	16.2	21.2	12.5	3.5	21.8	10.7	10.7
MNP	产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	2492	1191	2147	805.5	1308	691.5	1662	2409	1699	783	3126	1699	1668
	增产率(%)	109.1	520.3	136.1	275.5	235.3	598.4	394.6	563.6	450.0	577.9	341.5	419.7	288.8
	1kg养分增产(kg)	16.8	11.9	15.4	3.1	8.4	7.9	17.8	24.1	16.3	6.2	29.8	14.7	14.4

一样的,增产率的总趋势 $\text{MNP} > \text{MN} > \text{NP} > \text{M} > \text{P} > \text{N} > \text{CK}$ 。它们分别比对照增产288.8%,204.9%,191.2%,74.5%,50.7%和7.7%。其中MNP处理产量最高,1 $\text{hm}^2$ 平均为1668kg,

单施氮肥处理产量最低,  $1\text{hm}^2$  仅 462 kg, 比对照仅增产 32.5 kg。1kg N 平均增产粮食 0.63kg, 甚至在 12 年的施肥中, 出现负值。表明在坡地黄绵土上, 化肥单施效果不如配施, 尤其是氮肥不宜长期单施。化肥与有机肥配合, 作物所需养分得到改善, 产量可进一步提高, MNP 处理比 NP 处理增产  $418.5\text{kg}/\text{hm}^2$ , 增产率为 33.5%, MN 处理比单施 N 处理增产  $846\text{kg}/\text{hm}^2$ , 增产率为 183.1%。说明有机肥和无机肥配合施用, 不但能较全面提供作物生长所需养分, 获得高产, 稳产, 而且还能改善土壤理化性状, 保持和提高土壤肥力, 尤其是提供的磷素, 补充了土壤缺磷状况, 氮磷相互促进, 其产量比单施某种化肥高。

从表 2 不同肥料的交互作用表明, 坡地肥料的交互作用较强,  $M \times N \times P$  的交互作用高达  $669\text{kg}/\text{hm}^2$ ,  $N \times P$   $570\text{kg}/\text{hm}^2$ ,  $M \times N$   $429\text{kg}/\text{hm}^2$ , 结果与产量趋势相一致。坡地由于肥料投入有限, 加之水土流失的影响, 一般施肥效果较为明显, 交互作用均为正值。但在肥料的搭配上, 应注意不同肥料的配比或相应减少某种肥料的施用量。

表 2 不同肥料品种的交互作用  $\text{kg}/\text{hm}^2$

交互作用	交互值
$N \times P$	$(1249.5 - 429) - (462 - 429) - (646.5 - 429) = 570$
$M \times N$	$(1210.5 - 429) - (748.5 - 429) - (462 - 429) = 429$
$MN \times P$	$(1668 - 429) - (748.5 - 429) - (646.5 - 429) = 240$
$NP \times M$	$(1668 - 429) - (1249.5 - 429) - (748.5 - 429) = 99$
$N \times P \times M$	$(1668 - 429) - (462 - 429) - (646.5 - 429) - (748.5 - 429) = 669$

## 2.2 不同作物对肥料品种的反映

陕北黄土丘陵区, 由于土地类型及气候因子的影响, 作物种类丰富多样, 谷子、黄豆、荞麦、糜子等秋粮作物面积占全年种植面积 90% 左右。因此, 在大面积的坡地上, 如何发挥不同肥料的增产效益, 对该区的粮食生产具有十分重要的现实意义。表 3 表明: 坡地谷子施磷效果远远大于施氮效果, 施氮与对照相当, 荞麦和糜子也呈类似规律。再次证明, 氮肥必须与磷肥配施, 配施效果十分明显, 谷子、荞麦、糜子产量达  $1489.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,  $826.5\text{kg}/\text{hm}^2$  和  $1189.5\text{kg}/\text{hm}^2$ , 配施是单施氮的 2.2 倍, 6 倍和 3.3 倍; 是单施磷的 1.8 倍, 2.2 倍和 2.3 倍。

表 3 不同作物对肥料品种的反映  $\text{kg}/\text{hm}^2$

处理	谷 子			荞 麦			糜 子		
	产量	增产(%)	1kg 养分增产	产量	增产(%)	1kg 养分增产	产量	增产(%)	1kg 养分增产
CK	640.5			135			301.5		
P	847.5	32.3	18.1	367.5	172.2	20.3	523.5	73.6	19.4
N	676.5	5.6	0.68	138	2.2	0.05	358.5	18.7	1.08
NP	1489.5	132.5	13.3	826.5	512.2	10.8	1189.5	294.5	13.9
M	958.5	49.6		333.0	146.7		744.0	146.8	
MN	1629.0	154.3	12.8	645	377.8	5.9	1323.0	338.8	11.02
MNP	2071.5	223.4	17.4	883.5	554.4	8.6	1638	443.3	14.0

注: 谷子为 6 年平均产量, 荞麦、糜子为 3 年平均产量。

单施氮肥, 由于土壤磷素的缺乏, 1kg 氮增产粮食随着轮作周期的延长, 而呈下降趋势, 1983 年谷子为 4.3kg, 到 1993 年下降为 1kg 左右, 平均为 0.68kg。氮磷配施增产显著, 且效果稳定, 1kg 养分增产谷子、荞麦、糜子分别为 13.3kg, 10.8kg, 13.9kg。

有机肥与氮肥配合, 1kg 氮增产谷子、荞麦、糜子依次为 12.8kg, 5.9kg, 11.02kg。有机肥

与氮磷配合,1kg 养分增产谷子 17.4kg,荞麦 8.6kg,糜子 14kg。表明本区为氮、磷化肥高效区。而有机肥和无机肥配合施用,无论是产量,还是 1kg 养分增产量其效果更佳。

### 2.3 不同肥料品种与植株吸 N,P 量关系

表 4 不同肥料品种与植株及 N,P 量的关系  $\text{kg}/\text{hm}^2$

处理	谷子		荞麦		糜子	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
CK	13.7	4.05	3.8	1.1	7.8	2.0
P	14.6	5.6	9.3	5.4	10.2	4.8
N	18.6	3.5	3.9	0.75	11.0	2.0
NP	32.7	8.0	19.1	9.2	27.5	7.2
M	17.9	7.2	8.4	3.2	11.9	6.2
MN	37.7	8.3	16.1	3.8	26.6	7.8
MNP	45.5	14.1	22.8	9.9	29.9	11.0

注:谷子为 5 年平均吸收 N,P 量;荞麦、糜子为 3 年平均吸收 N,P 量。

肥料品种不同,必然导致植株吸收 N,P 量间的差异,而同种肥料因作物不同,对肥料的吸收也不一样。表 4 看出,坡地谷子、荞麦、糜子单施某种化肥,植株吸收 N,P 量均低于氮磷配施,单施氮或磷比配施氮下降 14.1kg/hm<sup>2</sup> (谷子), 15.15kg/hm<sup>2</sup> (荞麦), 17.1kg/hm<sup>2</sup> (糜子)。磷依次下降 2.4kg/hm<sup>2</sup>, 3.8kg/hm<sup>2</sup> 和

2.4kg/hm<sup>2</sup>。有机肥与氮肥配合,谷子吸收 N,P 量比单施氮增加 19.1kg/hm<sup>2</sup>, 增长率 102.4%, 比单施磷增加 2.70kg/hm<sup>2</sup>, 增长率为 48.6%。荞麦、糜子与谷子的结果相一致。这更进一步证明,有机肥对土壤的贡献主要是磷素,施有机肥提供了作物对磷的需求,故产量与吸收 N,P 量高于氮肥单施。在 MNP 处理中,3 种作物对 N,P 的吸收量谷子表现最明显,吸氮量比氮磷化肥配施提高 39%, 吸磷量提高 77.4%。其次为糜子、荞麦。

综上所述,化肥配施,作物对肥料的吸收利用比单施某种化肥效果好,而有机肥和无机肥配合产量及吸收 N,P 效果更佳。有机肥和化肥不能相互代替,只有合理搭配,才能获得更佳效果。

### 2.4 长期施肥耕层土壤养分的演变

表 5 长期施肥耕层土壤有机质、全 N、碱解 N、速效 P 含量

处理	有机质(g/kg)		全 N(g/kg)		碱解 N(mg/kg)		速效 P(mg/kg)	
	1983 年	1994 年	1983 年	1994 年	1983 年	1994 年	1983 年	1994 年
	播前	收后	播前	收后	播前	收后	播前	收后
CK	4.1	4.0	0.39	0.29	23.8	10.2	1.8	0
P	4.1	4.2	0.39	0.34	23.8	12.1	1.8	8.0
N	4.1	4.2	0.39	0.33	23.8	16.0	1.8	1.1
NP	4.1	4.9	0.39	0.34	23.8	18.9	1.8	6.3
M	4.1	6.2	0.39	0.41	23.8	19.4	1.8	2.8
MN	4.1	6.3	0.39	0.41	23.8	19.8	1.8	2.4
MNP	4.1	6.1	0.39	0.44	23.8	22.3	1.8	2.2

#### 2.4.1 土壤有机质含量变化

土壤有机质是土壤肥力的重要指标。有机质不仅影响土壤的物理性状,而且是作物所需营养元素的重要来源。因此,土壤有机质含量变化直接反映出土壤肥力的高低。表 5 表明:定位施肥 12 年后,无肥区或单施某种化肥处理,有机质变化不明显,单施氮或磷比无肥区仅增加 0.2g/kg, 增长率 5%。播前与收后相比较,无肥区略有减少,氮或磷处理稍有提高,前者减少 0.1g/kg, 后者提高 0.1g/kg。氮磷配施,有机质比播前增加 0.8g/kg, 增长率 19.5%。其原因是

氮磷配施后,作物产量提高,而残留于土壤中有机物较多,进而提高了土壤有机质的含量。化肥与有机肥搭配,收获后土壤有机质明显高于播前和化肥处理,比播前增加 2.0~2.2g/kg,比化肥处理提高 1.3~2.0g/kg。说明有机肥的长期施入,对土壤有着明显的培肥作用。

#### 2.4.2 土壤全氮、碱解氮含量变化

土壤全氮作为潜在的养分,其含量变化,也是反映土壤肥力的重要指标之一。分析结果(表 5)表明:无肥区,单施某种化肥或氮磷配施,通过 12 年的长期施肥,土壤全氮均有所下降,其中无肥区下降最明显,比播前下降 0.1g/kg,下降率 25.6%,分析结果与坡地养分平衡趋势一致,即纯化肥处理造成 N 素亏损。施入有机肥,全氮含量增加,趋势与有机质相似。

碱解氮为植物可直接吸收利用的氮素。坡地土壤由于水土流失的原因,加上作物不断吸收消耗,碱解氮含量均呈下降趋势。施氮处理下降速度小于无肥和单施磷处理。有机肥与化肥配施处理下降速度又小于单施化肥处理。其中单施磷比播前下降 49.1%,MNP 处理比播前仅下降 6.3%。

#### 2.4.3 土壤速效磷含量变化

在不施肥情况下,速效磷含量减少。经过作物不断吸收利用,已经检测不出。施磷处理,速效磷明显提高,单施磷比播前增加 6.2mg/kg,增长率 344.4%,有机肥或有机肥与氮磷配合,其含量增幅小于化肥磷处理。

### 3 小 结

(1)从培肥土壤的观点出发,必须坚持有机肥与化肥配合施用,配施有明显的增产效果。单施有机肥,产量保持一定的水平,但增产效果不如氮磷配施,而优于化肥单施。

(2)黄绵土施磷效果优于施氮,在有机肥源不足时,氮肥与磷肥应配合施用,切忌氮肥单施。且  $N \times P$ ,  $M \times N$ ,  $N \times P \times M$  交互作用十分明显,作物对养分的吸收利用与产量结果相一致。

(3)合理利用土地,修建基本农田,防止水土流失,压缩坡地面积,退耕的土地造林种草,发展林果和养殖业,增加经济收入,增加有机肥源。

#### 参 考 文 献

- 1 郑剑英等.黄绵土长期施肥后效及对土壤养分的影响.水土保持学报,1994(2):
- 2 郑剑英.不同肥力黄绵土在施肥条件下的土壤供 N,P 能力和 N,P 肥效应.水土保持学报,1994(4):
- 3 吕家珑,李祖荫.旱地土壤培肥研究.西北农业大学学报,1993,增刊
- 4 李生秀,赵伯善.有机肥与化肥的合理配合.干旱地区农业研究,1993,增刊
- 5 赵更生,郑剑英等.陕北黄土丘陵区土壤中的物质循环与粮食生产关系的研究.水土保持学报,1993(3):