

黄土丘陵区长期施用氮磷肥效应及平衡特征*

郑剑英 吴瑞俊 翟连宁

(中国科学院水土保持研究所,陕西杨陵 712100)
(水利部)

摘 要 以 1983~ 1992 年的田间试验结果和室内分析资料为依据,探讨了黄土丘陵区长期施用氮磷肥效应及平衡特征. 结果表明:产量对长期施肥反应明显,不同作物在不同土地类型上,均以配施效果好而稳定. 作物吸 N、P 量与产量规律一致,但随施肥时间延长,吸 N、P 量呈递减趋势. 平衡结果表明: N、P 配施土壤 N 素亏损,川地 P 素盈余,有机无机配合, N 素均有盈余. 坡地由于水土流失,除 MNP 处理外,土壤 P 素均处亏损状态. 由此得出,坡地应控制水土流失,提高土壤肥力.

关键词 氮肥,磷肥,长期施肥,肥效,养分平衡,黄土丘陵区

中图分类号 S143. 1, S143. 2

黄绵土是黄土丘陵区的主要耕种土壤. 其特征为土层深厚,土质疏松,且层次发育不明显,保肥保水性能差. 土壤养分贫乏,有机质含量为 3. 0~ 7. 0 g kg⁻¹,全氮 0. 38~ 0. 06 g kg⁻¹,碱解氮 25. 6~ 38. 5 mg kg⁻¹,速效磷 2. 1~ 4. 0 mg kg⁻¹. 加之该区属地多人少地区,由于物质输入少,广种薄收,耕作粗放,产量低而不稳. 因此,改土培肥就成为提高黄绵土生产力的重要措施. 1983~ 1992 年我们在安塞县茶坊试区根据不同类型土地,布设了不同肥料的长期定位试验. 根据多年试验研究结果,对黄土丘陵区长期施用氮磷肥效果及其平衡特征予以探讨. 旨在为长期合理施肥提供科学依据.

1 材料与方

试验布设在安塞县沿河湾镇拉平川连续 8 年施用不同肥料的川地,以及峙峪山先村连续 10 年施用不同肥料坡地上,试验地均为黄绵土,旱作. 土壤农化性状如表 1.

表 1 试验地土壤农化性状

土地类型	有机质 (g kg ⁻¹)	全 氮 (g kg ⁻¹)	全 磷 (g kg ⁻¹)	碱解氮 (mg kg ⁻¹)	速效氮 (mg kg ⁻¹)	速效磷 (mg kg ⁻¹)
坡地	4. 10	0. 39	0. 59	23. 8	10. 0	2. 10
川地	7. 70	0. 66	0. 62	38. 5	17. 0	3. 53
梯田	4. 49	0. 42	0. 66	24. 3	-	4. 30

坡地等共 7 个处理:对照 (CK),磷肥 (P),氮肥 (N),氮+ 磷肥 (NP),有机肥 (M),有机肥+ 氮肥 (MN),有机肥+ 氮+ 磷 (MNP);川地另加有机肥+ 磷肥 (MP)处理. 3 次重复. 坡地施有机肥 7 500 kg hm⁻² a⁻¹,尿素 114 kg hm⁻² a⁻¹,三料磷肥 (含 P₂O₅ 46%) 57 kg hm⁻² a⁻¹. 川地施有机肥 15 000 kg hm⁻² a⁻¹,尿素 195 kg hm⁻² a⁻¹,

收稿日期: 1996-09-24

* 国家“八五”攻关项目

三料磷肥 $97.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. 坡地作物为谷子— 荞麦— 谷子— 糜子; 年为一轮作周期; 川地作物为谷子— 玉米, 2 年为一轮作周期

试验前采表土 (0~ 20 cm) 进行土壤全氮 (半微量凯氏法), 碱解氮 (蒸馏比色法), 有机质 (丘林法), 速效磷 (Olsen 法), 全磷 (钼兰法) 的分析。

每年作物收后, 按不同植株部位分别测定全氮和全磷 (硫酸-高氯酸消化, 半微量凯氏法测氮, 钼兰法测磷)。

2 结果与讨论

2.1 氮磷肥长期施用效应

2.1.1 不同类型土地施用氮磷肥与产量的关系 黄土丘陵沟壑区, 土地类型复杂多样, 以水土流失和人为因素为主要成土过程的黄绵土, 由于土地利用状况和水蚀强度的不同, 导致土壤肥力的差异, 总的趋势为川地 > 梯田土壤肥力高于塌地和坡地。在这种肥力极不均的情况下, 进行氮磷肥效试验, 其效果必然有所不同。表 2 表明, 谷子对不同肥料的反应以川地产量最高, 梯田次之, 坡地产量最低。而在不同土地利用类型上, 氮磷肥效的增产效果基本一致, 即以 MNP 处理产量最高, MN, MP 和 NP 配施次之, 以氮、磷单施产量最低。与对照相比, 其不同肥料的增产趋势为梯田 > 塌地 > 坡地 > 川地。

表 2 不同类型土地上谷子施肥与产量的关系 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

处理	川 地		梯 田		塌 地		坡 地	
	产量	比 CK 增产%	产量	比 CK 增产%	产量	比 CK 增产%	产量	比 CK 增产%
MNP	4590	46.4	4028	225.5	3141	120.0	2492	109.2
MN	4305	37.3	3225	197.0	2820	97.9	2121	78.1
MP	4048	29.1						
M	3423	9.2	2445	97.6	1860	30.5	1416	8.9
NP	4544	44.9	3660	195.8	2640	85.3	2067	73.6
N	3878	23.7	3420	176.4	2490	74.4	1416	18.9
P	3687	17.6	1429	15.5	1440	1.1	1309	10.0
CK	3135		1238		1425		1191	

2.1.2 不同作物对氮磷肥的反应 黄土丘陵区, 作物种类丰富, 尤以玉米、谷子、黄豆、荞麦和糜子种植面积较大, 约占秋粮作物种植面积 87% 以上。表 3 表明, 在施肥一致情况

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

处理	川地谷子 ¹⁾		川地玉米 ²⁾		坡地谷子 ³⁾		坡地荞麦 ⁴⁾		坡地糜子 ⁵⁾	
	产量	增产%	产量	增产%	产量	增产%	产量	增产%	产量	增产%
MNP	3518	67.1	7590	244.2	1862	196.9	884	554.4	1617	485.9
MN	4704	123.5	5963	170.4	1482	136.4	645	377.8	1314	376.1
MP	2930	39.2	4788	171.2						
M	2574	22.4	4343	96.9	906	44.5	333	146.7	728	163.6
NP	3336	58.5	6383	189.5	1362	117.2	827	512.2	1251	353.3
N	2447	16.3	2853	29.4	657	5.0	138	2.2	291	5.4
P	2537	20.5	3834	173.9	854	36.1	368	172.2	542	76.2
CK	2105		2205		627		135		276	

注: 1) 年平均产量; 2) 年平均产量; 3) 年平均产量; 4) 年平均产量; 5) 年平均产量。

下, MNP处理玉米产量最高,降水利用率超过 $1\text{ kg}\cdot\text{mm}^{-1}$ (生育期降水量不足 500 mm), 荞麦产量最低,同一 MNP处理其产量仅相当于玉米产量的 1/9,远低于玉米不施肥处理,川地谷子产量显著高于坡地,但氮、磷肥增产效果不一;川地谷子氮磷肥增产效果相当,相差仅为 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$.坡地施磷效果大于施氮,施氮与对照相当,坡地荞麦、糜子均呈类似规律.表明在坡耕地不应进行氮肥单施,应与磷肥配合施用,其效果十分显著.

2.2 长期施肥与作物轮作周期吸氮磷量的关系

作物产量指标难以准确反映作物对土壤 N、P养分的吸收,而作物实际吸收的 N、P养分才能反映对该养分的需求.长期不同施肥处理对作物吸 N、P的影响规律与产量规律基本吻合,即配施比单施吸 N、P量大,且吸 N、P量随作物轮作周期的延长呈周期递减趋势.长期施氮处理,作物吸氮量与施磷处理相当,由于土壤中 N、P比例失调,进而影响了作物对 P素的吸收.而长期单施 P、M,作物周期对土壤中 P素的吸收与不施肥相比也比 N素的吸收量高.这也表明在 P素极缺的黄绵土上,单施 N没有增产效果的主要原因是限制了作物对土壤 P素的吸收,克服这种现象的有效办法之一,则是增施磷肥.

表 4 长期施肥与作物轮作周期吸 N、P量的关系								$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$
轮作周期		CK	P	N	NP	M	MN	MNP
吸 N量	第一轮作周期*	55.9	67.3	64.5	117.3	70.9	112.9	144.3
	第二轮作周期	33.7	42.3	44.1	113.5	50.2	123.3	140.8
	第三轮作周期	17.1	30.3	33.1	87.7	36.0	89.2	115.2
	总吸N量	106.8	139.9	141.7	318.6	157.1	325.4	325.3
	周期递减%	44.9	32.9	28.4	13.5	28.8		10.7
吸 P量	第一轮作周期	7.7	11.7	5.8	15.8	11.8	19.7	22.3
	第二轮作周期	3.7	9.5	3.4	12.6	9.9	16.3	19.7
	第三轮作周期	2.0	5.5	2.7	10.6	7.1	8.3	15.9
	总吸P量	13.4	26.8	11.9	38.9	28.8	44.3	57.8
	周期递减%	48.9	31.4	32.2	18.0	22.7	35.3	15.5

注: * 轮作方式为谷子—荞麦—谷子—糜子, 4年为一轮作周期.

2.3 氮磷肥长期施用平衡特征

2.3.1 不施肥产量递减 在无氮磷肥投入情况下,作物生长发育仅依靠土壤提供的养分时,其产量逐年递减(表 5).为消除气候因子的影响,以最高产量(MNP)作为 100,计算无

表 5 1983~ 1992年不施肥时作物产量的变化										$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$
年份	川地				坡地					
	谷子		玉米		谷子		荞麦		糜子	
	产量	%*	产量	%*	产量	%*	产量	%*	产量	%*
1983	3135	68.3			1191	47.3				
1984			2691	35.0			192	18.1		
1985	1947	58.8			909	42.4				
1986			1781	27.9					188	22.7
1987	1287	65.0			420	29.3				
1988			2460	31.9			99	14.6		
1989	1706	49.0			336	20.2				
1990			1887	22.0					336	15.1
1991					309	18.2				
1992							115.5	14.8		

注: * 无肥区实际产量/MNP产量 $\times 100$

肥小区的相对产量,结果表明除个别年份外,均呈递减趋势.较肥沃的川地平均每料谷

子递减 6.4%,玉米递减 4.5%,肥力较差的坡地谷子递减 5.9%,最后两料稳定在 300 kg·hm⁻²;荞麦第一料递减 19.3%,相对产量稳定在 220 kg·hm⁻²左右;糜子递减 33.5%。表明谷子能忍耐较长久的土壤瘠贫,而荞麦、糜子较差,川地土壤抗逆能力比坡地强

2.3.2 川旱地氮磷养分循环平衡特征 表 6表明,土壤养分的输入主要以肥料输入为主,种子及降水带给土壤的养分甚微。而在养分输出中,作物各部位从土壤中带走的养分占主导地位,且与氮磷肥的输入呈正相关。N 素的挥发及反硝化损失约占养分输出的 23.5%~30%,这是黄绵土氮肥利用率不高的一个重要原因。有机肥单施或与氮肥、氮磷肥配施,其 N 素在土壤中略有盈余,而在纯化肥氮磷配施中,土壤 N 素有亏损,其主要原因是由于 N 素的挥发及反硝化损失所造成。表明有机肥对黄绵土培肥具有重要意义。磷肥的施入,在 pH 高达 8.0 以上的黄绵土,有效磷易被固定,形成 Ca-P 结合态。因此除对照外,其余处理土壤磷素均有盈余,以 MNP 处理盈余最高,年盈余为 47.05 kg·hm⁻²。同时表现为有机肥与化肥配施盈余大于纯化肥配施。

表 6 川地养分平衡 kg·hm⁻²·a⁻¹

处理	养分	输入量			合计	输出量			盈亏	
		有机肥	化肥	种子		地上部携出量	N 挥发及反硝化损失 ^[5]	合计	年平均	谷子、玉米 8 年累计
MNP	N	61.35	88.20	0.38	153.52	108.75	33.45	142.20	11.33	90.60
	P ₂ O ₅	38.40	41.22	0.11	80.06	33.00		33.00	47.06	376.44
MN	N	61.35	88.20	0.38	153.52	99.83	42.75	142.57	10.95	87.60
	P ₂ O ₅	38.40		0.11	38.87	23.96		23.95	14.91	113.88
M	N	61.35		0.38	65.33	58.05		58.05	7.28	58.20
	P ₂ O ₅	38.40		0.11	38.87	20.93		20.93	17.94	143.45
NP	N		88.20	0.38	92.18	92.70	37.95	130.15	-38.48	-307.80
	P ₂ O ₅		41.20	0.11	41.66	26.12		26.12	15.54	124.32
CK	N			0.38	3.98	47.25		47.25	-43.28	-346.20
	P ₂ O ₅			0.11	0.47	11.22		11.22	-10.76	86.04

注:降水输入 N 3.6 kg·hm⁻²; P₂O₅0.36 kg·hm⁻²。

2.3.3 坡旱地氮磷养分循环平衡特征 表 7表明,坡旱地 N 素平衡基本规律与川地一

表 7 坡地养分平衡 kg·hm⁻²·a⁻¹

处理	养分	输入量			合计	输出量				合计	盈亏	
		有机肥	化肥	种子		地上部携出量	N挥发及反硝化损失	泥沙携出量	径流携出量		年平均	谷子、玉米8年累计
M N P	N	22.20	52.35	0.57	78.72	31.95	26.90	7.85 ^[4]	0.45 ^[4]	67.22	11.51	92.04
	P ₂ O ₅	16.80	24.70	0.20	42.06	11.61		24.03	0.06	35.70	6.36	50.88
M N	N	22.20	52.35	0.57	78.72	27.57	34.77	8.00	0.45	70.78	7.94	63.52
	P ₂ O ₅	16.80		0.20	17.35	6.68		24.05	0.06	30.72	-13.37	-106.96
M	N	22.20		0.57	26.37	15.57		7.58	0.45	23.60	2.78	22.20
	P ₂ O ₅	16.80		0.20	17.35	6.02		24.03	0.06	30.11	-12.75	-102.00
N P	N		52.35	0.57	56.52	28.55	31.88	7.85	0.45	68.72	-12.20	-97.56
	P ₂ O ₅		24.70	0.20	25.26	8.03		24.03	0.06	32.12	-6.86	-54.54
CK	N			0.57	4.17	13.40		7.58	0.45	21.03	-16.86	-134.88
	P ₂ O ₅			0.20	0.56	2.93		31.38	0.06	34.37	-33.81	-290.48

注:降水输入 N 3.6 kg·hm⁻²; P₂O₅0.36 kg·hm⁻²。

致,即有机肥输入 N 素积累,积累量与川地差别不大,纯化肥 N、P 配施 N 素亏损,其亏损

量小于川地。与川地不同的是多了水土流失这个通道,在这个通道中径流携出的养分甚微,但泥沙输出的养分不容忽视。在 MNP, MN, NP 3 个处理中,泥沙携出养分占总输出养分的 11.3% ~ 11.7%。在不施肥条件下,泥沙携出量占总输出量的 36%。磷素平衡结果表明,除 MNP 处理略有盈余外,其余处理均处亏损状态,泥沙携出量比作物地上部养分携出大 1~10 倍,作物携出量为有效成分,泥沙携出以缓效和无效成分为主,但从整个土壤库来讲,磷素贮量降低了。因此,要培肥坡耕地土壤就要控制水土流失。

参 考 文 献

- 1 郑剑英,赵更生,吴瑞俊.黄绵土连续施肥下的肥料效应.水土保持通报,1990(2): 8~15
- 2 郑剑英,吴瑞俊,翟连宁.连续施用有机肥与化肥对黄绵土的培肥效应.水土保持研究,1996(2): 18~22
- 3 卢宗凡,赵更生,郑剑英.水土保持农业增产体系的研究.水土保持学报,1990(2): 66~74
- 4 王继增,彭琳,余存祖.侵蚀条件下黄绵土氮素流失规律的研究.水土保持研究所集刊,1990(12): 95~102
- 5 张卫,黄建英.有机绿肥和无机化肥中的氮素在小麦—土壤系统中的转化与分配.土地资源与生产力研究,见:西北水保所主编.北京:科技文献出版社,1991.176~182
- 6 赵更生,郑剑英,吴瑞俊.陕北黄土丘陵区土壤中物质循环与粮食生产关系的研究.水土保持学报,1993(1): 81~91

The Long Term Application Effects and Balance Characteristics of Nitrogen and Phosphorous in Loessial Hilly Regions

Zheng Jianying Wu Ruijun Zhai Lianning

(Institute of Soil and Water Conservation, Ministry of Water Resources
and CAS, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract The effects and balance properties of long-term nitrogen and phosphorous application in loessial hilly regions are explored in this paper based on field experiments and lab analysis from 1983 to 1992. The result indicates that there is a close correlation between the long-term application and yields, and that all crops, planted in any type of soils, have stable yields with effective nitrogen and phosphorous application. The amount of N and P taken up by crops is in conformity with yield production, while the taken-up N and P quantity decreases along with an extension of application time. The balance analysis shows that, with a compound application of N and P, there is a lack of nitrogen in soil and a surplus of phosphorous in valley field and that, with a combination of organic and inorganic use, a surplus of nitrogen is obvious. Besides the MNP treatment, there exists a lack of phosphorous on slanting land due to soil and water erosion. It is therefore concluded that there is a need of soil and water control on slanting land for the purpose of improving soil fertility.

Key words nitrogen, phosphorous, long-term fertilization, fertilizer efficiency, nutrient balance, loessial hilly region