

提高黄土高原旱地抗逆减灾能力的肥料定位试验研究

樊廷录

(甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070)

摘 要: 黄土旱塬连续 5 年的定位试验结果表明, 单施有机肥能增加土壤有机质及全氮含量, 随施用年限延长, 作物产量呈上升趋势; 单施氮肥易造成土壤磷失调, 单加磷则造成氮失调; 氮磷肥配施增产效果显著, 并有较好的培肥作用; 有机肥与氮磷肥配合施用具有较好的增产和土壤培肥作用, 是提高旱地抗逆减灾能力的关键。

关键词: 黄土高原; 抗逆减灾; 肥料定位试验

中图分类号: S 147.2      文献标识码: A      文章编号: 1005-3409(2003) 01-0006-03

Fixed Fertilization Experiment on Stress Tolerance and Reducing Disasters in Dryland of Loess Plateau

FAN Ting-lu

(Dryland Agricultural Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

**Abstract:** The results of a five-years fixed experiment showed that manure could increase soil organic matter and total nitrogen, and the crop yield went up with the year forward of fertilization. Single nitrogen fertilizer made the imbalance of soil phosphorus and single phosphorus fertilizer caused the imbalance of soil nitrogen. The combination of nitrogen and phosphorus could increase crop yield and enrich soil fertility significantly, the combination of manure, nitrogen, and phosphorus has the same effect as well as good soil betterment. So it is suggested that the combination of different fertilizers is the key to stress tolerance and reducing disasters in Loess Plateau.

**Key words:** Loess Plateau; stress tolerance and reducing disasters; fixed experiment

土壤培肥是持续提高旱地农田生产力的基础。施肥则是土壤培肥中最重要的农艺措施。为了明确连续施肥条件下肥料及其组合对土壤养分状况及作物产量的影响, 甘肃农科院在陇东黄土旱塬进行了连续 5 年的旱地土壤施肥培肥的田间定位试验。

1 试验方法

试验设在陇东高原半湿润偏旱区的镇原县上肖乡的旱塬地。海拔 1 297 m, 年均温 8.3℃, 年均降雨量 502 mm, 年均蒸发量 1 638.3 mm, 无霜期 160 d 左右。供试土壤均为覆盖黑垆土, 耕性良好, 蓄水保墒性能强, 属土壤养分缺乏区。

试验分设 A、B 两个点: 每个点均设 8 个处理, 即 (1) 不施肥料 (CK); (2) 施氮肥 (N); (3) 施磷肥 (P); (4) 施氮磷配肥 (NP); (5) 施有机肥 (M); (6) 施有机肥加氮肥 (MN); (7) 施有机肥加磷肥 (MP); (8) 施有机肥加氮磷肥 (MNP)。小区面积 4 m × 6.67 m, 2 次重复。试验前耕层土壤的养分平均含量为: 有机质 10.97 g/kg、全氮 0.89 g/kg、碱解氮 62 mg/kg、有效磷 8.40 mg/kg、有效钾 248 mg/kg。试验用有机肥为当地土粪, 有机质含量 19.6 g/kg、全氮 1.04 g/kg, 速效

N、P、K 含量分别为 130、32.8 和 1 241 mg/kg。氮肥用尿素 (含 N 46%), 磷肥用普通过磷酸钙 (含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 11.0%)。试验第一季指示作物为春玉米, 第二、三、四、五季均为冬小麦。春玉米的施肥量为每 1 hm<sup>2</sup> 施有机肥 75 000 kg、N 240 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 180 kg; 冬小麦的施肥量为每 1 hm<sup>2</sup> 施有机肥 60 000 kg、N 120 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg。有机肥和磷肥均做基肥结合播前整地一次施入; 氮肥 70% 做基肥, 30% 做追肥, 其余管理同大田。

土壤农化性状测定均为常规法。

2 试验结果及分析

2.1 不同处理对耕层土壤养分的影响

2.1.1 有机质含量 土壤有机质含量变化直接反映出土壤肥力的高低。表 1 结果表明连续施肥 5 年后, 无肥区或单施某种化肥处理, 土壤有机质变化不明显, 试验后与试验前比较, 无肥区和单施磷处理区的土壤有机质略有减少, 单施氮处理区土壤有机质稍有提高, 前者减少 0.3 g/kg, 后者提高 0.2 g/kg; 氮磷配施处理区土壤有机质比试验前增加 0.6 g/kg; 化肥与有机肥配合施用处理的土壤有机质明显高于试验

\* 收稿日期: 2002-11-25  
基金项目: 国家科技攻关 (2001BA508B18)。  
作者简介: 樊廷录 (1965-), 男, 甘肃临洮人, 农学博士, 研究员, 主要从事旱地耕作制度研究工作。

前, 比试验前增加 1.1 ~ 1.6 g/kg, 比化肥处理提高 1.0 ~ 0.7 g/kg。说明土粪虽然有机质含量有限( 19.6 g/kg), 但连续施用在保持和提高土壤有机质含量方面的作用是不可忽略的。

2.1.2 耕层全氮、碱解氮含量 由于对照和单施磷处理无氮素投入, 因而连续多年施用后土壤氮素明显减少。与试验前相比, 种植 5 季作物后的土壤全氮含量分别减少了 0.05 g/kg 和 0.02 g/kg, 碱解氮含量分别减少了 11.9 mg/kg 和 7.0 mg/kg。凡施氮处理, 土壤全氮含量均明显增加, 无机氮肥单施或与磷肥配施处理, 土壤全氮含量分别增加了 0.02 g/kg 和 0.05 g/kg; 碱解氮含量分别增加了 12.5 mg/kg 和 15.1 mg/kg; 有机肥与无机氮肥或无机氮磷肥配施处理时, 全氮、碱解氮含量分别增加了 0.07 g/kg、0.08 g/kg 和 9.3 mg/kg、11.4 mg/kg。因此, 施用无机氮肥或有机与无机肥配合施用, 对提高土壤氮素含量均有一定作用, 尤其对提高土壤碱解氮含量效果显著。

2.1.3 有效磷、有效钾含量 从表 1 结果看出, 不管施用有机肥与否, 凡施用无机磷肥者, 土壤有效磷含量均提高。如 P、NP、MP、MNP 等 4 处理试验后比试验前依次提高了 248.1%、171.1%、406.3% 和 189.5%。而不施磷肥者土壤消耗较多, 如 CK、N、M 和 MN 四处理速效磷含量则分别减少了 27.2%、45.4%、12.85% 和 138%。

连续施用有机肥料对提高土壤有效钾含量有较大作用, 而不施有机肥时则 4 个处理(CK、N、P、NP) 土壤有效钾含量分别下降到 175, 175, 185 和 180 mg/kg, 比试验前降低 27.75% ~ 30.2%。施有机肥的 4 个处理( M、MN、MP、MNP) 却增高到 275, 270, 270 和 260 mg/kg, 比试验前提高了 7% ~ 11.3%。前者平均 178.8 mg/kg, 后者平均 268.8 mg/kg, 比前者提高 50.3%。施用有机肥提高土壤速效钾含量的原因, 主要与当地土粪中含钾量较高( 1 241 mg/kg) 有关。

土壤阳离子交换量的大小, 是土壤供肥保肥性能的重要标志。通过连续 5 年试验, 除无肥区土壤阳离子交换量保持原有水平外, 其余各不同处理代换量的数值比试验前均有不同程度的增加。

2.2 不同处理对作物产量的影响

产量是土壤肥力的综合反映。不同施肥处理对土壤肥力诸因素的影响必然要反映到作物产量的变化上。黄土旱塬区常受到干旱的威胁, 在这种特定气候条件下, 进行不同肥料

品种的定位试验, 在不同降水年份必然会产生不同的效应。不同作物各年度的产量结果见表 2。

在两个试验点上, 不管是无机肥料还是有机肥料, 及分别单独施用还是配合施用, 都有增产效果。对第一季春玉米来说, 在不施有机肥条件下, 单施氮肥处理平均增产 49.1%, 1 kgN 增产玉米 9.7 kg; 单施磷肥处理平均增产 38.5%, 1 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产玉米 10.2 kg, 氮磷配合施用处理平均增产 69.3%; 单施有机肥处理平均增产 14.7%, 1 000 kg 肥料增产玉米 9.3 kg; 在施有机肥基础上增施氮肥、磷肥或氮磷肥的处理时, 与无肥区比较, 平均增产率分别为 56.1%、50.0% 和 79.7%, 效果明显高于化肥单施或配施。方差分析结果表明, 各施肥处理对玉米产量的影响达极显著水平(  $F = 39.53^{**} > F_{0.01} = 16.26$ )。

第二、三季冬小麦对各种施肥处理增产趋势和玉米有所不同: 单施氮肥处理的增产效果明显提高, 增产率平均为 115.4%, 1 kgN 平均增产小麦 13.7 kg; 单施磷肥处理的效果则明显降低, 增产率平均为 6.0%, 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 平均增产小麦仅为 0.94 kg。和玉米试验相比, NP 肥之间的交互作用特别突出, 配合施用的平均增产率高达 240.2%, 在有机肥基础上施用 N 肥、P 肥和 NP 肥时, 平均增产率分别为 146.6%、40.7% 和 266.9%, 仍然是化肥与有机肥合理配施效果最好。但就每 1 kg 养分的增产量而言, 仍以 N 肥为高, 1 kgN 增产小麦 15 kg, 1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 只增产小麦 3.1 kg。

试验进行到第四和第五年( 1995 年、1996 年) 时, 遇到了严重的干旱年份, 土壤底墒极度亏缺( 播前 2 m 土层贮水为 329.4 mm 和 262.9 mm), 并且冬小麦生育期内降雨量减少( 150 mm 和 203 mm), 肥料效应已得不到正常发挥, 即水分变为作物生长的限制因素, 致使所有施肥处理的产量较正常年份明显降低, 单施氮肥平均增产仅为 11.4%, 单施磷肥不仅无增产, 反而比无肥区减产 12.7%, 其原因是由于连续单施磷肥而无氮肥投入, 造成土壤氮磷比例严重失调所致。氮磷配合施用的增产率为 41%, 仅占该处理 1993 ~ 1994 年平均增产率的 1/6。同样化肥与有机肥配施, 其在干旱年份不如丰水年份好, 但表现趋势完全与丰水年份相一致, 即仍以有机肥与氮磷肥配合施用的处理产量较高。对 1993 ~ 1996 年冬小麦增产效果进行方差分析, 其结果  $F = 39.34^{**} > F_{0.01} = 3.98$ 。并对各个处理进行 LSD 多重比较, 除施磷处理减产外, 其它施肥处理均达显著或极显著水平。

表 1 不同处理耕层(0 ~ 20 cm) 土壤有机质及养分含量

处理	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )		全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )		碱解氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )		有效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )		有效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )		阳离子交换量/ (cmol · kg <sup>-1</sup> )	
	试验前	第 5 季收后	试验前	第 5 季收后	试验前	第 5 季收后	试验前	第 5 季收后	试验前	第 5 季收后	试验前	第 5 季收后
CK	11.0	10.7	0.89	0.84	66.0	54.1	9.2	6.7	242	175	11.0	11.0
N	10.9	11.1	0.87	0.89	63.5	76.0	8.8	4.8	245	175	11.0	12.0
P	11.2	10.9	0.90	0.88	60.4	53.4	7.7	26.8	255	185	9.0	13.0
NP	11.2	11.8	0.90	0.95	57.6	72.7	9.1	25.7	258	180	9.0	14.0
M	10.8	11.7	0.86	0.89	63.7	53.3	7.8	6.8	247	275	10.0	12.0
MN	10.8	12.1	0.84	0.91	63.0	72.3	8.0	6.9	245	270	9.0	13.0
MP	10.8	11.9	0.90	0.95	63.0	63.7	8.0	40.5	245	270	10.0	11.0
MNP	10.9	12.5	0.92	1.00	58.5	69.9	8.6	24.9	243	260	10.0	11.0

表 2 不同处理对作物产量的影响												kg/ hm <sup>2</sup>
处理	春 玉 米( 1992)			冬小麦( 1993)		冬小麦( 1994)		冬小麦( 1995)		冬小麦( 1996)		小麦
	北庄	赵塬	平均	北庄	赵塬	北庄	赵塬	北庄	赵塬	北庄	赵塬	平均
CK	4647. 0	4875. 0	4761. 0	1245. 0	1504. 5	1462. 5	1477. 5	1335. 0	1479. 0	1422. 0	1167. 0	1329. 0
N	6592. 5	7599. 0	7096. 5	3240. 0	3630. 0	2404. 0	2977. 5	1500. 0	1680. 0	1125. 0	1215. 0	2221. 5
P	6232. 5	6957. 0	6596. 5	1392. 0	1549. 5	1395. 0	1687. 5	1230. 0	1272. 0	900. 0	922. 5	1293. 0
NP	7375. 5	8749. 5	8058. 0	5629. 5	5872. 5	4429. 5	3960. 0	2250. 0	2002. 5	1341. 0	1395. 0	3292. 5
M	5340. 0	5581. 5	5461. 5	1500. 0	1897. 5	1867. 5	1530. 0	2100. 0	2212. 5	1335. 0	1542. 0	1747. 5
M N	6814. 5	8047. 5	7431. 0	3541. 5	4152. 0	3270. 0	3037. 5	1837. 5	2040. 0	1177. 5	1387. 5	2556. 0
MP	6336. 0	7467. 0	6901. 5	2197. 5	2422. 5	1687. 5	1620. 0	1717. 5	2385. 0	1071. 0	1215. 0	1789. 5
MNP	7918. 5	9162. 0	8541. 0	6045. 0	6225. 0	4245. 0	4387. 5	2259. 0	2413. 5	1761. 0	1537. 5	3609. 0

2.3 不同处理对作物水分利用率的影响

作物对土壤水分的利用率,通常用田间耗水量、耗水系数和水分生产率作指标来衡量。作物的总耗水量,由叶面蒸腾和地面蒸发两部分组成,即把农田水分蒸腾和蒸发的总量称为田间总耗水量。每生产 1 kg 粮食消耗的水量(kg),称为作物的耗水系数。每 1 m m 水量生产粮食的数量(kg)称为水分生产效率或水分利用率。试验表明,旱地施肥在提高产量的同时,提高了对水分的利用率,起到以肥调水的作用。但由于不同施肥处理对不同作物增产效果不同,它们对水分利用率影响也不同。从表 3 结果分析看出,施肥对提高旱地作物

的水分生产效率具有明显作用,且春玉米的作用大于冬小麦;化肥与有机肥配施的作用大于化肥单施。如 MNP 处理与无肥区比较,可使冬小麦耗水系数降低 59.3%,水分利用率提高 142.9%、春玉米耗水系数降低 44.1%,水分利用率提高 79.2%;NP 处理冬小麦耗水系数降低 56.7%,水分利用率提高 128.6%,春玉米耗水系数降低 40.1%,水分利用率提高 68.8%。无论春玉米还是冬小麦,总的反映出 MNP 配施效果优于 MN 和 MP;NP 配施优于单施 N 和单施 P,单施有机肥的作物之间,在春玉米上的效果大于冬小麦。

表 3 不同施肥处理对作物水分利用率的影响(平均值)

	CK	N	P	NP	M	MP	M N	MNP
春 玉 米								
产量/( kg · h m <sup>-2</sup> )	4761. 0	7096. 5	6595. 5	8058. 0	5461. 5	6901. 5	7431. 0	8541. 0
耗水量/mm	411. 5	409. 5	408. 3	412. 5	415. 1	409. 8	412. 1	412. 8
耗水系数/( kg · k g <sup>-1</sup> )	864. 4	577. 1	619. 1	511. 9	760. 1	593. 8	554. 6	483. 3
水分利用率/( kg · m m <sup>-1</sup> · h m <sup>-2</sup> )	11. 6	17. 4	16. 2	19. 5	13. 2	16. 8	18. 0	20. 7
冬 小 麦								
产量/( kg · h m <sup>-2</sup> )	1329. 0	2221. 5	1293. 0	3289. 5	1747. 5	1789. 5	2556. 0	3609. 0
耗水量/mm	318. 9	334. 0	296. 8	341. 7	336. 0	340. 6	347. 3	352. 3
耗水系数/( kg · k g <sup>-1</sup> )	2399. 7	1053. 6	2398. 5	1038. 8	1942. 8	1903. 4	1358. 8	976. 2
水分利用率/( kg · m m <sup>-1</sup> · h m <sup>-2</sup> )	4. 2	6. 6	4. 35	9. 6	5. 1	5. 25	7. 35	10. 2

3 结 论

(1)黄土高原地区水肥具缺,在目前技术条件下人工对降水数量尚难以调控,施肥就成了增强旱地农田抗逆减灾能力的核心。增加氮肥、磷肥均有明显的抗逆增产效果,但不宜长期单施,尤其磷肥不宜长期单施。随着有机肥施用年限的增加,农田抗逆能力增强。在有机肥基础上施用氮肥、磷肥或氮磷肥时,其效果均高于无机肥料单独施用,是培肥地力、提高产量和水分利用效率的重要农艺技术措施。

(2)从定位施肥 5 年的土壤肥力变化来看,旱地单施化肥也可提高土壤有机质含量,但提高幅度远没有与有机肥料配合应用时的大,同时氮肥单施易造成土壤磷失调,磷肥单施也易造成土壤氮失调,只有氮磷配合或氮磷肥与有机肥配合施用时,才能保证养分平衡和提高土壤肥力水平。

(3)不同施肥处理对提高水分利用率的作用不同,其作用大小顺序依次为 MNP> NP> MN> N> MP> M> P。

参考文献:

[ 1] 郑剑英,吴瑞俊. 陕北坡地长期施肥放应及土壤肥力变化[ J] . 水土保持通报, 1995, 15(5): 14– 18.

[ 2] 张兴高,崔明九,武天云,等. 旱塬土壤施肥培肥技术研究[ A] . 王吉庆. 陇东高原半湿润偏旱农业综合发展研究[ C] . 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1995. 148– 155.

[ 3] 王生录,武天云. 有机肥与无机肥结合施用对旱塬冬小麦产量及土壤肥力的影响[ A] . 中国青年农业科学学术年报[ C] . 北京: 中国农业出版社, 1997. 461– 466.