

水土流失区旱地合理深施肥料的增产效益

辛业全 黄洪海 万惠娥

(中国科学院西北水土保持研究所)

马维新 任维林 陈卫东 张育秦 李宏琴 涂志录

(宁夏回族自治区固原县)

固原县属黄土高原半干旱地区,是水土流失重点县之一。年平均降水量350—550毫米之间,多年(1949—1979年)平均每公顷单产为573.75公斤,降水资源没有得到充分利用。就投肥量来看,在1980年以前,全县平均每公顷投入氮素只有22.5公斤(包括少量化肥在内),按40%的利用率计算,也仅能生产300来公斤粮食。那么,多余的273.75公斤粮食所带走的养分,主要来自土壤的释放。长此下去,土壤肥力水平将逐年下降,粮食单产会低而不稳。为了改变这种局面,必须从调整农田结构入手,改单一的粮食生产为农牧结合的种植制度,改广种薄收为集约经营。在变革种植制度的同时,增施化肥和合理施肥就成为退耕种草和提高单产同步进行的关键措施之一。为此,我们就施肥技术——化肥合理深施、肥料组合、肥料配比等方面进行了试验研究。

一、水土流失区旱地合理深施化肥的增产效益

试验均在固原县彭堡乡西梁旱塬耕地上进行。试验地由于水土流失严重,土壤肥力水平如表1。试验地每公顷施农家肥7.5吨,共设8个处理。在同一施肥水平上的(每公顷折合N、P₂O₅各30或60公斤),4个施肥深度:表施(约5厘米)、15—20厘米、40厘米和60厘米,及同一施肥深度(15厘米)上的4个施肥水平(不施化肥为对照,低肥——每公顷施N、P₂O₅各15公斤,中肥——每公顷各施30公斤,高肥——每公顷各施52.6—60公斤)。3次重复,小区面积为33平方米,前茬为春小麦。

表1 供试土壤的肥力水平

年份	土壤类型	土层深度 (厘米)	全磷 (P ₂ O ₅ %)	全氮 (N%)	有机质 (%)	速效磷 (ppm)	碱解氮 (ppm)
1981	淡黑垆土	0—20	0.14	0.074	1.06	18.3	55.3
		20—40	0.14	0.070	0.98	3.4	17.9
1982	淡黑垆土	0—20	0.12	0.090	1.15	13.2	—
		20—40	0.12	0.087	1.17	9.7	—

(一) 深施化肥对作物产量的影响

1、施肥深度。为了探求适宜的施肥深度，1982年设计了不同施肥深度的试验。从表2中看到，表施（约5厘米）能促进作物苗期或早期的生长，但到中后期，由于表土干旱，就影响到作物的生长发育、养分的吸收、干物质的积累，以及产量和品质下降。但如果施肥深度达到40厘米以下，由于对作物供肥较迟，致使作物贪青晚熟（推迟收获7—10天），甚至青干，使大量的养分积累于茎叶之中，不能向籽粒运转，结果使籽粒产量、千粒重和品质都有明显的下降。试验结果表明，施肥深度以15—20厘米为最合适，既能防止苗期旺长，又可避免肥料过多的损失。这就是肥料的合理深施。

表2 不同施肥深度对春小麦籽粒形成和养分吸收的影响

施肥深度 (厘米)	籽粒产量 (吨/公顷)	千粒重 (克)	粗蛋白的含量 (%)	茎 秆		叶 片	
				N%	P ₂ O ₅ %	N%	P ₂ O ₅ %
表 施	1.16	29.1	12.94	0.26	0.042	0.78	0.081
15	1.36	23.9	14.25	0.28	0.029	0.93	0.036
20	1.40	29.1	14.06	0.17	0.021	0.85	0.067
40	1.05	21.0	13.63	0.58	0.077	1.40	0.13
60	0.76	22.1	13.63	0.55	0.073	1.32	0.11

2、施肥水平。就目前固原的肥力水平和降水情况而言，深施化肥，在一定范围内，产量随着施肥量的增加而提高。另外，不同施肥水平对3种作物的植株高度、穗长和千粒重都有非常一致的影响。在3个处理中，春小麦的千粒重分别比对照增重9.2%、25%和22.7%，糜子分别增重6.4%、9%和7.9%，谷子分别增重6.3%、3.7%和1.5%。在1981年试验的高肥处理中，从分蘖期到抽穗期之间由于植株徒长，过多地消耗了土壤贮存水，造成后期水分不足，满足不了后期发育的需要，使水分转化成为限制作物产量的主导因素而导致减产。而1982年的试验，作物生长前期遇到严重干旱（3—5月上旬，累计降水仅25.5毫米，无一次有效降水），极大地抑制了植株的生长。拔节以后，遇到有效的降水，随着施肥水平的提高，有效地促进了籽粒的形成，产量也有相应的提高。可见，作物营养必须与土壤水分协调起来，才能达到经济用肥、抗旱增产的目的。因此，在干旱或半干旱地区，施肥水平一般不能超过年平均降水量的作物最大生产潜力所要求的需肥量，氮磷施量每公顷以30—45公斤为宜，最高不能超过60公斤。

3、合理深施化肥的增产效果。通过试验证明，深施化肥具有明显的增产效果（表3）。在同一施肥水平条件下，深施比表施，春小麦、糜子和谷子分别增产17.4—26.6%、36.1—49%和58.3%。1983年在上黄和彭堡两地大面积深施化肥的豌豆、春小麦、糜子和谷子的每公顷产量分别达到2,332.7—2,565公斤、2,632.5—3,191.3公斤、3,030—3,195公斤和1,770公斤。

深施之所以能增产，是因为有效地保存了养分不受流失，长期处于较湿润土层的养分也就容易被作物吸收。另外，深施肥料对根系发育具有一定的诱导作用，促使根系向纵深方向发展，有助于提高作物吸水 and 抗旱能力。

(二) 合理深施化肥对产量构成和品质的影响

单位面积产量是由每公顷穗数、穗粒数和千粒重决定的。深施化肥对其产量构成有明显的影
响(表4)。表施由于接近种子,对幼苗期的生长有良好的影响,促进了春小麦和糜子的分蘖,提
高了成穗数。但在半干旱地区,春小麦和糜子的分蘖对其产量构成的影响不是很大的,合理深施
化肥对穗分化以后发育阶段影响较大。例如,春小麦和谷子每穗粒数,合理深施比对照分别提高
了93.3%和75.4%,比表施分别提高了40%和26%。春小麦、糜子和谷子的千粒重,合理深施比
对照分别提高了24.8%、9%和3.7%;比表施也分别提高了12.8%、5.3%和12%。此外,合理
深施化肥对作物籽粒品质也有明显的影响,其粗蛋白质的含量比表施,春小麦、糜子和谷子分别
提高了10%、48.2%和54.6%。

表3 深施化肥的增产效果

年 份	处 理	春 小 麦		糜 子		谷 子	
		产 量 (吨/公顷)	增产 (%)	产 量 (吨/公顷)	增产 (%)	产 量 (吨/公顷)	增产 (%)
1981	表 施	0.94		1.53		1.69	
	深 施	1.19	26.6	2.28	49.0	2.67	58.3
1982	表 施	1.16		0.55			
	深 施	1.36	17.4	0.75	36.1		
1983	大 面 积 表 施	2.63		3.04		1.77	
	深 施	3.19		3.20			

表4 深施化肥对作物产量构成的影响 (1981年)

处 理	春 小 麦			糜 子			谷 子		
	公顷穗数 (万)	穗粒数	千粒重 (克)	公顷穗数 (万)	穗粒数	千粒重 (克)	公顷穗数 (万)	穗粒数	千粒重 (克)
对照	439.5	6.0	30.42	259.0	—	6.7	54.3	741	2.7
表施	471.0	3.3	33.65	259.5	—	6.93	67.5	1,032	2.5
深施	445.5	11.6	37.97	250.5	—	7.30	63.7	1,300	2.8

(三) 合理深施化肥对养分积累和肥料利用率的影响

合理深施化肥,既然在穗分化期以后有利于作物的吸收和利用,也就必然会有利于养分在作
物各器官中的积累,特别是在籽粒中的积累。从表5可以看出,氮和磷在植物体中的积累,合理
深施比表施分别提高了18.4%和20.5%,而籽粒中氮的积累,合理深施比表施也提高了16.9%。
这样就改善了籽粒的品质,并大大提高了肥料的利用率。合理深施处理,氮和磷的利用效率分别

达到了58.7%和16.6%，比表施处理分别提高了16.1%和4.65%。糜子和谷子在合理深施处理中，对氮、磷的利用效率还要高。合理深施化肥改善了作物营养条件，提高了对养分的吸收和利用，同时也促进了光合产物（干物质）的积累（图1）。收获期春小麦干物质的积累，合理深施比表施提高了56.8%。

（四）合理深施化肥对水分利用效率的影响

凡是能提高作物产量的一切措施，都能提高水分利用效率，所以合理深施化肥也就能显著地提高作物的用水效率。从试验中可以明显的看到，在同一施肥水平条件下，合

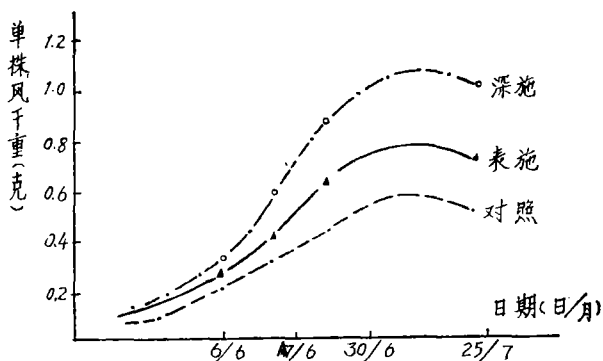


图1 合理深施化肥对春小麦干物质积累的影响

合理深施化肥对春小麦养分积累和肥料利用率的影响 (1981—1982年)

表5

处 理	供分析的 植株部分	含 氮 量 (%)	氮的积累 (公斤/公顷)	氮的利用率 (%)	含 磷 量 (P_2O_5 %)	磷的积累 (公斤/公顷)	磷的利用率 (%)
对 照	叶 片	0.67	0.885		0.068	0.090	
	茎 秆	0.17	2.033		0.021	0.248	
	籽 粒	1.70	10.823		0.65	2.365	
	合 计		13.740			3.203	
表 施	叶 片	0.78	3.063		0.081	0.315	
	茎 秆	0.26	3.240		0.042	0.518	
	籽 粒	2.07	19.950		0.062	5.978	
	合 计		26.253	41.73		6.810	11.95
深 施	叶 片	0.93	4.166		0.086	0.317	
	茎 秆	0.28	3.570		0.029	0.453	
	籽 粒	2.23	23.323		0.670	7.373	
	合 计		31.030	57.8		8.205	16.60

理深施比表施的春小麦、糜子和谷子分别提高用水效率13—22.4%、32—40%和33%。1983年，在河川乡和彭堡乡两地大面积合理深施化肥的春小麦、糜子和谷子，用水效率分别达到了10—10.4、9.9—10和5.5公斤/毫米·公顷。在一定施肥水平（折合N、 P_2O_5 各60公斤/公顷）以内，随着施肥水平的提高，用水效率也相应地提高，两者成极显著的正相关关系，相关系数 $r = 0.9824$ 。施肥水平相互间所表现出的用水效率的差异显著程度为 $\alpha = 0.01$ 水平。

另外，从试验中可以看出，合理深施比表施的春小麦、糜子和谷子多消耗土壤有效水，分别为26.9、19.8和56.4毫米/公顷。春小麦多消耗的土壤有效水的90%来源于0—100厘米深的土层内，而谷子和糜子多消耗的土壤有效水的55—93%都来源于100—200厘米深的土层内，这表明合理深施化肥更能促进糜子和谷子利用土壤深层的水分。

(五) 合理深施化肥的经济效益

合理深施化肥，每公斤尿素或三料磷肥，就能生产4公斤小麦、或7公斤糜子、或11公斤谷子。仅就固原一县来算，推广合理深施化肥的面积已达5.3万公顷，就能增产29.4万吨小麦或5.05万吨糜子或7.69万吨谷子，纯收益一年可达800—1,120万元。

二、肥料组合试验

本试验均在水保所和固原县彭堡乡的西梁、曹洼以及河川乡的上黄等地，采用盆栽和大田试验结合进行。盆栽土壤取自固原上述等地。大田试验地全部施农家肥7.5或15吨/公顷，化肥施用设单施氮、磷，组合施氮磷、氮钾、磷钾、氮磷钾以及不施肥为对照共7个处理，2次重复，小区面积为33平方米。施氮处理均为纯氮30（或60）公斤、施磷处理均为 P_2O_5 30（或60）公斤，以及施钾处理为氧化二钾60公斤/公顷。

(一) 氮磷钾肥配合施用的增产效果

从各年的试验来看，施氮的各处理均有明显地增产效果，特别以氮磷和氮磷钾配合施用，增产更为显著。但是，当土壤速效磷高于15ppm时，单施磷肥增产不显著，特别是当土壤速效氮比较低的情况下，单施磷肥反而会造成长衰减产。在清水河灌区，由于土壤次生盐渍化，当速效磷在20ppm以上时，也表现出极端缺磷，不施磷肥，春小麦一般减产30%以上，严重者会使春小麦成片死亡。

(二) 氮磷两营养元素的相互作用。氮磷两营养元素分别施用，对于作物起着相互促进的作用。施氮能促进作物对磷的吸收，施磷也能促进对氮的吸收。施磷的处理，其茎秆、叶片和籽粒含氮量分别比对照高29.6%、25%和3.5%；而施氮的处理，含磷量分别比对照高39.4%、191.7%和42.1%。这对于全磷含量较高的石灰性土壤（一般全磷含量在0.15%以上），通过合理施用氮肥，促进土壤磷的释放和作物的吸收，具有很大的潜力。

另外，氮磷两元素的配合施用，也起着相互协调的作用，这种相互作用称为连应。连应值大于1为正连应，小于1为负连应，等于1为零连应。在三种作物中，氮磷配合施用，连应显著，连应值多数为1.493—2.574，为中度正连应。这说明在固原地区，氮磷配合施用，增产效率较高。

三、肥料配比试验

试验方法同上，供试验作物均为春小麦——红芒麦。试验地土壤是淡黑垆土，其肥力水平：0—20厘米含全磷0.165%、全氮0.088%、有机质1.1%、速效磷26.5ppm、碱解氮67.0ppm；20—40厘米分别为0.158%、0.094%、1.06%、9.3ppm和32.0ppm。

试验共分四组：第一组全部在每公顷施农家肥15吨、磷肥（以 P_2O_5 计）60公斤的基础上，分别设 N_2 、 N_4 、 N_6 、 N_8 和不施氮肥（ N_0 ）为对照；第二组，全部在每公顷施农家肥15吨、氮素60公斤的基础上，分别设 P_2 、 P_4 、 P_6 、 P_8 和不施磷肥（ P_0 ）为对照；第三组全部在每公顷施 N_8P_4 （纯 N 60公斤、 P_2O_5 30公斤）的基础上，分别设 $M_{0.5}$ （ M 代表农家肥，脚码是吨数，下同）、 M_1 、

$M_{1.5}$ 、 M_2 和不施农家肥(M_0)为对照;第四组,分别设 M_1 、 N_3P_4 、 $M_1+N_3P_4$ 以及不施肥为对照等处理。每个处理三次重复,小区面积为32平方米。

(一) **氮肥的效应。**在本试验中,氮肥有明显地增产效应。在每公顷施农家肥15吨、磷肥(按 P_2O_5 计)60公斤的基础上,春小麦产量随着氮肥施用量的提高而增加, N_2 、 N_4 、 N_6 和 N_8 的产量分别比对照提高了11.1%、19.7%、31.3%和36.9%。产量构成,如成穗数、穗粒数及千粒重都有相应的提高。

(二) **磷肥的效应。**与氮肥相反,磷肥没有增产效应。这可能是土壤速效磷水平较高,满足了作物生长的需求;也许是氮磷两元素比例不协调,在高磷水平条件下,反而引起氮的供应不足,结果造成减产。

(三) **农家肥的效应。**在 N_3P_4 的基础上,施用农家肥也有明显地增产效果。除 $M_{0.5}$ 与对照的产量无明显差异外,其它各处理均随着施肥量的增加而作物产量也有相应提高的趋势。 $M_{0.5}$ 、 M_1 、 $M_{1.5}$ 和 M_2 分别比对照增产-0.84%、20.6%、28.7%和21.2%。

(四) **化肥与农家肥之间的相互作用。**化肥(N_3P_4)与农家肥配合施用,也有明显的增产效果。每公顷单施15吨农家肥增产效果不显著;单施化肥(N_3P_4)较对照增产52.1%;而两者配合施用则增产83.4%。这说明,化肥(N_3P_4)与农家肥之间也起着相互协调的作用,连应值等于1.61,为中度正连应。这种相互作用可能表现为速效养分与缓效养分的互补作用,保证了在作物整个生育期对养分的需求。

(五) **氮、磷、农家肥与产量相关性的分析。**不同的肥料与作物产量存在着程度不等的相关关系。

试验结果表明,施用氮肥与产量存在着极显著的相关关系,相关系数 $\gamma = 0.995$,直线回归方程: $y = a + bx = 147.04 + 6.845x$,而施磷肥与产量呈负相关,相关系数(γ) = -0.1385。农家肥与产量有一定的相关性,相关系数(γ) = 0.8444。这说明在本次试验中,缺氮是主要的,不表现缺磷。

(六) **肥料配合施用的经济效益。**不同比例的肥料配合施用,从增产效率来看, $N_3P_4M_{1.5} > N_3P_0M_1 > N_3P_4M_2 > N_3P_4M_1 > \dots$;而从经济效益来看,则 $N_3P_0M_1 > N_3P_4M_{1.5} > N_3P_4M_1 \dots$ 。总的来看,以 $N_3P_0M_1$ 和 $N_3P_4M_{1.5}$ 的组合比例为最优,前者产投比为2.15:1,后者为1.31:1。这说明,在这种类型的土壤,以氮肥和农家肥配合施用,经济效益最高。但是,氮磷比以及化肥与农家肥的配合比例与作物对养分的需求、生产水平以及土壤的肥力水平(特别是速效养分),有着密切的关系,所以在具体施用,必须因地制宜。

四、结 语

试验证明,在水土流失严重又是半干旱地区的固原县,合理深施化肥有明显的增产效果。同时,对作物的生长发育、养分的吸收、干物质的积累、籽粒的形成以及品质等都有明显的影响。但施肥深度与生育期降水有着密切的关系,降水愈多则宜浅;降水愈少则宜深,一般以15—20厘米为宜。氮磷钾肥配合施用增产效率高, $NPK > NP > NK > PK$;含氮的各处理均高于不含氮的处理。氮肥与作物产量呈极显著的相关关系,农家肥与产量也呈正相关,但不显著;磷肥与产量呈负相关。通过试验表明,土壤缺氮是主要的。局部地区也表现缺磷,一般土壤速效磷在15ppm以上,单施磷肥不显增产效果,甚至于造成早衰减产。但在清水河灌区,由于土壤次生盐渍化严

水土流失地区退耕还林还牧 保证增加粮食总产量的实验效果

刘忠民

(中国科学院西北水土保持研究所)

吕庭会 宋万才 虎东岳

(宁夏固原县综合试验站 宁夏固原县农科所)

固原县地处黄土高原西部,是黄土高原水土流失严重地区之一。1979年以来,全县进行了综合考察,制订了“以牧为主,兴牧促农,农林牧综合发展”的生产建设方针和建成牧业基地,粮食基本自给,发展林业保持水土的建设目标。从这一方针和目标可以看出,兴牧促农是建设方针的重要环节,农田退耕还林还牧则是实施兴牧促农的关键步骤。但退耕与当前人民生活贫困、不得温饱之间产生了矛盾。“民以食为天”。温饱不予解决,退耕种草种树也将成为空谈;即使勉强退耕也很难稳定,难免不被再开垦。因此,在退耕的同时必须首先解决提高农田生产力的问题,这就是退耕还林还牧与提高农田生产力同步的技术要求。通过3年来在河川乡上黄实验点实践,收到了良好的效果,证明这一技术要求是正确的。

一、上黄村的基本情况

上黄村位于固原县中部,属半干旱黄土丘陵区,海拔1,561—1,790米,总土地面积15.17平方公里(1,517公顷)。年平均气温7℃,无霜期152天;年平均降水量472毫米,7—9月降雨占全年降水量59.6%;干燥度为1.55。旱灾平均3年二遇,大旱年3年一遇。

建点前,全村有124农户,712人,耕地459公顷,每人平均0.65公顷。单一经营,广种薄收,经济收入少,人民生活贫困,长期处于不能温饱状态。据统计(22年),历年粮食平均每公顷单产528.8公斤,变幅为264—770公斤;平均总产169.7吨,变幅为100.25—241.6吨。每人平均有粮:六十年代388公斤,七十年代266公斤。历年平均总收入5.6万元,每人平均纯收入47.5元。

1981年实行承包到户的生产责任制,粮食平均每公顷产量640公斤,总产220吨,每人平均有粮300公斤;总收入5.5万元,每人平均纯收入57.50元。

重,土壤速效磷在20ppm以上,也表现极端缺磷,不施磷肥一般减产30%以上,甚至于造成作物死亡。肥料配比试验表明,增产效率以 $N_3P_4M_{1.5}$ 的组合为最高,而经济效益以 $N_3P_0M_1$ 的组合为最优。前者无机氮与有机氮之比正好为2:1。但是,施肥比例与生产水平、作物需肥特性以及土壤速效养分的关系密切,所以这种施肥比例不是一成不变的,而应该是因地制宜。