

雨养旱作农田施肥基础及技术

王淑英

(甘肃省农业科学院科管处,甘肃 兰州 730070)

摘要: 研究和系统分析了雨养旱作农田的施肥管理和肥料利用率等问题,认为有机无机肥结合施用是旱地基本的施肥制度;肥料-水分平衡管理,依照土壤水分存在状况,按比例增加或减少养分供给,按地力等级平衡施肥,合理估计和充分利用肥料后效,改进施肥技术,应是旱地施肥遵循的基本原则。

关键词: 旱地农田; 肥料管理; 平衡营养

中图分类号: S 147.2      文献标识码: A      文章编号: 1005-3409(2003) 01-0118-03

Principle and Technique of Fertilization in Rainfed Dryland

WANG Shu-ying

(Scientific Research Department of Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

**Abstract:** The author studied and summarized the fertilization management and fertilizer use efficiency in rainfed dryland. The fundamental fertilizer system in dryland is the complication of manure and chemical fertilizer, the basic principle of fertilizing on dryland was the fertilizer-moisture balance management, increasing or decreasing nutrient supply on the base of soil water condition, balancing fertilizer supply on the base of soil quality class, reasonably estimating and fully using the residues of fertilizer, improving the technique of fertilizing.

**Key words:** dryland; fertilization management; balancing fertilizer supply

干旱缺水,降水有效性差及年内季节分配不均,降水与作物需水错位是导致旱地农田生产力低和施肥难以凑效的主要原因。尤其是近十多年来,环境旱化趋势明显,土壤出现明显干层,更加剧了旱地施肥问题的复杂性。作者根据黄土旱塬多年的试验结果和调研资料,对旱地农田施肥问题提出一些看法,并提出了进一步提高旱地农田生产力的有关施肥技术。

1 有机无机肥结合是旱地基本的施肥制度

建国以来,我国西北旱作农业生产中的肥料结构发生了明显变化。80年代以前旱地农田主要靠施用有机肥料、种植绿肥以提供作物所需养分和维持土壤肥力,这种有机旱作农业的主要特征是农田作物生产力提高缓慢,年际间波动性较大。随着人增地减矛盾的日趋尖锐,有机旱作农业难以满足人口日益增长对农产品的需求,80年代以来,化肥工业迅速发展,人们对化肥的增产作用得以认识,农田化肥用量增大,形成了有机无机肥配合施用的局面,农田生产力得到较大幅度提高。目前在肥料施用结构上,化肥用量仍在不断上升,有机肥绝对用量变化不大,相对比例有所下降。化肥已成为农田产量提高的主导肥力因素。但旱地农田生产力的持续提高仍然要重视有机无机肥的有效结合。

1.1 有机无机结合有利于营养比例协调

施用有机肥料既供应了作物需要的各种养分,也改变了土壤养分的供应状况,特别是各种营养元素的比例。因此,施用化学肥料必须考虑有机肥料的施用状况及养分供应特点。据我们在甘肃镇原测定,垫土的猪圈粪含氮 1.8 g/kg,含磷  $P_2O_5$  2.4 g/kg,有效氮 210 mg/kg,有效磷 315 mg/kg。从作物吸收营养元素的比例来看,养分完全,但磷多氮少,比例不适。猪圈肥也是如此,堆肥和畜圈粪中养分不协调的情况更为严重。3年的研究结果表明,单施有机肥小麦产量 3 097.5 kg/hm<sup>2</sup>,氮磷有机肥配合施用的小麦产量 4 377 kg/hm<sup>2</sup>。

甘肃平凉 20 年的长期定位试验结果表明,受降雨时空分布不均的影响,化肥的肥效在年际间波动较大,丰水年每 1 kg 氮素增产小麦 8~10 kg,缺水年则不足 2 kg,有些年甚至减产。平水年(6 年)的作物产量变化趋势为土粪+NP>NP>秸秆+N>土粪>N>不施肥;丰水年(6 年)为土粪+NP>秸秆+N>NP>土粪>N>不施肥;缺水年(6 年)为非粪+NP>秸秆+N>NP>土粪>N>不施肥。试验结果基本反映出,有机肥和无机肥料配合产量最高,在不同降水的三个年段中增产率为分别为 128.7%、158.8%、239.7%,单施氮肥仅高于不施肥而低于其它所有处理。从化肥和有机肥对产量的贡献来看,在平、丰、缺水年度化肥的贡献分别为

\* 收稿日期: 2002-11-25  
基金项目: 国家科技攻关项目(2001BA508B18)。  
作者简介: 王淑英(1969-),女,助理研究员,主要从事科研管理工作。

54.1%、58.2%、49.5%，有机肥为 45.9%、41.8%、50.5%。在化肥的增产中，单施氮肥的贡献为 322%、52.7%、18.9%，磷肥的贡献为 67.8%、47.3%、81.1%。这说明化肥和有机肥在旱地增产中具有同等重要的作用，有机无机结合是旱地施肥的基本原则。

### 1.2 有机无机肥结合, 有利于持续增加旱地农业生产力

一般来说, 施用化肥是供给作物养分, 而不是以改变土壤性质为目的。而施用有机肥料除了供给作物养分外, 主要是以改变土壤理化性状、提高土壤肥力为目的。

作物在生长过程中, 吸收土壤氮素往往比肥料氮素多。从养分平衡角度看, 如果要维持土壤氮素肥力, 施入的肥料最低限度在经过作物吸收以后, 其转变为地力留于土壤的与土壤中释放的氮素应大体平衡, 使土壤保持一定的氮素水平。陇东旱塬连续 3 a 多点定位试验结果表明, 以土壤物理性状、有机质及养分含量和作物产量水平为土壤培肥效果的综合指标衡量时, 单施有机肥对增加土壤有机质含量和改善土壤物理性状都有一定好处, 但养分供应不足、产量水平较低。单施氮肥易造成土壤磷亏缺, 单施磷肥易造成土壤氮亏缺, 虽然第 1 季的增产效果都很显著, 但培肥的效果不佳。特别是单施磷肥处理不仅不能培肥土壤, 甚至难以保持原有肥力水平, 第 2 年出现肥效下降, 第 3 年出现减产。有机无机肥配合施用, 既可增加土壤有机质含量, 又可为作物提供充足而平衡的养分、保持高产稳产。

平凉的长期定位试验表明: (1) 不同肥料处理对土壤肥力有显著的影响。长期不施肥, 土壤有机质和氮磷钾都较试验前下降, 单施氮肥时土壤氮磷钾也成下降趋势, 氮磷化肥配合施用, 土壤有效磷略有增加, 土壤氮钾养分下降, 尤以速效钾下降幅度最大。但施用有机肥料或者有机无机肥配合时, 土壤有机质和氮磷钾养分都有不土同程度的提高。(2) 长期施肥所产生的重组有机质与黏粒结合形成有机无机复合体的能力存在着显著差异, 单施氮肥处理低于 30%, NP 配合也小于 50%, 而施用有机肥或有机无机配合时, 可以达到 65%~80%。有机无机结合, 土壤松结态腐殖质含量高于单施、磷施处理, 并且使腐殖质组分中“新鲜”的有机质增多, 加快了腐殖质的更新, 保持了地力常新。

## 2 旱地施肥必须高度重视肥料- 水分的平衡管理

肥料施用效果与土壤供水有着密切关系。旱地施肥量少时, 难以发挥土壤有效水分的作用, 用量多时, 造成肥料浪费。因此, 按降水- 土壤水分存在状况, 确定合理的肥料( 主要指化肥) 用量是旱地农田应长期遵循的一个基本原则。

### 2.1 以土壤贮水确定产量水平和施肥量

旱地农田土壤的供水状况直接影响着肥料的施用效果, 肥料用量和供水量之间有着密切关系。要较为准确地估计施肥量, 必须以土壤有效水量为依据, 根据水分生产效益计算产量, 再根据土壤养分丰缺度或当前产量水平, 计算达到估计产量的施肥量( 主要是施 N 量)。土壤可利用的水量等于作物播种时的土壤有效贮水加上作物生长期间的有效降水量。水分生产效益指单位面积每毫米有效水分所产生的收获物公斤数。同时, 可根据施肥量与水分利用效益的函数方程, 确定以水分效益最大的优化施肥量。对于以冬小麦为主的越冬作物, 底墒在作物产量和耗水量中占相当大的比重, 而底

墒的形成则是以 7、8、9 三个月的降水量为基础的。黄土高原旱作农田夏休闲期正值雨季, 一般夏休闲期降水量 300~380 mm, 占年降水总量的 55%~70%, 从南向北, 年降水量逐渐减少, 但夏闲期降水所占比例愈高。穆兴民研究表明, 冬小麦夏休闲期仅有 2~3 成左右降水贮存于土壤。

甘肃陇东旱塬连续 8 年同一肥料水平下的小区定位试验结果表明, 冬小麦播前 2 m 土层贮水(  $X_1$  )、生育期降水(  $X_2$  ) 同籽粒产量(  $Y_1$  ) 有下列拟合关系:

$$Y_1 = -1307.6 + 6.076X_1 + 1.767X_2 - 0.0118X_1X_2 - 0.0025X_1^2 + 0.0051X_2^2$$
$$R^2 = 0.952^{**}$$

从方程中一次项系数的大小看, 底墒的系数( 6.076) 远大于生育期降雨的系数( 1.767), 即底墒的作用大于生育期降雨的作用, 播前底墒贮量对冬小麦产量的方差贡献率为 38.6%, 即冬小麦产量的近 40% 由播前底墒决定, 根据当年底墒可预测次年产量。

甘肃农科院在陇东旱塬利用人工控水试验建立了冬小麦籽粒产量(  $Y_2$  / kg) 与播前 2 m 土层平均含水率(  $W$  / %)、纯氮施用量(  $N$  / kg)、 $P_2O_5$  施用量(  $P$  / kg) 的曲面回归方程:

$$Y_2 = -549.79 + 87.68W + 33.37N - 49.07P - 1.42WN + 2.62WP - 2.24W^2 - 0.17N^2$$
$$R^2 = 0.993^{***}$$

从方程可以看出, 播前底墒和肥料是影响冬小麦产量高低的两个主要因素, 底墒、氮肥、磷肥三因素一次项对方程的方差贡献率达到 92%, 可用一次项系数大小来对试验因素重要性进行排序, 即  $W$  ( 87.68) >  $N$  ( 33.37) >  $P$  ( - 49.07)。说明播前底墒的作用最大, 即在不同施肥水平条件下, 随着播前 2 m 土层土壤含水率增加, 冬小麦产量增加。因此, 以底墒为基础确定施肥量就显得十分重要。

在生育期降雨为多年平均值和肥料不成为限制因素的条件下, 可根据上述两个方程确定了不同底墒水平下冬小麦产量。计算结果表明, 在黄土旱塬传统的保墒耕作制度下, 正常降水年型塬地旱作冬小麦产量可达到保证 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 产量水平的播前 2 m 土壤贮水量至少要大于 320 mm, 土壤含水率下限为 12.31%, 或播前有效贮水与正常年份生育期降雨之和大于 400 mm; 保证 3 750 kg/hm<sup>2</sup> 产量水平的播前 2 m 土壤平均含水率下限要达到 13.85% ( 360 mm), 土壤贮水效率达到 34.5% 以上, 或播前有效贮水与正常年份生育期降雨之和 440 mm。因此, 旱地农田施肥的前提是提高夏休闲期土壤水分的蓄保效率, 提高土壤贮水量。

表 1 不同底墒条件下的旱地冬小麦产量

播前 2 m 土层 底墒/mm	预测产量/ ( kg · hm <sup>-2</sup> )	对应的土壤储 水效率/ %	每增加 1 mm 底墒的增产量
250	1473	2.6	/
320	3028.5	20.7	22.2
360	3856.5	34.5	21.6
400	4543.5	48.0	20.4
450	5209.5	65.6	18.8

### 2.2 按土壤肥力等级平衡施肥, 提高水分利用效率

虽然土壤剖面可利用水分的多少是决定肥料利用率水平的关键因素, 但养分平衡供给则是提高水肥效率的核心。

研究表明,不施肥的作物几乎同施肥的作物一样,以同样速度消耗土壤水分,但产量却相当低。营养平衡供给有效地增加了作物蒸腾耗水比例,水分利用率提高,其主要原因是施肥促进了作物根系早而快速的生长,使根系能较快地扎入深层土壤中,更加有效地吸取贮存在深层土壤中的水分。有关研究表明,不施肥小麦根系深度为 1.4 m,氮磷营养平衡供给的为 2.3 m,小麦收获时测定,不施肥区 140~200 cm 土层水分平均为 17.4%,氮磷配合区的为 13%,小麦产量分别为 2 661 kg/hm<sup>2</sup>、5 991 kg/hm<sup>2</sup>。甘肃农科院在陇东旱塬的研究结果也表明,不施肥麦田 100~200 cm 土层土壤供水占总耗水的 8%~12%,氮磷农肥配合区为 18.5%~24.2%。

### 3 充分利用肥料后效,提高肥料利用率

旱地施肥存在着相当明显的后效,充分重视肥料后效对提高肥料利用率和肥料的经济合理运筹具有重要意义。3 年定位试验结果表明<sup>[1]</sup>,氮肥后效的大小及持续时间受施 N 量高低和第 2 季作物施 N 与否的影响,尤以后者为甚。施 N 量高,后效大且时间长。第 2 季施用 N 肥更能提高第 2 季作物对第 1 季所施肥料 N 的利用率。其原因可能在于第 2 季所施 N 肥有利于第 1 季被固持 N 的矿化及再利用,也反映出供试土壤进行着较强的生物交换作用。由于农业生产实际中绝大多数作物都是季季施用 N 肥的,因此仅根据 1 季作物吸收的氮量估计氮肥利用率是不够全面的。在各项施肥技术中,氮肥用量对氮肥利用率有较大影响。随着氮肥用量的提高,作物吸收的肥料 N 也在增高,但氮肥利用率则在降低。因此,确定合理施 N 量是提高肥料利用率的重要措施之一。仅从提高肥料利用率的角度看,玉米的施 N 量以 225 kg/hm<sup>2</sup> 为宜,小麦的施 N 量在 150~225 kg/hm<sup>2</sup> 之间。1993~1994 年两季冬小麦定位试验证明<sup>[2]</sup>,施用磷肥可提高土壤有效磷含量,促进小麦的根系发育,增强对土壤水分及养分的吸收利用,提高氮肥利用率及水分利用率。施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>、150 kg/hm<sup>2</sup> 和 300 kg/hm<sup>2</sup> 时,小麦的增产百分率基本随用量增加而增加(34.3%、44.7%和 44.0%),但单位重量五氧化二磷的增产和磷肥利用率均随磷肥用量的增加而降低,1 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的增产率依次为 246、160.5 和 79.5 kg,磷肥利用率依次为 12.0%、6.2%和 4.3%。磷肥不仅当季增产显著,而且有明显后效。第 1 季磷肥在第 2 季的增产率依次为 41.8%、51.8%和 48.2%,1 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 依次增产 166.5、114 和 48 kg 小麦,分别相当于第 1 季直接效果的 67.7%、71.2%和 60.4%。第 1 季氮肥的后效在很大程度上可代替第 2 季小麦对新施磷肥的需求,因此,第 2 季继续施磷时,肥效明显降低。充分利用后效是提高磷肥利用率和经济效益的重要措施。施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 5 kg/mu 至少可满足第 2 季小麦需要,150

参考文献:

- [1] 金绍岭,邓娟珍,王生录,等. 提高氮肥利用率措施研究[A]. 见:王吉庆等. 陇东高原半湿润偏旱区农业综合发展研究[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1995. 156~164.
- [2] 金绍岭,王生录,张兴高,等. 磷肥肥效、后效及后效利用研究[A]. 见:王吉庆等. 陇东高原半湿润偏旱区农业综合发展研究[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1995. 165~175.
- [3] 许旭旦. 旱作农业中的合理施肥乃其生理学基础[J]. 干旱地区农业研究,1985,3(2): 56~69.
- [4] 李生秀,赵伯善. 我国旱地土壤合理施肥之刍议[J]. 土壤通报,1991,22(4): 145~148.

~300 kg/mu P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 可满足更多季作物的需要。鉴此,第 1 季作物施用磷肥较多时,第 2 季作物即可减少施磷量或者不施磷肥,如果每季都施,其用量不超过 75 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 磷为宜。

### 4 重视旱地施肥技术的改进,提高肥料利用率

#### 4.1 以底肥为基础、追肥为辅,提高肥料的增产效率

旱作农业区,由于散见性干旱的影响<sup>[3]</sup>,作物在生长过程中经常遇到“干”和“湿”的交接,施肥效应经常随土壤水分状况而发生变化。有机肥料作底肥,不仅可以满足作物后期需要,也可满足作物生长前期对养分的需求,供给作物终生需要的养分。有机肥在土壤中经过长时间的矿化,提供作物容易吸收利用的速效养分,并且有机肥底施使其处在水分条件较好的土层,可充分发挥有机肥的作用。水分胁迫是旱地农业的主要矛盾,而土壤表层干燥又是旱地农业的基本特征,把有机肥作底肥施,则可提高土壤持水容量,更多地接纳夏季休闲期间的降水,也可使耕层容重下降,孔隙增大,蒸发减少,从而使土壤水分得以增加。无机氮肥仍然以底肥为主,追肥为辅。基肥比例越大,冬小麦对肥料 N 的吸收积累越多,氮肥利用率也越高。同样,磷肥也应底肥为主,因为它在土壤中积累时间长,肥效也慢。

#### 4.2 旱地肥料深施有助于其利用率的提高

肥料深施,即把肥料与较深的土层混合,不但满足作物幼苗需要的养分,也可满足作物整个生长期所需的养分。耕作土壤的特点是表层有效养分含量高,越向深处有效养分越低。旱地作物根系又多集中在水分条件较好而养分条件较差的深层。以磷肥为例,深施不但使小麦根系和分蘖增多,而且也使千粒重和穗粒数增加。氮肥深施可减少其挥发损失,使处在水分条件较好的氮素易被作物吸收利用。李生秀等人研究结果表明<sup>[4]</sup>,表施氮肥挥发氮损失 79.5%,深施 5 cm,损失 15.7%,深施 10 cm,仅损失 5.8%。

#### 4.3 旱地施肥应提倡早施,争取主动

旱地早施肥料可满足作物营养临界期对养分的需求。旱地要充分发挥肥料的增产作用,只有在土壤水分条件良好或在降雨后施用肥料。不管在哪种情况下,均易失误时机,起不到应有的作用。同时,降雨时期并不一定是需肥的高效时期,即使是高效时期,雨后施肥,发挥作用的时间已经偏晚。干旱地区常见的现象是由于水分限制,肥料施入后难以及时发挥作用,只有当土壤的水分条件改善时,肥料的作用才能充分发挥出来,因此肥效有因缺水发生效应“滞后”现象。早施肥料,可争取主动,使肥料及时发挥作用或获得降水后发挥作用。这种“早施晚用”的措施,保证了作物整个生育时期及需肥最多时期的养分要求。在这种情况下,肥料有获得降水在关键时期以及整个生育时期发挥作用的较大机率。