

# 旱作农业综合配套技术及增产效益研究

辛业全 从心海 万惠娥 刘忠民

(中国科学院水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

刘汉章 张育秦 宽明亮 马志宇

(宁夏回族自治区固原县)

## 提 要

宁夏南部半干旱水土流失地区,在作物合理布局的基础上,建立以粮—豆—草轮作为中心的综合配套技术体系,做到轮作制度化、栽培规范化,施肥模式化。系统内的能量转化效益提高14.7%,粮食单产和总产分别较实验前提高1.2倍和1倍。其中“轮作中心的平衡施肥”,既考虑到氮、磷等主要营养元素的协调平衡,也考虑到周期性的供求平衡,提高了系统内土壤养分的调控能力和稳定性。

关键词:平衡施肥 调控能力 周期性

## Study on Comprehensive Techniques and Increasing Yield Benefits in Arid Farmland

Xin Yequan Cong Xinhai Wan Huie Liu Zhongmin

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and  
Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Liu Hanzhang Zhang Yuqin Kuan Mingliang Ma Zhiyu

(Guyuan County of the Ningxia Huizu Zizhiqu)

## Abstract

The comprehensive arrangement technical system that takes the rotation of grain—bean—grass as a center has been developed in semiarid areas with soil and water loss of South Ningxia. The system is able to make the rotation into systematization, the culture into standardization and manure application into patternization, the efficiency of energy transformation, crop yield and total yield in this system can be increased by 14.7 percent, 1.2 time and 1 time respectively. Among

those the balanced manure spreading in rotation can not only coordinate the balance of major nutrients and periodicity between need and supply, but also improve the ability and stability of adjustment and control for soil nutrients in this system.

**Key words** balance manure—spreading ability of adjustment and control periodicity

## 一、实验示范区概况

曹洼村位于西平梁中部,固原县城北15km处,属温凉半干旱残塬。海拔1650~1779m之间,地势较平缓。土壤属淡黑垆土,质地多为轻壤或中壤,土质松,易受风蚀和水蚀,土壤侵蚀模数为2000t/(km<sup>2</sup>·a),属轻度加速侵蚀区,年降雨量450mm左右,每年有程度不同的春旱秋涝现象。年干燥度为1.7,≥0℃积温2943℃,持续234天,≥10℃积温2260℃,持续137天,年平均气温6.2℃,最高34.1℃,最低-26.9℃,无霜期130天,早霜9月上旬出现,翌年5月上旬终止。

总土地面积15677亩,其中农耕地8451亩,占66.5%;宜林地2764.4亩,占17.7%;村庄道路1259.5亩,占8%;不能利用的陡坡沟壑地1228亩,占7.7%。该村以粮食生产为主,由于农牧结构不合理,品种老化,农机具简陋而且原始,又缺乏投入再生产能力,生产水平一直很低,历年(1976~1983年)粮食平均亩产为45kg,油料为21.8kg。人均占有粮200kg,油13.5kg,人均收入不足150元。

## 二、研究内容及步骤

### (一)调整农业结构

1. 调整农田作物布局。根据“农田改制”方案的原则,因地制宜地调整作物布局,强调豆科作物和牧草的种植比例应占到总耕地面积的35%以上;经济作物(胡麻)应占到12%~16%,夏,秋粮比为7:3。并提出“人均种好一亩胡麻,脱贫致富有了办法”的起步措施。

在作物合理布局的基础上,逐步理顺轮作方式,建立粮豆经饲轮作体系。主要轮作方式如下:

- (1)豆类作物——小麦——小麦——胡麻或秋粮;
- (2)多年生豆科牧草(5~6年)——糜子——小麦——小麦——进入粮豆轮作;
- (3)小麦——夏季绿肥——胡麻或小麦。

2. 调整、改良畜禽结构。(1)调整畜牧业内部结构:要求农民在发展畜牧业上对农田的破坏性少,周转快,商品率高、积肥量大等特点,提出“增牛、稳羊,发展猪禽”的调整方向。在越冬前及时淘汰生产、繁殖、役用能力低的老、弱牲畜,保证母畜和青壮牲畜能安全越冬;(2)引进优良畜、禽种,改良当地老畜、禽种;(3)提高饲养管理水平。

### (二)改革施肥制度,建立施肥体系。

### (三)建立以轮作(培肥)为中心深翻改土、蓄水保墒的综合配套耕作技术体系。

(四)技术路线 采取农田结构调整与提高土地生产力同步,科技投入与物资投入相结合以及宏观试验、示范与微观研究相结合的技术路线。以扩大养地的豆科作物和牧草的种植比例为突破口,以尽快提高经济作物(胡麻)的单产,增产增收,增强群众投入再生产的能力为起步措施。

## 三、实验结果及分析

### (一)农牧结构趋于合理

1. 作物布局。豆科作物和牧草的种植面积占到总耕地面积的33%,其中豆科作物(豌豆、扁豆)占总耕地面积的18.1%,占粮田面积的26.1%。经济作物(胡麻)已占耕地面积的15.6%,比实验

前9.4%增长了6.2%。粮、经、饲的种植比例分别为69.6%、15.6%和14.9%，整个农业内部结构趋于合理，为合理轮作奠定了基础。

2. 畜禽结构的变化。随着农耕地种草面积稳步增长，畜禽饲养量也发生了相应的变化(见表1)。年均饲养量实验前为1 838个绵羊单位，“六五”期间为2 908个绵羊单位，增长58%，“七五”期间为3 039个绵羊单位，比实验前增长85.4%，比“六五”增长4.5%，人均2个绵羊单位。其中牛、猪、驴增长较快，“六五”比实验前分别增长93.7%、89%和144.7%；“七五”比实验前分别增长149.5%、46.6%和78.7%。鸡从无到有，发展较迅速，实际饲养量达到万只左右。有机肥投入量也在逐年增加，“六五”期间比实验前增加64.2%，亩施肥量达到800kg；“七五”比实验前增加近一倍，亩施肥量达到1 000kg。

表1 曹洼示范村畜禽结构变化

| 项 目          | 牛    | 驴   | 骡  | 马  | 绵羊  | 山羊 | 猪   | 鸡    | 合 计   |
|--------------|------|-----|----|----|-----|----|-----|------|-------|
| 实验前          | 95   | 94  | 17 | 16 | 500 | 64 | 146 | 0    |       |
| (1976~1983年) | 475  | 282 | 85 | 80 | 500 | 51 | 365 | 0    | 1 838 |
| “六五”期间       | 184  | 230 | 11 | 9  | 480 | 12 | 276 | 712  |       |
| (1984~1987年) | 920  | 690 | 55 | 45 | 480 | 10 | 690 | 18   | 2 908 |
| “七五”期间       | 237  | 168 | 5  | 3  | 710 | 44 | 214 | 1206 |       |
| (1988~1991年) | 1185 | 504 | 25 | 15 | 710 | 35 | 535 | 30   | 3 039 |

## (二)改进了培肥途径,完善了施肥体系

1. 以无机肥促有机肥,走有机肥与无机肥相结合的培肥途径。为了改善土壤的理化性状,增进旱作土壤的蓄水保墒能力,必须注重有机培肥,即增施有机肥料,豆科轮作和秸秆还田等。研究结果表明:每亩豆科作物年固氮量为5~6kg,绝大部分随收获物带走,约30%留在土壤之中,多年生豆科牧草,如红豆草、沙打旺、苜蓿,年均固氮量在不施磷肥情况下,分别为14.1、28.7、23.3kgN/亩,增施磷肥,固氮量还有所增加,分别为16.8、35.8和34.7kgN/亩。其中26.5%~39.2%留在土壤之中51.2%~63.7%,被牲畜吸收,增加活体重量;9.3%~9.8%过腹还田,参与系统内的养分循环和再利用。特别是多年生豆科牧草,根系发达吸收土壤深层磷,构成植物个体,经牲畜摄取,过腹还田,参与磷的循环和再利用,维持轮作体系中的磷平衡具有一定的意义。但是,农田生态系统开放度很高,大量的营养元素随着收获物带走,所以,单靠系统内部的养分循环是远不能维持系统内的养分平衡,也不能满足作物茁壮生长发育的需求,因而必须投入相当数量的商品肥料,走有机肥与无机肥相结合的培肥途径,才能充分发挥有限降雨的潜在生产力。

2. 旱地深施化肥的增产效益。通过试验证明:深施化肥(15~20cm)具有明显的增产效益,在同一施肥水平(N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>)条件下,深施比表施(约5cm)春小麦、糜子和谷子分别增产17.4%~23.4%、

表2 不同施肥组合对春小麦产量的影响

| 处 理 | 亩产(kg) | 增产量(kg) | 增产率(%) |
|-----|--------|---------|--------|
| CK  | 58.0   | —       | —      |
| N   | 87.6   | 29.6    | 51.0   |
| P   | 68.1   | 10.1    | 17.4   |
| NP  | 102.0  | 44.0    | 75.9   |
| MNP | 114.5  | 56.5    | 97.4   |

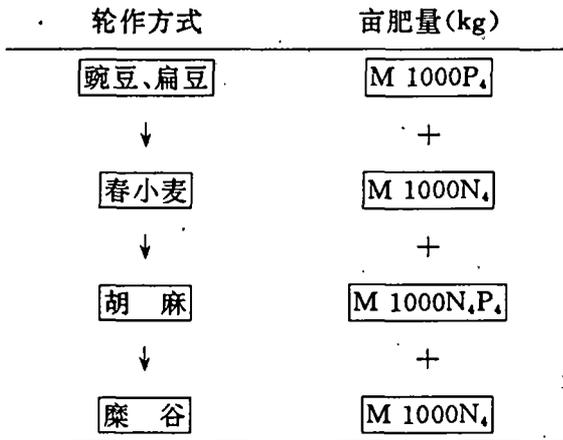
36.1%~49%和58.3%、大面积深施化肥的豌豆、春小麦、糜子和谷子的亩产量分别达到155.5~171.0kg、175.5~212.8kg、202.0~213kg和118kg。

深施肥增产的原因主要是因为有效地保存了养分不被流失,长期处于较湿润土层的养分也容易被作物吸收利用、另外,深施肥料对根系的发育具

有一定的诱导作用,促使根系向纵深发展,有助于提高作物吸水和抗旱能力。

3. 配方施肥。经过多年多点试验结果(见表2)表明:在宁南山区旱地施用氮肥有明显的增产效

果,而且在一定范围内,其产量则随着施肥量的增加而增加,存在着极显著的相关关系,相关系数( $r$ )为 0.995,回归方程  $\hat{r}=147.04+6.845x$ 。单施磷肥也有增产效果,但不显著,与作物产量也无明显的相关关系。但是,氮、磷配合施用,增产效果较单施明显,有一定的交互作用,交互值多在 0.627~1.778 之间,配合比例  $N_4P_2$  组合的经济效益最高(即亩施纯氮 4kg,磷 2( $P_2O_5$ )kg。施用有机肥料也有施氮类似的作用,但在低水平施量(500kg/亩),不表现出增产效果,随着施用量增加而产量也相应的增加,也存在着较明显的相关关系,相关系数  $r=0.8444$ 。氮、磷化肥与有机肥配合施用,增



注:M—有机肥;N—纯 N;P— $P_2O_5$ ;

附图 轮作中平衡施肥示意图

出氮、磷两种营养元素以及有机肥和无机肥按比例、协调的关系,就一个轮作周期来看,施肥配比为: M · 1000N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>, 比对照(连茬麦)施肥配比为: M1000N<sub>4</sub>P<sub>2</sub> 的氮素减少了 25%, 而产量则提高了 25.1%, 这充分显示出了豆科固氮培肥土壤的作用。

表 3 粮豆轮作中氮磷元素的供求关系(kg/亩)

| 轮作体系             | N     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|------------------|-------|-------------------------------|
| 轮 1(1981~1985 年) |       |                               |
| 肥料供给的营养          | 15.77 | 9.29                          |
| 作物带走的养分          | 23.42 | 7.08                          |
| 每轮差值             | -6.12 | +1.77                         |
| 每年差值             | -1.53 | +0.44                         |
| 轮 2(1986~1989 年) |       |                               |
| 肥料供给的营养          | 12.77 | 8.29                          |
| 作物带走的养分          | 17.72 | 3.96                          |
| 每轮差值             | -4.95 | +4.33                         |
| 每年差值             | -1.24 | +1.08                         |

所携带的氮素。磷素营养则不同,在粮豆轮作中,全部靠肥料供给来满足作物的需求,一般应该供大于求,否则就会造成土壤速效磷的缺乏,影响作物的生长发育。轮 1 尽管通过肥料供给的  $P_2O_5$  大于作物所带走的,供求比为 1.3:1 该系统的土壤全磷虽有所增加,但速效磷明显地下降。轮 2 的供求比为 2.1:1,全磷几乎没有变化,而速效磷有明显地增加。总之,在整个系统中,通过轮作、平衡施肥等综合技术措施,长期定位观测结果表明,周期性的平均生产力有了稳定的提高,而土壤肥力水平也有增加的趋势,氮、磷两种元素关系基本达到平衡。

另外,有机肥和化肥配合施用能提高土壤有机质、全氮和速效磷的积累量。同时也能提高作物

产效果更显著,其增产顺序为  $MNP > NP > N > P > CK$ 。MNP 组合较对照亩增产 56.5kg,增产率达 97.4%。配合比例以  $N_4P_2+1$  500kg 有机肥增产效果最佳,但随着有机肥施用量的增加,可相应减少氮、磷的施用量。

4. 轮作中的平衡施肥。当轮作体系形成之后,就要求有相应的施肥制度相配合,平衡施肥(附图)就是根据作物的需肥生理特性将其分为喜磷并能固氮的豆科作物和牧草;喜磷不能固氮的油料和荞麦以及禾谷类作物三大类。又根据土壤的供肥能力和天然降雨生产潜力所要求一个轮作周期 =  $M \cdot 4000N_{12}P_8 \div 4 = M \cdot 1000N_3P_2$  的需肥量所提出的。从附图中可以看

同时,还可看出周期性的土壤养分供求平衡关系(见表 3)这给平衡施肥赋予了新的含义。在该系统中,通过肥料供给的氮素低于作物所带走的,轮 1 和轮 2 的供求比分别为: 0.67:1 和 0.72:1,其值均小于 1。而土壤有机质、全氮和碱解氮均有所提高,轮 1 分别比实验前(1980 年)提高了 17.4%、4.4% 和 26.0%; 轮 2 (1989 年)又比轮 1(1985 年)减低了 1.48% 及提高了 15.96% 和 84.94%。由此可知,供求之间的差值部分以及土壤中的增加部分,主要是来源于豆科作物的固氮作用和天然降雨

对氮、磷两种元素的利用率,所以平衡施肥具有较强的调控能力。不致于在干旱年份由于施肥量过大,而引起作物早衰、青干减产,也不致于在丰水年份由于施肥量不够而影响作物产量的提高。如1991年是个干旱年份,年降雨量仅260mm,但分布较合理。有的为了追求高产,施肥量达到 $N_4P_2$ 、 $N_4P_4$ 、 $N_5P_2$ 等,结果全部青干,单产不足100kg,而采用平衡施肥的轮作区,同样的品种没有青干现象,单产仍达150~200kg。

### (三)粮豆草轮作效应

1. 粮豆轮作。经过两个轮作周期(9年)的实验,其产量结果见表4和表5。由上表可见,轮作与平衡施肥,对作物生产力及稳定性均有明显的提高。粮豆平均亩产127.6kg,油料平均亩产62.1kg,分别比实验前提高近2倍。比不施化肥的对照粮豆平均亩产58kg增产1倍,比施化肥的对照平均亩产102kg,增产25.1%。实验期间,丰水年(1983年、1984年和1985年)粮豆平均亩产166.9kg,用水效率(wue)为0.59kg/(mm·亩);一般年份(1981年、1986年和1988年)粮豆平均亩产127kg,用水效率为0.46kg/(mm·亩);干旱年(1982和1987年)粮豆平均亩产65.6kg。用水效率为0.30kg/(mm·亩)分别比实验前平均亩产45kg提高2.7倍、1.8倍和45.8%。轮作区各类作物平均单产比较稳定,除个别作物(糜子)外,其变异系数均在0.25左右。

表4 粮豆轮作的对比情况(1981~1989年)

| 处 理           | 平均施肥水平    |          | 平 均<br>(kg/亩) | 年化肥(kg)<br>生产粮(kg) | 投产比   | 试验年份<br>(年) |
|---------------|-----------|----------|---------------|--------------------|-------|-------------|
|               | 有机肥(kg/亩) | 化肥(kg/亩) |               |                    |       |             |
| 对照 I          | 1000      | —        | 58.0          | —                  | —     | 1981~1986   |
| 对照 II         | 1000      | $N_4P_2$ | 102.0         | 7.3                | 1:4   | 1981~1986   |
| 粮豆轮作<br>与平衡施肥 | 1000      | $N_5P_2$ | 127.6         | 13.9               | 1:7.5 | 1981~1989   |

注 本数字1/2为麦子、1/4为豌豆、1/4为糜子,上两行均为麦子的产量,麦子按0.70元/kg,豌豆0.80元/kg、糜谷0.50元/kg、化肥0.60元/kg计。

表5 粮豆轮作区各类作物平均单产(1981~1989年)

| 作物种类 | 平均亩产<br>(kg/亩) | 样本数<br>(个) | 变异系数<br>(C·V·) |
|------|----------------|------------|----------------|
| 豌豆   | 132.5          | 7          | 0.42           |
| 豆茬麦  | 146.3          | 7          | 0.25           |
| 重茬麦  | 112.8          | 4          | 0.25           |
| 糜子   | 164.7          | 5          | 0.51           |
| 谷子   | 158.6          | 4          | 0.27           |
| 芥麦   | 82.7           | 1          | —              |
| 胡麻   | 62.1           | 4          | 0.18           |

2. 粮草轮作。该轮作区的主要牧草是苜蓿,占

到豆科牧草总面积的90%以上,近几年引进的沙打旺和红豆草比例很小,经过长期粮草轮作试验得到以下结果:

(1)生物量。多年生豆科牧草有较高的第一性生产力(见表6),苜蓿,红豆草和沙打旺年平均亩产干草分别为430.2kg、281.6kg、598.9kg;总干物质积累量分别为526kg、335.9kg、和637.8kg。在施磷肥的情况下分别为785.8kg、400.7kg、796.0kg,尤以苜蓿对磷最敏感,施磷可以增产49.4%。施磷对3种豆科牧草的地上部和地下部

都有促进作用,但对根系的促进作用不如地上部分显著,施磷的根茎比均小于不施磷的(见表7)。

表6 3种豆科牧草生物量

| 部 位    | 苜蓿            | 红豆草           | 沙打旺           |
|--------|---------------|---------------|---------------|
|        | 风干重<br>(kg/亩) | 风干重<br>(kg/亩) | 风干重<br>(kg/亩) |
| 地上部    | 430.2         | 281.6         | 598.9         |
| 总 量    | 不施磷           | 335.9         | 637.8         |
|        | 施磷            | 400.7         | 796.0         |
| 增产率(%) | 49.4          | 19.3          | 24.8          |

表7 施磷肥对豆科牧草干物质积累的影响

| 名 称 | 施 磷 肥         |              |      | 不施磷肥          |              |      |
|-----|---------------|--------------|------|---------------|--------------|------|
|     | 茎叶干<br>重(g/株) | 根干重<br>(g/株) | 根/茎  | 茎叶干<br>重(g/株) | 根干重<br>(g/株) | 根/茎  |
| 红豆草 | 2.72          | 2.00         | 0.72 | 1.86          | 1.43         | 0.77 |
| 沙打旺 | 6.91          | 1.51         | 0.22 | 2.50          | 0.67         | 0.27 |
| 苜蓿  | 2.42          | 1.93         | 0.80 | 1.43          | 1.59         | 1.11 |
| 草木樨 | 3.28          | 2.15         | 0.66 | 1.50          | 1.50         | 1.00 |

(2)豆科牧草的转化效率。我们用兔子作实验,转化效率(见表 8)以每 100kg 风干草的家畜增重量和排粪量表示。从表 8 可见,转化效率与牧草的营养成份有关,家畜活体增重排序为,红豆草>苜蓿>沙打旺,而排粪量则相反。

| 转化效率     | 红豆草   | 沙打旺   | 苜蓿    |
|----------|-------|-------|-------|
| 家畜增重(kg) | 9.18  | 5.67  | 7.57  |
| 排粪量(kg)  | 12.36 | 13.28 | 12.54 |

(3)豆科牧草对后茬作物产量的影响。多年生豆科牧草虽有较高的生物量和固氮能力,但对土壤水分的消耗

表 9 3 种豆科牧草后茬作物的产量情况

| 前茬牧草      | 苜蓿        |           | 红豆草       |           | 沙打旺       |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           | 生物量(kg/亩) | 籽粒量(kg/亩) | 生物量(kg/亩) | 籽粒量(kg/亩) | 生物量(kg/亩) | 籽粒量(kg/亩) |
| 翻耕第 1 年糜子 | 278.3     | 53.6      | 270.8     | 58.8      | 225.5     | 51.8      |
| 翻耕第 2 年麦子 | 192.2     | 73.2      | 207.3     | 71.3      | 191.2     | 65.4      |
| 翻耕第 3 年麦子 | 340.0     | 100.6     | 347.1     | 113.6     | 290.4     | 112.0     |
| 翻耕第 4 年胡麻 | 226.2     | 79.8      | 157.1     | 58.9      | 184.4     | 69.3      |

是惊人的,因此对后茬作物产量也有明显的影响(见表 9)。由表 9 可见,翻耕后每年的施肥和耕作相同,但翻耕后第 3 年的作物产量最高这显然与 2m 土层土壤水分恢复程度以及有毒物质分解程度有关。

(4)豆科牧草的固氮能力(用化学法测定)。即每 100g 干物质的固氮量(Ng/100g 干物质),测定结果表明,红豆草、沙打旺和苜蓿的固氮能力,在不施磷肥的情况下分别为 4.20、4.50 和 4.42 (Ng/100g 干物质);在施磷肥的情况下分别为 4.09、4.46 和 4.25(Ng/100g 干物质)。而施磷各处理增加了 3 种豆科牧草的干物质积累,分别增加 19.3%、24.8%和 49.4%。因此,施磷促进豆科牧草的固氮作用主要表现在增加豆科牧草的固氮容量。豆科牧草的固氮能力与适应性有关,固氮能力越高则适应性越强。

(5)豆科牧草对磷的吸收积累。豆科牧草属喜磷作物,对磷  $P_2O_5$  的积累量也较高,据测定三种豆科牧草、红豆草、沙打旺和苜蓿年均积累量分别为 1.58、2.63 和 1.93kg/亩,特别是豆科牧草根系发达,深入土层达 8m 以下,能吸收土壤深层磷,构成植物个体,经过牲畜摄取,过腹还田,以有机肥的形式参与磷的循环和再利用,起到“深”磷“浅”用的作用,在维持系统内磷平衡中具有重要意义。

表 10 几个春麦品种产量比较(1990 年)

| 品种名称       | 平均单产(kg/亩) | 变异系数(C·V) | 增产率(%) |
|------------|------------|-----------|--------|
| 宁春 10 号    | 172.3      | 15.33     | 56.21  |
| 高原 602     | 147.2      | 13.98     | 33.45  |
| 定西 81—3—92 | 155.6      | 16.87     | 41.07  |
| 晋 2—148    | 144.9      | 10.26     | 31.40  |
| 晋 0129     | 144.9      | 23.24     | 31.40  |
| 固 春        | 139.2      | 8.38      | 26.20  |
| 永 良        | 150.0      | —         | 36.00  |
| 当地红芝麦      | 110.3      | 12.73     |        |

#### (四)其它技术措施的增产效应

1. 品种的作用。随着综合配套耕作技术体系的逐步形成,土壤肥力水平相应有所提高,对品种的要求显得更为重要。近几年共引进冬小麦、春麦、荞麦、洋芋、胡麻等作物良种 12 个,经试验示范已大面积推广的有 8 个,都具有较大的增产潜力。从春小麦品种比较试验结果(见表 10)看出,所有参试的 7 个品种,均比当地的红芝麦有明显的增产效果,最低增产 26.2%,亩净增 29kg;最高增产 56.21%,亩净增 62kg。正因为如此,引进、示范、推广各类作物优良品种,很受群众欢迎,现已掀起了“品种热”。该示范区近几年引进的春麦良种仅占麦田面积的 28.3%,而其产量却占到小麦总产的 39.9%。

2. 加深根层的作用。在固原县上黄村进行的耕作施肥试验 3 年结果表明,高肥条件下,加深根层至 25cm 可增产 11.1%,用水效率(WUE)提高 14.2%;低肥条件下加深根层增产 7.3%,用水效率提高 10%,但水分消耗(ET)无明显增加。深耕结合增施肥料效果更显著,增产幅度达 54.6%,用

水效率提高52.3%,根系入土深达1.8m(对照为1.5m),增加了对土壤深层水分的利用。洞子硷大田试验结果表明:深耕农田作物对土壤储水利用率为62.3%,浅耕为48.2%,深耕较浅储水利用率提高了29.3%。

表11 曹洼村粮油产量变化

| 时 期             | 粮 食    |         | 油 料    |        |
|-----------------|--------|---------|--------|--------|
|                 | 亩产(kg) | 总产(kg)  | 亩产(kg) | 总产(kg) |
| 实验前(1976~1983年) | 45     | 292 000 | 21.4   | 17 187 |
| “六五”期间          | 73     | 430 000 | 46.6   | 36 857 |
| “七五”期间          | 98     | 591 000 | 53.0   | 59 123 |
| 1990年           | 133.1  | 846 615 | 70.8   | 84 420 |

## (五)实验示范区的综合效益

1. 农牧业稳步增长。实验示范区经过上述四个步骤,并做到各项技术措施有机结合,最终目标是建立起用地养地相结合、农牧相结合、稳定增产的综合配套耕作技术体系。实施结果表明,凡

是按要求进行的,粮、油单产和总产及经济效益均获得了逐年稳步增长(见表11)。

由表11可以看出,粮食单产和总产,“六五”比实验前分别提高62.2%和47.3%;“七五”比实验前分别提高1.2倍和1倍,比“六五”提高了34.2%和37.4%;1990年分别达到133kg和84.6万kg,人均占有粮过千斤。油料单产和总产“六五”比实验前提高113.8%和116.8%;“七五”比实验前提高了1.5倍和1.4倍,比“六五”分别提高了13.7%和60.4%;1990年分别达70.8kg和8.4万kg,比实验前提高了2.3倍和4倍。油料作物是当地的主要经济作物,适当扩大种植面积,增加投入提高单产,不仅不影响粮食生产,而且能够促进粮食产量同步提高。

由于农耕地种草面积稳定,为畜牧业持续发展奠定了基础,在“增牛、稳羊、发展猪禽”原则指导下,牛、猪、鸡发展迅速,“七五”较“六五”分别增长了47.2%,21.7%和69.4%,在畜牧业暂时疲软的情况下,周转率、商品率均有所提高,经济效益显著。畜牧业收入“七五”比“六五”增长64.6%;1990年比“六五”增长86.9%,年均纯收入已占农业现金收入的30.9%。现在人均占有粮524.2kg、油料52.3kg,人均收入507元,比实验前分别增长1.6倍、2.9倍和2.4倍。

## 2. 系统内的养分供求情况。

表12 系统内养分供求情况变化(有效成份)

| 时期(年)              | 投 入 量(kg) |                               |        |                               |         |                               | 产 出 量(kg) |                               | 平 衡     |                               | 供 求 比 |                               |
|--------------------|-----------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|---------|-------------------------------|-------|-------------------------------|
|                    | 有机肥       |                               | 化 肥    |                               | 合 计     |                               | 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> |
|                    | 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> |           |                               |         |                               |       |                               |
| 实验前(1976~1983)     | 6969.0    | 2587.6                        | 262.7  | 142.9                         | 7231.7  | 2730.5                        | 9156.6    | 2739.2                        | -1924.9 | -8.7                          | 0.79  | 1                             |
| “六·五”期间(1984~1987) | 10595.1   | 3982.5                        | 8846.2 | 4507.1                        | 19441.3 | 8489.6                        | 14977.8   | 3844.2                        | +4463.5 | +4645.4                       | 1.23  | 2.2                           |
| “七·五”期间(1988~1991) | 10996.1   | 4085.2                        | 7735.1 | 5867.7                        | 18731.2 | 9952.9                        | 18910.1   | 4936.2                        | -178.9  | +5016.7                       | 0.99  | 2                             |

实验示范区:从实验前到实验期间的肥料投入量,无论是质和量都有了很大变化(见表12)实验前,在养地豆科作物和牧草种植面积很少的情况下,投入农田的肥料主要还是有机肥,化肥用量很少,无机肥与有机肥之比:N为0.038,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为0.055,而养分供求比:N为0.79,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为1。由于有机肥的利用率很低,因此,这个时期还属于掠夺性的生产阶段,粮食平均亩产仅为45kg。“六五”期间,随着畜牧业的发展和深施化肥技术的推广,有机肥和化肥相应都有较大比例的增加,而化肥增加更多,无机肥与有机肥之比:N为0.835,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为1.132,养分供求比:N为1.23,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为2.2,供给作物的养分,远大于作物所带走的,这个时期的粮食亩产为73kg,较前期增加62.2%,由于施

肥不十分合理,养分略有剩余。“七五”期间,由于“粮—豆—草”轮作全面展开,充分发挥了豆科作物和牧草的养地作用,同时,采用了平衡施肥技术,尽管肥料投入量增加不多,但产量稳步上升,粮食平均亩产达 98kg。养分供求比:N 为 0.99;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 2,根据定位试验的指标来看,氮、磷两种元素的供求关系接近平衡。

3. 系统内的能量转化效率。实验前的能量投入以有机能为主,无机能又以机械能为主,总的来说,属于低投入低产出阶段,能量产投比仅为 1.5(表 13)。实验初期(1984~1987 年),由于推行“农村联产承包责任制”,有机能投入量较实验前有较大幅度的增加(增加 65%);无机能增加 15.1%,其中化肥增加较多,而机械能投入有明显地减少,总能量投入较实验前增加 58%,投入能量的增加促进了土地生产力的提高,而产出能较实验前提高 59.9%,能量产投比变化不大为 1.52。“七五”期间,由于科学技术的普及和推广,能量投入尽管增加不多,较前期仅增加 19.8%,而产出能量增加较多,为 36%,能量产投比为 1.72,较前期提高 13.16%。

表 13· 系统内的能量转化效率

| 时 期                 | 能量投入(10 <sup>4</sup> ×4.1868J) |           |           |         | 能量产出<br>10 <sup>4</sup> ×4.1868J | 产投比  |
|---------------------|--------------------------------|-----------|-----------|---------|----------------------------------|------|
|                     | 有机能                            | 无机能       | 合 计       | 有机能/无机能 |                                  |      |
| 实验前(1976~1983 年)    | 2 213 462                      | 360 986   | 2 574 448 | 6.1     | 3 862 715.8                      | 1.5  |
| “六五”期间(1984~1987 年) | 3 651 849                      | 415 518   | 4 067 367 | 8.8     | 6 174 575.4                      | 1.52 |
| “七五”期间(1988~1991 年) | 3 529 513                      | 1 343 307 | 4 872 820 | 2.6     | 8 398 314.0                      | 1.72 |

### 三. 讨论及结语

#### (一)在宁南半干旱山区,综合配套耕作技术体系的基础是“农田改制”

其实质是扩大农耕地养地的豆科牧草和作物的种植比例,一般应占耕地面积的 35%以上,建立起“粮→豆→经→饲”轮作体系,走用养结合,农牧结合的路子,以达到“草—畜—肥—粮”良性循环的目标。我们进行的粮豆轮作试验表明,9 年粮豆平均亩产为 127.6kg,达到了降水生产潜力的近期目标(125kg),比连茬麦增产 25.1%,而化肥施用量减少 25%。在粮草轮作体系中,苜蓿是当前理想的多年生豆科草种,生物产量较高,培肥地力和保持水土的作用十分明显,农田中较适宜的轮作方式为:苜蓿(5~6 年)→糜谷→小麦→小麦。由于苜蓿生物量高,根系发达,耗水量大,在曹洼示范村的试验表明:2~3 年生苜蓿地 1~4m 土层内;4 年生苜蓿地 1~6m 土层内;5 年生苜蓿地 0.5~8m 土层内和 6 年生苜蓿地,0.5~10m 土层内,其土壤含水量已接近或低于凋萎湿度,如果在小范围内周而复始的进行粮草轮作,势必会造成一定范围内土壤水分永久亏缺,引起牧草和作物生产力的降低。因此,这种轮作方式不宜固定在一个小范围内周而复始的进行,而应在较广泛的范围内实行粮草、粮豆交替轮作,其轮作方式为:苜蓿(5~6 年)→糜、谷→小麦→小麦→粮豆轮作。

#### (二)综合配套耕作技术的核心是培肥地力用养结合

提高土壤肥力的主要措施,一是合理轮作;二是增加化肥投入;三是农牧结合,过腹还田。在实验期间,我们规定在施用一定量有机肥的基础上,重点抓了合理轮作和化肥投入。在粮豆轮作中,经过两个轮作周期的长期观测试验,平均生产力有了明显的提高,土壤肥力水平也有所提高。在粮草

轮作中,三种5年生豆科牧草(红豆草、沙打旺和苜蓿)年均固氮量,在不施磷肥的情况下分别为14.1、28.67和23.25kgN/亩,在施磷肥情况下分别为16.82、35.79和34.74kgN/亩。其中26.5%~39.2%留在土壤中;51.2%~63.7%被牲畜摄取,增加了活体重量;9.25%~9.8%过腹还田。另外,3种豆科牧草对磷( $P_2O_5$ )的积累量,分别为1.58、2.63和1.93kg/亩,特别是能吸收土壤深层

磷,构成植物个体,经牲畜摄取,过腹还田,以有机磷的形式参与磷的循环和再利用,在维持轮作体系的磷平衡中具有重要意义。这说明在半干旱的水土流失地区,通过扩大农耕地豆科作物和牧草的种植比例,建立用养结合的粮豆经饲轮作体系,及适量的化肥投入,以此来培肥土壤,提高土地生产力,是一项带根本性的措施。

表14 粮豆轮作中各类作物对有效水的利用及水分利用效率

| 作物种类 | 有效水分<br>(mm/亩) | 耗水量<br>(mm/亩) | 有效水利用<br>率(%) | 水分利用效率<br>(kg/mm·亩) |
|------|----------------|---------------|---------------|---------------------|
| 豌豆   | 376.3          | 242.4         | 64.4          | 0.55                |
| 豆茬麦  | 374.3          | 281.4         | 75.2          | 0.52                |
| 重茬麦  | 365.5          | 245.0         | 67.0          | 0.46                |
| 糜子   | 537.7          | 304.5         | 55.6          | 0.54                |
| 谷子   | 557.9          | 340.0         | 60.9          | 0.47                |
| 胡麻   | 327.8          | 242.4         | 73.9          | 0.26                |

注:在不产生径流的情况下,即作物播种期与收获期2m土层含水量的有效水部分之差,加上生育期降水。

### (三)水肥协调问题

该地区对土壤有效水利用不足,

使单位水量生产效能太低,究其原因是水、肥不协调,水、热不同步的问题。据统计资料分析,一般春雨多利于秋作,不利于夏作,而秋雨多利于第2年的夏作,不利于当年的秋作。有些年份由于秋雨过多,热量不足,秋作物贪青晚熟,甚至于成熟不了,而造成绝收。水、热不同步,影响有效水的利用;水、肥不协调,则影响用水效率的提高。实测结果表明:其有效水量秋作物大于夏作物;利用率则夏作物高于秋作物(表14)。有效水利用率的关系式: $ew\% = 100y/wuE$ 。ew、ew%——有效水百分利用率;y——作物产量(kg/亩);wuE——水分利用效率(kg/mm·亩);ew——有效水分(mm/亩)。我们根据有效水分生产潜力所要求的需肥量,采取轮作和适量的化肥投入,其产量和用水效率均随着施肥量的增加而增加,有的成倍增加,而有效水利用率也有所提高,但提高不多。这说明宁南山区旱地水、肥是不协调的,远没有达到充分发挥有效水生产潜力所要求的需肥量。因此,限制当前作物产量的主导因子是肥,而不是水。

综上所述,在宁南半干旱水土流失地区,适当扩大农耕地豆科牧草和豆科作物的种植比例,建立稳定的以“粮豆经饲”轮作为中心的综合配套耕作技术体系。只要解决好用养结合,水、肥协调以及轮作中养分供求平衡等问题,使系统内作物周期性的平均生产力达到有效水分的生产潜力(150~200kg/亩)是可能的。

### 参 考 文 献

- [1] 固原县综合考察队.《黄土高原典型地区宁夏固原县综合农业区划与应用》.银川市:宁夏人民出版社,1983年
- [2] 山仑等.宁南山区主要粮食作物生产力和水分利用的研究.《中国农业科学》,1988年
- [3] 山仑等.黄土高原水土流失重点县农田种植制度的改革.《水土保持通报》,1986年,第1.2期
- [4] 辛业全等.水土流失区合理深施肥料的增产效益.《水土保持通报》1986年,第1期
- [5] 辛业全等.宁南山区旱地农业增产技术体系的研究.《水土保持学报》,1990年,第2期

- [6] 万惠娥等. 宁南山区盐碱地施磷对春小麦生理及产量的影响.《宁夏农业科技》,1991年,第2期
- [7] 万惠娥等. 无机营养与土壤盐分对春小麦生理反应及干物质影响的研究.《西北植物学报》,1991年,第5期
- [8] 辛业全等. 宁南山区旱地粮豆轮作体系中的养分平衡研究.《土壤肥力研究进展》,1991年

## 《水土保持通报》第二届编辑委员会名单

主 编:杨文治

副主编:唐克丽 刘玉民

编 委:(按姓氏笔划排列)

卜崇德(宁夏回族自治区水利厅)

于 丹(水利部松辽委)

于兆英(中国科学院西安分院)

王礼先(北京林业大学)

石福田(辽宁省水利电力厅)

卢宗凡(中科院水利部西北水保所)

李国忠(河北省水利厅)

刘玉民(中科院水利部西北水保所)

刘足征(湖南省水利电力厅)

刘 德(山东省水利厅水保办)

刘复新(江苏省水土保持委员会)

刘海峰(甘肃省水利厅水保局)

朱安国(贵州省农学院)

邬良兴(江西省水利厅)

杨文治(中科院水利部西北水保所)

张仲子(中科院水利部西北水保所)

张书义(内蒙古自治区水利厅)

张大全(陕西省水土保持局)

张胜利(黄委会水利科研所)

张淑光(广东省水利水电科研所)

陈国良(中科院水利部西北水保所)

杨永生(安徽省水利厅)

陈法扬(水利部南昌水利专科学校)

邵明安(中科院水利部西北水保所)

何玉麟(云南省水土保持委员会)

杨艳生(中科院南京土壤研究所)

步兆鹤(河南省水利厅)

武 相(山西省水利厅)

庞志桐(黑龙江省水利厅)

周伏建(福建省水土保持委员会)

郭廷辅(水利部农水司)

郭厚祯(长江水土保持局)

段泽民(四川省水土保持委员会)

赵诚信(黄河中游治理局)

唐克丽(中科院水利部西北水保所)

袁磊业(青海省水土保持局)

黄宏基(水利部海河水利委员会)

景 可(中科院北京地理所)

谢礼雄(水利部珠江水利委员会)

曾昭仁(湖北省水利电力厅)

廖安中(广东省水利电力厅)

魏振海(吉林省水利厅)