

## 长武旱塬轮作与肥料长期定位试验

党廷辉<sup>1,2</sup>, 高长青<sup>3</sup>, 彭琳<sup>1</sup>, 李玉山<sup>1,2</sup>

中国科学院 水土保持研究所; 2 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100;  
水利部  
3 陕西省长武县农技推广中心, 陕西 长武 713600

**摘要:** 较为详细的介绍了位于陕西省长武县旱塬上, 规模宏大的两个长期定位试验——长武轮作定位试验(36个处理, 108区, 占地8741m<sup>2</sup>)和肥料定位试验(24个处理, 72区, 占地2200m<sup>2</sup>)的设计方案与管理方法。试验布设于1984年, 过去的18年里在旱作产量效应、肥料合理施用、土壤培肥机理、硝态氮的累积规律、土壤干层形成理论等方面, 取得了一些很有价值的阶段性结果。

**关键词:** 长武轮作与肥料定位试验; 试验设计; 研究进展

中图分类号: S158.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)01-0061-04

## Long-term Rotation and Fertilizer Experiments in Changwu Rainfed Highland

DANG Ting-hui<sup>1,2</sup>, GAO Chang-qing<sup>3</sup>, PENG Lin<sup>1</sup>, LI Yu-shan<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi China; 2. Northwestern Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China; 3. Agricultural Extension Center of Changwu County, Changwu 710306, Shaanxi, China)

**Abstract:** The design plan and management of two long-term position experiments are described in details, Changwu rotation fertilized position experiment and Changwu fertilizer position experiment, which located in dry highland of Changwu of Shaanxi Province. Up to today, these experiments have been conducted for 18 years, many publications and valuable stage results had been achieved. Main advances concentrated on effect of yield, optimized fertilization, mechanism of soil fertility formation, nitrate accumulation law, soil dry-layer theory and so on.

**Key words:** Changwu rotation and fertilizer position experiments; experiments design; advancements of research

### 1 背景意义

轮作肥料长期定位试验在国外进行较多, 几乎所有发达国家都有自己的长期定位试验, 不少试验持续年限较长, 多在50年以上, 有些试验已超过100年, 例如, 英国洛桑(Rothamsted)试验站的Broadbalk小麦连作肥料试验开始于1843年, 德国Gottingen农业研究所的E-Field轮作下的肥料试验始于1973年, 法国Grignon国立农业研究所的Deherain小麦、甜菜肥料试验始于1875年, 美国Illinois州立大学的Morrow轮作-肥料试验始于1876年<sup>[1]</sup>。这些试验对土壤-植物营养理论以及化肥施用与化肥工业发展均起了重大的促进作用。

我国轮作肥料长期定位试验起步较晚, 彭琳等在新中国成立初期在黄土高原的旱地进行了轮作肥料试验, 试验开始于1953年。这个轮作肥料定位试验只进行了6年, 到1958年被迫中止。据此试验研究<sup>[2]</sup>结果, 肯定了磷肥在黄土区施用的效

果<sup>[3]</sup>, 纠正了一些研究者对石灰性土壤施用磷肥的偏颇认识; 发现了底墒对歇茬小麦丰产的重要作用<sup>[4]</sup>; 揭示了豌豆在轮作中培肥增产作用机理<sup>[5]</sup>, 提出了旱地土壤培肥3项技术, 夏休闲<sup>[6]</sup>、豆类倒茬<sup>[5]</sup>和重施土粪<sup>[7]</sup>(厩肥)。70年代后期至80年代初期, 国内各地纷纷建立肥料长期定位试验, 这一时期黄土区也和全国一样, 肥料长期定位试验如雨后春笋, 各地纷纷涌现, 这些长期定位试验除大量建立于有灌溉条件的水地, 在旱地也建立了不少这类试验。例如, 甘肃省平凉地区农业科学研究所于1978年开始在陇东高平试验农场旱地进行肥料长期定位试验研究<sup>[8]</sup>, 1983年水土保持研究所安塞试区在安塞县沿河湾乡坡地与川旱地进行轮作条件下肥料长期定位试验<sup>[9]</sup>, 1984年水土保持研究所所长武试区在渭北旱塬长武县西进行轮作肥料长期定位试验<sup>[10]</sup>。

本试验是50年代旱地轮作肥料定位试验的继承与发展, 同时参照历年各地旱作土壤培肥试验研究结果, 针对社会发展

\* 收稿日期: 2002-12-05

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-413-5); 国家科技攻关项目(2001BA508B18)。

作者简介: 党廷辉(1964-), 男, 在职博士, 副研究员, 主要从事土壤作物营养与施肥研究。

对农业生产的需求,进行试验研究。新中国成立以来,黄土台塬区社会人均粮食增长滞缓,建国初期(1949~1953年)社会人均粮食为308.5~347.1 kg,平均为326.62 kg,30年后本试验布置前5年(1979~1983年)社会人均粮食为242.7~352.7 kg,平均只301.70 kg,后者较前者还低7.63%;80年代以来,农区畜牧业发展较快,对饲料粮需求与日俱增,黄土旱塬有些地区饲料粮不能满足畜牧业发展需要,常以食用粮(小麦)用作饲料粮。为实现农作物持续增产,土壤肥力水平必须不断增长,因此,本试验目的在于促进增产粮食、增产饲料、增高地力“三增”以及实现“三增”的途径,就是要大力增产粮食以满足人口刚性增长对粮食的需求,积极增产饲料粮以满足畜牧业发展对饲料粮的需求,增高地力和提高土壤肥力水平以满足农作物持续增产对土地与土壤的需求。

## 2 自然条件与研究方法

### 2.1 试验地点与自然条件

试验地位于陕西省中西部长武县城关西5 km的十里铺村南1 km旱塬上,海拔1200 m。本区属暖温带半湿润旱气候区,年均降水584.1 mm,季节不匀,7~9月降水占全年降水的54%。年均气温9.1℃,无霜期171 d。试验布置在未进行灌溉的旱作农耕地上。

试验地处于黄土高原南部长武塬的中塬上,塬面平坦宽

阔,黄土堆积深厚,土壤为黄盖黏黑垆土,试验前1984年耕层0~20 cm土壤含有机质10.4 g/kg,全氮0.60 g/kg,碱解氮37.0 mg/kg,速效磷3.0 mg/kg,速效钾129 mg/kg, pH 8.3。试验土壤有机质含量不高,贫氮缺磷,钾素较为丰富。

当地主要作物为冬小麦,占粮播面积70%~80%,其次为玉米,其它作物比例很小。

### 2.2 试验设计与研究方法

2.2.1 轮作施肥试验设计 本试验包括不同轮作与不同施肥2个系统及裸地处理(R)1个(图1)。

I轮作系统:包括粮-粮轮作与粮-草轮作2个系统。所有轮作地块均施N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>(指N 120 kg/hm<sup>2</sup>+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>60 kg/hm<sup>2</sup>,其余类同)。

粮-粮轮作:包括粮-饲3年轮作(玉米-小麦-小麦+糜子,处理号18)、粮-豆3年轮作(豌豆-小麦-小麦+糜子,处理号12、13、14)、粮-饲-豆4年轮作(豌豆-小麦-小麦-玉米,处理号23)三个系统。

粮-草轮作:包括粮-草长周期(8年)轮作(苜蓿-苜蓿-苜蓿-马铃薯-小麦-小麦-小麦+苜蓿,处理号4~11)、粮-草短周期(3年)轮作(红豆草-小麦-小麦+红豆草,处理号为20、21、22)二个轮作系统。

作物连作:包括小麦连作、玉米连作和苜蓿连作三个系统。

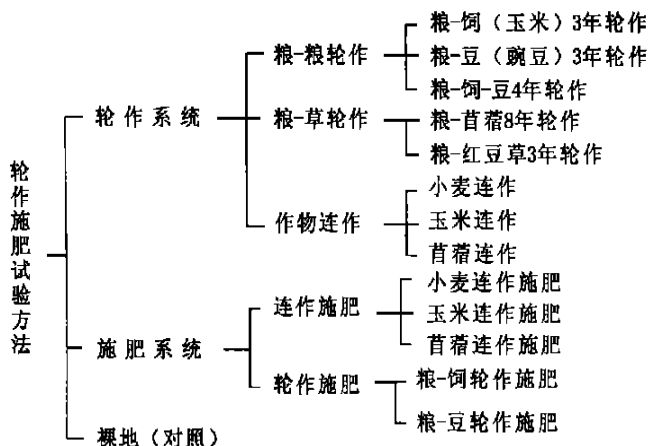


图1 长武轮作施肥长期定位试验设计

II 施肥系统:包括作物连作施肥与作物轮作施肥2个系统,肥料施用包括化肥(氮肥与磷肥)单施与配施以及厩肥单施与化肥配施。

作物连作施肥系统:包括小麦连作施肥系统(CK, N<sub>120</sub>, P<sub>60</sub>, N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, M<sub>75</sub>, M<sub>75</sub>N<sub>120</sub>, M<sub>75</sub>P<sub>60</sub>, M<sub>75</sub>N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, 处理号32, 30, 29, 28, 31, 36, 35, 27);玉米连作施肥系统(M<sub>75</sub>N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, 处理号33)和苜蓿连作施肥系统(CK, P<sub>60</sub>, N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, M<sub>75</sub>N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, 处理号1, 2, 4, 3)。

作物轮作施肥系统:包括粮-豆轮作施肥系统(CK, P<sub>60</sub>, N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, M<sub>75</sub>N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, 处理号17, 16, 14, 15);粮-饲(玉米)轮作施肥系统(N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, M<sub>75</sub>N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>, 处理号18, 19)。

III 裸地:作为对照(不种作物不施肥,只清除地面杂草),处理号为34。

试验处理数共计36个。重复3次,共有108个小区。小区

长10.26 m,宽6.5 m,小区面积为66.67 m<sup>2</sup>。小区间距0.5 m,区组间距1 m,四周留走道各1 m。全试验区(不含保护行)长127.5 m,宽68.56 m,占地0.87 hm<sup>2</sup>。采用多次重复法排列。

各类作物施用化肥与厩肥的种类与数量均按试验设计实施,于作物播种前撒施地表,翻入土中。试验所用厩肥为含土甚少的奶牛圈粪或农户厩肥,氮素化肥为尿素,磷肥为三料磷肥或过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>12%~14%),土壤喷撒3911或1605农药进行消毒灭菌,防治地下害虫。作物栽培技术与管理措施一般与大田同。

2.2.2 肥料试验设计 本试验为小麦连作肥料定位试验。供试养分因子有N、P、K、B、Zn、Mn、Cu七个。其中N与P不同配比处理(按不完全设计方法设计)17个,K肥处理1个,B、Zn、Mn、Cu、PK(磷酸二氢钾)及对照处理6个,共24个处理(表1)。重复

表 1 长武肥料定位试验方案												kg/hm <sup>2</sup>
处理号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	0	0	0	45	45	45	90	90	90	90	90	135
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	90	180	45	90	135	0	45	90	135	180	45
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
处理号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	135	135	180	180	180	90	60	60	60	60	60	60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	90	135	0	90	180	90	60	60	60	60	60	60
K <sub>2</sub> O 或微肥	0	0	0	0	0	90	0	PK	B	Zn	Mn	Cu

3 次, 共有小区 72 个。小区面积 5.5 m × 4 m。小区间距 0.5 m, 区组间距 1.0 m。试验地长度 82.5 m, 宽 27 m, 占地 0.22 hm<sup>2</sup>。氮、磷、钾肥均作基肥于播前撒入地表, 翻入土中。氮肥和磷肥类型同轮作试验, 钾肥为硫酸钾。微肥分别用硼砂、硫酸锌、硫酸锰和硫酸铜, 用量分别为硼砂 11.25 kg/hm<sup>2</sup>、ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 15.00 kg/hm<sup>2</sup>、MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 22.50 kg/hm<sup>2</sup>、CuSO<sub>4</sub> 15.00 kg/hm<sup>2</sup>。微肥采用土施法, 随播种施入播种沟中。

2.3 研究内容

- 2.3.1 轮作试验 (1) 不同轮作系统(粮饲轮作系统、粮豆轮作系统、粮草轮作系统) 效益比较及其提高途径; (2) 不同肥料长期单施与配施的培肥增产效果比较与不同轮作系统施肥作用以及提高肥料施用效果的技术; (3) 不同轮作施肥系统中水分养分循环与平衡以及耦合效应, 提高降水、肥料生产效率的措施; (4) 不同农田(不同轮作施肥的农地、草地和裸地) 的水分养分周期(日、年、多年) 演变及其调控。
- 2.3.2 肥料试验 (1) 不同化学肥料长期施用的增产效果及产量稳定性; (2) 旱地冬小麦氮磷化肥优化施用的长期研究; (3) 不同肥料长期施用对土壤理化性质的影响。

3 研究结果

在试验进行的 10 多年内, 总结发表了数十篇阶段性研究成果。主要体现在下列方面。一些结果对当地生产发挥了较大的指导作用, 一些结果还需进一步深入探讨和完善。但更多的问题和信息有待研究和开发。

3.1 作物产量与肥料管理

3.1.1 不同降水年份旱地小麦肥料效应与优化施用<sup>[11, 12, 21]</sup>  
黄土旱塬作物生产中水分来源于自然降水, 属典型的雨养农业区。自然降水不但季节间变化大, 而且不同年份差异显著。以往旱地合理施肥方面研究, 基本都是根据几年试验平均结果, 讨论作物肥料效应与肥料优化施用问题, 而对于年度间降水波动很大的旱塬地区, 指导生产存在极大的局限性。本研究根据多年试验资料, 分析不同肥料产量效应与降水的关系后, 认为旱地作物产量与播前底墒及生育期降水关系密切, 肥料效应受降水影响较大。因此, 根据降水年型讨论了不同肥料的施用效果及化肥的合理施用问题, 进而提出了旱作不同降水年份作物优化施肥模式。

研究认为: 任何降水年份, 肥料配合施用效果均优于单独施用效果, 即有 NPM > NP > N 或 P 或 M 单施。NP 配施与 NPM 配施都具有持续增产效果。但磷肥在干旱年增产效果较好, 施用磷肥处理较对照平均增产 35.3%; 在丰水年效果欠佳, 施磷平均仅增产 14.0%。氮肥效果与磷肥在各种降水年型中表

现相反, 表现为干旱年平均增产 64.6%, 丰水年平均增产 119.4%。平水年氮磷均有很好增产效果, 氮肥增产 197.8%, 磷肥增产 33.2%。根据回归的不同降水年份氮肥、磷肥-产量效应方程, 当边际产量  $dy/dx = 0$  时, 计算了最高产量施肥量。当边际产量等于边际成本, 即  $dy/dx = p_x/p_y$  时计算出经济最佳施肥量。由此建议施肥组合为 NPM 或 NP, 氮磷施用量及比例应坚持丰水年份, 多施氮肥少施磷; 干旱年, 多施磷肥减少氮肥; 平水年, 氮磷平重的施肥原则。

3.1.2 旱地冬小麦肥料利用率的变异性分析<sup>[13]</sup> 结果表明肥料效应及其利用率受品种、肥料用量和年度气候影响, 变异性很大。氮、磷肥利用率不仅年际间变化很大, 而且与肥料用量有关。1984~1995 年, 供试品种为长武 131, 氮肥利用率变幅为 6.4%~58.6%, 变异系数为 48.7%; 磷肥利用率变幅为 3.7%~19.8%, 变异系数为 39.5%。1996~1998 年, 供试品种为长武 134, 在配施磷或氮(P<sub>90</sub>或 N<sub>90</sub>) 基础上, 氮磷肥的利用率随其用量的增加而降低。氮肥利用率为 25.4%~42.9%, 平均 36.3%; 磷肥利用率为 3.2%~10.8%, 平均 7.2%。通过分析氮与磷的互促效应, 表明氮磷配施是提高其相互利用率的有效途径。最佳效益与高的利用率对应的施肥量也不同步。用肥料利用率作为旱塬地区肥料的生产效率的单纯量度存在很大的局限性。由此, 提出了对利用率的一些认识, 即农业生产中, 肥料利用率高, 并非经济效益就高; 在投肥量相对固定的条件下, 应改进施肥技术和改善施肥环境, 以提高肥料利用率; 从年际间的纵向比较来评价肥料利用率的高低, 由于影响因素众多, 很难用于指导生产。

3.1.3 旱塬区不同降水年份微肥施用效果<sup>[14]</sup> 微肥在黄土区作物上使用有效的报导较多。通过我们长期试验, 进一步证实了微肥在冬小麦上的增产效果。而不同微肥增产效果在不同降水年份又存在明显差异。从结果看, 在施用氮磷肥的基础(N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>) 上, 11 年平均结果, 硼、锌、锰和铜分别比对照增产 3.6%、7.4%、7.2% 和 10.9%。按降水年份分析表明, 丰水年 Mn 肥增产效果最好, 比对照增产 11.4%; 其次为 Zn 肥, 比对照增产 5.1%; B、Cu 肥则无效果。平水年除 Cu 肥比对照增产 8.7% 外, 其余微肥基本无增产效果。干旱年各种微肥均显示明显地增产作用, 增产顺序为 Cu > Zn > B > Mn, 它们分别较对照增产 25.8%、14.0%、12.6% 和 11.6%。进一步证实了微肥的抗旱增产性。

3.1.4 旱塬不同轮作系统物质与能量产出分析 通过统计分析定位试验 12 年后不同轮作系统作物产量、蛋白质与能量产出, 结果表明, 在多种轮作系统中, 粮食平均年产量以小麦-玉米轮作最高, 较小麦连作(对照) 增产 39.9%, 蛋白质增产 31.5%, 能量产出高 39.4%; 其次是小麦-玉米-豌豆轮作, 年均产量较对照增产 16.3%, 蛋白质增产 11.1%, 能量产出高 16.3%。

3.1.5 氮磷肥对旱地冬小麦品质的影响 通过分析小麦籽实中的蛋白质和氨基酸组分, 表明施氮有利于籽实蛋白质含量和产量的提高, 在不同的供磷条件下, 籽实中的蛋白质含量是随氮量的增加而增长幅度也很大, 精蛋白增加 1.21%~2.23%。施磷不利于蛋白质的改善, 其蛋白质含量随施磷量的增加而下

降,精蛋白降低幅度为1.03%~1.29%。氮磷配施有利于提高籽实中蛋白质含量,较对照(8.49%)增加3.54%~5.53%,氮磷配施明显优于单施氮肥。

施用化肥影响小麦蛋白质中氨基酸组成。氮肥使赖氨酸含量稍有下降,降低蛋白质的营养价值,但氮肥提高了籽实蛋白质的化学总得分,增加了小麦籽实总的营养价值。磷肥提高小麦总体营养价值的效果一般,但有利于提高小麦蛋白质营养价值。

### 3.2 土壤肥力

3.2.1 不同轮作系统的培肥作用<sup>[16]</sup> 试验对比分析了6个轮作系统,证明小麦-豌豆轮作,小麦-苜蓿轮作,小麦-红豆草轮作均比小麦连作土壤养分有机质、全氮、碱解氮、速效磷有所改善。小麦-玉米-豌豆轮作系统土壤养分也微有改善。而小麦-玉米轮作与小麦连作相比,土壤养分无明显差异。说明豆科作物(或牧草)在培肥土壤方面具有独特的功效,尤其在作物轮作过程中,豆科作物比例增加,培肥效果更加显著。

在小麦-豌豆轮作,小麦-苜蓿轮作及小麦-红豆草轮作中,豌豆、苜蓿、红豆草茬土壤养分含量比小麦茬基本都高,而且豆科作物茬口的土壤养分有明显的累加效应。

由此认为,轮作中增加养地作物是行之有效的土壤培肥措施。在地广人少地区,适度增加豆科作物(或牧草)参与粮食作物轮作,培肥土壤,不但对于发展本地畜牧业,扩大肥源有益,而且对于本地区农业可持续发展有重要意义。

3.2.2 有机肥与化肥及其配合施用的培肥作用<sup>[17~20]</sup> 测定分析了不同施肥处理10年后土壤耕层有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾,进一步分析了占全氮70%以上有机氮组分,占全磷85%以上的无机磷组分。结果表明,施用有机肥能显著地改善土壤养分状况,养分供应容量和强度明显提高,土壤氮磷养分有效性大增。

与此同时,研究了各处理剖面养分的变化,并用养分综合指数评价了各处理的培肥位次。证明有机肥不但影响表层养分,而且影响深度可达50 cm以下。随深度增加,影响逐渐减弱。有机肥的培肥效果与配施化肥的均衡程度有关。平衡供应

### 参考文献

- [1] 沈善敏 国外的长期肥料试验(一)[J]. 土壤通报, 1984, 15(2): 81- 91.
- [2] 彭祥林, 李玉山, 朱显谟 关中红油土地区的轮作制[J]. 土壤学报, 1961, 9(1- 2): 42- 55.
- [3] 中国科学院西北生物土壤研究所土壤组 古耕普通黑褐土的磷肥肥效问题[J]. 土壤通报, 1959(2): 7- 16.
- [4] 李玉山 土壤水分状况与作物生长[J]. 土壤学报, 1962, 10(3): 289- 304.
- [5] 彭琳, 彭祥林 豌豆在轮作中的培肥增产作用[J]. 土壤通报, 1981, (2): 4- 6.
- [6] 彭琳, 彭祥林, 卢宗凡 土旱地土壤硝态氮季节性变化与夏季休闲的培肥增产作用[J]. 土壤学报, 1981, 18(3): 212- 222.
- [7] 彭琳, 彭祥林 土壤和粪肥的增产效果及其施用条件[J]. 土壤肥料, 1981, (6): 29- 30.
- [8] 丁宁平, 周广业 旱地土壤定位有机培肥研究[J]. 土壤通报, 1990, 21(5): 201- 204.
- [9] 郑剑英, 赵更生, 吴瑞俊 黄绵土在连续施肥下的肥料效应[J]. 水土保持通报, 1990, 10(2): 8- 15.
- [10] 杨平, 彭琳, 戴鸣钧 渭北旱塬小麦连作中肥料对土壤养分的影响[A]. 土壤肥力研究进展[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 46- 49.
- [11] 党廷辉, 彭琳, 杨平, 等 从长期定位试验看渭北旱塬冬小麦化肥的合理施用[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(3): 20- 26.

(下转第103页)

N、P的条件下,有机肥改善土壤养分作用明显。用养分综合指数法评价结果为:NPM>M>PM>NP、MN、P>N、R>CK。NP施用能保持土壤养分平衡或略有改善,不会导致肥力衰退。

3.2.3 施用有机肥和化肥对磷素吸附特性的影响<sup>[21]</sup> 用Langmuir方程计算出不同施肥处理土壤磷的最大吸附量为207.9~251.3 μg/g,平均为230.2 μg/g。长期施用厩肥后,土壤磷的最大吸附量明显降低,NPM比NP最大吸附量降低9.1%,M比CK最大吸附量降低6.8%。施用氮磷肥,磷的最大吸附量增减不一。

吸附特性值( $K \cdot X_m$ )综合反映了土壤吸磷的强度因数与容量因数。由结果知,不同处理 $K \cdot X_m$ 值表现为:NP>N>R&CK>P>M&NPM。可以认为各处理对磷的吸附强弱也有这样的次序。施用厩肥或磷肥后土壤磷的储量增加,供磷强度增强,吸磷减少;而单施氮肥或氮磷配施,土壤吸磷明显增多。

标准自由能 $\Delta G_0$ 是判断等温等压下反应方向的依据。 $\Delta G_0$ 为负值,说明土壤对磷的吸附过程是一种自由能降低的自发过程。自由能负值越大,磷的吸附过程越易进行。各施肥处理 $\Delta G_0$ 大小顺序为:NP>N>CK&R>P>M&NPM,与吸附特征值大小序列基本相同。由此说明,施用厩肥后由于土壤供磷能力增强,使土壤对磷的吸附削弱最大,施磷次之,而施用NP或N,使土壤对磷的吸附过程更易发生,磷吸附强度增强。

用Olsen法连续浸提土壤速效磷到检不出为止,各次测出的速效磷之和,即土壤潜在可给态磷,称之为活性磷。它可以作为土壤供磷的容量指标。结果表明:连续施用厩肥、磷肥,土壤活性磷数量增加,易被 $\text{NaHCO}_3$ 解吸更多吸附磷;而施用氮肥,土壤活性磷降低。

### 3.3 其它有关结果

除上述一些结果外,我们还在其它一些方面取得进展。如施肥对土壤贮水性和水分利用效率的影响<sup>[17]</sup>;微肥对小麦品质的作用<sup>[14]</sup>;特大旱年肥料效应的特异性<sup>[24]</sup>;不同作物的茬口效应<sup>[10]</sup>;施肥对土壤磷素形态转化和有效性的影响<sup>[21, 23, 25]</sup>;土壤氮素调节<sup>[27]</sup>;土壤氮磷供给能力<sup>[28]</sup>和土壤矿质氮的剖面分布规律<sup>[29, 30]</sup>;土壤干层形成机理<sup>[31, 32]</sup>等方面。

在大喇叭口期供给效果最好, 24 mm 供水增产 28.1%, 是其它 3 个时期增产量的 1.15~1.24 倍, 水分利用效率、供水效率达到 37.8 kg/(mm·hm<sup>2</sup>)、93.6 kg/mm, 12 mm 供水增产 20.8%、是其它 3 个时期增产的 1.42~2.31 倍, 水分利用效率 34.6 kg/(mm·hm<sup>2</sup>), 供水效率却高达 154.7 kg/mm, 充分体现了少量补充灌溉的高效性。这也是因为大喇叭口期是玉米营养生长和生殖生长并行阶段, 对水分亏缺极为敏感的缘故, 此时即使少量供水也可促进玉米的超常速生长和发育, 促进产量的跃迁。

### 3 小 结

(1) 在陇东地区正常年份各生育期不同补充的平均效果

#### 参考文献:

- [1] 樊廷录, 宋尚有, 罗俊杰 陇东旱塬集雨节灌高效农业研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(1): 18- 23  
[2] 马天恩, 高世铭 集水高效农业[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1997.

(上接第 64 页)

- [12] 党廷辉 不同降水年型旱塬冬小麦优化施肥模式研究[A]. 长武农业生态系统结构、功能及其调控原理与技术[M]. 北京: 气象出版社, 1998 76- 81.  
[13] 党廷辉 旱塬冬小麦氮磷肥效及其利用率的变异性[J]. 生态农业研究, 2000, 8(4): 43- 46  
[14] 党廷辉 不同降水年份黑垆土微肥增产效果及对小麦品质的影响[A]. 长武农业生态系统结构、功能及其调控原理与技术[M]. 北京: 气象出版社, 1998 136- 139.  
[15] 杨平, 彭琳, 戴鸣钧 氮、磷肥对冬小麦蛋白质含量及氨基酸组分的影响[J]. 土壤通报, 1990, 21(5): 223- 224  
[16] 党廷辉 黄土旱塬轮作培肥试验研究[J]. 水土保持学报, 1998, 4(3): 44- 47.  
[17] 党廷辉, 彭琳, 戴鸣钧, 等 旱塬长期施肥的产量效应与土壤肥力的演变[J]. 水土保持学报, 1995, 1(1): 55- 63  
[18] 党廷辉, 彭琳, 戴鸣钧 定位施肥对黑垆土剖面养分的影响[J]. 水土保持通报, 1995, 15(6): 28- 33  
[19] 党廷辉 土壤剖面养分定位研究及有机肥的培肥作用[J]. 西北农业学报, 1995, 4(增刊): 100- 103  
[20] 党廷辉, 彭琳, 戴鸣钧 旱塬长期施肥对冬小麦产量和土壤养分的影响[J]. 水土保持通报, 1993, 13(5): 54- 57.  
[21] 党廷辉, 郭胜利, 彭琳 连续施肥对黑垆土磷素组成及吸附特性的影响[J]. 地理科学进展, 1998, 17(增刊): 154- 158  
[22] 党廷辉 施肥对旱地冬小麦水分利用效率的影响[J]. 生态农业研究, 1999(2): 28- 31.  
[23] 彭琳, 党廷辉 石灰性土壤磷素形态组成与旱地长期定位施肥对其影响[A]. 长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术[M]. 北京: 气象出版社, 1998 89- 119.  
[24] 党廷辉, 彭琳, 等 旱塬特大干旱年冬小麦肥效的异常性分析[J]. 水土保持通报, 1993, 13(5): 54- 57.  
[25] 党廷辉, 彭琳, 等 定位施肥对黑垆土无机磷组成及有效性的影响[J]. 陕西农业科学, 1993(5): 12- 14  
[26] 彭琳, 杨平, 刘耀红, 等 渭北高原旱地小麦化肥施用效果[J]. 干旱地区农业研究, 1986, 4(1): 32- 39  
[27] 党廷辉, 郝明德 黄土旱塬不同降水年份氮肥效应与土壤氮素调节[J]. 中国农业科学, 2000(4): 62- 66  
[28] 党廷辉, 郭胜利, 郝明德 旱地冬小麦氮磷自然供给能力及其吸收氮磷来源的长期定位试验[J]. 植物营养与肥料学报, 2001(2): 166- 170  
[29] 刘晓宏 黄土高原长期轮作施肥系统土壤供氮能力研究[D]. 杨陵: 中国科学院水利部水土保持研究所, 1999  
[30] 樊军, 郝明德, 党廷辉 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 2(1): 23- 26  
[31] 李玉山 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 404- 411.  
[32] 董翠云, 黄明斌 黄土塬区旱作农田高生产力的水分环境效应与产量波动性[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 204- 206

是大喇叭口期> 拔节期> 播前> 苗期, 供水效率依次为 106.6, 93.3, 90.3, 74.2 kg/mm, 体现了旱地玉米在不同生育时期有限供水的高效性。

(2) 就不同滴灌在各生育时期的平均效果而言, 补充供水 12, 24, 36 mm 较不供水对照玉米产量增加 14.5%、22.6%、33.0%, 供水效率达 107.6, 84.2, 81.8 kg/mm, 更充分说明旱地玉米有限补偿供水的超补偿效应。

(3) 建议当地农民在利用有限集雨补灌玉米时, 优先考虑在大喇叭口期供水, 特别是补充供水量较少时, 12 mm 补充供水可增产 20% 以上, 在补充供水量较多(> 36 mm) 时, 也可以考虑操作的方便选择在拔节或播前供给。