

# 长期氮磷化肥配施对不同种植体系土壤水分的影响

危 锋<sup>1,2</sup>, 郝明德<sup>2</sup>

(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院 水土保持与荒漠化防治重点学科, 昆明 650224;  
2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**利用长期定位实验,在黄土高原旱地研究了 22 a 氮磷化肥配施下不同种植体系土壤水分的变化状况,为合理利用水肥资源提供参考。在小麦连作、豌豆—小麦(2 a)+糜子轮作、红豆草—小麦(2 a)轮作、豌豆—小麦(2 a)+玉米轮作、玉米—小麦(2 a)+糜子轮作、小麦(2 a)+糜子—玉米轮作 6 个不同种植体系中,测定土壤剖面(0—300 cm)含水量、储水量。结果表明:不同种植体系土壤含水量在土壤剖面上的分布不同,所有处理在土壤剖面 140—300 cm 土层含水量均低于 0—140 cm 土层含水量。不同种植体系在土壤剖面不同土层的储水量不同,在 0—300 cm 土壤储水量各处理表现为豌豆—小麦(2 a)+玉米轮作(644.8 mm)>小麦(2 a)+糜子—玉米轮作(599.6 mm)>豌豆—小麦(2 a)+糜子轮作(582.3 mm)>红豆草—小麦(2 a)轮作(574.0 mm)>玉米—小麦(2 a)+糜子轮作(550.8 mm)>小麦连作(536.9 mm)。轮作体系 0—300 cm 土壤储水量均高于小麦连作。粮豆轮作土壤储水量高于小麦连作,是黄土高原地区较好的种植方式。

**关键词:**黄土高原;长期试验;氮磷化肥;不同种植体系;土壤水分

中图分类号:S158.8;S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)06-0067-04

## Effect of Application of NP Chemical Fertilizer on Soil Water in the Different Cropping Systems on Dryland of the Loess Plateau

WEI Feng<sup>1,2</sup>, HAO Ming-de<sup>2</sup>

(1. Key Subject of Soil and Water Conservation & Desertification Control, College of Environment Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;  
2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To provide a reference for reasonably using soil water resources in dryland farming on the Loess Plateau, soil water contents in soil profiles of different cropping systems under the condition of 22 years' continuous application of NP chemical fertilizer on the Loess Plateau were studied. The treatments are wheat succession, pea-wheat(2 a)+millet rotation, sainfoin-wheat(2 a) rotation, pea-wheat(2 a)+maize rotation, maize-wheat(2 a)+millet rotation and wheat(2 a)+millet-maize rotation systems. Soil water contents and water storages in soil profiles(0—300 cm) in six kinds of different cropping systems were analyzed. The results showed that the distributions of soil water contents in soil profiles were different in the systems. Water contents in 140—300 cm soil layers were lower than those in 0—140 cm soil layers in all treatments. The soil water storages in different soil layers were different in different cropping systems. The soil water storages in 0—300 cm soil layers decreased as the sequence of pea-wheat(2 a)+maize rotation (644.8 mm)>wheat(2 a)+millet-maize rotation (599.6 mm)>pea-wheat(2 a)+millet rotation (582.3 mm)>sainfoin-wheat(2 a) rotation (574.0 mm)>maize-wheat(2 a)+millet rotation (550.8 mm)>wheat succession (536.9 mm). The results also indicate that the soil water storages of rotation systems in 0—300 cm soil layers were more than wheat succession. Therefore, the grain-legume rotation is the better cropping practice on the Loess Plateau.

**Key words:** the Loess Plateau; long-term experiment; NP chemical fertilizer; different cropping system; soil water

收稿日期:2011-05-29

修回日期:2011-06-20

资助项目:中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-02,KSCX-YW-09-07);国家重点基础研究发展计划(2009CB118604);国家科技支撑计划重大项目(2011BAD31B01)

作者简介:危锋(1978—),男,陕西汉中,博士,讲师,主要从事土壤养分循环与平衡方面的研究。E-mail:weifeng6688@126.com

通信作者:郝明德(1957—),男,陕西华县人,研究员,博士生导师,主要从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。E-mail:mdhao@ms.iswc.ac.cn

黄土高原地区是中国主要的旱作农业区,该区水土流失严重,生态环境退化<sup>[1]</sup>,水分胁迫是限制旱地农业生产的主要问题<sup>[2]</sup>。关于黄土高原旱地农田水分状况很多学者做了大量研究,主要集中在作物生长<sup>[3]</sup>、蒸腾作用<sup>[4]</sup>、抗旱生理<sup>[5-7]</sup>,土壤水分动态变化<sup>[8-11]</sup>、施肥与产量以及水分利用效率<sup>[12-16]</sup>等方面。

长期定位试验具有时间的长期性和定位性等特点,信息量丰富,准确可靠,是全面了解农田生态系统的重要场所。长期定位试验能系统了解各因素的相互作用,为评估施肥对土壤肥力及生态环境的影响提供重要的研究基础。前人对黄土高原地区不同种植体系土壤剖面水分分布和储水量的研究较少<sup>[17]</sup>。为了探明黄土高原长期不同种植体系对土壤水分的影响,本文在黄土高原地区 22 a 氮肥配施条件下对不同种植体系土壤剖面水分分布和储水量变化状况展开研究,以期为黄土高原地区旱地农业可持续发展提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

定位试验区位于黄土高原中南部陕西省长武县十里铺村无灌溉条件的塬面旱地,属暖温带半湿润大陆型季风气候,农业生产全部依赖天然降水,为典型的旱作农业区。试验地海拔 1 200 m,年平均气温

9.1℃,多年平均降水量 578.5 mm,无霜期 171 d,≥0℃活动积温 3 866℃,≥10℃活动积温 3 029℃,热量供作物一年一熟有余。试验地土壤为黏化黑垆土,母质是深厚的中壤质马兰黄土,全剖面土质均匀疏松,通透性好。1984 年秋季试验前耕层土壤有机质含量 10.5 g/kg,全氮 0.80 g/kg,速效氮 37.00 mg/kg,全磷 0.659 g/kg,速效磷 3.0 mg/kg,速效钾 129.3 mg/kg,CaCO<sub>3</sub> 108.4 mg/kg,pH 值 8.3,肥力水平较低。试验地的土壤养分含量、地貌特征在黄土高原同类地区具有典型代表性。

### 1.2 实验设计

长期轮作培肥试验开始于 1984 年,共 36 个处理,108 个小区,小区面积 66.67 m<sup>2</sup>,3 次重复,随机排列。本研究选取其中 6 个处理:小麦连作(处理 1)、豌豆(*Pisum sativum* L.)—小麦(*Triticum aestivum* L.) (2 a)+糜子(*Panicum miliaceum* L.)轮作(处理 2)、红豆草(*Onobrychis viciaefolia* Scop.)—小麦(2 a)轮作(处理 3)、豌豆—小麦(2 a)+玉米(*Zea mays* L.)轮作(处理 4)、玉米—小麦(2 a)+糜子轮作(处理 5)、小麦(2 a)+糜子—玉米轮作(处理 6)。各处理施肥量(NP)相同,即:N 120 kg/(hm<sup>2</sup>·a)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。氮肥用尿素,磷肥用过磷酸钙。所有肥料在播种时一次性施入,定期进行除草和松土,田间管理同大田。供试作物品种及其生育期见表 1。

表 1 供试作物品种及其生育期

作物类型	品种名称	播种期	收获期
小麦	秦麦 4 号(1984—1985 年),长武 131(1986—1995 年),长武 134(1996 年)	9 月中旬	次年 6 月下旬
玉米	中单二号或丹玉 13	4 月中旬	9 月中旬
糜子	当地农家品种	7 月上旬	10 月上旬
豌豆	白豌豆	3 月中旬	7 月上旬
红豆草	宁夏固原	7—8 月	次年 7 月与 9 月各割一次

### 1.3 样品采集与分析

2006 年 9 月采集 0—300 cm 分层土样(每 20 cm 为 1 层),土壤含水量用烘干法测定。土壤剖面的储水量,采用式(1)计算。

$$W = h \times a \times \theta \times 10 / 100 \quad (1)$$

式中:W——土壤储水量(mm);h——土层深度(cm);a——土壤密度(g/cm<sup>3</sup>);θ——土壤质量含水量(%)。

数据采用 SAS 软件中相应程序进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植体系土壤剖面含水量分布

水分是限制黄土高原农业发展的重要环境因子,作物播前土壤剩余含水量对作物生长发育有较大的

影响。2006 年 0—300 cm 土壤含水量,不同种植体系土壤剖面含水量变化较大(图 1)。处理 3、处理 4、处理 2、处理 6、处理 1、处理 5 耕层(0—20 cm)含水量分别为 18.8%、17.9%、17.3%、17.2%、16.3%和 16.2%。处理 5 与处理 3 耕层土壤含水量相差 2.6%。

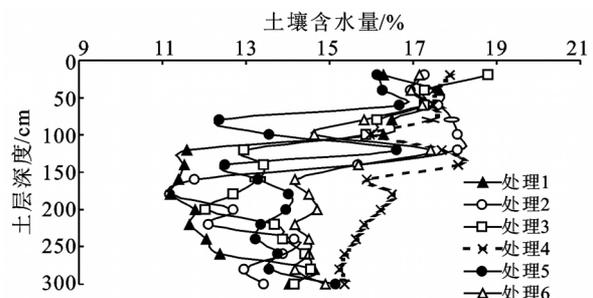


图 1 长期施氮磷化肥不同种植体系土壤剖面含水量分布

处理 1 土壤剖面含水量在 0—40 cm 处增加, 40—180 cm 处下降, 尤其是在 100—120 cm 土层处含水量急剧下降, 在 240 cm 以下土层含水量有所升高, 但仍低于耕层含水量。处理 2 土壤含水量在 0—100 cm 土层小幅增加, 在 120—180 cm 土层含水量下降且降幅较大, 在 200 cm 以下土层含水量呈波动变化, 但仍低于耕层含水量。处理 3 土壤含水量在土壤剖面 0—200 cm 土层处一直降低, 尤其是在 100—120 cm 土层处含水量下降幅度较大, 在 220 cm 以下土层含水量有所升高, 但仍低于耕层含水量。处理 4 土壤含水量在土壤剖面 0—100 cm 处呈下降趋势, 0—80 cm 土层处呈小幅下降, 80—100 cm 土层下降幅度较大, 在 100—140 cm 土层含水量上升, 在 140 cm 以下土层含水量又降低, 但降幅较小。处理 5 土壤含水量在土壤剖面 0—60 cm 土层呈小幅增加趋势, 60—80 cm 土层处出现含水量下降的拐点且降幅较大, 80—120 cm 土层含水量有所增加, 在 120—140 cm 处又出现含水量下降的拐点且降幅较大, 在 140 cm 以下土层含水量呈小幅波动变化。处理 6 土壤含水量在土壤剖面 0—100 cm 处先小幅下降再小幅升高, 然后呈较大幅度地下降, 在 100—120 cm 土层处含水量又较大幅度地升高, 在 120—160 cm 土层处含水量较大

幅度地下降, 在 160 cm 以下土层含水量变化较小。

不同种植体系土壤剖面含水量分布产生差异的原因主要是由于不同作物对水分的吸收利用不同以及种植方式不同引起。

## 2.2 不同种植体系土壤储水量

不同种植体系土壤剖面(0—300 cm)储水量分布情况可看出(表 2), 耕层土壤储水量表现为处理 3> 处理 4> 处理 2> 处理 6> 处理 1> 处理 5。耕层储水量处理 3 与处理 4、处理 2、处理 6 之间差异不显著, 但与处理 1、处理 5 差异显著; 处理 1 与处理 5 之间差异不显著。耕层储水量处理 3 分别比处理 4、处理 2、处理 6、处理 1 和处理 5 高出 4.9%, 8.7%, 9.3%, 15.3% 和 16.2%, 处理 1、处理 5 与处理 3 相差 6.5 mm、6.8 mm。

在 0—60 cm 土壤储水量各处理表现为处理 3> 处理 4> 处理 2> 处理 1> 处理 6> 处理 5。0—60 cm 土壤储水量处理 3、处理 4 与处理 2、处理 1、处理 6 间差异不显著, 但与处理 5 差异显著; 处理 4、处理 2、处理 1、处理 6、处理 5 间差异不显著。0—60 cm 土壤储水量处理 3 分别比处理 4、处理 2、处理 1、处理 6 和处理 5 高出 1.0%, 3.0%, 3.7%, 3.8% 和 8.5%, 处理 5 与处理 3 相差 10.9 mm。

表 2 长期氮磷化肥配施对不同种植体系土壤储水量的影响

mm

土层深度/cm	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6
0—20	42.4b	45.0ab	48.9a	46.6ab	42.0b	44.7ab
0—60	133.7ab	134.8ab	138.7a	137.4a	127.8b	133.6ab
60—300	403.2b	447.6a	435.2ab	507.3ab	423.0ab	465.9ab
0—300	536.9b	582.3ab	574.0ab	644.8a	550.8ab	599.6ab
r/%	24.9	23.1	24.2	21.3	23.2	22.3

注: r 为 0—60 cm 与 0—300 cm 储水量之比; 同一行中不同字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。

在 60—300 cm 土壤储水量各处理表现为处理 4> 处理 6> 处理 2> 处理 3> 处理 5> 处理 1。60—300 cm 土壤储水量处理 4 与处理 6、处理 2、处理 3、处理 5 之间差异不显著, 但与处理 1 差异显著; 处理 6、处理 2、处理 3、处理 5、处理 1 之间差异不显著。60—300 cm 土壤储水量处理 4 分别比处理 6、处理 2、处理 3、处理 5 和处理 1 高出 8.9%, 13.6%, 16.6%, 19.9% 和 25.8%, 处理 1 与处理 4 相差 104.2 mm。

在 0—300 cm 土壤储水量各处理表现为处理 4> 处理 6> 处理 2> 处理 3> 处理 5> 处理 1。0—300 cm 土壤储水量处理 4 与处理 6、处理 2、处理 3、处理 5 之间差异不显著, 但与处理 1 差异显著; 处理 6、处理 2、处理 3、处理 5、处理 1 之间差异不显著。0—300 cm 土壤储水量处理 4 分别比处理 6、处理 2、处理 3、处理 5 和处理 1 高出 7.5%, 10.7%, 12.3%, 17.1% 和 20.1%, 处理 1 与处理 4 相差 107.9 mm。

0—60 cm 土壤储水量与 0—300 cm 土壤储水量之比为处理 1> 处理 3> 处理 5> 处理 2> 处理 6> 处理 4, 处理 1 最大为 24.91%, 处理 4 最低为 21.31%。

## 3 讨论

不同种植体系土壤水分在 0—140 cm 土层变化较大, 0—40 cm 土层由于受降水以及大气因素影响较大<sup>[12]</sup>, 其次不同作物的光合作用、蒸腾作用不同, 不同作物根系在土壤中的分布不同导致对水分的吸收利用不同。轮作中作物倒茬也会对土壤剖面水分分布造成影响。

所有处理在土壤剖面 140 cm 以下土层含水量均低于 0—140 cm 土层含水量。由于试验区地下水埋藏深度为 60 m, 地下水对土壤水分没有补充作用, 土壤水分主要依赖于降水补充, 长期氮磷化肥配施改善了土壤养分状况, 促进作物生长, 加大了对土壤水分

的消耗,水分入渗深度受限,故耕层含水量高于深层土壤含水量。

休闲轮作有利于提高土壤对降水的保蓄,具有良好的蓄水保墒作用,但不同的轮作序列表现不同<sup>[18]</sup>。本研究表明不同种植体系在土壤剖面不同土层的储水量不同,但在土壤剖面0—300 cm土壤储水量表现为轮作体系均大于小麦连作体系。不同轮作顺序不仅使干物质质量增加,而且也使产量有所增加,这是因为轮作改善了土壤理化性状<sup>[19]</sup>,提高了土壤表层含水量及土壤贮水量<sup>[20]</sup>,从而使作物产量及水分利用效率进一步提高。

在西北旱农区,豌豆收获后土壤内贮存的水分较小麦地显著增加,使豌豆成为多种作物的良好前作<sup>[18]</sup>。本研究也表明豌豆—小麦(2 a)+玉米轮作、豌豆—小麦(2 a)+糜子轮作耕层、在0—60 cm、60—300 cm和0—300 cm土壤储水量均高于小麦连作。说明粮豆轮作比小麦连作有较高的剩余土壤储水量,是黄土高原地区较好的种植方式,应大力推广。

#### 4 结论

(1)不同种植体系土壤含水量在土壤剖面上的分布不同,所有处理在土壤剖面140 cm以下土层含水量均低于0—140 cm土层含水量。不同种植体系土壤剖面含水量分布产生差异的原因主要是由于不同作物对水分的吸收利用不同以及种植方式不同引起。

(2)不同种植体系土壤剖面不同土层的储水量不同,在0—300 cm土壤储水量各处理表现为豌豆—小麦(2 a)+玉米轮作>小麦(2 a)+糜子—玉米轮作>豌豆—小麦(2 a)+糜子轮作>红豆草—小麦(2 a)轮作>玉米—小麦(2 a)+糜子轮作>小麦连作。轮作体系0—300 cm土壤储水量均高于小麦连作。

(3)豌豆—小麦(2 a)+玉米轮作、豌豆—小麦(2 a)+糜子轮作在不同土层深度土壤储水量均高于小麦连作。粮豆轮作是黄土高原地区较好的种植方式。

#### 参考文献:

[1] 陈万金,信乃谕. 中国北方旱地农业综合发展与对策[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1994:161-168.

[2] 刘文国,张建昌,曹卫贤,等. 旱地小麦不同栽培条件对土壤水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报,2006,15(5):47-51.

[3] 张益望,刘文兆,王俊,等. 定位施肥对冬小麦生长、产量及水分利用的影响[J]. 生态经济,2009(10):35-39.

[4] 赵鸿,杨启国,邓振镛,等. 半干旱雨养区小麦光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 干旱地区农业研究,

2007,25(1):125-130.

- [5] 山仑. 节水农业与作物高效用水[J]. 河南大学学报:自然科学版,2003,33(1):1-5.
- [6] 张岁岐,山仑. 土壤干旱条件下氮素营养对玉米内源激素含量影响[J]. 应用生态学报,2003,14(9):1503-1506.
- [7] 张绪成,上官周平. 抗旱性不同品种的小麦叶片中光合电子传递和分配对氮素水平的响应[J]. 植物生理学通讯,2009,45(1):13-18.
- [8] 黄明斌,党廷辉,李玉山. 黄土区旱塬农田生产力提高对土壤水分循环的影响[J]. 农业工程学报,2002,18(6):50-54.
- [9] 李军,邵明安,张兴昌. 黄土高原旱地冬小麦水分生产潜力与土壤水分动态的模拟研究[J]. 自然资源学报,2004,19(6):52-55.
- [10] 严菊芳,张嵩午. 渭北旱塬不同温型小麦农田水分利用状况初探[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(6):66-69.
- [11] 沈新磊,付秋萍,王全九. 施氮量对黄土旱塬区冬小麦产量和土壤水分动态的影响[J]. 生态经济,2009(11):107-110.
- [12] 何晓雁,郝明德,李慧成,等. 黄土高原旱地小麦施肥对产量及水肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1333-1340.
- [13] 张宏,周建斌,王春阳,等. 栽培模式及施氮对冬小麦—夏玉米体系产量与水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(5):1078-1085.
- [14] 陈辉林,田霄鸿,王晓峰,等. 不同栽培模式对渭北旱塬区冬小麦生长期土壤水分、温度及产量的影响[J]. 生态学报,2010,30(9):2424-2433.
- [15] 王淑英,樊庭录,丁宁平,等. 长期定位施肥条件下黄土旱塬农田作物产量、水分利用效率的变化[J]. 核农学报,2010,24(5):1044-1050.
- [16] 薛晓辉,郝明德. 黄土旱塬区农田施肥、产量与土壤深层干燥化的关系研究[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(6):75-80.
- [17] 李巍,郝明德,王学春. 黄土高原沟壑区不同种植系统土壤水分消耗和恢复[J]. 农业工程学报,2010,26(3):99-105.
- [18] Tawainga K, William J C, Harold van E. Tillage and rotation effects on soil physical characteristics [J]. Agronomy Journal,2002,94:299-304.
- [19] Chan K Y, Heenan D P. Effect of tillage and stubble management on soil water store, crop growth and yield in a wheat-lupine rotation in southern NSW [J]. Australian Journal of Agricultural Research,1996,47:479-488.
- [20] 郭清毅,黄高宝, Li Guangdi,等. 保护性耕作对旱地麦—豆双序列轮作农田土壤水分及利用效率的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(3):165-169.