

# 黄土高原半干旱区旱作农田土壤干燥化研究

胡 伟, 陈 豫\*

(宜宾学院 作物科学研究所, 四川 宜宾 644000)

**摘要:** 为了揭示黄土高原半干旱区旱作农田土壤干燥化发生规律, 为黄土高原旱作农田土壤水分可持续利用和当地粮食生产的可持续发展提供科学依据, 在黄土高原半干旱区固原、定西和海原 3 个有代表性的区域实地观测了不同类型旱作农田的深层土壤湿度, 分析了旱作农田的土壤干燥化发生规律和土壤干层分布特征。结果表明: (1) 黄土高原半干旱区固原、定西和海原各类农田 0~600 cm 土层土壤湿度平均值分别为 11.46%、14.37%、9.27%, 各类农田土壤湿度均明显低于其土壤稳定湿度值, 均发生了不同程度的土壤干燥化现象; (2) 固原高产麦田和高产马铃薯田土壤干层厚度分别比低产农田土壤干层厚 120cm 和 260cm; 海原高产麦田和高产马铃薯田比低产农田土壤干层厚度厚 20cm 和 80cm。黄土高原半干旱区随着旱作粮田产量的提高, 农田深层土壤湿度逐渐降低, 土壤干层逐渐加深和加厚。

**关键词:** 黄土高原半干旱区; 旱作农田; 土壤干燥化; 土壤干层

**中图分类号:** S152.7    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1004-3268(2013)04-0075-05

## Research on Soil Desiccation on Dry Farmland in Semi-arid Area of Loess Plateau

HU Wei, CHEN Yu\*

(Institute of Crop Science, Yibin University, Yibin 644000, China)

**Abstract:** Soil desiccation on dryland in semi-arid area of Loess Plateau was studied at Guyuan, Dingxi and Haiyuan. Soil moisture of dryland and the characteristics of desiccated soil layers were analyzed for high and stable yield as well as soil water sustainable utilization in dryland of semi-arid area of Loess Plateau. The result showed that average soil moisture of 0—600 cm soil layers in various grain crop fields was 11.46%, 14.37% and 9.27% respectively at Guyuan, Dingxi and Haiyuan. Soil desiccation had already happened at all kinds of grain crop fields. Moreover, soil moisture decreased, and thickness and distributed depth of desiccated soil layers in grain crop fields increased gradually, as grain crop yield increased in semi-arid area of Loess Plateau.

**Key words:** semi-arid area of Loess Plateau; dryland; soil desiccation; dried soil layer

土壤干燥化现象于 20 世纪 60 年代中期在陕西西部旱塬区发现<sup>[1-2]</sup>, 由于最初其危害尚不严重, 而未能引起足够的重视, 也没有学者对其进行深入

全面的研究。20 世纪 90 年代以来, 随着我国北方干旱趋势加剧和水资源短缺势态的日益呈现, 旱地粮食作物生产受干旱胁迫严重, 产量低且稳定性差。

收稿日期: 2012-07-10

基金项目: 宜宾学院硕士启动金项目(2012Q14); 四川省教育厅青年基金项目(11ZB144); 宜宾学院博士启动金项目(2011B05)

作者简介: 胡 伟(1981-), 男, 宁夏吴忠人, 农艺师, 硕士, 主要从事有机农业及作物生产系统模拟与决策研究。

E-mail: wh\_1981225@163.com

\* 通讯作者: 陈 豫(1983-), 女, 新疆博乐人, 讲师, 博士, 主要从事农村沼气及生态农业研究。

E-mail: chenyu@nwsuaf.edu.cn

李玉山<sup>[3]</sup>认为,旱地“以肥调水”等抗旱栽培技术的应用,虽然促进了粮食增产,但也导致了旱作高产粮田深层土壤水分过耗和土壤干燥化现象的发生,降水入渗深度变浅,土壤水库贮水量亏缺,作物生产对当季降水供给依赖增大,产量年际波动加剧。目前,旱塬地高产农田的产量稳定性和土壤水分环境效应引起了有关专家的极大关注<sup>[3-11]</sup>。与多年生林草相比,专家学者认为一年生农作物根系分布较浅,主要分布在 0~200 cm 土层之中,与当地降水量入渗深度一致,因此,在旱地粮食作物水分利用的相关试验研究中,对土壤水分观测的深度一般不超过 200 cm,而对 200 cm 以下深层土壤水分亏缺和干燥化认识不足<sup>[12-13]</sup>。本研究依据黄土高原半干旱区的固原、定西和海原 3 个区域内的不同产量水平的主要农田 0~600 cm 土层土壤水分状况,分析了黄土高原旱作农田土壤干燥化严重程度与区域分布特征,为黄土高原旱作农田土壤水分可持续利用和当地粮食生产的可持续发展提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

本研究于 2005 年 8 月中旬在黄土高原北部半干旱区的甘肃省农业科学院定西旱作农业试验站、中国科学院水利部水土保持研究所宁夏固原(上黄)农业生态试验站和西北农林科技大学宁夏海原(贾塘)旱作农业试验站,测定了不同产量水平的典型农田 0~600 cm 土层湿度。其中,固原地处 36.0°N、106.4°E,海拔 1 676.0 m,年均气温 6.1℃,≥10℃年积温 2 259.7℃,年降水量 455.4 mm,年蒸发量 1 772.5 mm,冬季寒冷干旱、夏季炎热多雨,昼夜温差大,春季和夏初雨量偏少,灾害性天气多,降水年际间差异大,土壤主要为黄绵土,田间持水量和凋萎湿度分别为 19%、5%。定西地处 35.4°N、104.6°E,海拔 1 979 m,位于甘肃省中部,属大陆性温带干旱半干旱气候,年均气温 6.8℃,≥10℃年积温 2 239℃,无霜期 141 d,年均降水量 410 mm,年蒸发量 1 500 mm 左右,土壤为黄绵土,田间持水量和凋萎湿度分别为 22%和 6%<sup>[14]</sup>。海原地处 36.5°N、105.8°E,海拔 1 822.0 m,年均气温 7.3℃,≥10℃年积温 2 392.3℃,年降水量 386.1 mm,年蒸发量 2 157.4 mm,土壤为黄绵土,田间持水量和凋萎湿度分别为 17%和 4.5%。黄绵土土壤剖面质地比较均一,0~200 cm 土层土壤容重剖面分布差异很小,约为 1.30

g/cm<sup>3</sup>,但缺乏 2 m 以下深层土壤容重测定资料,借鉴前人有关林地深层土壤水分计算中土壤容重取值<sup>[15-16]</sup>,本研究中 0~600 cm 土层土壤容重取值均为 1.30 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 土壤湿度测定方法

土壤含水量测定采用土钻取样、烘干法测定,取土最大深度 600 cm,每 20 cm 取样一次,在 105℃烘干至恒质量,分别称量湿土质量、干土质量和铝盒质量,最后计算各层土壤质量含水量。计算方法如下<sup>[17]</sup>:

土壤质量含水量=(湿土质量-干土质量)/干土质量×100%;土壤贮水量  $w(\text{mm})=p \times h \times \omega \times 10$ ,其中  $w$  为土壤水分总贮存量(mm), $p$  为地段实测土壤容重(g/cm<sup>3</sup>), $h$  为土壤厚度(cm), $\omega$  为土壤水分(%)。

### 1.3 土壤干燥化评价方法

为了定量评价和比较不同土地利用方式的土壤干燥化效应,通常以土壤稳定湿度值作为判断土壤干燥化现象的上限,以萎蔫系数为下限。若某一土层土壤湿度值低于土壤稳定湿度值,则表明该土层发生了土壤干燥化现象。在本研究中,土壤稳定湿度值采用土壤凋萎湿度与田间持水量的平均值计算,取值介于 10%~16%,约为田间持水量的 50%~70%<sup>[15,18-19]</sup>。该值反映了某一种土壤对水分保持能力的中间状态,不随降水量的年度和季节变化而发生变化。黄土高原半干旱区固原、定西和海原的土壤稳定湿度值分别为 12.00%、14.00% 和 10.75%<sup>[14]</sup>。农田土壤有效贮水量(mm)=农田土壤贮水量(mm)-凋萎湿度时的土壤贮水量(mm),表示可供作物吸收利用的土壤水分含量;土壤水分过耗量(mm)=土壤湿度稳定时土壤贮水量(mm)-农田土壤贮水量(mm),表示经过粮食作物多年连续生长土壤水分被过度消耗的多年累积值<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同地区旱作农田 0~600 cm 土层土壤贮水量

#### 2.1.1 固原地区农田 0~600 cm 土层土壤贮水量

由表 1 可知,黄土高原半干旱区固原不同类型旱作农田 0~600 cm 土层土壤湿度介于 10.39%~12.54%,平均值为 11.46%。旱作高低产麦田 0~600 cm 土层土壤贮水量和土壤有效贮水量分别介于 879.84~896.22 mm 和 489.84~506.22 mm,平均值分别为 888.03 mm 和 498.03 mm,土壤水分过耗量介于 39.78~56.16 mm,平均值为 47.97 mm;高产麦田土壤水分过耗量比低产麦田多耗

16.38mm。旱作高低产马铃薯田 0~600cm 土层土壤贮水量和土壤有效贮水量分别介于 810.42~978.12 mm 和 420.42~588.12 mm,平均值分别为 894.27 mm 和 504.27 mm,土壤水分过耗量介于-42.12~125.58 mm,平均值为 41.73 mm;高产马铃薯田土壤水分过耗量比低产马铃薯田多耗 167.7mm。

2.1.2 定西地区农田 0~600 cm 土层土壤贮水量 黄

土高原半干旱区定西不同类型农田 0~600 cm 土层土壤湿度介于 13.36%~15.38%,平均值为 14.37% (表 1)。梯田马铃薯田 0~600 cm 土层平均土壤湿度高于土壤稳定湿度值 14.00%,中产春小麦田 0~600 cm 土层土壤贮水量和土壤有效贮水量分别为 1042.08 mm 和 574.08 mm,土壤水分过耗量为 49.92 mm。

表 1 不同地区各类农田 0~600 cm 土层土壤贮水量比较

地区	土地利用类型	土壤湿度/%	土壤贮水量/mm	土壤有效贮水量/mm	土壤水分过耗量/mm
固原	低产小麦田	11.49	896.22	506.22	39.78
	高产小麦田	11.28	879.84	489.84	56.16
	低产马铃薯田	12.54	978.12	588.12	-42.12
	高产马铃薯田	10.39	810.42	420.42	125.58
	糜子田	11.93	930.54	540.54	5.46
	覆膜玉米田	11.12	867.36	477.36	68.64
	平均	11.46	893.75	503.75	42.25
定西	中产春小麦田	13.36	1 042.08	574.08	49.92
	梯田马铃薯田	15.38	1 199.64	731.64	-107.64
	平均	14.37	1 120.86	652.86	-28.86
海原	低产小麦田	9.37	730.86	379.86	107.64
	高产小麦田	8.76	683.28	332.28	155.22
	低产马铃薯田	9.87	769.86	418.86	68.64
	高产马铃薯田	9.06	706.68	355.68	131.82
	平均	9.27	722.67	371.67	115.83

2.1.3 海原地区农田 0~600 cm 土层土壤贮水量

黄土高原半干旱区海原不同类型农田 0~600 cm 土层土壤湿度介于 8.76%~9.87%,平均值为 9.27%(表 1)。海原旱作高低产小麦田 0~600 cm 土层土壤湿度平均值分别为 8.76%和 9.37%,土层土壤贮水量和土壤有效贮水量分别介于 683.28~730.86 mm 和 332.28~379.86 mm,平均值分别为 707.07 mm 和 356.07 mm,土壤水分过耗量介于 107.64~155.22 mm,平均值为 131.43 mm;高产麦田土壤水分过耗量比低产麦田多耗 47.58mm。旱作高低产马铃薯田 0~600 cm 土层土壤贮水量和有效贮水量分别介于 706.68~769.86 mm 和 355.68~387.27 mm,平均值分别为 722.677 mm 和 371.67 mm,土壤水分过耗量介于 68.64~131.82 mm,平均值为 100.23 mm;海原高产马铃薯田土壤水分过耗量比低产马铃薯田多耗 63.18mm。

2.2 不同地区旱作农田土壤湿度剖面分布特征

2.2.1 固原农田土壤湿度剖面分布特征 黄土高原半干旱区固原高产麦田和低产麦田 0~600 cm 土层土壤湿度平均值分别为 11.28%和 11.49%,土壤湿度均明显低于土壤稳定湿度值 12.00%,高产麦田土壤干层分布深度 80~500 cm 土层,土壤干层厚度为 420 cm,低产麦田土壤干层分布深度 60~360 cm 土层,土壤干层厚度为 300 cm(图 1);固原高产马铃薯田和低产马铃薯田 0~600 cm 土层土壤湿度平均值分别为 10.39%和 12.54%,高产马铃薯田土壤干层分布于 20~80 cm、160~600 cm 的土层,土壤干层厚度为 500 cm,低产马铃薯田土壤干层分布于 40~300 cm 土层,土壤干层厚度为 240cm(图 2);固原糜子田和覆膜玉米田 0~600 cm 土层土壤湿度平均值分别为 11.93%和 11.12%,糜子田土壤干层分布于 20~300 cm 土层,土壤干层厚度为 280 cm,覆膜玉米田土壤干层分布于 0~60 cm、200~

400 cm、480~600cm 的土层,土壤干层厚度为 380 cm(图 3)。根据不同作物高低产田干层的厚度,说明高产农田比低产农田干燥化现象更加明显。

2.2.2 定西农田土壤湿度剖面分布特征 黄土高原中部半干旱区定西春小麦中产田和梯田马铃薯田 0~600 cm 土层土壤湿度平均值分别为 13.36% 和 15.38%。中产春小麦田土壤干层分布于 50~300 cm 土层,梯田马铃薯田土壤干层分布于 100~360cm 土层(图 4);春小麦中产田 0~300 cm 土层土壤湿度平均值为 12.52%,300~600 cm 土层土壤湿度平均值为 14.27%;梯田马铃薯田 0~300 cm 土层土壤湿度平均值为 14.01%,300~600 cm 土层土壤湿度平均值为 16.75%,表明在当地的降水和土壤水分条件下,春小麦中产田土壤水分条件比梯田马铃薯田差。

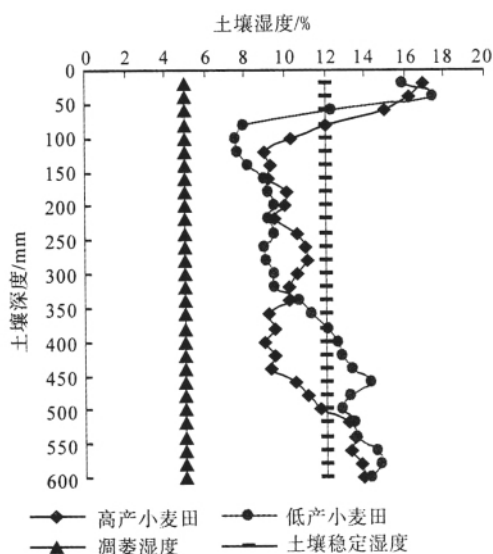


图 1 固原不同类型麦田土壤湿度对比

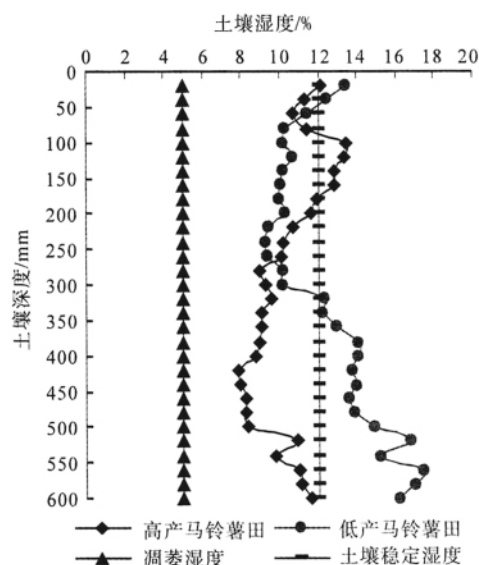


图 2 固原不同类型马铃薯田土壤湿度对比

2.2.3 海原农田土壤湿度剖面分布特征 黄土高原北部半干旱海原高低产麦田 0~600 cm 土层土壤湿度平均值分别为 8.76% 和 9.37%,土壤湿度均明显低于土壤稳定湿度值 10.75%,高产麦田土壤干层分布于 60~540 cm 土层,低产麦田土壤干层分布于 140~600 cm 土层(图 5)。高产麦田土壤干层比低产麦田土壤干层厚度厚 20cm。海原低产马铃薯田土壤干层分布于 200~600 cm 土层(图 6),高产马铃薯田土壤干层分布于 60~540 cm 土层。高产马铃薯比海原低产马铃薯田干层厚度厚 80 cm,表明海原高产农田比低产农田干燥化现象更加明显。

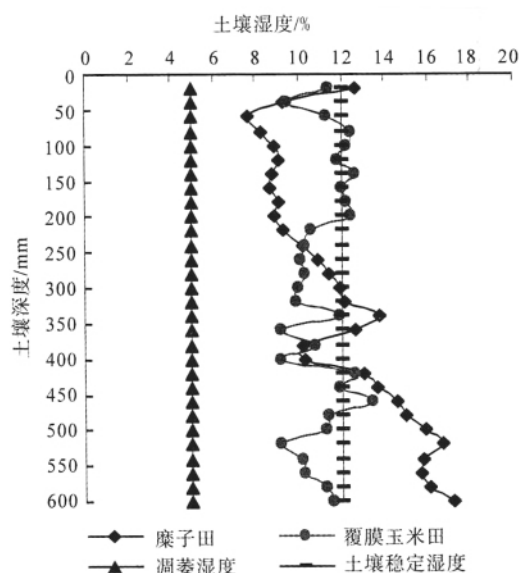


图 3 固原不同类型农田土壤湿度对比

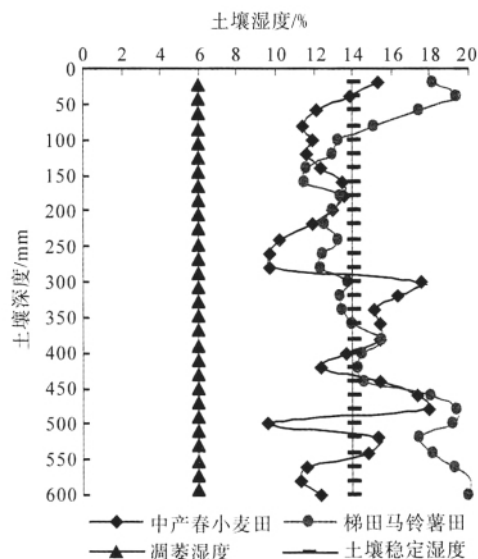


图 4 定西不同类型农田土壤湿度对比

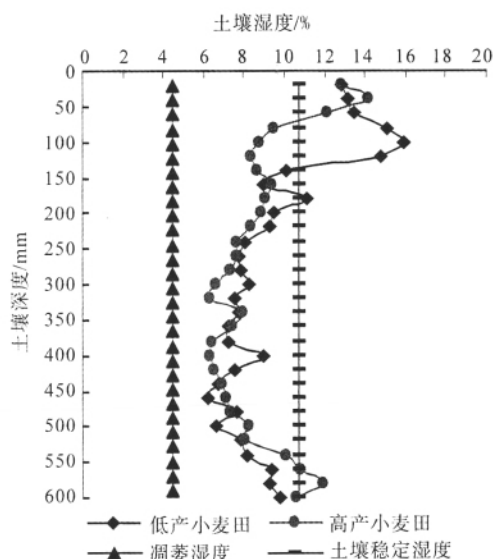


图5 海原不同类型麦田土壤湿度对比

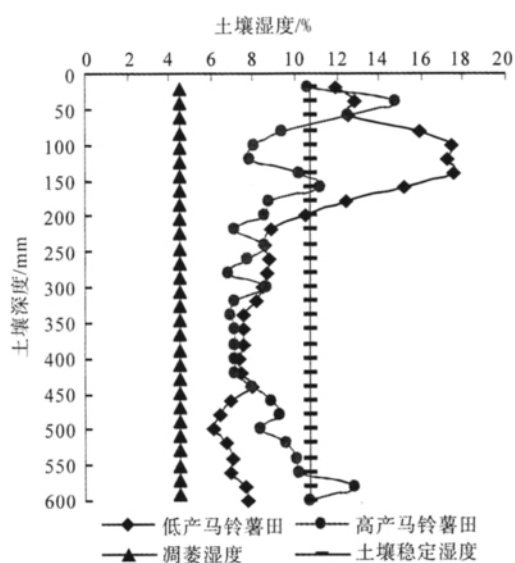


图6 海原不同类型马铃薯田土壤湿度对比

### 3 结论

1) 黄土高原半干旱区固原、定西和海原各类农田0~600 cm 土层土壤湿度平均值为分别为11.46%、14.37%、9.27%,各类农田土壤湿度平均值均明显低于其土壤稳定湿度值,均发生了不同程度的土壤干燥化现象。黄土高原半干旱区固原、定西和海原各类农田土壤水分过耗量平均值分别为42.25mm、-28.86mm、115.83mm,均以低产农田最低,高产农田最高。

2) 黄土高原半干旱区固原高产麦田和高产马铃薯田土壤干层厚度分别比低产农田土壤干层厚120cm和260cm;海原高产麦田和高产马铃薯田比低产农田土壤干层厚度厚20cm和80cm,表明黄土高原半干旱区随着旱作粮田产量的提高,农田深层

土壤湿度逐渐降低,土壤干层逐渐加深和加厚。

### 参考文献:

- [1] 西北水土保持生物研究所土壤水分组. 陕西东部旱塬农田墒情调查[J]. 土壤, 1975(6): 279-285.
- [2] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91-101.
- [3] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干燥化[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 353-356.
- [4] 王力, 邵明安, 侯庆春. 土壤干层量化指标初探[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 87-90.
- [5] 杨文治, 邵明安, 彭新德, 等. 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J]. 中国科学: 地球科学, 1998, 28(4): 357-365.
- [6] 杨文治, 田均良. 黄土高原土壤干燥化问题探源[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 1-6.
- [7] 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.
- [8] 穆兴民, 徐学选, 陈霖巍. 黄土高原生态水文研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [9] 郝明德, 王旭刚, 党廷辉, 等. 黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J]. 作物学报, 2004, 30(11): 1108-1112.
- [10] 董翠云, 黄明斌, 李玉山. 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.
- [11] 王力, 邵明安, 王全九, 等. 黄土区土壤干化研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 27-30.
- [12] 陶毓汾, 王立祥, 韩仕峰, 等. 中国北方旱农地区水分生产潜力及开发[M]. 北京: 气象出版社, 1993.
- [13] 信乃谄, 王立祥. 中国北方旱区农业[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1998.
- [14] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(第五卷)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 234-235.
- [15] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 427-432.
- [16] 穆兴民, 徐学选, 王文龙, 等. 黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 210-217.
- [17] 尚金霞, 李军, 贾志宽, 等. 渭北旱源春玉米田保护性耕作蓄水保墒效果与增产增收效应[J]. 中国农业科学, 2010, 43(13): 2668-2678.
- [18] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究. [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 107-111.
- [19] 杨文治. 黄土高原土壤水资源与植树造林[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 433-438.
- [20] 李军, 陈兵, 李晓芳, 等. 黄土高原不同降水类型区林地、草地与农田土壤干燥化效应比较[J]. 土壤学报, 2008, 45(1): 40-49.