

# 中国北方旱农地区农田水分动态变化特征

严昌荣<sup>1</sup>, 居辉<sup>1</sup>, 彭世琪<sup>2</sup>, 郁小川<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院农业气象研究所; 2. 全国农业技术推广服务中心)

**摘要:** 北方旱地区域农田水分特征的主要影响因子是自然降水和农田蒸散量。在区域尺度上, 农田潜在蒸散量是半干旱偏旱区> 半湿润偏旱区> 半干旱区。半干旱偏旱区农田水分平均潜在亏缺量为 517 mm, 最大亏缺量为 968 mm, 最小亏缺量为 162 mm。半干旱区旱地农田水分平均潜在亏缺, 最大亏缺和最小亏缺量分别为 274、688 和- 34 mm, 半湿润偏旱区上述 3 个参数分别为 157、469 和- 180 mm。由于降水的时空变化, 不同类型地区农田土壤水分储存量也产生了区域分异, 3 种不同类型地区农田土壤水分在农作物不同发育期储存量的变化是半湿润偏旱区> 半干旱区> 半干旱偏旱区。旱地作物耗水主要来源于生育期间的有效降水和播种前的土壤蓄水。

**关键词:** 北方旱农地区; 农田水分; 动态特征

**中图分类号:** S152.7; S161.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 100226819(2002)0320011204

随着全球范围一系列与水有关问题日益严重, 关于与水相关的问题的研究越来越深入。在农业上, 土壤水分问题尤其被注目, 从 20 世纪的 70 年代前苏联学者提出土壤水资源的概念后, 许多科学家对这个问题进行了广泛的讨论和论述<sup>[1,2]</sup>。我国学者在过去也对土壤水资源作了一定的研究。如朱显谟院士提出挽救“土壤水库”的建议, 并认为黄土高原生态环境综合治理与持续发展治本之道是全面抢救和保卫黄土高原地区的“土壤水库”<sup>[3]</sup>。靳孟贵等人<sup>[4]</sup>提出用土壤水资源年补给量、作物生长期土壤水资源可利用量等指标进行土壤水资源量的评价<sup>[5-11]</sup>。

农作物产量形成的实质是能量转换和物质积累, 是农作物吸收土壤中的养分和水分, 通过光合作用将太阳能转化为生物能。在此过程中, 土壤水分特征对农作物生长发育和产量形成具有很大的影响, 因此土壤水分特征和时空变化规律一直是农业上特别是中国北方旱农地区研究的热点问题。

## 1 研究地基本概况及研究方法

### 1.1 研究地基本概况

该研究涉及的范围包括我国北方半干旱偏旱区、半干旱区和半湿润偏旱区的甘肃、宁夏、山西、内蒙古和河南 5 个省(区), 覆盖面积 15 万 km<sup>2</sup>, 耕地面积 367 万 hm<sup>2</sup>, 约占北方旱区旱地总耕地面积的

10%。为了研究这几个类型区旱地土壤水分状况, 选择山西省寿阳县、内蒙古自治区武川县、宁夏自治区海原县、河南省洛阳地区和甘肃省定西地区作为代表性站点对土壤水分进行 3 年的定位观测(表 1)。同时, 在北方旱农地区选择 140 多个县、市作为整个北方旱农地区的宏观研究对象, 进行区域水分亏缺研究。

表 1 试验地基本情况

Table 1 The background of experimental sites

类型	地点	年降水量 Q <sub>mm</sub>	年均温度 t <sub>°</sub>	土壤类型	试验作物
半湿润偏旱区	寿阳	506.7	7.5	褐土	春玉米、春谷子
半干旱区	洛阳	601	14.6	褐土	冬小麦、夏玉米
半干旱偏旱区	定西	425.1	6.4	黄绵土	春小麦
半干旱偏旱区	武川	255.9	2.5	栗钙土	春小麦、马铃薯、牧草
半干旱偏旱区	海原	403	7.0	黄绵土	春小麦、糜子

### 1.2 研究方法

在所设置的试验站点选择当地的主要作物, 并结合当地的种植制度和耕作措施, 设立农田水分平衡定位观测点, 以裸地观测点作为对照, 按照统一技术标准, 定时对土壤进行测定, 具体测定步骤和方法如下:

**土壤含水率测定:** 采用烘干称重法, 每 10 d 观测一次, 重复 3 次。观测深度为 200 cm, 其中 0~ 10 cm 土层每 5 cm 取一个土样; 10~ 100 cm 土层每 10 cm 取一个土样; 100~ 200 cm 土层每 20 cm 取一个土样, 共进行 3 个生长季的观测。

**区域水分研究,** 根据对北方 140 个左右气象站在过去 30 年的气象观测数据, 并根据联合国粮农组织(FAO)的方法计算农田蒸散量, 从大范围上研究北方旱地农田水分的特征。

收稿日期: 2001211222 修订日期: 2002202210

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B09); 国家自然科学基金重大项目(39899370); 农业部 2001 国债项目资助  
作者简介: 严昌荣, 男, 博士, 副研究员, 主要从事植物生理生态学、农业生态学方面的研究工作。北京市海淀区白石桥路 中国农业科学院农业气象研究所, 100081

## 2 研究结果和讨论

### 2.1 北方旱地区域农田水分空间格局

北方旱地区域农田水分特征的主要影响因子是自然降水和农田蒸散量。为了研究北方旱地农田水分特征就需要获得自然降水和农田蒸散量数据,我们采用中国气象局整编的气候资料中各个要素,按照 1990 年 5 月联合国粮农组织(FAO)推荐的 Pen2 man Monteins 综合方程进行农田蒸散量计算获得。

北方旱农地区农田水分的空间格局是该地区气候条件决定的。主要表现在北方旱农地区降水量具有明显的区域分异,降水量从东南向西北逐渐降低,而农田的蒸散量变化相对而言比较复杂,总体情况是东北地区农田潜在蒸散量最低,豫北、豫西、华北半湿润偏旱区农田潜在蒸散量最高,内蒙古、青海半干旱地区农田潜在蒸散量居中。在局部地区出现一些极端情况,如酒泉、张掖、敦煌等地潜在蒸散量高达 1 200 mm 以上。

根据研究结果可以看出北方旱农地区农田水分存在明显的空间分异规律。从表 2 中还可以看出北方旱地不同类型区域农田水分表现出 3 个方面的特征:不同类型区域年均降水量存在较大差异,半干旱偏旱区明显小于半干旱区和半湿润偏旱区,同一区域中降水量的变幅很大,如半干旱偏旱区降水量最低仅为 29.2 mm,而最大年降水量高达 434.0 mm。

表 2 北方不同类型旱地农业区域农田的水分状况

Table 2 The field water condition of different zone types in Northern China  $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$

类型区		半干旱偏旱区	半干旱区	半湿润偏旱区
年降水	平均	255.8	427.1	586.3
	最大	434.0	600.2	902.7
	最小	29.2	199.5	401.0
	变幅	404.8	400.7	501.7
平均潜在蒸散量 $ET_0$	平均	773.0	701.2	743.6
	最大	1 025.0	927.8	977.4
	最小	582.2	392.9	394.1
	变幅	428.2	534.9	583.3
水分盈亏	平均	- 517.2	- 274.1	- 157.3
	最大	- 162.8	34.5	180.4
	最小	- 968.6	- 688.4	- 469.7
	变幅	805.8	722.9	650.0

注:本表中平均值为我国北方不同类型地区多站的平均值,站点数都在 30 个以上,由于所选站点在不同区域分布数的差异而不同。

农田潜在蒸散量总的变化趋势是半干旱偏旱区 > 半湿润偏旱区 > 半干旱区。区域内的变幅是半干旱偏旱区最小,半干旱区其次,半湿润偏旱区最大。

3 种类型区域农田水分都存在亏缺现象,但各类型区域水分亏缺之间特征不同,如果以潜在水分

亏缺量为依据,半干旱偏旱区农田水分亏缺最为严重,半干旱区次之,半湿润偏旱区最轻。在半干旱偏旱区,农田水分平均潜在亏缺量为 517.2 mm,最大亏缺量达到 968.6 mm,最小亏缺量也达到 162.8 mm。在半干旱区,农田水分平均潜在亏缺量为 274.1 mm,最大亏缺量达到 688.4 mm,在某些地方还出现水分盈余的现象,盈余量达到 34.5 mm。半湿润偏旱区的农田虽然总体上是亏缺,平均亏缺量和最大亏缺量分别为 157.3 mm 和 469.7 mm,但农田水分出现盈余的现象也较前 2 者更为普遍,最大盈余量达到 180.4 mm。

### 2.2 北方旱地农田水分贮存量的时空格局

由于降水的时空变化农田土壤的水分贮存量也会产生时空变化,如图 1 所示,3 种不同类型地区小麦田土壤水分在农作物不同发育期贮存量的变化。总体上看,我国北方旱农地区农田 2 m 土体的水分贮存量在 225~ 416 mm 之间,从区域上看,在全生育期 2 m 土体水分贮存量都是:半湿润偏旱区 > 半干旱区 > 半干旱偏旱区。

同时,农田土壤水分贮存量随生育期变化存在十分显著的地区差异,在半干旱偏旱区,从农作物播种到成熟,农田 2 m 土体水分贮存量一直呈现下降态势,土壤水分在作物收获后才得到补充(一般在 9 月份)。半干旱区农田土体的水分贮存量在生长旺盛期(拔节期和抽穗期)有一定程度下降,在农作物成熟期,土体水分贮存量得到一定程度的恢复和补充;在半湿润偏旱区,农田土体水分贮存量在播种期和拔节期变化不大,此后,2 m 土体水分贮存量出现明显增加的趋势。

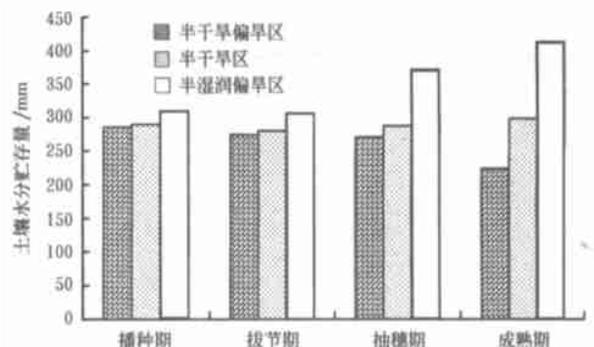


图 1 中国北方不同地区小麦旱地 2 m 土壤水分贮存量的变化

Fig 1 The stored soil water in 2 m soil layer of wheat field in different zones of Northern China

土壤水分贮存量的变化同年降水格局关系密切,如在多雨年份,半干旱偏旱区(武川)农田水分得到了补充,也出现在作物成熟期时 2 m 土体水分贮

存量增加的情况。

农作物对土壤水分的利用是影响土壤水分贮存量的另一个因子,表 3 为马铃薯从播种至收获的水分利用状况,在苗期,土壤含水量一般占马铃薯在阶段耗水量的 77.0% 左右。但由于年际降水差异较大,土壤水分的贮存量也不一样,在降水偏多年(1998 年),由于阶段降水量(4~ 5 月)114.7 mm 较常年 32.2 mm 多 82.5 mm,农田土壤失墒不明显或者土壤水分有所增加;而严重干旱年(1999 年),由于阶段降水量(4~ 5 月)16.3 mm 为常年降水量 32.2 mm 的 50.6%,农田的失墒明显。春播作物生长后期处于雨季,在一般情况下,降水量基本可以满足作物对水分的需求,农田土壤水分还能得到一定的补充,但与降水年型关系密切,如 1999 年为严重干旱年,7~ 8 月的降水仅为 83.6 mm,较常年降水量 203.1 mm 少 119.5 mm,只有常年降水量的 41.2%,使农田土壤蓄墒期无水可蓄,土壤储水量持续下降。

表 3 马铃薯不同生长发育期的耗水特征

Table 3 The water consumption characteristics of potato at different growth stages mm

生育阶段	年份	播种~ 出苗	出苗~ 分枝	分枝~ 现蕾	现蕾~ 开花	开花~ 收获	全生 育期
降水量	1997	13.0	66.9	0.0	10.2	155.5	245.6
	1998	52.6	1.9	1.9	73.3	144.0	273.7
	1999	10.9	21.0	0.0	2.5	96.4	130.8
土壤 供水	1997	18.8	54.9	12.9	40.5	40.9	23.6
	1998	33.4	53.0	13.7	35.6	24.5	22.2
	1999	13.9	3.5	5.0	22.7	40.6	85.7
耗水量	1997	31.8	12.0	12.9	50.7	114.6	222.0
	1998	19.2	54.9	15.6	37.7	168.5	295.9
	1999	24.8	24.5	5.0	25.2	137.0	216.5

### 2.3 旱地土壤供水是农作物生长的重要补充

旱地作物耗水主要来源于生育期间的有效降水和播种前的土壤储水。根据农田水分定位试验结果,主要作物的耗水及来源如表 4 所示,旱地作物耗水量在 185~ 340 mm 之间,在丰水年,旱地作物的耗水来源主要以生育期间的自然降水为主,而干旱年,旱地作物的耗水量有很大一部分是来源于土壤水。表中结果还显示旱地作物耗水量的来源存在区域分异特征,在半干旱偏旱区,旱地作物在生育期间的耗水量都高于同期的自然降水量,即作物必须获取土壤水供其生长发育,造成土壤含水量的进一步下降。在半干旱区,自然降水不能满足大多数农作物耗水,必须从土壤中获取水分以满足最基本的需要,但马铃薯在其生育期的耗水量出现低于自然降水的情况属于例外,即在此期间,土壤还能获得水分补给。在半湿润偏旱区,玉米和冬小麦的耗水量虽然出现阶

段性的需要土壤水分补给的情况,但整个生育期自然降水都超过其耗水量。

表 4 中国北方旱地主要作物的耗水量及其组成

Table 4 Water amount consumed by crop and its compositions mm

区 域	作物	耗水量	有效降水量	土壤含水量
半干旱	糜子	268.9~ 284.3	189.8	79.1~ 94.5
	春小麦	183.2~ 297.6	69.2~ 252.8	6.8~ 133.9
偏旱区	黑麦草	204.8~ 260.5	102.9~ 213	17.3~ 101.9
	马铃薯	216.5~ 295.9	130.8~ 273.7	23.6~ 85.7
半干旱区	春小麦	233.5~ 256.0	135.7~ 289.9	56.9~ 84.5
半湿润	冬小麦	290.8~ 338.7	139.7~ 383.1	45.5~ 151.1
偏旱区	夏玉米	252.4~ 204.7	213.2~ 343.2	90.8~ 8.5

从上面的研究结果来看,在北方旱农地区,土壤水分对农作物的生长发育具有重要的作用,在降水量比较少的播种期和苗期尤其明显。

### 3 结 论

北方旱地区域农田水分特征的主要影响因子是自然降水和农田蒸散量。农田潜在蒸散量总的变化趋势是半干旱偏旱区大于半湿润偏旱区大于半干旱区。区域内的变幅是半干旱偏旱区最小,半干旱区其次,半湿润偏旱区最大。3 种类型区域农田水分都存在亏缺现象,但各类型区域水分亏缺之间特征不同,在半干旱偏旱区,农田水分平均潜在亏缺量为 517.2 mm,最大亏缺量达到 968.6 mm,最小亏缺量也达到 162.8 mm。在半干旱区,农田水分平均潜在亏缺量为 274.1 mm,最大亏缺量达到 688.4 mm;半湿润偏旱区的农田虽然总体上是亏缺,平均亏缺量和最大亏缺量分别为 157.3 mm 和 469.7 mm。

由于降水的时空变化,农田土壤的水分储存量也会产生时空变化,总体上看,我国北方旱农地区农田 2 m 土体的水分储存量在 225~ 416 mm 之间,从区域上看,在全生育期 2 m 土体水分贮存量都是:半干旱区 > 半湿润偏旱区 > 半干旱偏旱区。在半干旱偏旱区,从农作物播种到成熟,农田 2 m 土体水分贮存量一直呈现下降态势。半干旱区农田土体的水分贮存量在生长旺盛期有一定程度下降,在农作物成熟期,土体水分贮存量得到恢复和补充;在半湿润偏旱区,农田土体水分贮存量在播种期和拔节期变化不大,此后,2 m 土体水分贮存量出现明显增加的趋势。农作物对土壤水分的利用量与土壤水分贮存量年降水量有关,在降水偏多年,农田土壤失墒不明显或者土壤水分有所增加;而严重干旱年,由于阶段降水量少,农田的失墒明显。使农田土壤蓄墒期无水可蓄,土壤储水量持续下降。旱地作物耗水主要来源于生育期间的有效降水和播种前的土壤储水。旱

地作物耗水量在 185~ 340 mm 之间, 在丰水年, 旱地作物的耗水来源主要是生育期间的自然降水, 而干旱年, 旱地作物的耗水量有很大一部分是来源于土壤水。

#### [参 考 文 献]

- [1] Budagovskii A I Soil water resources and available water supply of vegetation cover [J]. *Water Resources*, 1985, 12(4): 317~ 325
- [2] Budagovskii A I, Busarova O E. Basis of methods to evaluate changes in soil water resources and river runoff for different climate change scenarios[J]. *Water Resources*, 1991, 18(2): 111~ 120
- [3] 朱显谟 黄土高原生态环境综合治理与可持续发展的关键环节——抢救“土壤水库”[Z]. 2001, <http://www.chinawater.net.cn/ocw/sd2000/0422-2.htm>
- [4] 靳孟贵, 张人权, 高云福等. 土壤水资源的特性及若干指标[J]. *地质科技情报*, 1997, 16(2): 73~ 78
- [5] 朱福星, 王金珍 四维治水—黄淮海平原农业水资源综合治理配套技术[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 57~ 61.
- [6] 康绍忠 新的农业科技革命与 21 世纪我国节水农业的发展[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(1): 11~ 17.
- [7] 熊运章 中国农业水土工程学科的发展[J]. *西北农业大学学报*, 1994(增刊). 1~ 5
- [8] 王小彬, 蔡典雄, 高续科 土壤颗粒大小对水、肥保持和运移的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 1997, 15(1): 64~ 67.
- [9] 王小彬, 蔡典雄, 张志田等 不同措施对土壤持水特征的影响及其保水作用[J]. *植物营养与肥料学报*, 1996, 4: 297~ 304
- [10] 张仁陟等 旱地农田土壤水分特征与调控技术研究见: 旱地农业与绿洲农业发展研究[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1997. 355~ 369.
- [11] 张仁陟等 甘肃黄土地区土壤水分变异规律研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, 4(4): 53~ 59

## Soil Moisture Dynamic Characteristics of Dryland Field in Northern China

Yan Changrong<sup>1</sup>, Ju Hui<sup>1</sup>, Peng Shiqi<sup>2</sup>, Yu Xiaochuan<sup>1</sup>

(1. Institute of Agrometeorology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2 National Agritech Extension Service Center, Beijing 100026, China)

**Abstract:** The soil moisture characteristics of dryland field in Northern China are affected by precipitation and evapotranspiration. The field evapotranspiration in semiarid and arid zone is the largest, that in semihumid arid zone the middle, and that in semiarid zone the smallest. The average water deficit amount is about 517 mm in drysemiarid zone, the maximum value 968 mm, the minimum value 162 mm; And in semiarid zone, the average value, the maximum value and the minimum value are 274, 688 and - 34 mm, respectively; in semihumid arid zone, the 3 parameters are 157, 469 and - 180 mm, respectively. Due to the temporal and spatial variation of precipitation, the deposited amount of soil water has their spatial, temporal variation too in 3 different zones, and their values in crop growth season are semihumid arid zone is the largest, that in semiarid zone the middle, and that in semiarid dry zone the smallest. The crop water use is from precipitation and soil water before sowing.

**Key words:** dryland field in Northern China; soil moisture; dynamic characteristics