

试论黄土区旱地土壤水资源的 地带性与非地带性*

穆兴民

(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要 土壤水资源是干旱半干旱地区重要的水资源之一。本文主要以天然草地深层土壤含水量为基础,明确了土壤水资源的地带性与非地带性概念,分析了黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性分异规律。指出,在相似的植被及地形条件下,黄土高原土壤深层水分从南向北和从东向西逐渐降低及从山顶到坡脚逐渐增大,表现出水平和垂直地带性分异规律。在相似的土壤水资源带内,土地类型、坡度及坡向等地形因素导致土壤水分的局地分异,即土壤水资源的非地带性分异。

关键词 黄土区, 土壤水资源, 地带性, 非地带性

中图分类号 S152.7

土壤水是干旱半干旱地区重要的农业水资源,“只有考虑了土壤水才能对干旱地区及我国东部地区的区域水资源总量作出较为合理的分析^[1]”。在干旱半干旱的黄土区,深厚的黄土层(一般厚度50~200m,已知最厚达339m)蓄积大量的水分形成了“土壤水库”,“库”中水对该区第一性生产力的形成具有重要作用。它是土地资源质量评价的主导因素之一^[2];土壤水是黄土区旱地(占90%)植物两大基本水源(生长期降水和土壤水)之一,区内夏田作物总耗水的1/4~1/3由土壤底墒供给^[3,4];黄土区主要人工牧草沙打旺及苜蓿产量在5~6年之后的大幅度降低甚至绝产与深层(2~6米)土壤水分枯竭相对应^[5];土壤水资源分布决定着区域水土保持林草措施配置与布局起重要作用^[6]。因此,研究黄土区旱地土壤水资源具有普遍而特殊的理论和生产意义。

长期以来,对黄土区土壤水分研究主要集中在两个方面,即影响土壤水分状况主要因素(质地及容重)及土壤水分常数(田间持水量、凋萎湿度、饱和持水量等)的研究^[3,5]和局地植物(林草及农作物)生长与土壤水分关系研究^[4~8]。由于受各种因素的制约,对土壤自然含水量进行中尺度尺度的系统分析研究甚少。在生产中,人们已经认识并利用土壤水资源的地带性与非地带性分异特征,但缺乏系统的特别是定量分析。本文拟在已有工作基础上,对黄土区土壤自然含水量的空间分异进行分析,系统认识土壤水资源区域变化特征及其影响因素,为黄土区农业生产布局和水土保持措施的合理配置提供土壤水分依据。

* 本研究是国家九五攻关“区域水土流失防治与农业持续发展重大共性关键问题研究(96-004-05-12)”的部分内容

收稿日期:1998-06-29;收到修改稿日期:1998-11-15

1 旱地土壤水资源的地带性

土壤水资源系指土壤中实际储存的水分数量,通常用自然储水深(如 mm)或土壤自然含水量(如体积%)表示。土壤水资源的地带性指在其它条件均一时,土壤水分数量随经(纬)度变化的水平带状分布和随海拔高度变化的垂直带状分布规律。黄土区旱地土壤水分数量强烈的受气候、土壤、植物、地形及时间等因素影响,为研究土壤水资源的地带性与非地带性分异规律,有必要保持植物及时间的相对均一。在黄土区,旱地土壤水分的季节变化主要发生在 0~1m 土层,深层土壤水分年际变化甚弱^[5,6,8]。当影响土壤实际储存水分数量的诸因子及其组合相对一致时,土壤实际储存的水分数量则保持一致,这是土壤水资源地带性与非地带性研究的基础。

1.1 土壤水资源的水平地带性

黄土区天然草地 5m 土层土壤含水量如表 1(除特别指出外土壤含水量均为体积%)。

表1 黄土区天然草地土壤含水量地带变化(%)

Table 1 The geo-zonal distribution of the soil water content of the natural pasture land in the loess region (%)

土层深度 Soil depth (m)	陕西 富县 Fuxian Shaanxi	甘肃 合水 ¹⁾ Heshui Gansu	陕西 长武 Changwu Shaanxi	陕西 甘泉 Ganquan Shaanxi	陕西 安塞 Ansai Shaanxi	宁夏 固原 Guyuan Ningxia	陕西 横山 Hangshan Shaanxi	陕西 定边 Dingbian Shaanxi
0~1	18.0	17.6	11.3	13.8	14.2	12.9	7.0	7.0
1~2	20.6	21.3	15.3	17.0	11.0	10.3	6.7	11.6
2~3	20.0	24.2	21.7	16.9	10.9	10.1	10.2	13.3
3~4	25.0	26.4	18.9	15.4	10.1	9.5	12.8	14.4
4~5	20.2	29.5	20.7	16.6	11.8	11.2	14.2	10.7
1~5	21.5	25.3	19.2	16.5	12.0	10.3	11.0	12.5
年降水(mm)	576.7	568.3	585.9	550.3	492.4	478.1	397.7	323.6

1) 为林间草地。

在 20 余天间隔的测定期间,上层土壤含水量受天气(不是气候)条件的随机变化影响较大,而这种变化并不能反映土壤含水量的长期地带规律,故未与分析。在 1~5m 土层内,东经 100° 南北轴线上的富县-甘泉-安塞-横山,从南向北平均含水量依次为 21.5%-16.5%-12.0%-11.0%,相应的土壤储水量为 860mm-660mm-480mm-440mm。在北纬 36° 轴线上的富县-固原,从东向西 1~5m 土层平均含水量分别为 21.5%-10.3%,土壤储水量为 860mm-412mm。对其他不同土层也有类似的区域分布特征。表明黄土区天然草地土壤含水量从南向北及从东向西有逐渐降低的趋势,呈现出南北、东西地带分异特征。综合其他资料,黄土区天然草地 1~5m 土层平均含水量变化于 7%~25% 之间,土壤储水量 360mm~1012mm,有效储水量(实际储水量减凋萎湿度时储水量)280mm~936mm。1~3m 土层平均含水量 6%~27%,土壤储水量 160mm~700mm,有效储水量 80mm~530mm。南部的高塬沟壑区天然草地土壤深层(1~5m 土层)含水量一般为 15%~25%(储

水量 600mm~1000mm), 丘陵沟壑区的南部为 10%~17%(储水量 400mm~680mm), 丘陵沟壑区的北部为 7%~13%(储水量 280mm~520mm)。土壤水资源的这种分异是黄土区植物、气候及土壤等因素地带性的综合反映, 又反作用于植物、气候及土壤的变化, 影响区域旱作农业生产及林草植被建设与布局。

1.2 土壤水资源的垂直地带性

山地自上而下可分为山顶、坡面(坡上、坡下及坡中)及坡脚。在植被、坡度及土壤相对均一的条件下, 因降水在坡面的再分配(山顶仅接受降水的入渗补给, 而坡面及沟底土壤还有来自上部的径流补给)及不同坡位大气蒸发力(山顶大于坡面及沟底)的分异, 导致从山顶到沟底土壤含水量逐渐增大的带状分异趋势。表 2 为黄土丘陵区陕西安塞西坡坡地不同部位 3m 土层土壤含水量的分布剖面。从坡面的上部到沟底土壤含水量逐渐减小, 其大小次序为: 山顶 < 坡中 < 坡脚 < 坡底, 这种差异也表现在不同坡位的土壤剖面各土层之间。从整个剖面看, 不同坡位土壤含水量差异特征是上层小, 下层大。如山顶与坡脚土壤含水量 0~100cm 土层相差(绝对值) 1.3%, 100~200cm 土层为 4.3%, 而 200~300cm 土层达 6.6%。黄土区杏子河流域丘陵山顶与坡面土壤含水量如表 3。坡面土壤含水量普遍高于山顶。不同土层坡面土壤含水量是山顶的 1.08~1.37 倍, 二者相差(体积%)为 0.4%~5.2%, 且从浅层向深层, 差异愈来愈大。黄土

表2 黄土丘陵区同一坡面不同坡位土壤含水量(%)

Table 2 The soil water content at the different position of the same hill-slope in the loess gully region(%)

深度(cm)	山顶	坡中	坡底	山脚
Soil depth	Top	Middle part	Lower part	Bottom
20	15.3	15.0	14.8	15.1
40	15.2	15.5	15.5	15.6
60	14.3	15.6	16.7	16.5
80	14.5	15.3	16.4	16.3
100	15.0	16.0	16.7	16.8
120	14.9	15.9	16.9	17.1
140	14.2	15.5	17.4	17.7
160	13.0	14.2	17.1	17.6
180	12.2	13.9	17.5	17.7
200	12.2	13.7	17.4	17.9
220	11.6	13.0	17.5	17.8
240	11.7	13.8	17.3	17.4
260	10.3	14.2	16.4	16.7
280	9.7	15.2	16.1	16.8
300	10.5	17.0	17.8	18.4
0~100	14.8	15.5	16.0	16.1
100~200	13.3	14.6	17.3	17.6
200~300	10.8	14.6	17.0	17.4

表3 黄土区不同地区坡面与山顶土壤含水量(%)

Table 3 The soil water content on the top and the slope of the hills in the loess region (%)

深度(cm)	茶房 Chafang			寺腰峁 Siyaoxian			招安 Zhaoran		
	山顶(1)	坡面(2)	(2)-(1)	山顶(1)	坡面(2)	(2)-(1)	山顶(1)	坡面(2)	(2)-(1)
	Hill top	Hill slope		Hill top	Hill slope		Hill top	Hill slope	
0~50	9.0	11.2	2.2	11.8	12.2	0.4	13.8	17.4	3.6
50~100	11.8	14.0	2.2	12.4	13.1	0.7	14.0	18.1	4.1
100~200	14.0	16.4	2.4	11.5	12.4	0.9	14.3	19.5	5.2

高原沟壑区的陕西淳化荒坡地(北坡)不同坡位土壤含水量分布为:坡上部 < 坡中部 < 坡下部, 1~3m 土层土壤含水量分别为 14.9%、15.6% 和 16.9%, 上部比下部低(体积%)2%。蒋定生^[9]分析了不同坡位土壤含水量随季节的变化, 指出 0~2m 土层土壤含水量山顶最低。但随季节(旱季和雨季)的变化, 土壤含水量在坡中与坡脚的分布又有差异, 旱季坡面中部最高, 但在雨季末, 坡脚最高。

在黄土区, 从山顶到坡脚土壤水分的垂直分异远比降水量的垂直分异剧烈^[10]。基于土壤水分垂直带状分布及深层差异更大的水分分异规律, 黄土区沟坡开发治理中, 根据山顶土壤水分低, 适宜于耐旱的草本和灌木植物种, 坡中方可发展农田, 而坡底及沟道的土壤水分尚能满足需水量大的乔木生长耗水, 从而形成“草帽子、衣身子、林靴子”的垂直带状景观。而不遵循这种自然规律, 在山顶营造乔木林则导致林木成活率低, 或即使成活, 但其生长缓慢, 树形矮小, 形成黄土区常见的所谓“小老树”。

2 旱地土壤水资源的非地带性

地质构造运动和强烈的现代侵蚀使黄土区沟壑纵横(沟长 $\geq 250\text{m}$ 的沟壑密度达 2.5~4.3km/km²), 坡地多(坡度 $\geq 5^\circ$ 的坡地占 80%), 土地类型复杂多样, 土壤水分状况局地差异明显, 我们把土壤水分的这种局地空间分异称之为土壤水资源的非地带性。

表4 宁夏固原河谷断面不同土地类型土壤含水量(%)

Table 4 The soil water content of different landforms in the gully section in Guyuan county, Ningxia (%)

深度 (cm) Soil depth	梁顶耕地 Hill top, cropped field	坡中荒坡 Middle part, waste land	坡中梯田 Middle part, terrace	二级台地 Second table land	河滩地 River bench land
20	15.48	10.56	15.84	15.86	17.10
40	17.64	11.16	16.08	17.69	18.96
60	17.88	14.52	16.80	19.07	21.54
80	18.24	16.20	17.04	19.32	18.66
100	17.28	14.64	17.52	20.82	17.88
120	16.00	10.75	18.13	22.23	18.31
140	14.63	8.63	17.00	20.27	16.00
160	14.00	8.00	17.25	20.82	16.38
180	12.25	8.00	15.63	19.71	15.88
200	12.13	8.13	15.25	21.63	16.00
220	13.75	8.25	15.25	22.53	17.19
240	14.50	8.25	15.00	21.46	16.83
260	15.88	8.38	14.88	20.44	16.69
280	15.88	8.25	14.88	20.57	18.06
300	16.50	8.38	15.63	21.33	17.38
0~100	18.03	13.98	17.35	19.46	19.61
1~300	14.55	8.50	15.89	21.10	16.31

2.1 土壤水资源随土地类型的分异

沟壑是黄土区地形地貌的突出特征。河谷断面(从河滩到山顶)形成的阶梯包括了几种不同的土地类型。表4为宁夏固原河川乡上黄村一河谷断面不同土地类型土壤含水量。该断面从高处到低处分别为梁顶、坡中(包括荒坡和梯田)、二级台地及一级台地(河滩台地)。除荒坡(禾本科草)外各测点均为春小麦,它们的主要耗水土层在0~1m范围内(占总耗水的90%以上^[4,8,11])。表4表明,相似耗水特征的植被,因地形不同土壤含水量差异显著,不同土地类型土壤剖面含水量高低次序为:二级台地 > 一级台地 > 梯田 > 山顶 > 荒坡。1~3m土层平均土壤含水量二级台地最高21.10%(储水量424mm),一级台地及梯田次之分别为16.31%(储水量326mm)和15.89%(储水量318mm),梁顶坡耕地再次为14.55%(储水量290mm),荒坡地最低为8.50%(储水量170mm)。不同土地类型土壤剖面各土层间土壤含水量也表现出类似的系统分异。土壤含水量的这种局地分异受土壤理化性质及小气候环境和人类生产活动共同影响^[6,11]。

丘陵沟壑区土地类型复杂,除台地、塬地及梯田外,还有大面积滑坡体形成地塌地、沟道及沟头径流汇集区的沟掌地及淤地坝形成地坝地等特殊地形,其土壤水分含量都较高^[6],从而成为干旱半干旱黄土区的基本农田。

表5 宁夏固原不同坡向土壤含水量(%)

Table 5 The soil water content on the different direction slopes in Guyuan county, Ningxia (%)

测年 Year	降水量 Rainfall (mm)	北坡	东坡	南坡	西坡	北坡	东坡	南坡	西坡
		Northward	Eastward	Southward	Westward	Northward	Eastward	Southward	Westward
		土层(0~1m) Soil depth (0~1m)				土层(1~2m) Soil depth (1~2m)			
1985	490.1	17.3	18.7	14.8	14.0	14.9	15.5	16.8	14.6
1986	284.8	14.1	14.0	11.2	12.0	14.6	14.5	16.4	15.0
1987	324.6	10.6	9.9	8.4	8.9	12.6	12.1	13.8	11.5
1988	438.6	11.5	13.1	10.7	10.3	10.8	11.4	12.8	9.3
1989	358.3	10.4	12.0	8.8	9.0	10.1	10.6	11.9	8.9
平均	478.2 ¹⁾	12.8	13.5	10.8	10.8	12.6	12.8	14.3	11.9

1) 1958—1989年

2.2 土壤水资源随坡向的分异

坡向是影响土壤水分局地分异的主要地形因子之一。表5为黄土梁状丘陵区宁夏固原荒坡地土壤含水量五年连续定位测定结果。测定年中1986年降水量最少,1985年最多。土壤含水量随坡向的不同而变化。0~2m土层土壤含水量阴性坡(北坡和东坡,五年平均含水量分别为12.7%和13.2%)高于阳性坡(南坡和西坡,含水量分别为12.6%和11.4%)。同时,不同坡向间土壤含水量随土层的不同而又有分异。五年平均土壤含水量,0~1m土层东坡(13.5%) > 北坡(12.8%) > 西坡(10.8%)和南坡(10.8%);而1~2m土层土壤含水量大小次序为:南坡(14.3%) > 东坡(12.8%) > 北坡(12.6%) > 西坡(11.9%)。湿润年不同坡向土壤含水量差异较干旱年大,如湿润的1985年不同坡向间最大相差

1) 穆兴民, 陈国良, 郭保安等. 宁南黄土丘陵区牧荒坡地土壤水资源分布与平衡特征. 中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊, 1988, 16: 71~78

4.7%，而干旱的 1986 年最大相差 2.1%。土壤含水量随坡向和土层的分异受地表能量和植

表6 不同坡向裸地土壤水分含量(%)

Table 6 Soil water content on the bare land on different direction slopes (%)

土层(m)	南坡	西坡	北坡
Soil depth (m)	Southward	Westward	Northward
0~1	14.5	15.9	17.9
1~2	14.2	14.8	18.7
2~3	14.3	14.7	18.3

表7 山西离石南北坡向梯田土壤含水量(%)

Table 7 Soil water content in the south- and northward terrace in Lishi county, Shanxi (%)

项目	年Year		
	1987	1988	1989
Item	1987	1988	1989
降水量(mm)	486	610	402
北坡土壤含水量(%)	14.6	13.2	15.3
南坡土壤含水量(%)	12.6	13.1	11.2

被生长状况的影响^[12]。黄土阶状丘陵区的西安安塞三个坡向裸地土壤含水量(表 6), 平均土壤含水量北坡 > 西坡 > 南坡, 总体而言深层差异大于上层, 南坡与北坡 0~1m 土层土壤含水量相差 3.4%, 1~2m 土层相差 4.5%, 2~3m 土层 4.0%。山西离石(平均年降水量 488mm)南北坡向梯田作物收获时土壤含水量如表 7, 南北方向 0~2m 土层梯田土壤含水量不同年份相差 0.1%~4.1%。降水量愈少, 南北向梯田土壤含水量差异愈大。这是由于随降水量的增加, 旱地作物生长愈好, 作物对土壤水分的吸收强度大, 消耗数量增加, 到收获时不同坡向土壤含水量趋于一致, 差异缩小。

上述结果表明, 在黄土区, 阴性坡(东坡和北坡)的土壤含水量高于阳性坡(南坡和西坡), 其差异大小因地和降水年型而异。土壤含水量南北差异是黄土区植被类型南北坡分异的主因之一。黄土区森林多分布在阴坡, 而阳坡多生长旱生或中旱生灌丛植物。阴坡植被群落以达乌里胡枝子、本氏针茅群落和达乌里胡枝子、白草群落为主, 而阳坡则早熟禾、鹅冠草群落及铁杆蒿、艾蒿群落较多, 且盖度小。在农业生产和植物的配置中, 亦应根据土壤水分随坡向的分异规律, 在阳性坡上采用一定的抗旱保墒措施, 种植耐旱植物及其品种, 合理利用水土资源。

2.3 土壤水资源随坡度的分异

坡度是导致土壤水分非地带性差异的另一地形因素, 一般在 0~90° 范围内, 随坡地坡度的增大, 土壤含水量减小。图 1 为宁夏固原南坡不同坡度天然荒坡地土壤含水量, 整个测定剖面除表层外其余各层土壤含水量均随坡度的增大而减小, 且深层土壤含水量差异更显著。

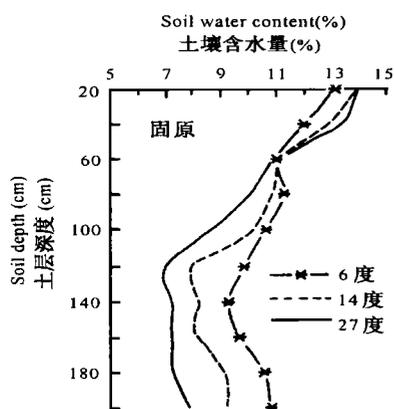


图1 南坡土壤含水量随坡度变化

Fig.1 The variation in soil water content with slope gradient in the southward slope

修建梯田或梯地是丘陵山区沟坡整治和增加基本农田面积的重要措施。除其他作用外, 梯田或梯地降低了地面坡度, 能防止或减小地表径流发生, 使土壤含水量显著提高。表 8 为宁夏固原不同测点天然荒坡与修建二年梯田与二级台地及天然荒坡地土壤含水量, 由表可见, 0~1m 土层含水量梯田 I 为 13.38% 比荒坡地 I 高 3.65%, 1~3m 土层则高 5.40%。梯田 II 与荒坡地 II 相比分别高 10.45% 和 7.84%; 梯田 II 与台地 II 相比, 各层含水

表8 宁夏固原不同土地类型土壤含水量(%)

Table 8 The soil water content of the different land-types in Guyuan county, Ningxia (%)

土层深度(m)	荒坡I	梯田I	荒坡II	梯田II	台地II
Soil depth(m)	Waste slope I	Terrace I	Waste slope II	Terrace II	Table land II
0~1	9.73	13.38	7.40	17.85	18.59
1~3	10.05	15.45	7.17	15.01	18.70

量仍较低。说明,修筑水平梯田,降低坡度减少地表径流,能实现降水就地入渗,显著的提高土壤含水量,这是干旱半干旱黄土区梯田或梯地作物高产的水分基础。

致谢: 本文编写承蒙杨文治、邵明安、贾恒义和蒋定生研究员及范兴科等同志的审阅并提供资料,特致谢意。

参 考 文 献

1. 张家诚. 西北干旱地区的水分评价问题. 水科学进展, 1997, 8(1): 44~47
2. 宋桂琴. 黄土高原土地资源的理论与实践. 北京: 中国水利水电出版社, 1995
3. 朱显谟主编. 黄土高原土壤与农业. 北京: 农业出版社, 1989. 197~227, 342~363, 410~439
4. 穆兴民, 陈国良, 郭保安等. 黄土区旱地春小麦农田水分生态特征与改善途径. 谢贤群和于沪宁主编: 作物与水分关系研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 52~61
5. 彭祥林, 贾恒义等著. 黄土高原草地土壤生态. 西安: 世界图书出版公司, 1997: 121~136
6. 杨文治, 余存组主编. 黄土高原区域治理与评价. 北京: 科学出版社, 1992. 241~291
7. 庄季屏. 四十年来的中国土壤水分研究. 土壤学报, 1989, 26(3): 241~248
8. 李玉山. 黄土区土壤水资源循环特征及其对陆地水分循环的影响. 生态学报, 1983, 3(2): 91~101
9. 蒋定生, 刘梅, 黄国峻. 降水在凸-凹形坡上再分配规律初探. 水土保持通报, 1987, 7(1): 20~25
10. 穆兴民, 徐学选, 陈国良. 黄土高原降水量的地理地带性研究. 水土保持通报, 1987, 12(4): 27~32
11. 陈国良, 穆兴民, 高桥英纪等. 黄土丘陵坡地水热状况与植被生产力. 水土保持研究. 1996, 3(1): 27~37

AN EXPLORATORY RESEARCH ON THE GEO-ZONAL AND UNZONAL DISTRIBUTIONS OF SOIL WATER IN LOESS REGION, CHINA

Mu Xing-min

(*Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100*)

Summary

In the present paper the concept of the geo-zonal and unzonal distributions of soil water resources is defined and the variation rules of the distribution of soil water resources in loess region, China is analyzed. Under homogeneous condition of vegetation and landform there is a geologically zonal distribution law which soil water content decreases from south to north and increases from the mountain top to its bottom in loess region, China. In the homogeneous soil water zone the differences in land-types, slope direction and mountain slope gradient will result in the local variation of soil water content, namely unzonal distribution of soil water resources.

Key words Loess region, Soil water, Geo-zonal and unzonal distributions