

甘肃河东雨养农业区土壤水分变化规律的研究*

杨兴国 柯晓新 张旭东 万 信

(兰州干旱气象研究所, 兰州 730020)

提 要

利用甘肃雨养农业区 11 个站点的土壤湿度资料及其相关的气象资料分析了该区域土壤水分时空变化规律、降雨量的补给和作物土壤水分状况。该区域土壤含水量自东南向西北减小, 变异系数增大。土壤水分不足区水分变化主要集中在 90 cm 以上, 而土壤水分严重不足区、作物生育关键期土壤水分不足区和土壤水分充足区水分变化深度可达 180 cm 左右。雨季降雨量对土壤水分补给率的地域变化范围为 15.3% ~ 41.7%; 补给率除受降雨量的影响外, 土壤类型也是一个重要的制约因子。除成县、临夏和西峰外, 其余各站在小麦生育期水分亏缺量均超过 100 mm, 占需水量的 30% ~ 50%。

关键词: 雨养农业 土壤水分 变异系数 补给率 水分亏缺量

引 言

土壤水分具有可利用性、储存性、传输性和可恢复性, 是直接影响农作物生长的重要因素之一。全世界的土壤水分常年储量占河流常年储量的 7.8 倍, 是世界大气水的 1.27 倍, 对土壤水分的研究已引起许多学者的极大关注^[1,2,3]。甘肃省位于黄土、内蒙古、青藏三大高原交汇处, 是典型的干旱半干旱地区。全省旱作耕地占耕地的 79.45%, 且地形多样, 气候差异大, 土壤类型多样, 致使各地土壤水分差异很大。开展土壤水分的研究, 掌握不同地区土壤水分变化规律, 是开发利用土壤水资源, 建立节水型农业的基础。本文利用甘肃河东旱作农业区 0~200 cm 土壤水分及相关资料对该区域土壤水资源作了初步分析, 为合理利用土壤水资源提供科学依据。

1 土壤水分的变化特征

1.1 土壤水分的地域分布

土壤水分资料选取 1989~1994 年 3~11 月 11 个测站的资料。取土层为 0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm, ..., 190~200 cm, 每月 8 号用土钻法测定。观测地段位于甘肃河东

* 本文得到甘肃省气象局“土壤-作物-大气连续体内水分运动规律”项目资助。
1998-11-26 收到, 1999-07-13 收到修改稿。

雨养农业区, 种植作物均为冬、春小麦. 降水量用同期当地气象站的观测资料.

据林日暖对甘肃土壤水分分区的研究^[4], 甘肃河东雨养农业区划分为 4 个区(见表 1). 分析 0~200 cm 多年平均土壤含水量及相应的变异系数可见, 土壤水分自东南向西北逐渐减小; 以榆中、环县、靖远为代表站的陇东、陇西黄土高原北部土壤水分严重不足区的土壤含水量最小, 最低值在靖远. 以成县为代表站点的陇东山地土壤水分充足区含水量最大, 最高值在成县. 这与林日暖等^[4]用 0~50 cm 土壤湿度资料分析结果基本一致. 其分布规律与该地区降雨量的分布规律也基本相同. 彭素琴等的研究表明^[5], 该地区降雨量最低值在靖远, 最大值在与成县相毗邻的康县, 可见降雨量对土壤水分状况起着重要作用. 土壤含水量高的地区其变异系数较小, 而土壤含水量低的地区变异系数较大, 土壤含水量最高的成县变异系数为 11.1%, 土壤含水量最低的靖远变异系数为 26.0%.

进一步分析 0~30 cm 和 0~100 cm 土壤水分变化状况也发现其分布特征与前述一致. 土壤水分最大、最小值仍在靖远和成县. 土壤含水量变化范围分别为 30~80 mm 和 90~270 mm, 变化幅度较大. 若以通用的土壤相对湿度 40%、60%、80% 定为严重干旱、轻度干旱和最适宜作物生长 3 个等级为标准, 则 I 区的榆中、靖远、环县的 0~100 cm 土壤相对湿度在 36%~48% 之间, 属严重干旱区; II 区的定西、通渭和 III 区的西峰、泾川、礼县、镇原等的 0~100 cm 土壤相对湿度在 53%~65% 之间, 属轻度干旱区; 而 IV 区的临夏和成县的 0~100 cm 土壤相对湿度在 72%~81% 之间, 能满足作物生长的需要.

表 1 各站土壤类型及多年平均土壤水分状况

土壤水分分区		站名	土壤类型	田间持水量 (mm)	平均土壤含水量 (mm)	变异系数 (%)
I 区	陇东、陇西黄土高原北部 土壤水分严重不足区	榆中	黄麻土	545.1	227.6	20.3
		靖远	大白土	468.8	196.5	26.0
		环县	粗黄棉土	537.7	243.3	20.2
II 区	陇西黄土高原、陇南白龙 江流域土壤水分不足区	通渭	黄麻土	557.3	248.1	19.3
		定西	黄麻土	624.3	220.3	14.2
		西峰	黑垆土	599.9	381.4	17.8
III 区	陇东黄土高原、陇南山地 关键期土壤水分不足区	泾川	黑垆土	664.4	431.4	17.0
		礼县	黑黄土	599.5	293.6	16.1
		镇原	黄棉土	593.8	310.6	22.1
IV 区	陇东南山地、甘南高原 土壤水分充足区	成县	正黄土	675.3	562.7	11.1
		临夏	大白土	673.0	433.2	9.3

1.2 土壤水分的时空变化特征

(1) 土壤水分的时间变化特征 农田土壤水分的变化是由多种因素综合作用的结果. 在甘肃雨养农业区, 地下水位较深, 影响土壤水分的因子主要有自然降水、土壤蒸发和植物蒸腾, 其季节变化主要决定于气象因子, 尽管年际间存在差异, 但土壤水分基本遵循以 1 年为周期作简单振动的变化规律, 各站每年都有一个最高值和最低值. 除环县外, 春小麦种植区土壤水分波动介于 41.2~67.9 mm 之间, 冬小麦种植区土壤水分波动介于 78.6~147.9 mm 之间, 前者小于后者.

选取靖远、定西、西峰和成县为各土壤水分分区代表站点, 并分别绘制其时空分布图

(图 1). 图 1 表明, 各站从 3 月上旬起土壤水分均开始下降, 至 6~7 月都出现一水分低值区, 之后土壤水分开始回升. 由于降水、蒸散等的差异, 各站土壤水分变化又有各自的特点. 位于 II 区的定西站 60 cm 以上土壤水分呈现 7~8 月小, 两头大的分布型式, 而 60 cm

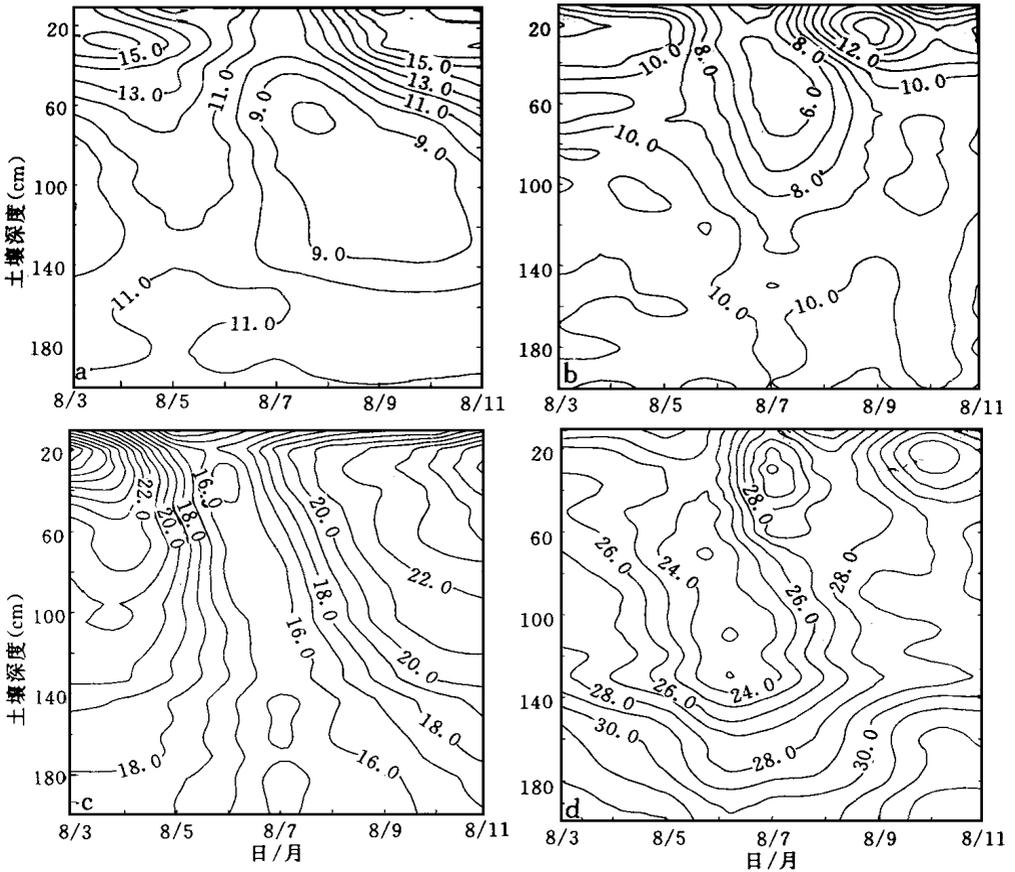


图 1 甘肃雨养农业区土壤水分时空分布(a)定西(b)靖远(c)西峰(d)成县
(图中等值线为土壤含水量, 单位: mm)

以下各层却呈现 5 月大, 两头小的分布型式. 从 7 月初开始在 50~150 cm 土层形成一土壤水分低值区. 此后春小麦进入乳熟收割期, 土壤水分散失减小, 蓄墒过程开始, 从表层开始土壤水分逐渐增加, 其低值区向深层发展, 厚度减小. 至 11 月初 0~80 cm 左右的土壤水分状况基本恢复到开春时的水平, 80~150 cm 为土壤水分相对小的区域, 并且一直保持到来年 3 月上旬. 此后由于上层水分的下渗和下层水分的毛管抬升作用, 水分低值区在 6 月上旬消失. 150 cm 以下土壤水分基本维持在 11 mm 左右, 变化不大. 位于 I 区的靖远站 60 cm 以上土壤水分变化与定西站基本相同, 其不同之处在于水分低值区的厚度较前者厚, 150 cm 以下水分变化幅度也较定西站的大. 位于 III 区的西峰站土壤水分时空分布随时间变化呈现中间小、两头大的分布型式, 土壤水分低值区出现时间随深度的增加逐渐后延; 6 月初低值区出现在 30~50 cm, 7 月初低值区下移到 140 cm 以下, 最深可达 200

cm 以下; 7 月初前后冬小麦收割至 9 月中旬冬小麦播种这一时段为土壤蓄水期, 各层土壤水分从上向下逐渐增加; 至 11 月初, 因冬小麦处于幼苗期, 耗水量较少, 土壤仍为蓄墒过程, 0~200 cm 土壤水分基本恢复到 3 月初的状况, 在土层中间不存在土壤水分低值区. IV 区的成县土壤水分较前 3 站都高, 3 月上旬~6 月上旬 60 cm 以上土壤水分呈递减趋势, 此后土壤水分回升, 并在 7 月中旬和 10 月中旬形成两个水分相对高值区, 水分含量高于 3 月初的值; 60 cm 以下基本以 6 月中旬左右的低值区为中心呈对称分布, 且 140 cm 以下水分变化不大.

由于定西和靖远两站种植的春小麦各生育期迟于西峰和成县两站种植的冬小麦, 其水分低值区出现的时间也滞后于后者. 同为春小麦种植区的靖远由于土壤水分状况较定西差, 在春小麦耗水高峰期深层水分变化幅度较定西大; 同样冬小麦种植区的西峰在冬小麦耗水高峰期深层水分变化幅度较成县大. 下层水分的变化滞后于上层土壤水分的变化是由于土壤水分的垂直输送具有滞后引起的.

若以当年土壤水分最低值到来年最低值为土壤水分循环周年, 据上述分析, 各站土壤水分的季节变化大致可分为 3 个阶段(表 2): ①夏秋增墒期: 从 7 月开始, 降雨量明显增加, 春麦区处于休闲期, 冬麦区处于幼苗生长期, 作物耗水所占比例很小, 土壤水分增加显著. 土壤水分增加最大的泾川站为 126.4 mm, 最少的定西站也达 36.8 mm. ②冬春相对稳墒期: 上年 11 月至当年 3 月初, 历时 4 个月, 各站降水量介于 7.1~55.1 mm, 自然降水对土壤中、下层水分基本无补给作用. 土壤水分随土壤的冻结从上到下先后冻结, 呈固态贮存于土壤之中, 上下水分的输送基本停止. 柯晓新等的研究表明^[6], 此阶段的蒸发耗水仅为 21.2 mm, 水分收支基本保持动态平衡. 失墒最多的成县站水分散失为 43.7 mm. ③春夏快速失墒期: 此期从 3 月上旬至 6 月或 6 月上旬. 由于温度逐渐升高, 作物生长日趋旺盛, 其耗水量也日渐增大; 降水量小于作物耗水量, 导致土壤水分急剧下降. 土壤水分下降最大的泾川站为 129.4 mm, 各站土壤水分损耗介于 26.7~129.4 mm 之间.

表 2 各站土壤水分的季节变化状况

站名	稳 墒 期		失 墒 期		增 墒 期	
	时段 (日/月)	土壤水分变化 (mm)	时段 (日/月)	土壤水分变化 (mm)	时段 (日/月)	土壤水分变化 (mm)
榆中	8/11~ 8/3	- 13.0	8/3~ 8/8	- 32.1	8/8~ 8/11	45.1
靖远	8/11~ 8/3	- 2.2	8/3~ 8/7	- 64.8	8/7~ 8/11	67.9
环县	8/11~ 8/3	- 32.5	8/3~ 8/6	- 31.1	8/6~ 8/11	62.6
通渭	8/11~ 8/3	- 15.3	8/3~ 8/6	- 30.4	8/6~ 8/11	45.7
定西	8/11~ 8/3	- 10.1	8/3~ 8/7	- 26.7	8/7~ 8/11	36.8
西峰	8/11~ 8/3	- 6.8	8/3~ 8/7	- 105.3	8/7~ 8/11	112.1
泾川	8/11~ 8/3	3.0	8/3~ 8/7	- 129.4	8/7~ 8/11	126.4
礼县	8/11~ 8/3	- 31.5	8/3~ 8/6	- 64.1	8/6~ 8/11	95.6
镇原	8/11~ 8/3	1.5	8/3~ 8/6	- 113.9	8/6~ 8/11	112.4
成县	8/11~ 8/3	43.7	8/3~ 8/6	- 71.1	8/6~ 8/11	117.0
临夏	8/11~ 8/3	4.9	8/3~ 8/7	- 52.0	8/7~ 8/11	65.8

注:“-”代表失墒.

(2) 土壤水分垂直变化特征 土壤水分在各层中的分布, 与各层土壤性质、根系分布以及受气象要素的影响大小有关, 其变化特征有相同之处, 又有各自不同的特点。

各站土壤水分自上向下变化幅度逐渐减小, 各站年振幅与本层土壤含水量的最大比均在 0~ 20 cm 层, 其值介于 0.94~ 0.36 之间; 最小值在 190~ 200 cm 层, 其值介于 0.31~ 0.08 之间。

分析图 1 可见, 各站耕作层(0~ 30 cm) 由于受气象要素和耕作措施影响较大, 水分变化梯度都很大, 在 20~ 30 cm 之间有一相对高含水层。这是由于 25 cm 左右处有一坚硬的犁底层, 阻碍了水分上下交换, 同时也影响作物根系的下扎和分布。有关研究表明^[7], 此层土壤容重较耕作层大 28% 左右, 因此在犁地时进行适当的深松, 有利于水分下渗, 增强土壤的蓄水能力, 减少径流量。

30 cm 以下由于各站土壤水分的差异以及冬、春小麦的根系分布不同, 其变化规律差别较大。在春夏快速失墒期, II 区的定西站土壤水分散失主要在 90 cm 以上, 90 cm 以下土壤水分略有增加, 但波动不大, 基本处于相对稳定状态; 靖远、成县和西峰 3 站 30 cm 以下水分变化幅度依然很大, 若以占整层土壤水分散失的 95% 计算, 上述 3 站的深度分别达 170 cm、190 cm 和 180 cm。在夏秋增墒期, 土壤水分增加状况与散失状况大体相同, 水分增加幅度较大的深度也与散失深度相一致。可见土壤水分不足区的定西土壤水分变化主要集中在 90 cm 以上, 而其它 3 站土壤水分变化深度可以达到 180 cm 左右。

2 降雨对土壤水分的补给

在旱作农业区, 土壤水分的主要补充源是自然降水。降水对土壤水分补给的有效性取决于降水量、降水强度、降水频率和降水季节分配, 同时还取决于植被冠层的截流量、径流损失量以及土壤本身水分的多少。

分析表明, 10~ 20 cm (表层) 土壤含水量随时间的波动较深层(90~ 100 cm、190~ 200 cm) 土壤含水量受降水量的影响要大。从 5 月上旬开始, 表层土壤含水量的上下波动基本与降水量的上下波动保持同步, 而深层以及较深层土壤水分波动与降雨量的上下波动关系不大。从表 1 和表 3 可以看出, 土壤含水量变异系数都小于同期降雨量变异系数, 但降雨量变异系数大的站点, 其土壤含水量变异系数不一定就大, 有关研究表明, 这与降雨强度、植被的截流、径流损失以及土壤的物理特性有关。

据彭素琴等的研究^[5], 甘肃雨养农业区雨量主要集中在 6~ 9 月(雨季), 降雨量占全年降雨量的 67.4%。但由于受作物生长的影响, 大部分站点的土壤水分增墒期滞后于雨季开始时间(见表 2)。表 3 是根据表 2 增墒期时段计算的降雨量对土壤水分的补给状况, 雨量平均补给率介于 15.3%~ 41.7%; 各站补给率年际变化范围除成县外均较大。在增墒期冬小麦尚处于幼苗期, 而春小麦已进入收获期, 耗水量分别只占总耗水量的 7.2% 和 6.2%^[6], 水分耗散主要是土壤蒸发, 再加之径流损失量, 在此期间有一半以上的降雨量没有得到有效利用。

而在同一土壤水分分区, 土壤含水量大的站点雨量补给率大。这也进一步充分说明补给率除受降雨量的影响外, 土壤类型也是一个重要的制约因子。可见在目前高科技投入尚

有限的情况下,增加农家肥的投入量,适时深松无疑是提高降雨补给率的一个经济有效的手段.

表 3 各站 3~11 月降雨量以及雨季对土壤水分的补给率

站名	3~11 月降雨量(mm)	变异系数	增墒期降雨量(mm)	增墒期土壤水补给量(mm)	增墒期土壤水补给率(%)	增墒期土壤水补给率变化范围(%)
榆中	383.7	12.2	143.3	45.1	31.5	18.5~42.5
环县	421.5	34.8	318.5	62.6	19.7	-17.0~37.4
通渭	400.0	21.7	298.5	45.7	15.3	3.2~38.4
定西	379.6	8.4	206.1	36.8	17.9	-13.6~39.4
西峰	536.1	21.7	307.2	112.1	36.5	1.3~60.2
泾川	454.1	21.8	303.2	126.4	41.7	-3.7~53.7
礼县	480.6	25.0	347.9	95.6	27.5	3.9~44.5
成县	656.0	26.5	482.5	114.8	23.8	14.5~32.6
临夏	507.3	10.6	302.7	46.6	15.4	-26.2~32.7

3 土壤水分对作物生长的影响及响应对策

土壤水分的亏盈对作物生长的好坏将产生直接影响.有关研究指出^[8],小麦在播种、分蘖期最适宜的土壤湿度为 65%~70% 和 70%~80%;拔节—孕穗期 0~60 cm 以上土层土壤湿度要维持在 75%~80%.经计算,成县在播种、分蘖期土壤水分偏大,拔节—孕穗期土壤水分适宜;西峰和临夏在播种、分蘖期土壤水分也较适宜,其余各站土壤水分偏低,不利于作物生长.

表 4 小麦生育期土壤水分(mm)的供需状况

站名	作物	生育期需水量	生育期降水量	土壤水利用量	作物土壤水资源	水分亏缺量
榆中	春小麦	331.2	160.8	27.4	188.2	143.0
环县	冬小麦	368.6	171.0	28.8	199.8	168.8
通渭	冬小麦	358.9	162.0	13.3	175.3	183.6
定西	春小麦	331.1	165.4	39.5	204.9	126.2
西峰	冬小麦	398.8	229.1	105.3	334.4	64.4
泾川	冬小麦	385.6	137.9	129.4	267.3	118.3
礼县	冬小麦	345.9	132.5	64.1	196.6	149.3
成县	冬小麦	286.9	173.5	71.1	244.6	42.3
临夏	春小麦	312.0	194.1	56.3	250.4	61.6

表 4 是小麦生育期土壤水分的供需状况,其中作物土壤水资源是根据由懋正等提出的评价方法计算所得^[9],生育期需水量是采用张旭东等的结果^[10].水分亏缺量较小的站

是成县、临夏和西峰, 作物在生长期受水分胁迫不大, 最终产量也较其它地区高, 其余各站在小麦生长期水分亏缺量均超过 100 mm, 占需水量的 30% ~ 50%。进一步分析土壤水分与小麦构成要素的关系表明, 小麦穗粒数与拔节至抽穗期的土壤水分关系密切, 而穗粒重与灌浆至乳熟期的土壤水分呈显著相关。可见, 充分利用该区域的雨水集流工程, 在小麦拔节至抽穗期和灌浆至乳熟期, 根据其需水量和土壤水分状况适时实施补灌是提高小麦产量的有效手段, 同时也是发展节水农业的必然趋势。

4 结 论

(1) 甘肃河东雨养农业区土壤含水量自东南向西北减小, 其变异系数增加, 最大值在成县, 最小值在靖远, 分布规律与该区域的降雨量分布规律也基本相同。

(2) 水分均以年为周期作简单振动, 在 6 月或 7 月达最小值; 春小麦区水分波动小于冬小麦区; 按其随季节的变化可分为冬春相对稳墒期、春夏快速失墒期、夏秋增墒期; 土壤水分不足区的水分变化主要集中在 90 cm 以上, 而其它 3 区的水分变化深度可以达到 180 cm 左右。

(3) 甘肃河东旱作农田增墒期降雨量对土壤水分补给率的空间变化范围为 15.3% ~ 41.7%, 最大的泾川不到降雨量的一半; 补给率除受降雨量的影响外, 土壤类型也是一个重要的制约因子, 因此增加农家肥的投入量, 适时深松是提高降雨补给率的一个经济有效的手段。

(4) 成县、西峰、临夏 3 站在作物生长期水分亏缺量均不大, 其余各站在小麦生长期水分亏缺量均超过 100 mm, 占需水量的 30% ~ 50%。

参 考 文 献

- 1 刘苏峡, 刘昌明. 90 年代水文学研究的进展和趋势. 水科学进展, 1997, 8(4): 365~ 369.
- 2 朱自玺. 农田土壤水分变化规律. 作物水分胁迫与干旱研究. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991. 135~ 154.
- 3 程维新, 胡朝炳, 张兴权. 土壤水分状况是农田蒸发的限制因素. 农田蒸发与作物耗水量研究. 北京: 气象出版社, 1994. 11~ 41.
- 4 林日暖, 邓振镛. 甘肃省土壤水分分区及测站合理布局. 北京农业大学学报, 1990, 16(增刊): 51~ 56.
- 5 彭素琴, 杨兴国, 柯晓新, 等. 甘肃河东地区降雨特征分析研究. 水科学进展, 1997, 8(4): 365~ 369.
- 6 柯晓新, 张旭东, 彭素琴, 等. 旱作春小麦农田蒸散与能量平衡. 气象学报, 1996, 54(3): 348~ 356.
- 7 李雪屏, 蔺海明, 晋小军. 陇中半干旱地区农田土壤水分动态变化的研究. 干旱地区农业研究, 1998, 6(2): 46~ 53.
- 8 龚绍先. 粮食作物与气象. 北京: 北京农业大学出版社, 1988. 14~ 101.
- 9 由懋正, 王会肖. 农田土壤水资源评价. 北京: 气象出版社, 1996. 45~ 78.
- 10 张旭东, 柯晓新, 杨兴国, 等. 甘肃河东小麦需水规律及其分布特征. 干旱地区农业研究, 1999, 17(1): 39~ 44.

STUDY ON SOIL WATER RESOURCES IN RAIN-FED AGRICULTURAL REGION OF GANSU PROVINCE

Yang Xingguo Ke Xiaoxin Zhang Xudong Wan Xin

(Lanzhou Arid Meteorological Institute, Lanzhou 730021)

Abstract

Based on the soil moisture data of eleven stations and related meteorological data in rain-fed agricultural region of Gansu province, the spatial-temporal law of soil moisture variation and the replenishment of precipitation and the conditions of soil water are analyzed. The soil moisture decreases from southeast to northwest whereas the variation coefficient increases in the region. The variation of soil moisture mainly occurs above 90 cm depth in the region where soil moisture is insufficient and 180 cm depth or so in other three regions. The regional variation of the replenishment ratio of precipitation is about 15.3% ~ 41.7%. In addition to the impact of precipitation on replenishment ratio, the soil type is also an important restrictive factor to replenishment. The water deficit exceeds 100 mm during wheat growing season in all stations except Chengxian, Lingxia and Xifeng, and the ratio of water deficit to wheat water requirement is about 30% ~ 50%.

Key words: Rain-fed agriculture Soil water Variation coefficient Replenishment ratio Water deficit