

# 渭北旱塬苹果种植分区土壤水分特征\*

刘贤赵<sup>1,2\*</sup> 衣华鹏<sup>1</sup> 李世泰<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>烟台师范大学地理与资源管理学院, 烟台 264025; <sup>2</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 杨陵 712100)

**摘要** 在区域尺度和定位观测的基础上,探讨了渭北塬区不同苹果种植分区的土壤水分特征.结果表明,渭北旱塬苹果种植分区土壤水分特征主要受降水和蒸散量的影响.在区域尺度上,苹果地潜在蒸散量是台塬东部区>高原沟壑区>台塬西部区.3种类型区苹果地土壤水分都存在亏缺现象,台塬东部区苹果地平均土壤水分亏缺量为39019 mm,最大亏缺量为67416 mm,最小亏缺量为18613 mm;高原沟壑区苹果地水分平均亏缺量、最大亏缺量分别为26414和44112 mm,偶尔也出现水分盈余的现象;台塬西部区总体上表现为亏缺,但苹果地出现水分盈余的现象较高原沟壑区普遍,最大盈余量达15118 mm.渭北旱塬苹果地水分储存量也存在区域分异,在全生育期2 m土层水分储存量台塬西部区>高原沟壑区>台塬东部区.这种变化特性与降水量的时空变化、果树对土壤水分的消耗量及降水年型有关;具体表现为苹果地耗水量以台塬东部区最大,高原沟壑区次之,台塬西部区最小,干旱年苹果全生育期耗水量低于丰水年.在干旱年份,苹果树耗水量除来源于生育期间的有效降水外,还有相当一部分依赖于3 m以下土层贮水,形成土壤干层,影响果业持续发展.

**关键词** 渭北旱塬 苹果种植分区 土壤水分特征 土壤干层

文章编号 1001-9332(2004)11-2055-06 中图分类号 S1521.7 文献标识码 A

Soil moisture characteristics of apple planting subarea in Weibei dry highland, Shaanxi Province. LIU Xianzhao<sup>1,2</sup>, YI Huapeng<sup>1</sup>, LI Shitai<sup>1</sup> (<sup>1</sup>College of Geography and Resource Management, Yantai Normal University, Yantai 264025, China; <sup>2</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15(11): 2055~2060.

Based on the data of regional scale and located field measurement, this paper investigated the soil moisture characteristics of the apple planting subarea in Weibei dry highland, Shanxi Province. The results showed that the soil moisture characteristics in this subarea were affected by precipitation and evapotranspiration. At regional scale, the apple land evapotranspiration in east Weibei area was the largest, and that in tableland gully and in west Weibei area was the medium and the smallest, respectively. Soil water deficit phenomenon was observed in three type areas. In east Weibei area, the mean water deficit amount was about 39019 mm, the maximum was 67416 mm, and the minimum value was 18613 mm. In tableland gully area, the average and maximum values were 26414 and 44112 mm, respectively, and sometimes water surplus occurred. As a whole, soil moisture in west Weibei area was deficit, but the phenomena of water surplus were more prevalent than those in tableland gully area, and the maximum value was 15118 mm. Soil moisture storage amount existed spatial and temporal variations in 3 different areas. The value of 2 m profile in apple growth season in west Weibei area was the largest, and that in Weibei tableland gully area and in Weibei east area was the medium and the smallest, respectively. The characteristics of soil moisture storage depended mainly on precipitation and its spatial-temporal distribution, as well as its consumed amount by apple trees. Water consumption in east Weibei area was the largest, the second was in gully area, and that in west Weibei area was the smallest. During apple growth season, the water consumption in dry year was less than that in wet year. In dry year, except for available precipitation, a considerable part of water used by apple trees came from deep (exceeded 3 m) soil moisture storage, which resulted in a dried soil layer and would affected the sustainable development of fruit production.

**Key words** Weibei dry upland, Apple planting subarea, Soil moisture characteristics, Dried soil layer.

## 1 引 言

随着水土保持产业化的推进和果品经济的发展,苹果产业在陕西黄土高原农村经济中的地位日益重要.它不仅为国内外市场提供了大量优质果品,增加了农民经济收益和地方财政收入,积累了资金,而且保持了水土,改善了生态环境,极大地促进了苹果种植面积的发展.目前,陕西苹果种植面积已占

全省耕地面积的1/10,主要产在渭北和陕北两大地区.由于渭北塬区光照充足(年日照时数在2300~2500 h),6~9月昼夜温差10~14℃,土层深厚(约30~200 m),适合优质苹果生产.但该区水资源贫乏,降水少且年际年内分配不均,多年平均降水量

\* 国家自然科学基金项目(40101005)、山东省自然科学基金项目(Q2002E03)和山东省教委资助项目(J02L01).

\*\* 通讯联系人.

2002-10-12收稿,2003-02-28接受.

500~700 mm, 其中60%以上集中在夏季。地下水埋藏在60 m以下, 水资源利用难度大, 有限的灌溉水由于不合理利用, 造成极大的浪费, 加上苹果树强烈的蒸腾耗水作用<sup>[5]</sup>, 使土壤水分成为渭北苹果基地建设中的首要的限制因子<sup>[3, 13, 15, 21]</sup>, 并出现了诸多问题, 如苹果树水肥营养失调、果树生长量低、果小、色差、产量低而不稳, 以及土壤干化现象, 严重影响果业的持续发展。过去人们对渭北塬区土壤水分曾有不少研究<sup>[7~9, 17, 19]</sup>, 但多偏重于农田土壤水分, 而对渭北苹果园土壤水分特征的研究则鲜有报道。基于此, 本文试图定量分析渭北塬区苹果园土壤水分特征和供耗水规律, 旨在为调控果园水分关系, 建立合理的灌溉制度以及确保该区果业持续发展, 提供科学依据。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究地区概况与分区

渭北旱塬(34°11'N~36°20'N, 106°20'E~110°40'E)位于陕西省关中平原以北, 陕北丘陵沟壑区以南, 东西分别与山西省和甘肃省接壤, 东西长400 km, 南北宽275 km。包括延安南部、渭南、咸阳、宝鸡三地区北部及铜川市, 共23个县, 总土地面积379×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 其中苹果种植面积331.3×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 占耕地面积的36.17%, 人均耕地0.12 hm<sup>2</sup>, 发展苹果生产潜力大, 是我国著名的商品化苹果生产基地。该区属暖温带半湿润偏旱气候, 光热资源丰富, 年均气温8~12℃, 夏季平均气温19~23℃, 果实生长期昼夜温差在10~14℃, >10℃的积温在3000℃以上, 年均降雨量525~730 mm。土地平坦肥沃, 适于苹果根系生长, 但水资源极其缺乏。该区共有水资源1512×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 其中地表水1313×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 地下水91.2×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 1 hm<sup>2</sup>耕地平均水量仅1.515 m<sup>3</sup>, 相当于全国平均水量的51.8%<sup>[19]</sup>。近年来, 随着苹果种植面积的扩大, 进一步加剧了水资源供需矛盾。根据渭北地区自然条件、地貌差异以及各县的干湿状况, 结合地形和土壤蓄水特征, 将渭北苹果适生区划分成3个分区<sup>[10]</sup>: 1) 渭北旱原沟壑区, 包括洛川、长武、彬县、旬邑、宜君、黄陵、黄龙、富县, 海拔约850~1200 m, 气候条件符合苹果最适宜区标准, 是公认的优质苹果产区。该区地貌类型以黄土高原沟壑为主, 塬面平坦, 塬周侵蚀深切, 土层深厚。与渭北台塬东部地区相比, 降水量相对较大, 但春旱严重, 对苹果的生长发育影响较大<sup>[9]</sup>。2) 渭北台塬东部区, 包括合阳、蒲城、澄城、韩城、富平、白水、铜川和耀县。塬区宽坦, 土层深厚, 土质肥沃, 海拔800 m以上, 适合苹果生产, 是陕西苹果的主要产区。该区降水偏少且年际、年内分布不均, 蒸发量大, 干旱程度较渭北旱原沟壑区和渭北台塬西部区严重。3) 渭北台塬西部区, 位于渭河及其支流中下游两岸的二级阶地上, 塬面起伏, 沟壑纵横, 水土流失严重, 年侵蚀模数为4000~5000 t/km<sup>2</sup>, 包括淳化、永寿、礼泉、乾县、凤翔、陇县、宝鸡七县。降水量相对较多, 全区多年平均

降水量6351.0 mm, 但蒸发量大于降水量, 干燥度1110~1136, 降水年变率为14%~22%, 冬季到初春干旱少雨, 对苹果生长不利(图1)。

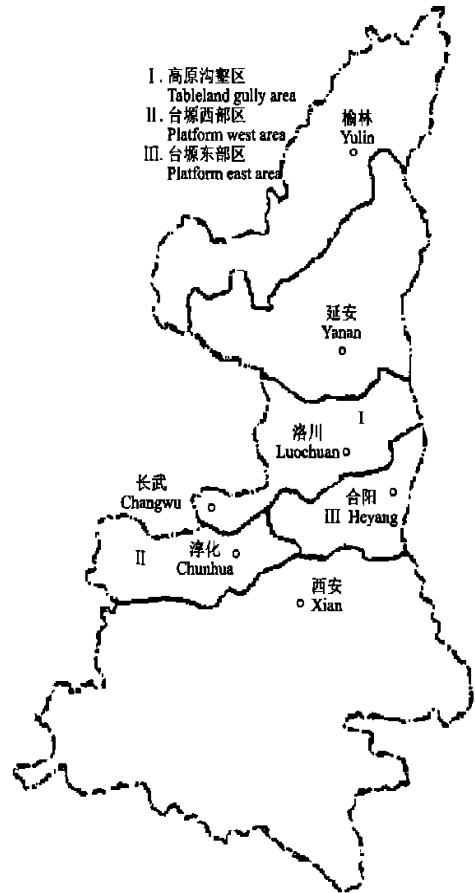


图1 陕西渭北旱塬苹果种植分区示意图

Fig 1 Sketch of apple planting subarea in Weibei dry highland in Shanxi Province

### 2.2 研究方法

选取代表性区域洛川(渭北高原沟壑区)、合阳(渭北台塬东部区)及淳化(渭北台塬西部区)作为研究地点(表1)。结合各类型区当地苹果种植制度和管理措施, 选取苹果树龄一致的样点, 进行土壤水分平衡观测, 按统一技术标准, 定期对土壤水分进行测定, 系统测定深度为2 m, 不定期测定深度为3~10 m。采用烘干法测定土壤含水量, 每15 d观测1次, 重复3次。其中0~100 cm土层每10 cm取1个土样, 100 cm以下每20 cm取1个土样, 测定时间为1997和1998年苹果的2个生长季, 3~10 m土层剖面含水量测定时间为1999年。根据测定的土壤水分, 用水量平衡法计算苹果树阶段耗水量和土壤储水供给量。同时, 选取各苹果种植分区所辖县市(渭北高原沟壑区8个, 渭北台塬东部区8个, 渭北台塬西部区7个)进行区域水分研究, 依据各县(市)的气象观测资料(1962~1998年), 采用联合国粮农组织(FAO)推荐的Penman-Monteith<sup>[11]</sup>公式计算苹果地的潜在蒸散量, 从大范围尺度上揭示渭北旱塬苹果种植分区土壤水分特征。

表 1 陕西渭北旱塬苹果种植分区基本情况

Table 1 General situation of experimental section in Weibei dry highland in Shanxi Province

类型区 Type area	典型地点 Typical sites	气候类型 Climate types	年均降水量 Average year precipitation (mm)	年均温度 Average year temperature (e)	干燥指数 Dryness index	土壤类型 Soil types	Fc (%)	Wc (%)
GG	洛川 Luochuan	半湿润区 Semihumid area	5811.4	91.1	11.23	黑垆土 Heilu soil	201.2	61.1~71.4
TD	合阳 Heyang	半干旱区 Semidried area	5241.5	121.4	11.45	±娄土 Lou soil	201.8	71.8~81.0
TX	淳化 Chunhua	半湿润区 Semihumid area	6001.6	91.6	11.36	黑垆土 Heilu soil	201.9	91.0~91.9

GG: 高原沟壑区 Tableland gully area; TD: 台塬东部区 Platform east area; TX: 台塬西部区 Platform west area.; Fc: 田间持水量 Field capacity; Wc: 枯萎系数 Wilt coefficient. 下同 The same below.

### 3 结果与讨论

#### 3.1 渭北旱塬苹果地土壤水分空间特征

影响渭北旱塬苹果地土壤水分空间特征的主要因子为由气候条件决定的自然降水和果树区蒸散量以及果树不同生育期的耗水特性。由表 2 可见, 渭北旱塬苹果地土壤水分具有明显的区域性特征。不同苹果种植类型区多年平均降水量存在较大差异, 渭北台塬东部区明显小于高原沟壑区和台塬西部区, 降水量变幅从台塬西部区经渭北旱原沟壑区至台塬东部区逐渐减少。同一类型区中降水量的变幅也很大, 如台塬东部区, 降水量最大为 6821.1 mm(1998 年), 而最低只有 3221.1 mm(1997 年)。渭北旱塬区苹果地潜在蒸散量表现出如下特征: 渭北台塬东部区苹果地潜在蒸散量最大, 台塬西部区苹果地潜在蒸散量最小, 旱原沟壑区居中。区域内的变幅是渭北高原沟壑区> 渭北台塬西部区> 渭北台塬东部区。

表 2 渭北旱塬苹果种植分区土壤水分状况

Table 2 Apple land water status of different type areas in Weibei dry highland

类型区 Type area	土壤湿润值 Soil humid values	降水量 Precipitation (mm#yr <sup>-1</sup> )				潜在蒸散量 Potential evapotranspiration(mm#yr <sup>-1</sup> )				水分亏缺 Water change (mm#yr <sup>-1</sup> )			
		平均值 <sup>1)</sup>	最大 <sup>2)</sup>	最小 <sup>3)</sup>	变幅 <sup>4)</sup>	平均值 <sup>1)</sup>	最大 <sup>2)</sup>	最小 <sup>3)</sup>	变幅 <sup>4)</sup>	平均值 <sup>1)</sup>	最大 <sup>2)</sup>	最小 <sup>3)</sup>	变幅 <sup>4)</sup>
GG	01.67	5851.7	8131.2	3691.5	4431.7	8501.1	9281.0	3911.1	5361.9	-2641.4	-4411.2	+381.7	4791.9
TD	01.49	5421.6	6821.1	3221.1	3601.0	9331.5	10001.3	5821.2	4181.1	-3901.9	-6741.6	-1861.3	4881.3
TX	01.69	6351.0	8321.7	3761.0	4561.7	7631.2	8601.9	3921.9	4681.0	-1281.2	-3481.7	+1511.8	5001.5

1) Average values, 2) Maximum, 3) Minimum, 4) Change range. 表中数据为不同类型区所辖县的平均值, 负号表示水分亏缺 Data in table denotes the means of all counties, minus means deficit.

#### 3.1.2 苹果种植分区水分贮存量的时空特征

渭北旱塬 3 个类型区苹果地土壤水分储存量在不同生育期的变化见表 3。由表 3 可见, 渭北旱塬苹果种植区 2 m 土层的水分储存量变化在 2811.3~5711.7 mm 之间, 均经历一个由下降到上升再到下降的变化过程。从分区上看, 在整个生育期 2 m 土层水分储存量是台塬西部区> 高原沟壑区> 台塬东部区, 但台塬西部区与旱原沟壑区差异不明显。土壤水分储存量的这种空间分布格局与渭北塬区降水量的空间分布格局密切相关<sup>[11, 18]</sup>。

另外, 渭北旱塬苹果种植分区土壤水分储存量随生育期的变化也存在较明显的地区差异(表 3)。

另外, 各苹果种植分区土壤水分均存在亏缺现象, 但各类型区之间水分亏缺程度不同。如果以潜在水分亏缺量计算, 台塬东部区最为严重, 旱原沟壑区次之, 台塬西部区最轻。在台塬东部区, 苹果地土壤水分平均潜在亏缺量为 3901.9 mm, 最大亏缺量达 6741.6 mm, 最小亏缺量达 1861.3 mm, 前者是后者的 3.16 倍。在渭北旱原沟壑区, 苹果地水分平均潜在亏缺量为 2641.4 mm, 最大亏缺量达 4411.2 mm, 在个别地方也出现水分盈余的现象, 盈余量达 381.7 mm。渭北台塬西部区的土壤水分总体上表现为亏缺, 尽管平均亏缺量和最大亏缺量分别达 1281.2 和 3481.7 mm, 但苹果地出现水分盈余的现象较高原沟壑区普遍, 最大盈余量达 1511.8 mm, 表明渭北塬区苹果地土壤水分状况以台塬西部区最好, 高原沟壑区次之, 台塬东部区最差。表 2 提供的土壤湿润值就是这一结论的有力佐证<sup>[17]</sup>。

在渭北旱原沟壑区, 苹果地的土壤水分储存量在春梢生长与果实发育前期(4 月 20 日~ 6 月 20 日)有一定程度的下降, 原因是该区春旱严重, 又是果树萌芽、开花、新梢发育生长的旺盛阶段, 果树耗水量大。6 月底以后, 苹果进入果实膨大期(6 月底~ 8 月下旬), 降水量增加, 水分充足, 土壤储水量显著增加,

表 3 渭北旱塬苹果种植分区 5 龄苹果地 2 m 土层水分贮存量  
Table 3 Stored soil water in 2 m soil layer of apple land in different type areas in Weibei dry highland(mm)

类型区 Type area	月份 Month								平均 Average
	4	5	6	7	8	9	10		
GG	3601.4	3301.4	3501.4	4861.3	4711.2	5711.7	4901.9	4371.3	
TD	3351.5	2811.3	2611.2	3811.8	3411.8	4661.4	3851.2	3501.5	
TX	4901.8	3751.7	2971.3	4151.8	4101.8	5511.6	5361.6	4391.8	

表4 渭北旱塬苹果树不同生育期的耗水状况

Table 4 Status of apple water consumption at different growth stages in Weibei dry highland(mm)

类型区 Type area	项目 Items	年份 Year	月份 Month							全生育期 All growth stages
			4	5	6	7	8	9	10	
GG	有效降水量	1997	4313	1117	610	571.8	811.9	881.8	151.8	3051.3
	Effective precipitation	1998	6011	741.5	401.1	1131.3	1131.3	291.7	401.4	4711.4
	土壤供水	1997	016	281.8	391.3	561.7	- 321.7	- 151.8	71.1	841.0
	Supply water by soil	1998	- 101.5	- 11.0	611.6	- 151.6	- 71.0	471.1	- 51.9	681.7
	耗水量	1997	431.9	401.5	451.3	1141.5	491.2	731.0	221.9	3891.3
	Consumption water	1998	491.6	731.5	1011.7	971.7	1061.3	761.8	341.5	5401.1
TD	有效降水量	1997	5410	010	101.3	1211.1	151.7	991.7	81.4	3091.2
	Effective precipitation	1998	5910	781.2	961.9	851.5	1221.2	651.1	451.9	5521.8
	土壤供水	1997	- 51.7	421.5	301.3	- 101.8	531.1	- 191.2	191.2	1091.4
	Supply water by soil	1998	- 131.3	- 31.8	01.4	241.2	61.5	221.0	11.0	371.0
	耗水量	1997	481.3	421.5	401.3	1101.3	681.8	801.5	271.6	4181.3
	Consumption water	1998	451.7	741.4	971.3	1091.7	1281.7	831.1	461.9	5851.8
TX	有效降水量	1997	171.7	31.9	131.5	1241.3	171.0	931.8	21.3	2721.5
	Effective precipitation	1998	421.2	1161.6	281.9	1351.1	1291.2	211.4	491.3	5221.7
	土壤供水	1997	211.8	341.5	361.8	- 51.4	121.2	- 271.3	151.8	811.4
	Supply water by soil	1998	111.4	- 441.0	771.3	- 491.4	- 451.4	491.4	- 271.2	- 271.9
	耗水量	1997	391.5	381.4	501.3	1181.7	291.2	651.5	181.1	3601.1
	Water consumption	1998	531.6	721.6	1061.2	851.7	831.8	701.8	221.1	4941.8

此期间果园一般不需灌水,应以深翻土壤增加储水为主。随着果实的成熟,果实处在着色和糖分转化期,果树需水强度下降,需水量相应减少,至成熟期(8月下旬~10月)土层储水量达到最大值。在渭北台塬东部区,从春梢生长期到果实成熟期,2 m 土层水分储存量的变化与渭北旱塬沟壑区基本相似,不同的是果实膨大期和成熟期土体储水量明显小于渭北旱原沟壑区,这与台塬东部区气候干燥、土壤蓄保水性较渭北旱原沟壑区差有关<sup>[9]</sup>。针对上述两个类型区土壤储水特征,在4月下旬至6月初,抓好补灌具有增产意义。7~8月是高温伏旱期,蒸发量大,苹果又处在果实膨大期,在台塬东部区也应补充灌水。在渭北台塬西部区,苹果地土壤水分储存量在春梢生长期(4月20~5月上中旬)变化不大,但进入幼果发育前期,土壤储水量急剧下降,至6月达到最低点,此后2 m 土层水分贮存量呈现明显增加的趋势。这是因为3月下旬至4月,该区降水量增加,因此一般在果树萌芽期和开花期可不进行灌溉;进入5月中下旬至6月,气温升高,叶面积迅速增大,蒸腾耗水量剧增,果树进入需水临界期,加上该时段降水量不多,易出现春末夏初干旱,土壤水分不足,易使新梢停长和幼果脱落,应适当补灌;7~8月份虽进入雨季,土壤储水量增加,但易发生伏旱,为防止对彭大期果实生长产生不利影响,也应视土壤墒情进行补灌。

苹果地土壤水分的利用状况是影响水分贮存量的一个重要因素<sup>[14]</sup>。从表4可以看出,渭北旱塬沟壑区和台塬东部区土壤失墒以及生育期苹果树耗水

较台塬西部区严重。由于年际降水量的差异,即使在同一类型区内,苹果地对土壤水分的利用状况也表现出差异。以台塬西部区为例,在正常水文年(1998年),苹果全生育期4~10月有效降水5221.7 mm(全年降水量6191.2 mm),比同期多年平均降水量(4701.5 mm)多521.2 mm,土壤失墒不明显或者土壤水分得到部分补充,土壤储水基本能满足果树生长需要,在生育期末土壤水分盈余271.9 mm(表4)。但由于年内降水分配不均以及果树不同阶段生理需水的差异,在果树生长发育的某些关键期仍需补充灌水。在干旱年(1997年),降水量严重不足,4~10月有效降水量只有2721.5 mm,降水量比多年平均值少1851.2 mm,除7月份降雨1241.3 mm外,5、6、8月连续干旱,降水量只有同期多年平均降雨量的61.6%、27.4%和16.7%,而这3个月又是苹果需水量较多的时段,有效降雨及土壤供水满足程度仅29.4%~42.5%,果树需水亏缺量达1911.8 mm,生育期末土壤水分贮存量减少811.4 mm,土壤失墒明显,造成土壤储墒期无水可储的局面。因此,补充灌水和减少土壤表面的无效蒸发<sup>[6]</sup>,成为满足苹果生长发育对水分需求的必要措施之一。

### 3.1.3 渭北旱塬果树生长的补充水源

从苹果树耗水量的多少上看(表5),苹果树生育期的水分输入量与输出量存在着明显的失衡现象。生育期耗水量与有效降水量之比多变动在1106~1135之间,表明水分的供需矛盾甚为突出。结合表4还可以看出,干旱年(1997年)3个不同类型区苹果全生育期耗水量比正常年份(1998年)低得多。

这是苹果树减少蒸腾耗水来适应干旱的结果. 从耗水量的组分看, 苹果树的耗水量主要来源于生育期间的有效降雨, 但同时又要依靠土壤水分的补给和调节(表 5). 根据渭北旱塬苹果地水分观测试验发现, 苹果树耗水量组成及其耗水土层深度因水文年份不同而波动. 在正常年份(如 1998 年), 苹果树的耗水量绝大部分来自生育期的有效降水, 生育期有效降水量占总耗水量的 90% 以上(表 5), 耗水层深度在 2~3 m 之内, 降水分布与耗水规律基本一致; 在干旱年份(如 1997 年), 耗水量除来自生育期降水外, 还有相当一部分依赖土壤水分的调节和补偿, 耗水层深度超过 3 m. 如 1999 年(属于旱年), 渭北旱塬沟壑区苹果生育期降雨量仅 34513 mm, 特别是 5~7 月降水量分别只有同期多年平均降水量的 1517%、1419% 和 3812%, 而此时又是苹果树蒸腾耗水量最大的时段, 有效降水以及 3 m 土层供水难以满足其需水要求, 果树需水亏缺量达 10610 mm. 在不考虑人工补灌的情况下, 亏缺的水量只能靠根系吸收深层土壤水分来补充. 据 1999 年在洛川、淳化和合阳等地实测的土壤水分垂直分布(图 2)资料, 较大树龄苹果地土壤剖面含水量明显低于农田, 3~9 m 土层含水量接近凋萎湿度, 形成生物利用型土壤干层<sup>[2, 4, 8, 12, 16, 20]</sup>. 在洛川, 15 和 28 年生苹果树多年平均蒸散量分别达 60013 和 61616 mm, 同期多年降雨量平均值分别为 54914 (1985~1999 年) 和 58515 mm(1972~1999 年), 共分别超额利用 10

m 土层有效储水 76219 和 78516 mm, 表明苹果树的强烈蒸腾耗水作用不仅消耗掉每年的降雨入渗量, 而且还不断利用丰水年下渗进入深层土壤的有效储水. 深层储水在干旱年份对苹果树生长所需水分的供给起着不可忽视的重要作用. 比较 3 个类型区发现, 耗水量还存在区域分异特征. 在渭北台塬东部区, 耗水量超过沟壑区和台塬西部区, 苹果树全生育期的耗水量高于同期的降水量(表 5). 在渭北旱原沟壑区, 自然降水也不能满足苹果树生育期的耗水, 苹果树生育期耗水与降水量之比为 1.06~1.281 在台塬西部区, 虽然苹果树的耗水量出现阶段性的需要土壤水分补给的情况(表 4), 但整个生育期自然降水都超过其耗水量(干旱年除外). 这与 3 个类型区不同的气象因子有关. 渭北台塬东部区各县年平均气温为 1214 e, 旱原沟壑区和西部台塬区年平均气温只有 911 和 916 e, 显然东部台塬区热量条件明显优于西部区和高原沟壑区, 从而使东部台塬区苹果地耗水量高于西部台塬区和高原沟壑区.

表 5 渭北旱塬不同类型区苹果树的耗水量及其组分  
Table 5 Water consumption by apple trees and its compositions in Weibei dry highland

类型区 Type area	耗水量 Water consumption (mm)	耗水量组分 Composition of water consumption			
		有效降水量 <sup>1)</sup>	2 m 土层供水量 <sup>2)</sup>	降水占耗水的% <sup>3)</sup>	土壤供水占耗水的% <sup>4)</sup>
GG	38913~49915	30513~47114	6817~8410	7814~9413	1618~1716
TD	41813~58518	30912~55218	3710~10914	7319~9413	818~1817
TX	36011~49418	27215~52217	-2719~8114	7517~10516	-717~1615

1) Effective precipitation, 2) Supply water by 2 m depth profile, 3) Percent of precipitation divided by water consumption, 4) Percent of soil supply water divided by water consumption.

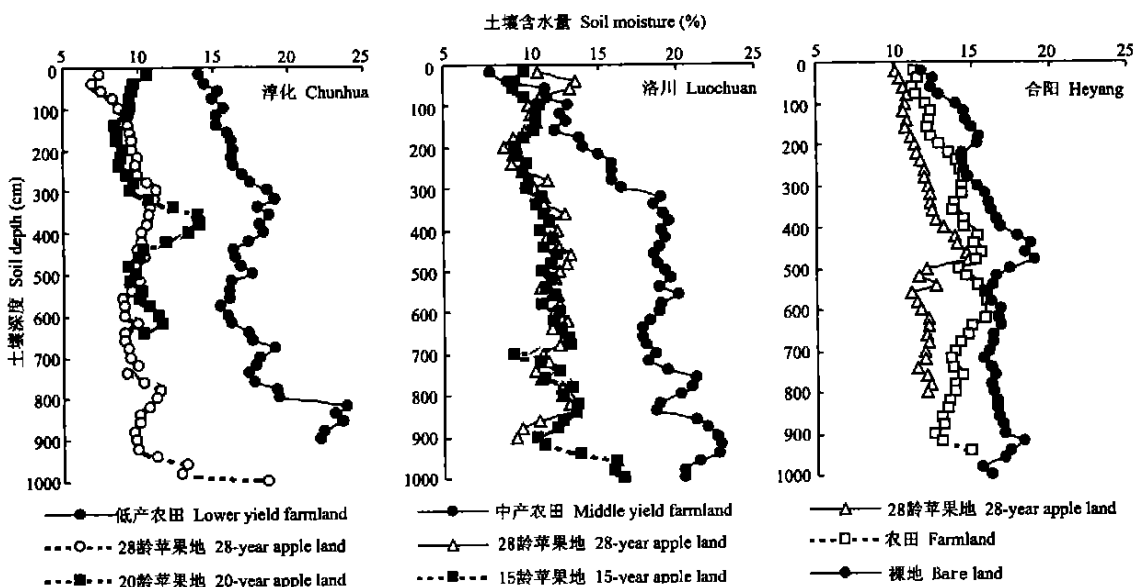


图 2 渭北旱塬不同类型区苹果地 10 m 土层含水量分布  
Fig. 2 Distribution of soil water content in 10 m profile of different type sections in Weibei dry highland.

## 4 结 论

411 渭北旱塬苹果地土壤水分特征受自然降水和果树蒸散量的影响,其变化规律与降水量的分配一致。在区域尺度上,苹果地潜在蒸散量是台塬东部区 > 高原沟壑区 > 台塬西部区,区内的变幅则是高原沟壑区 > 台塬西部区 > 台塬东部区。在台塬东部区,苹果地土壤水分平均潜在亏缺量为 39019 mm,最大亏缺量 67416 mm,最小亏缺量 18613 mm;在高原沟壑区,苹果地水分平均潜在亏缺量为 26414 mm,最大亏缺量 44112 mm;台塬西部区水分总体上表现为亏缺,但苹果地出现水分盈余的现象较前二者普遍。

412 从总体上看,渭北旱塬苹果地 2 m 土层水分储存量变化在 28113~ 57117 mm 之间,均经历一个由下降到上升再到下降的变化过程;从分区上看,2 m 土层水分储存量在不同生育期是台塬西部区 > 高原沟壑区 > 台塬东部区。土壤水分储存量的这种变化特性与降水量的时空变化、果树对土壤水分的利用量及降水年型有关。

413 不同类型区苹果地耗水量存在区域差异,台塬东部区高于旱塬沟壑区和台塬西部区。干旱年苹果树全生育期耗水量低于丰水年。从耗水量组分看,苹果树耗水主要来源于生育期间的有效降水,但在干旱年份,还有相当一部分依赖深层土壤贮水,耗水深度超过 3 m,使苹果地土壤出现干化现象。

## 参考文献

- Allen RG. 2000. Using the FAO256 dual crop coefficient method over an evapotranspiration intercomparison study. *J Hydrol*, 229: 27~ 41
- Cairns JJ. 1990. *Recovery and Restoration of Damaged Ecosystems*. Charlottesville: Virginia University Press. 57~ 61
- Fan ZP(范志平), Zeng DF(曾德慧), Jiang FQ(姜凤岐). 2001. Application of sustainable and intensive management model of windbreaks/shelterbelts. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 12(6): 811~ 814 (in Chinese)
- Hu LJ(胡良军), Shao MA(邵明安). 2002. Review on water ec2 environment in vegetation restoration in Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 13(8): 1045~ 1048 (in Chinese)
- Huang MB(黄明斌), Yang XM(杨新民), Li YS(李玉山). 2001. Effect of apple base on regional water cycle in Weibei upland of the Loess Plateau. *Acta Geogr Sin (地理学报)*, (1): 7~ 13 (in Chinese)
- Li FM(李凤民), Zhao SL(赵松龄). 1997. New approaches in researches of water use efficiency in sem2arid area of Loess

- Plateau. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 8(1): 104~ 109 (in Chinese)
- Liu XZ(刘贤赵), Huang MB(黄明斌). 2002. Status of soil water environment in apple orchards located in the area of Loess Plateau. *J Fruit Sci (果树学报)*, 19(2): 75~ 78 (in Chinese)
- Mao RH(毛瑞洪). 1994. Studies on hydrological cycle and water stress of wheat field in Weibei arid highland. *J Soil Water Cons (水土保持学报)*, 8(3): 87~ 91 (in Chinese)
- Ma XY(马孝义), Wang WE(王文娥), Kang SZ(康绍忠). 2002. The relationship between apple production and rainfall and compensation irrigation period in North Shanxi and Weibei. *Chin Agric Meteor (中国农业气象)*, 23(1): 25~ 28 (in Chinese)
- Shi YS(石亿邵). 1993. Research on the division of dry types re2 gion in Shaanxi Province. *Agric Res Arid Area (干旱地区农业研究)*, 6: 89~ 95 (in Chinese)
- Sun CZ(孙长忠), Huang BL(黄宝龙), Liu SM(刘淑明). 2000. Soil moisture dynamic in forest land and wasteland in Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 11(4): 523~ 526 (in Chinese)
- Sun CZ(孙长忠), Huang BL(黄宝龙), Chen HB(陈海滨). 1998. Interaction between water environment and artificial vegeta2 tion in the Loess Plateau Region. *J Beijing For Univ (北京林业大学学报)*, 20(3): 7~ 14 (in Chinese)
- Wang LX(王进鑫), Zhang XP(张晓鹏), Gao BS(高保山). 2000. Study on water requirement and limited irrigation effects of dwarfing Fuji apple tree on Weibei of Loess Plateau. *Res Soil Water Cons (水土保持研究)*, 7(1): 69~ 74 (in Chinese)
- Wang LX(王进鑫), Liu BZ(刘秉正). 2000. Catching historic op2 portunity to establish green2 fruit base2 preliminary study sustainable development problem of apple industry on Weibei of Loess Plateau. *Res Soil Water Cons (水土保持研究)*, 7(1): 63~ 66 (in Chinese)
- Wei QP(魏钦平), Cheng SH(程述汉), Tang F(唐芳). 1999. Relationship between fruit quality of Fuji apple and meteorological factors. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 10(3): 289~ 232 (in Chinese)
- Wu QX(吴钦孝), Yang WZ(杨文治). 1998. *Vegetation Con2 struction and Its Sustainable Development in the Loess Plateau Re2 gion*. Beijing: Science Press. 86~ 94 (in Chinese)
- Yang BR(杨必仁), Dong XW(董晓文). 1997. Field evaporation on Weibei dryland. *Agric Res Arid Area (干旱地区农业研究)*, 15(4): 57~ 61 (in Chinese)
- Yan CY(严昌荣), Ju H(居辉), Peng SQ(彭世琪). 2002. Soil moisture dynamic characteres of dryland field in Northern China. *Trans CSAE (农业工程学报)*, 18(3): 11~ 14 (in Chinese)
- Yang XM(杨新民), Li HE(李怀恩), Zhang SQ(张岁岐). 1999. Study on rainwater catchments and replenish irrigation and efficient use in Weibei dry2 plateau. *Res Soil Water Cons (水土保持研究)*, 6(1): 51~ 55 (in Chinese)
- Yang WZ(杨文治), Shao MA(邵明安), Peng XD(彭新德). 1998. The relationship between environmental aridity and soil water in Loess Plateau. *Sci China (series D) (中国科学#D 辑)*, 28(4): 257~ 365 (in Chinese)
- Zhao Z(赵忠), Li P(李鹏), Wang NJ(王乃江). 2000. Di2 tribution pattern of root systems of main planting trees species in Weibei Loess Plateau. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, 11(1): 37~ 39 (in Chinese)

作者简介 刘贤赵,男,1970年生,博士,教授,主要从事水生态、水土保持和设施型生态农业方面的教学和科研工作,发表论文 50 余篇。Tel: 053526693672; E2mail: xianzhaoliu@sina.com