

# 地表起垄微聚流技术对渭北果园土壤水分分布的影响

揣峻峰<sup>1</sup>, 谢永生<sup>2</sup>, 索改弟<sup>1</sup>, 杨亚利<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**以渭北果园盛果期果树为研究对象,对地表起垄微聚流技术调控下 0—600 cm 土壤剖面水分含量在时间和空间上的分布状况进行了研究。结果显示:(1)在地表起垄微聚流处理下,年平均储水量为 1 537.9 mm,高于对照 9.99%,年周期内呈现双峰曲线变化趋势,分别在 9 月(1 616.2 mm)和 2 月(1 665.2 mm)达到高峰。(2)该技术能提高土壤剖面的土壤含水量。随土层深度的增加,土壤剖面水分空间分布呈现出减小—增大—减小的波浪型变化趋势。保水作用由强转弱后逐渐增强,可有效缓解果园深层土壤干燥化,有利于果园生态系统的健康稳定发展。(3)该技术能提高土壤水分利用效率,增加果树产量,改善果实品质。研究表明,地表起垄微聚流技术能有效利用膜垄的集水和沟覆盖的蓄水保墒功能,显著提高降水的利用效率,改善果树的水分状况,维持果园生态系统的稳定性。

**关键词:**地表起垄微聚流技术;水分分布;渭北果园;蓄水保墒

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)02-0187-06

中图分类号: S152.7, S65

## Effects of Micro Rainfall Collection by Ridging on Soil Water Distribution in Apple Orchard of Weibei Tableland

CHUAI Jun-feng<sup>1</sup>, XIE Yong-sheng<sup>2</sup>, SUO Gai-di<sup>1</sup>, YANG Ya-li<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** By taking apple trees in full fruit period in an orchard of the Weibei Tableland as the research object, the temporal variation and spatial distribution of soil water content in a 600 cm soil profile were studied using the technique of micro rainfall collection by surface ridging. Results showed that using the technique, average annual soil water storage increased to 1 537.9 mm, 9.99% higher than that of the control (clean tillage). Soil water storage presented the curve trend with double peaks that reached 1 616.2 mm in September and 1 665.2 mm in February. The technique enabled soil water content in the profile to increase. With increased soil depth, the spatial distribution of soil water in the profile presented a wavy decline—rise—decline tendency and water conservation changed from high to low and then increased which may effectively relieve the desiccation of deeper soil layer in orchard and is of benefit to the sustainable development of orchard ecosystem. The technique could enhance water use efficiency, raise apple yield, and improve apple quality. In conclusion, taking advantage of rainfall collected by ridging and film and water conservation functions of surface ridging and furrow covering, the technique can significantly increase rainfall use efficiency, improve the water conditions of apple orchard and maintain the stability of the orchard ecosystem.

**Keywords:** micro-rainfall collection by ridging; soil water distribution; apple orchard in the Weibei Tableland; water conservation

黄土高原沟壑区是全球最大的苹果优生区,也是中国唯一符合优质苹果生长 7 项气候指标要求的区域<sup>[1-2]</sup>。旱塬苹果产业已成为该区促进域经济发展,

改善生态环境的支柱产业<sup>[3-4]</sup>。陕西省渭北旱塬是典型的雨养农业区,90%的苹果园无灌溉条件,因此土壤水分成为限制果品质量和产量的关键因子。充分

收稿日期:2012-10-15

修回日期:2012-12-25

资助项目:国家科技支撑计划项目“农田水土保持关键技术研究示范”(2011BAD31B01);水利部公益性行业科研专项经费项目(201001036)

作者简介:揣峻峰(1987—),男(汉族),硕士研究生,河北省秦皇岛市人,从事土壤环境与果园生态环境调控研究。E-mail:chuaijunfeng063@163.com。

通信作者:谢永生(1960—),男(回族),河南省开封市人,研究员,从事土壤资源环境方面的研究。E-mail:ysxie@ms.iswc.ac.cn。

利用现有的水资源,研究旱作节水农业技术对旱地农业的发展具有重要意义<sup>[5]</sup>。

地表覆盖和沟垄种植是传统的水保型旱作农业耕作措施,其核心目标是“接纳雨水,蓄水保墒”<sup>[6]</sup>。地表覆盖技术是改善农田小气候的重要措施之一,它不仅具有明显的蓄水保墒,保持水土的功能,还有保护土壤结构,调节地温,抑制杂草等多种作用<sup>[7-9]</sup>,在生产应用中的效果和效益非常显著,深受世界各国重视。覆盖材料和技术的迅速发展,应用面积的不断扩大,为旱地农业持续发展发挥了明显的作用。目前中国研究的旱地果园地表覆盖技术有秸秆覆盖、地膜覆盖、砂石覆盖和生草覆盖等。张义等<sup>[10-11]</sup>比较了不同地表覆盖措施(生草处理、地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖)对苹果园土壤水文状况、土壤性状及果树生长和产量的影响,结果表明地膜覆盖模式保墒、保温效果较好,能有效地减少土面蒸发;但是夏季高温超过植物根系生长上限温度时则不利于植物生长。透气性差,CO<sub>2</sub>释放速率较低,土壤微生物活性不高,影响果树根系生长。秸秆覆盖保墒效果一般,但对土壤热量的调温效果很好,有利于缓解极端温度对果树的伤害。生草覆盖模式年周期内水分变异程度最小,有利于果园的稳定生产,但水分含量以及果树产量相对于其他覆盖措施较低。砂石覆盖果树产量较高,水分利用率最高,是一种较为适宜的土壤调控管理方式,但其存在的问题是深层土壤水分的消耗略大,不适宜长期大面积推广使用等问题。

垄作在大田作物生产上取得了较好的应用效果。以往这方面的研究一般都集中在农田垄作方式的影响上,通过起垄措施改变局部土壤水、肥、盐等的空间分布,使垄沟内土壤理化状况变优,从而促进垄沟内作物种子的萌发和生长<sup>[12-15]</sup>。关于起垄覆膜集雨措施的研究相对较少。在果树方面,相关研究有穴储肥水<sup>[16-17]</sup>,起垄覆膜集雨<sup>[18-20]</sup>等方面等报道,但是缺乏系统深入的研究。

已有的对盆栽和大田条件下果树根系营养空间与树体生长关系的研究表明<sup>[21]</sup>,满足苹果生长的有效营养空间为 10%~20%,果树根系若有 20%~25%的部分处在适宜的条件下,就可满足树体地上 3/4 的养分和水分需求。根据这一理念,本研究将具有高效保水效果的地膜与缓温效应显著的秸秆两种覆盖材料组合,并融入起垄措施,提出了地表起垄微聚流技术,将有限的水资源集中起来,为少量根系创造相对较好的水肥环境,以期提高果树的节水抗旱能力,促使果园生态系统健康持续发展。该技术的技术要点是果园地面起垄,垄上实施地膜压麦草截留降水

并将降水聚集到垄沟,垄沟采用麦草覆盖,减少地面蒸发,达到保蓄水分,提高水分利用率的目标。希望能为探讨地表起垄微聚流技术应用研究,完善果园抗旱节水措施以及干旱地区农业生产提供理论支持。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验在陕西省长武县中国科学院黄土高原农业生态试验站进行,该区地势平坦,土层深厚,无灌溉条件,属黄土高原沟壑区。塬面海拔 1 220 m,属暖温带半湿润大陆性季风气候。年均气温 9.3℃,无霜期 171 d,多年平均降雨量 578.5 mm,≥10℃活动积温 3 029℃,年日照时数 2 230 h,日照率 51%,年辐射总量 4 837 kJ/cm<sup>2</sup>。土壤为黑垆土,质地为轻壤—中壤质,通透性好,降雨入渗深度最大可达 300 cm,田间持水量(容积含水量,下同)24%~27%,萎蔫湿度 9%~12%<sup>[22]</sup>。

### 1.2 试验材料

试验果园面积为 0.2 hm<sup>2</sup>,建园时间为 2000 年,主栽品种长枝红富士,株行距 3 m×4 m,南北走向,无灌溉条件,果园内果树生长健壮。

试验小区在两株果树之间起 2 个垄(垄高 20 cm,宽 80 cm,垄长 300 cm),垄上采用地膜压秸秆覆盖,垄沟之间采用秸秆覆盖;两垄之间(距离树干 80 cm)以及垄上(距树干 80 cm)安设铝制中子管以长期监测水分。对照试验小区为清耕处理,在相应位置也安设中子管长期监测水分。按 S 形埋设 9 个 630 cm 长铝制中子管(地表外露 30 cm),其中试验小区埋设 6 个(垄上 3 个,垄沟间 3 个),对照小区埋设 3 个。试验布设 2 个小区,小区面积均为 180 m<sup>2</sup>。秸秆选用细碎的小麦秸秆(长度<5 cm),地膜选用无色透明聚乙烯透水塑料膜,厚度 0.015 mm。垄上先铺设 5 cm 厚度小麦秸秆,然后在小麦秸秆之上覆盖透水地膜。

### 1.3 试验方法

试验期为 2010 年 7 月至 2011 年 12 月。采用中子仪定位测定土壤含水量,每月 25 日进行测定,若遇雨雪天气后延。中子仪为美国 503DR 型中子仪,直径 10 cm 铝制中子管用作监测材料。对 0—100 cm 土层按每 10 cm 土层进行土壤含水量测定,100—600 cm 土层按每 20 cm 土层进行土壤含水量测定,重复 3 次,取平均值。

### 1.4 计算公式及数据处理

土壤水分计算公式:

$$\theta_v = a + b(\text{cnt}/\text{std}) \quad (1)$$

式中: $\theta_v$ ——土壤容积百分含量(%);  $a, b$ ——标定方程的截距与斜率; cnt——中子仪读取的原始数据; std——中子仪在室内标准条件下的标准计数。

土壤贮水量计算公式:

$$D_w = \theta_v \cdot h \quad (2)$$

式中: $D_w$ ——土壤贮水量(mm);  $\theta_v$ ——土壤容积含水量;  $h$ ——土壤厚度(mm)。

水分利用效率计算公式<sup>[23]</sup>:

$$WUE = Y/ET \quad (3)$$

$$ET = P - S$$

式中:WUE——水分利用效率[ $\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ ];  $Y$ ——经济产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $ET$ ——果树生长活动期内的蒸散量(mm);  $P$ ——果树生长活动期的降水量(mm);  $S$ ——果树生长活动期土壤剖面水分含量(mm)之差。

用 Excel 软件进行数据处理,采用 DPS 3.01 软件进行单因素方差分析(ANOVA)及多重比较(Duncan 法)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤剖面总储水量年动态

土壤水分是植被生长所需水分的直接来源。土壤储水量的变化,是土壤内部水分向上蒸散和向下渗透及外部降水共同作用,动态平衡的结果。试验区苹果园无灌溉条件,大气降水成为土壤水分的唯一来源。因此,降水量的多少及其在年内的分布状况直接影响土壤水分的年内变化规律<sup>[24]</sup>。

图 1 为试验区果园土壤水分年内变化的规律。从图 1 可见,采用地表起垄微聚流技术和对照清耕处理 0—600 cm 土壤剖面储水量的年变化趋势基本相同。7—10 月储水量变化幅度较大,随后变化稍缓。同时,土壤储水量波动较降水量滞后约 1 个月;地表起垄微聚流技术垄沟间土壤储水量的年变化呈双峰曲线,分别在 9 月(1 616.2 mm)和 2 月(1 665.2 mm)达到高峰。对照处理储水量的年变化趋势平稳。

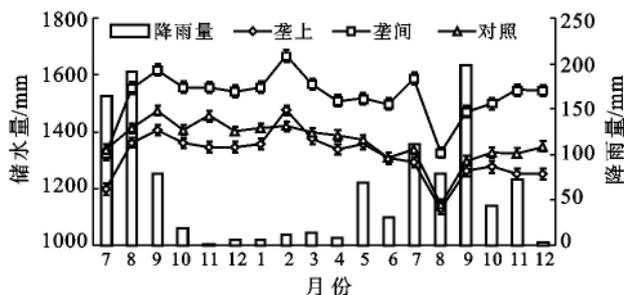


图 1 果园 0—600 cm 土壤剖面储水量的年变化

张义等<sup>[25]</sup>根据黄土高原沟壑区果园土壤贮水量动态变化的研究发现,土壤水分在年周期内经历 3 个时期:春夏失墒期(4—6 月份),夏秋增墒期(7—10 月份)和冬春稳墒期(11 月至翌年 3 月份)。本试验研究表明,4—6 月果树生长旺盛,需水量持续增加,但这个时期年平均降水较少,容易发生春旱,果树对水分亏缺较为敏感。2011 年 4—6 月份降水总量为 106.2 mm,占全年降雨量的 17.8%。对照处理储水量降低了 90.4 mm,而地表起垄微聚流处理垄间储水量维持在 1 07 mm 左右,比对照高出 11.2%。7—10 月份为黄土高原地区的雨季,降雨量可达全年降水量的 60%~70%。这一时期,果树处在果实膨大和成熟的关键时期,耗水量相对较大,加之高温天气,植物蒸腾和地表蒸散较强,因此储水量降至全年最低值。垄沟间积聚了垄上的水分,而且表面覆盖麦草,降低了水分的蒸腾,在此期间垄间平均储水量为 1 511.3 mm,比对照增加了 7.5%,说明地表起垄微聚流技术能有效利用降雨,保水蓄水。11 月至翌年 3 月份为苹果树的休眠期和萌芽初期,果树所需水分极少。同时该时期的大气降水量也仅占全年总降水量约 5%,土壤水分储量较为稳定。2010 年 11 月到 2011 年 3 月降水量总量仅为 36.6 mm,占年度降雨量的 6.1%。此期间对照处理储水量稳定在 1 417 mm,地表起垄微聚流处理垄沟间储水量持续增加,在 2 月份达到高峰值 1 665 mm,随后伴随果树萌芽,储水量有所下降。

地表起垄微聚流处理下,除失墒期和 7 月份外,其他月份储水量都接近或大于田间持水量(1 560 mm),2 月份时达到最高为 1 665 mm。而对照处理水分储量维持在 1 308 mm(6 月)~1 472 mm(9 月)。经 Duncan 新复极差法检验,垄沟间 0—600 cm 土壤剖面水分储量的年平均值为 1 537.9 mm,显著高于对照 9.99% ( $p < 0.05$ )。综上所述,在地表起垄微聚流处理下,土壤水分储量显著高于对照,为果树的生长发育创造了良好的水分条件。

### 2.2 土壤含水量垂直变化

土壤水分的剖面特征受到土壤剖面特征、土壤质地、植被根系及农事活动等多种因素的影响。李笑吟等<sup>[26]</sup>在对晋西黄土区土壤剖面水分动态研究后发现,土壤水分在剖面上的变化包括先减后增型,先增后减再增型以及先增后减再增再减的波动型趋势,这主要是受到了降雨入渗、土壤蒸发和植物蒸腾间强烈相互作用的影响。白文明等<sup>[27]</sup>和张春霞等<sup>[28]</sup>研究苜蓿时发现,土壤水分含量与植物根系的入土深度有一定的相关性。一般情况下,果园土壤水分含量在 2 m

以上变化较大,2 m 以下土壤水份含量则相对稳定,这与根系的分布有关。从土壤表层到深层,果树根系体积和生物量逐渐减少,根系主要分布在 0—2 m 土体内,根密度随深度的增加呈降低趋势,根系对下层土壤的水分利用减少。

由图 2 可以看出,地表起垄微聚流处理条件下,垄沟间土壤剖面水分含量整体呈现先减后增再减的波浪形变化趋势,可能由于垄间覆盖麦草减少了水分蒸发,垄沟聚集了垄上的水分,表层含水量较高,呈现先减少的变化趋势。而对照清耕处理,土壤水分整体呈现先增加后减少再增加的变化趋势。地表起垄微聚流处理下,0—600 cm 土壤平均含水量为 25.9%,相比对照 23.3%的含水量高出 10.7%。相比对照而言,地表起垄微聚流处理各土层含水量都比较高,整体的变化幅度也小,稳定性好。

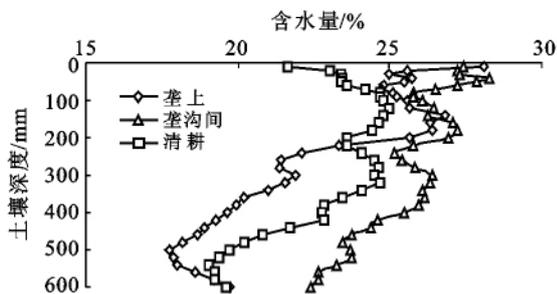


图 2 地表起垄微聚流处理条件下果园土壤含水量垂直变化

地表起垄微聚流处理下,0—80 cm 垄沟间土壤含水量变化在 25.9%~28.6%,整体呈减小趋势,含水量的变化幅度不大,而对照处理表层土壤水分从 21.3%增加到 24.9%。这可能是由于沟垄间集聚了垄上的水分,使土壤水分接近于饱和含水量,且随着深度的增加,耗水量增加,土壤含水量逐步减小。垄间覆盖麦草减少了水分蒸发,含水量变化幅度不大。而对照处理为清耕,表面无覆盖,地表蒸腾作用较大,表层土壤水分损失严重,随着土层深度的增加,水分含量逐渐增加。60—140 cm 垄沟间土壤含水量在 25.9%~26.3%,变化很小,水分含量相对稳定,该层受地表气象因素的影响减少,但依然受多种因素的影响,水分含量在多种因素的影响作用下,处于相对稳定状态;140—300 cm 垄沟间土壤含水量在 25.4%~27.6%,整体呈增加趋势,变化幅度较上两层大。土壤含水量从 26.1% (140 cm) 增加到 27.6% (180 cm),然后又急剧减少到 25.4% (240 cm),这与降水入渗、土壤水分的再分布以及根系吸收水分等过程相关;300—600 cm 垄沟间土壤含水量变化在 22.6%~26.6%,整体呈减小趋势,水分减少速率较大。

土壤水分的相对稳定对稳定树势,增加产量和提高果实品质具有极为重要的意义<sup>[29]</sup>。由表 1 可知,地表起垄微聚流处理下,垄沟间的水分含量在各个土层均高于对照,土壤深层的变异系数明显低于对照。由此可知,垄沟间含水量较高且相对稳定,有利于根系更好地吸收水分。

表 1 不同深度土壤水分特征值

处理	深度/cm	平均数/%	标准差	变异系数/%	极差/%
清耕	0—80	23.4	0.9	3.8	3.0
	80—140	24.8	0.1	0.5	0.3
	140—300	24.3	0.4	1.8	1.0
	300—600	21.3	2.0	9.3	5.6
垄沟间	0—80	27.2	0.8	2.8	2.5
	80—140	26.1	0.3	1.2	0.7
	140—300	26.2	0.8	3.0	2.1
	300—600	24.3	1.4	5.7	3.9
垄上	0—80	25.6	1.1	4.2	3.3
	80—140	25.8	0.7	2.6	1.6
	140—300	23.6	2.2	9.4	5.0
	300—600	19.2	1.1	5.8	3.8

### 2.3 土壤剖面各层土壤水分的年变化

图 3 为土壤水分在土壤剖面各层的年内变化。对土壤剖面 4 个层次的土壤含水量逐层逐月的分析表明,表层(0—80 cm)受外界如大气降水、蒸腾以及农事操作等影响较大,水分含量变化较快,整体呈现不规则的波浪型波动。地表起垄微聚流处理下,垄沟间水分含量最大值出现在 7 月,为 31.0%;最低值出现在 6 月份,为 24.3%。两者相差 6.7%,平均含水量为 27.5%。虽然该层水分含量变化幅度较大,但在年周期内该层土壤水分含量都维持在田间持水量(27%)上下,说明地表起垄微聚流技术能够提高土壤表层的蓄水保墒能力。与对照相比,起垄条件下,垄沟间全年各月份土壤含水量均高于对照,土壤平均含水量高于清耕 17.9%,说明地表起垄微聚流技术比对照能够更好地保蓄土壤水分。

亚表层(80—140 cm)受外界影响较小,主要是根系吸收水分和水分向下入渗,变化相对较小。地表起垄微聚流技术处理下,最高含水量在 8 月份,为 29.8%;最低含水量在 7 月份,为 23.6%。两者相差 6.2%。与对照相比,地表起垄微聚流技术仅能够提高 3.42%的土壤含水量,说明地表起垄微聚流技术对该层水分的保蓄能力明显减弱。中层(140—300 cm)地表起垄微聚流技术处理下,垄沟间土壤最高含

水量为 31.3% (8 月份), 最低含水量为 20.4% (7 月), 两者相差 10.9%。该层的土壤水分含量依然受多种因素的影响, 变化较为复杂。与对照对比, 地表起垄微聚流技术使土壤含水量提高了 7.54%, 说明该技术的作用又逐渐增强。深层(300—600 cm)受外界影响少, 主要是水分的入渗和再分布。地表起垄微

聚流技术处理下, 土壤含水量整体呈现单峰曲线的增长态势, 从 7 月份的 19.2% 逐步增加到翌年 2 月的 28.5%, 而后又逐渐减小, 维持在 25% 左右。与对照对比, 地表起垄微聚流技术使土壤含水量提高了 10.7%, 说明该技术能有效缓解深层土壤干燥化, 有利于果园生态系统的健康稳定发展。

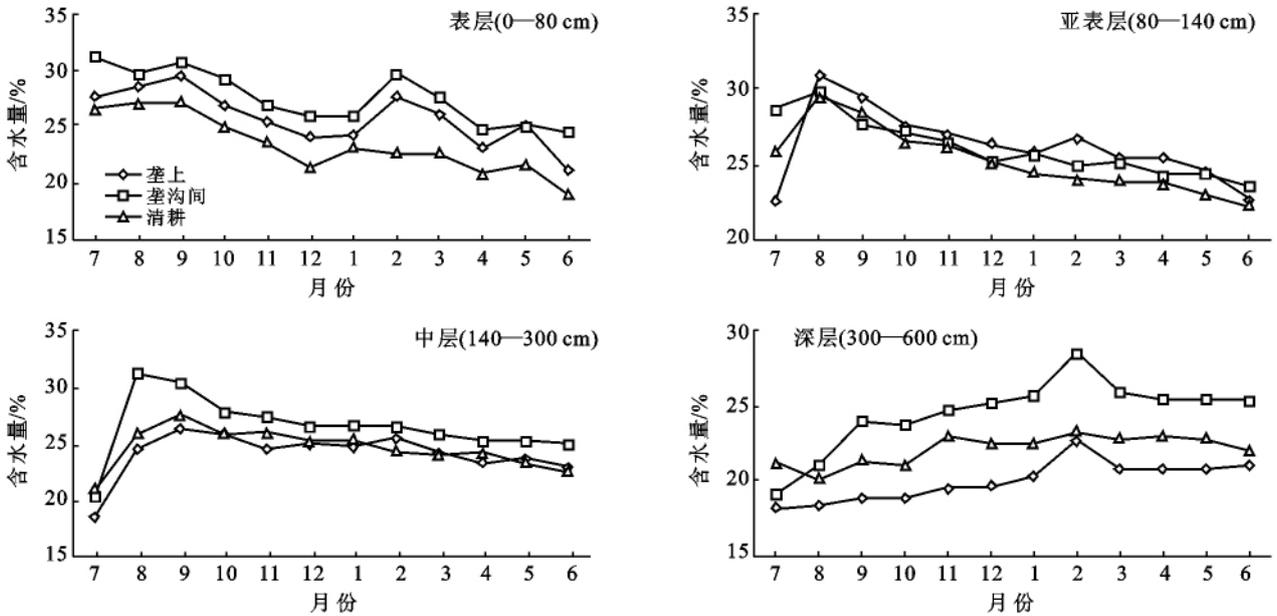


图 3 土壤水分在土壤剖面各层的年内变化

2.4 土壤水分利用率及果树产量的变化

水分利用效率是衡量植物耗水量与物质生产量关系的重要参数, 也是节水农业的重要指标。由表 2 可知, 地表起垄微聚流技术可提高土壤水分利用率 (152.3%), 增加果树产量 (78.57%), 提高果实品质, 是一项值得推广的节水抗旱技术。

表 2 不同处理下果树的产量及水分利用率

处理	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) [ kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> ]	水分利用率/ %	单果 重/g	优果 率/%
清耕	14 525	32.7	185.5	56
地表起垄微聚流技术	25 937	82.5	203.1	81

注: 2011 年苹果成熟期间, 果树经历了一场大范围的冰雹袭击, 对其优果率有影响。

3 结论

(1) 在地表起垄微聚流处理下, 水分储量明显高于对照, 为果树的生长发育创造了良好的水分条件。年周期内呈现双峰曲线变化趋势, 分别在 9 月份和翌年 2 月份达到高峰。地表起垄微聚流技术处理垄沟间 0—600 cm 土壤剖面水分储量的年平均值为 1 537.9 mm, 较对照高出 9.99%。

(2) 地表起垄微聚流处理下, 土壤剖面水分空间分布随土壤深度的增加呈现出“减小—增大—减小”的波浪型变化趋势。该技术能提高土壤剖面的土壤含水量, 平均含水量为 25.9%, 显著高于对照。各土层土壤水分的变异程度不同, 总体来说, 该技术能较好地保持土壤水分的稳定性。

(3) 将 0—600 cm 土壤剖面分为表层(0—60 cm)、亚表层(60—140 cm)、中层(140—300 cm)和深层(300—600 cm), 分析不同层次土壤水分的年变化, 可得出地表起垄微聚流技术能提高土壤剖面的土壤含水量, 但随土层深度加深, 其他保水作用由强转弱后逐渐增强。由此可知该技术可有效缓解土壤深层的干燥化, 有利于果园生态系统的健康持续发展。

(4) 地表起垄微聚流技术可提高土壤水分利用效率, 增加果树产量, 是一项值得推广的土壤管理措施。

[ 参 考 文 献 ]

[1] 白志礼, 穆养民, 赵政阳. 陕西苹果产业发展的新思考与新探索[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 172-175.  
 [2] 魏钦平, 张继祥, 毛志泉, 等. 苹果优质生产的最适气象因子和气候区划[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 713-

- 716.
- [3] Wu Faqi, Liu Haibin, Sun Baosheng, et al. Net primary production and nutrient cycling in an apple orchard annual crop system in the Loess Plateau, China: A comparison of Qinguan apple, Fuji apple, corn and millet production subsystems [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 81(1):95-105.
- [4] 吴发启,周正立,刘海斌. 黄土高原中南部农果复合型生态农业生产力特征[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 262-266.
- [5] 许明宪. 旱地果树栽培新技术及其原理[M]. 陕西杨凌:天则出版社, 1989:29-33.
- [6] 李小雁,张瑞玲. 旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2):45-48, 52.
- [7] Hadrian F C, Gerardo S B V, Howard C L. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L [J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 91(12):227-235.
- [8] Stigter C J. Mulching as a traditional method of microclimate management [J]. *Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology: Series B*, 1984, 35 (1/2): 147-154.
- [9] 李昌新,赵峰,芮雯奕,等. 长期秸秆还田和有机肥施用对双季稻田冬春季杂草群落的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(3):142-147.
- [10] 张义,谢永生,郝明德,等. 不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(2):279-286.
- [11] 张义,谢永生. 不同覆盖措施下苹果园土壤水文差异[J]. *草业学报*, 2011, 20(2):85-92.
- [12] 关法春,苗彦军, Tianfang B F, 等. 起垄措施对重度盐碱化草地土壤水盐和植被状况的影响[J]. *草地学报*, 2010, 18(6):763-767.
- [13] 辛中和,贾忠良,额尔德尼. 内蒙古河套灌区盐荒地开沟躲盐播种优良牧草的研究[J]. *中国草地*, 1990(4): 31-34.
- [14] 马其东,许鹏,卫军,等. 沟垄作种植牧草改良重盐渍草地的效果及其水盐动态[J]. *草地学报*, 1997, 5(2):85-92.
- [15] Bezdicsek D F, Beaver T, Granatstein D. Subsoil ridge tillage and lime effects on soil microbial activity, soil pH, erosion, and wheat and pea yield in the Pacific Northwest, USA [J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 74(1):55-63.
- [16] 束怀瑞,周宏伟,顾三良,等. 地膜覆盖穴储肥水旱栽技术试验[J]. *山东果树*, 1984(4):1-7.
- [17] 吕素霞. 冬枣穴贮肥水地膜覆盖栽培[J]. *山西农业*, 2006(24):10.
- [18] 王怀学. 甘肃泾川苹果园起垄开沟覆膜试验[J]. *中国果树*, 2011(4):7.
- [19] 张坤,王发林,刘小勇,等. 旱地果园起垄覆膜集雨措施对树体水分利用的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(3):68-71.
- [20] 寇艳. 旱地苹果园起垄覆膜集雨保墒技术[J]. *西北园艺*, 2012(2):14.
- [21] 杨洪强,束怀瑞. 苹果根系研究[M]. 北京:科学出版社, 2007:248.
- [22] 樊军,郝明德,邵明安. 黄土旱塬农业生态系统土壤深层水分消耗与水分生态环境效应[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(1):61-64.
- [23] 孙仕军,丁跃元,曹波,等. 平原井灌区土壤水库调蓄能力分析[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(1):42-47.
- [24] 白学良,赵连梅. 贺兰山苔藓种多样性、生物量及生态作用研究[J]. *内蒙古大学学报*, 1998, 29(1):119-124.
- [25] 张义,谢永生. 不同覆盖措施下苹果园土壤水文差异[J]. *草业学报*, 2011, 20(2):85-92.
- [26] 李笑吟,毕华兴,李俊,等. 晋西黄土区土壤剖面水分动态研究[J]. *中国水土保持科学*, 2006, 4(4):72-77.
- [27] 白文明,左强,黄元仿,等. 乌兰布和沙区紫花苜蓿根系生长及吸水规律的研究[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(1):35-411.
- [28] 张春霞,郝明德,魏孝荣,等. 黄土高原沟壑区苜蓿地土壤水分剖面研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(6):604-607.
- [29] 张义,谢永生,郝明德. 黄土沟壑区砂石覆盖果园土壤剖面水分分布[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(4):156-159, 164.