

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^{*}

张 义¹ 谢永生^{1,2,*} 郝明德^{1,2} 摄晓燕¹

(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 以黄土高原9年生红富士果园生态系统为对象,研究不同地表覆盖模式(清耕、生草覆盖、地膜覆盖、秸秆覆盖和砂石覆盖)对果园土壤性状及果树生长和产量的影响。结果表明:生草覆盖土壤水分剖面分异最低,砂石覆盖土壤水分剖面分异最高,砂石覆盖提高了根层水分含量,有利于果树对水分的利用。不同地表覆盖模式土壤热量状况变化显著,处理间差异明显。极端最高温度下降,但地膜覆盖处理夏季地温超过果树根系生长的上限温度,对果树根系生长和生理功能发挥不利。除地膜覆盖外,其他地表覆盖模式均能提高土壤CO₂释放速率,其中生草覆盖的效果最为显著。不同地表覆盖模式对果树枝条类型比例及产量影响较大,砂石覆盖处理的中短枝比例和果实产量最高,生草覆盖处理的果实产量最低。因子分析结果表明,对于黄土高原沟壑区盛果期果园,砂石覆盖处理是较为适宜的地表覆盖模式。

关键词 果园生态系统 土壤管理 土壤水分 地温 土壤呼吸

文章编号 1001-9332(2010)02-0279-08 中图分类号 S152 S154 文献标识码 A

Effects of different patterns surface mulching on soil properties and fruit trees growth and yield in an apple orchard. ZHANG Yi¹, XIE Yong-sheng^{1,2}, HAO Ming-de^{1,2}, SHE Xiao-yan¹
(¹College of Resources and Environment Science, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ²Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2010 21(2): 279-286.

Abstract : Taking a nine-year-old Fuji apple orchard in Loess Plateau as test object, this paper studied the effects of different patterns surface mulching (clean tillage, grass cover, plastic film mulch, straw mulch, and gravel mulch) on the soil properties and fruit trees growth and yield in this orchard. Grass cover induced the lowest differentiation of soil moisture profile, while gravel mulch induced the highest one. In treatment gravel mulch, the soil moisture content in apple trees root zone was the highest, which meant that there was more water available to apple trees. Surface mulching had significant effects on soil temperature, and generally resulted in a decrease in the maximum soil temperature. The exception was treatment plastic film mulch, in which, the soil temperature in summer exceeded the maximum allowable temperature for continuous root growth and physiological function. With the exception of treatment plastic film mulch, surface mulching increased the soil CO₂ flux, which was the highest in treatment grass cover. Surface mulching also affected the proportion of various branch types and fruit yield. The proportion of medium-sized branches and fruit yield were the highest in treatment gravel mulch, while the fruit yield was the lowest in treatment grass cover. Factor analysis indicated that among the test surface mulching patterns, gravel mulch was most suitable for the apple orchards in gully region of Loess Plateau.

Key words : orchard ecosystem ; soil management ; soil moisture ; soil temperature ; soil respiration.

^{*} 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07, KSCX-YW-09-02)、国家科技支撑计划项目(2006BAD09B10, 2006BAD15B01-03)和中国科学院农业项目(KSCX2-YW-N-46-04)资助。
^{**} 通讯作者。E-mail : ysxie@ms.iswc.ac.cn
2009-04-20 收稿, 2009-12-01 接受。

黄土高原沟壑区是世界公认的全球最大苹果优生区,也是我国唯一符合优质苹果(*Malus pumila*)生长7项气候指标要求的区域^[1-5]。以渭北旱塬为代表的黄土高原苹果产业已成为促进该区域经济发展、改善生态环境的支柱产业^[6-7]。长期以来,该区域果园管理以清耕为主,导致水土流失,土壤肥力退化,果实产量和品质难以持续提高^[8]。因此改善生态环境,探索新的地表覆盖模式已成为该区域苹果产业优化升级及果园生态系统可持续维护需要重点解决的问题^[2,9]。

作为土壤管理技术之一的地表覆盖技术,具有蓄水保墒、培肥地力、减少水土流失、调节微域生态系统环境等生态功能^[10-12],现已成为世界上许多国家和地区广泛采用的土壤管理调控技术之一^[13]。国内外有关果园地表覆盖技术的研究多集中于某种覆盖方式的生态效应分析,而对于同一地区同一生态系统下不同覆盖方式间的生态效应研究较少,涉及到生物响应的研究则更少。

生态系统包括环境要素和生物群落两大组成部分^[14-15]。本研究是在对不同种植年限果园生态系统健康状况进行评价的基础上^[16-17],通过地表覆盖模式的改变对果园生态系统进行调控,并同时监测果园环境及生物对生态系统调控的响应,以期探讨该区域果园土壤管理的适宜模式,为果园生态系统生物调控提供技术支撑,并最终为实现该区域果业的健康持续发展提供科学指导。

1 研究地区与研究方法

1.1 试验区自然概况

试验在位于陕西省长武县的中国科学院长武农业生态试验站进行。该站海拔1200 m,地貌类型为黄土高原南部典型高塬沟壑地貌,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均气温9.1℃,无霜期171 d,年平均降雨量578.5 mm, $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温3029℃,极端最高气温32.4℃,极端最低气温-19.6℃,年日照时数2230 h,日照率51%,年辐射总量4837 kJ·cm⁻²。土壤为中壤质黑垆土,田间持水量(θ_v)为28%~32%。

试验果园面积933 m²,建园时间为2000年,主栽品种为长枝红富士,株行距3.5 m×4 m,南北走向,无灌溉条件,主要依靠天然降水补充水分。园区果树生长健壮,树势中等,无病虫害,果树生长管理状况在该区域具有代表性。

1.2 试验设计

本试验采用不同土壤覆盖管理模式,进行果园

生态系统的环境调控,于2006年4月进行试验,共设5个处理,分别为清耕(Ⅰ)、生草覆盖(Ⅱ)、地膜覆盖(Ⅲ)、秸秆覆盖(Ⅳ)和砂石覆盖(Ⅴ),其中,将清耕处理设为对照。完全随机排列,各试验小区施肥量一致,各小区面积均为186 m²,树体管理统一按一般方法进行,全部进行套袋生产。

清耕处理为无任何覆盖措施的苹果栽培;生草覆盖采用草种为白三叶草,撒播草籽量为50 kg·hm⁻²,全园生草,于每年3月根据三叶草生长状况适当补栽;地膜覆盖处理选用厚度为0.015 mm的无色透明聚乙烯塑料膜,于每年11月更换地膜,重新铺设;秸秆覆盖处理材料为小麦秸秆,覆盖厚度为15 cm,于每年11月适量增加以保证15 cm的覆盖厚度;砂石覆盖处理的砂石直径为2~5 cm,覆盖厚度为4 cm左右。

1.3 测定项目和方法

于每月1日和15日测定土壤水分,若遇雨雪天气后延。采用美国503DR型中子仪定位测定6 m深度范围内的土壤含水量,0~100 cm土层每10 cm测定1次,100~600 cm土层每20 cm测定1次,每个处理3次重复。使用曲管地温计测定土壤温度,于春分、夏至、秋分、冬至4个日期每隔2 h测定不同处理0~20 cm土壤温度,每个处理3次重复。采用LI-8100(LI-COR, Lincoln, NE, USA)开路式土壤碳通量测量系统^[18]于果树生长季测定土壤CO₂释放量,每天8:00—20:00每3 h测定1次,每个处理3次重复。

于2008年8月15日,实地考察果树不同枝条类型的比例。在果实采收季节,实地调查不同管理模式下的果实产量。

1.4 数据处理

土壤水分计算公式: $\theta_v = a + b \cdot (\text{cnt}/\text{std})$,式中 θ_v 为土壤容积百分含量(%), a 、 b 分别为标定方程的截距和斜率; cnt 为中子仪在土壤中测定的原始数据; std 为中子仪在室内标准条件下的标准计数; cnt/std 为计数比。

采用Microsoft Excel 2007软件进行数据处理及绘图,采用DPS V3.01软件进行单因素方差分析(ANOVA)及多重比较(Duncan法)。

2 结果与分析

2.1 不同地表覆盖模式对果园土壤水分的影响

图1是1周年不同覆盖模式下土壤水分的空间分布,可以看出,土壤水分含量在剖面上呈Z形

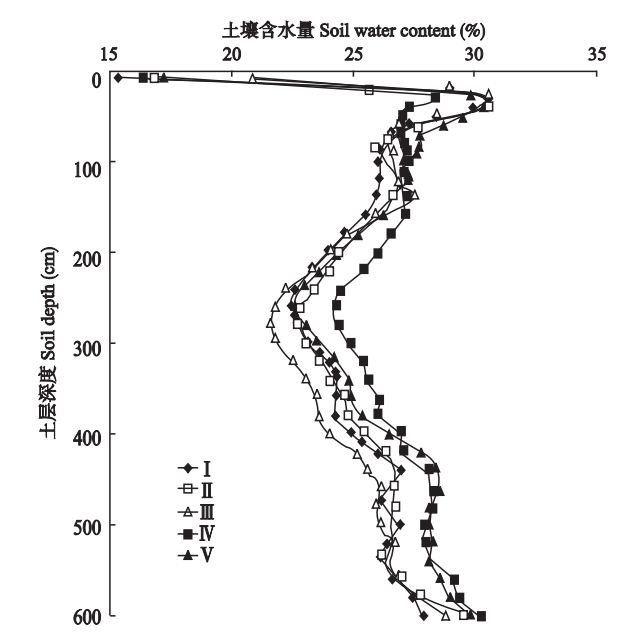


图 1 不同地表覆盖模式下果园 0~6 m 土壤水分空间分布
Fig. 1 Space distribution of soil moisture at 0~6 m depth in orchard under different soil surface mulching patterns.

I : 清耕处理 Clean tillage ; II : 生草覆盖 Grass cover ; III : 地膜覆盖 Film mulching ; IV : 秸秆覆盖 Straw mulching ; V : 砂石覆盖 Gravel mulching. 下同 The same below.

分布. 各处理表层土壤含水量表现为清耕 < 秸秆覆盖 < 生草覆盖 < 地膜覆盖 < 砂石覆盖, 砂石覆盖土壤水分含量比清耕覆盖高 33.64%. 说明清耕模式下, 地表裸露无覆盖, 导致土壤水分蒸散较多; 生草覆盖虽然有三叶草的覆盖, 减少了土面水分蒸发, 但三叶草也因显著的蒸腾作用而导致土壤失水, 由清耕处理土壤含水量小于生草覆盖还可推断出该区域土壤水分蒸发量大于生草耗水量; 在砂石覆盖条件下, 由于砂石的镇压作用, 限制了土壤表面的水分蒸散, 增强了蓄水能力, 所以, 其土壤剖面上层水分含量相对最高. 各处理在 140~440 cm 范围内出现土壤低湿层, 土壤含水量为砂石覆盖 < 清耕 < 秸秆覆盖 < 地膜覆盖 < 生草覆盖. 生草覆盖水分含量比砂石覆盖高 9.30%, 这是由于在此范围内草与树的争水关系已不复存在. 李会科等^[19]研究证明, 生草能降低 0~60 cm 土层土壤容重, 增加土壤孔隙度, 而 9 年生苹果树的根系主要集中在 40~100 cm 区域^[20], 这就能对不同层次的土壤起到疏松作用, 有利于大气降水的下渗保蓄, 所以在低湿层范围内, 生草覆盖土壤水分含量相对最高. 砂石覆盖下土壤结构发生压实性变化, 不利于土壤水分下渗^[21-22], 加之砂石覆盖果实产量高(表 2), 生物利用量大, 因此导致此范围内砂石覆盖土壤水分最少. 在 440 cm 以

下区域, 土壤水分受地表不同管理措施的影响减小, 处理间水分含量差异逐渐缩小.

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作用. 通过对比不同地表覆盖模式下土壤水分的剖面分异状况(图 1)可知, 在 0~6 m 土壤剖面内, 砂石覆盖的土壤水分变异系数最大(9.67%), 生草覆盖的土壤水分变异系数最小(8.21%), 但两者之间差异并未达到显著水平($P>0.05$).

果树须根系的生长范围主要集中在 200 cm 以上区域^[23]. 根据不同管理模式的土壤水分分布(图 1)可以得出, 砂石覆盖能够提高果树根层的水分含量, 有利于果树对土壤水分的利用, 但由于剖面土壤水分差异较大, 不利于果树的稳定生产和果实品质的提高. 生草覆盖虽然在土壤表层存在与果树争水的问题, 但在土壤深层能够缓和土壤干燥化程度, 有利于生态系统的可持续维护.

2.2 不同地表覆盖模式对果园土壤温度的影响

土壤温度是影响果树根系生长、微生物活性、土壤养分有效性的最重要因素之一. 土壤不同地表覆盖模式对果园 20 cm 土层地温的日变化影响明显(图 2). 在春季, 除秸秆覆盖的日均温(6.24℃)略低于清耕(6.61℃)外, 其余 3 个处理的日均温均高于清耕, 其中, 以地膜覆盖的日均温最高(7.70℃). 日地温变异系数以清耕处理最大(44.42%), 砂石覆盖处理最小(24.61%). 5 种不同管理模式, 一天中的最低温均出现在 8:00, 最高温清耕出现在 16:00—18:00, 秸秆覆盖在 14:00, 砂石覆盖在 18:00, 生草和地膜覆盖则出现在 16:00. 可见, 除秸秆覆盖外, 生草、地膜和砂石对果园土壤均有保温作用, 砂石覆盖地温日较差最小, 有利于果树根系的生长以及对养分的吸收利用. 春季由于气温低, 具有保温作用的管理模式对果树的生长有益, 其中砂石覆盖的地温控温效果最佳, 其次为生草和地膜覆盖.

夏季各管理模式 20 cm 土层地温表现为秸秆覆盖 < 生草覆盖 < 清耕处理 < 砂石覆盖 < 地膜覆盖. 土壤温度整体较高, 在 18℃~33℃ 浮动, 不同管理模式间的温度差异在 4 个季节中最大. 地温的日变异情况为: 秸秆覆盖地温变异系数最小, 为 2.56%, 地膜覆盖地温变异系数最大, 达 11.55%, 同一管理模式下地温日较差均为 4 个季节中最小. 其原因是由于夏季太阳辐射强, 气温日较差小, 同时, 高温使果园表层土壤干燥疏松, 通气性变好, 温度也持续稳定, 波动较小. 在夏季, 过高的温度不仅

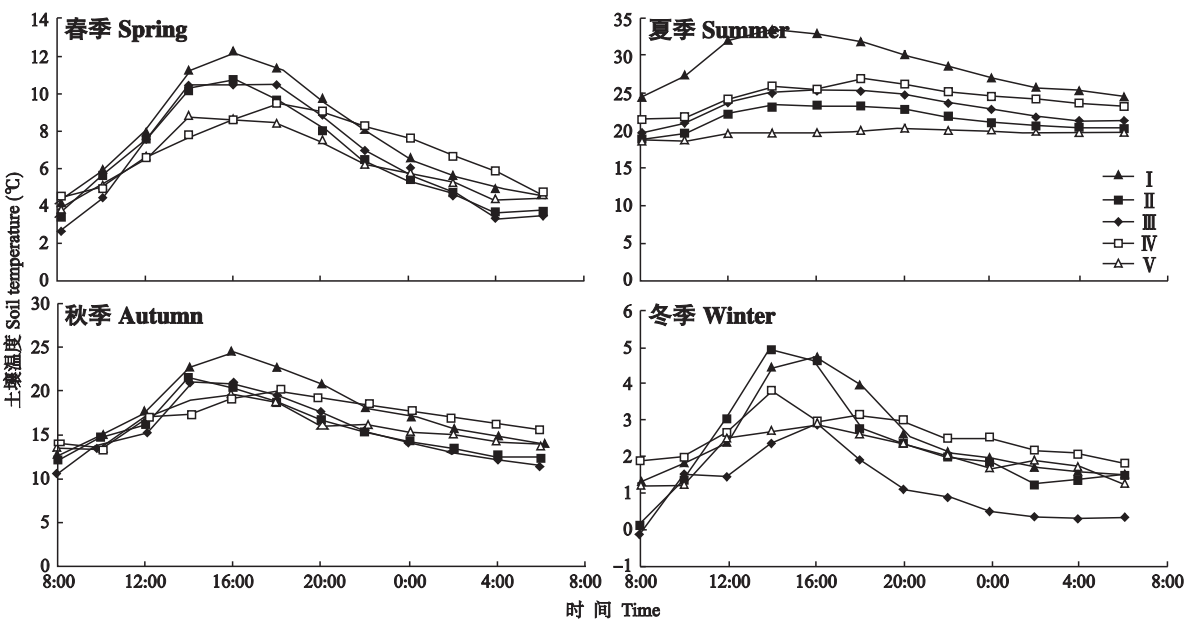


图2 不同地表覆盖模式下果园不同季节地温的日变化
Fig. 2 Diurnal variation of soil temperature in different seasons in orchard under different soil surface mulching patterns.

会造成土壤水分的大量蒸散,还会造成对果树的伤害,因此,夏季秸秆和生草覆盖处理对环境 and 果树生长有益,而地膜覆盖处理地温增高过多,超过苹果树根系生长的上限温度(30℃)^[24],使果树根系进入缓慢生长期,不利于果树的生长。

秋季各种地表覆盖模式地温的日均值均高于清耕,尤以地膜和砂石覆盖效果最为显著,说明各种覆盖措施均能起到保温作用,有利于果树根系的后期生长和养分吸收。清耕、生草和秸秆覆盖处理的高温时段(18℃以上)出现在14:00—18:00,地膜覆盖在14:00—22:00,砂石覆盖在16:00—22:00。可见,地膜覆盖保温效果较好,砂石覆盖地温升降速度较慢。不同地表覆盖模式的地温日变幅表现为砂石覆盖<秸秆覆盖<生草覆盖<地膜覆盖<清耕,可见在秋季各种覆盖措施均能降低地温的日变幅,有利于果树的正常生长,其中地膜和砂石覆盖对地温的影响效果最佳,生草次之。

冬季果园地温显著下降,为一年中的最低值,此时,保温增温是果园生态系统调控的主要目的之一。不同地表覆盖模式的地温日较差均较大,各覆盖措施地温日均值均显著高于清耕,具有明显的保温作用,其中以生草、砂石和地膜覆盖效果最为明显。说明在冬季,生草、砂石和地膜3种覆盖处理能减少土壤的热量损耗,保温效果较好,能减轻低温冻害对果树的影响。

土壤不同地表覆盖模式在不同季节对地温的影

响差异较大。理想的土壤地表覆盖模式是能够对果园土壤热量的吸收和损耗都具有缓冲作用,降低极端温度数值,减轻土壤极端温度对果树的危害。春季砂石覆盖的地温效果最佳,其次为生草和地膜覆盖;夏季秸秆和生草覆盖对环境 and 果树生长有益,而地膜覆盖则不利于果树的正常生长;秋季地膜和砂石覆盖对地温的影响效果最佳;冬季生草、砂石和地膜3种覆盖措施可减少土壤的热量损耗,保温效果较好,能够减轻低温冻害对果树的影响。若考虑果农生产的劳动强度,果园一年只采取一种管理模式,则按对地温影响的优劣排序应为:生草覆盖=砂石覆盖>地膜覆盖=秸秆覆盖>清耕。

2.3 不同地表覆盖模式对果园土壤呼吸的影响
土壤呼吸是作为生命体的土壤的重要特征之一,是表征土壤质量和肥力及土壤透气性的重要生物学指标,它能够反映土壤生物活性和物质代谢强度及养分循环供应水平,可对微域生态系统的初级生产力产生较大影响。由表1可知,不同地表覆盖模式下生长季果园土壤CO₂释放量均大于0,表明果园土壤为CO₂排放源。各处理土壤呼吸速率最高的时刻在14:00—16:00,这与地温的极值时段基本一致(图2);生草覆盖一天内各时段的CO₂释放速率均显著高于其他管理模式。方差分析结果(表1)表明,生长季节土壤CO₂平均释放速率表现为:生草覆盖>秸秆覆盖>砂石覆盖>清耕>地膜覆盖,生草覆盖比清耕处理的呼吸速率高179.46%。生草覆

表 1 不同地表覆盖模式下果园生长季土壤 CO₂ 释放速率
Tab.1 Soil CO₂ emission rate in orchard in growing season under different soil surface mulching patterns (μmol · m⁻² · s⁻¹)

处 理 Treatment	时间 Time					平均 Average
	8 00	11 00	14 00	17 00	20 00	
清耕 Clean tillage	4. 50bcB	3. 47bB	4. 70bB	4. 79bA	2. 76bA	4. 04
生草覆盖 Grass cover	9. 02aA	11. 61aA	14. 02aA	9. 36aA	12. 43aA	11. 29
地膜覆盖 Film mulching	3. 61cB	3. 89bB	3. 94bB	3. 60bA	3. 58bA	3. 72
秸秆覆盖 Straw mulching	5. 57bB	5. 30bB	5. 37bB	4. 65bA	4. 20bA	5. 02
砂石覆盖 Gravel mulching	4. 18bcB	4. 47bB	5. 09bB	4. 74bA	2. 78bA	4. 25

同列不同小、大写字母分别表示差异达显著($P < 0. 05$)和极显著($P < 0. 01$)水平 Different small and capital letters in the same column meant significant difference at 0. 05 and 0. 01 levels respectively.

盖土壤呼吸速率较高是由于生草盖度较大 ,地下生物量较高 ,积累了大量异养微生物呼吸基质而造成的^[25] .说明生草覆盖有利于增加土壤微生物活性 ,能显著提高土壤物质代谢强度 ,改善近地面的微气象条件 ,为植物冠层以下空间提供更丰富的碳源.

2. 4 不同地表覆盖模式对果园果树生长和产量的影响

在苹果树上中短枝是形成花芽的主要枝类 ,丰产树多是健壮短枝多 ,长枝、弱枝少. 这是因为短枝建造时间短(20 ~ 30 d) ,建造消耗养分少 ,养分积累时间早且长^[26] .由表 2 可以看出 ,不同地表覆盖模式中 ,砂石覆盖短枝所占比例最高(36. 91%) ,比清耕增加 89. 09% ;地膜覆盖短枝所占比例为 31. 05% ,仅次于砂石覆盖 ,但该措施的中枝比例最小(30. 85%) ,不利于当年及次年果树经济效益的发挥. 邹秀华等^[26] 研究认为 ,保证红富士苹果优质稳产的树体指标为 :枝条总量每公顷 120 万 ~ 150 万条. 据此 ,生草和秸秆覆盖处理符合指标要求. 虽然砂石覆盖处理产量可达到 26. 65 t · hm⁻² ,但树势

过旺(枝条总量每公顷 159. 12 万条) ,易造成产量不稳定、果实着色差、果实偏小等问题.

不同地表覆盖模式中 ,砂石覆盖果实产量最高 ,为 26. 65 t · hm⁻² ,比清耕高 135. 63% ;生草覆盖的果实产量最低 ,仅为 10. 77 t · hm⁻² ,其主要原因是由于果园地表生草吸收了土壤中的一部分养分 ,草与果树在营养吸收上形成了一定的竞争关系. 但生草与清耕及地膜覆盖处理的产量相比 ,差异并不显著($P > 0. 05$) .

2. 5 不同地表覆盖模式综合效应评价

由以上分析可知 ,不同地表覆盖模式下果园生态系统的微域环境因子和目标作物性状的响应并不完全一致 ,难以客观评判 ,需对各个因子进行处理 ,得到一个统一的、无量纲的综合指标 ,然后进行比较分析 ,以客观了解和预测果园生态系统的演化趋势. 本文借助多元统计分析 ,计算果园环境及生物对生态系统调控响应的综合适宜性效应指数 ,对土壤不同管理模式的效应进行综合评价.

首先通过相对系数法将生态系统各因子量纲归一化 ,得到生态系统各因子指标的隶属度值 :

$$F(X_i) = \frac{X_{ij} - X_{i \min}}{X_{i \max} - X_{i \min}}$$

式中 : $F(X_i)$ 表示生态系统各因子指标的隶属度值 ; X_{ij} 表示生态系统各因子指标的原始值 ; $X_{i \max}$ 和 $X_{i \min}$ 分别表示第 i 项因子指标的最大值和最小值.

然后根据因子分析中生态系统各因子指标的公因子方差值确定其权重系数 ,最后根据加乘法则计算土壤不同管理模式的综合适宜性效应指数 (comprehensive effects index , CEI) :

$$CEI = \sum_{i=1}^s K_i \times F(X_i)$$

式中 : K_i 是各因子指标的权重系数 ; $F(X_i)$ 是各因子指标的隶属度值.

通过计算得出 ,清耕、生草覆盖、地膜覆盖、秸秆

表 2 不同地表覆盖模式对苹果树枝条及产量的影响 *
Tab.2 Effects of different soil surface mulching patterns on branches and yield of apple trees

处 理 Treatment	长 枝 Long branches (%)	中 枝 Med- branches (%)	短 枝 Short branches (%)	总枝量 Total branches (hm ⁻²)	产 量 Yield (t · hm ⁻²)
清耕 Clean tillage	41. 03	39. 45	19. 52	873000	11. 31b
生草覆盖 Grass cover	35. 94	35. 40	28. 66	1455300	10. 77b
地膜覆盖 Film mulching	38. 10	30. 85	31. 05	918000	14. 87b
秸秆覆盖 Straw mulching	30. 39	40. 51	29. 10	1296900	23. 84a
砂石覆盖 Gravel mulching	18. 89	44. 20	36. 91	1591200	26. 65a

* 长枝为长度 > 30 cm 的枝条 ,中枝为长度在 10 ~ 30 cm 的枝条 ,短枝为长度在 10 cm 以下、4 片叶子上 Long branches > 30 cm , 10 cm < Med-branches < 30 cm , short branches < 10 cm with more than four leaves.

覆盖和砂石覆盖处理下的综合适宜性效应指数分别为 0.069、0.468、0.418、0.363 和 0.536。由此得出黄土沟壑区果园不同地表覆盖模式的适宜度排序应为 砂石覆盖 > 生草覆盖 > 地膜覆盖 > 秸秆覆盖 > 清耕处理。

3 讨 论

本研究中,生草管理模式在土壤表层存在与果树争水现象,但在土壤深层能够缓和土壤干燥化程度,最终增加土壤含水量,具有明显的蓄水保墒作用,这与赵政阳等^[27]研究结果一致,但这也可能与生草覆盖果实产量小,对深层土壤水分消耗少有一定关系。年周期内生草覆盖土壤水分变异程度最小,将有利于果园生态系统的稳定生产。生草对果园土壤热量收支具有缓冲作用,减小表层土壤温度的变化幅度,在秋、冬、春三季具有保温作用,夏季可有效降低地温,降低极端温度数值,减轻土壤极端温度对果树的伤害。同时,生草覆盖有利于促进土壤微生物活性,显著提高土壤物质代谢强度,改善近地面的微气象条件,为植物下部冠层提供更丰富的碳源。生草区果树枝条总量较为理想,但果实产量偏低,黄炎和等^[28]研究也证明了这一点。因此在全园生草覆盖时应注意加强肥料投入,以补充因草的生长而对果树造成的营养亏缺。

地膜覆盖管理模式减少了土面蒸发,各层次土壤水分条件都较好,含水量略大于清耕处理。各季节地温均显著高于清耕处理,但是夏季地温已超过苹果树根系生长上限温度,不利于果树的生长。覆膜影响地表透气性,CO₂ 释放速率较低,土壤微生物活性不高,将影响果树根系生长,降低土壤物质代谢强度。卜玉山等^[29]研究认为,连年地膜覆盖管理将会导致土壤肥力下降,本研究结果也间接支持了此观点。地膜覆盖后的目标作物响应在 5 种地表覆盖模式中居中。综上,地膜覆盖技术是一种更适宜于在低温干旱地区采用的地表覆盖模式。

秸秆覆盖管理模式下,土壤水分状况在剖面各层次与清耕较为一致。对于土壤热量状况,秸秆覆盖能够显著降低夏季地温,在冬季低温短日照条件下,与清耕相比,又能明显增加夜间地温,这有利于缓解极端温度对果树的伤害。研究表明,秸秆覆盖能够提高土壤有机质、氮、有效磷、速效钾等养分含量^[30-33]。这也为解释秸秆覆盖果实产量较高提供了依据。但也有研究认为,连续多年秸秆覆盖可使果树根系上移,影响根系对水分和养分的吸收^[24]。砂石

覆盖管理模式能够提高果树根层的水分含量,有利于果树对土壤水分的利用,但土壤水分剖面变异程度较大,不利于果树的稳产和果实品质的提高。

砂石覆盖对果园土壤热量具有较强的缓冲作用,能够减轻土壤极端温度对果树的伤害,有利于果树的健康生长。从生物响应来看,砂石覆盖能够显著提高果树中短枝比例,果实产量显著高于清耕、生草和地膜覆盖。但过高的产量势必会造成土壤水肥资源的过度消耗,最终将影响果实品质及产量的稳定性。因此,从长远来看,应进行生产力调控,以促使该项管理模式朝有利于生态系统稳定可持续的方向发展。

4 结 论

综合 5 种地表覆盖模式对果园生态系统环境及生物响应,在黄土高原沟壑区,砂石覆盖是较为适宜的土壤调控管理方式。砂石覆盖果树产量高,但对深层土壤水分的消耗较大,因此,砂石覆盖应建立可持续生产的意识,调控果树生产力水平,以保证果园生态系统的持续健康发展。

对果园生态系统进行调控,目的不仅仅局限于单纯的果树产量的提高,还要综合考虑到生态系统的持续稳定发展。今后在对果园生态系统环境因素调控的基础上,需进一步运用环境调控和生物调控相结合的方法,根据生态系统的响应,模拟砂石覆盖的效应,使果园生态系统朝着健康可持续的方向稳定发展,实现生态效益和经济效益的和谐统一。

致谢 本文英文摘要修订得到了 William J. Gale 博士的帮助,谨表谢忱。

参考文献

- [1] Bai Z-L (白志礼), Mu Y-M (穆养民), Zhao Z-Y (赵政阳). Consideration on development of apple industry in Shaanxi Province. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2003, **21**(4): 172-175 (in Chinese)
- [2] Li H-K (李会科), Zheng Q-L (郑秋玲), Zhao Z-Y (赵政阳), et al. Study on the root system distribution characteristics of several herbage species growing in apple orchard in Loess Plateau. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 2008, **17**(2): 92-96 (in Chinese)
- [3] Wei Q-P (魏钦平), Zhang J-X (张继祥), Mao Z-Q (毛志泉). Optimum meteorological factors and climate divisions of apple for good quality. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(5): 713

- 716 (in Chinese)
- [4] Zhang Y-M (张玉铭), Hu C-S (胡春胜), Mao R-Z (毛任钊), *et al.* Nitrogen , phosphorus and potassium cycling and balance in farmland ecosystem at the piedmont of Taihang. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003 , **14**(11) : 1863-1867 (in Chinese)
- [5] Wu F-Q (吴发启), Liu H-B (刘海斌), Zhou Z-L (周正立). Profit and loss of nutrients in crop-fruit ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006 , **17**(3) : 413-416 (in Chinese)
- [6] Wu FQ , Liu HB , Sun BS , *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. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* , 2008 , **81** : 95-105
- [7] Wu F-Q (吴发启), Zhou Z-L (周正立), Liu H-B (刘海斌). Productivity of crop-fruit ecological agriculture in middle-south Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005 , **16**(2) : 262-266 (in Chinese)
- [8] Li H-K (李会科), Zhao Z-Y (赵政阳), Zhang G-J (张广军). The theory and practice of grass interplanting in orchards. *Pratacultural Science* (草业科学), 2005 , **22**(8) : 32-37 (in Chinese)
- [9] Li H-K (李会科), Zhang G-J (张广军), Zhao Z-Y (赵政阳). Effects of growing different herbages on soil water-holding of a non-irrigated apple orchard in the Weibei area of the Loess Plateau. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2007 , **15**(1) : 76-81 (in Chinese)
- [10] Hadrian FC , Gerardo SBV , Howard CL. Mulch effects on rainfall interception , soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil and Tillage Research* , 2006 , **91** : 227-235
- [11] Stigter CJ. Mulching as a traditional method of microclimate management. *Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology Series B* , 1984 , **35** : 147-154
- [12] Zhang Y-L (张亚丽), Li H-E (李怀恩), Zhang X-C (张兴昌), *et al.* Runoff loss of soil mineral nitrogen and its relationship with grass coverage on loess slope land. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006 , **17**(12) : 2297-2301 (in Chinese)
- [13] Liu J-J (刘久俊), Fang S-Z (方升佐), Xie B-D (谢宝东), *et al.* Effects of bio-mulching on rhizosphere soil microbial population , enzyme activity and tree growth in poplar plantation. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008 , **19**(6) : 1204-1210 (in Chinese)
- [14] Wang L-M (王丽梅), Meng F-P (孟范平), Zheng J-Y (郑纪勇). Environmental quality assessment of regional agro-ecosystem in Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004 , **15**(3) : 425-428 (in Chinese)
- [15] Liang W-J (梁文举), Wu Z-J (武志杰), Wen D-Z (闻大中). Research directions of agro-ecosystem health in the early 21st century. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002 , **13**(8) : 1022-1026 (in Chinese)
- [16] Ran W (冉 伟), Xie Y-S (谢永生), Hao M-D (郝明德). Study on change of soil water in orchards of different planting-life in gully region of Loess Plateau. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica* (西北农业学报), 2008 , **17**(4) : 229-233 (in Chinese)
- [17] Ran W (冉 伟), Xie Y-S (谢永生), Hao M-D (郝明德). Mineral N accumulation and distribution of apple orchard soil on the Weibei Dryland. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2008 , **26**(3) : 157-160 (in Chinese)
- [18] Zhao G-D (赵广东), Wang B (王 兵), Yang-J (杨晶), *et al.* LI-8100 automated soil CO₂ flux system and its application. *Meteorological Science and Technology* (气象科技), 2005 , **33**(4) : 363-366 (in Chinese)
- [19] Li H-K (李会科), Zhang G-J (张广军), Zhao Z-Y (赵政阳), *et al.* Effects of interplanted herbage on soil properties of non-irrigated apple orchards in the Loess Plateau. *Acta Pratacultural Sinica* (草业学报), 2007 , **16**(2) : 32-39 (in Chinese)
- [20] Gan Z-T (甘卓亭), Liu W-Z (刘文兆). Distribution of the fine roots of different aged apple trees in Weibei rainfed tableland of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2008 , **28**(7) : 3401-3407 (in Chinese)
- [21] Mehuys GR , Stolzy LH , Letey J , *et al.* Effects of stones on the hydraulic conductivity of relatively dry desert soils. *Soil Science Society of American Proceedings* , 1975 , **39** : 37-42
- [22] Wang H-F (王慧芳), Shao M-A (邵明安). Experimental study on water infiltration of soil containing rock fragments. *Advances in Water Science* (水科学进展), 2006 , **17**(5) : 604-609 (in Chinese)
- [23] Hao Z-Y (郝仲勇), Yang P-L (杨培岭), Liu H-L (刘洪禄), *et al.* Experimental investigation on root system distribution of apple tree. *Journal of China Agricultural University* (中国农业大学学报), 1998 , **3**(6) : 63-66 (in Chinese)
- [24] Li H-Y (李怀友). Test of different kinds micro-irrigation for apple trees in gully areas in the plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2001 , **19**(4) : 32-37 (in Chinese)

[25] Yu G-R (于贵瑞), Wen X-F (温学发), Li Q-G (李庆康), *et al.* The feature of seasonal model and environmental response of typical forest ecosystem respiration in the subtropical and temperate regions of China. *Science in China Series D : Earth Sciences* (中国科学 D 辑 : 地球科学), 2004 , **34**(s2) : 84-94 (in Chinese)

[26] Zou X-H (邹秀华), Jiang Y-M (姜远茂). The effect of high quality short branch proportion on the output and quality of “ Red Fuji ” apple. *Shandong Forestry Science and Technology* (山东林业科技), 2008(4) : 22-23 (in Chinese)

[27] Zhao Z-Y (赵政阳), Li H-K (李会科). The effects of interplant different herbage on soil water in apple orchards in the area of Weibei Plateau. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2006 , **33**(3) : 481-484 (in Chinese)

[28] Huang Y-H (黄炎和), Yang X-Z (杨学震), Jiang F-S (蒋芳市). Effects of different ways of sod in eroded slope orchard on soil and fruit tree growth. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2007 , **21**(2) : 111-114 (in Chinese)

[29] Pu Y-S (卜玉山), Miao G-Y (苗果园), Zhou N-J (周乃健), *et al.* Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2006 , **39**(5) : 1069-1075 (in Chinese)

[30] Wang J-Y (汪景彦), Yu H-H (于洪华), Zhu J-M (朱佳满), *et al.* High-yielding Cultivation of Red Fuji Apple. Beijing : Jindun Press , 1995 (in Chinese)

[31] Xue S-P (薛少平), Zhu L (朱琳), Yao W-S (姚万生), *et al.* Influence of straw and plastic-film mulching on sustainable production of farm land. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2002 , **18**(6) : 71-73 (in Chinese)

[32] Zhou L-Y (周凌云), Zhou L-Z (周刘宗), Xu M-X (徐梦雄). The water-saving effects of straw mulch in field. *Eco-Agriculture Research* (生态农业研究), 1996 , **4**(3) : 49-52 (in Chinese)

[33] Song Q-H (宋秋华), Li F-M (李凤民), Wang J (王俊), *et al.* Effect of various mulching durations with plastic film on soil microbial quantity and plant nutrients of spring wheat field in semi-arid Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002 , **22**(12) : 2125-2132 (in Chinese)

作者简介 张 义 男 , 1984 年生 , 硕士研究生 . 主要从事土壤环境与果园生态系统调控研究 , 发表论文 5 篇 . E-mail : zhangyi. zy@msn. com

责任编辑 张凤丽