

# 渭北黄土高原旱地果园生草对土壤物理性质的影响

李会科<sup>1</sup>, 张广军<sup>1</sup>, 赵政阳<sup>2</sup>, 李凯荣<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 【目的】研究旱地果园生草土壤物理性状的变化特征。【方法】在黄土高原旱地苹果园生草区及清耕区设立标准地, 在 60 cm 土层内分层取样, 测定土壤容重、孔隙度、水稳性团聚体的含量等土壤物理性状, 分析果园生草土壤物理性质的变化特征。【结果】生草降低土壤容重, 增加孔隙度, 提高水稳性团聚体含量, 其影响主要集中在 0~40 cm 土层; 生草种类不同, 对果园土壤物理性状影响存在差异, 种植白三叶效果更佳; 随着生草年限的增加, 果园土壤物理性状愈趋改善, 土壤的入渗性能和持水能力得到较大幅度的提高。【结论】长期生草有利于果园土壤物理性状的持续改善。

**关键词:** 黄土高原; 果园生草; 土壤物理性质; 白三叶; 黑麦草

## Effects of Different Herbage on Soil Quality Characteristics of Non-Irrigated Apple Orchard in Weibei Loess Plateau

LI Hui-ke<sup>1</sup>, ZHANG Guang-jun<sup>1</sup>, ZHAO Zheng-yang<sup>2</sup>, LI Kai-rong<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Environment and Resource, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling 712100, Shaanxi;

<sup>2</sup>College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling 712100, Shaanxi)

**Abstract:** 【Objective】 The objective of this article was to study the change feature in soil quality characteristics of orchard after planting herbage. 【Method】 The treatment plots were laid out in planting herbage areas and till areas of different herbage in non-irrigated apple orchard from the Weibei Loess Plateau, soil samples from different soil layers within 60 cm depth in every plot were collected. By analyzing soil samples, the changes in soil quality characteristics of the apple orchard after planting herbage were studied. 【Result】 Soil bulk density reduced, soil porosity increased and the content of water-stable aggregates increased after different herbage were planted. The changes in soil quality characteristics with growing different herbage in non-irrigated apple orchard were mainly in 40 cm depth soil layer. The change feature of soil quality characteristics was different in various herbage growing land, white clover was better than perennial ryegrass in improving soil quality characteristics. With the increase of years of herbage growing, soil quality characteristics of growing herbage land improved. Soil water content and soil water-holding capacity enhanced greatly. 【Conclusion】 Growing herbage in orchard for a long term can improve the soil properties of orchard consistantly.

**Key words:** Loess Plateau; Growing herbage in orchard; Soil quality characteristics; White clover (*Trifolium repens* L.); Perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.)

## 0 引言

【研究意义】黄土高原是中国苹果两大优生区之一, 以渭北为代表的黄土高原苹果产业已成为促进区域经济发展, 解决“三农”问题, 改善生态环境的支柱产业。长期以来, 由于果园采用传统的清耕制土壤

管理模式, 导致土壤性状退化, 果实产量下降, 品质变劣<sup>[1]</sup>。探索新的土壤管理模式已成为该区域苹果产业优化升级及可持续发展需要重点解决的问题。果园生草是欧美及日本等发达国家普遍推行的果园可持续发展土壤管理模式, 取得了良好的生态及经济效益<sup>[2]</sup>。中国于 1998 年将果园生草制作为绿色果品生产措施

收稿日期: 2007-03-22; 接受日期: 2007-08-20

基金项目: 国家“十五”重点攻关(2002BA16B10)苹果无公害生产关键技术与示范; 中科院知识创新项目(kzcx1-06-02)黄土高原农业复合型生态农业模式研究与示范; 陕西省农业攻关(2004K01-G2)绿色苹果生产果园生草技术研究项目

作者简介: 李会科(1965-), 男, 陕西武功人, 副教授, 博士研究生, 研究方向为农业复合型生态农业。E-mail: lihuike@nwsuaf.edu.cn。通讯作者赵政阳(1964-), 男, 陕西富平人, 教授, 博士, 研究方向为果树栽培。E-mail: zhaozhengyang@nwsuaf.edu.cn

在全国推广<sup>[3]</sup>, 但实践中清耕果园面积占果园总面积 90% 以上, 果园生草尚处于试验与小面积应用阶段<sup>[1,4]</sup>。【前人研究进展】近年来中国已开展了不少果园生草方面研究<sup>[5-8]</sup>, 但多数研究集中在南方的橘园、龙眼园等<sup>[6-8]</sup>, 黄土高原地区的研究相对较少, 渭北苹果产区则更为薄弱。已有的研究基本上是采用统计分析的方法, 就生草对果园土壤物理性质的影响现状进行评价<sup>[5-9]</sup>, 对果园生草后土壤物理性状与牧草的互动效应及其演变方面的研究未见报道。【本研究切入点】黄土高原渭北苹果产区, 果园立地条件普遍较差, 改善土壤物理性状, 提高蓄持和供应水肥的能力对当地苹果生产至关重要, 因此, 揭示果园生草后土壤物理性质与牧草的互动效应及其演变特征, 可深化果园生草对土壤物理性状影响的研究, 对指导黄土高原渭北苹果产区建立科学的果园生草技术, 改进果园土壤管理具有重要作用。【拟解决的关键问题】本研究以陕西渭北黄土高原的旱地苹果园为对象, 通过定位观测, 探讨和分析果园生草土壤物理性质与牧草的互动效应及其演变特征。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计方案

表 1 各标准地概况

Table 1 The general condition in different plots

项目 Item	生草类型 Herbage type	生草种类/生长年限 Herbage type and the number of years	生草方式 Herbage planting pattern
生草区 Herbage planting areas	禾本科 <i>Gramineae</i>	多年生黑麦草/3 年 Perennial ryegrass for three year	行间生草 Herbage planting in all orchard
	豆科 <i>Fabaceae or Leguminosae</i>	白三叶/3 年生 White clover for three years	行间生草 Herbage planting in all orchard
清耕区(对照) Till areas (Control)	清耕 Till		

### 1.2 测定项目及方法

1.2.1 土壤容重、孔隙度及持水量的测定 生草第 3 年即 2002 年、生草第 5 年即 2004 年 3 月中旬, 在各标准地内以梅花形布置 5 个采样点, 按 0~20、20~40 和 40~60 cm 用环刀取样, 采用环刀法测定各土层土壤容重、孔隙度和田间持水量<sup>[10]</sup>, 并由公式  $W=10 \times h \times P$  计算各土层土壤饱和持水量<sup>[11]</sup>, 式中:  $W$ : 饱和持水量;  $h$ : 土层厚度 (cm);  $P$ : 总孔隙度 (%)。

1.2.2 土壤团聚体测定 生草第 3 年、生草第 5 年 3 月中旬, 在标准地内测定土壤容重、孔隙度的同时,

试验区位于黄土高原苹果代表产区的洛川县, 该县地处渭北旱塬中北部, 属暖温带半湿润易旱季风气候, 平均海拔 1 100 m, 年均气温 9.2℃, 日照时数 2 552 h, 年总辐射量 55.41 kJ·cm<sup>-2</sup>, 多年平均降水量 610 mm, 大于 10℃ 的积温 3 040℃, 土壤为疏松的黑垆土, 质地为中壤, 土层深厚, 剖面质地均匀。试验地位于洛川县西贝兴村塬面无公害苹果示范园, 示范园面积 5 ha, 为 10~12 年生半矮化红富士 (富士/M<sub>26</sub>/新疆野苹果) 果园, 栽植密度 2 m×4 m, 果园管理水平较高, 旱作。试验为大型小区对比试验, 每个小区面积为 1 ha, 设置白三叶 (white clover) 生草区、多年生黑麦草 (perennial ryegrass) 生草区和清耕区 3 个处理, 供试草种来源于中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 2000 年 9 月分别种植于生草区 (行间生草), 白三叶播种量为 7.5 kg·ha<sup>-1</sup>, 黑麦草播种量为 15 kg·ha<sup>-1</sup>, 各处理的土壤、地形等生态条件及牧草、苹果的田间常规管理措施一致。

为便于定位观测, 2002 年依据生草种类, 采用常规的典型观测样地抽样法, 选设 3 年生黑麦草和 3 年生白三叶 2 块观测标准地, 各标准地面积 (200×200) m<sup>2</sup>, 对照 (清耕园) 设置 1 块标准地, 生草区各标准地及对照的基本情况如表 1 所示。

用铝饭盒采集 0~60 cm (20 cm 为一层) 原状土样带回实验室, 用湿筛法测定 0.25~0.5 mm、0.5~1 mm、1~2 mm、>2 mm 各级水稳性团粒含量, 室内试验在西北农林科技大学资源与环境学院科研平台的实验室中进行。

1.2.3 土壤入渗性能测定 生草第 3 年、生草第 5 年 4 月在各标准地内进行土壤入渗试验。土壤入渗试验均为野外积水入渗, 采用玛立奥特瓶加双环定水头供水法, 双环内环直径 35.5 cm, 高 25 cm, 打入土中 15 cm; 外环直径 50.5 cm, 环高及打入深度与内环相同。内外环之间维持水层深度为 5 cm, 采用马氏瓶自

动供水, 计时采用秒表, 每隔 3 min 记录 1 次玛立奥特瓶水位的变化<sup>[12]</sup>, 同一标准地 3 个重复, 取平均值。

1.2.4 数据处理 所有数据采用 Excel 2003 处理, 运用 DPS 软件进行方差分析和显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 生草对土壤容重影响

容重是表征土壤松紧状况的指标, 在同一气候和土壤条件下, 其性状的优劣除与成土母质、气候条件有密切关系外, 还受植被、耕作、土壤有机质等因素影响。如表 2 所示, 各标准地 0~20 cm 层土壤容重均低于 20~60 cm 层, 土壤容重自表层沿剖面均呈现递增趋势, 各标准地土壤容重垂直剖面特征一致, 但与清耕区相比, 生草区 0~60 cm 各土层土壤容重的演变趋于降低。对生草第 3 年与第 5 年各土层土壤容重进行多重比较, 结果表明, 生草第 5 年, 白三叶及黑麦草区 0~20 cm 层、20~40 cm 层土壤容重均与第 3 年差异显著 ( $P<0.05$ ), 0~20 cm 层差异显著性高于 20~40 cm 层, 40~60 cm 层土壤容重有所降低, 但差

异不显著, 土壤容重的这一演变一方面反映随着生草年限的增加, 生草区土壤有机质积累量及其分解程度增加, 及牧草地被根系穿插作用增强, 进而对土壤容重产生显著影响。另一方面反映生草对土壤容重的影响主要集中在 0~40 cm 土层, 持续生草深层土壤容重有降低的趋势。而在清耕区, 虽然清耕能疏松表层土壤, 但 0~60 cm 层土壤容重趋于增加, 演变趋劣, 这与已有研究结论一致<sup>[5]</sup>。

在 0~60 cm 土层, 生草第 3 年, 生草区该土层容重平均值与清耕区无显著差异, 而第 5 年均与清耕区差异显著 ( $P<0.05$ ), 表明随着生草年限的增加生草对 0~60 cm 土层土壤容重整体影响较大, 长期生草有利于整体土壤容重的持续改善, 另一方面说明生草对土壤容重的影响是一个渐进的积累过程, 只有达到一定年限、土壤有机质含量达到较高水平才对土壤容重具有良好效应。但生草类型不同, 其对土壤容重的影响程度不同, 如表 2 所示, 无论在生草第 3 年还是在第 5 年, 白三叶区 0~60 cm 土层容重均值低于黑麦草区, 白三叶对土壤容重的效应强于黑麦草。

表 2 各标准地土壤容重 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

Table 2 Soil bulk density in different plots

标准地 Plots	土层 Soil layer (cm)	容重 Soil bulk density ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )		有机质 Organic matter ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	
		生草第 3 年	生草第 5 年	生草第 3 年	生草第 5 年
		Planting herbage in apple orchard for three years	Planting herbage in apple orchard for five years	Planting herbage in apple orchard for three years	Planting herbage in apple orchard for five years
黑麦草区 Perennial ryegrass	0~20	1.31a	1.20b	0.8744	1.0179
	20~40	1.35a	1.26b	0.6440	0.7990
	40~60	1.32a	1.30a	0.4500	0.6568
	平均 Mean	1.33A	1.25B	0.6561	0.8246
白三叶区 White clover	0~20	1.30a	1.18b	0.8643	1.1586
	20~40	1.36a	1.26b	0.6018	1.1215
	40~60	1.31a	1.29a	0.5632	0.8675
	平均 Mean	1.32A	1.24B	0.6964	1.0492
清耕区 Till	0~20	1.23a	1.25a	0.8013	0.7315
	20~40	1.37a	1.37a	0.6824	0.6064
	40~60	1.35a	1.36a	0.5646	0.5237
	平均 Mean	1.32A	1.33A	0.6964	0.6205

同一标准地不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 (LSD)。下同

The different letters in the same plots in different year indicate significant difference at 5% level (LSD). The same as below

### 2.2 生草对土壤孔隙度影响

土壤总孔隙度是指单位体积土壤孔隙所占的百分数, 土壤总孔隙度包括毛管孔隙和非毛管孔隙, 是由土壤容重和比重决定的, 对于相同类型的土壤, 比重是相对恒定的。在其它条件相同的情况下, 土壤容重的大小决定孔隙度的大小, 由于生草改变了果园土壤

容重, 对土壤孔隙度产生了明显影响。如表 3 所示, 无论生草第 3 年还是第 5 年, 生草区 0~60 cm 土层总孔隙度平均值均高于清耕区, 各标准地总孔隙度大小为: 白三叶区 > 黑麦草区 > 清耕区。

生草第 3 年, 生草区 0~60 cm 土层总孔隙度均值与清耕区差异不显著 ( $P<0.05$ ), 第 5 年有较大幅度

表 3 各标准地土壤孔隙度

Table 3 Soil porosity in different plots

标准地 Plots	土层 Soil layer (cm)	总孔隙度 Porosity (%)		毛管孔隙度 Capillary porosity (%)		非毛管孔隙度 Noncapillary porosity (%)	
		生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years	生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years	生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years
黑麦草区 Perennial ryegrass	0~20	50.38a	54.73b	26.87a	29.15b	23.51a	25.58b
	20~40	47.26a	51.18b	26.08a	29.03b	21.18a	22.55a
	40~60	49.59a	50.93a	26.88a	28.57a	22.71a	22.36a
	平均 Mean	49.08A	52.28B	26.61A	28.91B	22.47a	23.49a
白三叶区 White clover	0~20	51.32a	55.04b	26.84a	29.28b	24.48a	25.76b
	20~40	47.06a	51.24b	25.24a	27.45b	21.82a	23.79b
	40~60	50.83a	51.52a	26.86a	27.08a	23.97a	24.44a
	平均 Mean	49.74A	52.60B	26.31A	27.94A	23.42A	24.66B
清耕区 Till	0~20	52.42a	51.11a	26.83a	25.84a	25.59a	25.27a
	20~40	46.82a	46.83a	24.61a	24.52a	22.21a	22.31a
	40~60	46.84a	47.76a	24.86a	25.03a	21.98a	22.73a
	平均 Mean	48.69A	48.57A	25.43A	25.13A	23.26A	23.43A

的提高,与清耕区达显著差异 ( $P<0.05$ ),总孔隙度这一演变与该土层土壤容重演变一致。在 0~60 cm 垂直剖面上,各标准地 0~20 cm 层总孔隙度均高于 20~60 cm 层,这与生草与清耕降低了表层土壤容重密切相关,但生草区 0~60 cm 各土层孔隙度演变趋于增大,0~40 cm 层增加幅度较大,生草第 5 年,白三叶及黑麦草区 0~40 cm 层总孔隙度均与第 3 年达显著差异 ( $P<0.05$ )。

在 0~60 cm 土层,各标准地孔隙度大小分配均表现为毛管孔隙度大于非毛管孔隙度,表明生草未改变土壤孔隙大小分配的基本规律。与清耕区相比,随着生草年限的增加生草区毛管孔隙度及非毛管孔隙度均有不同程度增加。由于所生牧草类型不同,其对大小孔隙的影响不同,生草第 5 年,黑麦草区 0~60 cm 土层毛管孔隙度与第 3 年差异显著 ( $P<0.05$ ),提高幅度大于非毛管孔隙,而白三叶区非毛管孔隙度与生草第 3 年差异显著 ( $P<0.05$ ),种植白三叶对非毛管孔隙效应较大。不同类型生草区毛管孔隙及非毛管孔隙这一变化特征可能与所生牧草根系类型及发育特征有关,根据田间观测,黑麦草根系为须根系,没有明显的主根,而白三叶为轴根系,具有明显的主根和粗细不等的侧根,当根系在土体内发育时,根尖向四周的土体产生轴向压力,在根尖后面呈圆柱体扩大,根系更新腐烂后,在土体内留下大小不等的孔隙,进而对毛管孔隙及非毛管孔隙产生影响。

### 2.3 生草对土壤水稳性团聚体的影响

良好的土壤结构具有对土壤肥力因素的协调能

力,团聚体是理想的土壤结构,特别是 0.25~1 mm 的水稳性团聚体对土壤水分和肥力有重要影响。土壤有机质是土壤结构的胶结剂,能促进水稳性团聚体的形成<sup>[13]</sup>。研究表明,生草对土壤有机质含量有显著影响<sup>[14~16]</sup>,因此,对土壤结构产生了影响。在 0~60 cm 土层的垂直剖面上,生草第 3 年及第 5 年, >0.25 mm 的水稳性团聚体含量均高于清耕区,其中 0~40 cm 土层增加幅度较大,各标准地 >0.25 mm 的水稳性团聚体含量大小为:白叶草区>黑麦草区>清耕区。

随着生草年限的增加,生草区 >0.25mm 的水稳性团聚体含量均有增加,表明牧草丰富的根系对土粒的缠绕、串连固结以及根际沉积物对土粒的团聚胶结十分有利,促进了水稳性团聚体的形成,生草第 5 年,白三叶及黑麦草区该土层 >0.25 mm 的水稳性团聚体与清耕区差异显著 ( $P<0.05$ ),分别增加 18.57%和 15.40%,持续生草对土壤团聚体形成有显著作用,白三叶效应更佳。如表 4 所示,生草对 >0.25 mm 的水稳性团聚体的影响主要呈现在 0.25~2 mm 粒径级之间,对 >2 mm 粒级水稳性团聚体影响不明显,这对于改善旱地果园蓄水保肥能力十分有利。

### 2.4 生草对土壤水分物理性质的影响

土壤入渗性能及田间持水量和饱和持水量是表征土壤透水和持水能力的主要指标,其与土壤孔隙度和结构性密切相关,生草后果园土壤孔隙度和团粒结构的变化势必对土壤透水性和持水能力产生影响。如表 5 所示,生草对土壤的稳渗速率、田间持水量和饱和持水量产生了明显影响,均比清耕区有不同程度提高。

表 4 各标准地土壤水稳性团聚体

Table 4 The soil water-stable aggregate in different plots ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

土层 Soil layer (cm)	粒径 Soil (mm)	黑麦草区 Perennial ryegrass		白三叶区 White clover		清耕区 Till	
		生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years	生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years	生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years
0~20	>2	2.74	2.62	2.82	2.568	3.568	3.64
	1.0~2	22.94	22.82	25.36	23.2	24.90	24.93
	0.5~1	23.56	24.42	25.12	26.50	21.86	21.06
	0.25~0.5	34.16	45.14	36.14	47.04	33.30	32.73
	合计 Total >0.25	83.40a	93.80b	89.44a	99.31b	83.63a	82.46a
20~40	>2	3.50	2.84	0.8	0.26	2.06	3.14
	1.0~2	12.52	14.24	13.26	15.3	12.36	12.16
	0.5~1	24.26	34.10	27.30	36.98	24.74	24.74
	0.25~0.5	30.26	38.90	31.28	44.16	31.12	30.12
	合计 Total >0.25	70.54a	90.08b	72.64a	96.70b	70.28a	70.16a
40~60	>2	2.10	1.91	2.56	2.68	3.07	3.68
	1.0~2	12.32	14.78	12.28	15.20	12.46	12.02
	0.5~1	20.54	21.68	22.06	25.12	20.50	20.87
	0.25~0.5	28.36	28.46	28.60	30.84	25.07	25.28
	合计 Total >0.25	63.32a	66.83a	65.50a	73.84b	61.10a	61.85a
0~60	合计 Total >0.25	217.26A	250.71B	227.58A	269.85B	215.01A	214.47A

表 5 各标准地土壤水分物理性质的变化

Table 5 The soil water physical characteristics changes in different plots

项目 Item	黑麦草区 Perennial ryegrass		白三叶区 White clover		清耕区 Till	
	生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years	生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years	生草第 3 年 Planting herbage in apple orchard for three years	生草第 5 年 Planting herbage in apple orchard for five years
稳渗速率 Stable infiltration rate (mm/min)	2.54a	3.02b	2.59a	3.16b	2.48a	2.40a
田间持水量 Field capacity (%)	24.68a	26.73b	25.02a	26.94b	24.45a	24.03a
饱和持水量 Soil saturated water content (mm)	294.46a	314.48b	298.42a	315.60b	292.16a	291.40a

随着生草年限的增加,生草对上述 3 项指标影响愈趋显著,生草第 5 年,生草区 3 项指标均与清耕区差异显著 ( $P<0.05$ ),长期生草显著地提高了土壤透水与持水能力。由于白三叶、黑麦草改善土壤结构及孔隙度强弱范围不同,其对土壤的稳渗速率、田间持水量及饱和持水量的影响存在差异,无论生草第 3 年还是第 5 年,白三叶区 3 项指标均高于黑麦草区,表明种植白三叶土壤透水性及持水能力强于种植黑麦草。黄土高原渭北苹果产区,果树生产以旱作为主,土壤水分补充主要靠自然降水,提高降水利用率和水分生产效率是果树生产的关键。土壤入渗性能的提高可促

进降水转化为土壤水,减少地表径流,提高降水利用率。持水性能的提高则有利于土壤蓄纳更多的降水,改善果树水分生产状况,因此,长期种植白三叶对该区域旱地果树生产具有深远意义。

### 3 讨论

3.1 不同类型生草试验表明,生草可对果园土壤容重、孔隙度等产生显著影响<sup>[6,8,9,16-21]</sup>,本研究中,种植白三叶和黑麦草均能降低土壤容重,增加孔隙度,与已有的研究结果一致。同时,本研究发现,随着生草年限增加,土壤容重演变趋于降低、孔隙度趋于增

加, 0~40 cm 土层具有良好效应, 长期生草有利于果园土壤容重及孔隙度的持续改善。由于不同牧草地被有机质积累量及牧草根系发育特征不同, 生草对土壤容重及孔隙度效应范围存在差异, 本文结果显示, 种植白三叶作用效应强于黑麦草。

**3.2 牧草密集根系及牧草地被形成的有机质有利于土壤良好结构的形成**<sup>[22]</sup>, 当土壤颗粒受牧草根系缠绕, 且受到根系释放的分泌物黏结时而重新排列, 导致土壤结构发生变化, 促进土壤团聚体形成, 同时, 有机质分解时生成的腐殖酸可使分散的土粒互相胶结起来, 也能形成更多的团粒结构, 因此, 果园生草能显著地提高土壤团聚体的含量<sup>[14,15]</sup>。本文结果表明, 生草可提高>0.25 mm 的水稳性团聚体含量, 主要呈现在 0.25~2 mm 粒径级之间, 持续生草土壤有机质有较大幅度增加(表 2), >0.25 mm 的水稳性团聚体含量提高幅度较大, 0~40 cm 土层具有良好效应, 种植白三叶该土层水稳性团聚体提高幅度大于黑麦草。

**3.3 许多研究结果显示, 土壤入渗性和持水能力与土壤孔隙度和结构性密切相关**<sup>[21,23-27]</sup>, 生草增加土壤孔隙度, 改善土壤结构性, 势必对土壤透水性和持水能力产生影响。桃园种植黑麦草 2 年后 0~30 cm 土层毛管孔隙贮水量、饱和贮水量分别比清耕园增加 7.2%和 10.4%<sup>[20]</sup>。本研究结果表明, 生草对果园土壤稳渗速率、田间持水量和饱和持水量均产生了明显影响, 持续生草对土壤透水性能和持水能力的影响愈趋显著, 有利于旱地果园在多雨季节贮集较多的降水, 种植白三叶的效果更佳。

上述可见, 不同的地区, 不同的生草类型及生草年限, 生草对果园土壤物理性质的影响程度有所不同, 总的趋势是长期生草有利于果园土壤物理性状的持续改善。生草后土壤物理性质的变化与果树生长发育关系, 有待进一步研究探讨。

## 4 结论

**4.1 生草可降低果园土壤容重, 增加土壤孔隙度, 其影响主要集中在 0~40 cm 土层, 持续生草果园土壤容重演变趋于降低, 孔隙度趋于增加, 种植白三叶效果更佳。**

**4.2 生草对>0.25 mm 粒级水稳性团聚的影响主要表现在 0.25~2 mm 粒径级之间, 持续生草>0.25 mm 的水稳性团聚体含量趋于增加, 0~40 cm 土层提高幅度较大。**

**4.3 长期生草可显著提高果园土壤稳渗速率、田间持水量及饱和持水量, 果园土壤入渗性能和持水能力得到显著改善。**

## References

- [1] 李会科, 赵政阳, 张广军. 果园生草的理论与实践——以黄土高原南部苹果园生草实践为例. 草业科学, 2005, 22(8): 32-37.  
Li H K, Zhao Z Y, Zhang G J. The theory and practice of planting herbage in orchards. *Pratacultural Science*, 2005, 22(8):32-37. (in Chinese)
- [2] Greenham D W P. The environment of the fruit tree: Managing fruit soils. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1995, 12: 25-31.
- [3] 何庆. 推广绿色果品生产的果园生草技术. 中国食物与营养, 1998, (6): 40.  
He Q. Spreading technology of planting herbage in orchard for green fruit production. *Food and Nutrition in China*, 1998, (6): 40. (in Chinese)
- [4] 张文, 朱元娣, 李光晨. 实用高效的果园土壤管理方法——果园生草法. 农业新技术, 2003, (4): 7-8.  
Zhang W, Zhu Y T, Li G C. Practical and highly efficient method of soil management—planting herbage in orchard. *New Agricultural Technology*, 2003, (4): 7-8. (in Chinese)
- [5] 郝淑英, 刘蝴蝶, 牛军玲, 解晓红, 李登科. 黄土高原区果园生草覆盖对土壤物理性状、水分及产量的影响. 土壤肥料, 2003, (1): 25-27.  
Hao S Y, Liu H D, Niu J L, Xie X H, Li D K. Effects of herbage mulching on apple yield and soil water and other soil physical properties in the Loess Plateau. *Soil and Fertilizer*, 2003, (1): 25-27. (in Chinese)
- [6] 徐明岗, 文石林, 高菊生. 红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应. 水土保持学报, 2001, 15(1): 77-80.  
Xu M G, Wen S L, Gao J S. Effects of different forage planting model on soil and water conservation and environments in red hilly region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(1): 77-80. (in Chinese)
- [7] 王大平. 苹果园种植覆盖作物的生态效应. 重庆师专学报, 1999, 18(2): 19-20.  
Wang D P. Effects of planting crop in apple orchard on environments. *Journal of Chongqing Teachers College*, 1999, 18(2): 19-20. (in Chinese)
- [8] 张猛, 张健, 徐雄, 廖尔华. 土壤管理方式对果-草人工生态系统土壤性质影响. 林业科学, 2006, 42(8): 44-49.  
Zhang M, Zhang J, Xu X, Liao E H. Effects of soil management ways on soil properties of an artificial fruit-grass ecosystem. *Scientia Silvae*

- Sinicae*, 2006, 42(8): 44-49. (in Chinese)
- [9] Merwin I A, Stiles W C. Orchard groundcover management impact on soil physical properties. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1994, 119(2): 216-222.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1983: 62-126.  
Chinese Academy of Sciences, Nanjing Soil Research Institute. *Soil Physics and Chemistry Analysis*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1983: 62-126. (in Chinese)
- [11] 马雪花. 森林水文学. 北京: 中国林业出版社, 1993: 123-128.  
Ma X H. *Compiler Forest Hydrology*. Beijing: China Forest Press, 1993: 123-128. (in Chinese)
- [12] 陈建刚, 李启军, 侯旭峰, 张书函, 冒建华. 奶水河流域不同植被覆盖条件下土壤入渗及模型比较分析. *中国水土保持科学*, 2004, 2(3): 22-26.  
Chen J G, Li Q J, Hou X F, Zhang S H, Mao J H. Soil infiltration and models in different vegetation coverage in Guishuihe river basin. *Science of Soil and Water Conservation*, 2004, 2(3): 22-26. (in Chinese)
- [13] 章明奎, 何振立, 陈国潮, 黄昌勇. 利用方式对红壤水稳性团聚体形成的影响. *土壤学报*, 1997, 34(4): 359-366.  
Zhang M K, He Z L, Chen G C, Huang C Y. Formation of water-stable aggregates in red soil as affected by land use. *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(4): 359-366. (in Chinese)
- [14] 李国怀, 章文才, 刘继红, 胡德文. 柑桔园生草栽培的生态效应研究. *生态学杂志*, 1997, 16(6): 6-11.  
Li G H, Zhang W C, Liu J H, Hu D W. Studies of ecological effects of sod culture in citrus orchard. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16(6): 6-11. (in Chinese)
- [15] 刘蝴蝶, 郝淑英, 曹 琴, 赵国平. 生草覆盖对果园土壤养分、果实产量及品质的影响. *土壤通报*, 2003, 34(3): 184-186.  
Liu H D, Hao S Y, Cao Q, Zhao G P. Effect of grass cover on soil nutrient and yield and quality of apple. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(3): 184-186. (in Chinese)
- [16] Bai C J, Liu G D, He H X, Wang D J. A preliminary study on intercropping Stylo and other crops with Mango at the semi-arid site of Hainan. *Acta Agrestia Sinica*, 2003, 11(4): 350-357.
- [17] Newenhouse A C, Dana M N. Grass living mulch for strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1989, 114: 859-862.
- [18] 范光南, 傅金辉, 刘长全, 李发林. 果园生草、套种绿肥对红壤幼龄果园土壤物理性状的影响. *福建农业学报*, 1998, (增): 85-89.  
Fan G N, Fu J H, Liu C Q, Li F L. Effect of planting mulch grasses and interplanting green manure on soil physical characteristics on young orchard. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 1999, (Suppl.): 85-89. (in Chinese)
- [19] 陈 凯, 胡国谦, 饶辉茂, 徐林华, 吴华清. 红壤坡地桔园栽植香根草的生态效应. *生态学报*, 1994, 14(3): 249-254.  
Chen K, Hu G Q, Rao H M, Xu L H, Wu H Q. Ecological effects of planting vetiver grass in citrus groves on sloping red soil fields. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(3): 249-254. (in Chinese)
- [20] 彭 燕, 邓玉林. 果-草-兔生态农业模式的综合效益试验研究. *四川农业大学学报*, 2002, 20(4): 340-343.  
Peng Y, Deng Y L. Comprehensive effects of ecological agricultural system composed of fruit, grass and rabbit. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2002, 20(4): 340-343. (in Chinese)
- [21] Goodman R N. Orchard mulches in relation to effectiveness of precipitation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1952, 49: 119-124.
- [22] 孙国荣, 阎秀峰, 李 晶. 星星草对碱性土壤物理性质的影响. *草地学报*, 2002, 10(2): 118-123.  
Sun G R, Yan X F, Li J. Effects of the growth of cultivated *Puccinellia tenuiflora* on physical characteristics of Alkali soil. *Acta Agrestia Sinica*, 2002, 10(2): 118-123. (in Chinese)
- [23] 范春梅, 廖超英, 李培玉, 孙长忠, 许喜明. 放牧强度对林草地土壤物理性状的影响——以黄土高原丘陵沟壑区为例. *中国农业科学*, 2006, 39(7): 1501-1506.  
Fan C M, Liao C Y, Li P Y, Sun C Z, Xu X M. A study of the effects of different grazing intensities on soil physical properties of grassland and forest floor——For example hilly and gully regions on the loess plateau. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(7): 1501-1506. (in Chinese)
- [24] Lipecki J, Berbec S. Soil management in perennial crops: orchards and hop gardens. *Soil & Tillage Research*, 1997, 43: 169-184.
- [25] Werner M R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. *Applied Soil Ecology*, 1997, 5: 151-167.
- [26] Walsh B D, Salmins S, Buszard D J, MacKenzie A F. Impact of soil management systems on organic dwarf apple orchards and soil aggregate stability, bulk density, temperature and water content. *Canadian Journal of Soil Science*, 1996, 76: 203-209.
- [27] Glenn D M, Welker W V. Orchard soil management systems influence rainfall infiltration. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1989, 114(1): 10-14.

(责任编辑 曲来娥)