

灌溉和生草对猕猴桃园土壤质量的影响

汪 星¹, 陆 静², 樊会芳², 高志永³, 郭旭新², 赵 英²

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 杨凌职业技术学院水利工程分院, 陕西 杨凌 712100;
3. 西安理工大学西北旱区生态水利工程国家重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘 要:为探明灌溉和生草对猕猴桃园土壤质量的影响,于 2016—2017 年在陕西省眉县猕猴桃园试验地分别布设地面灌溉+除草(I)、地面灌溉+自然生草(II)、滴灌+除草(III)和滴灌+自然生草(IV)4 种处理,对试验地 0~50 cm 土层的土壤机械组成、物理和化学性质进行了统计分析,并利用土壤质量综合指数对土壤质量进行了评价,结果表明:与其他处理相比,III 处理使 0~30 cm 土层土壤容重和砂粒质量分数分别降低了 0.02~0.24 g·cm⁻³和 0.36%~5.25%,使土壤孔隙度、田间持水量、黏粒质量分数和土壤粒径分形维数分别增大了 0.17%~7.17%、0.59%~2.53%、0.99%~7.15%和 0.01~0.13;IV 处理在 0~30 cm 土层中的速效磷和碱解氮与 I、II 处理无差异,显著高于 III 处理 10.75~109.55 mg·kg⁻¹和 20.74~78.91 mg·kg⁻¹(*P*<0.05),可使 0~50 cm 土层的速效钾、速效磷和碱解氮分别达到猕猴桃施肥标准的丰富、中等及中等水平;与其他处理相比,IV 处理可使 0~50 cm 土层土壤黏粒质量分数增加了 1.21%~2.66%,土壤粉粒质量分数减少了 0.81%~1.41%,使土壤分形维数显著增加(*P*<0.05),土壤质量综合指数最大,达 0.619。因此,滴灌+自然生草(IV)的管理方式是猕猴桃园土地可持续性利用的有效措施。

关键词:猕猴桃园;灌溉;生草;土壤质量
中图分类号:S275;S158 **文献标志码:**A

Effects of irrigation and grass on soil quality in kiwifruit orchard

WANG Xing¹, LU Jing², FAN Huifang², GAO Zhiyong³, GUO Xuxin², ZHAO Ying²

(1. School of Agriculture, Ningxi University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;
2. Department of Water Conservancy, Yangling Vocational & Technological College, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: In order to explore the effects of irrigation and grass on soil quality in kiwifruit orchard, surface irrigation + weed control (I), surface irrigation + natural grass (II), drip + weed control (III), and drip irrigation + natural grass (IV) treatments were set up in the kiwifruit orchard in Meixian county, Shaanxi Province from 2016 to 2017. The mechanical composition and physical and chemical properties of the soil in 0~50 cm soil layer in the test site were statistically analyzed, and the soil quality of 4 treatments was evaluated with the soil quality index. The results showed that compared with other treatments, treatment III reduced soil bulk density and sand grain mass fraction of 0~30 cm soil layer by 0.02~0.24 g·cm⁻³ and 0.36%~5.25%, respectively, and also increased soil porosity, field capacity, clay grain mass fraction, and soil particle-size distributions by 0.17%~7.17%, 0.59%~2.53%, 0.99%~7.15%, and 0.01~0.13, respectively; There was no difference in available phosphorus and alkali hydrolysable nitrogen in 0~30 soil layer between treatment IV and treatments I and II, but it was significantly higher than that of treatment III 10.75~109.55 mg·kg⁻¹ and 20.74~78.91 mg·kg⁻¹(*P*<0.05). The available potassium, available phosphorus, and alkali hydrolysable nitrogen in 0~50 cm soil layer of treatment IV reached the rich,

medium, and medium levels of fertilization for kiwifruit. Compared with other treatments, treatment IV increased soil clay mass fraction by 1.21% ~ 2.66% and particle-size distributions, and decreased soil powder mass fraction by 0.81% ~ 1.41% ($P < 0.05$). In addition, the soil quality index of treatment IV was the largest value of 0.619. Therefore, drip irrigation + natural grass (IV) was an effective measure for sustainable utilization of land in kiwifruit orchard.

Keywords: kiwifruit orchard; irrigation; grass; soil quality

猕猴桃是陕西省具有国际市场竞争力的产业之一,其适宜种植区域主要在海拔 1200 m 以下的渭河北岸至秦岭北麓等区域,陕西省猕猴桃面积和产量已占全国的 36.98% 和 51.9%,其中周至、眉县等 7 县猕猴桃种植面积和产量分别占陕西省的 89.3% 和 94.2%^[1-3]。然而由于规模化种植时间短,产业化发展快,目前对果园土壤养分管理缺乏相关研究^[2],果农根据自身经验进行水肥管理,有大水漫灌、滴灌、清耕除草、长期生草等措施,盲目施肥较为普遍,导致陕西关中地区猕猴桃园土壤中氮磷钾过量比例分别为 85.3%、76.9% 和 47.4%,不足比例分别为 8.4%、10.5% 和 29.5%^[4]。过量施肥并不能提高猕猴桃产量,反而影响优果率,增加农民投入^[5],不合理的土地利用和管理直接影响土地质量,可影响土壤水分的运动、养分的分布和迁移,导致土壤理化性质变化,出现土地沙化、养分退化等现象^[6]。

为了提高果园土壤质量、调控果园小气候、改善果实品质,生草和灌溉作为一种有效措施被应用于果园管理之中。已有研究表明,黄河三角洲梨园自然生草较清耕显著提高 0~40 cm 土层有机质含量,降低了土壤含盐量,土壤表层脲酶和碱性磷酸酶活性是清耕的 3.8 倍和 1.5 倍^[7]。渭北旱塬苹果园自然生草的土壤蒸散量较清耕减少了 8.07 mm,单果重和产量分别提高了 6.21% 和 6.10%,土壤水分利用效率提高了 7.64%^[8]。自然生草处理‘贵人香’葡萄的淀粉含量和可溶性糖含量等显著高于清耕处理^[9]。此外,果园自然生草省力省工,投资少,易于管理,自然生草适应性强,植物群落丰富,能够显著提高土壤中的氮、磷、钾含量,成为果园土壤管理发展新方向^[10-12]。研究发现:滴灌较畦灌节约 25% 灌溉水量,促进幼龄山地苹果树枝条发育^[13],可使红富士苹果在 9 月底新梢长度增加 40.84 cm^[4],枣产量较地面灌增加 22%,能够促进枣叶面积指数和叶绿素含量升高^[15]。微喷灌也能增强梨园土壤蓄水,促进光合能力,增加产量,改善果实品质^[16]。果园采用滴灌和微喷灌等灌溉措施已成为未来发展趋势^[17]。

目前,关于猕猴桃园生草和灌溉对土壤质量影响鲜有报道,其研究主要集中在猕猴桃园养分管理

和土壤水分动态上。如高义民等^[2]通过设置不同氮、磷、钾配比处理对陕西关中猕猴桃品质、产量和经济效益分析发现不同处理较对照均能使猕猴桃 Vc、可溶性糖含量和产量等增加,但施用的氮、磷、钾肥不当则会降低叶片光合速率和胞间 CO₂ 浓度,进而影响果实品质和产量^[18-19],猕猴桃园土壤中的碱解氮、速效钾和有机质含量均高于小麦—玉米农田^[20]。因此,本研究根据关中地区猕猴桃园常用的管理措施,拟设定灌溉和生草两类措施,分析 0~50 cm 土层土壤的物理和化学性质,并利用土壤质量综合指数对不同处理土壤质量进行评价。本研究旨在全面了解不同灌溉和生草措施对猕猴桃土壤质量影响,筛选合理管理方式,改善土地管理水平,为实现土地可持续性利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验分别布设于陕西省眉县田家寨村(107°46'E, 34°15'N)和奇峰果业基地(107°43'E, 34°17'N)。试验区位于陕西省关中平原西部,南依秦岭,北临渭水,处于黄河中游川塬沟壑区。此区属暖温带大陆性半湿润气候,年平均气温 12.9℃,年平均降水 609.5 mm,年平均日照 2 015.2 h,无霜期 218 d。全县猕猴桃产量占全国产量的 30%,种植面积占全国的 18%^[8]。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 3 月进行,布置地面灌溉+除草(I)、地面灌溉+自然生草(II)、滴灌+除草(III)和滴灌+自然生草(IV)处理,每个处理 3 个重复小区,每个小区面积为 30 m×15 m(长×宽),供试猕猴桃品种为关中地区种植面积最广的“徐香”,株行距为 2 m×4 m。猕猴桃全生育期可划分为萌芽展叶期(3 月中旬~4 月下旬)、开花坐果期(5 月上旬~5 月中旬)、果实膨大期(5 月下旬~9 月上旬)和果实成熟期(9 月下旬~10 月上旬)。本试验灌溉制度及施肥情况按农户传统的管理方式进行:地面灌灌水定额为 42 mm,在 4 个生育期内分别灌溉 2、1、13 和 2 次,共灌溉 18 次。滴灌灌水定额为 21 mm,每株猕猴桃下 2 个滴头,在 4 个生育期内分别灌溉 3、1、18

和 4 次,总灌溉 26 次。其中滴灌处理采用水肥一体化,地面灌溉处理在灌溉前采用人工穴施肥料,4 种处理的施肥量相同。其中氮肥 (N) 用量 $345\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,磷肥 (P_2O_5) 用量 $473\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,钾肥 (K_2O) 用量 $689\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,对于 I 和 III 处理,在猕猴桃生育期每隔 5 天进行人工除草。

1.3 土壤样品采集

2017 年 10 月在每个样地的猕猴桃株间中部,沿长度方向 5、15 m 和 25 m 处利用容积为 100 cm^3 的环刀和土钻分别取样。猕猴桃根系主要分布在 0~50 cm 土层范围内,本文取样土层深度定为 0~50 cm,取样步长为 10 cm,每个样地取样 15 个。将取土完成的环刀口上下密封,从取土土钻处取约 150 g 土样装入密封袋,对每个土样进行相关标注并送回试验室对土壤的物理和化学性质进行测定。

1.4 土壤指标测定

土壤容重、田间持水量、孔隙度的测定为环刀法;土壤粒径测定为吸管法,粒径分级采用美国制标准;有机质测定为重铬酸钾容量法;速效钾测定为酸铵提取法,碱解氮的测定为碱解扩散法,速效磷的测定为碳酸氢钠法^[21-22]。

1.5 土壤粒径分形维数

土壤粒径分形维数是重要的土壤物理特性之一,计算公式如下^[23]:

$$\frac{V(r < R_i)}{V_T} = \left(\frac{R_i}{R_{\max}}\right)^{3-D} \tag{1}$$

式中, r 为土壤粒径 (mm); R_i 为第 i 级粒径 (mm); $V(r < R_i)$ 是粒径小于 R_i 的累积体积; V_T 为土壤颗粒总体积; $R_{\max}$ 为土壤颗粒中最大的粒径; D 为分形维数。对 (1) 式两边取对数,再利用最小二乘法拟合成直线,直线斜率为 k ,则分形维数 D 为 $3 - k$ 。

1.6 土壤质量评价

为选取具有代表性的指标对不同处理土壤质量进行评价,本文采用常用的主成分分析法对测定的 11 个指标进行筛选^[24]。具体步骤为:(1) 对测定数据进行主成分分析并选取特征变量大于 1 的主成分;(2) 选取载荷因子最大的变量,同时选取载荷因子与最高载荷因子不超过 10% 的因子;(3) 对选取的变量进行 Pearson 相关分析,并计算相关系数的和,选取 Pearson 相关系数和最大与最小的作为代表因子,如果选取的因子相关性较强,选择载荷因子较高的因子作为代表性因子。利用 (2) 式进行土壤质量综合指数计算:

$$SQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i \tag{2}$$

式中, SQI 为土壤质量综合指数; W_i 为第 i 个因子权重系数; I_i 为第 i 个评价指标的隶属度值, n 为评价指标的个数。

根据主成分分析的结果, W_i 为评价指标公因子方差占公因子方差之和的比例^[25]。 I_i 为第 i 个评价指标的隶属度值,可根据隶属度函数进行计算。田间持水量、孔隙度、有机质、速效钾、碱解氮和速效磷的隶属度值采用 S 型隶属度函数式 (3) 计算,指标越高表明土壤质量越好,但当指标达到某一临界值时,其效用趋于恒定。土壤容重、土壤粒径分形维数的隶属度值采用抛物线性隶属函数式 (4) 计算,该指标在一定范围内土壤质量最好,但当指标达到某一临界值时,其效用变差。评价指标的隶属度函数如下^[27]:

S 型隶属度函数

$$F(x) = \begin{cases} 1 & (X \geq X_0) \\ \frac{X}{X_0} & (X < X_0) \end{cases} \tag{3}$$

抛物线性隶属函数

$$F(x) = \begin{cases} 1 & (b_2 \geq X \geq b_1) \\ \frac{X - a_1}{b_1 - a_1} & (a_1 < X < b_1) \\ \frac{X - a_2}{b_2 - a_2} & (a_2 > X > b_2) \\ 0 & (X \leq a_1 \text{ 或 } X \geq a_2) \end{cases} \tag{4}$$

式中, $F(X)$ 为隶属函数, X 为评价因素的实际指标值, X_0 为评价指标的上限值, a_1 和 a_2 为评价指标的下限和上限值, b_2 和 b_1 为最适值的上、下界点。根据黄土高原地区已有研究^[26-27],隶属函数评价指标取值见表 1。

表 1 隶属函数评价指标转折点取值

Table 1 Evaluation index of membership function					
评价指标 Index	a_1	a_2	b_1	b_2	X_0
土壤容重/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) Soil bulk density	0.7	1.8	0.9	1.1	
土壤粒径分形维数 Particle-size distributions	0	3	2.28	2.84	
有机质/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Organic matter					41.5

1.7 数据分析

数据的统计分析采用 Excel 2010 和 PASW Statistics 18.0 软件。首先利用 PASW Statistics 18.0 对试验数据进行了正态分布检验,结果发现试验数据均为正态分布。然后采用该软件中的单因素方差 (ANOVA) 分析同一土层不同处理差异,并用 LSD

法在 0.05 水平进行多重比较,当 $P<0.05$ 时认为差异达到显著水平,此外,借助 PASW Statistics 18.0 软件中的主成分分析法对不同处理土壤理化指标进行筛选。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤物理性质的影响

表 2 为不同处理下猕猴桃园不同土层土壤物理性质的方差分析,表 2 表明,在 0~30 cm 各土层内Ⅱ和Ⅳ处理的土壤容重、田间持水量和土壤孔隙度无显著差异;Ⅰ处理土壤容重、土壤孔隙度和田间持水量分别是Ⅱ处理的 1.01~1.10 倍、0.87~0.97 倍和 1.03~1.06 倍,Ⅲ处理土壤容重、土壤孔隙度和田间持水量分别是Ⅳ处理的 0.92~0.99 倍、1.00~1.10 倍和 1.04~1.11 倍。在 10~30 cm 各土层内,Ⅲ处理土壤容重在该层内显著低于Ⅰ处理($P<0.05$),Ⅲ处理的田间持水量和土壤孔隙度显著高于Ⅰ处理($P<0.05$)。在 30~50 cm 各土层内,Ⅰ处理的田间持水量较Ⅱ处理显著降低 1.15%和 2.26%。就 0~50 cm 土层各处理物理指标均值而言,Ⅲ处理的土壤容重、田间持水量和土壤孔隙度分别是其他处理的 0.91~0.98 倍、1.06~1.07 倍和 1.00~1.10 倍。

表 3 为猕猴桃园不同处理在不同土层土壤粒径体积百分数及分形维数方差分析。表 3 显示,在 0~30 cm 各土层内Ⅱ与Ⅰ处理相比土壤黏粒质量分数增加了 0.46%~2.74%,土壤粉粒质量分数减少了 0.23%~2.42%,使土壤分形维数增加 0.01~0.06;Ⅱ处理土壤砂粒质量分数与Ⅰ处理无差异;Ⅲ处理土壤砂粒质量分数与Ⅳ处理无差异;滴灌处理(Ⅲ和Ⅳ处理)的土壤砂粒质量分数与地面灌溉(Ⅱ与Ⅰ处理)处理均存在显著性差异($P<0.05$)。就 0~50 cm 土层各处理物理指标均值而言,Ⅳ处理与其他处理相比土壤黏粒质量分数增加了 1.21%~2.66%,土壤粉粒质量分数减少了 0.81%~1.41%,土壤分形维数显著增加($P<0.05$),达 2.30。

2.2 不同处理对土壤有机质和土壤养分的影响

表 4 为不同处理下猕猴桃园不同土层土壤化学性质方差分析。表 4 显示,在 0~20 cm 各土层内Ⅰ处理的速效磷和碱解氮与Ⅱ处理无差异。在 0~30 cm 各土层内Ⅳ处理速效磷和碱解氮与Ⅰ和Ⅱ处理无差异;Ⅳ处理速效钾、速效磷和碱解氮分别显著高于Ⅲ处理 30.52~172.97、10.75~109.55 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 20.74~69.40 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($P<0.05$);Ⅱ处理较其他处理 0~20 cm 土层内速效钾显著增加($P<0.05$),是

表 2 不同处理土壤物理性质方差分析
Table 2 Analysis of variance of soil physical properties by different treatments

土层/cm Soil depth	土壤容重/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) Soil bulk density				田间持水量/% Feld capacity				土壤孔隙度/% Soil porosity			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0~10	1.58a	1.56ab	1.45b	1.47ab	24.38ab	23.57bc	24.97a	22.93c	39.50a	40.55a	44.28a	44.11a
10~20	1.64a	1.49ab	1.40c	1.52bc	24.10b	23.52bc	25.66a	23.13c	38.56b	44.51a	45.63a	42.90a
20~30	1.60a	1.46bc	1.40c	1.53ab	22.86a	21.61a	23.85a	23.00a	40.46c	44.88ab	46.03a	41.88bc
30~40	1.65a	1.44b	1.51b	1.51b	21.31c	22.46b	23.88a	23.54a	38.25b	45.45a	42.23ab	42.08ab
40~50	1.49a	1.44a	1.49a	1.54a	21.94b	24.20a	24.20a	21.68b	44.44ab	45.36a	44.08ab	41.35b
0~50	1.58a	1.47bc	1.44c	1.52ab	22.92bc	23.21bc	24.54a	22.90c	40.69b	44.59a	44.78a	42.42ab

注:Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分别为地面灌+除草、地面灌溉+自然生草、滴灌+除草、滴灌+自然生草处理,下同;同行不同小写字母表示相同土层 LSD 检验差异达到显著水平($P<0.05$),下同。

Note: Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, and Ⅳ represent surface irrigation + weed control, surface irrigation + natural grass, drip irrigation + weed control, and drip irrigation + natural grass, respectively; Different lowercase letters with same line indicate that the LSD test reaches a significant level in the same soil layer ($P<0.05$), the same below.

表 3 不同土壤粒径体积百分数及分形维数方差分析

Table 3 Analysis of variance of particle-size distributions and volume fraction of soil particles in different treatments

土层/cm Soil depth	黏粒质量分数/% Clay particle mass fraction				粉粒质量分数/% Silt mass fraction				砂粒质量分数/% Sand mass fraction				分形维数 Particle-size distribution			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0~10	28.45d	29.37c	32.82a	31.83b	60.94ab	60.51b	61.82a	61.90a	10.61a	10.12a	5.36b	6.27b	2.22d	2.24c	2.30a	2.28b
10~20	29.67c	32.41b	33.74ab	33.01a	63.41a	60.99b	62.12ab	61.76ab	6.92a	6.60a	4.14b	5.23b	2.23b	2.29a	2.31a	2.30a
20~30	29.38c	29.84c	36.53ca	32.10b	63.93a	63.70a	59.64b	62.71a	6.70a	6.47a	4.83b	5.19b	2.23c	2.24c	2.36a	2.28b
30~40	31.63a	30.90a	27.17b	32.86a	64.23b	63.73b	67.88b	62.24a	4.14a	5.37a	4.95a	4.90a	2.27a	2.26a	2.17b	2.29a
40~50	31.82ab	29.21b	30.26ab	34.17a	63.79a	64.73a	64.44a	61.25a	4.39b	5.06a	5.29ab	4.58b	2.28a	2.22a	2.24a	2.32a
0~50	30.22b	30.40b	31.67ab	32.88a	63.18a	62.79a	63.39a	61.98a	6.61ab	6.82a	4.94c	5.14bc	2.25b	2.25b	2.27ab	2.30a

其他处理的 1.05~2.52 倍。在 30~50 cm 各土层内, 4 种处理的速效磷无显著差异,变化范围为 8.27~13.47 mg·kg⁻¹;Ⅳ处理碱解氮显著高于其他处理 ($P<0.05$);Ⅲ处理使土壤中的有机质显著增加 ($P<0.05$),是其他 3 种处理的 1.17~1.54 倍。就 0~50 cm 土层各处理化学指标均值而言,4 种处理有机质无显著差异;Ⅰ处理速效钾显著高于其他处理 ($P<0.05$),达 366.66 mg·kg⁻¹;Ⅲ处理的速效钾、速效磷和碱解氮显著低于其他处理 ($P<0.05$);Ⅳ处理的碱解氮为 84.10 mg·kg⁻¹,显著高于其他处理 ($P<0.05$)。

2.3 不同处理土壤质量指数分析

为选取具有代表性的土壤变量对猕猴桃园不同处理土壤质量进行评价,利用主成分分析法对 11 个土壤理化指标进行筛选,结果见表 5。其中 3 个主成分特征值大于 1 且累计频率达到 82.538%。在第一主成分因子载荷值中,砂粒质量分数的载荷值达最大,为 0.938,首先选择为代表性因子。而速效磷、分形维数和黏粒质量分数分别与砂粒质量分数载荷值不超过 10%,因此也被选择作为代表性因子;在第二主成分因子载荷值中,有机质和碱解氮载荷值在 0.95 以上,因此将它们选为代表性因子。在第三主成分因子载荷值中,土壤容重和土壤孔隙度绝对值大于 0.90,因此也被选为代表性因子。

为了找出综合变量,实现因子降维,使所找出的综合变量能全面反映土壤质量信息,对高因子载

荷值进行 Pearson 相关分析,分析结果见表 6。第一主成分因子载荷值中,分形维数的载荷值为 0.861 (表 5),分形维数与砂粒极显著相关 ($P<0.01$),相关系数为-0.76,而且分形维数与其他因子的相关系数和为-0.07,达最低(表 6);第二主成分因子载荷值中,有机质的载荷值为0.962(表 5),与碱解氮的相关系数为 0.73,极显著相关 ($P<0.01$),有机质相关系数和为 3.41,达最大(表 6);第三主成分因子载荷值中土壤容重载荷值绝对值最大,而且土壤容重和孔隙度的相关系数为-0.97,极显著相关 ($P<0.01$)。分形维数、有机质和土壤容重三者的相关系数分别为-0.11 和-0.20,相关性较小且不显著(表 6)。因此,选择分形维数、有机质和土壤容重对猕猴桃园不同处理土壤进行质量指数计算,其中分形维数、有机质和土壤容重权重分别为0.281、0.364 和 0.355。

不同处理土壤质量指数在不同土层方差分析表明(表 7),4 种处理在 0~10 cm 和 40~50 cm 各土层的土壤质量指数无显著差异;Ⅲ处理在 10~30 各土层土壤质量指数显著高于其他处理 ($P<0.05$),是其他处理的 1.06~1.22 倍;在 0~10 cm 和 30~50 cm 各土层,Ⅰ处理土壤指数大于或等于Ⅱ处理,二者无差异;Ⅲ处理土壤质量指数小于Ⅳ处理,二者无差异。就各处理在 0~50 cm 各土层土壤质量指数均值而言,其大小次序为Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅰ。

表 4 不同处理土壤化学性质方差分析

Table 4 Analysis of variance of soil chemical properties by different treatments																
土层/cm Soil depth	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter				速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available potassium				速效磷/(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus				碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Alkali hydrolysable nitrogen			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	0~10	24.41a	21.23ab	16.71c	20.04bc	577.69a	293.24b	107.62d	183.65c	114.78a	128.83a	10.52b	120.07a	102.28a	118.42a	49.02b
10~20	38.56c	44.51ab	45.63a	42.90bc	371.33a	202.91c	102.34d	275.31b	37.81a	40.21a	10.62b	48.40a	59.15b	53.90b	48.47b	127.38a
20~30	14.63ab	12.25b	15.69ab	16.45a	395.82a	204.63b	115.04d	145.56c	14.03b	30.07a	4.89c	15.64b	61.27a	48.31b	42.54b	63.28a
30~40	10.72c	11.60bc	16.54a	13.09b	279.48a	185.05b	110.92c	112.42c	13.00a	12.20a	8.27a	13.47a	33.53b	37.00b	47.02a	52.67a
40~50	11.56b	12.54b	15.92a	13.61b	171.55a	163.73a	109.80b	119.62b	12.67a	12.30a	9.77a	12.92a	37.66b	36.67b	51.02a	53.85a
0~50	16.23a	14.71a	15.68a	15.99a	366.66a	222.98b	109.16d	163.82c	40.09ab	46.20a	9.35c	43.66ab	60.51b	59.73b	48.81c	84.10a

表 5 土壤质量指标的主成分因子载荷值和公因子方差

Table 5 Principal component factor load and common factor variance of soil quality indicators													
主成分 Principal component	土壤容重 SBD	田间持水量 FC	土壤孔隙度 SP	黏粒质量分数 CMF	粉粒质量分数 SMF	砂粒质量分数 SDF	分形维数 PSD	有机质 OM	速效钾 APM	速效磷 AP	碱解氮 AHN	特征值 PV	方差贡献率 VC/%
第一主成分 Principal component 1	0.190	0.232	-0.218	0.896	0.828	0.938	0.861	-0.243	-0.420	0.843	-0.171	4.443	38.376
第二主成分 Principal component 2	-0.102	-0.221	0.071	-0.062	-0.097	0.030	0.137	0.962	-0.861	-0.299	0.980	2.725	25.555
第三主成分 Principal component 3	-0.955	0.469	0.923	0.036	-0.234	-0.027	-0.034	0.021	0.028	-0.063	-0.011	1.912	18.606
公因子方差 Common factor variance	0.959	0.322	0.905	0.807	0.749	0.881	0.761	0.984	0.918	0.803	0.989		

Note:SBD: soil bulk density; FC: filed capacity; SP: soil porosity; CMF: clay mass fraction; SMF: silt mass fraction; SDF: sand mass fraction; PSD: particle-size distribution; OM: organic matter; APM: available potassium; AP: available phosphorus; AHN: alkali hydrolysable nitrogen; PV: proper value; VC: variance contribution; CVN: cumulative variance contribution.

表 6 关键因子的 Pearson 相关系数

Table 6 Pearson correlation coefficients of key factors

因子 Factor	土壤容重 SBD	田间持水量 FC	土壤孔隙度 SP	有机质 OM	速效钾 APM	速效磷 AP	碱解氮 AHN	粘粒质量分数 CMF	粉粒质量分数 SMF	砂粒质量分数 SDF	分形维数 PSD
土壤容重 SBD	1.00	-0.24	-0.97 **	0.16	0.34 *	0.17	0.18	-0.15	-0.02	0.22	-0.11
田间持水量 FC	-0.24	1.00	0.15	0.33 *	0.08	0.06	0.08	-0.18	0.08	0.15	-0.09
土壤孔隙度 SP	-0.97 **	0.15	1.00	-0.22	-0.34 *	-0.19	-0.2	0.12	0.07	-0.25	0.28
有机质 OM	0.16	0.33 *	-0.22	1.00	0.7 **	0.75 **	0.73 **	-0.25	-0.3	0.71 **	-0.20
速效钾 APM	0.34 *	0.08	-0.34 *	0.70 **	1.00	0.75 **	0.63 **	-0.28	-0.24	0.69 **	-0.22
速效磷 AP	0.17	0.06	-0.19	0.75 **	0.75 **	1.00	0.56 **	-0.22	-0.4 **	0.68 **	-0.15
碱解氮 AHN	0.18	0.08	-0.20	0.73 **	0.63 **	0.56 **	1.00	-0.08	-0.38 *	0.57 **	-0.03
粘粒质量分数 CMF	-0.15	-0.18	0.12	-0.25	-0.28	-0.22	-0.08	1.00	-0.71 **	-0.53 **	0.98 **
粉粒质量分数 SMF	-0.02	0.08	0.07	-0.30	-0.24	-0.40 *	-0.38 *	-0.71 **	1.00	-0.22	-0.77 **
砂粒质量分数 SDF	0.22	0.15	-0.25	0.71 **	0.69 **	0.68 **	0.57 **	-0.53 **	-0.22	1.00	-0.76 **
分形维数 PSD	-0.11	-0.09	0.28	-0.20	-0.22	-0.15	-0.03	0.98 **	-0.77 **	-0.76 **	1.00
相关系数和 Correlation sum	0.58	1.22	-0.55	3.41	3.11	3.01	3.06	-0.3	-1.89	2.26	-0.07

注: * 和 * 分别表示 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 。

Note: ** and * represent significance at $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively.

表 7 不同处理土壤质量指数方差分析

Table 7 Analysis of variance of soil quality index with different treatments

处理 Treatment	0~ 10 cm	10~ 20 cm	20~ 30 cm	30~ 40 cm	40~ 50 cm	0~ 50 cm
I	0.602a	0.511c	0.508b	0.450b	0.541a	0.530b
II	0.587a	0.577ab	0.554b	0.450b	0.565a	0.576a
III	0.606a	0.612ab	0.620a	0.562a	0.552a	0.598a
IV	0.623a	0.571b	0.562b	0.572a	0.573a	0.619a

3 讨 论

本研究表明, I、II、III 和 IV 处理在猕猴桃园 0~50 cm 土层的有机质分别为 16.23、14.71、15.68 g · kg⁻¹ 和 15.99 g · kg⁻¹;速效钾分别为 366.66、222.98、109.16 mg · kg⁻¹ 和 163.82 mg · kg⁻¹;速效磷分别为 40.09、46.20、9.35 mg · kg⁻¹ 和 43.66 mg · kg⁻¹;碱解氮分别为 60.51、59.73、48.81 mg · kg⁻¹ 和 84.10 mg · kg⁻¹。根据已有关中地区猕猴桃土壤养分评价标准^[28],对上述 4 种处理进行评价,结果表明: I 和 II 处理的速效钾和速效磷丰富,有机质缺乏,碱解氮中等;III 处理的有机质、速效钾、速效磷和碱解氮缺乏;IV 处理速效钾和碱解氮中等,速效磷丰富,有机质缺乏。已有研究表明,肥料对猕猴桃产量的贡献率顺序为氮肥>钾肥>磷肥^[2],过量施用磷肥和钾肥使肥料在土壤中富集,打破土壤微生态平衡,造成土壤环境恶化,形成次生盐渍化,不利于后续植被生长,甚至影响品质和产量^[29-31]。可见, I 和 II 处理会影响猕猴桃园土地利用可持续性,进而影响猕猴桃品质和产量。而 IV 处理施用有机肥可增加土壤中有肥含量,使其达到猕猴桃园施肥标准,有机肥可使土壤中>0.25 mm 水稳性团聚体含量和有机质等显著增加^[32-34],在有机肥中加施一定比例化

肥可提高猕猴桃维生素 C 和糖酸比等^[5],是猕猴桃园土壤肥力管理的有效方法^[18]。从土壤物理性质来看, III 处理能够改善 0~30 cm 土层土壤通气性和持水性(表 2),增加黏粒质量分数和土壤分形维数,但与其他处理比效果并不显著,而且该处理使土壤中氮、磷、钾和有机质缺乏。此外, IV 处理使土壤质量指数最大(表 7),因此, IV 处理可作为猕猴桃园管理方式,在采用此种管理措施时,为增加土壤养分,改善土壤理化性状,实现土地生产力的可持续性,应适当增加有机肥投入。

果园生草能够改善土壤物理性状,使果园土壤容重下降,土壤孔隙度增加,提升土壤肥力,增强土壤的通气 and 蓄水性^[10]。果园土壤养分含量会随着生草年限发生变化,如梨园自然生草 2 a 使 0~20 cm 表土层主要矿质营养元素含量极显著降低,而生草 7 a 使 0~20 cm 表土层主要矿质营养元素含量显著增加^[7]。本研究表明, II 与 I 处理相比, 0~50 cm 各土层的速效钾降低了 7.82~284.45 mg · kg⁻¹,土壤容重降低了 0.02~0.21 g · cm⁻³,土壤孔隙度增加了 0.92%~7.20%; 0~30 cm 各土层速效磷增加了 2.40~16.04 mg · kg⁻¹,田间持水量减少了 0.81%~1.25%。IV 与 III 处理相比, 0~50 cm 各土层的土壤容重、速效钾、速效磷和碱解氮分别增加了 0.05~0.13、1.50~172.97、3.15~109.55 mg · kg⁻¹ 和 2.83~78.91 mg · kg⁻¹,田间持水量和土壤孔隙度分别降低了 0.85%~2.52% 和 0.15%~4.15%。产生此结果的原因可能是灌溉与生草共同作用的结果, IV 处理土壤养分在第 2 a 开始出现增加趋势,也可能是试验地基础养分较高造成。此外,本研究发现短期(2 a) IV 处理能够影响土壤养分,但对土壤团聚体、土壤有机碳、土

壤微生物、土壤活性酶影响尚不明确,长期(>2 a)Ⅳ处理能否造成土壤养分在表层的富集?土壤的通气性和持水性是否会继续下降?以上问题还需后期进行更深入研究。

4 结 论

- 1)滴灌+除草(Ⅲ)较其他处理在 0~30 cm 各土层降低了土壤容重和砂粒质量分数,增大了土壤孔隙度、田间持水量、黏粒质量分数和土壤分形维数;滴灌+自然生草(Ⅳ)处理在 0~30 cm 各土层速效磷和碱解氮显著高于滴灌+除草(Ⅲ)处理($P<0.05$)。
- 2)0~50 cm 土层内,地面灌溉+除草(Ⅰ)和地面灌溉+自然生草(Ⅱ)处理的速效钾和速效磷盈余,碱解氮中等,有机质缺乏,滴灌+除草(Ⅲ)处理的速效钾、速效磷、碱解氮和有机质均缺乏,滴灌+自然生草(Ⅳ)处理速效钾和碱解氮中等,速效磷盈余,有机质缺乏。
- 3)以分形维数、有机质和土壤容重作为计算土壤质量综合指数的主要因子,地面灌+除草(Ⅰ)土壤质量综合指数显著低于其他 3 种处理($P<0.05$),滴灌+自然生草(Ⅳ)处理的土壤质量综合指数最大。

参 考 文 献:

[1] 李晓红.陕西猕猴桃产业发展现状与对策[J].西北园艺,2010,(1): 8-10.

[2] 高义民,同延安.氮磷钾肥对陕西关中猕猴桃品质、产量和经济效益的影响[J].西北农业学报,2010,19(2): 138-140+145.

[3] 贺文丽,李星敏,朱琳,等.基于 GIS 的关中猕猴桃气候生态适宜性区划[J].中国农学通报,2011,27(22): 202-207.

[4] 胡凡,石磊,李茹,等.陕西关中地区猕猴桃施肥现状评价[J].中国土壤与肥料,2017,(3): 44-49.

[5] 来源,同延安,陈黎岭,等.施肥对猕猴桃产量和品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(10): 171-176.

[6] 黄和平,王智鹏.农业土地资源利用效率评价及改善路径研究——以江西省 11 个设区市为例[J].中国生态农业学报,2019,27(5): 803-814.

[7] 吴玉森,张艳敏,冀晓昊,等.自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响[J].中国农业科学,2013,46(1): 99-108.

[8] 白岗栓,邹超煜,杜社妮.渭北旱塬果园自然生草对土壤水分及苹果树生长的影响[J].农业工程学报,2018,34(3): 151-158.

[9] 史祥宾,刘凤之,王孝娣,等.自然生草对‘贵人香’葡萄产量、品质与枝条抗寒性的影响[J].中国果树,2016(2): 36-39.

[10] 王艳廷,冀晓昊,吴玉森,等.我国果园生草的研究进展[J].应用生态学报,2015,26(6): 1892-1900.

[11] 陈学森,张瑞洁,王艳廷,等.苹果园种植长柔毛野豌豆结合自然生草对土壤综合肥力的影响[J].园艺学报,2016,43(12): 2325-2334.

[12] 付学琴,刘璐珥,黄文新.南丰蜜橘园自然生草对土壤微生物和养

分及果实品质的影响[J].园艺学报,2015,42(8): 1551-1558.

[13] 李建平,高迎,王鹏飞,等.山地果园灌溉施肥轻简技术模式研究[J].农机化研究,2016,38(8): 87-91.

[14] 杨素苗,李保国,齐国辉,等.灌溉方式对红富士苹果根系活力和新梢生长及果实产量、质量的影响,干旱地区农业研究,2010,28(5): 181-184.

[15] 任玉忠,王水献,谢蕾,等.干旱区不同灌溉方式对枣树水分利用效率和果实品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(22): 95-102.

[16] 孙继亮,李六林,陶书田,等.灌溉方式对梨园土壤水分及产量品质的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(1): 61-65+70.

[17] 刘影,唐莉,王毅,等.果园主要灌溉方式及其节水节肥效果[J].北方果树,2016,(4): 1-3.

[18] 李志国,曾华,聂新星,等.施用不同氮、磷、钾肥和有机肥对‘红阳’猕猴桃生长及产量的影响[J].植物科学学报,2015,33(1): 98-108.

[19] 郁俊谊,刘占德,赵菊琴.陕西猕猴桃主产区眉县果园土壤养分分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(4): 117-120+126.

[20] 李新尧,杨联安,杨煜岑,等.猕猴桃园和小麦—玉米轮作田两种土地利用方式对土壤养分状况的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(1): 28-35.

[21] 鲍士旦.土壤农化分析(第 3 版)[M].北京:中国农业出版社,2000: 25-114.

[22] 中科院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978: 62-132.

[23] 王德,傅伯杰,陈利顶,等.不同土地利用类型下土壤粒径分形分析——以黄土丘陵沟壑区为例[J].生态学报,2007,27(7): 3081-3089.

[24] 桂东伟,雷加强,曾凡江,等.绿洲化进程中不同利用强度农田对土壤质量的影响[J].生态学报,2010,30(7): 1780-1788.

[25] Li P, Zhang T, Wang X, et al. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China [J]. Soil & Tillage Research, 2013, 126(1): 112-118.

[26] 许明祥,刘国彬,赵允格.黄土丘陵区侵蚀土壤质量评价[J].植物营养与肥料学报,2005,11(3): 285-293.

[27] 刘毅,李世清,李生秀.黄土高原不同生境土壤结构体分形维数研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(1): 86-92.

[28] 王虎,吕爽,同延安.西安市土壤养分丰缺指标及推荐施肥指标体系[M].北京:中国农业出版社,2014: 171-182.

[29] 刘建玲,廖文华,张作新,等.磷肥和有机肥的产量效应与土壤积累磷的环境风险评价[J].中国农业科学,2007,40(5): 959-965.

[30] 张风华,廖文华,刘建玲.连续过量施磷和有机肥的产量效应及环境风险评价[J].植物营养与肥料学报,2009,15(6): 1280-1287.

[31] 祝海燕,王海峰,李春燕.过量施用钾肥对寿光设施果菜类蔬菜的影响[J].中国蔬菜,2015,1(11): 93-95.

[32] 刘世亮,刘晨旭,刘红恩,等.畜禽粪便有机肥与氮肥配施对小麦土壤理化性状及酶活性影响[J].西北农业学报,2014,23(8): 45-51.

[33] 汪红霞,廖文华,孙伊辰,等.长期施用有机肥和磷肥对潮褐土土壤有机质及腐殖质组成的影响[J].中国土壤与肥料,2014,(6): 39-43.

[34] 王晓娟,贾志宽,梁连友,等.旱地施有机肥对土壤有机质和水稳性团聚体的影响[J].应用生态学报,2012,23(1): 159-165.