

不同灌溉方式对猕猴桃园土壤团聚体结构和养分的影响

赵英¹, 郭旭新¹, 樊会芳¹, 高志永²

(1.杨凌职业技术学院水利工程分院,陕西 杨凌 712100;

2.西安理工大学西北旱区生态水利工程国家重点实验室,西安 710048)

摘要:为探究不同灌溉方式对猕猴桃园土壤结构和养分的影响,2017—2019 年在陕西杨凌猕猴桃种植园布设地面灌溉、微喷灌 2 种处理,测定 0—50 cm 土层的土壤团聚体结构和有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的含量,分析不同灌溉方式下土壤团聚体结构和养分的差异。结果表明:在 0—50 cm 土层,地面灌溉处理土壤中粒径分别为 $>5.0, 2.0\sim 5.0, 1.0\sim 2.0, 0.5\sim 1.0, 0.25\sim 0.5, <0.25$ mm 的颗粒在不同土层中的分布均匀程度高于微喷灌处理,2 种灌溉方式下均以 <0.25 mm 的土壤颗粒分布最为均匀;微喷灌处理土壤中粒径 >0.25 mm 的水稳性大团聚体含量显著高于地面灌溉处理,土壤团聚体的平均质量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)高于地面灌溉,而分形维数(D)低于地面灌溉,土壤氮磷钾总含量高于地面灌溉。微喷灌有利于保持猕猴桃园土壤结构的稳定性和土壤肥力,能促进土壤的可持续发展,是成熟猕猴桃园适宜的灌溉方式。

关键词: 地面灌溉; 微喷灌; 猕猴桃; 土壤团聚体

中图分类号:S275.6

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2021)03-0320-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2021.03.044

Effects of Different Irrigation Methods on Soil Aggregate Structure and Nutrients in Kiwifruit Orchard

ZHAO Ying¹, GUO Xuxin¹, FAN Huifang¹, GAO Zhiyong²

(1. Department of Water Conservancy, Yangling Vocational & Technical College, Yangling, Shaanxi 712100;

2. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

Abstract: In order to explore the effects of different irrigation methods on soil structure and nutrients in kiwifruit orchard, two treatments of surface irrigation and micro-sprinkler irrigation were applied in the kiwifruit orchard of Yangling, Shaanxi Province from 2017 to 2019. The structure of soil aggregates and the contents of organic matter, available nitrogen, available phosphorus and available potassium in 0—50 cm soil layer were determined. The results showed that in 0—50 cm soil layer, the distribution uniformities of the soil particles size of $>5.0, 2.0\sim 5.0, 1.0\sim 2.0, 0.5\sim 1.0, 0.25\sim 0.5, <0.25$ mm in different soil layers under surface irrigation were higher than those under micro-sprinkler irrigation, and the grain of <0.25 mm was the most uniform in the two irrigation methods. The content of water-stable aggregates (> 0.25 mm) in soil under micro-irrigation was significantly higher than that under surface irrigation. The mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) of soil aggregates under micro-sprinkler irrigation were higher than those under surface irrigation, while the fractal dimension (D) was lower than that under surface irrigation. The total contents of N, P and K in soil under micro-sprinkler were higher than those under surface irrigation. Micro-sprinkler irrigation could maintain the stability of soil structure and soil fertility, and promote the sustainable development of soil. It is a suitable irrigation method for mature kiwifruit orchard.

Keywords: surface irrigation; micro-sprinkler irrigation; kiwifruit; soil aggregates

近年来,受全球气候变化影响,我国西部地区农业常面临干旱威胁,部分地区土壤退化,土地生产力下降,农业生产中亟需能促进土地可持续发展的管理技

术。猕猴桃含有丰富的维生素 C,享有“维 C 之王”“水果之王”等美誉,深受世界人民喜爱。我国是世界最大的猕猴桃生产国,截至 2019 年底,我国猕猴桃的栽培

收稿日期:2020-12-24

资助项目:GEF 项目及陕西省林业厅项目(陕林策字[2017]120 号);杨凌职业技术学院自然科学研究项目(A2018018)

第一作者:赵英(1976—),女,博士,副教授,主要从事节水灌溉技术研究。E-mail:570473637@qq.com

通信作者:赵英(1976—),女,博士,副教授,主要从事节水灌溉技术研究。E-mail:570473637@qq.com

面积达 29 万 hm^2 ,总产量达 300 万 t,陕西猕猴桃产量约占全国产量的 40%左右^[1],主要分布在关中地区渭河以南至秦岭北麓^[2],是当地农民脱贫致富的主要产业。在猕猴桃生产中,种植户主要应用传统的地面灌溉方式,随着现代节水灌溉技术的发展,滴灌、微喷灌、喷灌等灌溉方式的应用也逐年增加。农业生产中,土地可持续发展能力受到土壤结构和肥力的影响。已有研究^[3-5]表明,不同灌溉方式对土壤团聚体、有机质、速效氮等理化性质的影响不同,也影响着土地的可持续发展。已有研究^[3-6]主要集中在番茄等种植田,灌溉方式对猕猴桃园土壤的研究还不深入。本研究在杨凌蒋家寨开展试验,比较分析地面灌溉、微喷灌 2 种灌溉方式对猕猴桃园土壤团聚体结构和养分的影响,旨在筛选适宜的灌溉技术,为当地猕猴桃产业的可持续发展提供一定的科学依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域设在陕西省咸阳市杨陵区蒋家寨村

($108^{\circ}01'E, 34^{\circ}18'N$)。该区地处关中平原,海拔高度 320~924 m,年日照时间 1 646~2 025 h,年均气温 12.0~13.6 $^{\circ}\text{C}$,年均降水量为 550~660 mm,属暖温带半湿润气候,无霜期 193~285 天。

1.2 试验设计

在猕猴桃生育期设置地面灌溉、微喷灌 2 种处理,研究不同灌溉方式对猕猴桃园土壤结构和养分的影响。每种处理设 3 个重复,每个小区面积 30 m \times 15 m(长 \times 宽)。

试验于 2017—2019 年开展,供试猕猴桃品种为当地主栽品种“徐香”,8 年生,株行距 2 m \times 4 m,实行行间除草。2017 年 10 月布设试验,采用农户传统的方式进行施肥管理,每年采收果实后进入冬季对 2 种处理的地块均开沟人工施底肥,翌年生育期内地面灌溉处理进行人工追肥,微喷灌处理采用水肥一体化,其中氮肥(N)用量 345 kg/hm^2 ,磷肥(P_2O_5)用量 473 kg/hm^2 ,钾肥(K_2O)用量 689 kg/hm^2 。灌溉制度见表 1。

表 1 不同处理的灌溉制度

| 灌水时间 | 地面灌溉 | | 微喷灌 | |
|------------------|------|---------|------|---------|
| | 灌水次数 | 灌水定额/mm | 灌水次数 | 灌水定额/mm |
| 萌芽展叶(3月中旬至4月下旬) | 2 | 84 | 3 | 63 |
| 开花坐果(5月上旬至5月中旬) | 1 | 42 | 1 | 21 |
| 果实膨大(5月下旬至9月上旬) | 13 | 546 | 18 | 378 |
| 果实成熟(9月下旬至11月上旬) | 2 | 84 | 4 | 84 |
| 合计(灌溉定额) | 18 | 756 | 26 | 546 |

1.3 土样采集

2019 年 10 月 20 日在每个试验小区用土钻和 100 cm^3 环刀取土。沿着猕猴桃种植行向,分别在距离小区首部 5,15,25 m 处,选择行间中部,从地表以下 0—50 cm 深度,每隔 10 cm 钻土取样,每个小区共取土样 15 个。将环刀口上下密封好,再从取土的土钻处取约 150 g 土样装入密封袋,送至实验室测定土壤团聚体组成和有机质、碱解氮、速效磷、速效钾养分等指标。

1.4 指标测定

1.4.1 土壤团聚体组成测定 土壤团聚体是指土壤中大小、形状不一、具有不同孔隙度和机械稳定性及水稳定性的结构单位。通常将粒径 >0.25 mm 的结构单位称为大团聚体^[7]。

土壤团聚体组成测定:采用湿筛法测定水稳性团聚体^[8]。将采集的土样称取 100 g 风干,之后放置于电动振荡机(TTF-100)套筛中(孔径由上至下依次为 5.0,2.0,1.0,0.5,0.25 mm),以最大频率筛分 5 min,得到 $>5.0, 2.0\sim 5.0, 1.0\sim 2.0, 0.5\sim 1.0, 0.25\sim 0.5, <0.25$ mm 各粒径的土壤颗粒,称取各孔径筛上

的土壤质量,计算土壤团聚体各粒径百分含量。把风干的土壤样品按各粒径比例重新配成 50 g 湿筛土样,将套筛放入水桶中并进行电动振荡 30 min,之后轻轻拿出套筛,将留在各级筛子上的团聚体用细水流分别洗入蒸发皿中,待澄清后倒去上层清液,加热蒸干后称量,计算水稳性团聚体组成。

1.4.2 土壤养分测定 有机质含量采用重铬酸钾容量法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;速效磷采用碳酸氢钠法测定;速效钾采用乙酸铵提取法测定,具体方法参照鲍士旦^[9]方法。

1.5 数据处理与分析

本研究中粒径 >0.25 mm 以上颗粒组成的土壤团聚体为水稳性大团聚体。不同处理的土壤团聚体结构差异通过计算比较各级粒径团聚体的质量百分数、团聚体的平均质量直径、几何平均直径和分形维数^[8,10]等指标进行分析。各指标计算方法为:

(1)某级粒径团聚体的质量百分数 $W_{ji}(\%)$:

$$W_{ji} = \frac{W_i}{W} \times 100\%$$

(2)平均质量直径(MWD,mm):

$$MWD = \sum_{i=1}^n \overline{R}_i \cdot W_{ji}$$

(3)几何平均直径(GMD,mm):

$$GMD = \sum_{i=1}^n \ln \overline{R}_i \cdot W_{ji}$$

式中: W_{ji} 为某级粒径水稳性团聚体烘干质量(g); W 为分析样品总质量(g); \overline{R}_i 为某粒径团聚体的平均直径(mm)。

采用分布均匀度表示某级团聚体在0—50 cm内不同土层间的分布均匀程度。

(4)分布均匀度(E_d ,%):

$$E_d = (1 - \frac{W_{ji\max} - W_{ji\min}}{\overline{W}_{ji}}) \times 100\%$$

式中: $W_{ji\max}$ 、 $W_{ji\min}$ 、 \overline{W}_{ji} 为10,20,30,40,50 cm 5个土层深度处某级粒径团聚体的质量百分数最大值、最小值、平均值(%)。

(5)土壤团聚体质量分形维数(D)

$$D = 3 - \lg(\frac{W_i(\delta < d_i)}{W_0}) / \lg(\frac{d_i}{d_{\max}})$$

式中: $W_i(\delta < d_i)$ 为粒径 $< d_i$ 的土壤颗粒累积质量(g); W_0 为全部各级粒径土粒的质量之和(g); d_i 为2个筛分粒级的平均粒径(mm); d_{\max} 为最大粒级土粒的平均直径(mm)。以 $\lg(\frac{d_i}{d_{\max}})$ 为横坐标, $\lg(\frac{W_i(\delta < d_i)}{W_0})$ 为纵坐标进行线性拟合,直线斜率即为 $3 - D$,可得到 D 值。

利用 Excel 软件和 DPS 数据处理系统进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉方式对猕猴桃园土壤团聚体结构的影响

2.1.1 不同灌溉方式下猕猴桃园土壤团聚体组成

由图 1 和图 2 可知,长期采用地面灌溉和微喷灌后,不同粒径的土壤颗粒在不同土层中的分布规律不同。在0—50 cm 土层,地面灌溉和微喷灌处理的土壤团聚体中均以 < 0.25 、 > 5.0 mm 的粒径为多,2.0~5.0,1.0~2.0,0.5~1.0,0.25~0.5 mm 4种粒径较少;其中地面灌溉处理 < 0.25 mm 的粒径显著多于微喷灌处理;微喷灌处理 > 0.25 mm 的水稳性大团聚体显著多于地面灌溉处理(图 3),2种灌溉处理下,其余5种粒径的平均质量百分数均没有显著性差异。可能原因:地面灌溉入畦单宽流量较大,水流在湿润土壤向下入渗的同时向前推进,更容易破坏大的土壤团聚体,在每个土层都形成较多的粒径 < 0.25 mm 的细小土壤颗粒,尤其是在0—10 cm 表土层分布更多,即在地面灌溉结束后地表会形成一层主要由粒径 < 0.25

mm 的土壤颗粒组成的致密层,也容易导致地表板结。微喷灌的喷灌强度一般小于土壤入渗速度,不会形成地表积水,小流量灌水在缓慢入渗过程中对于土壤大团聚体的破坏力度较小,更容易保持土壤团聚体原有结构,粒径 > 5.0 mm 的颗粒较多。

纵观同一粒径在0—50 cm 不同土层的分布,地面灌溉土壤中不同粒径的分布均匀程度均高于微喷灌。在地面灌溉和微喷灌下,均以 < 0.25 mm 的颗粒分布最为均匀,均匀度分别为71.9%和51.4%;其次为 > 0.5 mm 的颗粒,分布均匀度分别为36.4%和27.2%。其他粒径的分布均匀度均低于30%,其中地面灌溉下,2.0~5.0 mm 的颗粒分布最不均匀,均匀度仅为9.7%;微喷灌下 > 5.0 、1.0~2.0,2.0~5.0,0.25~0.5 mm 4种粒径的分布均匀度分别为12.1%,9.5%,4.5%,2.8%。再次说明地面灌溉比微喷灌更容易分解大的土壤团聚体并使土壤颗粒随水运移,从而使得不同粒径的团聚体在各土层内分布较为均匀。

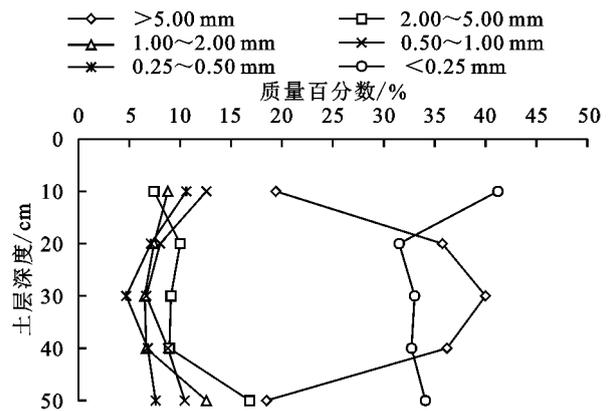


图 1 地面灌溉处理不同土层土壤团聚体的质量百分数

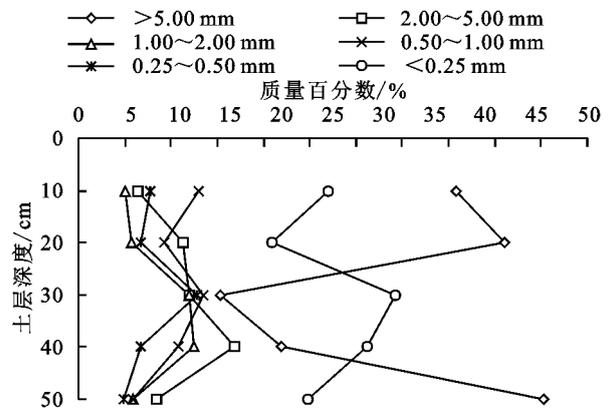


图 2 微喷灌处理不同土层土壤团聚体的质量百分数

2.1.2 不同灌溉方式下猕猴桃园土壤团聚体的分形特征 由图 4 可知,长期采用不同方式灌溉后,不同土层内的土壤团聚体 MWD 和 GMD 不同。在0—50 cm 土层内,地面灌溉的 MWD 和 GMD 先增大后减小,在30 cm 处达到最大;微喷灌的先增大后减小再增大,在30 cm 处最小;平均来看,地面灌溉的土壤团聚体 MWD 和 GMD 低于微喷灌,但未达到显著水

平。不同灌溉方式下土壤团聚体的分形维数显示出与 MWD 和 GMD 相反的变化规律,微喷灌下土壤团聚体的分形维数低于地面灌溉,不同土层团聚体分形维数的线性方程的相关系数(R^2)均在 0.90 以上,达到显著水平。结合图 3 所示,微喷灌处理 0—50 cm 土层平均土壤水稳性大团聚体质量百分数显著高于地面灌溉,可知水稳性大团聚体含量越高,土壤团聚体的团聚度越高,水稳定性越强,土壤结构越稳定而不易被破坏。

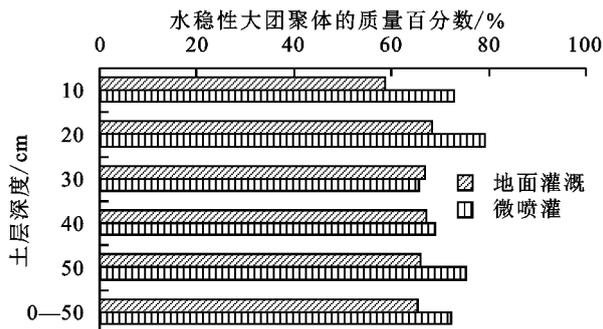


图 3 不同灌溉方式处理不同土层土壤水稳性大团聚体含量

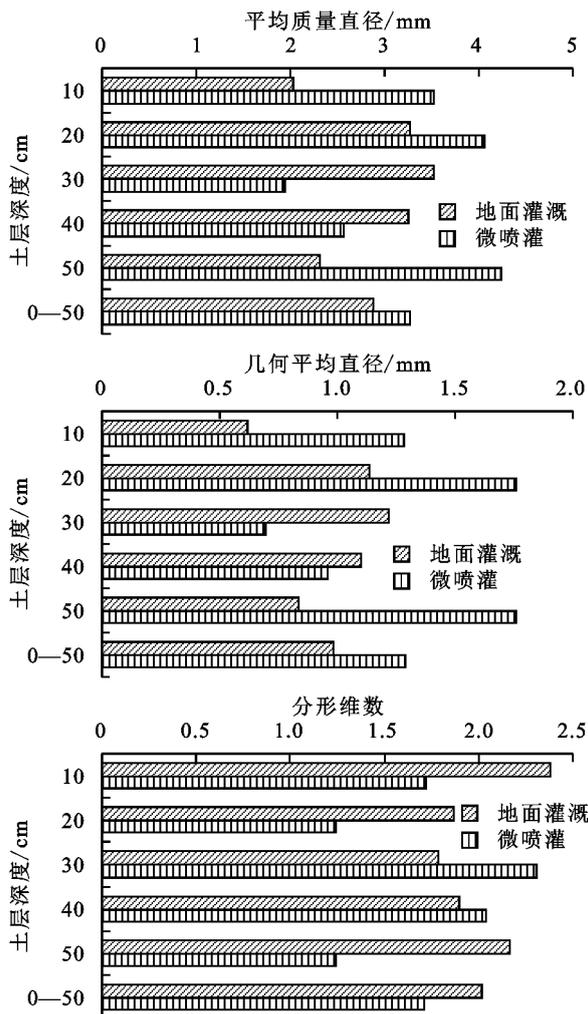


图 4 不同灌溉方式处理不同土层土壤团聚体的分形特征

2.2 不同灌溉方式对猕猴桃园土壤养分的影响

由图 5 可知,在 0—50 cm 土层内,采用地面灌溉和微喷灌,土壤中有有机质、碱解氮、速效磷和速效钾

等 4 种养分含量均以 10 cm 土层处最高,且地面灌溉的 4 种养分含量分别高于微喷灌 10.8%, 1.8%, 2.8% 和 11.3%; 10 cm 以下土层所有养分含量均快速下降,但下降规律不同。其中有机质和速效磷含量随着土层深度的增加而下降,远低于 10 cm 处的水平;碱解氮和速效钾含量的下降规律性不及有机质和速效磷,且在下降过程中,微喷灌处理碱解氮含量在 40 cm 处、速效钾含量在 30 cm 处、地面灌溉速效钾含量在 50 cm 处还有明显增加的情况。20 cm 土层处,不同灌溉方式下的养分含量均低于 10 cm 土层处,且地面灌溉的降低幅度大于微喷灌的,有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量的降低幅度分别大于后者 28.4%, 22.8%, 10.9%, 6.0%。平均来看,0—50 cm 土层内,微喷灌下土壤养分高于地面灌溉,有机质、碱解氮、速效磷和速效钾水平分别高于后者 1.5%, 3.1%, 10.5% 和 14.0%。原因可能在于微喷灌流量小,对于不同养分在土壤中的垂直运移影响较小;而地面灌溉由于灌水量大,使表层土壤的有机质、碱解氮、速效磷和速效钾容易溶于水并随水不断向下运移,导致下层土壤中的肥力水平快速降低。

由表 2 可知,不同灌溉方式下,在不同土层土壤中的碱解氮、速效磷和速效钾的比值(下称“氮磷钾比值”,以同一土层的碱解氮含量为基数计算并比较)不同。在 10 cm 土层,地面灌溉和微喷灌方式下土壤氮磷钾比值近似相同,速效磷含量为碱解氮含量的 1.07, 1.08 倍,速效钾含量为碱解氮含量的 3.58, 3.28 倍。20 cm 及其以下土层,地面灌溉的土壤氮磷钾比值中速效磷所占比例快速下降,但相对稳定,其比例由 10 cm 处的 1.08 下降至 0.30~0.34;速效钾含量所占比例则快速提高,由 10 cm 处的 3.58 提高至 3.71~5.60;微喷灌下速效磷所占比例下降较为平缓,且随着土层深度的增加而逐渐下降,由 10 cm 处的 1.07 逐渐下降至 0.60~0.16;速效钾所占比例呈现先提高后降低的趋势,到 30 cm 处由 10 cm 处的 3.28 提高至 8.44, 达到最大,之后重新降低逐渐接近 10 cm 水平。本试验表明,速效磷在土壤中移动性较差,即使是在地面灌溉方式下也很难随着入渗水流快速向下运移,大部分滞留在地表下 10 cm 左右;微喷灌下虽然灌水流量小,入渗速度慢,但灌水周期短,次数多,有助于部分速效磷继续向下运移。速效钾较速效磷易溶于水并随水向下运移,尤其是在地面灌溉大流量的灌水中更易溶解并向下运移,甚至造成淋失;微喷灌灌水流量小,只能使大部分速效钾向下运移至一定土层深度而不易流失,如本试验中在 30 cm 深度速效钾所占比例达到最大。

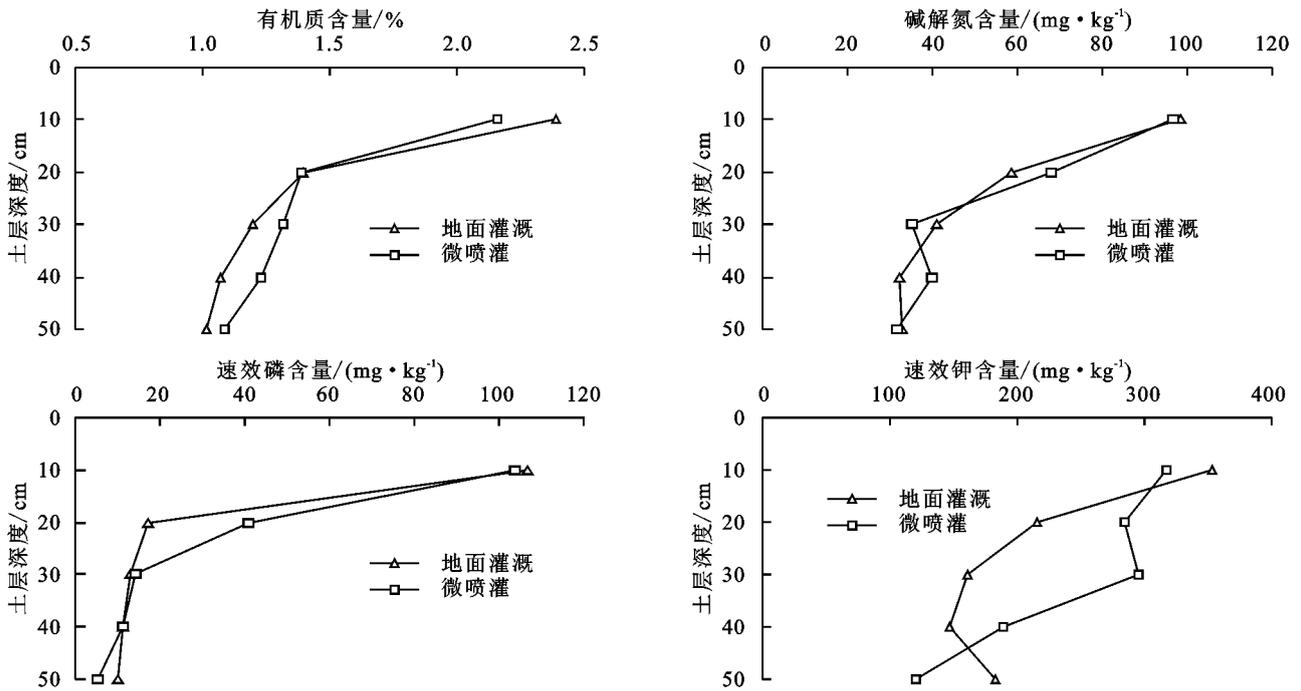


图 5 不同灌溉方式对土壤养分的影响

表 2 不同灌溉方式下土壤氮磷钾含量的比值

| 土层深度/cm | 碱解氮 : 速效磷 : 速效钾 | |
|---------|--------------------|--------------------|
| | 地面灌溉 | 微喷灌 |
| 10 | 1.00 : 1.08 : 3.58 | 1.00 : 1.07 : 3.28 |
| 20 | 1.00 : 0.30 : 3.71 | 1.00 : 0.60 : 4.19 |
| 30 | 1.00 : 0.32 : 3.91 | 1.00 : 0.41 : 8.44 |
| 40 | 1.00 : 0.34 : 4.56 | 1.00 : 0.28 : 4.79 |
| 50 | 1.00 : 0.31 : 5.60 | 1.00 : 0.16 : 3.81 |

2.3 土壤团聚体与土壤养分的关系

由表 3 可知,相对于地面灌溉,微喷灌下 0—50 cm 土层内的土壤具有更多的水稳性大团聚体,相应的氮磷钾总含量也较高,有机质含量差异不大。可见,土壤结构中大团聚体越多,越易保存氮磷钾等营养元素,土壤肥力越高。地面灌溉容易发生深层渗漏,易使 0—50 cm 土层内所含大团聚体分解向下运移,而 <0.25 mm 的细小颗粒漂浮上移,土壤中的氮磷钾等营养元素则随水向下运移。微喷灌更容易保持土壤的大团聚体结构和肥力。

表 3 不同灌溉方式下 0—50 cm 土层的土壤水稳性大团聚体和氮磷钾含量

| 灌溉方式 | 水稳性大团聚体的 | 氮磷钾总和/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 有机质/% |
|------|----------|--|-------|
| | 质量百分数/% | | |
| 地面灌溉 | 65.49 | 295.96 | 1.41 |
| 微喷灌 | 72.38 | 330.50 | 1.44 |

3 讨论

团聚体是土壤结构的基本单元,团聚体组成与稳定性是评价土壤结构和质量的敏感性指标^[10]。土壤 MWD 和 GMD 是表示土壤团聚度和稳定性的主要

指标,其值越大,土壤稳定性越高^[11-13]。不同灌溉方式对土壤水稳性团聚体的影响不同。袁德玲等^[4]认为,滴灌、渗灌均能提高某一土层的土壤水稳性团聚体的含量和大小。本试验结果显示,在猕猴桃园 0—50 cm 土层,微喷灌下土壤中 >0.25 mm 的水稳性大团聚体含量、MWD 和 GMD 数值均大于地面灌溉,分形维数则小于地面灌溉。该结果与已有研究^[10]结果一致,即土壤团粒结构分形维数随着 >0.25 mm 团聚体含量的增加而降低。微喷灌较地面灌溉更能提升土壤结构的稳定性。

已有研究^[14-15]表明,团聚体是土壤养分的主要载体,团聚体粒径组成比例显著影响土壤氮磷钾等养分的累积,大团聚体对土壤养分的固持具有非常重要的作用。土壤理化特性不仅能内在地影响土壤肥力,还能全面地反映土壤质量的优劣程度^[16]。本研究中,微喷灌处理 0—50 cm 土层的大团聚体含量高于地面灌溉处理,其固持的氮磷钾总含量也高于后者,土壤肥力的保持能力和土壤质量优于后者。灌溉影响土壤有机碳的含量^[5,7],不同灌溉方式对猕猴桃园土壤有机碳等养分的影响需要进一步研究。

耕地的生产潜力在一定程度上受到土壤氮含量高低和供氮能力的影响^[14,17]。史宏志等^[18]研究表明,微喷灌能使烟田 0—30 cm 土层中碱解氮含量提高;灌水定额增加,碱解氮含量呈增加趋势。本研究显示,微喷灌能使猕猴桃园 0—20 cm 土层中的碱解氮含量提高,但并未考虑微喷头的布置间距^[19]、灌水定额^[18,20]、种植年限^[21]和果园生草等^[22]因素对猕猴

桃园碱解氮含量的影响,需要进一步研究。猕猴桃生长需要足够的钾肥,属于喜钾果树^[23]。地面灌溉更容易使施用在地表的氮磷钾肥随水向下运移,造成有效养分尤其是速效钾的淋失。使用微喷灌便于叶面施肥,在高温干旱时期还能增加猕猴桃园的空气湿度,降低猕猴桃叶面温度,减少果实日灼伤的发生率。

4 结论

(1)与地面灌溉相比,在成龄猕猴桃园长期采用微喷灌能显著增加0—50 cm土层土壤中粒径 >0.25 mm的水稳性大团聚体含量。

(2)与微喷灌相比,地面灌溉下土壤中粒径为 >5.0 , $2.0\sim 5.0$, $1.0\sim 2.0$, $0.5\sim 1.0$, $0.25\sim 0.5$, <0.25 mm的颗粒在0—50 cm内不同土层的分布均匀程度高;这些粒径的土壤颗粒中,无论在微喷灌还是地面灌溉方式下,均以 <0.25 mm的颗粒分布最为均匀。

(3)微喷灌下土壤团聚体的平均质量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)高于地面灌溉,分形维数(D)低于地面灌溉。

(4)微喷灌下土壤氮磷钾总含量高于地面灌溉。

微喷灌有利于保持猕猴桃园土壤结构的稳定性和土壤肥力,促进土壤的可持续发展,是成龄猕猴桃园适宜的灌溉方式。

参考文献:

- [1] 李建军.《中国猕猴桃产业发展报告(2020)》发布[EB/OL]. [2020-09-25]. <https://news.nwafu.edu.cn/xnxw/.a2a9454ddf9458fb5a7ce1640e433a4.htm>.
- [2] 雷玉山,王西锐,李永武,等.陕西秦岭南麓猕猴桃产业现状及技术需求分析[J].陕西农业科学,2012(1):123-125.
- [3] 张西超,邹洪涛,张玉龙,等.灌溉方法对设施土壤理化性质及番茄生长状况的影响[J].水土保持学报,2015,29(6):143-147,153.
- [4] 袁德玲,张玉龙,唐首锋,等.不同灌溉方式对保护地土壤水稳性团聚体的影响[J].水土保持学报,2009,23(3):125-128,134.
- [5] 庞喆,王启龙.不同灌溉量对土壤理化性质及水稻生长发育的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(增刊2):37-40.
- [6] 郭旭新,赵英,樊会芳,等.不同灌溉方式对猕猴桃园土壤质量的影响[J].节水灌溉,2019(1):40-44.
- [7] 孙萌,梁曼曼,李寒,等.地面覆盖对核桃园土壤团聚体分布及其化学计量特征的影响[J].水土保持学报,2017,31(4):127-134,190.
- [8] 王亚琼,牛文全,李学凯,等.生物炭对日光大棚土壤团聚体结构的影响[J].水土保持通报,2019,39(4):190-195.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:25-114.
- [10] 周星宇,陈绪文,龚伟,等.大渡河干热河谷区核桃林下种植模式对土壤团聚体分形特征的影响[J].西北林学院学报,2020,35(1):21-27.
- [11] 祁迎春,王益权,刘军,等.不同土地利用方式土壤团聚体组成及几种团聚体稳定性指标的比较[J].农业工程学报,2011,27(1):340-347.
- [12] 王敬哲,丁建丽,王飞,等.艾比湖湿地不同盐渍化土壤粒度组成及可蚀性研究[J].土壤,2018,50(3):598-605.
- [13] 陈婧,王誉陶,张娟,等.黄土高原半干旱区不同土地利用方式下土壤结构特征[J].农业科学研究,2019,40(3):27-31.
- [14] 张向前,杨文飞,徐云姬.中国主要耕作方式对旱地土壤结构及养分和微生态环境影响的研究综述[J].生态环境学报,2019,28(12):2464-2472.
- [15] 刘玮,蒋先军.耕作方式对土壤不同粒径团聚体氮素矿化的影响[J].土壤,2013,45(3):464-469.
- [16] 罗梦娇,艾宁,曹四平,等.土壤质量评价的研究进展[J].河北林果研究,2017,32(3/4):238-243.
- [17] Cameron K C, Di H J, Moir J L. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review [J].Annals of Applied Biology,2013,162(2):145-173.
- [18] 史宏志,高卫锴,常思敏,等.微喷灌水定额对烟田土壤物理性状和养分运移的影响[J].河南农业大学学报,2009,43(5):485-490.
- [19] 李玉刚.农田微喷灌有效湿润层空间土壤含水量均匀性探析[J].甘肃科技,2020,36(3):170-172.
- [20] 张军,李宗阳,李朝阳,等.干旱区农田排水灌溉对枣树根区土壤水盐运移特性的影响[J].水土保持学报,2014,28(4):278-282,288.
- [21] 朱海云,柯杨,李勃,等.种植年限对猕猴桃园土壤养分、酶活性的影响[J].中国农学通报,2018,34(22):97-102.
- [22] 汪星,陆静,樊会芳,等.灌溉和生草对猕猴桃园土壤质量的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(6):101-107.
- [23] 黄文源,龙友华,张承,等.叶面钾肥对猕猴桃产量及品质的影响[J].贵州农业科学,2015,43(11):131-134.