

不同覆盖处理对旱塬苹果土壤环境因子和水分吸收的影响

张丽娜

(兰州市生态环境局榆中分局, 甘肃 榆中 730100)

摘要: 为了进一步了解覆盖措施对苹果园土壤微生物环境和水分吸收的影响, 以6年生‘长富2号’苹果园为试验材料, 通过地膜覆盖、秸秆覆盖和地布覆盖3个处理, 测定覆盖措施对土壤含水量、地温、土壤微生物数量和功能多样性、土壤有机碳含量, 以及树体和土壤稳定同位素含量的影响。结果表明: 地膜覆盖处理使浅层土壤含水量较裸地对照处理升高了13.67%, 但水分利用效率却有所减小。不同覆盖处理间, 随着土壤含水量的降低, 深层土壤水分对树体水分供给率越高; 秸秆覆盖使土壤细菌、真菌、放线菌和微生物总量以及香农指数分别显著升高到裸地对照的140.58%、536.36%、120.36%、140.40%和123.08%。土壤总有机碳含量在秸秆覆盖后显著升高到裸地对照处理的114.41%。地膜覆盖处理土壤有机碳含量显著低于秸秆覆盖处理, 降低到裸地对照的96.89%。综合分析表明, 秸秆覆盖处理较地膜和地布覆盖处理更有利于改善树体生长和土壤环境, 优化不同土层区域水分合理利用, 还可以提高地表降水的有效利用效率。

关键词: 覆盖; 土壤微生物; 土壤有机碳, 稳定同位素; 水分利用

西北干旱半干旱地区降水量小, 蒸发量大, 土壤水资源利用率低已成为影响生态农业发展的主要因素。果树体内的水分主要是通过根系从土壤中吸收, 如何通过改善土壤水分环境提高土壤水分利用效率和保持土壤水分是生态农业健康可持续发展急需解决的问题。因此, 探究果园管理措施对土壤环境和水分利用的影响, 对于改进果园管理措施, 提高土壤水分利用率具有重要作用。

果园覆盖技术在旱作农业中已广泛使用, 有效提高了降水对土壤水分的补给量和效率^[1]。地膜覆盖措施具有明显的保湿保温作用, 可以提高作物根系对土壤养分和水分的吸收能力, 但也阻碍了土壤于空气间的气体交换^[2]。秸秆覆盖较地膜具有更好的透气性和透水性, 能够促使下垫面土壤性质和能量形成新的平衡, 改善水分和养分状态, 提高水分利用效率^[3], 随着秸秆的腐烂, 其还是土壤有机碳的重要来源^[4]。地布相比于地膜具有良好的渗水作用, 有利于土壤气体交换, 但相对秸秆覆盖又不能为有机碳循环提供来源^[5]。根际是土壤环境与植株物质和能力交换最活跃的区域, 根际土壤微生物和有机碳作为作物吸收土壤水分的重要媒介和碳素来

源, 与根系吸收水分有直接关系。根际土壤真菌可以通过菌丝吸收和传输根系外较远区域的水分和养分^[6], 土壤有机碳作为碳循环的主要来源直接影响同化作用效率^[7]。因此, 了解根际土壤微环境变化对探究根系吸收土壤水分的内在关系具有重要作用。

苹果是干旱地区节水农业发展的重要树种, 为了提高果园水分供给和利用效率, 促进果园健康可持续生产, 本研究根据土壤环境稳定同位素质量守恒的原则^[8], 通过测定果树根际土壤微生物数量和多样性及有机碳含量变化规律, 探究不同覆盖措施下果园土壤微环境与不同深层次水分供给的关系, 以为苹果抗旱节水栽培和土壤水分高效利用研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于2020—2021年在甘肃省庆阳市庆城县苹果示范园进行。试验区属干旱气候, 年均降水量520 mm, 年平均气温9.3℃, 无霜期165 d, 有效磷25.9 mg·kg⁻¹、速效钾324.3 mg·kg⁻¹、铵态氮1.40 mg·kg⁻¹、硝态氮30.1 mg·kg⁻¹, 土壤肥力均匀。

以6年生苹果品种‘长富2号’植株为供试材料, 株行距为4 m × 3 m, 选择树势均匀一致的植株作为试材。试验设置3种覆盖处理(黑色地膜覆盖、黑色地布覆盖、玉米秸秆覆盖), 覆盖均为全

收稿日期: 2023-10-25; 录用日期: 2024-02-05

基金项目: 庆阳市农业科技计划资助项目(QNKZ-2020)。

作者简介: 张丽娜(1987-), 硕士, 高级工程师, 主要从事农业生产与土壤环境研究。E-mail: zhanglina.19870909@163.com。

园覆盖, 秸秆覆盖厚度以不见裸露地面为宜, 以裸地作为对照 (CK)。试验按照随机区组设计安排, 每个处理设置 3 个重复, 每个试验小区为 16 m × 12 m。各试验小区各项管理措施均相同, 于 2020 年秋季果实采收后进行覆盖处理, 2021 年在树木旺盛生长季节每月取土样一次, 测定土壤各项性状指标。每个处理随机选择 3 株, 在树木四周 30~50 cm 处随机选择 4 个采样点, 挖取 30~50 cm 深土壤样本和根系, 抖落非根际土壤后用毛刷刷取根际土壤, 并迅速将土样和根系分别装入自封袋。采样时尽量降低人为因素或田间施肥灌水的干扰。

1.2 指标测定

果园地温和含水量测定: 不同处理小区内于行间和行内分别布置曲管地温计 (DWJ-112, FJZD), 在每次取测定土壤样本当天 11:00 分别测定 5~25 cm 深层土壤温度; 采用烘干法测定土层深度 1~150 cm 处土壤含水量, 每 10 cm 取样混匀为一个测定层次。

土壤微生物数量和多样性测定: 采用平板计数法统计土壤细菌、真菌和放线菌数量, 分别采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基, PDA 培养基和放高氏 1 号培养基对微生物进行培养分离^[9]。土壤微生物功能多样性分析在采样后 48 h 内进行, 采用 BIOLOG 生态测试板 (ECO MicroPlate, USA) 分析微生物 Shannon 指数^[10]。

$$\text{Shannon 指数} = - \sum P_i \ln P_i$$

式中, P_i 表示第 i 个非对照孔中的吸光值与所有非对照孔吸光值总和的比值, 即 $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$ 。

土壤有机碳活性测定: 土壤总有机碳采用重铬酸钾-外加加热法, 用岛津 TOC-SSM-5000A 碳分析仪测定^[10]。

土壤稳定同位素测定: 选取生长健康的 1 年生嫩枝, 剪下后迅速去皮, 装入 PEA 样品瓶中密封保存, 根据 Snyder 等^[11]的方法采集土样。在中国林业科学院进行样品前处理并完成碳氢同位素分析。利用不同深度土壤水分贡献率两端线性混合模型分析土壤表层 0~30 cm (δD_0) 和土壤深层 30~100 cm (δD_{30}) 水分对植株吸收水分的贡献率^[12], a 和 b 分别表示表层和深层土壤水分对植株水分的贡献率, 即 $a \times \delta D_0 + b \times \delta D_{30} = \delta D_s$ 。利用 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素含量分析土壤水分利用效率。

1.3 数据分析及处理

采用 SPSS 17.0 对所得数据进行处理, 采用 Excel 2003 进行作图。

2 结果与分析

2.1 覆盖处理对不同深度土壤含水量和地温的影响

地面覆盖材料不同对土壤水分保存和地温调控作用也不同。覆盖处理对土壤各深度层次含水量的影响具有明显差异 (图 1A), 主要影响区域在土壤 0~40 cm 深处, 地膜、秸秆和地布覆盖处理使土壤含水量分别较对照处理升高了 13.67%、4.46% 和 9.96%; 在深层 40~150 cm 土壤含水量不同覆盖处理下变化不显著, 地膜、秸秆和地布覆盖处理使土壤含水量分别较对照处理升高了 3.25%、0.53% 和 0.85%。地温不仅影响植株根系生长环境, 与土壤水分蒸发也具有密切关系, 地温过高会加快土壤水分蒸发, 而地温降低又不利于作物对水分的吸收利用。不同覆盖处理对地温的影响差异明显 (图 1B), 秸秆覆盖使平均地温较裸地对照降低了 4.07℃, 地膜和地布覆盖使平均地温较裸地对照分别升高了 4.66 和 1.39℃; 随着土壤深度增加, 不同处理对温度的影响变化差异不显著。

2.2 覆盖处理对根际土壤微生物的影响

土壤根际微生物与土壤生态功能相辅相成, 微生物群落的组成和多样性可以用来衡量土壤性质和功能, 与土壤水分和养分吸收具有密切关系。覆盖处理使土壤微生物总量和不同种类的微生物数量具有不同程度升高 (表 1), 秸秆覆盖使各类微生物数量和多样性升高最显著, 细菌、真菌、放线菌和微生物总量以 Shannon 指数分别升高到裸地对照的 140.58%、536.36%、120.36%、140.40% 和 123.08%, 尤其真菌数量升高幅度最大; 地布覆盖处理对细菌、真菌、微生物总量和多样性影响最小, 分别升高到裸地对照的 115.71%、309.09%、115.68% 和 114.17%, 放线菌数量升高与变化最小的地膜覆盖差异不显著。地膜与地布覆盖处理对微生物数量和多样性的影响差异显著。

2.3 覆盖处理对土壤总有机碳含量的影响

土壤活性有机碳是植物体内碳循环的主要来源, 其含量和分布对土壤肥力、作物碳源供给和水分吸收利用都会产生影响。图 2 为不同覆盖处理后土壤总有机碳含量变化。由图 2 可以发现, 土壤总有机碳含量在秸秆覆盖后显著升高, 达到裸地对照的 114.41%, 土壤总有机碳含量在地布覆盖后升高到裸地对照的 103.37%, 土壤总有机碳含量在地膜覆盖后降低到裸地对照的 96.89%, 地布和地膜覆盖

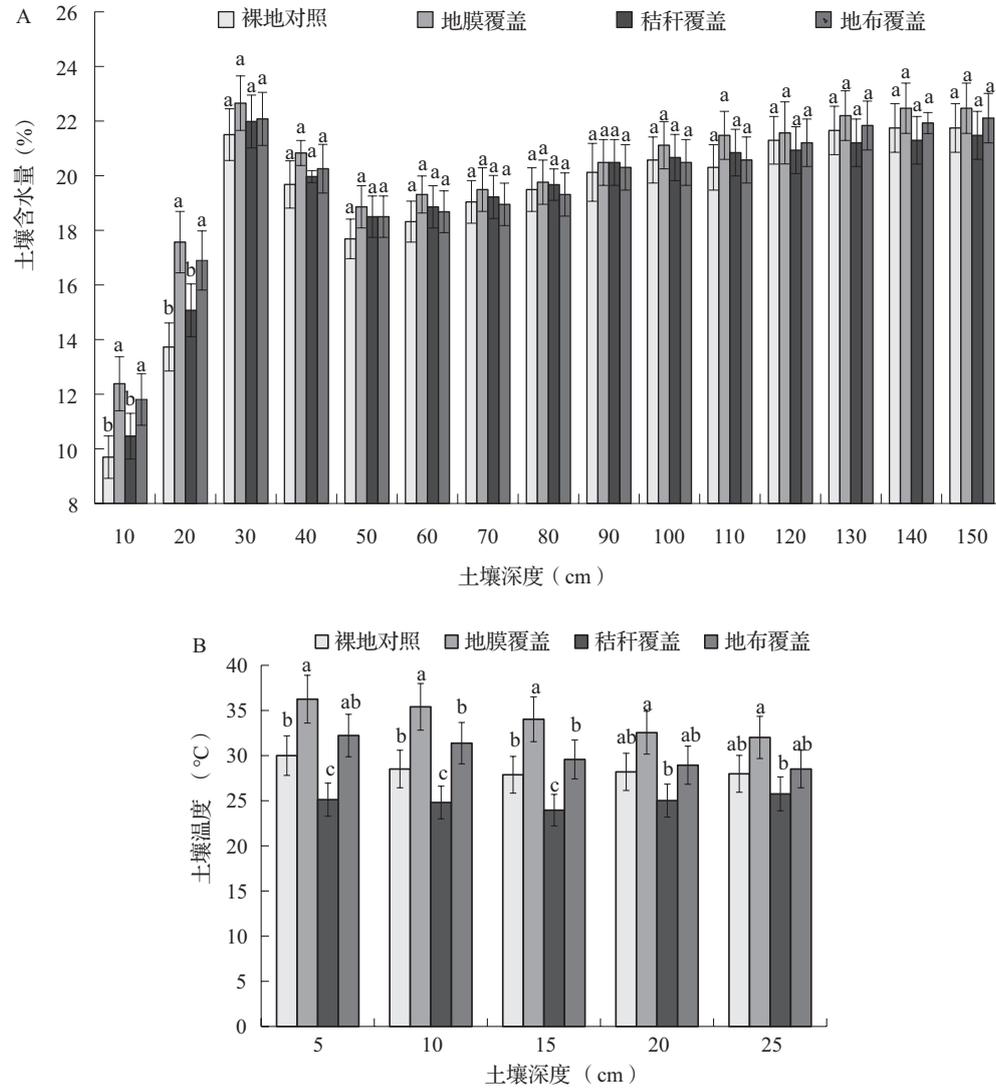


图1 覆盖处理对土壤含水量和地温的影响

注：不同小写字母表示不同处理在同一层次间差异显著 ($P < 0.05$)。

表1 覆盖处理对根际土壤微生物的影响

处理	细菌 ($\times 10^6 \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$)	真菌 ($\times 10^6 \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$)	放线菌 ($\times 10^6 \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$)	微生物总量 ($\times 10^6 \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$)	香农指数
裸地对照	396.5 \pm 2.3c	0.011 \pm 0.0032c	3.88 \pm 0.07c	400.391c	2.47c
地膜覆盖	479.6 \pm 3.3b	0.037 \pm 0.0036b	4.29 \pm 0.13b	483.927b	2.91b
秸秆覆盖	557.4 \pm 3.9a	0.059 \pm 0.0023a	4.67 \pm 0.09a	562.129a	3.04a
地布覆盖	458.8 \pm 1.8b	0.034 \pm 0.0016b	4.32 \pm 0.11b	463.154b	2.82b

注：不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

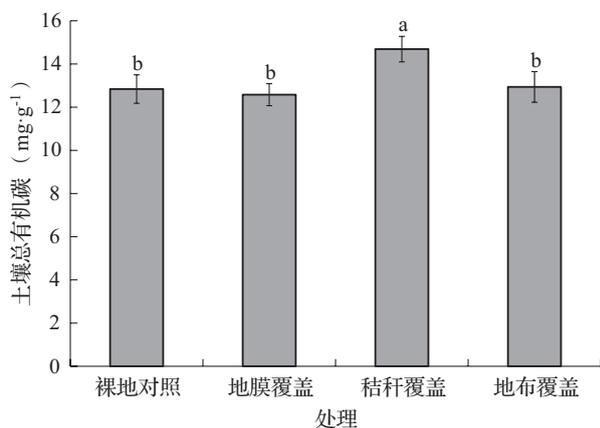


图2 覆盖处理对根际土壤总有机碳含量的影响

注: 不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

处理对土壤总有机碳含量的影响与裸地对照之间差异不显著。

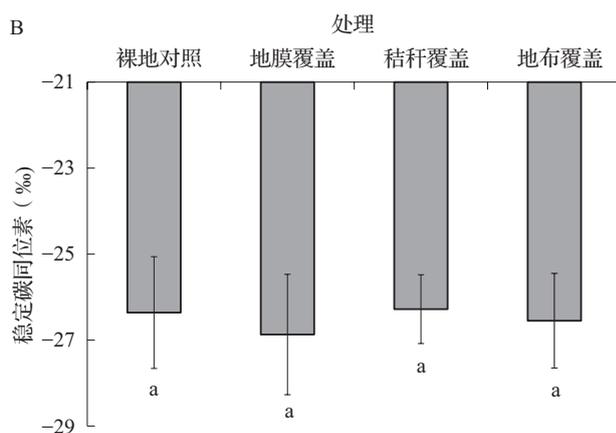
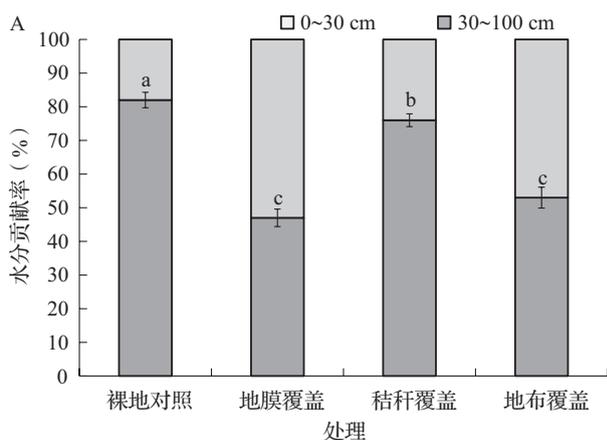


图3 覆盖处理对土壤水分供给来源和利用效率的影响

3 讨论

3.1 覆盖处理对不同深度土壤含水量和地温的影响

黄土高原地区土壤干层现象严重, 土壤水分已成为制约该地区苹果产业可持续发展的主要限制因子^[13]。地面覆盖已成为西北干旱半干旱地区果园管理中常用的农艺措施, 由于覆盖材料能够使光照能量转化和传导途径发生变化, 并且在地表与空气间形成物质和能量交换阻力, 致使土壤含水量和地温较裸地对照存在差异^[14]。覆盖处理可以改变降雨在地表的入渗途径, 但是不同的覆盖材料对土壤水分的分布和耗散影响也不尽相同^[15]。覆盖处理后果园不同深度的土壤温度均较裸地对照升高, 尤其以地膜覆盖最显著。地膜和地布透水透气性较差, 覆盖处理使土层与空气间的交换系数增大, 降

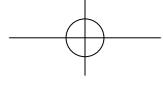
2.4 覆盖处理对土壤水分供给来源和利用效率的影响

土壤和树体中稳定同位素含量变化与土壤水分的吸收来源和效率有显著相关性, 利用土壤水分贡献率两端线性混合模型计算, 发现不同覆盖处理枝条与深层土壤 30~100 cm 处的 δD 值相关系数减小, 即深层土壤水分对树体水分吸收的贡献率降低。裸地对照深层土壤水分贡献率最高, 达到 82.13%, 地膜覆盖处理的深层土壤水分贡献率最低, 为 48.91%, 秸秆和地布覆盖处理深层土壤水分贡献率分别为 75.33% 和 58.19%。树体碳同位素 $\delta^{13}C$ 值可以反映土壤水分的吸收效率, 秸秆覆盖处理使树体碳同位素 $\delta^{13}C$ 值增大, 而地膜和地布覆盖处理使碳同位素 $\delta^{13}C$ 值减小, 即秸秆覆盖处理使树体水分利用效率最大, 而地膜覆盖使树体水分利用效率最小 (图 3)。

低了土壤水分通过地表蒸发耗散, 保存土壤表层水分^[16], 从而使其表层土壤含水量显著升高。秸秆覆盖可以形成类似蓄水层的土层结构, 增加地表水分入渗, 减少地表径流, 从而增强农田保水能力^[17]。地膜和地布覆盖处理后地温升高, 主要是由于地膜和地布透水、透气性较差, 地表吸收到的热量不易通过能量交换散失, 导致地表温度升高。秸秆覆盖使地温较裸地对照降低, 主要是由于秸秆导致光照无法直接辐射到地表, 减少地表吸收的能量, 同时通过土壤含水量升高而增大土壤热容, 从而使地温降低^[18]。

3.2 覆盖处理对根际土壤微生物的影响

覆盖处理使土壤温湿度环境发生变化, 覆盖比不覆盖提高了土壤温度^[19]。土壤微生物生存环境发生变化将必然影响部分种类微生物的生存繁殖。



覆盖可以促进土壤微生物数量的增加和土壤酶活性的提高^[20]。不同覆盖处理都能使各类微生物数量和功能多样性指数升高,尤其秸秆覆盖处理后变化最显著。覆盖处理能够改善土壤温湿度环境,减少土壤温差,有利于微生物活动。覆盖秸秆通过土壤微生物分解作用产生的腐殖质又可以作为微生物生存的养分,且分解产生的酸性物质可使土壤偏酸性而提高微生物活性^[21],从而使土壤微生物数量和多样性显著升高。

3.3 覆盖处理对土壤总有机碳含量的影响

不同材料覆盖处理对土壤物质和能量交换产生不同程度的影响,导致土壤有机碳含量也产生差异。秸秆腐烂后可通过微生物作用转化成有机碳组分,使土壤总有机碳含量显著升高。地膜透气性、透水性较低,覆盖处理使地表形成了阻碍物质和能量交换的隔膜,形成氧气相对匮乏的土壤环境,同时使地表温度显著升高,抑制土壤微生物繁殖和代谢活性,使有机质输入和矿化间的相对平衡被打破,并向有利于有机质矿化的方向改变,导致土壤总有机碳含量降低^[22]。

3.4 覆盖处理对土壤水分供给来源和利用效率的影响

根际土壤和植物体内稳定同位素含量与各水分来源稳定同位素含量具有显著相关性,还能够反映树木水分利用效率。通过测定树木木质部和土壤中水分的 δD 和 $\delta^{18}O$,运用水分来源混合模型确定树木与土层水分的利用比例^[23]。苹果园内地膜覆盖和地布覆盖处理显著降低了30~100 cm深层土壤水分贡献率,主要是由于果园浅层土壤含水量显著升高,根系可以从土壤表层更容易吸收足够的水分,减少了从土壤深层吸收水分的比例;裸地对照和秸秆覆盖土壤表层含水量较地膜和地布覆盖处理低,使浅层根系处于相对水分亏缺状态,必须增大土壤深层水分吸收,以满足树木对水分的需求。土壤水分含量在一定范围内,树木水分利用效率与 $\delta^{13}C$ 具有显著相关性,可以反映自身水分利用效率^[21]。本研究发现,果树 $\delta^{13}C$ 在秸秆覆盖处理时最高,而在地膜覆盖处理时最低,可见,秸秆覆盖可以显著提高土壤水分利用效率,而地膜覆盖使土壤水分利用效率降低。地膜覆盖使土壤温度显著升高,水分蒸发耗散增大,树木蒸腾作用也加快了体内水分散失,致使水分利用效率降低;秸秆覆盖使地温降低,减少了地表水分蒸发和树木水分蒸腾散失,使物理过程的无效水分耗散向生理过程的有效

耗散转化,表现出较高的水分利用效率^[24]。

4 结论

果园管理中水分利用与植株根系生理代谢活性、定植土壤环境具有密切联系,干旱地区常通过改善土壤环境来提高植株水分利用效率。秸秆覆盖处理能够有效降低土壤表层温度,并使根际土壤微生物数量和多样性升高,促进有机碳含量升高,更有利于浅层根系吸收水分,同时土壤温度下降也降低了根系水分运输速率,减少无效耗水,从而提高水分利用效率。地膜覆盖最有利于表层土壤含水量和温度的升高,增大根系水分吸收和运输速率,使土壤水分通过树木的无效耗散增大,表层土壤水分贡献率升高,导致土壤水分利用效率降低;同时,地膜覆盖会改变土壤理化特性,加快有机碳矿化,不利于土壤微生物的生存和繁殖,长期使用必然导致土壤肥力贫瘠,影响树木生长。当前在苹果果园管理中,可通过秸秆覆盖调控土壤温湿度来提高树木水分利用效率和改善土壤微生物环境,但是,覆盖秸秆中常存在大量病虫害源,给病虫害发生提供了适宜的环境,导致树木病害发生,如何使多种覆盖模式相互配合作用,切实提高土壤水分利用效率和防控病虫害发生仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 严正升,郭忠升,宁婷,等. 枝条覆盖对半干旱黄土丘陵区平茬柠条林地土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(21): 6872-6878.
- [2] 温晓霞,韩思明,赵风霞,等. 旱作小麦地膜覆盖生态效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 93-95.
- [3] Huang Y L, Chen L D, Fu B J, et al. The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau: straw mulch and irrigation effects [J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 72(3): 209-222.
- [4] Du Z L, Ren T S, Hu C S. Tillage and residue removal effects on soil carbon and nitrogen storage in the north China Plain [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74(1): 196-202.
- [5] 胥生荣,张恩和,马瑞丽,等. 不同覆盖措施对枸杞根系生长和土壤环境的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(12): 1802-1810.
- [6] Allen M F. Mycorrhizal fungi: highways for water and nutrients in arid soils [J]. *Vadose Zone Journal*, 2007, 6: 291-297.
- [7] 王义祥,叶菁,王成己,等. 不同经营年限对柑橘果园土壤有机碳及其组分的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(10): 1574-1580.

- [8] Mccole A A, Libby A. Stern. Seasonal water use patterns of *Juniperus ashei* on the Edwards Plateau, Texas, based on stable isotopes in water [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 342(3-4): 238-248.
- [9] 张亮, 程智慧, 周艳丽, 等. 百合生育期根际土壤微生物和酶活性的变化 [J]. *园艺学报*, 2008, 35(7): 1031-1038.
- [10] 张林森, 刘富庭, 张永旺, 等. 不同覆盖方式对黄土高原地区苹果园土壤有机碳组分及微生物的影响 [J]. *中国农业科学*, 2013, 46(15): 3180-3190.
- [11] Snyder K A, Williams D G. Water sources used by riparian trees varies among stream types on the San Pedro River, Arizona [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 105(2): 227-240.
- [12] 胥生荣, 张恩和, 马瑞丽, 等. 覆盖对枸杞根系土壤环境和水分利用的影响 [J]. *草业学报*, 2019, 28(2): 12-22.
- [13] 孙琛梅, 程冬冬, 杨超越, 等. 土壤肥力质量与苹果生长、产量及品质关系的研究进展 [J]. *中国土壤与肥料*, 2022(2): 207-215.
- [14] Cook H F, Vaides G S B, Lee H C. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L [J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 91: 227-235.
- [15] 胡实, 谢小立, 王凯荣. 覆被对桔园旱季土壤水分变化和利用的影响 [J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 976-983.
- [16] 梁建财, 史海滨, 李瑞平, 等. 不同覆盖方式对中度盐渍土壤的改良增产效应研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(4): 416-424.
- [17] Govaerts B, Sayre K D, Deckers J. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting? [J]. *Field Crops Research*, 2005, 94: 33-42.
- [18] 张伟, 汪春, 梁远, 等. 残茬覆盖对寒地旱作区土壤温度的影响 [J]. *农业工程学报*, 2006, 22(5): 70-73.
- [19] 何翠翠, 王华, 周斌, 等. 地膜覆盖对热带地区南瓜产量及土壤碳氮的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2023(5): 225-230.
- [20] 罗玲, 刘伟, 钟奇, 等. 不同覆盖材料对避雨葡萄园土壤生物活性的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2020(2): 66-74.
- [21] Bending G D, Turner M K, Jones J E. Interaction between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34: 1073-1082.
- [22] 周永瑾. 沟垄比结合覆盖模式对土壤有机碳、氮含量及马铃薯产量的影响 [D]. 银川: 宁夏大学, 2021.
- [23] Dawson T E. Hydraulic lift and water use by plants: implications for water balance, performance and plant-plant interactions [J]. *Oecologia*, 1993, 95: 565-574.
- [24] 方文松, 朱自玺, 刘荣花, 等. 秸秆覆盖农田的小气候特征和增产机理研究 [J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(6): 123-128.

Effects of different mulching on soil environmental factors and water utilization of apple in the dry tableland

ZHANG Li-na (Yuzhong Branch of Lanzhou Municipal Ecology and Environment Bureau, Yuzhong Gansu 730100)

Abstract: In order to further understand the effects of mulching measures on soil microbial environment and water utilization in apple orchards, a mulching experiment was conducted using a 6-year-old ‘Changfu No.2’ apple orchard as the experimental material. Three treatments of plastic film mulching, stalk mulching and fabric mulching were set up to determine the effects of mulching measures on soil water content, ground temperature, soil microbial quantity and functional diversity, soil organic carbon content, and tree and soil stable isotope content (δD , $\delta^{13}C$). The results showed that, compared with the control treatment, the water content of shallow soil was increased by 13.67%, but the water use efficiency was decreased. With the decrease of water content, the utilization rate of deep soil water by roots was higher. Straw mulching significantly increased the total amount of soil bacteria, fungi, actinomycetes, microorganisms and Shannon index to 140.58%, 536.36%, 120.36%, 140.40% and 123.08% of those of the control treatment, respectively. Soil total organic carbon content was increased significantly after straw mulching to 114.41% of that of control treatment. Soil organic carbon content under plastic mulching treatment was significantly lower than that under stalk mulching treatment, and was decreased to 96.89% of that under bare soil control. It suggested that, compared with plastic film and fabric mulching, stalk mulching could improve the tree growth and soil environment, optimize the rational utilization of water in different soil layers, and improve the effective utilization efficiency of surface rainfall.

Key words: mulching; soil microorganism; soil organic carbon; stable isotope; utilization of water