

渭北果园土壤紧实化改良效果初探

魏彬萌^{1,2,3}, 李忠徽⁴, 王益权^{1,2,3}

(1. 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安 710075; 2. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安 710075; 3. 国土资源部退化及未利用土地整治重点实验室, 陕西 西安 710075; 4. 陕西省水工环地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 针对长期植果造成的渭北果园土壤内部存在的紧实化问题, 本试验通过给果园土壤开“天窗”的方式, 拟打破果园土壤内部存在的紧实化层, 以期提高果园土壤水分利用效率和土壤内部气体交换。于果树萌芽期, 选择土壤质量退化严重的 >20 a 苹果园 3 个作为研究对象, 在长势相同的果树周围用直径 10 cm 的土钻打 30 cm 的深洞, 并向深洞内分别填埋: 蛭石(Z)、炉渣(L)、石灰+土(S)、蛭石+炉渣(ZL)、蛭石+石灰(ZS)。在果树生长的 6—9 月, 分 3 次测定土壤含水率及土壤 CO₂ 释放通量。结果发现: (1) 6 月初至 7 月中旬, 开设“天窗”的处理周围土壤含水率变化在 10.84%~20.42%, 而没有开“天窗”的对照只有 7.46%~15.96%。9 月份, 由于连续降雨的原因, 各处理果园土壤含水率差异不显著。综合对比各处理发现, 添加蛭石+炉渣在调节果园水分方面效果最好。(2) 添加不同物料的处理 6—9 月份“天窗”内表层土壤 CO₂ 释放通量相比对照增加了 7.1%~48.3%, 而 15 cm 处相比对照显著降低了 6.3%~40.4%; 各处理“天窗”周围 10 cm 处 6—9 月份表层土壤 CO₂ 释放通量相比对照增加了 0.2%~37.1%, 15 cm 处相比对照降低了 6.2%~41.6%, 30 cm 处相比对照降低了 0.6%~26.9%, 可见开设“天窗”可以加快郁闭土壤内 CO₂ 气体的释放。另外, 添加的物料不同, 改良效果也不同, 其中添加石灰和蛭石+石灰的处理在改善果园土壤气体交换方面效果较好。

关键词: 土壤紧实化; 土壤改良; 填充物料; 土壤含水率; CO₂ 释放通量; 渭北苹果园

中图分类号: S156 **文献标志码:** A

Preliminary study on improvement of soil compaction in Weibei apple orchard

WEI Bin-meng^{1,2,3}, LI Zhong-hui⁴, WANG Yi-quan^{1,2,3}

(1. Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China;

2. Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China;

3. Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Land and Resources, Xi'an, Shaanxi 710075, China;

4. Shaanxi Hydrogeology Engineering Geology and Environment Geology Survey Center, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Long-term planting has caused soil compaction on Weibei plateau. In order to improve soil water infiltration and air exchange, drilling and backfilled materials (“skylight”) was used to break the compact layer in the soil of orchard. At the germination stage of fruit trees, three apple orchards (>20 a) with serious soil degradation were selected as the research objects. Five materials including vermiculite (Z), slag (L), lime (S), vermiculite plus slag (ZL) and vermiculite plus lime (ZS) were, respectively, filled in holes of 10 cm in diameter and 30 cm deep near the apple trees with similar growth vigor. From June to September, soil water content and CO₂ release flux were determined three times for each treatment. The results showed that soil water content ranged from 10.84%~20.42% in the “skylight” treatments, but in the control treatment soil water content ranged from 7.46%~15.96% from early June to mid-July. In September, there was no significant difference in soil moisture content among different treatments due to continuous rainfall. Comprehensively, the treatment of vermiculite plus slag had the best effect

in improving soil moisture content. From June to September, the CO₂ release flux of the surface soil in the “skylight” increased by 7.1%~48.3%, but it decreased by 6.3%~40.4% at the depth of 15 cm compared with the control. Simultaneously, the CO₂ release flux of surface soil around the “skylight” increased by 0.2%~37.1%, but decreased by 6.2%~41.6% and 0.6%~26.9%, respectively, at 15 and 30 cm compared with the control. It indicated that 1~30 cm holes filled with different materials could promote the release of CO₂ gas in the closed soil. Furthermore, the effects differed from different filling materials, in which lime-vermiculite plus lime had the best effect on enhancing gas exchange. Conclusively, drilling and backfilling materials had good effects on improving permeability and ventilation of compact soil, and the effect varied with the different materials used.

Keywords: soil compaction; soil amelioration; filling material; soil moisture content; CO₂ release flux; Weibei apple orchard

土壤紧实是引起作物产量降低的主要因素之一^[1]。当前土壤耕层薄层化、土体紧实化已经成为我国农田土壤较为普遍的隐性退化形式。石磊等^[2]通过调研陕西省农田土壤紧实度现状后发现,全省耕层土壤紧实度尚合适,但犁底层土壤紧实度过大,已经构成了明显的障碍土层。近年来,随着植果年限的增加,渭北果园土壤也逐渐出现了内部紧实化问题。李鹏^[3]研究发现,渭北果园土壤在 0~30 cm 土层,随土层深度的增加,土壤紧实度急剧增大。孙蕾等^[4]通过研究渭北不同园龄果园发现,长期植果对果园表层土壤结构具有明显的保护和改善作用,却在深层发生着紧实化和坚硬化过程。

渭北果园土壤发生的内部凝结型紧实化是果园土壤水分入渗、上下土层之间气体交换以及果树根系延伸的主要障碍。由于该紧实土层主要埋藏在 20~40 cm 左右,不仅不易被人们所觉察,而且因为该土层的土壤墒情相对稳定,难以受到干湿交替过程的干扰,因此稳定地保持着紧实化的状态,对果树的影响较为持久^[5-6]。对于这样的土壤物理障碍如果不及时剔除,势必会影响到果树的正常生长发育。

在果园实施深翻松土,进而达到打破土壤内部紧实土层的方法,会受果树冠层以及庞大根系的影响而具有相当大的困难,同时,大面积深翻松土必然会伤及果树根系,对果树带来一定的次生损害。针对果园客观实际,寻求行之有效的改良果园土壤内部紧实化问题的技术与手段是摆在土壤学家面前的一项艰巨任务。本研究从果园土壤实际出发,在果树冠层下利用开设“天窗”的局部改良方法,即在果树周围打洞穴,通过洞穴试图促进果园土壤充分接纳降雨,将有限的降水尽可能送到果树根系发育的土层,既提高降水利用效率,又软化亚表层土壤,减小土壤内部紧实化危害等。另外,又试图通过“天窗”,促进果园土壤气体交换,排除因紧实土

层带来的气体交换不畅问题,防止根系积聚还原性气体,威胁根系健康。

渭北果园土壤随植果园龄的增加,除存在底土层的紧实化问题外,还存在钙素退化的问题^[7-8],再考虑到人为管理果园的方便性,既不影响“天窗”应有的改良效果,也不影响果园的正常管理,因此,考虑在开设的“天窗”内填埋不同的物料。蛭石为一种化学成分复杂的层状铁镁铝硅酸盐矿物,具有独特的空间结构,加入土壤后可改善土壤结构,提高土壤的保肥、保水及透气性能^[9],又因为其具有明显的吸水膨胀作用,常作为紧实土壤的疏松材料而被使用。炉渣是从工业和民用锅炉及其他燃煤设备所排出的废渣,其属于多孔体材料,对增加土壤保水性、疏松土壤具有很好的作用,同时农业利用还可以起到保护环境的作用^[10]。石灰是一种很好的消毒剂,对土壤深层病原微生物具有抑制和灭菌作用,同时可以起到中和土壤酸度,增大缓冲容量,改善土壤物理特性,提高土壤有益微生物活力,促使土壤中营养元素被果树吸收等功效^[11]。本研究通过监测开设“天窗”并填埋不同物料后对土壤水分状况及 CO₂ 排放的影响,以期获得改良土壤内部紧实化问题的最佳模式与最佳填充材料,为获取具有可持续性发展特征的果园土壤管理措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验选在植果历史相对较长的陕西苹果主产区之一的渭北旱塬彬县新民镇。该地属黄土残塬沟壑地区,海拔约 1 108 m,年平均气温 9.7℃,昼夜温差 11.7℃,年平均降水量 579 mm,无霜期 180 d,属典型的大陆性暖温带半干旱气候特征。地带性土壤类型为黑垆土(系统分类名称为堆垫干润均腐土(Cumuli-Ustic Isohumosols)。该区具有海拔较

高、光照资源充足、昼夜温差大、气候较为干燥、空气和土壤无污染、土层深厚、土体疏松等利于苹果生长的优越自然条件。果园管理方式多为“清耕制”,多年以施用尿素、磷酸二铵和硫酸钾以及复合肥等无机化肥为主,农家肥几乎不再施用。苹果的种植历史和模式可以代表整个渭北旱塬苹果产区的基本特征。

1.2 试验方案

试验于2017年4月中旬果树萌芽期选择土壤质量退化严重的>20 a的苹果园3个作为研究对象,选取长势相同的果树于冠层投影范围内距树干2/3处用直径10 cm的土钻打30 cm深的孔洞(“天窗”),每棵果树同一边打2钻,埋设不同的物料,分别为:蛭石(Z)、炉渣(L)、石灰+土(S)、蛭石+炉渣(ZL)、蛭石+石灰(ZS),混合物料按体积比1:1混合均匀后填埋,同一果园内不同处理设2次重复,即每个处理设置6次重复。另外,各果园选2棵果树作为对照,采集相关数据。

1.3 监测项目及测试方法

1.3.1 土壤CO₂气体监测 为了探求“天窗”对于改善果园土壤通透性的效果及其效应辐射范围,分别在“天窗”内和距“天窗”水平10 cm的距离处理设土壤剖面CO₂气体测量装置。土壤空气中CO₂释放量采用碱吸收法测定。具体方法如下:

(1)气体采集装置软橡胶管的一端插入倒置并外裹尼龙网的玻璃漏斗(直径4 cm)颈部,另一端引出地面,并接一段硬质玻璃管^[12]。

(2)于埋设物料的孔洞周围10 cm处分别各选3点,用土钻打孔,分别在距地面0、15 cm和30 cm深度处理设气体采集器,并按原土层回填钻孔。在物料填埋孔顶端0 cm和15 cm深度处各埋设一个采样器(具体埋设方法见图1)。以同样方法在2棵未开“天窗”的果树周围各埋设2组气体采样装置,作为对照。以上过程与物料埋设同时进行,于5月1日完成样点布置及装置埋放。

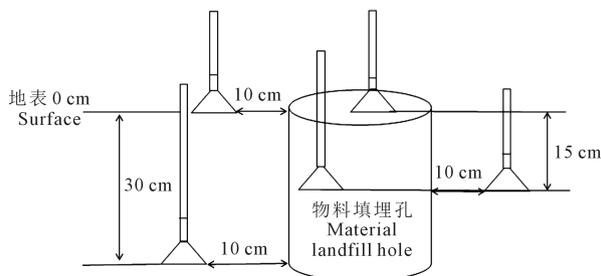


图1 漏斗埋设示意图

Fig.1 Schematic diagram of funnel embedment

(3)采样。将采集器引出地面的软橡皮管接在具密封橡皮塞的三角瓶中,三角瓶中装有已知浓度和体积的NaOH溶液,用于吸收土壤中的CO₂气体。每天上午8:00~9:00测定,测定间隔为24 h,连续测定3 d取其平均值。分别于果树生育期的6月4日—6月7日,7月14—7月17日,9月24日—9月27日进行测定。

(4)CO₂浓度测定用已知浓度的HCl滴定剩余的NaOH。

1.3.2 土壤水分测定 测定CO₂的同时,测定处理区域与对照区域距“天窗”外沿10 cm处0~40 cm土层土壤含水率,用土钻按照深度10 cm的间距取样,铝盒烘干法测定^[13]。

1.4 数据处理

试验均用Excel 2007软件对数据进行统计分析并完成相关图表的制作。

2 结果与分析

2.1 不同“天窗”处理对果园土壤含水率的影响

土壤水分是土壤的重要物理指标,参与植物、微生物等的许多生命活动,影响着土壤微生物群落的组成,土壤养分等各种物质的迁移和活性,进而影响土壤呼吸的变动,尤其是在干旱半干旱地区,土壤水分可能成为限制土壤呼吸的主要控制因子^[14]。在苹果树生育期的6—10月,分3次测定添加不同物料的“天窗”周围10 cm处的土壤含水率。可以看出,各“天窗”处理周围土壤的含水率变化略有差异,但与不开“天窗”的区域果园土壤含水率差别却极为显著(图2)。

6月初,果园0~40 cm土层各处理土壤含水率基本随土层深度的增加呈递减趋势,且开设“天窗”的处理周围土壤含水率变化在16.13%~20.42%,而没有开“天窗”的对照只有10.65%~15.96%(图2a),可见开“天窗”相比对照可明显增强土壤的透水和保水能力,尤其是对20~40 cm土层处土壤墒情的改善发挥着巨大作用。埋设不同物料的处理之间对土壤水分的影响也存在差异,但差异不明显,埋设石灰、蛭石+石灰的处理,其10 cm以下土层土壤含水率相比埋设其他物料的处理稍微有所下降,其他几种物料之间差异不显著。

从6月初到7月中旬,由于长时间没有有效降雨,果园土壤0~40 cm土层开设“天窗”的处理周围土壤含水率为10.84%~15.17%,且添加不同物料的“天窗”之间差异较明显,添加蛭石+炉渣、蛭石的处理土壤含水率相对较高,而添加石灰的处理土壤含

水率最低。但是没有开设“天窗”的对照,土壤含水率仅为 7.46%~9.50% (图 2b),几乎接近于该土壤的萎蔫系数,处于重度干旱胁迫状态。可见在干旱季节,开设“天窗”对果园土壤具有极好的保水作用,而且不同物料对果园土壤的保水性能效果差异明显。

在 9 月份,由于连续降雨的原因,各处理果园土壤含水率均达到了 19.71%~25.63% (图 2c),和对照土壤的含水率差异不明显。但各处理之间,使用炉渣的处理土壤含水率相对较高,使用石灰、蛭石+石灰的处理土壤含水率相对较低。

通过观测 6—9 月添加不同物料的“天窗”处理周围 10 cm 处土壤含水率可以看出,开设“天窗”对于果园土壤透水、保水性能具有极好的改良效果,而且填埋的物料不同,改良效果不同。在开设的“天窗”内埋设蛭石+炉渣,干时保水,湿时排水,尤其对矫正土壤内部 20~30 cm 处土壤墒情不足的问题具有极佳改良效果。

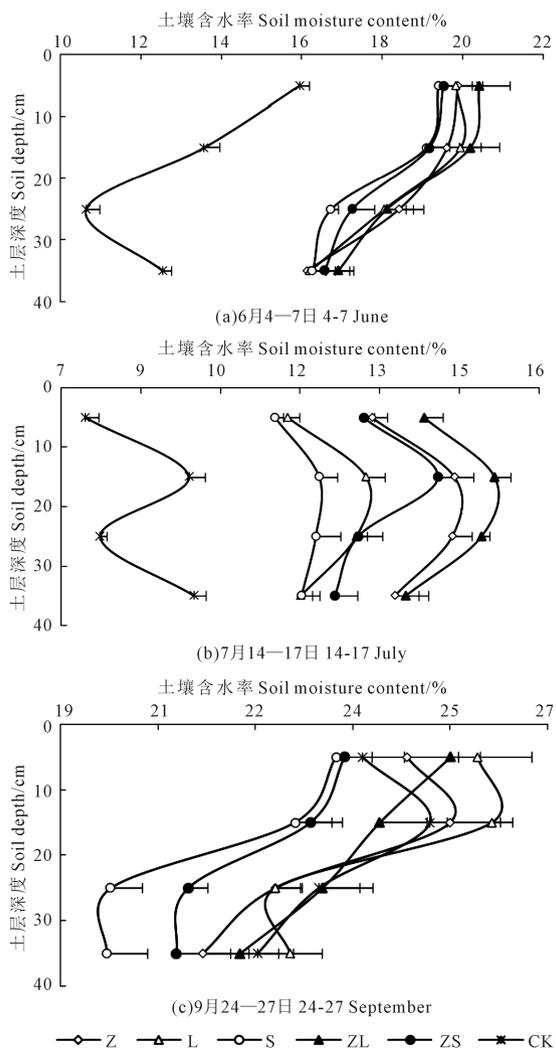


图 2 不同“天窗”处理下苹果园土壤含水率的变化
Fig.2 Changes of soil moisture content in apple orchard under different treatments

2.2 不同“天窗”处理对土壤剖面 CO₂ 释放通量的影响

土壤 CO₂ 释放通量,即通常所指的土壤呼吸,主要是指土壤向大气排放 CO₂ 的过程,包括植物根系呼吸和土壤微生物呼吸^[15]。

由图 3a 可以看出,6 月份,各“天窗”处理对其内部不同土层 CO₂ 的释放通量有明显影响,且物料不同,影响程度不同。添加蛭石、炉渣、蛭石+炉渣、蛭石+石灰物料的处理,“天窗”内表层 CO₂ 释放通量较 15 cm 处分别增加 4.8%、8.25%、10.4%、5.9%,而只添加石灰的处理,“天窗”内表层 CO₂ 的释放通量比 15 cm 处降低 6.7%,原因可能与石灰可以和 CO₂ 发生化学反应有关,即 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ 。相比对照,添加不同物料的处理“天窗”内表层 CO₂ 的释放通量都比对照增加 19.1%~48.3%,而“天窗”内 15 cm 处 CO₂ 的释放通量相比对照减少 24.2%~40.4%,可见给果园开设的“天窗”就如一个“烟囱”,能将土壤内部淤积的 CO₂ 排出土体。

开设“天窗”后,添加不同物料的“天窗”对其周围 10 cm 处不同土层深度土壤 CO₂ 释放通量也有明显影响。比较各处理 0、15、30 cm 取样点处,添加蛭石的处理其表层 CO₂ 释放通量最大;添加炉渣、蛭石+炉渣、蛭石+石灰的处理及对照土壤 15 cm 土层处 CO₂ 释放通量最大;添加石灰的处理 30 cm 处 CO₂ 释放通量最高,表层最少。而且添加蛭石、炉渣、石灰、蛭石+炉渣、蛭石+石灰的“天窗”周围 10 cm 处表层 CO₂ 释放通量相比对照分别增加了 37.1%、34.1%、2.2%、0.4%、7.9%;15 cm 处相比对照分别降低了 34.2%、12.4%、41.6%、34.2%、23.6%;30 cm 处相比对照分别降低了 20.9%、24.6%、15.7%、22.4%、26.9%。可见开设“天窗”对于果园内部集聚的气体排放有很好的效果。

7 月中旬由于长期无降雨,土壤相比 6 月初较为干燥,土壤 CO₂ 释放通量只有 15.82~21.67 mg · m⁻² · h⁻¹,相比 6 月份的 27.05~48.94 mg · m⁻² · h⁻¹ 明显下降(图 3b),这可能由于土壤水分过低限制了根系和土壤微生物的呼吸作用。

7 月份,各处理内部及周围 10 cm 处不同土层 CO₂ 释放通量的变化规律同 6 月份基本一致,除添加石灰的“天窗”处理外,其余各处理“天窗”内表层 CO₂ 的释放通量都比 15 cm 处高。“天窗”周围 10 cm 处,添加蛭石、石灰、蛭石+石灰的处理,土壤 CO₂ 的释放通量表现为 15 cm 处最低,而表层和 30 cm 处相对较高;添加炉渣的处理为 15 cm 处最高,而添加蛭石+炉渣的处理则随土层深度的增加,土壤 CO₂

释放通量逐渐增加。添加蛭石、炉渣、石灰、蛭石+炉渣、蛭石+石灰的“天窗”周围 10 cm 处表层 CO_2 释放通量相比对照分别增加了 32.9%、17.1%、19.1%、15.0%、18.0%，但 15 cm 处相比对照分别降低了 14.1%、6.2%、13.6%、10.3%、23.6%，30 cm 处相比对照分别降低了 3.2%、6.5%、9.2%、4.9%、14.6%，再次证明开设“天窗”对于果园内部集聚的气体排放有很好的效果。

9 月底由于连续降雨，土壤含水率高，土壤 CO_2 释放通量相比 6 月份明显降低，只有 $17.51 \sim 25.32 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 3c)，可能是土壤水分过高阻塞了土壤孔隙，从而限制了 CO_2 的释放；但与 7 月份相比，土壤 CO_2 释放通量变化不明显，可见土壤水分过高或过低都会显著影响土壤 CO_2 的释放通量。9 月

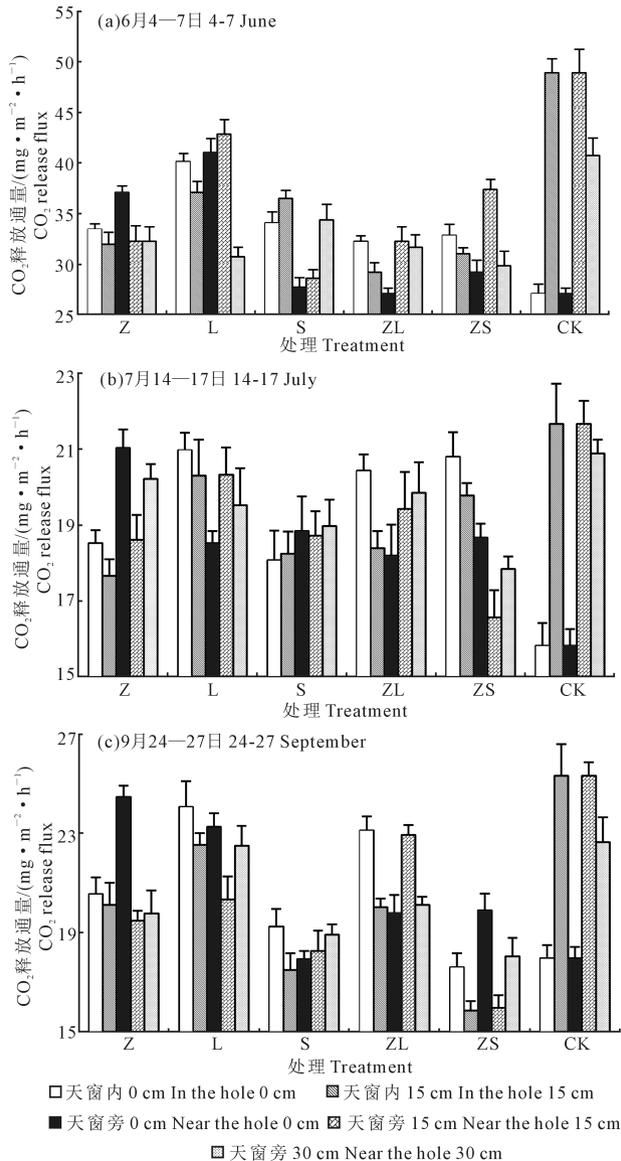


图3 不同处理下“天窗”内和“天窗”旁的 CO_2 释放通量

Fig.3 CO_2 release flux within and around “skylight” under different treatments

份,各处理对其内部和周围 10 cm 处不同土层 CO_2 释放通量影响不同,添加物料的处理“天窗”内表层 CO_2 释放通量都高于 15 cm 处,而对照则刚好相反。“天窗”周围 10 cm 处,添加蛭石、炉渣、蛭石+石灰的处理都是表层土壤 CO_2 释放通量最高,15 cm 处最低;添加石灰的处理 CO_2 释放通量随土层深度的增加而增加;添加蛭石+炉渣的处理则是 15 cm 处最高。添加蛭石、炉渣、石灰、蛭石+炉渣、蛭石+石灰的“天窗”周围 10 cm 处表层 CO_2 释放通量相比对照分别增加了 36.2%、29.5%、0.2%、10.2%、10.8%，但 15 cm 处相比对照则分别降低了 23.0%、19.6%、27.8%、9.4%、36.9%，30 cm 处相比对照分别降低了 12.7%、0.6%、16.4%、11.1%、20.3%，同样证明开设“天窗”对于果园内部集聚的气体排放有很好的效果。而且无论是“天窗”内还是“天窗”周围 10 cm 处,添加石灰和蛭石+石灰的处理土壤 CO_2 释放通量最低。

3 讨论与结论

在同一个生态区,土壤水分状况既取决于土壤的持水能力,也取决于土壤接纳降水入渗的能力。渭北果园因亚表层土壤的紧实化带来的重要问题之一就是限制了水分的入渗和水分向土壤深层的移动。将有限的降雨量滞留在土壤表层,或将发生地面径流,或将在雨后很快被蒸发损失,且增加了果树冠层内空气湿度,增大了果树病害发生的几率,使得天然降水不能成为生理水,而变为了生态水,影响渭北果业的发展。另外,水分入渗过浅,也达不到矫正果园深层土壤墒情和软化内部紧实土层的作用。提高果园土壤水分入渗能力和土壤保水性能是目前亟待解决的重要研究课题,采用给果园土壤开“天窗”的措施,其目的之一,就是将有限的降水拦蓄,使之入渗到土壤水库之中,达到增墒抗旱的目的。

另外,亚表层及其以下土层紧实化的又一个危害是对果园土壤气体交换的影响。土壤紧实,孔隙致密,孔道内被毛管水封闭,导致了土壤透气性能显著降低。再加上果园常年耕作扰动少,土壤中根系和微生物有氧呼吸产生的 CO_2 不易扩散和传递,土体内部 CO_2 浓度势必增加,并逐渐累积。这些逐渐累积的 CO_2 会使根系和微生物的有氧呼吸受到抑制,无氧呼吸进一步加强,产生酒精、乳酸和 CO_2 [16]。土壤中 CO_2 浓度的增加还会使土壤溶液中的 HCO_3^- 浓度升高,张凌云等[17] 研究发现,土壤溶液中较高浓度的 HCO_3^- 还与植物的缺铁黄化有密切

关系。土壤中 CO_2 较高时,还会导致植株的呼吸作用加强,植物光合作用与呼吸作用之间的平衡被打破,碳水化合物降解加快而合成不足,从而使植物的生长受阻^[18]。另外,土壤中 CO_2 浓度的增加,与土壤中碳酸钙反应生成易溶解、易移动的碳酸氢钙 (CaHCO_3),加速了土壤脱钙过程,导致土壤中钙供给水平下降,抑制了植物对土壤中钙素的吸收,导致果树缺钙^[19]。土壤脱钙也会导致团聚体破坏,活性粘粒淋溶与淀积,又加大了内部紧实化。可见土壤内部积聚的 CO_2 是诱发和催化土壤一系列性质变化的动因。

针对渭北果园土壤存在的明显的内部紧实化问题,本研究以局部改良为主,通过给果园土壤开“天窗”的技术措施,一方面可以加快郁闭土壤内 CO_2 气体的释放;另一方面可以在不伤害果树根系的情况下提高土壤的透水性能,改善果园土壤墒情,特别是矫正土壤内部墒情不足问题。通过监测不同物料填埋的“天窗”内及“天窗”周边 10 cm 处不同土层土壤水分和 CO_2 释放可知,开设“天窗”对果园土壤水分和 CO_2 释放通量都有明显的影响,且物料不同,改良效果不同,添加石灰、蛭石+石灰的处理相比添加其他物料的处理,不仅可以吸收土壤内部 CO_2 ,利于土壤内部气体交换,而且可以补充土壤钙素库容;而使用蛭石+炉渣的处理,在改善果园水分方面效果最好。另外,土壤 CO_2 释放通量受土壤含水率的影响较大,太干太湿都会影响土壤 CO_2 的释放。

本研究证明,通过开设“天窗”后添加不同物料对果园土壤水分和 CO_2 释放通量的影响不同,后期还需进一步研究其对果园物理、化学、生物学等指标的影响,以便更精确判断各改良材料的利弊,选择最优的改良方式。

参考文献:

[1] 刘晚苟,山仑,邓西平.植物对土壤紧实度的反应[J].植物生理学

通讯,2001,37(3):254-260.

- [2] 石磊,王娟铃,许明祥,等.陕西省农田土壤紧实度空间变异及其影响因素[J].西北农业学报,2016,25(5):770-778.
- [3] 李鹏.园龄·施肥方式·种植模式对苹果园土壤紧实度的影响—以渭北苹果园为例[J].安徽农业科学,2016,44(21):98-99.
- [4] 孙蕾,王益权,张育林,等.种植果树对土壤物理性状的双重效应[J].中国生态农业学报,2011,19(1):19-23.
- [5] 张卫青,庞奖励,张彩云.陕西渭北旱塬典型苹果园土壤基本性质与微形态特征研究[J].干旱区地理,2010,33(4):564-571.
- [6] 魏彬萌,王益权.渭北果园土壤物理退化特征及其机理研究[J].植物营养与肥料学报,2015,21(3):694-701.
- [7] 陈军.果树生长与土壤条件的关系探析[J].现代农业科技,2010,(9):155-156.
- [8] 魏彬萌,王益权,石宗琳,等.渭北苹果园土壤钙素退化状态[J].中国农业科学,2015,48(11):2199-2207.
- [9] 张新生,王金国,热孜万古丽,等.浅析蛭石及蛭石复合肥农用增产机理[J].新疆农业科技,2010,(4):53.
- [10] 翟永功.工业炉渣在农业生产上的应用[J].世界农业,1994,(9):34-35.
- [11] 石灰的功效及其合理施用[J].农村百事通,1994,(11):34.
- [12] 夏发生,王益权,刘军,等.壤土剖面 CO_2 释放通量的变异特征[J].干旱地区农业研究,2010,28(1):118-120.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析第3版[M].北京:中国农业出版社,2000:22-24.
- [14] 车升国,郭胜利,高会议.黄土高原沟壑区果园还耕对土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):71-75,89.
- [15] 梁福源,宋林华,王静.土壤 CO_2 浓度昼夜变化及其对土壤 CO_2 排放量的影响[J].地理科学进展,2003,22(2):170-176.
- [16] 孙艳,王益权,徐伟君,等.紧实胁迫对土壤呼吸强度及黄瓜生长和品质的影响[J].土壤学报,2008,45(6):1128-1134.
- [17] 张凌云,张宪法,翟衡.土壤因子对植物缺铁失绿的影响[J].土壤通报,2002,33(1):74-77.
- [18] Marcum K B. Salinity tolerance mechanisms of grasses in the subfamily chloridoideae[J]. Crop Science, 1999, 39(4):1153-1160.
- [19] Anderson L G, Tanhua T, Björk G, et al. Arctic ocean shelf-basin interaction: an active continental shelf CO_2 pump and its impact on the degree of calcium carbonate solubility[J]. Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2010, 57(7):869-879.