

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.023

覆膜滴灌条件下土壤改良剂对土壤导气率的影响*

王卫华¹ 李建波¹ 张志鹏¹ 王全九^{2,3}

(1. 昆明理工大学现代农业工程学院, 昆明 650500; 2. 西安理工大学水利水电学院, 西安 710048;

3. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为研究覆膜条件下土壤改良剂对土壤导气率的影响, 进行田间对照试验分析。结果表明: 施加改良剂对土壤颗粒机械组成没有明显改变, 但使土壤容重明显减小、饱和含水率升高、田间持水率升高; 覆膜条件有保水保墒作用, 但阻碍了土壤空气与外界气体的交换, 使土壤导气率降低; 改良剂的施加改善了土壤结构和土壤物理性状, 促进了土壤孔隙内气体流通, 使土壤导气率增大; 石膏对导气率的改善效果最显著, 聚丙烯酰胺 (PAM) 次之, 旱地龙的改善效果最低; PAM 和旱地龙的中、高施量比低施量改善效果更显著, 石膏的中、低施量对导气率的改善效果相近, 高施量处理下导气率为低施量处理的 1.12 倍。说明土壤改良剂对土壤导气率有较好的改善效果。

关键词: 土壤导气率 土壤改良剂 覆膜 聚丙烯酰胺 磷石膏

中图分类号: S152.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)06-0160-08

Effects of Soil Amendments on Soil Air Permeability in Film Mulched Drip Irrigation Field

Wang Weihua¹ Li Jianbo¹ Zhang Zhipeng¹ Wang Quanjiu^{2,3}

(1. Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China

2. Institute of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China

3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was conducted in order to evaluate the effects of soil amendments on soil air permeability under plastic mulching condition. The results showed that soil texture kept slight changes after applying soil amendments; however, it resulted in significant decrease of soil bulk density and increase of saturated water content and field capacity. Although plastic sheet mulch was helpful for soil water storage and heat preservation, it prevented air exchange at soil-atmosphere interface which led to decrease of soil air permeability. Meanwhile, soil structure and physical properties were improved through the application of soil amendments, resulting in clear air flow in soil pores, which led to increase of soil air permeability. Furthermore, the improvement of three types of soil amendment on soil air permeability were ranked in the order of phosphogypsum (PG) > polyacrylamide (PAM) > Handilong. As for PAM and Handilong treatments, high application rate had better effect on soil air permeability than that of low application rate. As for PG treatment, the value of soil air permeability under high application rate was 1.12 times as high as that under low application rate, and moderate and low application rates had similar effects on soil air permeability. The results indicated that soil amendments could obviously improve soil air permeability, which certainly provided new methods for improving soil air permeability during field crops growth.

Key words: Soil air permeability Soil amendments Film mulching Polyacrylamide Phosphogypsum

收稿日期: 2014-12-13 修回日期: 2015-04-09

* 国家自然科学基金资助项目(51179150, 51409136)和昆明理工大学自然科学基金资助项目(KKSY201423023)

作者简介: 王卫华, 副教授, 博士, 主要从事土壤物理研究, E-mail: wangweihua1220@163.com

通讯作者: 王全九, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土工程研究, E-mail: wquanjiu@163.com

引言

农田施肥、灌溉不合理导致土壤退化问题较为突出,主要表现为土壤紧实、硬化、盐碱化、酸化、重金属污染、有机质流失^[1]等,严重制约了农田的生产力。为减少土壤水分蒸发,抑制盐分向土表运移多采用覆膜种植^[2]。针对退化土壤可通过施加土壤改良剂进行修复,达到改善土壤理化性状、提升土壤养分含量、改良土壤微生物环境以及提高土壤生产力的效果^[3-6]。土壤改良剂的研究与应用对防治土壤退化,改良土壤物理、化学、生物学特性具有重要的理论和现实意义。

土壤紧实、硬化等因素阻断了土壤空气与外界气体交换的媒介。土壤空气是影响土壤肥力的重要因素,与土壤中物理、化学和生物过程密切相关。土壤导气率是土壤通气性的重要指标,是反映土壤对外界气体更新速率的重要物理参数^[7]。在农业研究中,土壤导气率的大小可间接反映土壤结构特性,它对作物种植、农业生产和灌溉具有重要的指导意义。影响土壤导气率的因素很多,如土层深度、取样方向、取样尺度、土壤含水率、容重、植物根系含量、植被类型、土壤质地类型、温度、土壤结皮^[8]等,国内外学者针对土壤导气率的影响因素进行了较多研究^[9-12],同时针对土壤改良剂机理研究的学者多集中于改良剂对土壤团聚体、土壤结构、水力参数等方面^[3-4,13]。然而,土壤改良剂的施加对土壤结构性状的改变,进而引起土壤导气率变化的试验研究却鲜有报道。

本文通过田间试验综合分析棉花田在覆膜与否的条件下,施加不同类型、不等剂量土壤改良剂的作用效果,比较分析不同处理条件下土壤导气率随含水率的变化趋势,为进一步从作用机理角度研究施加改良剂对土壤结构性状、土壤基本理化性质,以及土壤导气状况的改善提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在新疆自治区巴音郭楞蒙古自治州重点灌溉试验站(86°09'28"E,41°35'28"N)的棉田(40 m × 30 m)中进行。该试验站地处塔里木盆地北缘,新疆腹地,亚欧大陆中心。地形北高南低、起伏平缓,海拔高度 988 ~ 991 m。远离海洋,深处内陆,导致大陆性气候显著,多年平均降水量 43 mm,蒸发量 2 910 mm,干旱指数 68,年均气温 10.7℃,年均积温 4 184℃,无霜期 144 ~ 210 d^[14]。气候干燥,少雨,风沙较多,四季分明,温差大,日照时间长,以干旱半干

旱气候为主^[14]。

1.2 供试样本

选取棉田中施加聚丙烯酰胺(PAM)、磷石膏(PG)和旱地龙的表土层土壤为研究对象。聚丙烯酰胺(PAM):长链线型高分子聚合物,吸水性强,白色、无味、无毒害作用的固体颗粒或粉末^[4],可增加土壤水分入渗能力,降低土壤流失。磷石膏(PG):灰白色或灰黑色粉末状物质,主要成分为五氧化二磷(P_2O_5)和硫酸钙($CaSO_4$),水溶液呈酸性,pH 值在 2 ~ 4 之间^[13]。钙离子能交换土壤中的钠离子使土壤结构发生变化,而且可被植物吸收保护细胞膜结构、保证新陈代谢正常进行。旱地龙:主要成分为天然低分子量黄腐植酸,无毒、无污染、可吸附土壤中碱性盐,活化钙镁盐类,呈强酸性并含有植物所需的 20 多种微量元素、16 种氨基酸及多种生物活性基团^[15],使土壤内部形成团粒结构及细小的毛细管孔隙。

1.3 试验设计

棉花吐絮期为影响棉花生产质量的重要时期,试验以棉花吐絮期灌水周期中土壤导气率与含水率为例研究改良剂对土壤导气率的影响。试验处理包括 PAM、旱地龙、石膏 3 种改良剂的 3 种施量水平和未施加改良剂的对照组在膜下与膜间的导气率,共 20 个处理。通过对照试验分析覆膜条件、改良剂施量对土壤导气率的影响。

试验田布设:根据改良剂的不同类型、不同施量将试验田块设置为 10 个处理小区;以改良剂施量为标准,分别设置高、中、低施量对试验小区进行处理,其中:PAM 处理试验小区 3 个,施量分别为:7.5、15、30 kg/hm²(编号 1、2、3);旱地龙处理小区 3 个,施量分别为:750、1 500、3 000 kg/hm²(编号 4、5、6);石膏处理小区 3 个,施量分别为 2 001、4 002、5 010 kg/hm²(编号 7、8、9),各小区面积为 10 m × 10 m;1 个对照小区(编号 10),面积 10 m × 30 m。为防止相邻小区不同处理之间的相互影响,在各小区边缘插入高度 45 cm 的 PVC 隔板,其中地面之上 10 cm,地下埋深 35 cm。改良剂在播种前撒施于地表并进行翻耕。

灌溉方式:各小区棉花种植后采用膜下滴灌,灌水周期设为 7 d,从棉花生长到成熟共 16 个灌水周期。在各小区向保护行一侧布设排水口及排水管,防止特殊情况造成的小区积水。

棉花栽培模式:为研究覆膜与不覆膜条件下改良剂对导气率的影响,各试验小区设置 2 个处理,膜下(覆膜)和膜间(不覆膜),于 2012 年 4 月份翻耕播种,田间结构为窄行(20 cm)-宽行(60 cm)-窄行

(20 cm) 相间种植, 宽行、窄行均覆膜。两膜间距 60 cm 为不覆膜区对照, 棉花和监测点布置如图 1 所示。

参数采样: 于 2012 年 8 月份第 14 个灌水周期开始进行土壤容重、田间持水率、地温、导气率和饱和含水率的周期性测定。导气率和饱和含水率膜下

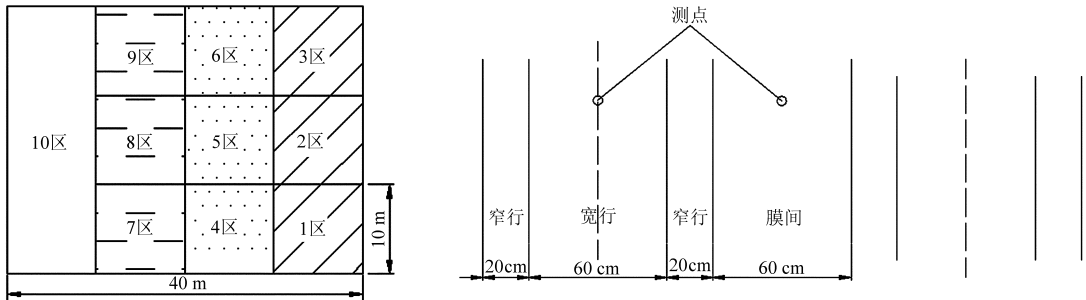


图 1 棉花栽培模式和监测点布置

Fig. 1 Cotton cultivation module and ground monitoring points

1.4 测量方法

土壤导气率的测定采用德国 Umwelt-Geräte-Technik GmbH 公司生产的 PL-300 型土壤导气率测定仪^[8], 并在环刀测量室附近利用地温计测表土层埋深 5 cm 处的地温, 从而保证同步获取导气率和地温。观测时段为 08:00—19:00, 每隔 1 h 读数, 每天观测读数 12 次, 持续一个灌水周期。为保证被测区域土壤结构不变, 减少田间空间变异性对导气率的影响, 测量室应在一个灌水周期内不扰动。在每个试验小区 (10 m × 10 m) 内采用均匀网格采样法, 采样间距 2.5 m × 2.5 m 布设采样点 16 个, 如图 2 所示。用标准环刀 (100 cm³) 取地表 0 ~ 20 cm 土样带回实验室用干燥法测量土壤容重、含水率, 威尔克斯法测田间持水率^[16]; 用密封袋带回土壤样本并风干、研磨, 过 2 mm 筛后用马尔文激光分析仪 (MS2000 型) 测定土壤颗粒组成。

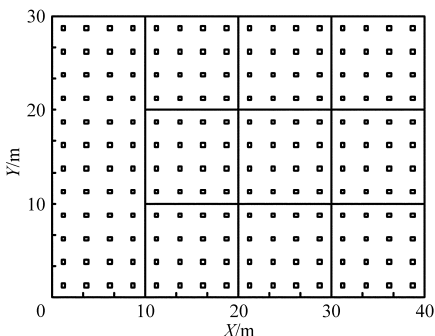


图 2 采样点坐标位置示意图

Fig. 2 Sketch map of sampling sites' coordinates

1.5 数据分析

各采样点获取的参数利用 SPSS 17.0 进行描述性统计, 各处理平均值之间的差异显著性采用单因素方差分析, 当方差分析结果中 F 值统计显著时,

处理测定点在覆膜宽行中点; 膜间处理测定点在两膜间中点, 两处理测点相距 80 cm, 如图 1 所示。每个处理布设 3 个监测点, 各测点间隔 1 m。为保证导气率和地温的同步获取, 在导气率监测点附近测其地温, 并对土壤颗粒机械组成、容重和田间持水率进行测量。

采用 Tukey 检验法区分其均值 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 供试土样基本物理性质

将所取土样进行颗粒组成分析后, 采用国际标准对土壤质地进行分类, 并对不同处理采样点的土壤容重、饱和含水率及田间持水率求均值, 其结果如表 1 所示。

根据表 1 中土壤容重、饱和含水率、田间持水率数据和各测点的相对坐标 (图 2) 在地统计软件 GS+ 中利用克里格插值法构建三维空间变异预测模型, 如图 3 所示。

图 3 中, 10 号小区 (X 坐标 0 ~ 10 m 对应区域) 未施加改良剂, 其土壤容重、饱和含水率、田间持水率可看作试验地块未施加改良剂前的值。7、8、9 号小区 (X 坐标 10 ~ 20 m 对应区域), 4、5、6 号小区 (X 坐标 20 ~ 30 m 对应区域), 1、2、3 号小区 (X 坐标 30 ~ 40 m 对应区域) 分别对应施加石膏、旱地龙、PAM 后土壤容重、饱和含水率、田间持水率的趋势。可见施加改良剂后土壤容重明显降低、饱和含水率升高、田间持水率升高; 石膏处理土壤容重、饱和含水率变化趋势最大, PAM 次之, 旱地龙最小; 田间持水率变化趋势 PAM 处理最大, 石膏次之, 旱地龙最小。由 PAM 处理 (1、2、3 号) 可见改良剂施量越高土壤容重越小、饱和含水率越大、田间持水率越高。说明改良剂的施加有效改善了土壤结构, 使土壤大团聚体数目增加, 增大土壤表面粗糙度, 降低土壤容重, 增大土壤总孔隙度和毛管孔隙度, 进而使土壤颗粒和孔隙结构保持稳定, 使土壤入渗率明显提高, 土壤含水率增加^[17]。

表 1 供试土样基本物理性质
Tab.1 Basic physical properties of measured soil samples

改良剂	小区编号	土壤粒径质量分数/%			土壤质地	容重/ ($g \cdot cm^{-3}$)	饱和 含水率/%	田间 持水率/%
		砂粒 (0.02 ~ 2 mm)	粉粒 (0.002 ~ 0.02 mm)	黏粒 (< 0.002 mm)				
PAM	1	35.25	61.01	3.74	粉壤土	1.382	28.1	17.5
	2	34.16	61.95	3.89	粉壤土	1.375	28.6	17.7
	3	35.51	60.11	4.38	粉壤土	1.366	28.7	17.9
旱地龙	4	35.91	60.21	3.88	粉壤土	1.401	26.4	16.5
	5	35.72	60.05	4.23	粉壤土	1.394	26.6	16.7
	6	35.60	60.46	3.94	粉壤土	1.392	26.5	16.7
石膏	7	35.21	60.94	3.85	粉壤土	1.321	28.5	17.2
	8	33.46	62.33	4.21	粉壤土	1.319	28.8	17.4
	9	33.29	62.38	4.33	粉壤土	1.318	28.9	17.6
未施加	10	36.78	59.96	3.26	粉壤土	1.410	26.0	16.3

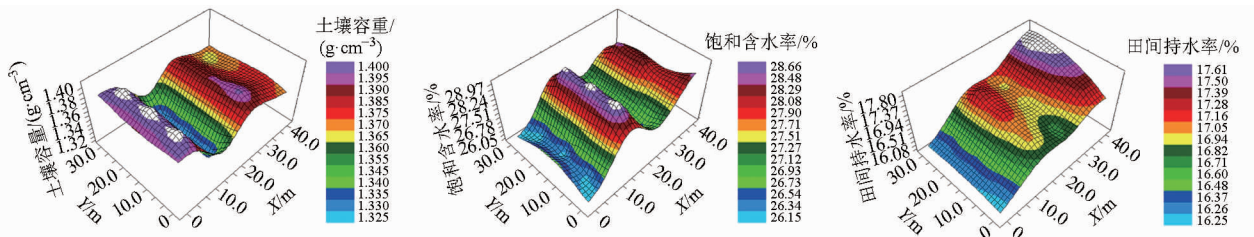


图 3 土壤容重、饱和含水率和田间持水率(质量含水率)的空间分布

Fig.3 Spatial distribution map of bulk density, saturated water content and field capacity

2.2 覆膜对土壤导气率的影响

以 10 号小区的实测数据重点分析未施加土壤改良剂条件下覆膜(膜下)与不覆膜(膜间)对土壤导气率的影响。在一个灌水周期内,由于灌水当天水分过多无法观测,以后连续 6 d 的观测数据进行分析,如图 4 所示。观测期前 3 d 膜间与膜下距地表 5 cm 处地温值的变化差距不是很明显,从第 4 天开始地温呈现显著差异,膜下温度高于膜间温度,且膜间温度日变量大于膜下温度。灌水后,观测初期膜下与膜间土壤含水率相等,随着观测时间的延

长,由于日照、蒸发等因素的影响膜下土壤含水率高于膜间土壤含水率,验证了覆膜对土壤水分的保持作用。随着土壤含水率的逐渐降低导气率呈现增大趋势,膜间导气率的变幅度大于膜下导气率,这说明覆膜降低了土壤空气与外界气体的交换从而降低了土壤导气率。导气率与导水率关系呈分段型波动,这是由于夜间温度低水汽遇冷形成液滴覆于地表形成露珠,使得土壤水分增大,这样每天早晨与前一日晚上的观测数值呈绳套关系。

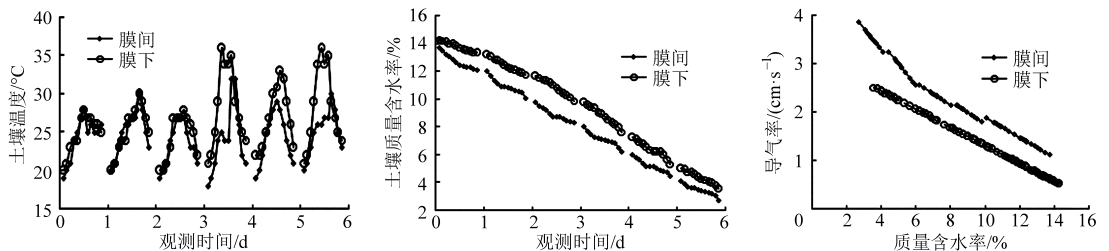


图 4 土壤温度、质量含水率和导气率在一个灌水周期内的变化

Fig.4 Change of temperature, water content and air permeability in an irrigation cycle

2.3 土壤改良剂对土壤导气率的影响

2.3.1 不覆膜条件下土壤改良剂对土壤导气率的影响

为分析不覆膜条件下改良剂对土壤导气率的影响,以各改良剂的中施量为例,选编号 2、5、8 这三个小区膜间导气率测量值分别与 10 号未施加改良剂

的膜间导气率测量值进行对比,研究在一个灌水周期中导气率与导水率间的关系。

在中施量膜间条件下,从整个灌溉周期导气率均值可见,PAM 处理导气率高于对照组 29.6%,旱地龙处理导气率高于对照组 17.0%。标准差反映数据的离散程度,其值越大说明该组数据波动越大。

由表2可知,石膏处理的导气率波动最大,归因于其内部孔隙结构较好,在土壤毛管孔隙水分释放过程中,增大了土壤空气与外界的连通性,使得导气率增大。可见在不覆膜条件下石膏改良剂对于改善土壤结构的效果最显著,PAM次之。结合图5,根据含水率大于11%、6%~11%、小于6%,将其分为初期、中期、后期3个阶段,分别取这3个阶段的导气率均

值进行研究。在观测初期施加旱地龙的试验处理导气率观测值与对照膜间CK(10号)差距最小,仅高于对照组6.2%,在观测后期含水率较低时,其导气率高于对照组31.2%,说明虽然旱地龙的改善能力与前二者相比较低,但在含水率较低时,其导气能力与前二者水平亦接近。

表2 中施量膜间处理土壤导气率与含水率描述性统计分析

Tab.2 Descriptive statistics of soil air permeability and soil moisture between mulch

中施量膜间处理	导气率/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)				质量含水率/%			
	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差
2号PAM处理	5.03	1.33	2.67	0.93	15.37	4.08	9.62	3.29
5号旱地龙处理	4.72	1.04	2.41	0.96	15.35	4.41	9.55	3.11
8号石膏处理	5.53	1.38	3.12	1.27	15.49	4.42	9.72	3.17
10号CK	3.94	1.12	2.06	0.56	13.87	2.02	8.45	2.74

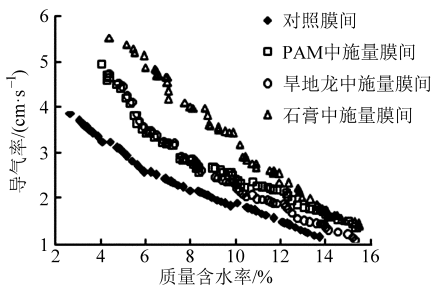


图5 不覆膜条件下中施量土壤改良剂时导气率与含水率的关系

Fig.5 Relationship of water content and air permeability with medium amounts of soil amendments without film mulching

灌水后随着观测时间的推移,土壤含水率逐渐减小,导气率随含水率的降低而增大。3组施加改良剂的试验处理膜间土壤导气率观测值在一个灌水周期内均大于10号小区的膜间对照试样。说明改良剂的施加增大了土壤空隙间距,在灌溉水量相同的情况下,使得土壤导气率增大。

表3 中施量膜下处理土壤导气率与含水率描述性统计分析

Tab.3 Descriptive statistics of soil air permeability and soil moisture under mulch

中施量膜下处理	导气率/($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)				质量含水率/%			
	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差
2号PAM处理	5.02	0.98	2.26	0.84	15.24	4.20	10.43	3.18
5号旱地龙处理	4.37	0.87	2.18	0.94	15.26	4.47	9.98	3.10
8号石膏处理	5.19	1.34	2.98	1.16	15.34	4.30	10.43	3.18
10号CK	2.48	0.52	1.23	0.50	14.28	5.34	8.98	2.70

2.3.3 相同改良剂覆膜与不覆膜条件土壤导气率的对比

为研究相同改良剂、同一施量、覆膜与否条件下土壤导气率与导水率的变化。选取编号2、5、8小区膜下与膜间所测数据进行分析。

2.3.2 覆膜条件下土壤改良剂对土壤导气率的影响

以各改良剂的中施量为例,选取编号2、5、8这3个小区膜下土壤导气率测量值分别与10号未施加改良剂小区的膜下导气率测量值对比,研究一个灌水周期中导气率与导水率间的关系。

在中施量覆膜条件下,从导气率均值来看,PAM、旱地龙、石膏处理导气率分别高于对照组83.7%、77.2%和142.3%。由表3可知,施加改良剂处理的导气率波动均大于未施加改良剂的对照组,说明覆膜条件下改良剂对于改善土壤结构的效果显著。结合图6,导气率观测值受改良剂影响的程度由大到小的顺序为:石膏、PAM、旱地龙。在观测初期,施加改良剂的试验小区土壤导气率观测值分别高于对照组86.9%、63.8%、124.5%,说明PAM和旱地龙的改善效果在初始阶段较接近,而石膏的改善效果较好,即使在含水率较低时其导气率也远高于对照组。

结合表4、图7可知,PAM、旱地龙、石膏在中施量处理下,膜下处理导气率均值比膜间处理低27.56%、9.54%和4.49%。而从含水率方面来看,3种改良剂膜下处理相对于膜间处理含水率分别提高了8.4%、4.5%和7.3%。这说明覆膜影响了观

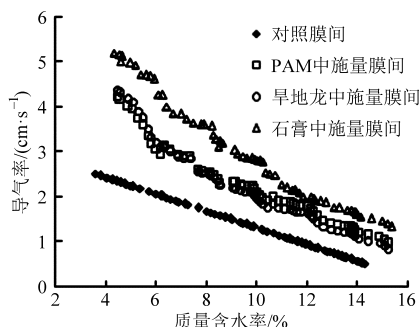


图 6 覆膜条件下中施量土壤改良剂时导气率与含水率的关系

Fig. 6 Relationship of water content and air permeability with amount of medium soil amendments with film mulching

测点以下土壤孔隙内的空气流动,降低了空气流动速率,使土壤导气能力降低;但减少了土壤水分的散

失,又有利于保水保墒。由于其保水性较好,使得在相同土壤孔隙率情况下,水分优先占据了土壤小孔隙,所以导气能力显著降低,但该地区土壤质地类型为粉壤土,其保水性差,加之昼夜温差较大等,因此,基于该地区作物种植地域、环境等因素,为防止盐分向地表迁移造成土壤次生盐碱化和达到保水保墒的目的,覆膜种植是有必要的。

2.3.4 改良剂施量对土壤导气率的影响

PAM 能保持土壤的结构,形成多颗粒的土壤团聚体;石膏能使水中电解质浓度增加,减少盐分累积及土壤结皮的形成;旱地龙增加了土壤中植物所需的微量元素、氨基酸等。为分析相同改良剂不同施量对土壤导气率的影响,将各改良剂的高、中、低施量处理下的导气率观测数据列于表 5 进行比较分析。

表 4 中施量处理土壤导气率与含水率描述性统计分析

Tab. 4 Descriptive statistics of soil air permeability and soil moisture of treatments with medium application rate

中施量处理	导气率/(cm·s ⁻¹)				质量含水率/%				
	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差	
PAM	2号膜下	5.02	0.98	2.26	0.84	15.24	4.20	10.43	3.18
	2号膜间	5.03	1.38	3.12	1.27	15.37	4.08	9.62	3.17
旱地龙	5号膜下	4.37	0.87	2.18	0.94	15.26	4.47	9.98	3.10
	5号膜间	4.72	1.04	2.41	0.96	15.35	4.41	9.55	3.11
石膏	8号膜下	5.19	1.34	2.98	1.16	15.34	4.30	10.43	3.18
	8号膜间	5.53	1.38	3.12	1.27	15.49	4.42	9.72	3.17

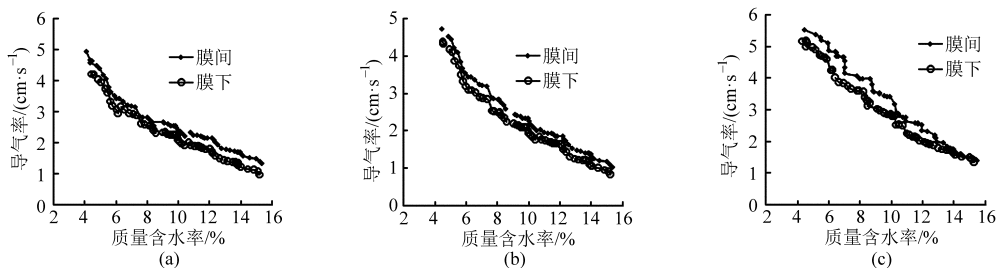


图 7 中施量相同改良剂覆膜与不覆膜条件土壤导气率的对比

Fig. 7 Comparison of air permeability with or without mulch with the same medium application rate of amendments

(a) PAM (b) 旱地龙 (c) 石膏

表 5 相同改良剂不同施量土壤导气率描述性统计分析

Tab. 5 Descriptive statistics of soil air permeability between different application rates with the same amendments

膜下处理	最大值/(cm·s ⁻¹)	最小值/(cm·s ⁻¹)	变化量/(cm·s ⁻¹)	平均值/(cm·s ⁻¹)	标准差/(cm·s ⁻¹)	偏度	
PAM	3号高施量	5.27	1.09	4.18	2.56	1.28	0.26
	2号中施量	5.02	0.98	4.04	2.26	0.84	0.45
	1号低施量	4.92	0.93	3.99	2.04	0.81	0.47
旱地龙	6号高施量	5.08	0.99	4.18	2.37	1.28	0.26
	5号中施量	4.37	0.87	3.50	2.18	0.94	0.54
	4号低施量	4.07	0.83	3.24	1.98	0.86	0.64
石膏	9号高施量	5.64	1.42	4.22	3.31	1.26	0.06
	8号中施量	5.19	1.34	3.85	2.98	1.16	0.25
	7号低施量	4.87	1.18	3.69	2.95	1.08	0.37

由表5可知, PAM处理下中施量、高施量的导气率分别为低施量的1.11、1.25倍, 旱地龙处理下中施量、高施量的导气率分别为低施量的1.10、1.20倍, 石膏处理下中施量、高施量的导气率分别为低施量的1.01、1.12倍。从导气率变幅和标准差作比较可知: 高施量 > 中施量 > 低施量, 说明在同一改良剂条件下随施量的增加土壤毛管孔隙结构改善效果越好, 在含水率较高时, 毛管水充填于孔隙中使得导气率较低, 随着含水率的减小, 土壤毛管孔隙水得以释放使得导气率升高, 由于土壤结构较好的连通性使得导气率的表观变幅范围变大。偏度表示概率分布密度曲线相对于平均值不对称程度的特征

数, 正态分布的偏度为0, 偏度小于0呈左偏态, 大于0呈右偏态, 可见上述数据均为右偏态且在此3种施量条件下高施量数据相对均值更趋于正态分布。结合图8、图9可以看出3种施量处理对土壤导气率的影响表现为: 高施量 > 中施量 > 低施量, 其中PAM和旱地龙的中、高施量比低施量改善效果更显著, 石膏的中、低施量对导气率的改善效果相近(图9), 其高施量处理下的改善效果比中、低施量的改善效果更显著。说明随着改良剂施量的增加, 土壤结构得到改善, 形成多颗粒的土壤团聚体, 土壤孔隙率增大, 在灌水条件相同的条件下使得土壤导气率明显增大。

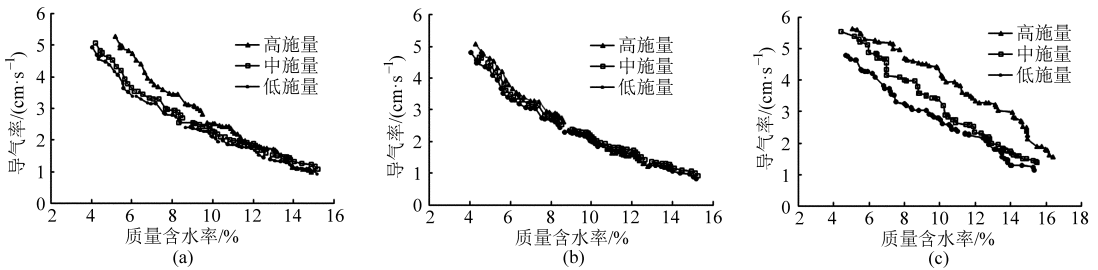


图8 相同改良剂不同施量对土壤导气率的影响

Fig.8 Influence of application rates on air permeability with the same amendments

(a) PAM (b) 旱地龙 (c) 石膏

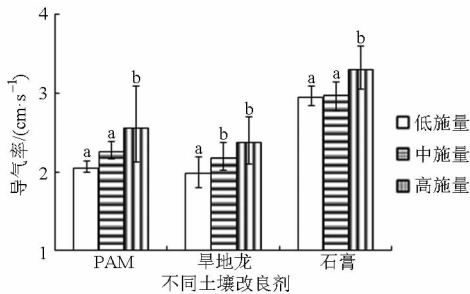


图9 覆膜条件下不同施量改良剂对土壤导气率的影响

Fig.9 Influence of amendments application rates on air permeability under film mulching

从机理角度来看, 导气率的变化受土壤容重、孔隙、土壤颗粒机械组成及土壤含水率等因素的影响。经过上述导气率的定量分析反推其变化机理与2.1节的结果相比较, 发现二者高度一致, 说明地统计软件GS⁺在田间尺度内的导气率预测模型较为准确。

3 结论

(1) 通过施加改良剂后土壤颗粒机械组成、容重、饱和含水率、田间持水率等参数与未施加改良剂对照组对比, 发现施加改良剂后有效改善了土

壤结构, 增大了土壤总孔隙度和毛管孔隙度, 使得土壤容重明显降低, 饱和含水率升高, 田间持水率也升高。

(2) 覆膜条件明显地提高了土壤温度, 减少了水分的蒸发。PAM、旱地龙、石膏在中施量处理下, 覆膜条件下导气率均值比不覆膜处理低27.56%、9.54%和4.49%。说明覆膜阻碍了土壤空气与外界气体的交换, 从而使土壤导气率减小。

(3) 在覆膜条件改良剂中施量处理下, PAM、旱地龙、石膏的施用分别使导气率提高了83.7%、77.2%和142.3%。3种改良剂的施加改善了土壤结构和土壤物理性状, 促进了土壤孔隙内气体的流通, 导气率随之增大。其中石膏对导气率的改善结果最显著, PAM次之, 旱地龙对土壤导气能力改善效果最低, 这与其成分及作用效果有关。

(4) PAM和旱地龙的中、高施量比低施量对导气率的改善效果显著, 石膏的中、低施量对导气率的改善效果相近, 高施量处理下导气率值为低施量处理的1.12倍。在实际生产操作过程中应综合考虑经济因素、种植作物的喜氧厌氧程度, 达到经济与效果的最优选择。

参 考 文 献

- 1 路婕,李玲,吴克宁,等. 基于农用地分等和土壤环境质量评价的耕地综合质量评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 323 - 329.
Lu Jie, Li Ling, Wu Kening, et al. Cultivated land comprehensive quality evaluation based on agricultural land classification and soil environmental quality evaluation[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 323 - 329. (in Chinese)
- 2 李巧珍,李玉中,郭家选,等. 覆膜集雨与限量补灌对土壤水分及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 25 - 30.
Li Qiaozhen, Li Yuzhong, Guo Jiaxuan, et al. Effects of field rainwater harvesting by plastic mulch and complement irrigation on soil water and yield of winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 25 - 30. (in Chinese)
- 3 曹丽花,赵世伟,梁向锋,等. PAM 对黄土高原主要土壤类型水稳性团聚体的改良效果及机理研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 45 - 49.
Cao Lihua, Zhao Shiwei, Liang Xiangfeng, et al. Improvement effects of PAM on soil water-stable aggregates and its mechanisms in different soils in the Loess Plateau[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 45 - 49. (in Chinese)
- 4 刘纪根,雷廷武. 坡耕地施加 PAM 对土壤抗冲抗蚀能力影响试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 59 - 62.
Liu Jigen, Lei Tingwu. Experiment research on the effect of surface PAM coverage on erosion soil critical shear stresses of slope cultivated land by rainfall[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(6): 59 - 62. (in Chinese)
- 5 赵智,唐泽军,杨凯,等. PAM 与粉煤灰改良沙土中重金属的迁移和富集规律[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 83 - 89.
Zhao Zhi, Tang Zejun, Yang Kai, et al. Metal transportation and accumulation in sandy soil amended by fly ash and PAM[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 83 - 89. (in Chinese)
- 6 Álvarez E, Fernández-Sanjurjo M J, Seco N, et al. Use of mussel shells as a soil amendment: effects on bulk and rhizosphere soil and pasture production[J]. Pedosphere, 2012, 22(2): 152 - 164.
- 7 王卫华,王全九,樊军. 原状土与扰动土土壤导气率、导水率与含水率间关系分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 25 - 29.
Wang Weihua, Wang Quanjiu, Fan Jun. Relationship between air permeability, water conductivity and water content for undisturbed and disturbed soils[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 25 - 29. (in Chinese)
- 8 Wang Weihua, Wang Quanjiu. Effects of biological soil crusts on soil air permeability in semi-arid environment on the Loess Plateau of China[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2014, 12(2): 1025 - 1029.
- 9 王卫华,李建波,苏李君,等. 基于土壤物理基本参数的土壤导气率推求模型[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 125 - 130.
Wang Weihua, Li Jianbo, Su Lijun, et al. Soil air permeability model based on soil physical basic parameters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 46(3): 125 - 130. (in Chinese)
- 10 朱敏,张振华,潘英华,等. 土壤质地及容重和含水率对其导气率影响的实验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2): 116 - 121.
Zhu Min, Zhang Zhenhua, Pan Yinghua, et al. Effects of soil texture, bulk density and moisture content on soil air permeability [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(2): 116 - 121. (in Chinese)
- 11 Iversen B V, Moldrup P, Schjønning P, et al. Air and water permeability in differently-textured soil at two measurement scales [J]. Soil Science, 2001, 166(10): 643 - 659.
- 12 Tuli A, Hopmans J W, Rolston D E, et al. Comparison of air and water permeability between disturbed and undisturbed soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(5): 1361 - 1371.
- 13 潘英华,雷廷武,张晴雯,等. 土壤结构改良剂对土壤水动力学参数的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 37 - 39.
Pan Yinghua, Lei Tingwu, Zhang Qingwen, et al. Effects of PAM on soil hydrodynamic parameters[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(4): 37 - 39. (in Chinese)
- 14 王卫华,王全九,刘建军. 新疆棉花苗期覆膜地温变化分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 139 - 145.
Wang Weihua, Wang Quanjiu, Liu Jianjun. Analysis of temperature changes under film during cotton seedling stage in south Xinjiang[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(1): 139 - 145. (in Chinese)
- 15 韩玉国,任树梅,李云开,等. 黄腐酸(FA)旱地龙在苹果节水生产中的应用效果研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 93 - 97.
Han Yuguo, Ren Shumei, Li Yunkai, et al. Experimental study on effect of FA Handilong on water saving and production of apple tree in the rural areas in Beijing[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(6): 93 - 97. (in Chinese)
- 16 赵永敢,王婧,李玉义,等. 秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 109 - 117.
Zhao Yonggan, Wang Jing, Li Yuyi, et al. Reducing evaporation from phreatic water and soil resalinization by using straw interlayer and plastic mulch[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(23): 109 - 117. (in Chinese)
- 17 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京:科学出版社, 1976.