

黄土区梯田不同覆膜条件下土壤的呼吸特征

陈爱华, 马涛, 董彦丽, 李泽霞, 吕文强

(甘肃省水土保持科学研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘要: [目的] 研究黄土区梯田不同覆膜条件下的土壤呼吸特征, 为探寻土壤碳循环的合理农业覆膜措施提供科学依据。[方法] 设置裸地、白膜地和黑膜地 3 个处理进行试验。[结果] ①不同覆膜方式玉米地的土壤呼吸速率日变化都呈单峰曲线变化趋势, 日均值表现为: 黑膜地 > 白膜地 > 裸地, 且不同覆膜条件的土壤呼吸速率差异显著。②白膜地和黑膜地不同月份土壤呼吸速率变化表现为: 7 月 > 5 月 > 3 月 > 9 月 > 11 月, 裸地不同月份土壤呼吸速率变化表现为: 7 月 > 3 月 > 9 月 > 5 月 > 11 月, 夏季土壤呼吸活动最剧烈, 且不同覆膜条件不同月份土壤呼吸速率两两之间差异显著。③不同覆膜条件的土壤 CO₂ 年排放量表现为: 黑膜地 > 白膜地 > 裸地, 且夏季和秋季的土壤 CO₂ 年排放量均高于春季和冬季。④不同覆膜条件玉米地土壤呼吸速率与地表温度、5 cm 土壤温度具有很好的相关性, 且都表现出极显著相关, 覆膜玉米地 5 cm 土壤温度对土壤呼吸速率的影响高于地表温度, 裸地则反之, 白膜玉米地土壤呼吸速率对温度的敏感性高于其他覆膜情况。[结论] 不同覆膜条件下, 土壤含水率自表层至深层呈现 S 形变化规律, 裸地在 0—60 cm 土层的含水率明显低于两种覆膜地。梯田在不同覆膜条件下土壤呼吸速率和土壤呼吸 CO₂ 释放量均增大, 可有效改善黄土区梯田土壤碳循环环境。

关键词: 土壤呼吸速率; 地膜覆盖; 梯田; 黄土区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)02-0194-07

中图分类号: S158.5

文献参数: 陈爱华, 马涛, 董彦丽, 等. 黄土区梯田不同覆膜条件下土壤的呼吸特征[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 194-200. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.026; Chen Aihua, Ma Tao, Dong Yanli, et al. Soil respiration characteristics under different film mulching conditions in terraced land in loess area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 194-200.

Soil Respiration Characteristics Under Different Film Mulching Conditions in Terraced Land in Loess Area

Chen Aihua, Ma Tao, Dong Yanli, Li Zexia, Lü Wenqiang

(Institute of Soil and Water Conservation of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: [Objective] The soil respiration characteristics in terraced fields under different film mulching conditions in the loess area were studied, in order to provide scientific basis for exploring reasonable agricultural plastic film mulching measures of soil carbon cycle. [Methods] The study set up three treatments for experiments: bare land, white film land and black film land. [Results] ① The daily variation of soil respiration rate of corn fields with different film mulching conditions showed a single-peak curve trend, and the daily average value was as follows: black film land > white film land > bare land, and the soil respiration rate of different mulching treatments was significantly different. ② The change of soil respiration rate of the white film land and the black film land in different months was as follows: July > May > March > September > November. The change of soil respiration rate of the bare land in different months was as follows: July > March > September > May > November. The soil respiration activity in summer was very intense, and the soil respiration rate in different months of different film mulching conditions was significantly different. ③ The annual soil CO₂ emissions from the soil of different mulching films were as follows: black film land > white film land > bare land, and the annual CO₂ emissions from soil in summer and autumn were higher than those in spring and winter. ④ The soil respiration rate of different film-mulched corn fields had a good correlation with the

surface temperature and 5 cm soil temperature, and both showed extremely significant correlations. The 5 cm soil temperature of the film-mulched corn field had a higher impact on the soil respiration rate than the surface temperature, and vice versa in bare land. [Conclusion] Under different mulching conditions, the soil moisture content from the surface to the deep layer changes in an S-shaped curve. The soil moisture in 0—60 cm soil layer was significantly lower in bare land than in the other two film-mulched land. Soil respiration rate and CO₂ release of soil respiration increased under different mulching conditions, which could effectively improve the soil carbon cycle environment of terraced land in loess area.

Keywords: soil respiration rate; plastic film mulching; terrace; loess area

土壤呼吸是碳循环过程的一个重要组分,每年全球土壤呼吸碳释放约 $98 \pm 12 \text{ Pg}$ 碳进入大气层^[1],约占每年大气中 CO₂ 输入的 10%^[2],其量值远大于化石燃烧的碳排放量,占生态系统总初级生产力的 49%~55%^[3],成为陆地生态系统的第二大碳通量组分,能解释整个生态系统呼吸的 70%左右^[4]。所以,土壤呼吸在陆地生态系统碳循环中有着十分重要的地位。

在梯田区域内广泛采用薄膜覆盖是一项有效的旱作增产技术,该技术于 1987 年正式由日本引入我国,在 20 世纪 80 年代推广以来,普及较快,目前中国已经成为世界上地膜覆盖栽培作物面积最大的国家^[5]。覆膜管理方式有效抑制了蒸发,使总蒸发量大幅度下降,保证了耕层土壤有较高的含水量,增加了耕层的土壤温度,从而到达增产的效果。覆膜等农业管理措施通过改变土壤水分、养分状况以及改变土壤碳排放过程,进而影响土壤碳平衡,土壤养分及其循环有着极为重要的影响。以往的研究者对玉米膜覆盖栽培方式进行的大量研究主要集中在增温、保水、增产和提高水分利用效率方面^[6-7]。还有一些学者对露地栽培玉米的农田生态系统进行了较深入的净碳交换和土壤呼吸研究^[8-10],但对不同覆膜条件下春玉米田碳循环的观测较少,从农田生态系统碳通量角度来探讨覆膜栽培方式对作物生物量和产量影响的研究目前同样尚浅。因此,本研究以黄土区梯田为研究对象,选择甘肃省陇西县为研究区,通过野外定位监测,通过研究不同覆膜情况下梯田土壤理化性质的分布特征和土壤呼吸速率的特征,分析黄土区梯田不同覆膜处理对玉米农田生态系统碳平衡的影响机制,探寻土壤碳循环的合理农业覆膜措施。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

本研究选择甘肃省定西市陇西县云田镇梯田(2010 年修建)为研究对象。该区地处东经 $107^{\circ}15' - 107^{\circ}23' \text{ E}$,北纬 $35^{\circ}21' - 35^{\circ}27' \text{ N}$,海拔 $1\ 028 \sim 1\ 374 \text{ m}$,相对高差 346 m ,属温带半湿润气候,日照

充足,夏季炎热,冬季微寒。据陇西气象站 1981—2010 年系列数据,研究区年均气温 $8.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 414.8 mm ,最大 24 h 降水量 54.8 mm ,年蒸发量 $1\ 562.8 \text{ mm}$,年均风速 1.5 m/s ,无霜期 161.8 d ,最大冻土深 98 cm 。植物资源比较丰富,区域内主要草本植物有冰草、猪毛菜、车前草等,人工种植作物主要有小麦、玉米、苜蓿、洋芋、中药材等,农业生产无灌溉措施,为典型的旱地雨养农业区,梯田土壤类型为黄绵土和黑垆土。

1.2 试验样地概况

试验样地(裸地)0—60 m 土层中,土壤有机质含量 $6.33 \sim 13.10 \text{ g/kg}$,速效钾含量 $70.20 \sim 209.20 \text{ mg/kg}$,速效磷 $2.77 \sim 17.46 \text{ mg/kg}$,碱解氮 $6.89 \sim 17.48 \text{ mg/kg}$ 。土壤有机质、速效钾、速效磷、碱解氮含量均随土层深度增加而减少。

1.3 试验设计与方法

1.3.1 试验设计 本试验研究黄土区梯田不同覆膜方式对土壤呼吸速率的影响,试验共设 3 个处理,设置裸地(对照,不覆膜),覆白膜地和覆黑膜地。试验采用单因素随机区组设计,小区面积 $10 \text{ m} \times 15 \text{ m}$,每块田地的挖方段、中间段、填方段 3 个部位为 3 个小区,3 块田地共计 9 个小区,玉米种植行距 55 cm ,株距 40 cm 。试验于 2019 年 3 月 18 日平地地采用机械平地覆膜,4 月 1 日人工点种玉米,10 月 20 日收获。玉米生育期的水分供给依赖自然降雨,全生育期内不进行灌溉。玉米播种时施底肥有机肥 $7.5 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$,尿素 225 kg/hm^2 ,磷酸二胺 225 kg/hm^2 。在覆膜前 15 d 左右,将农家肥、化肥混合均匀地面撒施,再进行 1 次深耕翻地,耕后及时耙耱保墒。试验不在施肥期进行。

1.3.2 试验方法

(1) 试验方法。本试验于 2019 年在甘肃省定西市陇西县石家门村进行,试验设计在 3 块田地的每个小区分别布设 2 个测量环进行土壤呼吸速率测定,9 个试验小区共计 18 个测量环(图 1)。在试验测定前 24 h 将直径 200 mm ,高 100 mm 的 PVC 土壤呼吸速率测量环于打入玉米植株之间的空地中,深度约

30—40 mm, 尽量避免由于安置测量环对土壤扰动造成的短期内呼吸速率的波动; 测量环嵌入土壤后, 将环内地表植被自土壤表层剪除干净, 尽量做到不破坏土壤, 以减少土壤扰动对测定结果的影响。

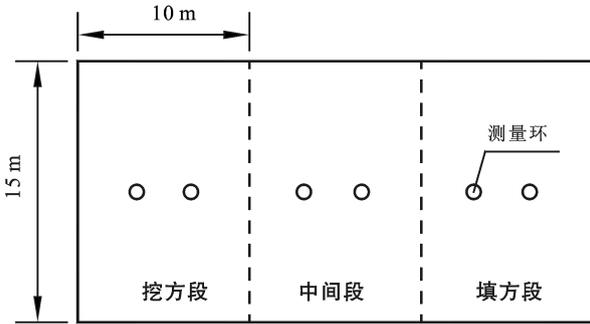


图 1 试验小区及测量环布设示意图

(2) 土壤呼吸速率的测定。土壤呼吸速率采用 LI-8100 土壤碳通量自动测量系统测定, 该设备由美国 LI-COR 公司生产, 北京力高泰科技有限公司提供。

本试验土壤呼吸速率测定时间为 2019 年的 3, 5, 7, 9 和 11 月, 每个测定周期为 10 h, 早上 8:00 开始, 下午 18:00 结束, 每 2 h 测定 1 次, 共计 6 次。每个测量环测量 3 次, 取平均值计为测量时间点的土壤呼吸速率。测定土壤呼吸速率的同时, LI-8100 自带的温度探针和土壤水分探头可同步测定观测点附近 5 cm 土壤温度, 利用气温计同步观测记录大气温度和地表温度。

(3) 土壤水分的测定。土壤水分测定采用烘干法。

1.4 数据处理与统计方法

采集土样采用 Excel 和 SPSS 21.0 软件进行数据整理分析并绘图。采用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 中最小显著差异法 (LSD) 分析不同覆膜方式对土壤呼吸速率的影响, 显著性差异水平取 $p < 0.05$ 。回归方程检验土壤呼吸速率与温度间单因素和双因素的拟合程度。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜条件土壤呼吸日变化特征

由图 2 可知, 不同月份不同覆膜条件玉米地的土壤呼吸速率日变化特征都呈单峰曲线变化趋势, 且土壤呼吸速率最高值基本都出现在 12:00—14:00 之间。不同的覆膜方式中, 覆盖黑膜玉米地的土壤呼吸速率日平均值最高。由表 1 可看出, 不同月份覆盖黑膜的玉米地土壤呼吸速率日均值远远高于覆白膜玉

米地和裸地, 3 个不同覆膜处理玉米地的平均日均值大小表现为: 黑膜地 [$4.01 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 白膜地 [$2.99 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 裸地 [$1.32 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 黑膜地平均日均值高于白膜 34.11%, 高于裸地 204.79%。经方差分析全年土壤呼吸速率平均值可知, 白膜玉米地、黑膜玉米地及裸地的土壤呼吸速率两两之间差异显著 ($p < 0.05$)。经多重比较分析可知, 3 月白膜玉米地、黑膜玉米地及裸地的土壤呼吸速率两两之间差异显著 ($p < 0.05$); 5 月白膜玉米地、黑膜玉米地及裸地的土壤呼吸速率两两之间差异显著 ($p < 0.05$); 7 月白膜玉米地、黑膜玉米地及裸地的土壤呼吸速率两两之间差异显著 ($p < 0.05$); 9 月白膜玉米地与黑膜玉米地的土壤呼吸速率差异显著 ($p < 0.05$), 黑膜玉米地与裸地的土壤呼吸速率差异显著 ($p < 0.05$), 白膜玉米地与裸地的土壤呼吸速率差异不显著 ($p > 0.05$); 11 月白膜玉米地、黑膜玉米地及裸地的土壤呼吸速率两两之间差异显著 ($p < 0.05$)。

由表 1 可知, 不同覆膜条件玉米地在不同月份日较差表现不规律, 根据平均日较差值, 白膜玉米地日较差最高为 $1.42 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 其次为黑膜玉米地日较差为 $1.39 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 日较差最低的是裸地为 $0.50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 说明白膜玉米地一天之中土壤呼吸速率最高值与最低值相差较大, 裸地土壤呼吸速率最高值与最低值差异较小; 根据不同覆膜处理玉米地平均日变幅值, 白膜玉米地日变幅最高为 45.48%, 其次为裸地 43.71%, 最低为黑膜玉米地 25.80%。

表 1 土壤呼吸特征分析

项目	时间	白膜	黑膜	裸地
日均值/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	3 月	2.54	3.67	1.92
	5 月	2.80	4.44	0.89
	7 月	6.77	9.33	2.03
	9 月	1.72	1.87	1.49
	11 月	0.44	0.73	0.28
	平均值	2.99	4.01	1.32
日较差/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	3 月	0.58	0.64	1.22
	5 月	1.11	1.24	0.21
	7 月	4.58	4.39	0.48
	9 月	0.57	0.43	0.42
	11 月	0.28	0.27	0.16
	平均值	1.42	1.39	0.50
日变幅/%	3 月	22.79	17.44	63.54
	5 月	39.46	27.84	22.99
	7 月	67.67	23.68	47.07
	9 月	33.11	23.04	28.13
	11 月	64.37	36.99	56.80
	平均值	45.48	25.80	43.71

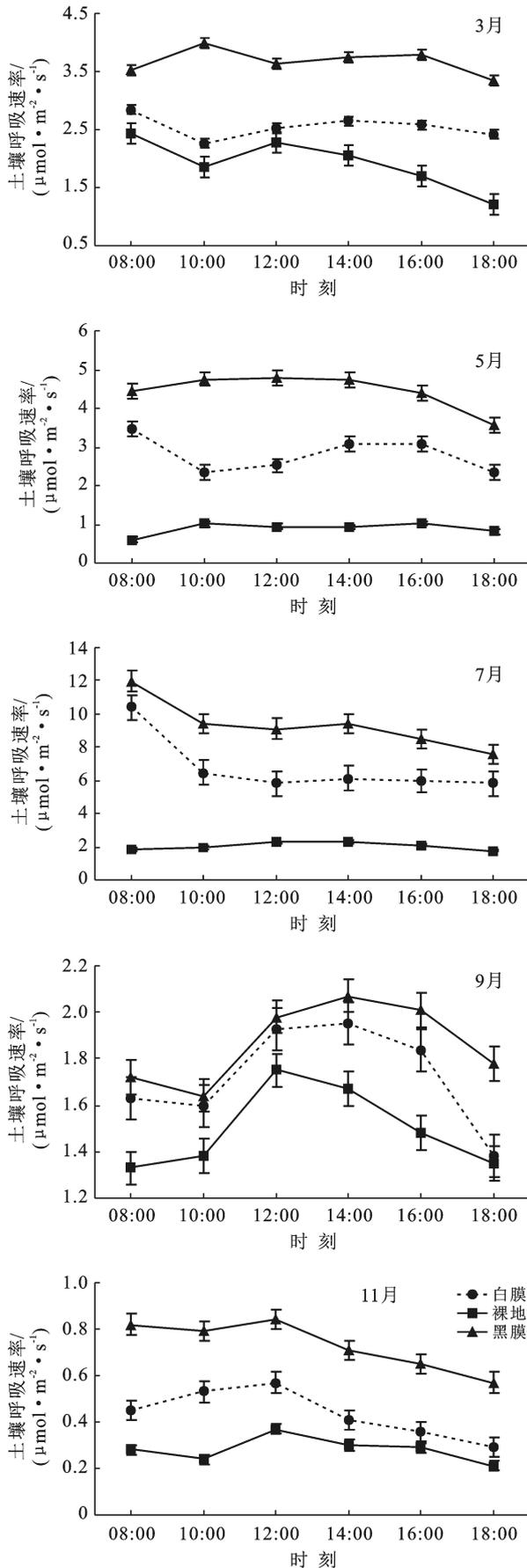


图 2 不同覆膜条件土壤呼吸特征日变化

2.2 不同覆膜条件土壤呼吸月变化特征

由图 3—4 可以看出,白膜玉米地和黑膜玉米地不同月份土壤呼吸速率变化表现为:7 月>5 月>3 月>9 月>11 月,裸地不同月份土壤呼吸速率变化表现为:7 月>3 月>9 月>5 月>11 月。5 和 9 月正处于夏秋季,土壤微生物活动剧烈,土壤呼吸速率大,3 和 11 月处于冬春季,植物处于生长末期或休眠期,土壤微生物活动缓慢,土壤呼吸速率小。方差分析结果可知,不同覆膜条件在不同月份的土壤呼吸速率两两之间均差异显著($p < 0.05$),多重比较分析可知,白膜玉米地在 7 月和 11 月的土壤呼吸速率差异显著($p < 0.05$),在 3,5 和 9 月的土壤呼吸速率两两之间差异不显著($p > 0.05$);黑膜玉米地在 7,9 和 11 月的土壤呼吸速率两两之间差异显著($p < 0.05$),在 3 与 5 月的土壤呼吸速率差异不显著($p > 0.05$);裸地在 5,9 和 11 月的土壤呼吸速率两两之间差异显著($p < 0.05$),在 3 与 7 月土壤呼吸速率差异不显著($p > 0.05$)。

2.3 不同覆膜条件土壤碳排放量估算

土壤 CO_2 通量作为陆地生态系统 CO_2 通量第二大组成部分,在全球碳循环中扮演着极其重要的角色。本项目土壤碳排放量估算利用不同覆膜处理不同季度昼间的日均土壤呼吸速率,换算出日间土壤呼吸速率,获得每季度土壤碳排放量,从而估算出全年的土壤碳排放量。经过计算不同覆膜条件不同季度的土壤 CO_2 排放量,最后合计土壤 CO_2 排放量,由表 2 可知,不同覆膜条件玉米地在 4 个季节的土壤 CO_2 排放量表现为:黑膜地>白膜地>裸地,且夏季和秋季的土壤 CO_2 排放量高于春季和冬季。这是因为夏秋季日辐射能量高,日照时数长,且土壤水热条件好,土壤微生物活动剧烈,植物根系分解速度快,促使土壤以较快的速度排放 CO_2 ,因此土壤呼吸速率大;冬春季,植物处于生长末期或休眠期,基本停止生长,日辐射能量降低,制约了土壤生物的活动,从而使土壤呼吸速率在秋、冬两季较小(表 2)。

表 2 不同覆膜条件土壤 CO_2 排放量估算 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

时间	季节	土壤 CO_2 排放量		
		白膜地	黑膜地	裸地
3 月	春季	644.70	652.86	522.29
5,7 月	夏季	1 495.88	2 355.95	499.53
9 月	秋季	838.85	1 269.62	664.22
11 月	冬季	151.85	255.32	98.51
全年		3 131.28	4 533.75	1 784.55

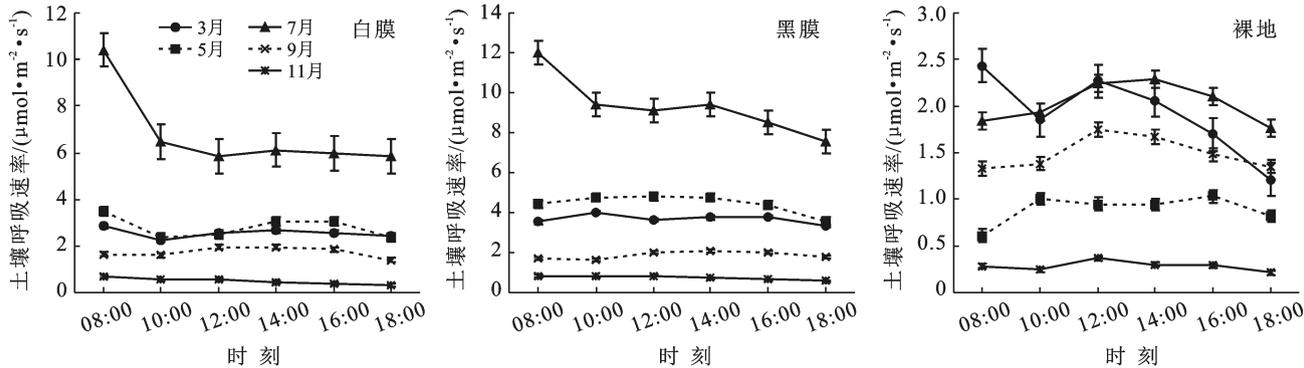


图 3 不同覆膜条件不同月份土壤呼吸速率变化特征

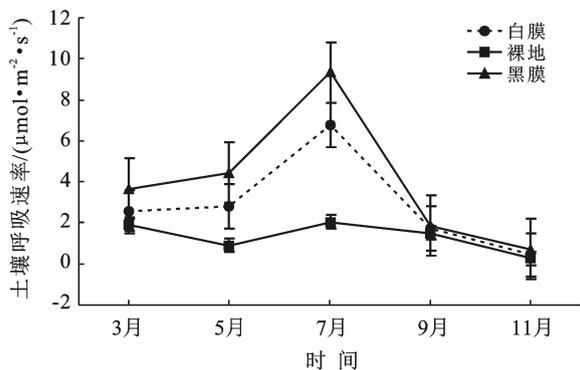
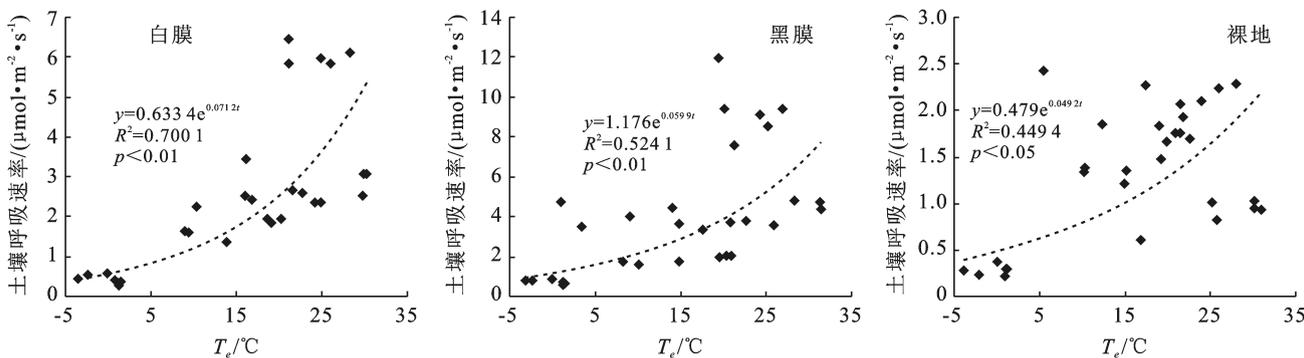


图 4 不同覆膜条件土壤呼吸速率月变化特征

2.4 土壤呼吸速率与地表温度和 5 cm 土壤温度的关系

通过建立不同覆膜条件玉米地土壤呼吸速率与地表温度、5 cm 土壤温度的指数回归方程(图 5—6)。由图 5—6 和表 3 可知,白膜玉米地与黑膜玉米地土壤呼吸速率与地表温度、5 cm 土壤温度都表现出极

显著相关($p < 0.01$),裸地土壤呼吸速率与地表温度表现出显著相关($p < 0.05$)、与 5 cm 土壤温度表现出极显著相关($p < 0.01$)。白膜玉米地、黑膜玉米地和裸地的土壤呼吸速率与 5 cm 土壤温度的 R^2 达到了 0.700 4, 0.560 1 和 0.377 2, 说明 5 cm 土壤温度能够解释土壤呼吸速率变异百分比分别是 70.04% (白膜玉米地), 56.01% (黑膜玉米地), 37.72% (裸地), 白膜玉米地与 5 cm 土壤温度的相关性高于黑膜玉米地和裸地; 白膜玉米地、黑膜玉米地和裸地的土壤呼吸速率与地表温度的 R^2 达到了 0.700 1, 0.524 1 和 0.449 4, 说明地表温度能够解释土壤呼吸速率变异百分比分别是 70.01% (白膜玉米地), 52.41% (黑膜玉米地), 44.94% (裸地), 白膜玉米地与地表温度的相关性高于黑膜玉米地和裸地。通过比较分析,白膜玉米地和黑膜玉米地 5 cm 土壤温度对土壤呼吸速率的影响高于地表温度,裸地地表温度对土壤碳通量的影响高于 5 cm 土壤温度。

图 5 土壤呼吸速率与地表温度(T_e)的关系

表示温度与土壤呼吸速率关系的另一个重要参数是 Q_{10} 。 Q_{10} 为温度敏感性指数, Q_{10} 越高表明土壤呼吸速率对温度的依赖性越大^[11]。利用 Q_{10} 值的计算公式 $Q_{10} = e^{10 \times \beta_1}$, 计算土壤呼吸的 Q_{10} 值, 其中, β_1 是土壤呼吸速率的温度指数曲线方程的温度反应系

数, 其中, β_0 为 0 °C 时的土壤呼吸速率^[12]。通过分析计算, 由表 3 可以看出, 白膜玉米地土壤呼吸速率对温度的敏感性高于其他覆膜方式, Q_{10} 分别为 2.03, 2.15; 黑膜玉米地和裸地玉米地的土壤呼吸速率对 5 cm 土壤温度的敏感性高于地表温度。

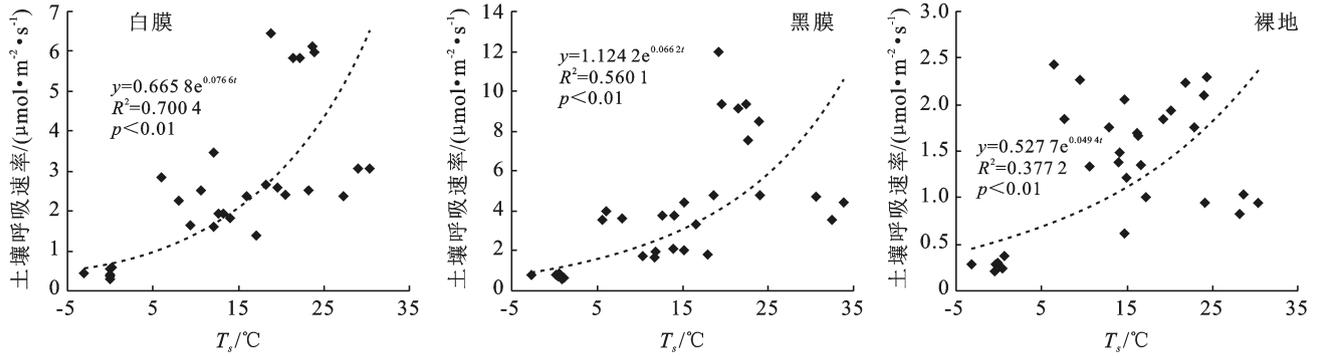


图 6 土壤呼吸速率与 5 cm 土壤温度 (T_s) 的关系

表 3 不同覆膜条件梯田土壤呼吸速率与地表温度、5 cm 土壤温度的拟合关系

覆膜条件	变量	a	b	R^2	Q_{10}
白膜地	地表温度	0.633 4	0.071 5	0.700 1	2.03
	5 cm 土壤温度	0.665 8	0.076 6	0.700 4	2.15
黑膜地	地表温度	1.176 0	0.059 9	0.524 1	1.82
	5 cm 土壤温度	1.124 2	0.066 2	0.560 1	1.94
裸地	地表温度	0.479 0	0.049 2	0.449 4	1.63
	5 cm 土壤温度	0.527 7	0.049 4	0.377 2	1.64

注: a, b 为指数方程 $y = a e^{bx}$ 对应系数。

2.5 不同覆膜条件土壤含水率变化

由图 7 可知,不同覆膜条件下土壤 0—60 cm 土层含水率的变化趋势一致,自表层至深层呈现 S 形变化规律。5 月 22 日,白膜地、黑膜地各土层的含水率

差异性不显著,但均高于裸地,0—60 cm 土层白膜地、黑膜地的土壤含水率平均值较裸地高 6.00% 和 3.10%。9 月 22 日,不同覆膜条件下土壤表层含水率均高于深层含水率,0—20 cm 土层白膜地、黑膜地的含水量均明显高于裸地,但白膜覆盖与黑膜覆盖对土壤含水率的影响均无显著性差异;随着土层的加深,20—40 cm 土层的含水量在两种覆膜方式下均明显高于裸地,随土层深度的增加差异呈减小趋势。5 月和 9 月两种覆膜条件下土壤含水量增加,这是由于随着外界气温的回升,地膜内的温度升高更快,迫使深层土壤水分上移,在表层聚积,形成提水上升的保墒效应。研究结果表明,与白色地膜覆盖相比,黑色地膜同样具有较好的土壤保墒功能,可满足玉米正常生长所需的水分。

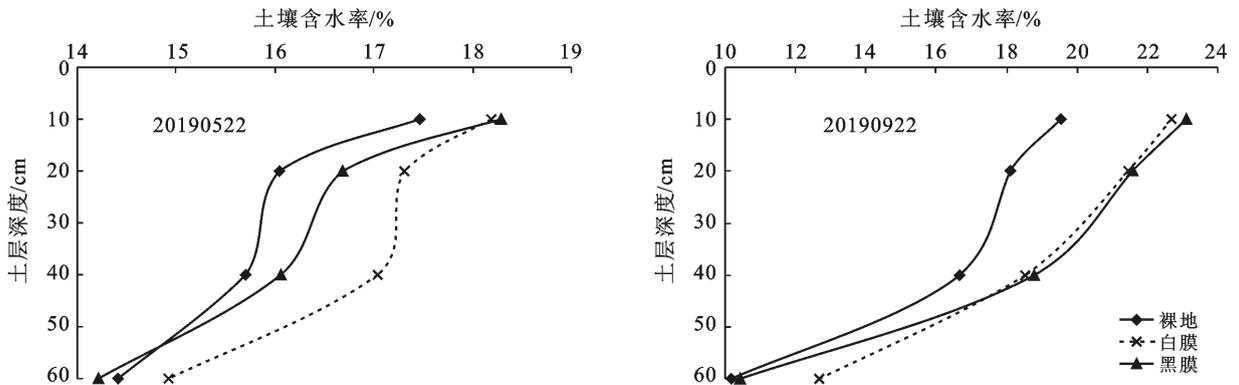


图 7 玉米不同时期土壤含水率变化

3 结论

(1) 不同覆膜条件玉米地的土壤呼吸速率日变化都呈单峰曲线变化趋势,最高值基本都出现在 12:00—14:00 之间。3 种不同覆膜处理玉米地的日均值表现为:黑膜地 > 白膜地 > 裸地,且不同覆膜处理的土壤呼吸速率差异显著。

(2) 白膜玉米地和黑膜玉米地不同月份土壤呼

吸速率变化表现为:7 月 > 5 月 > 3 月 > 9 月 > 11 月,裸地不同月份土壤呼吸速率变化表现为:7 月 > 3 月 > 9 月 > 5 月 > 11 月,夏季土壤呼吸活动最剧烈,且不同覆膜处理不同月份土壤呼吸速率两两之间差异显著。

(3) 不同覆膜条件土壤 CO_2 年排放量表现为:黑膜地 > 白膜地 > 裸地,且夏季和秋季的土壤 CO_2 年排放量均高于春季和冬季。

(4) 不同覆膜条件玉米地土壤呼吸速率与地表温度、5 cm 土壤温度具有很好的相关性,且都表现出极显著相关,覆膜玉米地 5 cm 土壤温度对土壤呼吸速率的影响高于地表温度,裸地则反之,白膜玉米地土壤呼吸速率对温度的敏感性高于其他覆膜方式。

(5) 不同覆膜条件下,土壤 0—60 cm 土层含水率的变化趋势一致,自表层至深层呈现“S”型变化规律。裸地土壤蒸发量大,裸地在 0—60 cm 土层的含水率明显低于两种覆膜地。研究表明,与白色地膜覆盖相比,黑色地膜同样具有较好的土壤保墒功能,可满足玉米正常生长所需的水分。

本文通过对黄土区梯田不同覆膜条件下土壤呼吸速率及土壤 CO₂ 排放量进行分析认为,3 种覆膜处理下,覆盖黑膜玉米地的土壤呼吸速率和土壤 CO₂ 排放量于白膜玉米地和裸地,且夏季和秋季的土壤呼吸速率和土壤 CO₂ 排放量大。由此可见,梯田不同覆膜条件增大了土壤呼吸速率和土壤呼吸 CO₂ 排放量,有效改善了黄土区梯田土壤碳循环环境,因此,提倡推广覆膜措施,推进黄土区梯田的生态系统可持续健康发展。

[参 考 文 献]

[1] Bond-Lamberty B, Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record [J]. *Nature*, 2010, 464(7288): 579-582.

[2] Raich J W, Potter C S, Bhagawati D. Interannual varia-

bility in global soil respiration, 1980-94 [J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(8): 800-812.

[3] Raich J W, Tufekciogul A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls [J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 71-90.

[4] Yuste J C, Nagy M, Janssens I, et al. Soil respiration in a mixed temperate forest and its contribution to total ecosystem respiration [J]. *Tree Physiology*, 2005, 25(5): 609-619.

[5] 邢胜利,魏延安,李思训.陕西省农作物地膜栽培发展现状与展望[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):10-13.

[6] 李兴,程满金,勾芒芒,等.黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征[J].生态环境学报,2010,19(1): 218-222.

[7] 申丽霞,王璞,张丽丽.可降解地膜对土壤温度、水分及玉米生长发育的影响[J].农业工程学报,2011,27(6):25-30.

[8] 郭建侠,卞林根,戴永久.在华北玉米生育期观测的 16 m 高度 CO₂ 浓度及通量特征[J].大气科学,2007,31(4): 695-707.

[9] 高翔,郝卫平,顾峰雪,等.降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响[J].生态学报,2013,32(24):7883-7893.

[10] 李虎,邱建军,王立刚.农田土壤呼吸特征及根呼吸贡献的模拟分析[J].农业工程学报,2008,24(4):14-20.

[11] Subramania M V, Singh B R. Phosphorus supplying capacity of heavily fertilized soils [J]. *Nutrient Cycling in Agroeco Systems*, 1996, 47(2): 115-122.

[12] 张野,王显瑞,赵禹凯,等.覆膜对谷子农艺性状、产量及土壤物理性质的影响[J].作物杂志,2012(5):153-158.

(上接第 193 页)

[15] 杜澍.果树科学实用手册[M].陕西 西安:陕西科技出版社,1986.

[16] 王华.葡萄与葡萄酒试验技术操作规范[M].陕西 西安:西安地图出版社,1999.

[17] 白宝璋.植物生理生化(下)[M].北京:中国农业科技出版社,2003.

[18] Jayaprakasha G K, Singh R P, Sakariah K K. Antioxidant activity of grape seed (*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models in vitro [J]. *Food Chemistry*, 2001, 73(3): 285-290.

[19] 宁改星,马宗桓,毛娟,等.施氮量对荒漠区“蛇龙珠”葡萄叶片质量的影响[J].果树学报,2019,36(9):1150-1160.

[20] 张筠筠,王竞,孙权,等.化肥减施对贺兰山东麓土壤肥力及酿酒葡萄品质的影响[J].西南农业学报,2019,32(7):1601-1606.

[21] 贺普超.葡萄学[M].北京:中国农业出版社,1999.

[22] Sabir A, Yazar K, Sabir F, et al. Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 175: 1-8.

[23] Boonterm V, Silapapun A, Boonkerd N. Effects of nitrogen, potassium fertilizers and clusters per vine on yield and anthocyanin content in cabernet sauvignon grape [J]. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 2010, 984(984): 435-442.

[24] Zhou Zhengchao, Gan Zhuoting, Shangguan Zhouping, et al. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil organic carbon and total nitrogen in a semi-arid cropland [J]. *European Journal of Agronomy*, 2013, 45: 20-26.