

局部覆盖条件下干旱过程对土壤水分蒸发的影响^{*}

王进鑫¹, 黄宝龙², 罗伟祥¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

[摘 要] 采用旱棚人工控水、蒸发桶称重法, 对地膜、渗水膜、干草、塑料泡膜4种地面覆盖材料在50%覆盖度下的土壤水分蒸发性能及保墒能力进行了研究。结果表明, 4种透水或不透水覆盖材料均能有效减少土壤水分蒸发, 其中蒸发抑制作用最强的为地膜, 其次为渗水膜, 塑料泡膜作用最小; 在为期5个月的试验期间, 地膜、渗水膜、干草、塑料泡膜覆盖可减少土壤蒸发量分别为23.04, 10.89, 10.03和5.68 mm。试验还发现, 覆盖材料对土壤蒸发的抑制能力与土壤干旱过程密切相关, 低含水率持续干旱阶段土壤蒸发速率随蒸发历时延长而减小; 高含水率干湿交替及持续干旱阶段则相反。局部覆盖能显著提高覆盖区与相邻非覆盖区的平均土壤含水率, 延长适宜植物生长的土壤水分的持续期, 减轻持续干旱对造林成活和幼林生长的威胁。

[关键词] 覆盖材料; 局部覆盖; 土壤水分蒸发; 干旱过程

[中图分类号] S152.72; S316

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)09-0106-05

地面覆盖是改善根区土壤小气候环境的重要措施之一, 在农林业生产中受到普遍重视^[1,2], 应用范围不断扩大。目前旱区人工造林, 特别是经济林营造中地面覆盖已经得到广泛应用^[3-5], 仅我国山东推广果园秸秆覆盖面积已达66 700 km²。近年来, 世界各国对各种覆盖材料的水、热效应进行了大量研究, 其中绝大多数是关于秸秆^[6-10]和地膜^[11-14]的试验研究, 而对其他覆盖材料的研究甚少^[15-17]。我国学者毛学森等^[15]、邵爱军等^[18]、虎胆·吐马尔白^[7]对不同覆盖条件下土壤水热分布的变化进行了研究; 李成华等^[19]对地面覆盖材料的光谱透射率及其对土壤温度的影响进行了研究; 王渭玲等^[20]研究了不同覆盖措施的土壤水分分布特征; 杨邦杰等^[21]对土壤蒸发过程的一维和二维情况等进行了数值模拟。国外学者 Ytzhak^[22]对地面局部覆盖(条带状覆盖)条件下土壤水热运动进行了理论分析和研究, 并建立了二维数学模型。

总之, 从目前有关覆盖的众多研究可以看出, 覆盖对蒸发影响的研究成果相对较少^[23-25], 在林地等局部覆盖条件下的研究则更少^[2]。黄土高原主要雨季在7~9月, 其降雨量占全年降雨量的60%以上, 春季持续性干旱频繁发生。因此, 研究各种覆盖材料

在不同降雨特征所形成的干旱过程中的保墒作用, 对深入探讨覆盖保墒的作用机制以及为不同地区选择适宜的覆盖保墒材料具有重要意义。本文对4种地面覆盖材料在50%覆盖度条件下的土壤蒸发性能及保墒能力进行了研究, 以期为宜覆盖材料的选择使用提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验土壤采自陕西省安塞县玉家河流域, 系黄绵土, 质地轻壤。风干、过筛, 除去石砾、结核及林草根系, 充分混匀备用。土壤水分物理性质详见文献[26]。

试验所使用的覆盖材料有4种: 地膜(PF), 膜厚0.006 mm; 渗水膜(WPPF), 系山西省农科院依单项渗水原理新近开发生产, 膜厚0.006 mm;

干草(Hay), 系禾本科植物野牛草(*Buchloedactyloides* (Nutt.) Engelm.)茎叶, 风干, 覆盖厚度30 mm; 塑料泡膜(SPS), 系西安泡膜塑料厂生产, 膜厚5 mm, 为多孔体。

1.2 方法

采用旱棚人工控水、蒸发桶称重法进行^[27]。以

* [收稿日期] 2004-02-15

[基金项目] 国家“九五”重点科技攻关项目(96-007-01-01-02); 西北农林科技大学校长基金项目(080804)

[作者简介] 王进鑫(1962-), 男, 甘肃镇原人, 副教授, 博士, 主要从事旱区人工生态系统水分运移调控与生物节水理论研究。E-mail: jwang118@tom.com

50% 覆盖度(覆盖面积占总面积的百分比)条件下不同覆盖材料为主因子, 不覆盖为对照, 研究不同供水方式所形成的干旱过程(低含水率持续干旱、高含水率干湿交替和高含水率持续干旱)与大气蒸发力条件下, 覆盖对土壤蒸发的影响。低含水率持续干旱阶段历时 30 d, 初始土壤湿度为供试土壤田间持水量(最小持水量); 其后转入定时、定量供水的干湿交替阶段, 供水量依相应月份多年平均降水量确定, 分 2~ 3 次等量灌入, 至任一处理灌水后蒸发桶土壤贮水量接近供试土壤最大持水量时停止灌水, 转入高含水率持续干旱阶段, 试验期间共补充灌水 3 次, 累计灌水量 95.3 mm。蒸发桶高 30 cm, 口径 27 cm。试验开始以后, 前 3 d 每天称重 1 次, 以后每 5 d 称重 1 次(精度 ± 0.5 g), 相邻两次重量差值即为该时段蒸发量, 二次重复, 取平均值。土壤含水率为蒸发桶平

均值。

2 结果与分析

2.1 低含水率持续干旱阶段不同覆盖材料对蒸发的影响

春季持续干旱是黄土高原最典型的气候特征之一, 同时也是每年中蒸发量最大的季节。从表 1 可以看出, 50% 覆盖度条件下在春季低含水率持续干旱阶段, 土壤累积蒸发量随覆盖材料种类的不同而异。经成对数据比较检验, 各覆盖处理与对照间均有极显著差异, 4 种覆盖材料之间除地膜与渗水膜在置信度 95% 的水平上有显著差异外, 其余各处理均在置信度 99.5% 的水平上有极显著差异。其中, 以地膜覆盖影响最大, 渗水膜次之, 塑料泡膜覆盖影响最小。

表 1 低含水率持续干旱阶段不同覆盖材料对土壤累积蒸发量的影响

Table 1 Influence of different mulch materials on cumulative evaporation under low initial soil moisture in the period of continuous drought

覆盖材料 Mulch materials	各历时累积蒸发量/mm Cumulative evaporation at different duration								
	1 d	2 d	3 d	6 d	11 d	16 d	21 d	26 d	31 d
不覆盖(CK) Uncovering	1.84	5.50	8.45	10.13	15.37	17.91	18.77	20.35	21.92
地膜 Plastic film	0.61	2.79	4.01	6.28	8.64	10.31	11.10	12.41	14.16
渗水膜 Water permeable plastic film	1.05	3.32	3.67	6.29	8.42	11.53	12.40	14.15	15.89
干草 Hay	1.22	3.68	5.51	7.08	10.35	12.24	13.03	14.60	16.00
塑料泡膜 Sponge plastic sheet	1.48	4.02	6.48	8.03	12.31	14.67	15.54	17.02	19.55

从不同时段 4 种材料对土壤蒸发的抑制率来看(图 1), 随着持续干旱时间的延长, 各种覆盖材料的

蒸发抑制率均减小。其中, 因天气条件的影响在初始 10 d 内地膜和渗水膜蒸发抑制率变化较大。

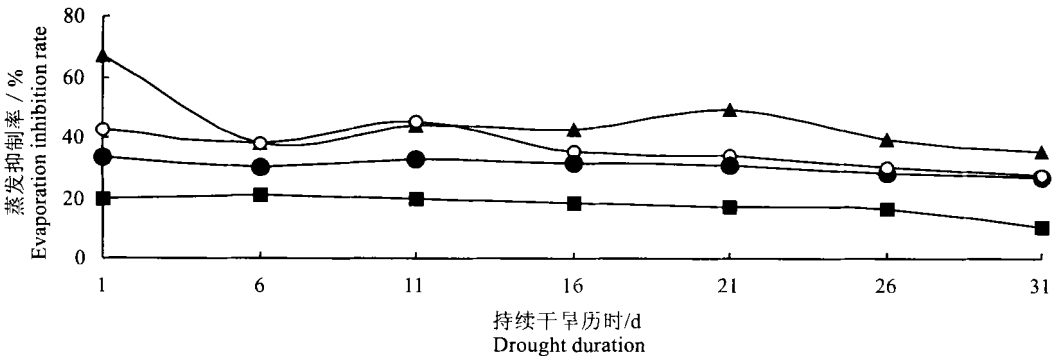


图 1 50% 覆盖度下不同覆盖材料对土壤累积蒸发抑制率与干旱历时的关系

—▲—, 地膜; —○—, 渗水膜; —●—, 干草; —■—, 塑料泡膜

Fig. 1 The relationship between evaporation inhibition rate and drought duration under different mulching materials at 50% coverage

—▲—, Plastic film; —○—, Water permeable plastic film; —●—, Hay; —■—, Sponge plastic sheet

对该阶段累积蒸发量与蒸发历时关系的统计分析表明, 不同覆盖条件下土壤水分累积蒸发量 Q 与

蒸发历时 T 符合幂函数规律, 即 $Q = A \times T^B$ 。对其求导, 即可得到不同覆盖条件下土壤蒸发量随蒸发历时变化(蒸发速率 $E = \alpha \times T^{\beta}$)的经验公式:

$$E_{PF} = 0.916 2T^{-0.2269}, R = 0.9456 \quad (1)$$

$$E_{WPPF} = 1.079 8T^{-0.2910}, R = 0.9708 \quad (2)$$

$$E_{Hay} = 1.264 5T^{-0.3457}, R = 0.9614 \quad (3)$$

$$E_{SPS} = 1.478 3T^{-0.3357}, R = 0.9679 \quad (4)$$

$$E_{CK} = 1.864 4T^{-0.3698}, R = 0.9546 \quad (5)$$

$$R_{0.01}(9) = 0.7646$$

E 与 T 关系的系数 α 表示在蒸发历时 $T=1$ 时不同覆盖处理的土壤蒸发速率, 而指数 β 反映了土壤蒸发速率随蒸发历时延长而减小的程度, 其规律性十分明显。土壤蒸发速率 E 随蒸发历时 T 延长而减小, 这与土壤含水率的逐渐减小有关。

2.2 高含水率干湿交替与持续干旱阶段不同覆盖材料对蒸发的影响

通过对试验数据(表2)的初步统计分析可以发现, 高含水率干湿交替阶段与持续干旱阶段, 其土壤

表2 高含水率干湿交替与持续干旱阶段不同覆盖材料对土壤累积蒸发量的影响

Table 2 Impact of different mulch materials on cumulative evaporation in the intermittent wetting and drying of high moisture during the wet season

覆盖材料 Mulch materials	各历时累积蒸发量/mm (6~ 9月) Cumulative evaporation at different duration (June- September)														
	5 d	11 d	16 d	21 d	26 d	31 d	36 d	42 d	46 d	51 d	56 d	62 d	87 d	93 d	123 d
不覆盖(CK) Uncovering	4.28	8.47	25.67	39.91	45.60	49.25	61.71	76.19	81.36	87.64	90.26	93.62	105.04	105.76	107.77
地膜 Plastic film	1.92	3.49	18.51	29.86	33.87	39.28	45.79	55.48	59.45	68.31	73.44	78.75	86.30	87.57	92.49
渗水膜 Water permeable plastic film	2.27	4.54	19.56	31.97	38.25	44.37	52.45	62.32	64.85	74.49	79.96	86.42	98.54	99.61	102.91
干草 Hay	2.45	5.59	20.96	33.27	38.42	45.35	57.42	67.79	71.02	78.90	83.48	89.21	97.37	99.17	103.66
塑料泡沫 Sponge plastic sheet	2.53	5.67	22.30	33.09	38.59	41.56	52.82	63.27	67.90	79.08	84.78	90.58	100.62	101.58	104.46

从上述模型可以看出, 高含水率干湿交替与持续干旱阶段, 土壤蒸发速率 E 随蒸发历时 T 的延长而增大, 这一点与低含水率持续干旱阶段恰好相反。这与该时期土壤含水率相对较高, 气温升高快, 而土壤含水率对蒸发的抑制作用相对较弱有关。

2.3 不同覆盖材料在50%覆盖度下的保墒作用

不同覆盖条件下蒸发量和蒸发速率的大小在一定程度上反映了各种覆盖材料的保墒性能, 但不能以此作为选择覆盖材料的依据。其主要原因在于: 一方面, 蒸发量和蒸发速率均为流量指标, 二者仅反映了一定阶段土壤水分蒸发损失的大小和速率, 并未反映各措施条件下植物对土壤水分的要求, 适宜于植物正常生长的土壤水分持续期和可利用水量等贮量指标。另一方面, 从各措施抑制土壤水分蒸发的相对量来看, 覆盖的保墒作用并不明显。以蒸发抑制作用最强的地膜为例, 在为时1个月的低含水率持

累积蒸发量随蒸发历时的变化规律基本相同。因此, 可将二者结合起来分析。

4种覆盖材料对蒸发的抑制作用大小与低含水率持续干旱阶段相同, 经成对数据比较检验, 各处理间均有极显著差异。对该时期土壤累积蒸发量 Q 与蒸发历时 T 进行非线性参数拟合, 并求导即可得土壤蒸发速率(E)模型:

$$E_{PF} = 0.475 7T^{0.2792}, R = 0.9402 \quad (6)$$

$$E_{WPPF} = 0.569 9T^{0.2567}, R = 0.9478 \quad (7)$$

$$E_{Hay} = 0.546 9T^{0.2193}, R = 0.9476 \quad (8)$$

$$E_{SPS} = 0.674 3T^{0.2133}, R = 0.9518 \quad (9)$$

$$E_{CK} = 1.177 7T^{0.0663}, R = 0.9505 \quad (10)$$

$$R_{0.01}(15) = 0.6226$$

续干旱期末, 只减小蒸发量7.76 mm, 在为时4个月的高含水率干湿交替与持续干旱阶段末, 也只有15.28 mm, 二者加起来也不过23.04 mm。但从植物生长对土壤水分的要求来看, 覆盖的作用不容低估。

表3是依据水量平衡原理计算出的各历时局部覆盖条件下的土壤平均含水率。从表3可以看出, 无论是持续干旱阶段还是干湿交替阶段, 各种覆盖措施均能有效地保持土壤水分, 延长有限水分的持续期。在低含水率持续干旱15 d, 对照土壤的含水率由田间持水量降到生长阻滞点(相当于田间持水量的60%)^[26]以下, 而覆盖情况下历时31 d基本上都在生长阻滞点以上, 这种作用在高含水率干湿交替与持续干旱阶段表现的尤为突出。根据覆盖条件下水分对植物生长的适宜性及持续期长短, 可以确定在持续干旱期较长、雨季集中、干湿交替明显的黄土高原地区, 最好的保墒材料为地膜, 其次为渗水膜、干

草; 塑料泡膜较差。

表3 不同覆盖条件下各历时土壤平均含水率

Table 3 Soil moisture content in different duration under different mulch material conditions		土壤质量含水率/% Soil moisture content				
干旱过程 Drought process	历时/d Duration	不覆盖(CK) Uncovering	地膜覆盖 Plastic film	渗水膜覆盖 Water permeable plastic film	干草覆盖 Hay	塑料泡膜覆盖 Sponge plastic sheet
低含水率持续干旱阶段 During the period of continuous drought with the low initial soil moisture	1	17.95	18.48	18.29	18.22	18.10
	2	16.35	17.53	17.30	17.14	16.99
	3	15.06	17.00	17.15	16.34	15.92
	6	14.33	16.01	16.00	15.66	15.24
	11	12.04	14.98	15.07	14.23	13.37
	16	10.92	14.25	13.71	13.40	12.34
	21	10.55	13.90	13.33	13.06	11.96
	26	9.86	13.33	12.57	12.37	11.32
	31	9.18	12.57	11.81	11.76	10.21
高含水率干湿交替阶段 During the period of intermittent wetting and drying with relatively high initial soil moisture	35	20.30	24.72	23.81	23.69	22.10
	42	18.47	24.04	22.82	22.32	20.73
	47	10.96	17.48	16.26	15.60	13.47
	52	17.74	25.52	23.84	23.22	21.75
	57	15.25	23.77	21.10	20.97	19.35
	62	13.66	21.40	18.42	17.95	18.05
高含水率持续干旱阶段 During the period of continuous drought with high initial soil moisture	67	27.45	37.79	34.12	31.90	32.36
	73	21.12	33.56	29.81	27.38	27.80
	77	18.87	31.82	28.71	25.97	25.78
	82	16.12	27.95	24.50	22.52	20.90
	87	14.98	25.71	22.11	20.52	18.41
	93	13.51	23.39	19.29	18.02	15.87
	118	8.52	20.10	14.00	14.46	11.49
	124	8.21	19.54	13.53	13.67	11.07
	154	7.33	17.39	12.09	11.71	9.81

3 结 论

- 1) 对4种地面覆盖材料抑制土壤蒸发的研究结果表明, 各种覆盖材料均能有效减少土壤水分蒸发, 但不同材料对蒸发抑制作用的相对大小不同。其中以地膜覆盖影响最大, 渗水膜和干草次之, 塑料泡膜最小。在为期5个月的试验过程中, 地膜、渗水膜、干草和塑料泡膜可分别减少土壤蒸发量23.04、10.89、10.03和5.68 mm。
- 2) 低含水率持续干旱阶段土壤蒸发特性与高

含水率干湿交替及持续干旱阶段土壤蒸发特性具有明显不同的规律。前者蒸发速率随蒸发历时延长而减小, 后者则增大。

3) 50%覆盖度下的局部覆盖可显著提高覆盖区与相邻非覆盖区的平均土壤含水率, 延长有限土壤水的持续期。既能使有限的土壤水分在春季持续干旱阶段较长时期地维持在适宜植物生长的水平之上, 又能使雨季集蓄的水分得以长期保存, 减轻了持续干旱对造林成活和幼林生长的威胁。

[参考文献]

[1] 隋红建, 曾德超. 地面覆盖应用与研究的现状及发展方向[J]. 农业工程学报, 1990, 6(4): 26- 34

[2] 王丽学, 李宝筏, 刘洪禄. 农田覆盖技术及相关理论的发展现状与展望[J]. 中国农村水利水电, 2002, (1): 33- 35

[3] 来锡福. 枣树栽培中地面覆盖与生长关系初探[J]. 甘肃林业科技, 1996, (4): 32- 34

[4] 张建国, 张 磊. 旱地苹果园秸秆覆盖效应分析[J]. 山西水土保持科技, 2001, (6): 34- 35

[5] 陈世平, 许宗得, 陈光铭. 地面覆盖结合化学调控对温州蜜柑产量和品质的效应[J]. 广西园艺, 2003, (1): 5- 6

[6] 赵聚宝, 张天佑. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2): 59- 66

[7] 虎胆·吐马尔白. 秸秆条带状覆盖条件下土壤水分运动实验研究及数值计算[J]. 水利学报, 1998, (8): 72- 76

- [8] 李新举, 张志国, 李永昌. 秸秆覆盖对盐渍土水分状况影响的模拟研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(4): 176- 177.
- [9] 高秀萍, 张勇强, 童兆平, 等. 覆盖秸秆对梨树几项水分生理指标的影响[J]. 山西农业科学, 2001, 29(2): 59- 61.
- [10] 陈素英, 张喜英, 胡春胜, 等. 秸秆覆盖对夏玉米生长过程及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(4): 55- 66.
- [11] 吴从林, 黄介生, 沈荣开. 地膜覆盖在冬小麦生育期内增温保墒作用的试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2001, (8): 7- 9.
- [12] 张永涛, 汤天明, 李增印, 等. 地膜覆盖的水分生理生态效应[J]. 水土保持研究, 2001, 8(3): 45- 47.
- [13] 李援农, 范兴科, 樊惠芳, 等. 地膜覆盖灌水对土壤水分变化及作物生长的影响[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 45- 47.
- [14] 王 俊, 李凤民, 宋秋华, 等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 205- 210.
- [15] 毛学森, 曾江海. 硬覆盖对土壤水热传输及作物生长发育影响的试验研究[J]. 生态学杂志, 2000, 19(2): 68- 71.
- [16] 殷海善, 王改玲. 膨润土改性沥青覆盖地面的水分效应试验[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(3): 83- 86.
- [17] Zhuang Shun-yao, Yin Bin, Zhu Zhao-liang. A simulation study on effect of surface film-forming material on water evaporation[J]. Pedosphere, 2001, 11(1): 67- 72.
- [18] 邵爱军, 彭建萍. 覆盖条件下田间土壤水分运动的数值模拟[J]. 武汉水利电力大学学报, 1997, 30(3): 15- 19.
- [19] 李成华, 马成林. 地面覆盖材料的光谱透射率及其对土壤温度的影响[J]. 农业工程学报, 1996, 12(4): 165- 168.
- [20] 王渭玲, 徐福利, 李学俊, 等. 渭北旱塬不同覆盖措施的土壤水分分布特征[J]. 西北农业学报, 2001, 10(3): 56- 58.
- [21] 杨邦杰, 隋红建. 土壤水热运动模型及其应用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1997.
- [22] Ytzhay M. Temperature and moisture regimes in soil mulched with transparent polyethylene[J]. Soil Sci Soc Am J, 1984, 48(2): 362- 367.
- [23] 王荣堂, 张竹青, 王有宁. 地膜覆盖对蒸腾蒸发的影响[J]. 湖北农学院学报, 2002, 22(2): 101- 103, 114.
- [24] 门 旗, 李 毅, 冯广平. 地膜覆盖对土壤棵间蒸发影响的研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 17- 25.
- [25] 王改玲, 郝明德, 李仲谨. 不同覆盖物和蒸发抑制剂对土壤蒸发影响的研究初报[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 133- 136.
- [26] 王进鑫. 新型保墒材料对黄绵土水分运移的作用机制研究[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(1): 20- 26.
- [27] Bost C W, Robertson T M. A "micro-lysimeter" method for determining evaporation from a bare soil: description and laboratory evaluation[J]. Soil Sci Am J, 1982, 46: 689- 696.

Influence of drought process on evaporation under partial mulching conditions

WANG Jin-xin¹, HUANG Bao-long², LUO Wei-xiang¹

(1 College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 College of Forest Resource and Environmental Science, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract: Based on natural evaporation experimentation with artificially controlled precipitation, the evaporation and soil moisture under 50% coverage rate with four types of mulching materials were studied. The results showed that the ability of mulching inhibiting soil evaporation not only relates to property of materials, but also relates to arid process caused by initial soil moisture and the distribution of rainfall. Of 4 types of mulching materials including plastic film (PF), water permeable plastic film (WPPF), hay (Hay) and sponge plastic sheet (SPS), PF is very good, WPPF and Hay next, SPS relatively poor for inhibiting evaporation, and the inhibiting ability of mulching for soil evaporation is 23.04, 10.89, 10.03 and 5.68 mm respectively during 5-month period. With the increase of duration, the soil evaporation rate decreases in the continuous drought period with low initial soil moisture and increase in the intermittent drying and wetting period with high initial soil moisture. Mulching can apparently enhance the mean soil moisture in the mulched area and adjacent uncovered area, lengthen the duration of soil moisture which was fit for plant growth, and lighten the threat of continuous drought to survival and growth of young forest.

Key words: mulching materials; partial mulching; soil water evaporation; drought process