

# 生物集雨面营建技术及其集雨效率的研究

冯学赞<sup>1</sup>, 张万军<sup>1</sup>, 赵艳敏<sup>1</sup>, 周贵连<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 遗传与发育生物学研究所 农业资源研究中心, 河北 石家庄 050021; 2. 河北省林业厅, 河北 石家庄 050081)

**摘要:** 通过人工培育方法在室内、室外条件下研究了生物结皮人工培育技术, 并对人工生物结皮对土壤渗透性的影响及其生物集雨面的集雨效率进行了测定。研究结果表明, 在适宜的湿度(空气相对湿度 80%~90%, 土壤湿度 13%~20%); 温度(25~35)和光照条件(2 500~12 000 lx)下, 对培育材料进行适当的处理后, 经过 20~30 d 的人工培育, 可在整平压实的坡面上形成连续的人工生物结皮集雨面。采用双环入渗仪和径流小区测定发现, 人工生物结皮可使土壤入渗速率降低 50%左右, 生物结皮集雨面的集雨效率达到 60%。所研究的生物结皮培育技术还可用于人工批量繁育生物结皮, 用于生物集雨面的建设, 以避免大量采集自然结皮对生态环境造成的破坏。

**关键词:** 生物土壤结皮; 生物结皮集雨面; 生长最适环境; 入渗速率; 集流效率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)01-0145-05

中图分类号: S275

## Construction Technology and Rainwater Harvesting Efficiency of Biological Rainwater Catchment

FENG Xue-zan<sup>1</sup>, ZHANG Wan-jun<sup>1</sup>, ZHAO Yan-min<sup>1</sup>, ZHOU Gui-lian<sup>2</sup>

(1. Research Center for Agricultural Resources, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050021, China; 2. Hebei Forest Bureau, Shijiazhuang, Hebei 050081, China)

**Abstract:** Experiments were conducted indoor and outdoor to study the technology of artificial cultivation of biological soil crust (BSC). Infiltration rates for the soil with and without biological soil crust were measured and runoff coefficients of biological rainwater harvesting plots were determined. Results showed that after treated reasonably, a continuous BSC with >90% coverage could be formed under 13%~20% relative air humidity, 13%~20% substrate humidity, 25~35, and 2 500~12 000 lx light intensity in 20~30 days. The cultivated BSC growing on an even, smooth, and soil-compressed slope can form an intact biological rainwater harvesting plot. Infiltration rate for the BSC was reduced by 50% compared to the CK and the rainwater harvesting coefficient of BSC rainwater harvesting plot was up to 60%. Moreover, the technology of the BSC cultivation can be used in the propagation of BSC to avoid the damage to environment caused by the over-collection of natural BSC in the establishment of a biological rainwater catchment.

**Keywords:** biological soil crust; biological rainwater catchment; suitable environment condition; infiltration rate; rainwater harvesting efficiency

雨水利用技术是解决水资源不足, 农村生产生活用水困难的一个重要途径。其中雨水异地利用是雨水利用技术的主要内容之一。雨水异地利用主要是将产生于集流面的降雨径流收集贮存后加以利用。集流面具有改变地表土壤结构、减少雨水向土壤中的入渗、增加地表径流的功能<sup>[1]</sup>。集雨面的营建材料与集流面的集流效率密切相关。我国已应用的集雨材料多种多样, 如三合土、瓦、塑料膜、油毡、沥青、混凝

土、黏土夯实等<sup>[2]</sup>, 应用时基于不同地区的环境条件和经济状况以及不同目的进行选择。随着近年来我国经济的发展和生态建设的需要, 研发适合干旱半干旱地区应用的新型低成本、高效率的坡面集雨固化土材料、绿色环保型集雨面喷涂材料、生物集雨材料等已成为雨水利用的研究热点<sup>[4-5]</sup>。但大多数材料仍以高分子化学物质为主, 而高分子物质难分解、易在土壤中产生残留, 由此可能会产生一系列环境问题, 对

收稿日期: 2008-08-01

修回日期: 2008-09-25

资助项目: 国家 863 计划重大科技专项(2002AA2Z405; 2001AA242011-1)

作者简介: 冯学赞(1965—), 男(汉族), 河北省涿州市人, 副研究员, 主要从事植物生态学研究。E-mail: xuezanfeng@yahoo.com。

通信作者: 张万军(1955—), 男(汉族), 河北省南宫市人, 研究员, 主要人事生态水文学研究。E-mail: zhangwj@sjzjiam.ac.cn。

生态环境的安全具有潜在的危險。因此目前迫切需要研发绿色环保型集雨面喷涂材料、生物集雨材料,避免物理方法和化学方法造价高、耐久性差、对环境产生污染等缺点。

生物土壤结皮由不同种类的苔藓、地衣、藻类、真菌和细菌等生物体与其下层很薄的土壤共同形成的复合土壤层<sup>[6-7]</sup>。组成生物结皮的生物体不易受短期气候的影响,对干旱和贫瘠有较强的耐受能力<sup>[8]</sup>。干旱半干旱地区的土壤养分和水分条件对生物结皮的生长的限制显著的低于对其它植物的影响,不会成为制约土壤生物结皮生长的关键因子。另外在植被稀少地区土壤生物结皮是重要的固碳生物,可为土壤微生物和植物生长提供充足碳源,增加土壤有机质含量。生物结皮还可以固定空气中的氮,为土壤贫瘠地区植物提供氮营养<sup>[9]</sup>。随着土壤生物结皮生长,土壤细粒物质增加团粒性能得到改善。因此土壤生物结皮还具有促进土壤发育的作用<sup>[10]</sup>。生物结皮另一个重要的特征是对土壤水文过程的影响。生物结皮在土壤表面形成一层致密的不透水壳,具有消除或降低雨水的入渗、增加地表径流的功能,是一种极具潜力的营建集流面的绿色生物材料<sup>[11]</sup>。为此本文针对生物结皮的人工培育及生物结皮集雨的营建技术进行了试验研究,并对人工生物结皮对降雨入渗和径流的影响进行了测定,以期对干旱半干旱地区生物集雨技术的建立提供依据。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验材料

试验所用材料有两类,一类为采自山西省文水县黄土地区的石果地衣 (*Endocarpon pusillum* Hedw.) 结皮。一类为采自太行山区的石果地衣和葫芦藓 (*Funaria hygrometrica* Hedw.) 的混合结皮。各种结皮均为带有结皮的厚为 0.5~1 cm 的表土。

### 1.2 试验方法

1.2.1 生长环境对生物结皮生长的影响 在室内和室外采用盆栽方法对不同环境条件下繁育的生物结皮生长情况进行了试验。将带有石果地衣结皮的表土粉碎后过筛,选择粒径为 0.25~1 mm 结皮土,均匀地撒种在田园土基质上,置放在不同条件下进行培养。分别设置不同温度、空气湿度、光照强度和基质土壤含水量进行处理。共设 5 个温度处理:10~20, 21~25, 26~30, 31~35, 36~40; 4 个空气相对湿度处理:100%, 85%~95%, 70%~85%, <70%; 5 个土壤含水量处理:31.13%, 19.27%, 13.15%, 9.63%, 5.36%; 5 个光照强度处理:10 000~

35 000 lx, 2 500~12 000 lx, 1 000~5 000 lx, 200~2 500 lx, 100~500 lx。同时对不同培育基质进行了试验,共设 5 种基质,分别为壤土,壤土 沙土=2:1,壤土 沙土=1:1,壤土 沙土=1:2,沙土。

1.2.2 生物结皮集雨面的培育技术 所用材料为采自太行山的混合生物结皮。分别对撒种用结皮的土壤粒级、撒种量和培育人工结皮集雨坡面的处理方法对人工结皮生长的影响进行了研究。撒种用结皮土壤粒级共分为 5 种:<0.1 mm, 0.1~0.25 mm, 0.25~0.5 mm, 0.5~1 mm, >1 mm; 撒种量分别为:1 000, 500, 200, 100, 60 g/m<sup>2</sup>; 坡面处理方法有:拍光+水,拍光,原状土。

1.2.3 人工结皮生长调查 试验开始后每隔 7 d 采用点测法<sup>[11]</sup>测定结皮的盖度。

1.2.4 生物结皮集雨面的集雨效率 应用环刀法<sup>[12]</sup>测定沙地自然结皮、沙地、壤土人工结皮和壤土的入渗速率。自然降雨条件下测定不同径流小区的径流系数。径流小区主要有人工地衣苔藓集雨面、地衣结皮面、苔藓结皮面、塑料集雨面和自然土面。

## 2 结果和分析

### 2.1 环境条件对生物结皮生长的影响

从表 1 可以看出地衣结皮的生长对基质湿度和空气湿度反应非常强烈,湿度增加可以明显地促进结皮的生长。当空气湿度小于 95% 时,生长速度随着湿度的增加而增加,但空气湿度为 100% 时,由于通气性差,生长受到抑制,同时结皮表面出现真菌菌落,影响结皮的正常生长。土壤湿度过低和过高对结皮的生长均不利,当土壤含水量 9.63%, 31.13% 时,结皮的生长明显受阻。因此人工生物结皮生长最佳的空气相对湿度为 85%~95%, 基质含水量为 13%~20%。

温度对结皮生长的影响主要表现在低温对生长的抑制作用,10~20 条件下,达到 90% 的覆盖率所需时间为 55 d; 当温度高于 25 时,温度不再是限制结皮生长的因子,随着温度的升高结皮的生长速度增加,温度在 25~35 时,达到 90% 覆盖率所需时间为 21 d。但当温度过高时(高于 35),由于蒸发量过大,可能会造成基质含水量降低,影响到结皮生长,生长速率下降。从表 2 可以看出,结皮生长的最适温度为 25~35。

全光照导致的温度增加和蒸发量加大,可能会影响到结皮生物体的光合作用正常进行,使全光下结皮覆盖率偏低,适当的遮荫对结皮生长有明显的促进作用。但光照过低会对结皮生长产生明显的抑制作用,从表 3 可以看出,适宜的光照强度为 2 500~12 000 lx。

所选择的自然结皮的生长基质多为具有一定厚度的土壤,为了保证人工结皮的迅速生长,适宜的培养基质选择也非常重要。从不同质地基质上结皮的生长表现(表 4)可以看出,生物结皮对生长基质的适

应范围较大,在壤土及加有少量粗沙的基质中生长效果相似。但土壤质地过于松散,基质中粗沙增加时,结皮的生长速度有所下降,因此营建生物结皮集雨面应选择土层较厚的壤土或沙壤土为宜。

表 1 湿度条件对结皮生长的影响

湿度/ %	生物结皮的覆盖率/ %					
	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	
空气相对湿度	100	21.00	33.23	61.67	73.14	89.13
	85~95	15.67	28.87	75.12	82.89	96.67
	70~85	10.50	17.48	51.24	78.12	88.33
	<70	3.52	8.34	30.34	49.35	67.50
土壤湿度	31.13	17.67	49.30	80.00	88.00	91.67
	19.27	26.67	52.00	82.67	92.67	98.00
	13.15	21.00	34.30	64.67	87.30	92.00
	9.63	13.33	24.30	48.33	62.33	72.00
	5.36	6.67	10.00	33.33	36.50	51.00

表 2 培养温度对结皮生长的影响

温度/	覆盖率达到 90 % 所需时间/ d	21 d	45 d
		覆盖率/ %	覆盖率/ %
10~20	55	43.06	82.12
21~25	30	67.58	94.30
26~30	21	89.13	97.64
31~35	21	90.56	95.77
36~40	25	87.3	92.01

2.2 生物结皮集雨面的营建技术

营造生物结皮集雨面的地区一般在干旱半干旱的山区,为保障生物集雨技术的顺利推广和应用,建立简便易行的营造技术是必要的。为此从天然结皮土的用量、土粒级及培养结皮土面的处理对生物结皮生长的影响在室外进行了试验研究。表 5—7 列出了试验结果。

表 3 光照强度对结皮生长的影响

光照强度/lx	透光率/ %	生物结皮覆盖度/ %					
		6 d	12 d	18 d	24 d	30 d	36 d
10 000~35 000	100.00	11.00	18.80	21.15	35.66	41.23	51.23
2 500~12 000	31.86	29.33	39.64	57.48	82.92	87.26	91.28
1 000~5 000	12.16	18.88	26.67	36.67	50.00	60.00	69.87
200~2 500	4.24	11.25	20.00	20.00	30.00	35.55	41.23
100~500	1.11	0	0	0	0	0	0

表 4 培养基质对地衣生长的影响

基质	生物结皮覆盖率/ %					
	6 d	12 d	18 d	24 d	30 d	36 d
壤土	15.56	37.78	59.16	69.13	76.15	91.23
壤土 沙=2 1	18.89	35.26	60.12	68.10	79.07	92.46
壤土 沙=1 1	17.78	28.89	48.56	61.58	69.14	80.36
壤土 沙=2 1	13.33	20.16	35.56	57.78	64.13	75.10
沙土	7.78	15.56	28.89	40.12	55.78	66.13

人工营造用来集雨的生物结皮时,播种用的天然结皮土壤的用量不仅关系到工作量的大小,而且对保护原有结皮非常重要。若天然结皮土壤用量过多,工作量增加,施工难度加大,而且将消耗大量的天然生

物结皮,破坏已有的生态平衡。因此,寻找最佳的播种用天然结皮土用量非常重要。从表 5 可以看出,200 g/m<sup>2</sup> 的用量可以达到良好的生长效果。天然结皮土壤中含有大量的地衣原植物的碎片,碎片的大小

与地衣的再生率有直接关系,因此,天然结皮土的粒级直接影响生物结皮的人工培养。从表 6 看出,最佳的粒级为 0.25~0.5 mm,但 0.1~0.25 mm 粒级和 0.5~0.1mm 粒级的天然结皮土也可以达到较好的培养效果。

表 5 天然结皮土壤用量对人工培育结皮生长的影响

生物结皮用量/ (g·m <sup>-2</sup> )	生物结皮覆盖率/ %				
	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
1 000	59.19	94.17	95.26	97.22	100.00
500	38.09	85.29	87.56	96.29	100.00
200	19.05	42.15	50.32	77.78	93.61
100	17.14	48.39	52.84	65.74	79.63
60	16.19	41.18	43.18	52.77	73.15

表 6 播种用天然结皮土粒级对人工结皮生长的影响

天然结皮 粒级/mm	人工结皮覆盖率/ %				
	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
<0.1	2.94	2.94	15.94	21.21	33.33
0.1~0.25	25.00	30.60	57.14	79.67	88.34
0.25~0.5	31.90	31.90	61.42	84.13	92.13
0.5~1	16.67	25.00	51.43	61.34	79.32
>1	5.26	10.60	28.36	33.16	42.13

在人工集雨面营造过程中通常将自然土面压实拍光以达到更好地增加径流的目的,为了解土面处理是否影响生物结皮生长,进行了不同土面处理试验,表 7 中“拍光+水”处理是指自然土面拍光后,浇水,待水全部入渗再撒种天然结皮土,“拍光”是指将土面拍光后即撒天然结皮土,然后再浇水。从表中可以看出,不同土面的处理对生物结皮的生长无任何影响。

表 7 集雨面的坡面处理对结皮生长的影响

处理方式	生物结皮覆盖率/ %				
	11 d	18 d	25 d	32 d	39 d
拍光+水	16.0	32.0	75.00	89.0	92.2
拍光	15.0	32.0	74.8	90.0	94.0
自然土面	22.0	37.8	74.2	88.5	93.0

### 2.3 生物集雨面的集雨效率

2.3.1 生物结皮的入渗速率 生物土壤结皮将土壤表层细粒粘在一起,改变了土壤物理性状,减少或完全关闭土壤导水孔隙<sup>[6]</sup>;而干燥的生物结皮吸水膨胀后,黏质的蓝藻体积膨大 13 倍,可以封闭土壤表层水流孔隙,因此生物结皮的存在可以大幅度降低土壤渗透性,进而增加正常降雨产生的地表径流<sup>[6-8]</sup>。

在沙地和壤土地区对自然沙地、人工结皮入渗速率测定结果表明(图 1),不同地面入渗速率不同,结皮的存在可以明显降低土壤入渗。其中用地衣结皮在壤土地区营造的人工生物结皮的入渗速率最低。

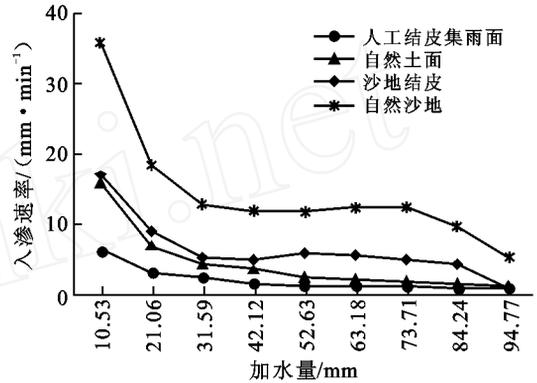


图 1 不同处理地表对土壤入渗速率的影响

2.3.2 生物结皮集雨面的径流系数 径流小区的试验结果表明(图 2),不同集雨面的径流系数不同。由地衣和苔藓在地表形成的生物土壤结皮使土壤的入渗速率减少,地表径流明显增加。由于人工生物结皮集雨面在建造前已整平压实原地面,在地表培养形成的生物结皮又使集流面更加平滑,易形成径流;且微地形变化小,雨水填洼现象少,因此人工生物结皮集雨面径流系数大幅度提高,达到对照的 3 倍左右。地衣结皮和苔藓结皮培养前仅将地表略作整平即撒种地衣和苔藓,形成的结皮的光滑度和平整度不及人工生物结皮集雨面,径流系数仅为 40%左右,低于人工生物结皮集雨面,但仍高于对照的原土面。由此说明,生物结皮具有降低入渗增加径流的作用,而且通过人为建造的生物集雨面集雨效率更高。

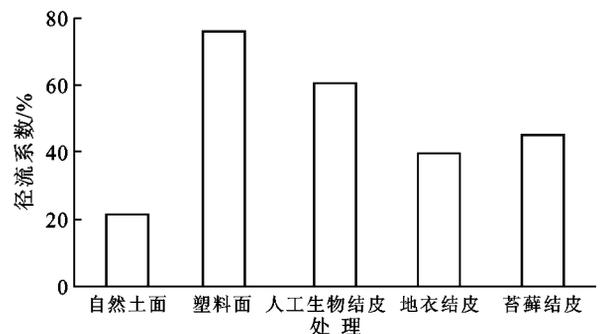


图 2 不同径流小区的径流系数

## 3 结论

(1) 利用生物结皮减少水分的入渗,增加地表径流的功能,在营造人工生物结皮集雨面方面可以有效地提高集流效率,同时由于生物结皮是以植物为主要成分的

生物材料,集雨面、集雨效率随着生物材料的生长将不断增加,生物集雨面具有显著的持久性和环保性。

(2) 营建生物结皮集雨面最好在壤土地区,培育初期应尽量保持适宜的土壤湿度和空气湿度,可以采用塑料膜保湿的方法促进生物结皮集雨面的迅速形成。此外,为促进生物集雨面的生长,根据生物结皮生长的环境要求,野外培育生物集雨面时选在春季、夏初、夏末或初秋进行,这样可以避免夏季高温和高光强造成的生物结皮生长的阻碍。营造生物结皮集雨面时坡面的平整和培育用生物材料的前处理对缩短集雨面培育时间、提高集流效率十分重要。

(3) 生物集雨面营建所用的材料为生物结皮,为了避免在建造生物集雨面过程中大量采集自然生物结皮,破坏生态平衡,建立生物结皮的人工繁殖方法十分必要,根据试验结果可以在大棚内为生物结皮提供人工的适宜环境条件,快速大量地繁殖生物结皮,供野外建立生物集雨面使用。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 冯学赞,张万军. 干旱半干旱地区人工地衣集雨面营建潜力探析[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 156-159.
- [2] 李小雁,龚家栋. 人工集雨面降雨径流观测实验研究[J]. 水土保持学报, 2001, 13(1): 1-4.

- [3] 王斌瑞,王百田,张府娥. 黄土高原径流林业研究[J]. 中国水土保持, 1997(2): 18-21.
- [4] 李巧珍,吴普特,冯浩,等. 新型高分子有机硅材料集流效率试验研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 33-36.
- [5] 冯浩,吴普特,彭洪涛,等. HEC 和 AMM 添加剂对提高黄土集流效率的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 28-31.
- [6] 吴玉环,高谦,程国栋. 生物土壤结皮的生态功能[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 41-45.
- [7] 杨晓晖,张克斌,赵云杰. 生物土壤结皮: 荒漠化地区研究的热点问题[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 474-480.
- [8] U. S. Department of the Interior. Biological Soil Crusts: Ecology and management[R]. Denver: U S Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology Center, 2001: 1-45.
- [9] Shields L M, Durrell L W. Algae in relation to soil fertility[J]. Botanical Review, 1964, 30: 92-128.
- [10] Verrecchia E, Yair A, Kidron GJ, et al. Physical properties of the psammophile cryptogamic crust and their consequences to the water regime of sandy soils, northwestern Negev Desert, Israel [J]. J. Arid Environ., 1995, 29: 427-437.
- [11] 张光辉,梁一民. 黄土丘陵人工草地盖度季动态及其水保效益[J]. 水土保持通报, 1995, 15(2): 38-43.
- [12] 刘光崧,蒋能慧,张连第,等. 土壤理化性状分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社, 1996: 130-133.

(上接第 144 页)

以上这几种立体配置模式,既能调整树种结构、克服以往林带胁地较重的弊端,满足景观构造,又能提高对农田的防护效能。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘献明,肖家良,孙玉柱,等. 沧州市农田林网发展中的问题与对策[J]. 河北林业科技, 2005(12): 14-16.
- [2] 袁玉欣,王颖. 模拟林木荫蔽对小麦生长和产量的影响[J]. 华北农学报, 1999, 14(增刊): 54-59.
- [3] 张吉旺,董树亭,王空军. 荫蔽对夏玉米产量及生长发育的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 657-662.
- [4] 祁德富,马琪. 林木荫蔽对西宁地区油菜田的光照效应[J]. 青海农林科技, 2006(1): 21-22.
- [5] 蔡昆争,骆世明. 不同生育期遮光对水稻生长发育和产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 193-196.
- [6] 任万军,杨文钰,徐精文,等. 弱光对水稻籽粒生长及品质的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 785-790.

- [7] 朱廷曜,关德新,周广胜,等. 农田防护林生态工程学[M]. 北京:中国林业出版社, 2001: 88-98.
- [8] 朱廷曜,关德新,家兵. 论林带防风效应结构参数及其应用[J]. 林业科学, 2004, 40(4): 9-14.
- [9] 吴力立,王宗淳. 树木对空间的遮蔽效应[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2000, 11(24): 47-49.
- [10] 刘振廷,郑世锴,侯凤连,等. 在平原农区推广窄冠白杨行状及团状造林[J]. 林业科技通讯, 1999(8): 15-16.
- [11] 孙国吉,张金池,王智,徐淮平原杨树林带的胁地规律[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2003, 27(4): 67-71.
- [12] 袁玉欣,王金凤,闫同惠,等. 杨粮间作系统林木荫蔽面积和株行距研究[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(2): 32-37.
- [13] 聂炳成,张小珉. 平原农田林网建设的理论与实践[J]. 江西林业科技, 2001(5): 33-35.
- [14] 孙国吉,张金池,徐淮平原杨树林带的胁地规律[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2003, 27(4): 67-71.