

广州市白云区裸地近自然化植被恢复效果研究

张俊国¹ 聂斯思^{1,2} 郑晓钟¹ 魏龙² 殷祚云^{1*}

(1. 仲恺农业工程学院园艺园林学院, 广东 广州 510225; 2. 广东省林业科学研究院/广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520)

摘要:【目的】本文以恢复生态学为主要理论基础,对裸地进行近自然植被恢复。【方法】用近自然的复绿方法研究仲恺农业工程学院白云校区杨钊杨勋楼后山的一段边坡的复绿效果,完全模拟自然界的环境条件,通过室外播种试验的乔灌木种子混播,同时不采用任何人工管理的方法,不除杂草、不施用任何肥料、农药。以土壤元素测定、小气候测定为研究方法并定期观测植物的多样性变化及其土壤的理化性质。【结果】研究结果发现:(1)植物多样性方面边坡植物物种丰富度相比较之前提升了5.6%,其中草本植物相较于木本植物物种丰富度提升的要高;(2)土壤的理化性质方面有机质含量和土壤的酸碱度随着植被恢复的效果分别上升了26.7%和7.9%,因样地植物快速生长导致氮含量下降了12.9%;(3)小气候变化方面相比于裸地,试验样地整体上有着更大面积的植被覆盖,于是有着更大的比热容,故温湿度变化幅度相对于裸地较小。【结论】本次试验播种植物中木本的存活情况较好,草本的生长速度较快,近自然的复绿方式同时也能使原有植物有更好的生长,与试验植物共同复绿样地,最终能够形成比较近自然化的生态群落同时对土壤的改良和小气候的形成也有积极作用。

关键词: 近自然; 乔灌木; 播种; 植被恢复; 物种丰富度

Study on the restoration effect of nearly naturalized vegetation on bare land in Baiyun district, Guangzhou

Abstract: 【Objective】 In this paper, near-natural vegetation restoration of bare land was carried out based on restoration ecology as the main theoretical basis. 【Method】 The revegeting effect of a slope behind Yangzhao and Yangxun Building in Baiyun Campus of Zhongkai University of Agricultural Engineering was studied by the method of revegeting near nature. The environmental conditions of nature were completely simulated. The seeds of trees, shrubs and grass were mixed by outdoor sowing test, and no artificial management method was adopted, no weeds were removed, no fertilizer or pesticide was applied. The soil elements and microclimate were measured as the research methods, and the diversity of plants and the physical and chemical properties of the soil were regularly observed. 【Result】 The results showed that: (1) In terms of plant diversity, the species richness of slope plants increased by 5.6% compared with that before, and the species richness of herbaceous plants increased more than that of woody plants. (2) In terms of soil physical and chemical properties, the content of organic matter and soil pH increased by 26.7% and 7.9% respectively with the effect of vegetation restoration, while the content of nitrogen decreased by 12.9% due to the rapid growth of plants. (3) In terms of microclimate change, compared with bare land, the experimental plot has a larger area of vegetation coverage on the whole, so it has a larger specific heat capacity, so the variation range of temperature and humidity is smaller than bare land. 【Conclusion】 In this experiment, the survival of woody plants in the sown plants is better, and the growth rate of herbs is faster. At the same time, the way of re-greening near nature can also make the original plants have better growth. Together with the experimental plants, re-greening plots can finally form a more natural ecological community, which also has a positive effect on soil improvement and microclimate formation.

Keyword: Near naturalization; Arbor-shrub-grass; Sowing; Vegetation restoration; species richne.

由于岩石风化、自然滑坡等自然因素和城市化步伐,地面出现了裸露。这些裸露地面不仅给城镇、交通设施、工矿企业、周边的景观和生态环境带来极大的负面影响,而且会直接影响到国家和城市的美观(魏

冬等, 2018)。裸露地面的生态治理被作为一项重要生态保护工程列入到城市环境保护管理者的日程(赵思金, 2008)。

本次实验是利用乔灌木中的浅根类灌木和草本的根系在土中的网状形态分布, 其根系在土中的含量随着土壤的不断加深而不断稀疏(林青皓等, 2018), 但根系的盘结会使土壤加固的原理。而其中的深根性灌木和乔木的根系垂直且粗而深, 有其一定的强度, 乔木的根系和灌木草本的根系相互作用可将浅层的土壤固定于深层的土壤之上(黎津志, 2018; 王昭艳等, 2011), 从而使土壤明显地提高其稳固性。植物的根系越发达, 意味着拥有更多的侧根, 于是根系与土壤有着更多的接触面积, 就能更好的固土, 防止水土流失(王志云, 2009)。植被的恢复可有效地改善土壤的理化性质, 而土壤理化性质的改善, 又能反过来促进植被的恢复以及物种多样性的增加, 乔灌木搭配恢复植被的模式相比于灌木搭配或者单独草地的模式更有利于土壤的有机质的积累(汤铭, 2013)。苗木在坡面上形成一道植物根茎的保护网格(颜水华等, 2010; 袁策, 2017) 乔灌木的叶片可以减少雨水在地表的流失和对表土的冲刷, 保护地表土壤, 同时可以涵养水源, 防止水土流失(马国强等, 2014; 李绍平等, 2012)。植物的生态性使其一旦成活便能发挥其对自然环境的稳定作用(如保持水土、涵养水源、净化空气, 改善气候条件), 尤其是其根系对土壤的保护作用, 能最大程度的保护因各项工程建设而破坏的土地(李绍平等, 2012; 马建荣等, 2009;), 不同层次的植物(乔木、灌木、草本)相互搭配能进一步发挥植物对环境的保护作用(根系的相互缠绕能加强根系固土作用)(葛运起, 2018)。利用植物进行护坡比用各种工程设施来护坡更经济, 不仅是成本, 更是对于环境, 且植物能有一定的环境美化效果(初卫星, 2007), 物种多样性关乎一个已经退化的生态系统的恢复与重建(潘树林等, 2013; 张海东等, 2013), 在衡量一个区域的生物多样性状况和群落结构、功能的复杂性等方面, 有着重要的作用(杨昊翔, 2016)。植被的群落结构和物种多样性对边坡的近自然恢复有着重大的意义(刘洋等, 2018), 结构、物种的越丰富, 意味着整个被恢复的区域的抗逆性更强, 恢复能力越强大(胡婵娟等, 2012; 杨智永, 2016)。

1 研究区概况

本次试验设置在仲恺农业工程学院白云校区的杨钊杨勋楼后山的边坡上, 试验地土地贫瘠, 是混合着石头的沙质土, 渗水速度快, 保水性能差。试验地大致呈南北走向, 东面为杨钊杨勋楼, 西面为山体, 全天阳光可以充分照射。原样方植被主要为芒草、五节芒、蟛蜞菊。

而此次实验是演示山坡近自然植被恢复, 表明恢复生态不需要花费太多人力物力, 主要靠自然力, 广东省广州市位于亚热带, 属海洋性亚热带季风气候, 温暖、多雨、光线、热量充足、较长的夏季和较短的霜期为广州气候的特点, 全年雨热同期, 降雨量充沛, 非常适合植物的生长, 然而广州位于红壤地带, 故土壤较为贫瘠, 在一定程度上成为植物生长的限制因素。

2 材料与方法

2.1 植物种类试验材料选择

本次实验共选定八种植物: 山乌桕(*Sapium discolor*)、木荷(*Schima superba*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、山毛豆(*Tephrosia candida*)、猪屎豆(*Crotalaria pallida*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、一年生黑麦草(*Lolium perenne*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)。将种子随机播撒到边坡上挖好的小坑后不再进行人工管理, 以更好的模拟自然界的条件。在特定的时间段进行播种及原有植物的数据调查, 调查项目为地径、胸径、冠幅、株高、覆盖面积等。

表 1 本次试验所选择的植物种类用量(每块样地)

Tab. 1 Amount of plant species selected in this experiment (per plot)

种子种类	总重/g	千粒重/g	用量
山乌柏 (<i>Sapium discolor</i>)	273.3	41.8	100 粒
木荷 (<i>Schima superba Gardn</i>)	48.7	5.341	100 粒
狗牙根 (<i>Cynodon dactylon</i>)	1012.5	0.58	10g
枫香 (<i>Liquidambar formosana</i>)	135.0	4.7	100 粒
山毛豆 (<i>Tephrosia candida</i>)	212.6	23.1	100 粒
香樟 (<i>Cinnamomum camphora</i>)	157.5	170	100 粒
一年生黑麦草 (<i>Lolium perenne</i>)	605.3	4.2	10g
猪屎豆 (<i>Crotalaria pallida</i>)	39.8	3.3	100 粒

2.2 试验方法

此次试验的样地是用 PVC 管和尼龙绳围护, 22 根 1m 长的 PVC 管、100m 长 5mm 粗的尼龙绳、锤子、PVC 板 (用于表明试验用地)、皮尺。选取杨钊杨勋楼后面的边坡为试验样地, 用皮尺量出 30m*3m 的样地, 分为 10 块, 其中每块样地 3m*3m (大约为正方形), 每块样地的四个角打桩后用尼龙绳围起来, 在一号和十号样地旁用 PVC 板标明为试验用地。试验播种前准备筛选好的种子、试验记录用纸、电子游标卡尺、钢尺、中性笔、标牌、装有 GPS 定位软件的手机。①将种子混合, 模仿自然界种子繁殖落地的不规则性; ②每块样地挖大约五十个浅坑, 将种子撒播下去之后覆盖一层薄薄的土壤或者不覆土 (于 2017.4.11 播种); ③等待种子发芽并成长到一定高度时开始挂牌并测量, 测量每株播种的植物的地径、高度、横冠幅、纵冠幅; ④测量边坡原有植物的覆盖度, 其中乔木需测量其高度、胸径、横纵冠幅。⑤固定时间观察测量 (两个月到半年, 最后一次测量完成于 2019.4.7)。⑥进行边坡土壤氮磷钾等元素测定, 以辅佐证明试验样地效果。

边坡小气候测定试验, 试验材料使用 CC-02 型数字温湿度大气压力表 (北京凯迪莱特仪器设备有限公司)、笔、纸。使用 CC-02 型数字温湿度大气压力表在晴朗天气测出样地地面、离地面一米高处以及裸地地面 (水泥地面) 的温度、湿度、大气压, 测试时间分别为当天 (2019.3.28) 的早上、中午以及傍晚。

3 结果与分析

3.1 结果统计

发芽并成活的植物有: 香樟、山毛豆、山乌柏、猪屎豆。其中成活数量最多的是香樟, 其次是猪屎豆, 黑麦草虽有发芽但未能成活。而实验过程中出现山苍子是因为市售的香樟种子中混有少量山苍子种子。

① 边坡原有植物种数变化

表 2 样地原有植物种数统计
Tab. 2 Statistics of original plant species in sample plots

种名	2017.6	2017.9	2017.12	2018.4	2018.10
芒萁	有	有	有	有	有
芒草	有	有	有	有	有
乌毛蕨	有	有	有	有	有
蜈蚣菊	有	有	有	有	有
藿香蓟	有	有	有	有	有
银合欢	有	有	有	有	有

五节芒	有	有	有	有	有
藿香蓟	无	有	有	有	有
朱槿	有	有	有	有	有
木麻黄	无	无	有	有	有
野牡丹	无	无	有	有	有
小叶榕	无	无	无	有	有
种数总计	8	9	11	12	12

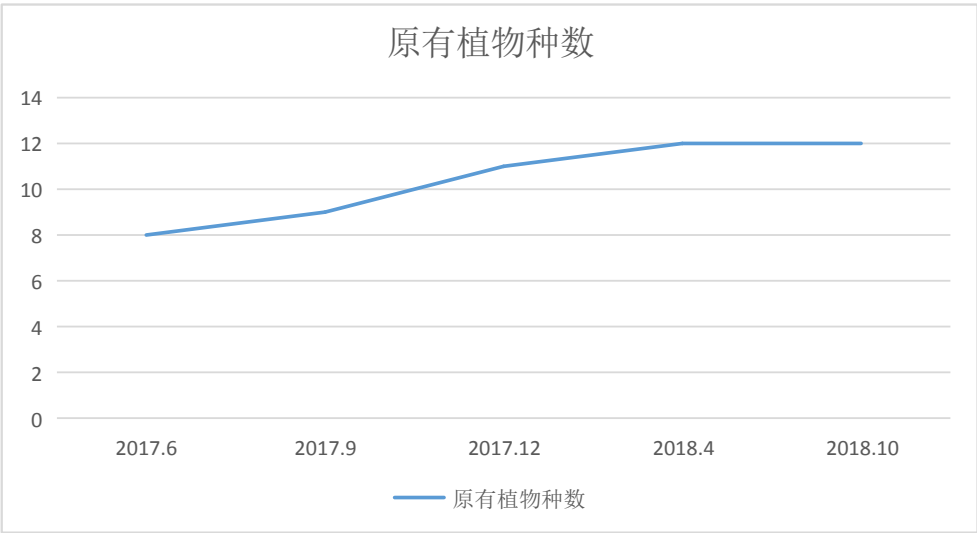


图 1 原有植物种数

Fig. 1 Number of original plant species

② 播种植物存活株数统计

表 3 样地播种植物存活株数统计

Tab. 3 Statistics of the number of surviving sown plants in the plots

种名	2017.6	2017.9	2017.12	2018.4	2018.10
香樟	176	140	219	231	167
山苍子	6	29	30	22	28
山乌桕	15	22	65	66	29
山毛豆	1	1	10	11	3
猪屎豆	44	52	69	40	31
总计	242	244	393	370	258

③ 植被覆盖率

表 4 样地原植被覆盖率对比

Tab. 4 Comparison of original vegetation coverage in sample plots

样方	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
原植被覆盖率	59.88%	53.78%	63.61%	62.89%	70.33%	73.33%	66.67%	81.67%	80.00%	100.00%	71.22%
现植被覆盖率	68.64%	63.23%	68.51%	65.74%	76.33%	76.46%	73.82%	83.76%	91.22%	100.00%	76.77%
增长率	8.76%	9.45%	4.90%	2.85%	6.00%	3.13%	7.15%	2.09%	11.22%	0.00%	5.56%

④ 样地土壤测定

表 5 土壤的理化性质

Tab. 5 Physical and chemical properties of soil

土壤特性	平均值±标准差（2018）	平均值±标准差（2019）	增长率（2018-2019）
有机质（g/kg）	17.07±2.90	21.62±6.44	26.65%
酸碱度	5.57±0.35	6.01±0.18	7.90%
全氮（%）	0.147±0.07	0.128±0.10	-12.93%
速效氮（mg/100g）	1.04±0.88	15.4±0.37	1380.77%
全磷（%）	0.0453±0.02	0.0482±0.01	6.40%
速效磷（mg/kg）	13.28±0.49	14.74±0.57	10.99%
全钾（%）	2.398±1.05	2.822±0.54	17.68%
速效钾（mg/kg）	6.95±3.85	8.73±2.52	25.61%

⑤ 有机质含量分级表

表 6 我国第二次土壤普查有机质含量分级表
Tab. 6 Organic matter content classification table of the second soil census in our country

级别	一级	二级	三级	四级	五级	六级
有机质(%)	>40	30—40	20—30	10—20	6—10	<6

3.2 结果分析

试验播种植物中，未发现枫香、木荷和狗牙根发芽，原因可能是枫香的种子过于细小和重量过轻，播种后容易被风吹走，尤其是本次试验播种后的处理为不覆土或只覆盖一层薄土，且枫香发芽率仅在 20%~57% 之间又有隔年发芽的习性，而木荷可能因为样地土壤过干所以未能发芽。狗牙根因本身种子发芽率就很低，种子出苗非常少，故未见其发芽。黑麦发芽不久后因天气气温过高和水分的缺失而早早死亡。

从样地原有植物的种数来看，2017 年 6 月份只有八种原有植物，随着时间的推移，原有植物的种数逐渐增多，这说明边坡复绿中物种丰富度有了一定的改善，特别是草本植物方面，物种丰富度相对于木本植物增加得较多；从样地原植被覆盖率对比来说：十块样地都呈现增长的趋势，其中第 1、2、7、9 块样地的覆盖率的增长幅度较大，而第十块样地从一开始的覆盖率就为 100%，所以无增长空间。从试验样地播种植物存活的株数来看：播种植物的存活数量总体上升，尤其是在 2017 年 4 月到 2018 年 4 月，但在 2018 年 4 月到 2018 年 10 月份的数量减少较多，可能因为天气入夏之后气温上升较快，植物因为缺水而枯死较多。

从试验样地植物物种多样性的角度来看：①试验播种植物存活了五种（香樟、猪屎豆、山毛豆、山乌柏、山苍子），随着时间的推移，试验样地的植被覆盖率、地上生物量均出现了显著的增长，尤其是 2018 年 4 月到 2018 年 10 月的时间段，从样地植被的覆盖率就能看出植被恢复的效果与物种丰富度的增多；②在试验样地的整体植物种类中，芒草一直都是优势物种，其次是更靠近坡面的蕨类植物，而作为入侵种的蟛蜞菊则凭借着其强大的适应性在物种数量上的比重逐渐加大。

从试验样地土壤测定结果来看：①有机质含量和酸碱度呈现整体上升，这可能是随着试验样地的植被恢复的效果而使得土壤的“肥沃程度”上升，而土壤氮含量的小幅下降可能因为样地植物的快速生长而吸收了土壤大量的氮素。而土壤酸碱度的上升也进一步表示土壤的状态正在得到改善；②改善生态是植物对于环境的一大作用，植物对土壤的改善主要来自于枯枝落叶的堆积后经过细菌真菌和植物根系分泌物等分解之后成为养分归还土壤，被植物吸收和固定于土壤之中，故能提高土壤的有机质含量，而植物吸收养分之后的植物体加速生长，尤其是根系部分的生长能反过来促进土壤理化性质的改善，而且植物的不断生长意味着有更多的枯枝落叶，意味着回到土壤的养分也更多，如此往复循环。

3.3 试验结论

从植物发芽效果来看：①播种的时间为4月份，属于春末夏初，气温开始上升较快的阶段，而且太阳辐射日渐强烈，不太适合植物的播种（若能提前一两个月天气情况相对更为合适）；②本次试验为近自然植被恢复，所以在播种之后无任何人工管理，所以对种子的质量有更高的考验，而从“市售的香樟种子掺有山苍子”这一情况来看，可见本次试验所用的种子质量并不是很好。

从试验样地的物种丰富度来看：样地播种植物种类未见减少，而原有植物的种类逐渐增多，虽然2018年4月到2018年10月的原有植物种数未增长，但也看出试验样地物种丰富度的增加。

3.4 试验问题讨论

①试验播种植物有四种未发芽：草本植物未见发芽或者过早死亡，其中黑麦草可能因为天气太热，而狗牙根种子发芽率本身就很低；木本植物木荷和枫香也未见发芽，两者都可能因为天气问题而未能发芽；本次试验为乔灌木混播，既是种子混合在一起撒播，而这就可能导致植物发芽生长的过程中几株植物相对过于密集，这样就会出现“根系相互缠绕”、“叶片相互挤占生长空间”等不利于还处于幼苗期的植物生长的情况的发生；②调查数据的误差：本次试验每次调查的人员并非全都一致，每个调查人员的操作手法不同可能导致的误差每次调查的数据相对误差较大，尤其是18年的调查人员变动更大，这就避免不了地出现了一定程度的误差；调查工具的变化也会导致误差的产生，在前三次调查中使用的是手动的游标卡尺，而在之后的调查中用的是电子游标卡尺，这之前之后的对比也会产生一定的误差；所调查的每个植物都有挂牌，大风也雨水可能会导致吊牌的丢失和损毁，这样播种的植物可能会随着时间的推移而导致挂牌的数量越来越少；

③本次试验并未统计发芽植物的数量，因为植物发芽的先后顺序和挂牌可能出现丢失和损毁的情况，如果统计数量可能会出现重复统计的情况；④本次试验并未调查样地原有植物的株数，故会影响到物种多样性的计算；⑤人为干扰：本次试验为近自然植被恢复，即还未到完全自然恢复的情况，所以还是存在一定程度的人为干扰，其中本次试验存在的人为干扰为“每次全面调查中调查人员的踩踏”、“不知情人员的进入”、“不知情人员所带来的垃圾堆放”，因为这些干扰也减缓了植被恢复的进程；⑥两次土壤实验虽然时间间隔长达一年，但期间试验播种植物与原有植物的生长量相比，差距相对较大，所以本次土壤测定实验所测出的各项数据所表明的对土壤的改善可能更多的是依靠原有植物而非试验播种的植物。

3.5 边坡小气候试验结果与分析

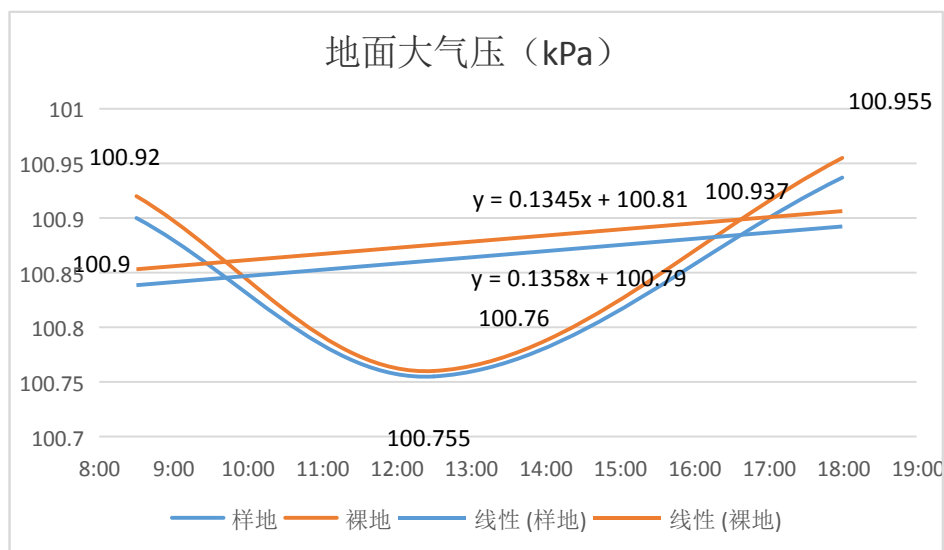


图 2 样地与裸地地面高度大气压对比

Fig. 2 Comparison of atmospheric pressure at ground height between sample and bare land

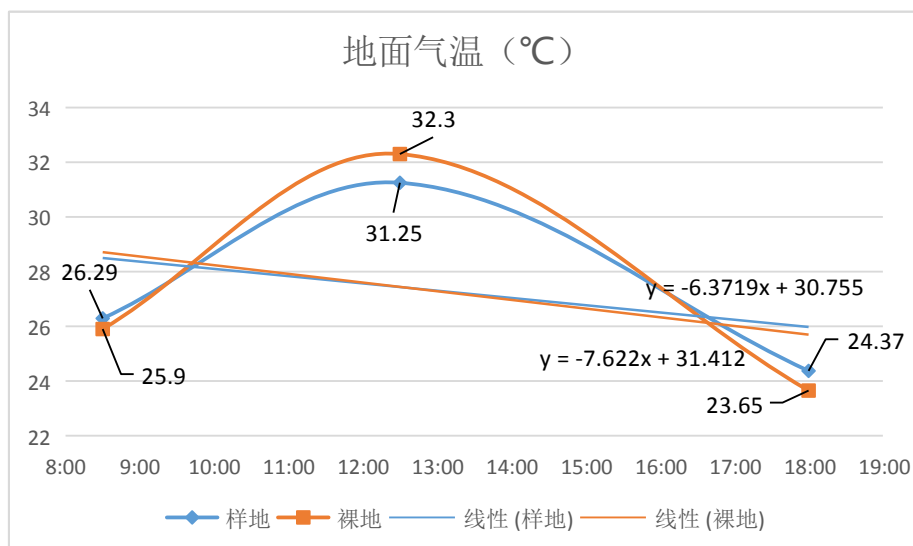


图 3 样地与裸地地面高度气温对比

Fig. 3 Comparison of ground height and air temperature between sample plots and bare plots

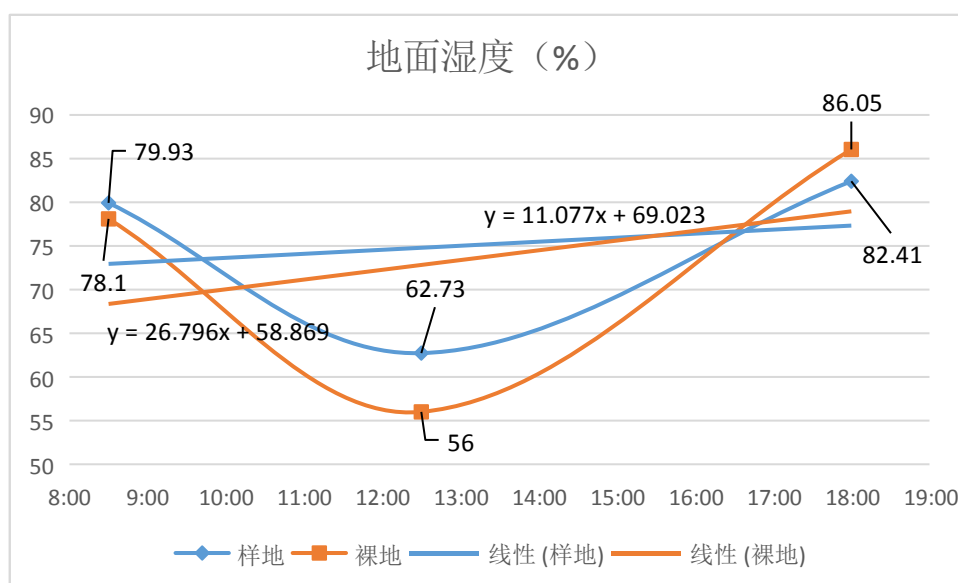


图 4 样地与裸地地面高度湿度对比

Fig. 4 Comparison of ground height humidity between the sample plot and bare plot

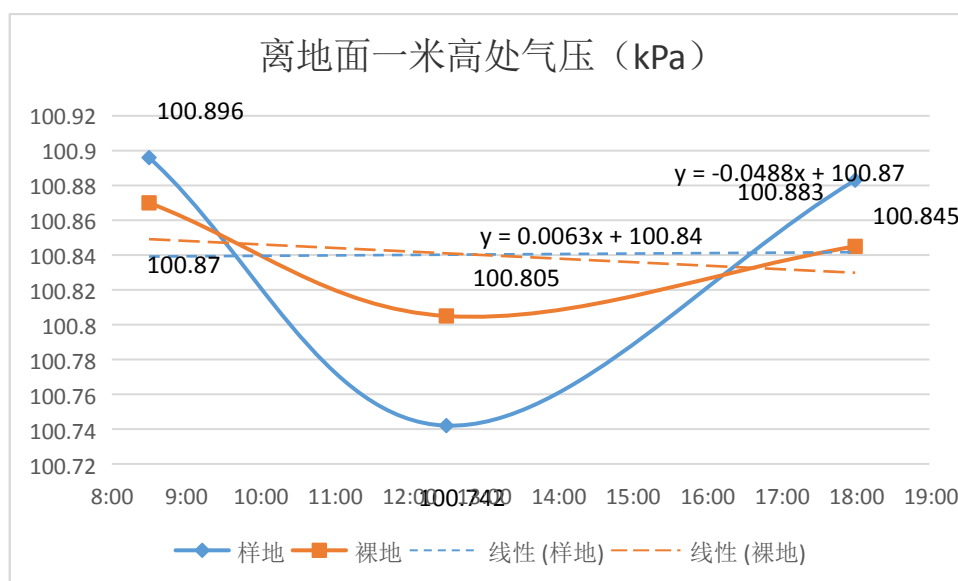


图 5 样地与裸地一米高处气压对比

Fig. 5 Comparison of air pressure at one meter height between sample and bare land

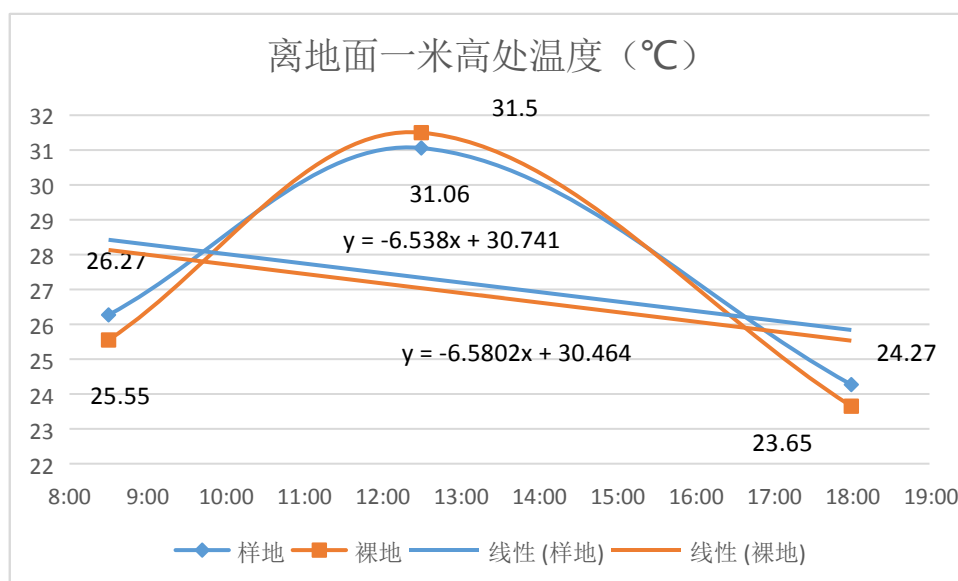


图 6 样地与裸地一米高处温度对比

Fig. 6 Comparison of temperature at one meter height between sample plot and bare plot

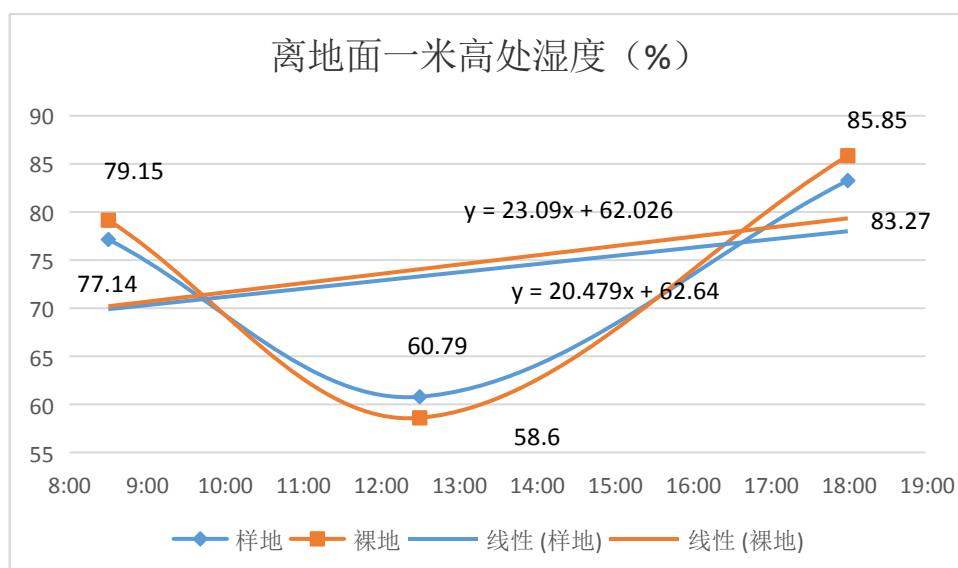


图 7 样地与裸地一米高处湿度对比

Fig 7 Comparison of humidity at one meter height between the sample plot and the bare plot

①样地和裸地地面和离地面一米高处的气温都为中午最高，早上次之，傍晚最低，湿度则为中午最低，早上次之，傍晚最高，而气压随着气温的升高而降低，也随着气温的降低而升高；②由图 20、21 可知，气温和湿度呈现互为相反关系，即气温低时湿度高，气温高时湿度低；③样地和裸地相比，总体而言裸地的温度和湿度变动幅度更大，即温差和湿度差更大；

相比于裸地，试验样地整体上有着更大面积的植被覆盖，于是有着更大的比热容，故温湿度变化幅度相对于裸地较小。从地面的测量数据看，样地和裸地的测量数据差距更大，可能因为样地的植被草本居多，整体高度较低矮，这对于地面的小气候的改善相对于距离地面一米高处的效果更明显。

4 结论与讨论

4.1 边坡小气候测定试验

①本次试验是在晴天的天气条件下进行,因为太阳光对于实验仪器的直接照射可能会使得数据产生一定的误差,可以对探头进行一定的遮光,减少误差;②本次试验只做了裸地和试验样地的对比,而未进行时间上的对比,即不同时间段试验样地小气候条件的对比,这导致无法从时间对比的角度进行样地近自然恢复效果的比较,在之后的测量需增加小气候,以便日后进行小气候条件的改善分析。

4.2 试验总结

本次试验主要进行的是次生裸地的复绿效果在时间上的对比,从播种植物全面调查、试验样地土壤测定、样地小气候测定进行说明验证,运用生态学、恢复生态学、土壤肥科学等相关理论得出:

(1)从样地植被全面调查试验来看:样地总体植被覆盖率有了较大的增长,其中覆盖率增长就大为原有植物,因其数量更多同时也对环境有着更好的适应性,覆盖率的增长意味着物种数量的增多以及单个物种体积的增大,同时试验播种植物的存活也给样地带来了物种丰富度的提升,而土壤测定的数据也进一步说明实验播种植物和原有植物正在逐步改善和恢复试验样地的生态环境;

(2)从试验样地小气候调查来看:样地的植被,尤其是2018年10月份之后植被覆盖率的显著增加使得样地的小气候条件更优于裸地(更高的比热容,更高的湿度),样地的植被多以低矮的草本为主,所以地面的小气候改善效果更优于其更高的地方。

4.3 问题讨论

(1)本次试验的主旨是近自然的恢复,故在播种之后不再设置任何的人工管理,即无农药的介入、几乎无土壤翻动、无人工浇水,完全模拟自然界种子繁殖的状态,同时为了防止无关人员进入而甚至设置了防护围栏,这在界定每块样地边界的同时也使其有着一定的封闭性。从三个方面的试验所得的数据来看,乔灌草混播模式的近自然植被恢复在恢复其物种丰富度方面有其一定的可行性;

(2)关于播种植物的存活率:播种植物的存活率相对较低,这可能因为广州的天气较炎热,太阳辐射较强烈,而本次试验的播种是不覆土或者浅覆土,这就可能导致种子出现被太阳晒死的情况,并且每次进入样地测量也可能导致播种植物出现被踩踏的情况。在2017年9月到12月的时间段播种植物的存活株数较多,这可能因为种子发芽有一定的时间先后的差异。若能增加播种数量、进行分批次播种、在适当的季节(如春季的阴雨天气)、改变种子混合的比例(如适当减少发芽率较低的狗牙根),可能会使种子的发芽率能得到一定的增加;

(3)关于物种丰富度:试验播种植物的存活进一步丰富了样地的物种丰富度,播种植物的存活数量基本保持在240-390之间,但其中香樟占据了较大的比例,虽然播种数量与其它木本植物数量一致,但香樟凭借着其幼苗期的耐阴性而能更好有更好的存活,原有植物的种数也随着时间的推移而增多,这就体现了本次试验对样地的复绿有了一定的效果;

(4)单位面积的木本植物保存率:相较于人工林,如果株行距为 $3\text{m} \times 3\text{m}$,那么木本植物在每亩的分布数量约为74株,相比之下,天然林每亩约为40株,而本次试验样地面积为三十平米,目前实验播种木本植物共保存约200株,若能全部存活,则折算为每亩约为4400株,这么大量的木本植物覆盖率,若干年后将形成较大郁闭度的森林,从而加速了以本土木本植物为主的森林群落的形成。

参 考 文 献

- 魏冬, 杨阳, 郑玉莹等. 宝鸡市城镇(郊)陡坡及人工立面护坡植物及其多样性研究. 陕西林业科技, 2018, 46(01):14-18.
- (Wei D, Yang Y Y, *et al.* 2018 Investigation and Analysis of Plant Diversity on Slope Protection in Suburban Area of Baoji. Shaanxi Forest Science and Technology, 2018, 46(01):14-18. [in Chinese])
- 赵思金. 北方地区两种主要类型裸露坡面植被恢复及生态功能评价研究. 北京: 北京林业大学, 2008.
- (Zhao S J. 2008. Study on Vegetation Restoration and Evaluation of Their Ecological Function on Two Main Types of Bare Slope in the North [in Chinese])
- 林青皓, 陈科平. 生态护坡技术的应用及植物群落的配置[J]. 河南科技, 2018 (16):158-160.
- (Lin Q H, Chen K P. 2018 Application of Ecological Slope Protection Technology and Configuration of Plant Community. Henan Science and Technology, (16):158-160. [in Chinese])
- 黎津志. 浅析公路边坡植物防护技术[J]. 四川水泥, 2018 (02):118.
- (Li J Z. 2018. Analysis of plant protection technology of highway slope. Sichuan Cement, (02):118. [in Chinese])
- 王昭艳, 左长清, 曹文洪等. 红壤丘陵区不同植被恢复模式土壤理化性质相关分析[J]. 土壤学报, 2011, 48(04):715-724.
- (Wang Z Y, Zuo C Q, Cao W H, *et al.* 2011. Physical And Chemical Properties of Soils Under Different Vegetation Restoration Models in Red Soil Hilly Region. Acta Pedologica Sinica, 48(04):715-724. [in Chinese])
- 王志云, 陆耀东, 温达志等. 不同植被恢复模式对生物多样性及土壤有机质的影响[J]. 中国城市林业, 2009, 7(05):45-47.
- (Wang Z Y, Lu Y D, Wen D Z, *et al.* 2009 Impacts of different models of vegetation restoration on biodiversity and soil organic matters. Journal of Chinese Urban Forestry, 7(05):45-47. [in Chinese])
- 汤铭. 边坡植被生态恢复的应用[J]. 城市建筑, 2013(18):206.
- (Tang M. 2013 Application of Slope Vegetation Ecological Restoration. Urbanism and Architecture, (18):206. [in Chinese])
- 颜水华, 陈志阳. 草灌混播在边坡绿化防护中的应用[J]. 中国农村小康科技, 2010 (10):37-38+79.
- (Yan S H, Chen Z Y. 2010 Application of Mixture-planting of Shrub and Grass in Side-slope Greening and Protection. Journal of Agriculture, (10):37-38+79. [in Chinese])
- 袁策. 公路边坡绿化草灌混播施工技术探讨[J]. 华东公路, 2017 0(4):88-89.
- (Yuan C. 2017 Discussion on the construction technology of slope greening grass irrigation mixed sowing. East China Highway, 0(4):88-89. [in Chinese])
- 马国强, 胡业清, 李玥等. 高速公路边坡植被恢复植物选择与组合设计研究——以新河高速公路为例[J]. 林业建设, 2014 (01):32-36.
- (Ma G Q, Hu Y Q, Li Y, *et al.* 2014 Study on plant selection and combination in design of vegetation rehabilitation onside slope of Xinhe highway. Forestry Construction, (01):32-36. [in Chinese])
- 李绍平, 祝小科, 张晓龙. 贵州高速公路边坡绿化常用的乔灌木种子混播试验研究[J]. 贵州林业科技, 2012 40(01):1-7.
- (Li S P, Zhu X K, Zhang X L. 2012 Experiment on the Freeway Slope Greening by Mix-sowing of Common Trees, Shrubs and Grasses in Guizhou Province. Guizhou Forestry Science and Technology, 40(01):1-7. [in Chinese])
- 马建荣, 汪伟刚. 乔灌木结合在边坡景观形成中的应用及相关设计方法研究[J]. 交通建设与管理, 2009(09):168-170.
- (Ma J R, Wang W G. 2009 Study on the application of combination of shrub and grass in slope landscape formation and related design methods. Transport Construction & Management, (09):168-170. [in Chinese])
- 葛运起. 山区公路设计中边坡生态防护与植被恢复措施的探讨[J]. 工程建设与设计, 2018(07):248.
- (Ge Y Q. 2018 Discussion on the Slope Ecological Protection and Vegetation Restoration Measures in Mountain Highway Design. Construction & Design for Engineering, (07):248. [in Chinese])
- 初卫星. 恢复天然植被是人类认识和遵循自然规律的必然选择——区域自然植被及其恢复的调查与思考[J]. 科技信息(科学教研), 2007(20):537.
- (Chu W X. 2007 Restoring natural vegetation is an inevitable choice for human to understand and follow the

law of nature — investigation and reflection on regional natural vegetation and its restoration. Science & Technology Information (20):537. [in Chinese])

潘树林, 辜彬. 深圳盐田港公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性的研究[J]. 土壤, 2013 45(02):1366-1372

(Pan S L, Gu B. 2013 Study on Soil Property and Plant Diversity of Roadside Slopes of YanTian Harbor in Shenzhen Under Ecological Restoration. Soils, 45(02):1366-1372. [in Chinese])

张海东, 于东升, 王宁等. 植被恢复过程中侵蚀红壤有机质变化研究[J]. 土壤, 2013(05):014.

(Zhang H D, Yu D S, Wang N, *et al.* 2013 The Change of Soil Organic Matter Under Vegetation Restoration on the Eroded RedSoil. Soils, (05):014. [in Chinese])

杨昊翔. 校园环境小气候变化的研究[J]. 教育教学论坛, 2016 (25):135-136.

(Yang H X. 2016 Study on microclimate change of campus environment. Education and Teaching Forum, (25):135-136. [in Chinese])

刘洋, 侯占山, 赵爽等. 太行山片麻岩山区造地边坡植被恢复过程中植物多样性与土壤特性的演变[J]. 生态学报, 2018 38(15):5331-5339.

(Liu Y, Hou Z S, Zhao S, *et al.* 2018 Evolution of plant species diversity and soil characteristics on hillslopes during vegetation restoration in the gneiss region of the Taihang Mountains after reclamation. Acta Ecologica Sinica, 38(15):5331-5339. [in Chinese])

胡婵娟, 郭雷. 植被恢复的生态效应研究进展[J]. 生态环境学报, 2012(09):007.

(Hu D J, Guo L. 2012 Advances in the research of ecological effects of vegetation restoration. Ecology and Environmental Sciences, (09):007 [in Chinese])

杨智永. 决定植物群落物种丰富度的环境因素和生物因素[D]. 兰州大学, 2016.

(Yang Z Y. Environmental and biological determinants of species richness gradients in plant communities 2016. [in Chinese])