

黄土高原人工植被对局地小气候影响的效应研究

徐丽萍^{1,3}, 杨改河^{2,3}, 冯永忠^{2,3}, 杜英³, 韩新辉³

(1. 石河子大学 师范学院, 新疆 石河子 832003, 2. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨陵 712100;
3. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:研究人工植被对局地小气候影响的效应,是评价人工林草工程生态效应的主要表征之一。利用定点观测的方法,对安塞县退耕地上建立的人工植被和撂荒形成的自然植被群落进行了大气温湿状况、土壤水热状况等小气候特征的观测分析,并以裸露农地为对照,比较人工植被和撂荒植被对小气候的影响效应。结果表明:退耕还林营造人工林后,下垫面的变化引起局地水热循环的变化,具体表现为降温效应、增湿效应、改土效应和阻风效应,尤其是在植被生长旺盛的夏季,人工植被区近地层 1.0 m 处日均气温明显下降,低于撂荒植被区 2.2℃;日均相对空气湿度增大,高于撂荒植被区 1.97%;日平均风速降低,日均减风效益高于撂荒植被区 28%,同时,土壤导热性能提高,土壤物理性质得到改良。局地小气候环境的改善,说明人工林草工程这一措施对脆弱生态的恢复改造有明显的效果。

关键词:人工植被;退耕地;小气候效应;黄土高原

中图分类号:P461.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)04-0170-06

A Study on Microclimate Impacts of Artificial Vegetation on the Loess Plateau

XU Li-ping^{1,3}, YANG Gai-he^{2,3}, FENG Yong-zhong^{2,3}, DU Ying³, HAN Xin-hui³

(1. Teachers Training College of Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China; 2. College of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To evaluate the environmental effect of Artificial Forestry-grass Ecological Projects, the microclimate of artificial vegetation was studied by fixed observation in Ansai. Artificial vegetation and natural vegetation were selected to measure meteorological factors of near-surface layer such as the dynamic and water-heat condition of air, the water-heat condition of soil, and at the same time to make comparative observation at adjacent open sloping field. The results were obtained as follows: the returning farmland into forest and grassland could cause the responses of underlying conditions, vegetation-island effect such as temperature dropping, humectation effects under the summer weather conditions exists. Compared with natural vegetation, the diurnal air temperature reduced 2.2℃, the air relative humidity increased 1.97%, the wind speed was weaker and the soil condition was better. The improvement of microclimatic conditions is one of main characters to show the environment impact of artificial vegetation restoration.

Key words: artificial vegetation; farming-withdrawn land; microclimatic effect; Loess Plateau

植被恢复是一个地区整体生态环境条件改善的基本标志^[1]。近年来,黄土高原丘陵沟壑区退耕地采取了不同的植被恢复方式来改良和恢复天然植被,其中人工恢复方式最主要的措施是植树种草,自然恢复方式的措施有封山禁牧、自然撂荒等。在不同的恢复方式下,植被的生长状况、群落的演替方向和速率、各自的生态环境效应明显不同,这也是人们对不同恢复

方式存在争议之处^[2]。目前关于黄土高原人工植被生态效应的研究多停留在对土壤质量的影响和生物多样性方面^[3-6],关于植被恢复对当地气象要素的影响缺乏深入细致的研究^[7-8]。小气候的形成是植被与环境耦合作用的结果,是当地生态环境质量的综合反应,也是植被恢复与重建效果评价的一个重要表征指标。目前,关于黄土高原植被恢复小气候效应方面的

收稿日期:2010-03-10

资助项目:国家自然科学基金项目(30971695);石河子大学高层次人才科研启动项目(RCSX200808)

作者简介:徐丽萍(1978—),女,新疆库尔勒人,在读博士,主要从事资源与环境生态方面的研究。E-mail:xlplw@sina.com

通信作者:杨改河(1957—),男,陕西耀县人,教授,博士生导师,主要从事资源与环境生态的研究与教学。E-mail:ygh@nwsuaf.edu.cn

报道不多见^[9-10]，而这恰好是反映人工林草措施应用效果的一个重要方面。本研究在黄土高原丘陵沟壑区具有代表性的安塞县进行了全面踏查，对退耕地上人工植被区、同一恢复年限自然撂荒植被群落区进行了光照、风速、大气温度、大气相对湿度、土壤温湿度等表征微域小气候特征参数的测定，并以裸露农地为对照进行了对比分析，目的在于研究退耕地植被次生演替和人工恢复过程中小气候因子的变化动态和效应强度，旨在进一步系统地揭示人工植被对小气候的影响作用和人工植被对研究区环境的改善作用，以期对黄土高原丘陵沟壑区退耕地人工植被生态环境效应大小做出评价，为黄土高原进一步有效地退耕还林还草、建设良好的生态环境提供科学的决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

研究区设在黄土高原中部的安塞县境内，该区位于东经 105°05′44″—109°26′18″，北纬 36°30′45″—37°19′03″，海拔 997~1 731 m，是典型梁峁状丘陵沟壑区，属暖温带半干旱气候区，年均降雨量为 535 mm，干燥度 1.48，年均气温 8.8℃，无霜期 160 d 左右，年总辐射量为 552.6 kJ/cm²。植被地带属森林草原区，天然森林已全遭破坏，天然次生林和人工林零星分布，人工林以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨(*Populus simonii*)、柠条(*Caragana intermedia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为主；撂荒植被主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemun*)等演替形成的杂草群落。土壤以黄绵土为主，约占总面积的 95%^[11]。

1.2 测定内容与方法

1.2.1 样地选择 试验布设于中科院水保所安塞站，东经 109°19′23″，北纬 36°51′30″。本试验选择坡耕地退耕后种植 8~10 a 的混交林(刺槐+沙棘)和同年撂荒形成的杂草群落为研究对象，海拔 1 296~1 304 m，坡向北，坡位中，坡度 24°~28°。人工林初

植树种为刺槐，株行距为 2.5 m×2 m，造林后因成活率低而补植沙棘，林间杂草丛生，总盖度约为 75%。同年撂荒植被群落为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*) + 达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*) + 中华隐子草(*Gramineae*)，群落总盖度约为 82%。附近的裸露农地其土壤、坡度、坡向、坡位均同于人工林，每年进行翻耕。在人工植被区、自然撂荒区和裸露农地各选 3 处观测场地，试验仪器布设相同。

1.2.2 测定项目 观测项目有风速、气温、相对湿度、土壤温度、土壤湿度等。采用平行对比观测法(即选择要进行比较的地点进行同步对比观测)每天从 08:00—19:00 逐时正点前后 20 min 内，顺序观测云量、太阳面状况；风速、气温、相对湿度进行离地面高度 20, 100, 150 cm 的梯度观测，风速观测使用 DEM-6 型轻便三杯风向风速表，气温和相对湿度采用通风干湿表和 Kestrel4000 型手持气象站；用直管地温表和曲管地温表测定地面最高温度、地面最低温度和 0, 5, 10, 15, 20 cm 层次的土壤温度；土壤水分的测定用土钻烘干法(105℃)测定，取土间隔为 10 cm，测深为 60 cm；土壤容重、孔隙度等测定用环刀法，表层 0—20 cm 每隔 5 cm 取样 3 次。由于野外条件限制只进行日间观测，除土壤湿度一日观测 3 次外(08:00, 13:00, 18:00)，其余项目每小时观测一次，测量时均 3 次取值。因篇幅限制，只选择 2007 年 7 月晴天数据取均值处理。

2 结果与分析

2.1 近地层大气动力与热力状况的日间变化

坡耕地退耕还林后，原来的耕地景观发生了巨变，尤其是营造了人工林显著改变了地表性质，增加了地表的覆盖度，提高了地表粗糙度，因而使近地层风速显著降低。在起风时段进行的多次观测表明，1.0 m 高度的平均风速人工植被、撂荒植被分别为裸露农地的 31.16%、71.01%(表 1)。人工植被区内的风速远低于撂荒植被区，说明人工林的存在改变了气流结构，消耗了部分空气动能。

表 1 不同恢复方式植被类型对梯度风速的影响 m/s

类型	高度 20 cm 处		高度 100 cm 处		高度 150 cm 处	
	平均风速	最大风速	平均风速	最大风速	平均风速	最大风速
人工植被	0.29	0.70	0.43	1.20	0.67	1.60
撂荒植被	0.74	1.60	0.98	2.10	1.30	2.70
裸露农地	1.15	2.80	1.38	3.50	1.85	4.20

从风速梯度变化来看，虽然人工植被、撂荒植被和裸露农地的风速都随高度上升而增大，但是降低风速的能力不尽相同。在 0.2, 1.0, 1.5 m 三个梯度上人工植被减风效益分别为 75%、66%、62%，撂荒植

被为 43%、40%、36%。这是由于植被恢复方式不同而导致地面性质的差异，从分析可知，人工植被阻滞作用大，因而减风效益也较撂荒植被大。

贴地层(这里主要指距离地面 20 cm)温度的高

低,同时受太阳直接辐射和地面热辐射的影响。从图 1 中可以看出,贴地层温度的日间变化呈不规则的单峰曲线。08:00—10:00 时,人工植被、撂荒植被空气温度平均比裸露农耕区高 0.8℃、0.6℃左右,这可能是因为此时段主要受地面热辐射的作用,植被的存在使反射的地面长波辐射减少,贴地层空气受地面热辐射作用保温并高于裸露农地;11:00—17:00 之间,人工植被、撂荒植被贴地层空气温度比裸露农地低 1.49℃、0.99℃。这可能是因为植被的保护,地面和贴地层空气不至于因太阳直接辐射增强而强烈增温。18:00 以后,人工植被、撂荒植被贴地层温度又高于裸露农地 1.5℃、1.0℃,这可能是由于裸露农地无植被保护散热较快而有植被区散热较慢引起的。

从图 2 可以看出,14:00 时 1.5 m 高度人工植被、撂荒植被比裸露农地低 0.6℃、0.4℃,1 m 高度低 1.2℃、1.0℃。与此相应,温度梯度增大。而 8:00 和 19:00 情况与 14:00 不同,梯度值有减小的趋势,14:00 的温度廓线梯度值增大是与贴地层湍流活动有

极密切的关系,日出后,测点地面受热辐射加热,温度迅速升高,以感热和潜热方式向大气输送热量随高度递减,而下垫面粗糙度和温度又分别是影响湍流的动力因素和热力因素。就粗糙度而言,任何时候有植被区的粗糙度都远远大于裸露区,这是植被所显示的巨大作用。对照裸露农地各层空气温度日变化较快,呈垂直递减趋势,有植被区气温垂直变化幅度变小,相比较而言,人工植被的气温垂直变幅最小,说明热力稳定性人工植被>撂荒植被。

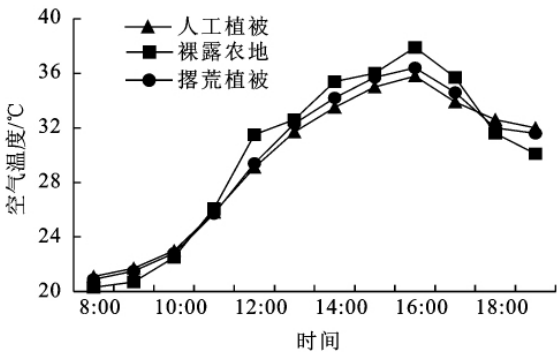


图 1 人工植被、撂荒植被区 20 cm 高度空气温度日间变化

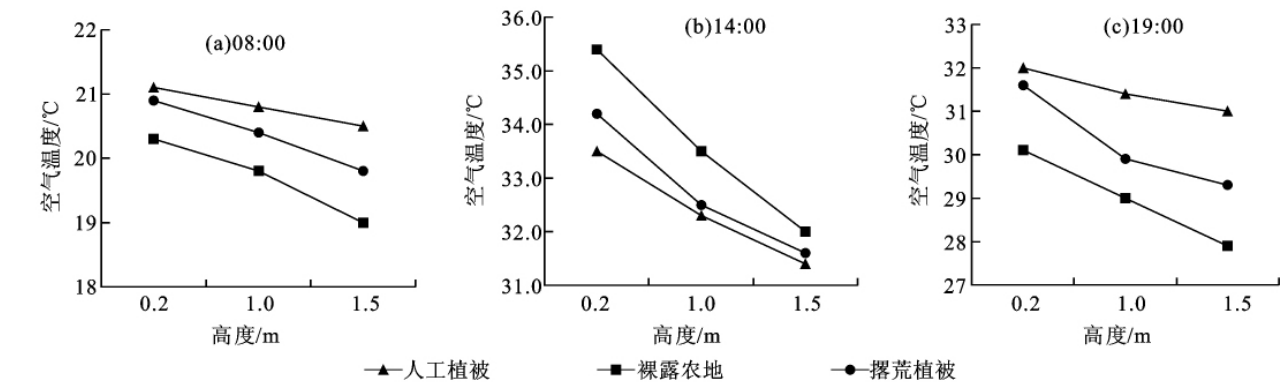


图 2 人工植被、撂荒植被区日间不同时刻气温垂直梯度变化

表 2 人工植被区、撂荒植被区白天湍流日变化			
时间	湍流系数		
	人工植被	裸露农地	撂荒植被
8:00	0.117312	0.228176	0.189072
9:00	0.092560	0.121264	0.053456
10:00	0.146016	0.170768	0.199472
11:00	0.121264	0.224224	0.226720
12:00	0.199472	0.252928	0.248976
13:00	0.198016	0.290576	0.251472
14:00	0.353392	0.633568	0.427648
15:00	0.353392	0.470704	0.435552
16:00	0.199472	0.341536	0.263328
17:00	0.199472	0.205920	0.234624
18:00	0.213824	0.261872	0.230672
19:00	0.153920	0.346944	0.361296
平均	0.195676	0.295707	0.260191

根据风速梯度与温度梯度,对 1 m 高度的湍流系数计算公式如式(1)。

$$K=0.104\Delta u(1+0.38\Delta t/\Delta u)$$
 (1)

式中:K——1 m 高度的湍流系数; Δt , Δu ——0.2 m 和 1.5 m 的温度差和风速差。将湍流系数的计算结果绘成表 2,从中看出,人工植被日平均湍流系数为 0.195 676,比撂荒植被低 0.064 515,而且一天中的大多数时刻特别是午后裸露农地的湍流活动都要大于人工植被和撂荒植被,说明植被的存在对热力交换和动力活动都有一定的影响,植被在一定程度上起屏障作用。

2.2 土壤的水热状况日间变化

土壤的热状况主要表现为土壤温度。人工植被地温与撂荒植被有明显的差别。图 3 是人工植被与撂荒植被不同层次土壤温度的日间变化。植被生长季,日间各层温度变化各异,为不规则变化的单峰曲线,在地表温度表现得更加明显,其变化程度随着土层加深而减缓,并以位相落后的形式向下传递,这说明热量的传递具有一定的滞后性。白天日出后浅层的 0 cm 和 5 cm 土壤温度表现为裸露农地>撂荒植

被>人工植被,傍晚日落后与此相反,这是由于白天植被的遮荫效应大幅度地减少了太阳的直接辐射热,而傍晚植被的保温效应又使散热过程减慢。而深层 15 cm 和 20 cm 日间的土壤温度一直是人工植被>撂荒植被>裸露农地,这可能是因为植被的存在使深层土壤热量保蓄积累引起的,说明人工植被对深层土壤温度也具有一定的调节功能。

这种在退耕坡地上建立人工植被后所起到的温度效应,反映了植被区热量收支和某些物理属性的变化。这里主要指地面反射率、土壤容重、孔隙度、土壤温度扩散率等因素的变化。由表 3 可知,人工植被区的容重较撂荒植被区、裸露农地小,而孔隙度反之,特别是表层土壤平均容重比撂荒植被低 0.019 6,这些都是植被影响土壤导热性的重要方面。

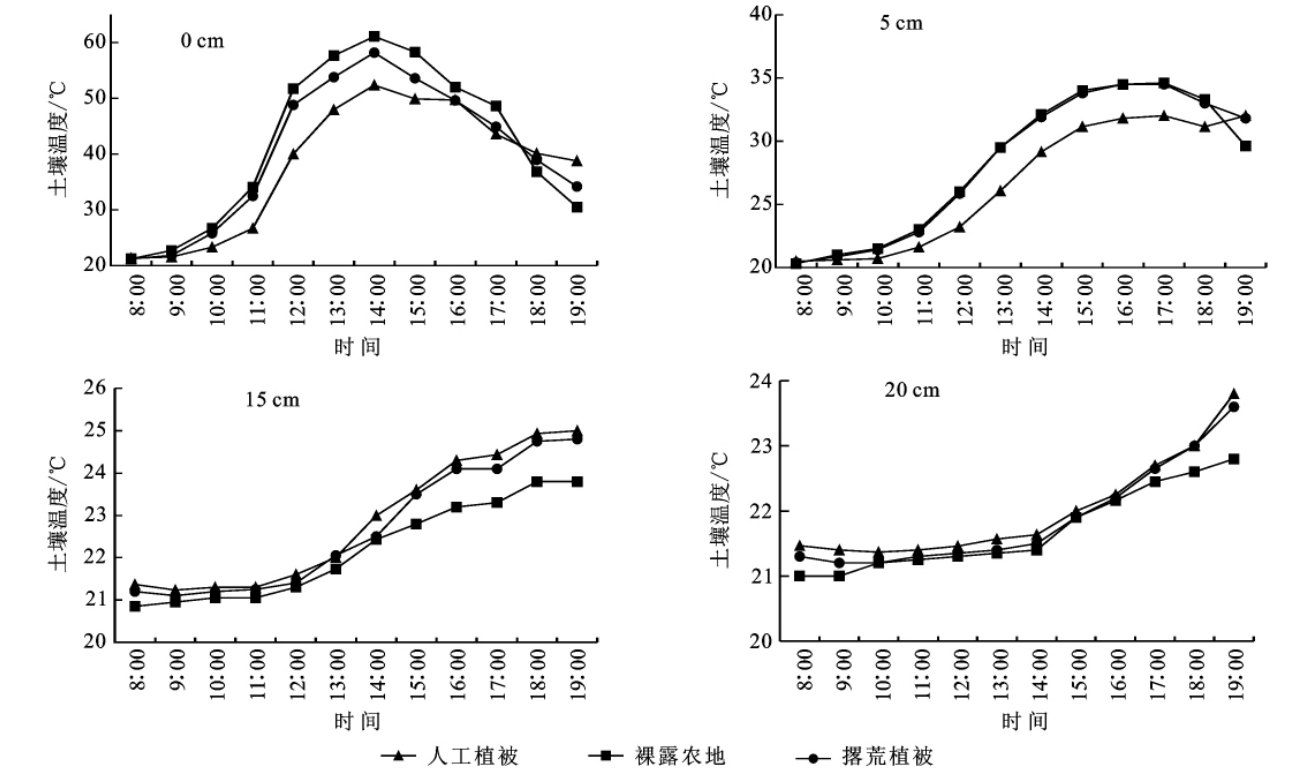


图 3 不同深度土壤温度的日间变化

表 3 土壤容重/孔隙度的分层比较

类型	0—5 cm		5—10 cm		10—15 cm		15—20 cm		平均	
	容重/	孔隙度/	容重/	孔隙度/	容重/	孔隙度/	容重/	孔隙度/	容重/	孔隙度/
	(g·cm ⁻³)	%	(g·cm ⁻³)	%	(g·cm ⁻³)	%	(g·cm ⁻³)	%	(g·cm ⁻³)	%
人工植被	1.1789	56.2	1.1852	53.9	1.1775	52.4	1.2758	51.8	1.2043	53.6
裸露农地	1.2468	52.3	1.2495	52.7	1.2878	52.2	1.2706	51.6	1.2636	52.1
撂荒植被	1.1642	52.6	1.2340	52.2	1.2463	52.3	1.2509	51.7	1.2239	52.2

土壤导热率也称为温度扩散率,是表示土壤温度波的传播特征。利用振幅求热传导,是简捷而经常使用的方法^[12]。设深度 Z_1 、 Z_2 处日最高和最低温度的差为 R_1 、 R_2 ,温度扩散率 $K(\text{cm}^2/\text{s})$ 则由式(2)求得:
$$K=6.68\times10^{-6}\times(Z_2-Z_1)^2/(1gR_1-1gZ_2)^2\quad(2)$$

由表 4 可见,人工植被和撂荒植被的平均导温率均大于裸露农地,说明植被的存在使土壤的导热性能提高了。其中人工植被在 5—10 cm 处导热率较其它层大,裸露农地和撂荒植被在 15—20 cm 处导热率较大,说明人工植被根系及枯枝落叶在某种程度上改善了浅层土壤性质使其导温率增大。各深度土温结合气温情况分析,说明人工林地吸收的热量主要用于土

壤层增温,热量传递较深,裸露农地吸收热量用于大气增温的较多,土壤增温的较少。此外,观察建立人工植被后的坡地,地表由于枯枝落叶形成一种较裸坡地、撂荒地颜色深的地表,其反射率低,这是易获得热量、增加温度的基础。

土壤含水量的日变化虽较小,但在一定程度上仍然可以反映土壤湿度的特征。从图 4 可以看出人工植被、撂荒植被、裸露农地样地土壤含水量的变化规律。深层土壤含水量日变化情况在短时间尺度上表现不明显,而表层 0—20 cm 可以表现出明显的失水过程,即土壤湿度早晨>中午>傍晚。土壤湿度总体情况是裸露农地>撂荒植被>人工植被,但表层土壤

失水率也是裸露农地>撂荒植被>人工植被,虽然人工植被有大型耗水植物土壤湿度低于撂荒植被和裸

露农地,但是由于枯枝落叶等凋落物的覆盖而对表层土壤水分丢失有明显的调节作用。

表 4 不同深度土壤导热率 cm²/s

类型	0—5 cm	5—10 cm	10—15 cm	15—20 cm	平均
人工植被	0.000923	0.007802	0.001525	0.004818	0.003767
裸露农地	0.000866	0.002017	0.001111	0.003737	0.001933
撂荒植被	0.000980	0.002546	0.001668	0.004867	0.002515

2.3 近地层大气湿度的日间变化

空气湿度是小气候的综合体现。从图 5(a)中可以看出,人工植被、撂荒植被和裸露农地相对湿度的日间变化趋势基本一致,表现为近 U 型曲线。人工植被的相对湿度除个别时段外,均高于裸露农地和撂荒植被,以据地面 20 cm 为例,人工植被相对湿度大于撂荒植被、裸露农地 1.8%~3.8%。人工林区由于风速和太阳辐射削弱,水面蒸发也相对减少,测定结果显示,人工植被日间水面蒸发量少于撂荒植被、

裸露农地 0.52 mm、0.80 mm。说明植被具有明显地减少水面蒸发,提高相对湿度的作用。

由图 5b 可知,各梯度空气湿度的垂直变化规律为 20 cm>100 cm>150 cm,20~100 cm 之间变率较大,100~150 cm 之间变化较为平缓。越靠近地面空气湿度越大,可能是由于受太阳辐射的影响,地面蒸散强度大,使近地层水汽含量较多,另一方面,在植被的保护下,上下层交换气流减少,植物蒸腾的水分也在近地面大气中逗留的时间延长,因而提高了空气湿度。

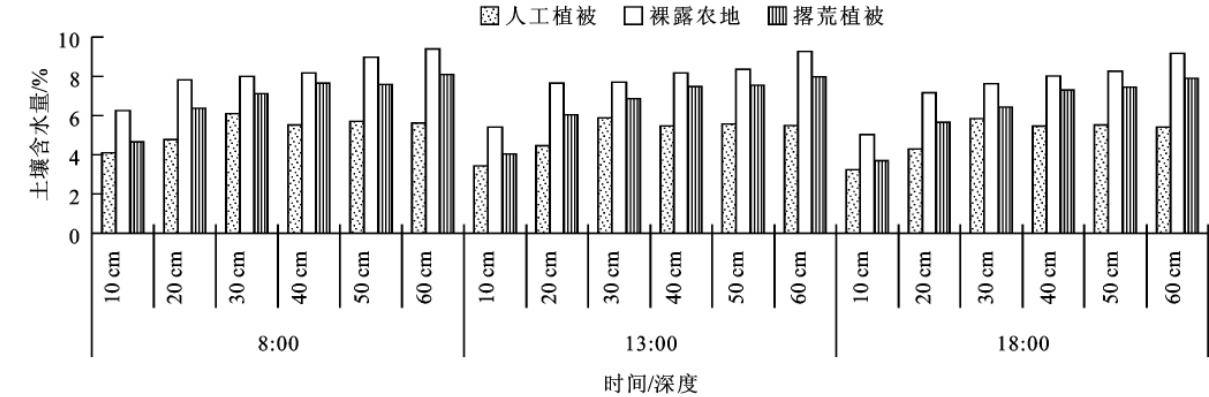


图 4 不同深度土层夏季含水率日变化均值

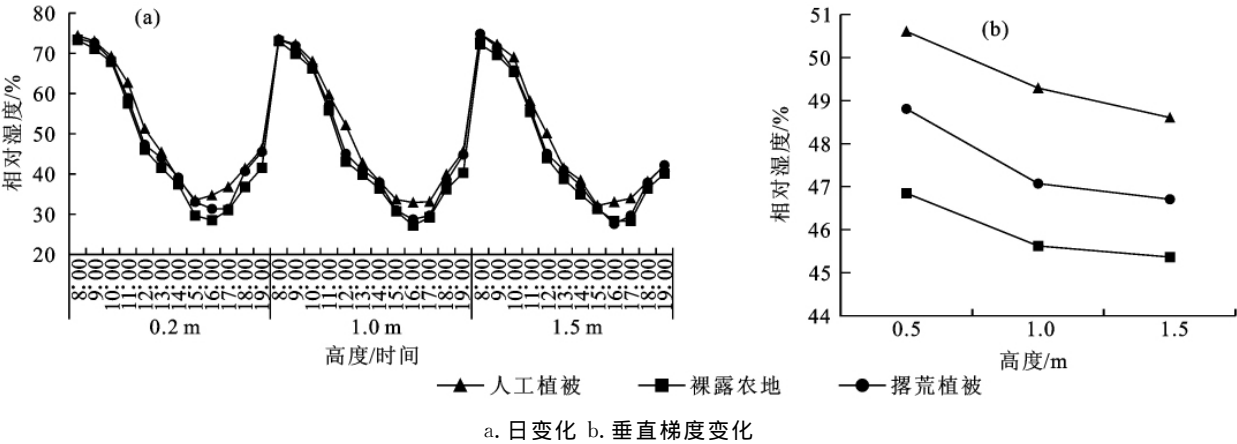


图 5 人工植被与撂荒植被空气相对湿度的比较

2.4 人工植被和撂荒植被小气候因素效应强度比较

2.4.1 温度效应 人工植被和撂荒植被在夏季都对环境温度有一定的影响,然而对温度的效应强度是不同的,为衡量人工植被和撂荒植被在夏日高温天气下的降温能力,引入平均降温率。

$$\bar{T}_{12} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{T_{i1} - T_{i2}}{T_{i1}} \right] \times 100\% \quad (3)$$

式中: \bar{T}_{12} ——08:00—19:00 的平均降温率(%), T_{i1} ——对照点 0.20 m、1.00 m 或 1.50 m 处温度, T_{i2} ——人工植被和撂荒植被中心区 1.50 m、1.00 m 或 0.20 m 处温度。统计结果列于表 5。

就日间平均气温而言,在相同的天气条件下,人工植被的降温作用强于撂荒植被,而且均在 100 cm 处降温能力最强,低于撂荒植被 0.41℃。

表 5 人工植被和撂荒植被梯度降温率的比较 ℃				
植被类型	20 cm	100 cm	150 cm	日间平均
人工植被	0.82	1.18	0.60	0.86
撂荒植被	0.50	0.77	0.69	0.65

2.4.2 湿度效应 人工植被和撂荒植被都有一定的增湿效应,为定量各自增湿效应的强度,统计下列湿度效应:

$$\overline{H}=\frac{1}{12}\sum_{i=1}^{12}H_i$$

表 6 人工植被与撂荒植被水分效应统计特征

类型	0.2 m		1.0 m		1.5 m		平均值	
	平均相	平均增	平均相	平均增	平均相	平均增	平均相	平均增
	对湿度%	湿效应	对湿度%	湿效应	对湿度%	湿效应	对湿度%	湿效应
人工植被	50.61	3.75	49.29	3.67	48.61	3.24	49.50	3.55
撂荒植被	48.81	1.96	47.08	1.45	46.71	1.34	47.53	1.58

2.4.3 改土效应 人工植被和撂荒植被都在一定程度上改善了土壤的物理性质,但改善的效应强度还是有细微的差别。从表 3,4 可知,在营造人工生态林后,林地的土壤容重平均为 1.204 3 g/cm³,比撂荒植被低 0.019 6 g/cm³,孔隙度有所增加,比撂荒植被多 1.4%;由于林木根系及枯落物的影响,表层土壤疏松度增加,所以人工植被导热率比撂荒植被平均高 0.001 252 cm²/s。

此外,人工植被和撂荒植被都在一定程度上增加了地表粗糙度,使风力和地面的磨擦系数增大,而且通过湍流运动减小了风速梯度,避免风力直接作用于地表,具有较好的防风动力效应。人工植被 0.2 m 处最大减风效益为 75%,比撂荒植被高 32%,阻风效应强于撂荒植被。

3 结论与讨论

3.1 结论

人工植被和撂荒植被夏季小气候的差异为:人工植被和撂荒植被风速垂直变化均随高度的增加而增大,但由于人工植被比撂荒植被对风的阻挡作用强,湍流交换活动减弱,人工植被日平均风速比撂荒植被低 0.55 m/s,风速随高度变化的幅度也小于撂荒植被;人工植被 1.0 m 日均温比撂荒植被低 0.21℃,而且在一天中的大多数时刻,人工植被的气温都低于撂荒植被,空气湿度则相反;浅层土壤温度人工植被低于撂荒植被,深层土壤温度则略高于撂荒植被;土壤湿度人工植被低于撂荒植被,但是人工植被对表层土壤水分的保蓄能力却大于撂荒植被,减少了地表土壤水分的无效蒸发。

相关研究表明^[13-14]:掌握植被恢复对气象要素影

$$\overline{H}_{12}=\frac{1}{12}\sum_{i=1}^{12}(H_{i1}-H_{i2}) \tag{4}$$

式中: $\overline{H},\overline{H}_{12}$ ——平均相对湿度(%)、平均增湿效应; H_{i1},H_{i2} ——各时刻人工植被中心或撂荒植被中心与对照的相对湿度测定值。统计结果列于表 6。

由表 6 可见,人工植被日平均相对湿度比撂荒植被高 1.97%,平均增湿效应均强于撂荒植被,且 1.0 m 处增湿效应最强,高于撂荒植被 2.22%。

响的规律,既能科学评价人工林草工程的生态效应,又能指导人工措施使人工植被逐渐演化为天然植被。由结论知人工植被风速、气温低于撂荒植被,大气相对湿度高于撂荒植被。这种减风、降温、保湿的功能在蒸发强烈、降水稀少、风沙较大的干旱半干旱的黄土高原能很好地保护水土资源,改善小气候生态条件。由人工植被和撂荒植被对小气候的影响效应强度可知,人工植被小气候条件相对优越,这是因为自然恢复植被进程较缓慢,采用人工恢复能加速植被的演替进程,增加多样性,使系统内部的种群和群落结构得到优化,更好地实现系统的整体功能,从而使小气候朝着更稳定的方向发展。从小气候环境的稳定性这个角度看,人工植被确实在一定程度上加快了植被恢复的进程,但同时我们也应该注意到人工植被群落的土壤含水量明显地较自然恢复群落低,因此一定要注意合理密度及树种搭配,以充分发挥人工林生态系统在黄土高原环境保护中的作用。

3.2 讨论

在生态恢复与重建过程的小气候研究中,以往的研究侧重于不同植被类型和植被不同恢复阶段小气候特征的研究^[10,14-15]。而本研究侧重于不同植被恢复方式下群落小气候的特征和变化,虽然沿用了以往小气候研究的方法,但是在前人研究的基础上进一步量化了植被恢复对小气候影响的效应强度,为科学地评价人工林草工程的生态效应提供了基础数据。但由于各种限制,所做的研究多为零散性的微观研究,其结果难免存在一定的局限性。今后的研究中将注重短期观测和长期定位观测站资料的结合,以期为人工林草生态工程的效应评价提供更丰富的理论依据。

对密度都要低于对方,柠条与苜蓿+柠条的相对密度要低于苜蓿,柠条与小冠花混种二者的密度差不多。

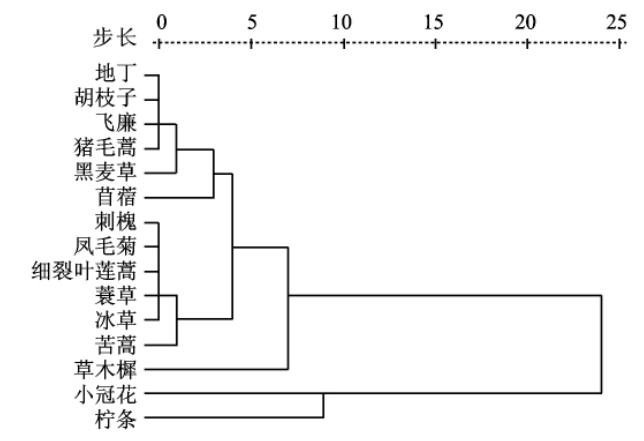


图 3 骨架植草护坡植物种类聚类分析

(2)在 3 种护坡模式中,挂网模式中的植被较单一,主要为苜蓿和黑麦草,且苜蓿的相对密度明显高于黑麦草,表明该群落的物种较单一,植被恢复的稳定性差,不利于边坡植被恢复的长久发展^[7]。

(3)在穴状和挂网模式中,苜蓿都占主要地位,穴状模式的自然入侵较挂网要显著,外来物种猪毛蒿和铁杆蒿已经开始入侵,优势度仅次于人工植被苜蓿和柠条。在穴状和骨架植草模式中,人工植被柠条属于优势种,但在骨架模式中,外来物种的入侵不显著,均属于伴生种。

总之,在高速公路的边坡防护中,自然入侵物种对

人工栽植的物种有很重要的影响,自然物种的侵入在一定程度上决定着边坡植被群落演替的方向,边坡植被恢复的成败。人工植被的衰退,会造成边坡的重新裸露。近年来,关于高速公路裸露边坡恢复机理的研究还较少^[8],对于不同地带的不同类型的边坡到底适合何种植被的生长,今后还需要进行更多的深入分析。

参考文献:

[1] 王震洪,段昌群,侯永平,等. 植物多样性与生态系统土壤保持功能关系及其生态学[J]. 植物生态学报, 2006, 30(3):392-403.

[2] 樊鸿章,刘宏,董建辉. 勉县至宁强县高速公路生态恢复评价研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(4):144-147.

[3] 马海霞,王柳英. 不同草种混播组合在公路边坡的建植效果研究[J]. 草原与草坪, 2007(3):33-37.

[4] 宋志刚,谢蕾蕾,何旭洪. SPSS 16.0 使用教程[M]. 北京:人民邮电出版社, 2008.

[5] 郑敬刚,董东平,赵登海,等. 贺兰山西坡植被群落特征及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2008, 28(9):4559-4567.

[6] 相辉,岳明. 陕北黄土高原森林植被数量分类及环境解释[J]. 西北植物学报, 2001, 21(4):726-731.

[7] 谢云,刁逢光. 一年生先锋植物在边坡喷播绿化中的应用试验[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(3):384-392.

[8] 廖乾旭,李阿根,徐礼根,等. 高速公路边坡生态恢复的问题与对策[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(增刊):100-102.

(上接第 175 页)

参考文献:

[1] 张文辉,刘国彬. 黄土高原植被生态恢复评价、问题与对策[J]. 林业科学, 2007, 43(1):102-106.

[2] 白文娟,焦菊英,马祥华,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植物群落的分类与排序[J]. 西北植物学报, 2005, 25(7):1317-1322.

[3] 韩恩贤,韩刚. 黄土高原沟壑区沙棘人工混交林改土效应研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6):879-884.

[4] 巩杰,陈利顶,傅博杰,等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12):2292-2296.

[5] 张婷,张文辉,郭连金,等. 黄土高原丘陵区不同生境小叶杨人工林物种多样性及其群落稳定性分析[J]. 西北植物学报, 2007, 27(2):340-347.

[6] 卜耀军,温仲明,焦峰,等. 黄土丘陵区人工与自然植物群落物种多样性研究:以安塞县为例[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1):4-6.

[7] 焦峰,温仲明,李锐. 黄土高原退耕还林(草)环境效应分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1):26-29.

[8] 郭建侠,杜继稳,郑有飞. 陕北地区不同植被改善方案对环境影响的数值模拟[J]. 生态学报, 2004, 24(7):1365-1372.

[9] 姜艳,徐丽萍,杨改河,等. 不同退耕模式林草夏季小气候效应[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2):162-166.

[10] 王连喜,闵庆文,李凤霞,等. 宁夏南部山区不同下垫面的小气候特征分析[J]. 资源科学, 2005, 27(4):18-21.

[11] 高旺盛,董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价:以安塞县为例[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2):182-188.

[12] 莫兴国,李宏轩,刘苏峡,等. 用土壤温度估算表层土壤导温率与热通量的研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1):62-64.

[13] 李岚岚,赵东,赵勇,等. 黄河小浪底库区不同恢复阶段群落小气候特征研究[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(1):42-46.

[14] 李宗峰,陶建平,王微,等. 岷江上游退化植被不同恢复阶段群落小气候特征研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4):364-367.

[15] 付为国,李萍萍,吴沿友,等. 镇江内江湿地不同演替阶段植物群落小气候日动态[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9):1699-1704.