

不同母质红壤和水分条件对连翘生长的影响

陈秀龙^{1,3}, 郭利平^{2,3}, 沈发兴^{2,3}, 徐爱珍³, 葛佩琳³, 张利超³

(1. 江西农业大学 国土与资源环境学院 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 江西 南昌 330045; 2. 江西农业大学 林学院 江西省森林培育重点实验室, 江西 南昌 330045; 3. 江西省水土保持科学研究院 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 江西 南昌 330029)

摘要: [目的] 在南方红壤侵蚀区不同母质发育红壤上种植和筛选适宜生长的连翘属植物生长特性, 旨在为连翘资源的规模扩大和推广种植提供科学依据。[方法] 以连翘、金钟花和垂枝连翘为试材, 通过人工控水试验在3种母质红壤(花岗岩红壤、红砂岩红壤和第四纪红壤)设计3个水分处理(20 cm深度处土壤基质势控制在-5, -20, -35 kPa), 研究不同母质和水分条件对3种连翘属植物生长的影响规律。[结果] ①在3种水分处理条件下, 花岗岩红壤种植的连翘属植物, 其灌水次数和灌水量最少; 第四纪红壤种植的连翘属植物, 在-5 kPa水分条件下, 其灌水量和灌水次数, 与红砂岩红壤相同, 在-20 kPa和-35 kPa水分条件下, 均高于红砂岩红壤。②土壤水分和土壤类型均显著影响连翘属植物的生长发育, 而连翘品种之间却无显著差异; 除了土壤水分—连翘品种的交互作用对枝条长度无显著影响外, 其他土壤类型、土壤水分、连翘品种之间的双因素交互作用, 对连翘属植物生长指标均具有极显著影响。3种连翘属植物中, 在高水分条件下(-5 kPa), 连翘、金钟花在红砂岩红壤上生长最佳, 垂枝连翘在第四纪红壤上生长最佳; 随着水分含量下降(-20 kPa和-35 kPa), 3种连翘属植物均在第四纪红壤上生长得更好。[结论] 在适宜水分条件下(20 cm深度处土壤基质势 > -35 kPa), 连翘、金钟花和垂枝连翘在南方红砂岩红壤和第四纪红壤上引种植是可行的。

关键词: 红壤类型; 土壤水分; 连翘属植物; 生长指标

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2020)05-0064-08 **中图分类号:** Q948.112⁺.3, S567.1⁺9

文献参数: 陈秀龙, 郭利平, 沈发兴, 等. 不同母质红壤和水分条件对连翘生长的影响[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 64-71. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.05.011; Chen Xiulong, Guo Liping, Shen Faxing, et al. Effects of red soil derived from different parent materials and moisture condition on growth of *Forsythia* plants [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 64-71.

Effects of Red Soil Derived from Different Parent Materials and Moisture Condition on Growth of *Forsythia* Plants

Chen Xiulong^{1,3}, Guo Liping^{2,3}, Shen Faxing^{2,3}, Xu Aizhen³, Ge Peilin³, Zhang Lichao³

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Watershed Agricultural Resources and Ecology of Jiangxi Province, School of Land Resource and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 2. Jiangxi Key Laboratory of Silviculture, College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 3. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention, Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang, Jiangxi 330029, China)

Abstract: [Objectives] We planted and screened suitable *Forsythia* plants for growth on a typical red soil in an eroded red-soil region of South China in order to provide a scientific basis for the scaled expansion and popularization of *Forsythia* resources. [Methods] *F. suspense* (P_1), *F. viridissima* (P_2), and *F. suspensa*

收稿日期: 2020-07-02

修回日期: 2020-07-13

资助项目: 国家自然科学基金项目“长江中下游地区花生生长对旱涝胁迫的响应机理及模拟”(41905104), “南岭东部常绿阔叶林主要树种根际与根叶养分对磷添加的响应”(31870427); 江西省重点研发计划项目(20181BBG70038); 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室开放研究基金重点项目(JXSB201803); 江西省水利科技项目(KT201620, 201820YBKT19, 201820YBKT17, 201821ZDKT17); 江西省水利科技成果重点推广计划(201820TG13)

第一作者: 陈秀龙(1984—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区博湖县人, 博士, 讲师, 主要从事农业资源与环境研究。Email: chenxiulong@jxau.edu.cn.

通讯作者: 郭利平(1984—), 女(汉族), 四川省西充县人, 博士, 讲师, 主要从事森林生态研究。Email: guoliping@jxau.edu.cn.

var. *sieboldii* (P_3) were used as test materials in this study. Three moisture gradients (-5 , -20 , and -35 kPa) were designed using artificial water control experiment on three types of red soil that were developed from granite (S_1), red sandstone (S_2), and Quaternary red clay (S_3) parent materials. We then analyzed the effects of each type of red soil and moisture condition on the growth of the three *Forsythia* species. [Results] ① Under the three moisture gradients, the lowest irrigation time and lowest volume of irrigation water for each *Forsythia* species were on the S_1 soil. The irrigation volume and irrigation time of the S_3 soil were higher than those of the S_2 soil at -20 and -35 kPa, while they were the same at -5 kPa. ② Soil moisture and soil type significantly affected the growth and development of *Forsythia* plants on the typical red soils; however, no significant difference was observed among the plant species. The interactions between soil type and soil moisture, as well as soil type and *Forsythia* species had significant effects on all growth indices, and the interaction between soil moisture and *Forsythia* species had a significant effect on all growth indices excluding branch length. Among the three *Forsythia* species, under high soil moisture conditions (-5 kPa), the best growth of P_1 and P_2 occurred in the S_2 soil, while P_3 grew best in the S_3 soil. However, with a decreased moisture content (-20 and -35 kPa), all three *Forsythia* plants grew best in the S_3 soil. [Conclusion] In South China, it is feasible to plant the three *Forsythia* species under high moisture conditions in red soil that has either red sandstone or Quaternary red clay as the parent material and a soil matrix potential of ≥ -35 kPa.

Keywords: red soil types; soil water content; *Forsythia* plants, growth indices

连翘(*Forsythia suspensa*)为木犀科连翘属的落叶灌木,是一种喜光、耐寒耐旱耐瘠薄而怕涝,不择气候和土壤的多年生阳性树种^[1-2]。优良生态经济灌木连翘可谓“全身是宝”:果实青翘和老翘是中国常见的大宗药材,也是解表和清热类中成药双黄连口服液、银翘散、银翘解毒丸和(牛黄)上清丸等的主要组成^[3];连翘花可以作为优良的黄色食用色素、蜜源和早春观赏花卉^[4];连翘嫩茎叶可作茶饮,叶提取物具有抑菌作用^[5-6];连翘根系发达、萌发力很强具有良好的保持水土作用,根部还可用于治疗湿热疾病^[2,4]。全世界约有 11 种连翘属植物,其中大约 7 种广泛分布在中国山西、河北、陕西和湖北等地,是中国暖温带地区代表性植物^[7-8]。然而,近年来随着人们疯狂和不合理地采摘导致大量野生连翘资源的破坏,作为主产地的山西连翘供应已显紧张;但市场对连翘需求量却在不断增加,扩大连翘的人工种植面积已成必然^[9]。高效生态经济作物连翘在水土流失防治、小流域景观提升、城市美化、荒山绿化和精准扶贫等方面都大有可为。

红壤广泛分布在中国长江以南的低山丘陵区,是中国南方热带和亚热带地区的重要土壤资源;作为南方红壤丘陵区中心地带的江西省,其地带性土壤主要由花岗岩、红砂岩和第四纪红黏土等母质发育而成^[10-11]。由于区域降雨强度大、土壤质地易被侵蚀和过度开发垦殖等自然和人为活动的综合作用,江西省一直是中国南方水土流失较为严重的省份;并且,该

区推广种植的优良水土保持植物主要以草本为主,存在类型单一、经济价值不高的特点^[12-13]。因此,在大力实施赣闽粤原中央苏区乡村振兴战略和推进国家生态文明试验区(江西)建设的背景下,筛选出适宜在南方红壤丘陵区典型红壤上推广种植的连翘种,具有重要的现实意义。虽然连翘对气候和土壤要求不高,但南方红壤区不同母质酸性土壤和过多降水可能抑制连翘生长。为此,我们在花岗岩、红砂岩和第四纪红黏土母质发育的酸性红壤上开展 3 种连翘属植物在不同水分条件下的生长特征比较,以期为南方红壤区优良适生连翘品种的选育提供科学支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

本研究在温室中开展连翘盆栽土壤水分控制试验。选取 1 a 生的连翘(*Forsythia suspensa*, P_1)、金钟花(*Forsythia viridissima*, P_2)和垂枝连翘(*F. suspensa* var. *sieboldii*, P_3)为试验材料,上述材料是经第四纪红壤大田扦插试验筛选出的适应性相对较好的连翘品种^[14]。试验用土是分别来自于江西省赣州市的花岗岩红壤(S_1)、红砂岩红壤(S_2),和来自江西省德安县的第四纪红壤(S_3),风干过 5 mm 筛待用。土壤水分设计 3 个土壤基质势水平: -5 kPa(W_1), -20 kPa(W_2)和 -35 kPa(W_3),采用张力计法实时监测土壤基质势^[15]。整个研究总共 27 个处理,每个处理 5 个重复,每个重复 1 盆连翘。

根据《美国制土壤质地分类标准》对 3 种南方红壤区典型红壤的土壤性质比较分析发现(见表 1), S_1 和 S_2 土壤均为砂质壤土, S_3 土壤是粉砂壤土, 前二者 pH 值均比 S_3 土壤低。其中, S_3 土壤的黏粒和粉

粒含量占比 79.1%, 而 S_1 和 S_2 土壤分别是 29.9% 和 25.8%, 后两者砂粒含量占比占优。供试 3 种土壤均表现出有机质、氮和钾含量较低, 磷含量较高; 因此, 都属于富磷缺氮钾和有机质缺乏型土壤。

表 1 供试土壤基本理化性质和养分指标

土壤类型	机械组成/%			土壤质地	pH 值	有机质/ ($g \cdot kg^{-1}$)
	黏粒含量 ($<0.002 mm$)	粉粒含量 ($0.002 \sim 0.05 mm$)	砂粒含量 ($0.05 \sim 2.0 mm$)			
S_1	11.71	18.17	70.12	砂质壤土	5.46	8.11
S_2	13.72	12.11	74.17	砂质壤土	5.33	8.18
S_3	24.05	55.03	20.92	粉砂壤土	6.22	8.43
土壤类型	全氮/ ($g \cdot kg^{-1}$)	全磷/ ($g \cdot kg^{-1}$)	铵态氮/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	硝态氮/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	速效磷/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	速效钾/ ($mg \cdot kg^{-1}$)
S_1	0.29	0.44	4.21	56.99	18.81	108.45
S_2	0.47	0.48	6.75	38.71	27.07	113.87
S_3	0.59	0.46	4.00	19.89	20.73	131.68

注: S_1 为花岗岩红壤, S_2 为红砂岩红壤, S_3 为第四纪红壤; 下同。

1.2 试验布置

风干的试验用土按容重 $1.3 g/cm^3$ 填装在花盆中, 花盆规格为上口直径 38 cm, 底部直径 30 cm, 高度 40.5 cm。2018 年 3 月 20 日将 3 种长势一致的 1 a 生连翘幼苗带根挖出, 对根系和枝条按照统一高度剪裁之后栽种在花盆中。花盆布置形式见图 1。总共布置 9 排, 每 3 排 1 种土壤, 其中设置 3 个水分梯度(每

个水分梯度是 1 排), 每排水分梯度处理按顺序种植 3 种连翘。所有花盆铺设一套灌溉系统, 包括肥水桶、水泵、过滤器、阀门、滴灌管、堵头和灌水器组成。每排水盆通过 1 个阀门来控制灌水时间和灌水量(见图 1)。灌水器选用流量为 2 L/h 的纽扣式灌水器, 每盆在连翘两侧各安装 1 个灌水器。每一排水盆处理安装 2 支张力计, 张力计探头埋在灌水器正下方 20 cm 处^[15]。

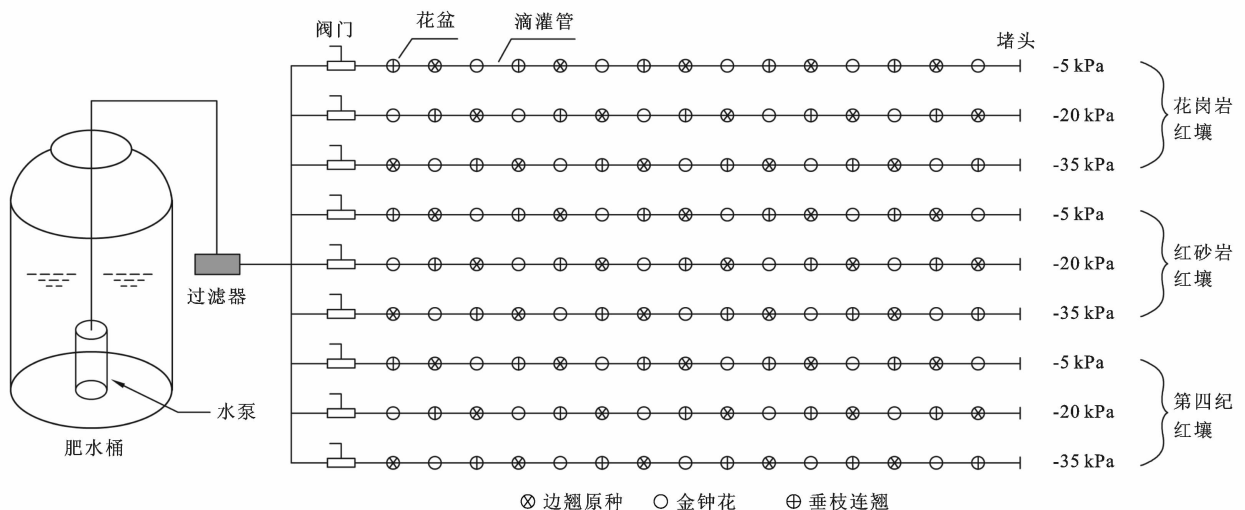


图 1 连翘水分控制试验布置图

待移栽的连翘幼苗生长稳定后, 于 2018 年 6 月 8 日开始水分控制试验。从幼苗移栽到试验开始前, 所有连翘统一灌水。试验开始后, 首次灌水将土壤灌透, 之后在每天 8:00 获取张力计瞬时土壤基质势值, 当同一排连翘水分处理中 2 支张力计中, 任一

支张力计的读数低于设计的土壤基质势值(-5, -20 kPa 或 -35 kPa)则进行灌溉, 每次灌水量 10 mm。水分控制试验于 2018 年 9 月 8 日停止。在整个试验期间, 所有盆栽连翘均采用统一施肥、施药管理。此外, 为了防止夏季温室温度过高影响连翘生长, 在温室安

装自动化温湿度记录仪一台,当温室温度过高,则打开温室风机和湿帘系统以及温室内外遮阳系统,对温室内部的温度和相对湿度进行整体调控。整个试验阶段,温室温度基本维持在 30 ℃ 左右,湿度控制在 50% 左右。

1.3 测定项目与方法

在水分控制试验开始前和结束后对连翘枝条长度和数量进行测量;在试验结束时,将每一盆连翘的叶片摘下来,测定叶片干重、鲜重和叶面积。其中,枝条长度通过人工测定,叶片干重、鲜重通过烘干法和称重法测定,叶面积采用叶面积仪进行测定。

1.4 统计分析

采用一般线性模型单变量多因素方差分析方法(Duncan's multiple range tests),对连翘枝条长度、叶面积、叶片干重和叶片鲜重进行统计分析,主要分析土壤类型、土壤水分和连翘品种 3 种影响因素及其交互作用。采用最小显著性差异法(LSD 法),分析土壤类型、土壤水分和连翘品种单因素对连翘生长指标平均值的影响,及相同连翘品种条件下,土壤水分和土壤类型二者交互作用对枝条长度、叶面积、叶片干重和叶片鲜重的影响。使用 Excel 2013 和 Origin 2017 完成作图,SPSS 19 完成统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤水分和灌溉水量

在土壤水分控制条件下,3 种典型红壤具有类似的土壤基质势变化趋势,因此,这里仅以第四纪红壤为例来描述(见图 2)。所有处理在 20 cm 深度处的土壤基质势均较好地控制在 -5, -20 kPa 和 -35 kPa。其中, -5 kPa 处理土壤基质势波动最小,其次是一 20 kPa,波动最大的一 35 kPa。由于试验在温室中进行,隔绝了自然降水;所以,灌溉、蒸散发和渗漏是土壤基质势波动的主要影响因素。

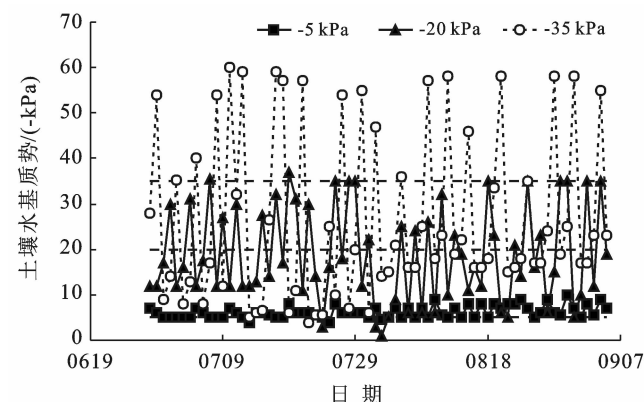


图 2 第四纪红壤土壤基质势

所有水分处理在水分控制期间的灌水次数和灌水量见表 2。结果显示,同一土壤类型的灌水次数和灌水量,均随着土壤基质势控制水平的降低而降低。3 种土壤类型之间的比较发现, S₁ 土壤所有水分处理的灌水次数和灌水量,均比 S₂ 和 S₃ 少。S₂ W₁ 处理的灌水量和灌水次数与 S₃ W₁ 相同,均为 39 次;但在 W₂ 和 W₃ 水分处理条件下, S₃ 土壤处理的灌水次数和灌水量,比 S₂ 土壤多,其中,灌水量分别多 90 mm 和 70 mm。

表 2 水分控制期间的灌水次数与灌水量

土壤类型	土壤基质势/ kPa	灌水次数/ 次	灌水量/ mm
S ₁	W ₁	35	350
	W ₂	12	120
	W ₃	8	80
S ₂	W ₁	39	390
	W ₂	18	180
	W ₃	13	130
S ₃	W ₁	39	390
	W ₂	27	270
	W ₃	20	200

注:W 为 3 个土壤基质势水平:W₁ 为 -5 kPa;W₂ 为 -20 kPa;W₃ 为 -35 kPa。下同。

2.2 连翘生长主要影响因素分析

土壤类型、土壤水分和连翘品种及其交互作用对初筛适生连翘属植物叶片和枝条的显著性分析见表 3。

表 3 土壤类型、土壤基质势和品种及其交互作用对连翘生长指标的显著性分析

因素	叶面积/ cm ²	叶片 鲜重/g	叶片 干重/g	枝条 总长/cm
土壤类型(S)	***	***	***	***
土壤水分(SMP)	***	***	***	***
品种(P)	**	0.437	0.488	0.124
S×SMP	***	***	***	***
SMP×P	***	***	**	0.323
S×P	***	***	***	***
S×SMP×P	0.564	0.353	0.837	0.727

注: * 表示在 $p < 0.05$ 水平差异显著; ** 表示在 $p < 0.01$ 水平差异显著; *** 表示在 $p < 0.001$ 水平差异显著。

由表 3 可知,土壤类型和土壤水分对连翘所有生长指标均具有极显著的作用($p \leq 0.001$),除叶面积外,品种因素对其他 3 个指标均无显著性影响($p > 0.05$)。

双因素交互作用发现,土壤类型—土壤水分,土壤类型—连翘品种对所有生长指标均具有极显著的作用($p \leq 0.001$),土壤水分—连翘品种二者交互作用除对枝条长度无显著作用外,对叶面积、叶片干鲜重均具有显著影响($p \leq 0.05$)。三因素交互作用对所有指标均无显著影响。上述结果表明,土壤类型和土壤水分是影响连翘生长的主要因素。

2.3 土壤类型、土壤水分和植物品种单因素对连翘生长的影响

进一步就 3 种影响因素对连翘生长指标的分析结果(见表 4)表明,就水分单因素而言,连翘生长指标随着水分梯度的降低而降低,而且高水分条件的连翘叶片和枝条生长指标显著优于低水分条件($p < 0.05$),如 W_1 水分处理所有指标优于 W_2 和 W_3 水分处理,而 W_2 水分处理优于 W_3 水分处理。土壤类型单因素分析结果表明, S_2 和 S_3 土壤处理上种植连翘属植物生长指标均显著优于 S_1 土壤上的连翘,而前两种红壤上种植连翘生长指标之间不存在显著性差异。品种的比较结果说明,本研究栽种的 3 个连翘种之间不存在显著差别。

表 4 土壤类型、土壤基质势和品种对连翘叶片和枝条平均生长指标的影响

因素	平均叶面积/cm ²	平均叶片鲜重/g	平均叶片干重/g	平均枝条总长/cm
土壤基质势 W_1	5 151.9±427.7 ^a	94.3±7.6 ^a	24.4±1.7 ^a	1 433.4±101.7 ^a
W_2	3 273.4±391.2 ^b	60.7±6.9 ^b	15.4±1.9 ^b	988.5±106.3 ^b
W_3	1 869.4±289.0 ^c	34.7±5.2 ^c	8.2±1.4 ^c	573.4±64.7 ^c
土壤类型 S_1	1 563.2±275.9 ^b	28.6±4.5 ^b	8.6±1.4 ^b	489.6±57.6 ^b
S_2	4 007.2±458.2 ^a	74.5±8.4 ^a	17.8±2.2 ^a	1 151.5±114.1 ^a
S_3	4 724.3±361.6 ^a	86.6±6.2 ^a	21.6±1.7 ^a	1 354.1±89.5 ^a
连翘品种 P_1	3 915.7±528.1 ^a	65.9±8.8 ^a	16.6±2.2 ^a	1 031.4±114.8 ^a
P_2	3 008.2±411.1 ^a	60.2±8.1 ^a	15.1±2.1 ^a	925.8±105.1 ^a
P_3	3 370.9±405.3 ^a	63.6±7.6 ^a	16.4±2.0 ^a	1 038.1±124.6 ^a

注:P 为连翘品种:连翘(*Forsythia suspensa*, P_1),金钟花(*Forsythia viridissima*, P_2),垂枝连翘(*F. suspensa* var. *sieboldii*, P_3),显著性水平: $p \leq 0.05$ 。下同。

2.4 土壤类型和土壤水分交互作用对连翘属植物生长指标的影响

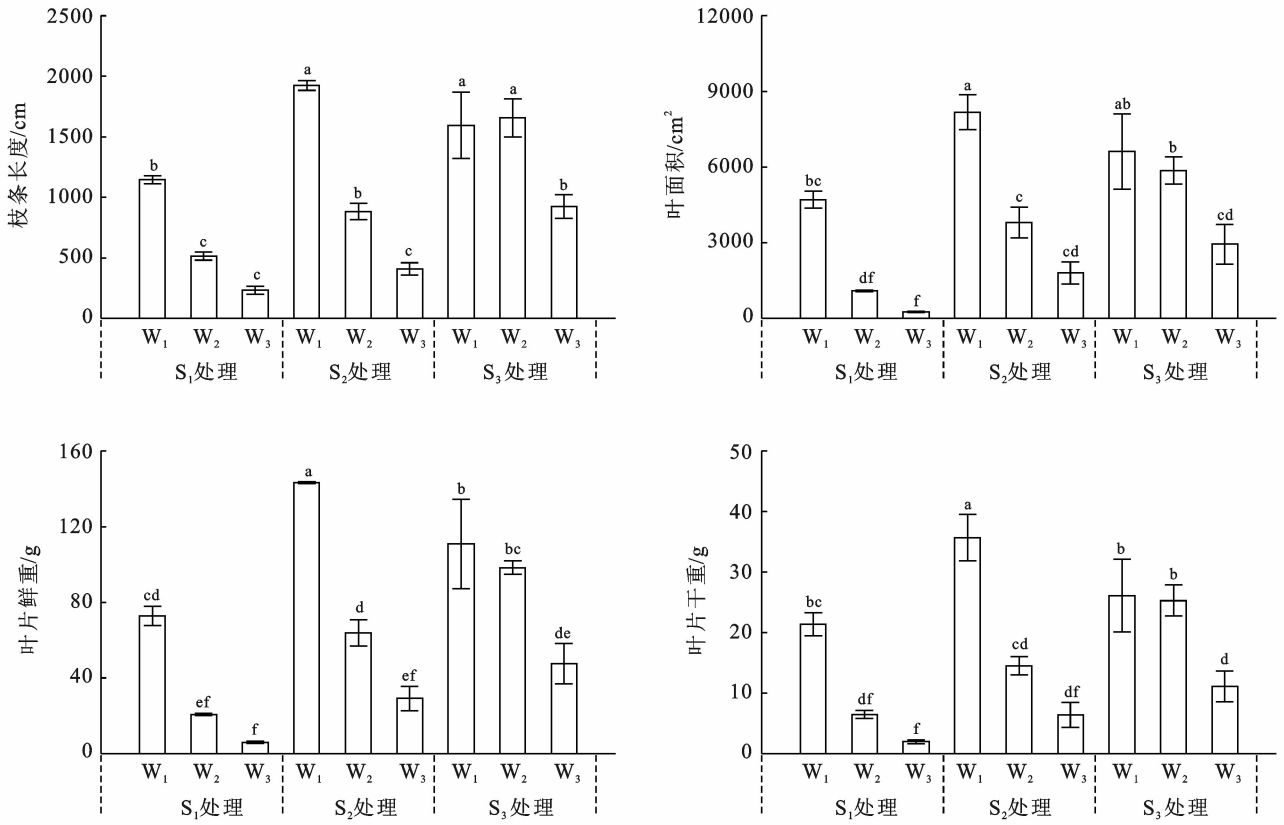
进一步分析土壤类型和土壤水分的交互作用对连翘生长的影响(见图 3—5)。对于连翘而言, W_1 水分处理以红砂岩红壤(S_2)生长的连翘生长指标最优,

显著优于花岗岩红壤和第四纪红壤; W_2 和 W_3 水分条件,以 S_3 土壤上生长的连翘生长指标数值最大。显著性分析表明, S_2W_1 , S_3W_1 和 S_3W_2 处理的连翘枝条长度显著优于其他 6 个土壤类型—土壤水分的交互处理($p < 0.05$), S_2W_1 处理的叶片鲜重和干重显著优于其他 8 个土壤类型—土壤水分交互处理。 S_2W_1 处理和 S_3W_1 处理连翘的叶面积没有显著性差异,但与其他 7 个土壤类型—土壤水分交互处理具有显著性差异。随着水分梯度的降低,在 W_2 水分条件下, S_3 土壤处理的连翘所有生长指标均显著优于 S_1 和 S_2 土壤处理($p < 0.05$);而在 W_3 水分条件下, S_3 土壤处理连翘所有生长指标值最大, S_3 土壤处理连翘枝条长度和叶片鲜重与 S_1 和 S_2 土壤处理具有显著性差异, S_1 和 S_2 土壤处理之间无显著差异($p > 0.05$); S_3 土壤处理连翘的叶面积、叶片干重与 S_2 土壤处理的无显著差异,与 S_1 土壤处理有显著性差异($p < 0.05$),而 S_1 和 S_2 土壤处理之间无显著性差异。上述结果显示,高水分条件下(-5 kPa),连翘在红砂岩红壤上生长最佳,而随着土壤水分降低(-20~-35 kPa),在第四纪红壤上生长得更好,花岗岩红壤生长最差。

对于金钟花而言,在全部处理中, S_2W_1 处理的金钟花全部生长指标最大,均显著优于其他 8 个土壤类型—土壤水分交互处理($p < 0.05$)。在 W_2 和 W_3 水分处理下, S_2 和 S_3 土壤处理之间金钟花全部生长指标无显著性差异($p > 0.05$),二者与 S_1 土壤处理均具有显著性差异($p < 0.05$)。上述结果显示,高水分条件下(-5 kPa),金钟花在红砂岩红壤上生长最佳,而随着水分梯度的降低(-20~-35 kPa),金钟花在第四纪红壤和红砂岩红壤上生长较优,而在花岗岩红壤生长最差。

对垂枝连翘而言,在土壤类型和土壤水分的 9 个交互处理中, S_3W_2 处理的垂枝连翘的生长指标最大。相同水分条件下,不同母质红壤上的垂枝连翘所有生长指标大小均具有如下规律: $S_3 > S_2 > S_1$ 。尽管 S_1 土壤上的垂枝连翘全部生长指标在 W_1 水分处理最优,仍然显著低于 S_3W_3 水分处理($p < 0.05$)。综上所述,无论是高水分条件还是低水分条件,第四纪红壤都是栽种垂枝连翘的最佳土壤类型。

综上所述,在 -5 kPa 水分条件,连翘、金钟花在红砂岩红壤上生长最佳,垂枝连翘在第四纪红壤上生长最佳;而随着水分含量下降(-20~-35 kPa),3 种连翘第均表现为四纪红壤上生长得更好。此外,在所有水分条件下,花岗岩红壤上生长的连翘均最差。



注:P为连翘品种:连翘(*Forsythia suspensa*, P₁),金钟花(*Forsythia viridissima*, P₂),垂枝连翘(*F. suspensa* var. *sieboldii*, P₃);W为3个土壤基质势水平: -5 kPa(W₁), -20 kPa(W₂)和-35 kPa(W₃);S₁为花岗岩红壤,S₂为红砂岩红壤,S₃为第四纪红壤。下同。

图3 土壤类型—土壤水分交互作用对连翘生长的影响

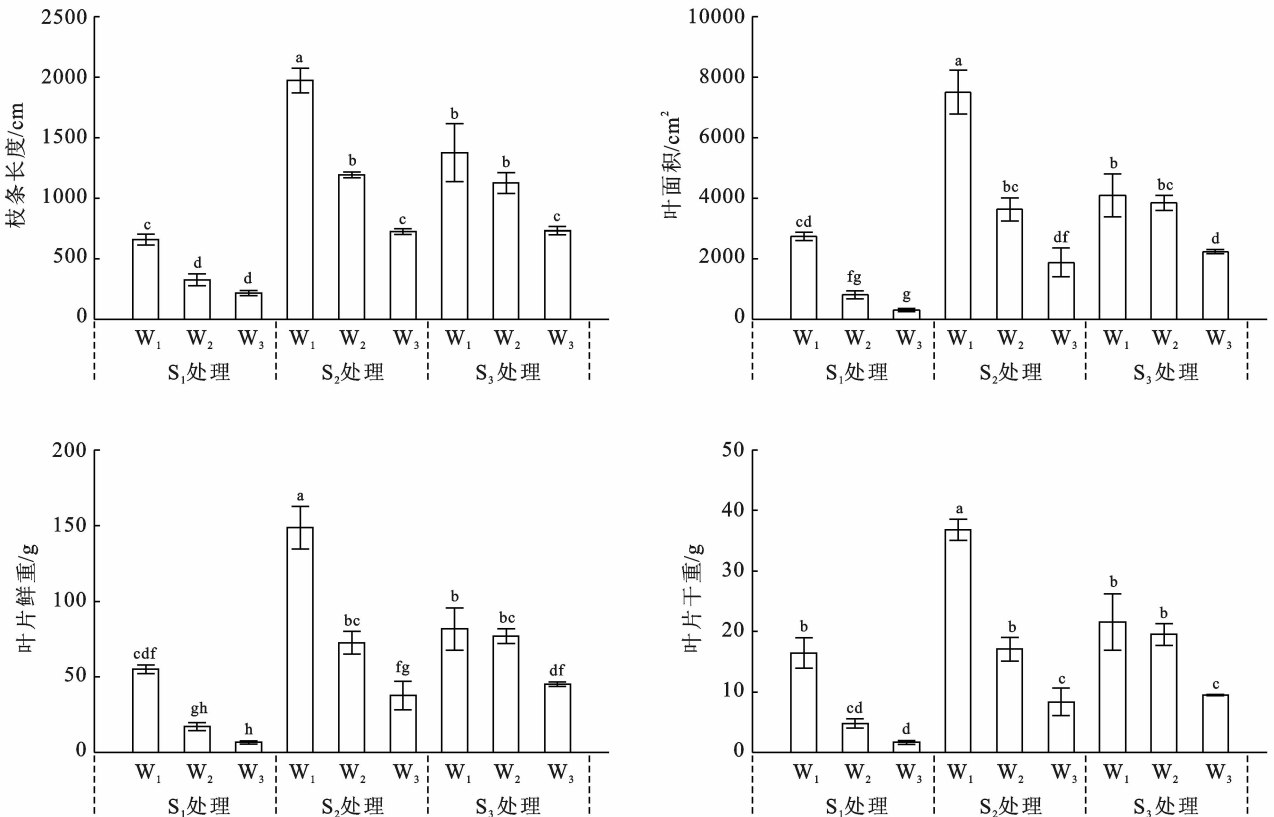


图4 土壤类型—土壤水分交互作用对金钟花生长的影响

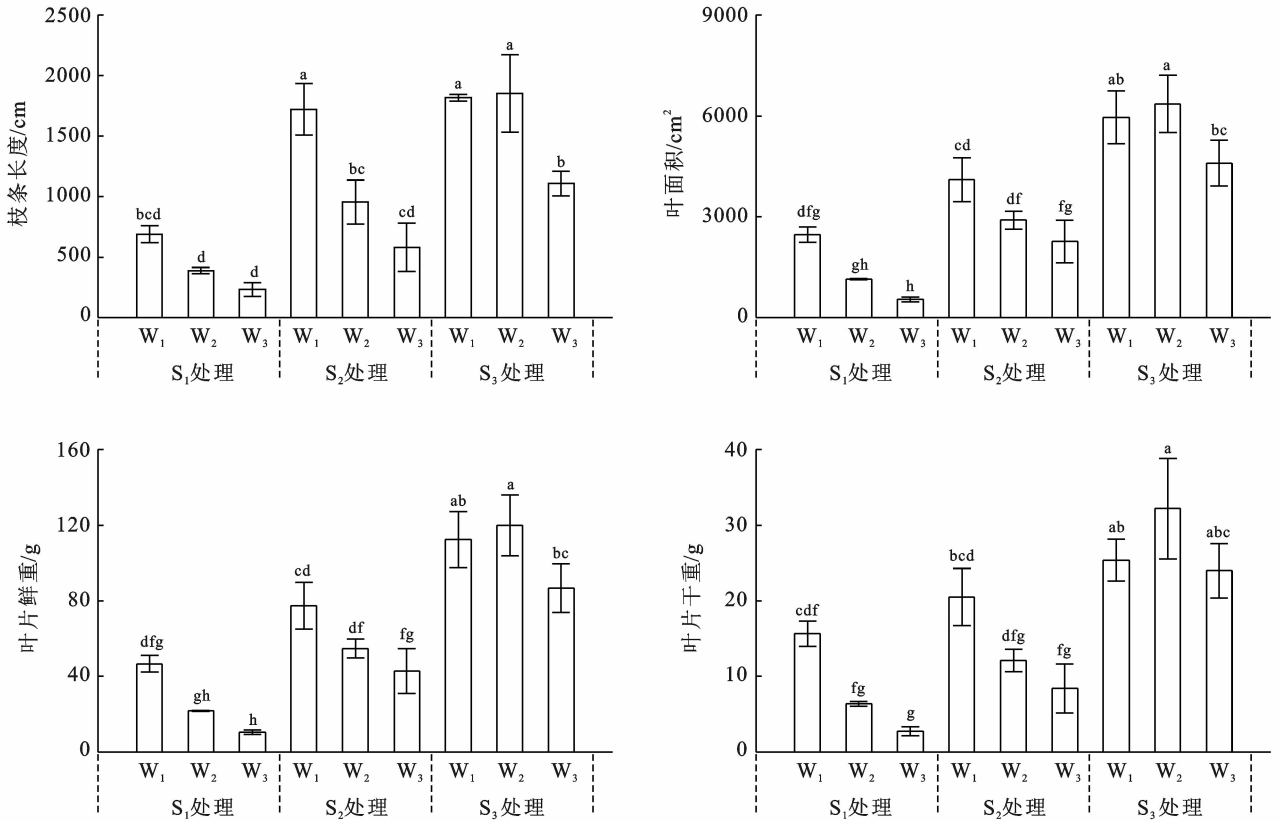


图 5 土壤类型—土壤水分交互作用对垂枝连翘生长的影响

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 连翘品种 连翘生长指标的统计分析结果表明,连翘属植物品种之间其生长指标无显著差异,而土壤水分和土壤类型是影响连翘属植物生长的显著性因素。刘荃等^[14]对 6 种连翘属植物在第四纪红壤上的生长适应性研究结果表明,金钟花、连翘和垂枝连翘在第四纪红壤上具有较好的生长适应性。本研究结果再次证明该结论,并且这 3 种植物在其他 2 种母质发育的红壤(花岗岩红壤和红砂岩红壤)上也具有良好的生长适应性。

3.1.2 土壤水分 土壤水分是植物生长的最重要影响因子之一^[16]。随着土壤水分含量的增加,植物的生长和发育以及生物量均会提高^[17]。本研究表明,连翘属植物在 3 种母质发育的红壤上,其生长指标随着土壤水分含量的增加而增加,即 $-35 \text{ kPa} < -20 \text{ kPa} < -5 \text{ kPa}$ 。说明相对于低水分条件,高水分条件更利于连翘属植物在酸性红壤生长。连翘同大多数植物一样具有喜水的特性。从连翘原产地的生长环境可知,野生连翘资源主要生长在海拔高、水分状况差、土壤土层薄的山腰及以上位置;而在水分状况好、土壤层厚的地方,其种群地位反而不占优势,这可能是

因为连翘竞争不过其他植物种群;反之,在瘠薄地方,其他植物的生长竞争不过连翘。如果在水分条件好、土层深厚的土壤,通过控制其他植物的生长,连翘生长将表现出与其他植物相同的生长规律,即土壤水分条件越好生长状况越好。

3.1.3 土壤类型 此外,土壤类型也是影响植物生长的重要影响因子。不同母质发育的红壤,其土壤机械组成、入渗性能、pH 值、养分状况、通气状况等都有差异,在进行施肥和灌溉管理条件下,不同土壤的保水和保肥性能存在差异,而透气性差异也会影响根系呼吸;最终造成植物生长和需水的响应特征均不同。

根据土壤机械组成分析结果,第四纪红壤其粉粒和黏粒含量之和占比高达 79.1%,而花岗岩红壤和红砂岩红壤分别是 29.9%和 25.8%,说明第四纪红壤粉质壤土,比红砂岩和花岗岩发育的沙质壤土保水性和保肥性更好。具体而言,第四纪红壤能够储存更多的水分和养分在土壤中,供给植物生长。因此,在本研究中水分条件控制在 $-20 \sim -35 \text{ kPa}$,第四纪红壤生长的连翘属植物生长指标普遍优于其他 2 种红壤(见图 3—5),更优的生长长势导致连翘属植物蒸腾耗水量大,土壤水分消耗大,因而其灌溉次数和灌溉水量也是最多(见表 2)。

侯双利^[18]的研究表明,花岗岩初始入渗性能和

稳定入渗性能最差,其次是第四纪红壤,入渗性能最好的是红砂岩红壤。其主要原因可能是花岗岩细粉粒含量高,随水分运动堵塞下层土壤大孔隙^[19],灌水后,上层土壤水分含量过高、水分难以下渗,从而导致根系通气性差,影响植物根系呼吸进而造成植物的生长受到抑制。此外,花岗岩红壤的pH值(5.33)均低于红砂岩红壤(5.46)和第四纪红壤(6.22)(见表1),更低的pH值可能影响土壤磷的有效性^[20],抑制根区微生物的活性^[21],尤其是相对较低的水分条件,最终导致植物营养供给不足生长不佳。因此,本研究中相同水分状况,花岗岩红壤上生长的所有连翘属植物,无论是叶面积、叶片干鲜重,还是枝条总长,均比红砂岩红壤和第四纪红壤上生长的连翘属植物差(图3—5)。同样,植物生长受到抑制后,作物蒸腾耗水能力下降,反过来造成土壤水分损失降低。因而,在维持相同的土壤水分条件,花岗岩红壤生长的连翘属植物的灌溉水量和灌水次数均低于第四纪红壤和红砂岩红壤(见表2)。

在高水分条件下(-5 kPa),红砂岩红壤上的连翘属植物生长最优,这可能是红砂岩入渗性能最佳,过多的水分易从大孔隙流走,保证了连翘根系在高水分条件下的良好通气性,因此,连翘生长最好。此外,在高水分条件(-5 kPa),红砂岩红壤和第四纪红壤连翘属植物灌溉水量和灌水次数相同,说明红砂岩红壤上的连翘种植其灌溉水分利用效率更高。

3.2 结论

(1) 在相同水分条件下,花岗岩红壤生长连翘的灌水次数和灌水量都比红砂岩红壤和第四纪红壤少;在相同的高水分条件(-5 kPa),红砂岩红壤生长连翘灌水量和灌水次数与第四纪红壤相同,但在低水分条件(-20 kPa 和 -35 kPa),其灌水量和灌水次数都比第四纪红壤少。

(2) 土壤类型和土壤水分对连翘属植物枝条和叶片生长指标均具有极显著的影响,而品种因素仅对叶面积有显著性作用。连翘生长指标平均值随着水分梯度的降低而降低,-5 kPa 最高,-35 kPa 最低。红砂岩红壤和第四纪红壤上的连翘生长指标平均值,显著优于花岗岩红壤。品种之间连翘生长指标平均值无显著差异。土壤类型—土壤水分,土壤类型—连翘品种对所有生长指标均具有极显著的作用,土壤水分—连翘品种除对枝条长度无显著作用外,对叶面积、叶片干鲜重均具有显著影响。三因素交互作用对所有指标均无显著影响。

(3) 在高水分条件,连翘、金钟花在红砂岩红壤上生长最佳,垂枝连翘在第四纪红壤上生长最佳;而

随着水分含量下降(-20 kPa~ -35 kPa),3种连翘第均表现为第四纪红壤上生长得更好。此外,在所有水分条件下,花岗岩红壤上生长的连翘均最差。

(4) 在南方典型红壤上引种推广种植连翘,优先考虑在红砂岩红壤和第四纪红壤上种植。对于红砂岩红壤而言,优先种植在河湖岸边水分充足的地方,而在第四纪红壤上,可种植在离水域较远的坡地上。连翘幼苗可在高水分土壤条件进行育苗,待苗木长大耐性增强,可作为绿化苗木在侵蚀山坡地水分条件较差的地方移栽。

[参 考 文 献]

- [1] 安定国. 甘肃省小陇山高植物志[M]. 兰州:甘肃民族出版社,2002.
- [2] 付子真. 连翘的亲缘地理学与景观遗传学研究[D]. 河南郑州:河南农业大学,2015.
- [3] 王祥. 连翘的水土保持作用与栽培技术[J]. 山西水土保持科技,2010(4):47-48.
- [4] 徐茂杰,王玉庆,牛颜冰. 连翘在黄土高原防治水土流失的作用浅析[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):194-196.
- [5] 芮菁,唐元泰. 连翘提取物的抗炎镇痛作用[J]. 中草药,1999,30(1):43-45.
- [6] 汪秋安. 天然食品保鲜剂及其应用[J]. 江苏食品与发酵,2000(3):36-38.
- [7] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志—第一卷[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [8] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2010.
- [9] 杭悦宇,吕晔,周义锋,等. 贯叶连翘野生转家化前后生物学性状特征观察[J]. 植物资源与环境学报,2002,11(3):20-23.
- [10] 赵其国,黄国勤,马艳芹. 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策[J]. 生态学报,2013,33(24):7615-7622.
- [11] 徐铭泽,杨洁,刘窑军,等. 不同母质红壤坡面产流产沙特征比较[J]. 水土保持学报,2018,32(2):34-39.
- [12] 谢颂华,曾建玲,杨洁,等. 江西水土流失省情分析[J]. 南昌工程学院学报,2010,29(3):69-72.
- [13] 杨洁,谢颂华,喻荣岗,等. 红壤侵蚀区水土保持植物配置模式[J]. 中国水土保持科学,2010,8(1):40-45.
- [14] 刘荃,陈秀龙,郭利平,等. 6种连翘属植物在第四纪红壤上的生长适应性比较[J]. 水土保持研究,2020,27(2):357-363,369.
- [15] Chen Xiulong, Kang Yaohu, Wan Shuqin, et al. Chinese rose (*Rosa chinensis*) cultivation in Bohai Bay, China, using an improved drip irrigation method to reclaim heavy coastal saline soils [J]. Agricultural Water Management, 2015,158:99-111.

- [4] 尚建勋,朱悦.东北黑土区侵蚀沟专项治理的几点思考[J].中国水土保持,2017(11):16-18.
- [5] 李浩,张兴义,刘爽,等.典型黑土区村级尺度侵蚀沟演变[J].中国水土保持科学,2012,10(2):21-28.
- [6] 李智广,刘宪春,刘建祥,等.第一次全国水利普查水土保持普查方案[J].水土保持通报,2010,30(3):87-91.
- [7] 中华人民共和国水利部,中华人民共和国国家统计局.第一次全国水利普查公报[J].中国水利,2013(7):1-3.
- [8] 中华人民共和国水利部.黑土区水土流失综合防治技术标准:SL 446-2009[S].北京:中国水利水电出版社,2009:16.
- [9] 杜书立,李浩,陈强,等.典型黑土区侵蚀沟空间分布特征及主要影响因子分析:以黑龙江省引龙河农场为例[J].土壤与作物,2013,2(4):177-182.
- [10] 闫业超,张树文,岳书平.克拜东部黑土区侵蚀沟遥感分类与空间格局分析[J].地理科学,2007,27(2):193-199.
- [11] Li Hao, Cruse R M, Liu Xiaobing, et al. Effects of topography and land use change on gully development in typical Mollisol region of Northeast China[J]. Chinese Geographical Science, 2016,26(6):779-788.
- [12] 胡天然,王树力.东北黑土区乌裕尔河流域侵蚀沟变化过程及影响因素[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(1):113-119.
- [13] 姜芸,王军,张莉.东北典型黑土区侵蚀沟形态及分布特征[J].农业工程学报,2020,36(7):157-165.
- [14] 白建宏.东北黑土区侵蚀沟分级初探[J].中国水土保持,2017(10):41-42.
- [15] Liu xiaobing, Li Hao, Zhang Shengmin, et al. Gully erosion control practices in northeast China: A review [J]. Sustainability, 2019,11(18):5065.
- [16] 张兴义,祁志,张晟旻,等.东北黑土区农田侵蚀沟填埋复垦工程技术[J].中国水土保持科学,2019,17(5):128-135.
- [17] 张信宝.关于中国水土流失研究中若干理论问题的新见解[J].水土保持通报,2019,39(6):302-306.
- [18] 朱森森.辽宁土石山区侵蚀沟道综合治理技术模式研究[J].中国水土保持,2019(7):37-39.
- [19] 秦伟,左长清,范建荣,等.东北黑土区侵蚀沟治理对策[J].中国水利,2014(20):37-41.

(上接第63页)

- [11] 王雪芹,杨东亮,马洋,等.沙漠—绿洲过渡带典型下垫面风速脉动特征:以塔克拉玛干沙漠南缘策勒绿洲为例[J].中国沙漠,2015,35(3):542-548.
- [12] Hyson P, Garratt J R, Francey R J. Algebraic and electronic corrections of measured uw covariance in the lower atmosphere[J]. Journal of Applied Meteorology, 1977,16(1):43-47.
- [13] van Boxel J H, Sterk G, Arens S M. Sonic anemometers in aeolian sediment transport research [J]. Geomorphology, 2004,59(1/2/3/4):131-147.
- [14] 包慧娟,李振山.风沙流中风速纵向脉动的实验研究[J].中国沙漠,2004,24(2):244-247.
- [15] 陶照堂.摩阻风速的野外测量[J].甘肃科技,2011,27(23):66-69.
- [16] 程宏,邹学勇,张春来.摩阻风速与平均风速的转化关系研究[J].水土保持研究,2007,14(2):133-134.

(上接第71页)

- [16] 范海兰,洪伟,吴承祯,等.水分胁迫对短葶山麦冬生长和总皂苷量的影响[J].应用与环境生物学报,2011,17(3):345-349.
- [17] 于锡宏,刘汉兵,惠爱斌,等.不同土壤水分含量对短毛独活生长的影响及其生理响应[J].北方园艺,2018(24):1-7.
- [18] 候双利.不同母质发育红壤的水分运移试验与模拟[D].南京:河海大学,2017.
- [19] 李成亮,何园球,熊又升,等.四种不同母质发育的红壤水分状况研究[J].土壤,2004,36(3):310-317.
- [20] 宋春丽.旱作条件下不同母质红壤磷吸附作用及其影响因素研究[J].中国农学通报,2016,32(2):129-134.
- [21] 李忠佩,刘明,江春玉.红壤典型区土壤中有机质的分解、积累与分布特征研究进展[J].土壤,2015,47(2):220-228.