

6 种连翘属植物在第四纪红壤上的生长适应性比较

刘 荃^{1,2}, 陈秀龙^{1,2}, 郭利平², 黄宏胜¹, 沈发兴^{2,3}, 葛佩琳², 赵佳鼎²

(1.江西农业大学 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室,南昌 330045; 2.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,南昌 330029; 3.江西农业大学 江西省森林培育重点实验室,南昌 330045)

摘 要:为了丰富南方红壤侵蚀区水土保持植物资源库和改善其脆弱生态环境,以连翘(*Forsythia suspensa*)、秦连翘(*Forsythia giraldiana*)、卵叶连翘(*Forsythia ovata*)、东北连翘(*Forsythia mandshurica*)、金钟花(*Forsythia viridissima*)和垂枝连翘(*Forsythia suspensa* Vahl. var. sieboldii Zabel)6 种连翘为试材,在南方第四纪红壤上开展了扦插种植试验;通过调查 100 d 后的幼苗成活率及植株生长状况,评估了它们的生长适应性。结果表明:(1)垂枝连翘平均存活率最高,达 86.9%,其次为金钟花与连翘,分别为 60.3%,56.5%;石灰表施、塑料覆膜、地膜+石灰表施 3 种植植措施可显著影响连翘属植物的成活率。(2)连翘品种对地下/地上生长指标均具有极显著的影响,而种植措施仅对地上部叶片具有极显著的影响,二者交互作用对除根系总长以外的 3 个生长指标均具有极显著的影响。金钟花的根系干重、根系总长、叶片干重和叶面积等指标值均最大,其次是连翘,而卵叶连翘所有指标均最小。(3)采用模糊数学隶属函数值法评价连翘属适应性结果表明:金钟花属于高度适应,连翘与垂枝连翘属于中度适应,秦连翘、东北连翘和卵叶连翘属于弱适应。因此,金钟花、连翘和垂枝连翘在第四纪红壤上引种栽培比较合适。

关键词:连翘;存活率;地带性红壤;种植措施;综合评价法

中图分类号:S685.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)02-0357-07

Comparison of the Growth Adaptation of Six *Forsythia* Species in the Quaternary Red Soil of South China

LIU Quan^{1,2}, CHEN Xiulong^{1,2}, GUO Liping², HUANG Hongsheng¹,

SHEN Faxing^{2,3}, GE Peilin², ZHAO Jiading²

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

Abstract: In order to enrich the plant resource pool of soil and water conservation and improve its fragile ecological environment in eroded red soil area of South China, the growth adaptability of *Forsythia*, a fine economic shrub, was studied in this area. *Forsythia suspense*, *Forsythia giraldiana*, *Forsythia ovata*, *Forsythia mandshurica*, *Forsythia viridissima* and *Forsythia suspensa* Vahl. var. sieboldii Zabel were selected as experimental plants, their cutting seedlings were planted in Quaternary red soil of southern China. Based on the investigation of survival rate and surviving seedling growth status after 100 days, we evaluate their growth adaptability in Quaternary red soil in southern China. The results show that: (1) under the four planting measures, the average survival rate of *F. suspense* Vahl. var. sieboldii Zabel is the highest (86.9%), followed by *F. viridissima* and *F. suspense*, which are 60.3% and 56.5%, respectively; three planting measures such as plastic mulching (PM), lime treatment (LT), combination of lime and plastic mulching (LPT) can significantly affect the survival rate of *Forsythia* plants; (2) varieties of *Forsythia* have very significant effects on underground/aboveground growth indexes, while planting measures only have very significant

收稿日期:2019-05-06

修回日期:2019-05-17

资助项目:江西省水利科技项目(KT201620,KT201619,201821ZDKT17,201821ZDKT15,KT201717);水利部鄱阳湖水资源水环境研究中心开放资助项目(ZXKT201705)

第一作者:刘荃(1994—),男,湖北荆门人,硕士研究生,研究方向为土地利用与植物生态。E-mail:1063842092@qq.com

通信作者:郭利平(1984—),女,四川南充人,博士,工程师,主要从事植物生态学研究。E-mail:guolp.10b@igsrr.ac.cn

effects on aboveground leaves, their interaction has very significant effects on three growth indexes except the total root length; moreover, statistical results of underground/aboveground growth indices of surviving seedlings of *Forsythia* show that the root dry weight, total root length, leaf dry weight and leaf area of *F. viridissima* are the largest, followed by *Forsythia suspensa*, while all indices of *F. ovata* are the smallest; (3) the comprehensive evaluation of adaptability of *Forsythia suspensa* shows that *F. viridissima* belongs to high adaptability, *Forsythia suspensa* and *F. suspense* Vahl. var. *sieboldii* Zabel belong to moderate adaptability, while *F. giraldiana*, *F. ovata*, *F. mandshurica* and *F. viridissima* have relatively poor adaptability. These results can provide scientific basis for the introduction and cultivation of *Forsythia* plants in the eroded red soil area of southern China.

Keywords: *Forsythia suspense*; survival rate; zonal red soil; planting measure; comprehensive evaluation method

连翘(*Forsythia suspense*)是木犀科连翘属落叶灌木,其初熟和老熟的干燥果实(即青翘和老翘)是我国传统的中药材,临床常用于治疗急性感冒、淋巴结等症^[1-4]。连翘属植物适生范围广泛,具有耐寒、耐旱、耐瘠的特点,对气候、土质条件要求不高,在缺水缺肥、有机质含量低的瘠薄山地、沙坡地均能正常生长^[2,5]。我国盛产连翘,全世界 11 个种中有 7 种产自中国,即连翘(*Forsythia suspensa*)、奇异连翘(*Forsythia mira* M.C.Chang)、金钟花(*Forsythia viridissima*)、卵叶连翘(*Forsythia ovata*)、东北连翘(*Forsythia mandshurica*)、秦连翘(*Forsythia giraldiana*)和丽江连翘(*Forsythia likiangensis* Ching et Feng et P.Y.Bai)。连翘果实具有药用价值,其花是优良的黄色食用色素、蜜源和早春观赏花卉;嫩茎叶可作茶饮;籽油是制造绝缘漆、香皂和化妆品等的良好原料^[2,5-8]。此外,连翘根系的萌发力很强,栽植后可萌发出许多新的植株,树冠盖度增加较快,能有效减少地面径流和土壤侵蚀,是国家推荐的退耕还林和防治水土流失的优良生态经济灌木^[2,7]。近年来,由于缺乏管理和人为不合理采摘及破坏行为,我国野生连翘资源的面积与产量在逐步减少,连翘资源受到不同程度的破坏,因而扩大连翘人工种植面积成为眼下当务之急^[9-11]。

南方红壤在我国分布范围广阔,而红壤丘陵区具有山地丘陵交错、地形起伏大、雨量多而集中和风化作用强烈等特点,由于近代出现的大规模森林砍伐,原始植被破坏严重,是我国南方水土流失重点治理区;其水土流失特点是面积大、范围广、呈斑点状分布,隐蔽性强、潜在危害大、崩岗侵蚀剧烈、林下水土流失严重,水土流失已成为制约该区生产发展、脱贫致富环境改善的共同障碍^[12-13]。然而,南方红壤区目前推广种植的优良水保植物存在品种单一、经济价值不高的特点,因此,选择和开发既适应于红壤侵蚀区

自然环境又具有经济开发价值的水土保持植物,是丰富南方水土保持植物资源库、提高农民经济收入和改善南方红壤侵蚀区脆弱生态环境的有效途径之一。针对上述状况,本研究引进国内主要连翘属植物,初步开展连翘属植物在地带性红壤上的生长适应性研究,筛选适生连翘种并为其在南方红壤侵蚀区的引种栽培提供科学依据。

1 研究区自然概况

1.1 气候特征

本研究从湖北、辽宁、吉林和陕西等省引入连翘、秦连翘、卵叶连翘、东北连翘、金钟花和垂枝连翘 6 个连翘品种,在江西省九江市德安县郊的江西水土保持生态科技园内(简称“研究区”)进行扦插种植^[14](115°42′38″—115°43′06″E,29°16′37″—29°17′40″N)。各连翘属植物原产地气候类型和土壤特性列表如下(表 1—2)。连翘原产地湖北十堰的气候类型为亚热带季风气候,其年均降雨量 824 mm;秦连翘原产地陕西丹凤的气候类型为暖温带季风山地气候,最低温度高于 0℃,年均降雨量仅为 687.4 mm;卵叶连翘、东北连翘、金钟花和垂枝连翘原产地的气候类型均为温带大陆性气候,最冷/热月均温都相对较低,原产地吉林和沈阳的年均降雨量分别为 570.3,716.2 mm。

连翘引种地位于鄱阳湖流域博阳河水系,属亚热带湿润季风气候区,多年平均气温 16.7℃,年平均降水量 1 354 mm,年日照时数 1 620~2 100 h,年平均无霜期为 249 d。地貌为浅丘岗地,海拔 30~100 m,坡度 5°~25°(表 1)。引种地位于我国南方红壤的中心分布区域,地带性植被为亚热带常绿阔叶林,地带性土壤为第四纪红黏土母质发育的红壤,偏酸性(pH 值 5.11),粉砂质黏土(表 2),是我国南方典型红壤之一^[15-16]。

1.2 土壤基本性质及养分特征

连翘原产地吉林长春和湖北十堰的质地是粉砂

质黏壤土,陕西丹凤和辽宁沈阳的土壤质地分别为粉砂质壤土和砂质壤土。江西德安红壤为酸性土,质地是粉砂质黏土,原产地沈阳、丹凤的土壤同样呈酸性和弱酸性,而十堰与长春的土壤 pH 值为弱碱性。土壤养分数据分析结果表明,江西德安第四纪红壤土属于缺钾富磷土壤;湖北十堰和辽宁沈阳的土壤都属于缺磷富钾土壤,陕西丹凤和吉林长春分别属于缺磷型土壤和磷钾丰富型土壤。

表 1 连翘原产地与引种地所属气候类型及其主要气候因子

连翘 属植物	原产地	最冷/热月 均温/℃	年降雨/ mm	气候类型	气候特点
卵叶连翘	吉林长春	−15.0/23.1	570.3	温带大陆性湿润气候	春季干旱多风,夏季温暖短促,秋季晴朗温差大,冬季严寒漫长
东北连翘、金钟花和垂枝连翘	辽宁沈阳	−11.0/24.8	716.2	温带半湿润大陆性气候	冬冷夏暖,寒冷期长;春秋短促多风;南湿北干,雨量集中;日照充足,四季分明 ^[16]
秦连翘	陕西丹凤	1.2/25.6	687.4	暖温带半湿润季风山地气候	冬无严寒,夏无酷暑,适宜各类作物生长
连翘	湖北十堰	2.4/28.4	824.0	亚热带大陆性季风气候	四季分明,冬季严寒,夏季较热,春季温暖,秋季凉爽,雨量比较充沛 ^[17]
引种地	江西德安	4.1/28.8	1354.1	亚热带湿润性季风气候	温暖湿润,雨水丰而不调,上半年多阴雨,下半年光照充足,春阴夏热,秋旱冬冷,四季分明 ^[15]

表 2 连翘引种地与原产地土壤性质与养分指标比较

取土样点	机械组成/%			土壤 质地	pH 值	养分指标					
	黏粒	粉粒	砂粒			有机质/	全氮/	铵态氮/	硝态氮/	速效磷/	速效钾/
	<0.002 mm	0.002~0.05 mm	0.05~2.0 mm			(g·kg ^{−1})	(g·kg ^{−1})	(mg·kg ^{−1})	(mg·kg ^{−1})	(mg·kg ^{−1})	(mg·kg ^{−1})
吉林长春	16.94	63.34	19.73	粉砂质黏壤土	7.80	24.36	1.13	15.81	3.40	23.83	177.02
辽宁沈阳	6.39	19.93	73.68	砂质壤土	5.88	80.63	2.85	6.54	18.92	2.56	294.06
陕西丹凤	14.60	45.91	39.49	粉砂质壤土	6.44	58.33	3.25	17.77	2.15	9.81	148.72
湖北十堰	19.00	49.45	31.56	粉砂质黏壤土	7.64	71.55	3.23	5.77	3.47	0.49	180.36
江西德安	30.12	62.48	7.41	粉砂质黏土	5.11	14.70	1.16	10.88	2.45	37.74	58.01

2 材料与方法

2.1 试验设计

本研究试验设计以 6 种连翘属植物作为试验材料进行扦插繁殖,考虑到南方多雨且红壤偏酸性的特性,从防雨和改酸角度出发,对所有扦插植株进行以下 4 种处理:(1) 无处理措施(No treatment,CK),对照;(2) 石灰表施处理(Lime treatment,LT),将酸性土壤改良为弱酸性土壤;(3) 地膜覆盖处理(Plastic mulch,PM),防控雨水;(4) 地膜加石灰处理(Lime-plastic treatment,LPT)调酸与控雨水。

所有连翘品种在 2017 年早春发芽前收集 1~2 a 生的健壮枝条,将其截成 20 cm 左右长的插穗,按行株距 25 cm×15 cm 插入经过深翻、细耕和平整过的起垄苗床中,使插穗露出土面 1~2 节^[18]。连翘试验用地 600 m²,包括育苗床、垄沟、排水沟、道路等。其中,每个育苗床垄高 15 cm,垄顶宽 40 cm,垄底宽 80 cm,垄沟宽 40 cm,垄长 5 m。每个处理设置 3 个重复,每个重复 1 个垄苗床,共 72 条试验垄苗床。试验选用黑色地膜和粒径小于 0.5 mm、主要成分为氧化钙的石灰,施用

方法为撒施,施用量为 5.7 kg/hm²。试验区土壤 pH 值是 5.11,为酸性红土,撒施石灰待土壤稳定后,土壤 pH 值是 5.99,为弱酸性红土。整个试验过程中,除在气温过高的夏季对试验区进行遮阳(黑色遮阳网)和滴灌统一补水和适时除草管理之外,并未对试验区连翘种进行施肥及其他苗木保障措施。

2.2 研究方法

(1) 土壤测定。土壤机械组成采用吸管法测定,土壤有机质采用重铬酸钾—外加热法,全氮采用凯氏定氮法,硝态氮用紫外分光光度法,速效磷采用过硫酸钾消化—钼锑抗分光光度法,铵态氮采用 KCL 浸提—靛酚蓝比色法,速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度法进行测定。以上土壤测定方法均参照《土壤分析技术规范》^[19]。

(2) 性状测定。在扦插 100 d 后测定各连翘属植物的成活率,每个处理每个重复随机取样 10 株成活的连翘幼苗,详细测定其叶片干重、叶面积、根系干重与总长度等生长指标,叶面积大小使用叶面积仪进行测算,根系和叶片干重采用烘干法进行测定。扫描根系,并使用 Photoshop CS6 对植物根系扫描图进行灰度化处理,再运用 ArcGIS 10.2 软件的 Arcscan 工

具将根系扫描件进行矢量化操作^[20],测算连翘根系总长度[细根根长(<2 mm)+粗根根长(>2 mm)]。

(3) 数据分析与统计。为了更好地比较连翘种类间生长指标的差异性,采用算术平均法进行计算,计算公式如下:

$$L_e = \frac{1}{n} \sum_{j=RL, RW, LA, LW}^{i=CK, PM, LT, LPT} L_{ij}$$

(1)

式中: L_e 为连翘种某一生长指标的平均值;CK,PM,LT,LPT 表示 4 种植措施; L_{ij} 为某一种措施条件下对应的生长指标值;RL 为根系总长;RW 为根系干重;LA 为叶面积;LW 为叶片干重; $n=4$ 。在此基础上,采用模糊数学隶属函数值法^[21-22]对 6 个连翘种的生长适应性进行综合评价。隶属函数值的计算方法如下:

$$N(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$$

(2)

$$\overline{N(X_{ij})} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N(X_{ij})$$

(3)

式中: $i=1,2,\dots,n$; $N(X_{ij})$ 为 i 连翘种 j 指标的适应性隶属函数值; X_{ij} 为 i 连翘种 j 指标的测定值; X_{imax}, X_{imin} 为各品种中指标的最大和最小测定值; $\overline{N(X_{ij})}$ 为连翘种的适应性隶属函数均值即综合评价得分; n 为指标数。适应性等级的划分:根据各指标隶属函数平均值 $\overline{N(X_{ij})}$ 划分, $0.8 < \overline{N(X_{ij})} \leq 1$,高度适应; $0.5 < \overline{N(X_{ij})} \leq 0.8$,中度适应; $0.3 < \overline{N(X_{ij})} \leq 0.5$,弱适应; $\overline{N(X_{ij})} \leq 0.3$,不适应^[21]。

使用 IBM SPSS Statistics 22.0 软件进行数据统计分析,其中,利用最小显著差异法(LSD 法)对连翘成活率、根系干重、根系总长、叶片干重和叶面积进行均值比较分析,采用一般线性模型(General linear model)中单变量双因素方差对连翘属植物生长影响因素(品种,种植措施)及其相互作用进行统计分析。采用 Microsoft Excel 2010 完成本文其他数据分析与绘图。

3 结果与分析

3.1 不同种植措施对 6 种连翘扦插存活率的影响

通过比较 4 种植措施下的成活率发现(表 3),垂枝连翘在不同种植措施条件下的存活率均为最高,其次为金钟花和连翘。种植措施对 6 个连翘种的成活率均具有显著影响,相较于对照处理(CK),塑料薄膜覆盖处理(PM)显著提高了秦连翘和垂枝连翘的成活率。连翘对照的成活率最高,薄膜覆盖处理对其影响不显著,而石灰表施(LT)以及地膜+石灰表施(LPT)的种植措施却显著降低了其成活率;覆膜以及地膜+石灰表施的种植措施显著提高了卵叶连翘的成活率;相比于对照和覆膜措施,石灰表施和地膜+石灰表施的种植措施显著降低了金钟花的成活率。

相比于对照,各种种植措施对东北连翘的成活率影响不显著,但石灰表施显著高于地膜+石灰表施处理下的成活率。平均成活率结果表明,垂枝连翘的平均成活率最高为 86.9%,其次为金钟花(60.3%)和连翘(56.5%),而其他种均小于 50%,排序从大到小依次为垂枝连翘>金钟花>连翘>秦连翘>东北连翘>卵叶连翘。

表 3 种植措施对连翘属植物成活率的影响 %

连翘属植物	CK	LT	PM	LPT	Avg.
连翘	66.67a	50.00b	58.62a	50.82b	56.50B
秦连翘	28.57b	39.06ab	48.21a	30.19b	36.50C
卵叶连翘	0.00b	2.74b	16.67a	20.31a	9.90D
东北连翘	18.03ab	30.36a	20.59ab	12.28b	20.30D
金钟花	65.52a	55.17b	66.67a	53.85b	60.30B
垂枝连翘	82.81b	77.59b	93.75a	93.44a	86.90A

注:表中每行前 4 列不同小写字母表示 4 种植措施下各连翘种的存活率是否存在统计显著性差异,a 与 b 之间有显著性差别($p<0.05$),ab 则表示差异不显著。Avg.列的大写字母表示连翘种间的平均存活率差异显著与否。

3.2 不同种植措施对 6 种连翘成活幼苗生长状况的影响

3.2.1 连翘属植物生长影响因素 连翘种类、种植措施及其交互作用对连翘 4 个生长指标的影响结果见表 4。连翘种类对地上和地下生长指标均具有极显著的影响($p<0.001$),而种植措施对连翘属植物地下部根系干重和总长无显著影响($p>0.05$),但对地上部叶片干重和叶面积具有极显著的影响($p<0.001$)。连翘种类和种植措施二者交互作用,除了对根系总长无显著影响($p>0.05$)外,对其他 3 个指标均具有极显著的影响($p<0.001$)。该结果说明,连翘地下根系的生长更多地受连翘种的影响,即连翘种自身的生长特性决定了根系的生长发育,而种植措施对根系的生长影响则小的多。而地上部叶片的生长不仅受到种类特性的影响,同时也受种植措施的影响;而且,连翘种类和种植措施这两种因素对地上部叶片的叠加影响远大于对地下部根系的影响。

3.2.2 种植措施对地下部根系生长的影响 种植措施对连翘属植物地下部根系的影响结果见图 1。通过比较种植措施间的根系干重发现,卵叶连翘和垂枝连翘在 4 种处理条件下的根系干重没有显著性差别,其他连翘种的根系干重则存在显著性差异(图 1A)。对连翘和秦连翘而言,相对于 CK 处理,LT,PM 和 LPT 处理下的根系干重均有不同程度的增加;其中,连翘在 LT 处理下的根系干重显著高于 CK 处理,相对增量为 74.7%;秦连翘在 PM 处理下的根系干重增加显著,较 CK 处理的增量为 103.7%。而对东北连翘和金钟花而

言,相较于 CK 处理,LT 和 LPT 处理下的根系干重无显著性变化,东北连翘和金钟花在 PM 处理下的根系干重分别显著减少 59.1%和增加 69.1%。综上所述,采用石

灰表施的方式,可以显著增加连翘的根系干重;采用地膜覆盖,可以显著增加金钟花和秦连翘的根系干重,却显著降低东北连翘的根系干重。

表 4 连翘种与种植措施对连翘属植物生长影响的双因素分析

生长指标	根系干重/g		根系总长/cm		叶片干重/g		叶面积/cm ²	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
连翘种(S)	24.200	***	10.548	***	45.103	***	41.225	***
种植措施(M)	2.082	ns	1.893	ns	8.247	***	8.351	***
S×M	5.590	***	1.647	ns	12.179	***	10.153	***

注:***表示显著性水平为极显著, $p<0.001$;ns表示显著性水平为不显著, $p>0.05$ 。

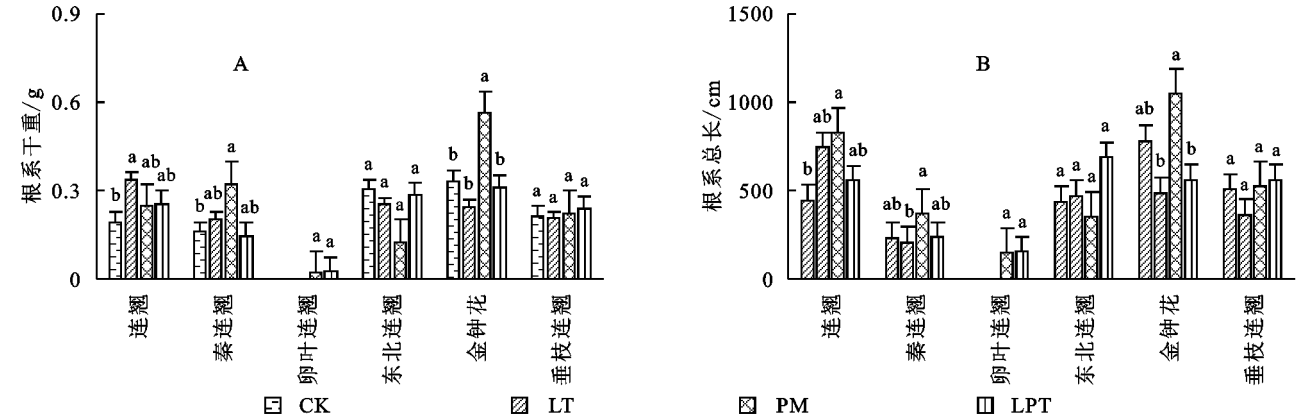


图 1 种植措施对连翘属植物根系干重和总长的影响

4 种植措施间的连翘属植物根系总长结果见图 1B。结果表明,对连翘而言,相较于 CK 处理,LT,PM 和 LPT 处理下的根系总长都有不同程度的增加,其中 PM 处理下的根系总长较 CK 增加显著,增量为 86.9%;对于秦连翘而言,CK 和 LPT 处理下的根系总长度介于 LT 和 PM 处理之间,差异不明显;LT 处理显著低于 PM 处理下的根系总长。金钟花在 CK 处理下的根系总长介于其他处理之间,且差异不明显;LT 和 LPT 处理下的根系总长却显著低于 PM 处理。也即是说,在塑料薄膜覆盖条件下,连翘、金钟花和秦连翘的根系总长最高。而对卵叶连翘、东北连翘和垂枝连翘而言,4 种处理措施下的根系总长不存在显著差异。总之,石灰表施掺拌的种植方式可显著增加连翘、秦连翘和金钟花的根系总长,其他种植措施对各连翘种根系总长的影响不显著。

3.2.3 种植措施对地上部叶生长的影响 连翘叶片干重结果见图 2A。通过比较 4 种植措施下的叶片干重发现,秦连翘和卵叶连翘的叶片干重在各处理措施间无显著性差异。连翘在 LT,PM 和 LPT 处理下的叶片干重较 CK 处理均有显著性变化,分别增加了 260%,190%,210%,即在石灰处理条件下叶片干重最大。东北连翘在 LPT 处理下的叶片干重显著高于其他 3 种处理措施,金钟花在 PM 处理条件下的叶片干重显著高于其他 3 种处理措施,PM 处理较 CK 处

理增加了 124.4%;垂枝连翘在 LT 处理条件下叶片干重最大,显著高于 CK,PM 和 LPT 处理。因此,石灰表施、地膜覆盖以及地膜+石灰表施均可以显著增加连翘的叶片干重;此外,石灰表施、地膜覆盖和地膜+石灰表施可分别显著增加垂枝连翘、金钟花和东北连翘的叶片干重,但对秦连翘和卵叶连翘的叶片干重无显著性影响。

连翘叶面积结果见图 2B。结果表明,除了秦连翘和卵叶连翘在 4 种处理措施下的叶面积大小无显著差异外,种植措施对其他 4 种连翘的叶面积大小都具有显著的影响。具体而言,连翘在 PM 和 LPT 处理下的叶面积显著高于 CK 处理,LT 处理与其他 3 种措施条件下的叶面积大小无显著差异;东北连翘在 LPT 处理下的叶面积显著高于其他 3 种措施;金钟花在 PM 处理下的叶面积显著高于其他 3 种措施,较 CK 处理增加了 108.1%;对于垂枝连翘而言,相较于 CK 处理,PM 和 LPT 处理下的叶面积有不显著增加,而 LT 处理有显著增加,较 CK 处理的增量为 143.2%。因此,地膜覆盖以及地膜+石灰表施都可以显著增加连翘的叶面积;此外,石灰表施、地膜覆盖和地膜+石灰表施可分别显著增加垂枝连翘、金钟花和东北连翘的叶面积,但对秦连翘和卵叶连翘的叶面积无显著性影响。

3.2.4 连翘属植物生长指标比较 连翘地下部根系

和地上部叶片生物量的详细结果见表 5。结果表明,所有连翘品种中,金钟花的根系干重、根系总长、叶片干重和叶面积平均值均最大(位列第 1),其次是连翘(位列第 2),而卵叶连翘所有指标平均值均最小(位列第 6)。秦连翘的地上部叶片干重和叶面积分列第

2,3 位,地下部根系指标都位于第 5,说明其地上部叶片排序优于地下部根系;而东北连翘则相反,地上部叶片指标都位于第 5,而根系干重和根系总长位于第 3,4 位。垂枝连翘各指标排序均居中(第 3 或第 4 位),说明其地上部和地下部生物量发展较为均衡。

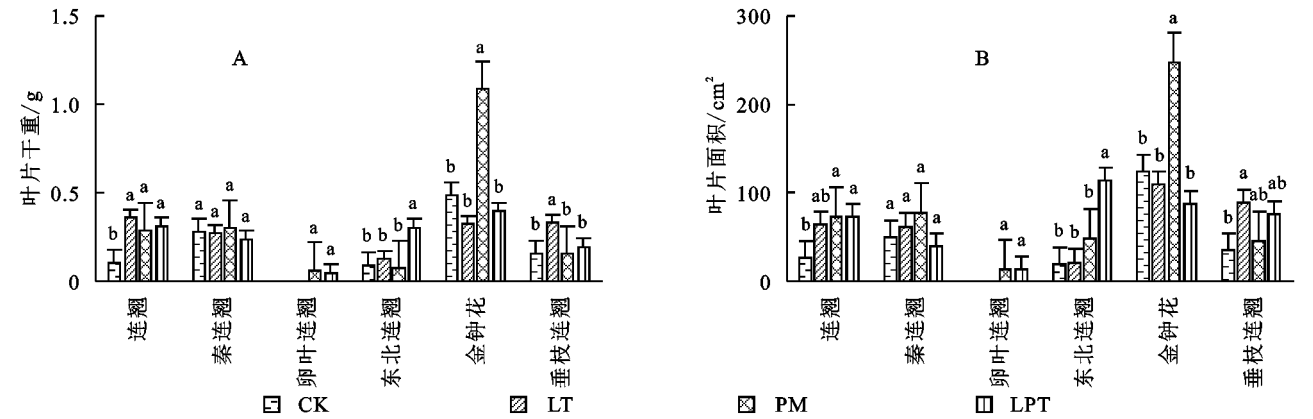


图 2 种植措施对连翘属植物叶片干重和叶面积的影响

表 5 连翘属植物地上地下部主要生物量指标比较				
连翘属植物	平均根系干重/g	平均根系总长/cm	平均叶片干重/g	平均叶面积/cm ²
连翘	0.26	641.54	0.27	53.78
秦连翘	0.21	260.18	0.27	53.62
卵叶连翘	0.01	151.74	0.05	11.48
东北连翘	0.24	485.86	0.15	29.29
金钟花	0.36	718.71	0.57	131.48
垂枝连翘	0.22	488.36	0.21	49.39

3.3 综合评价

将每个连翘种各指标的适应性隶属函数值累加起来,求其平均数;隶属函数值越大,则说明其适应性越强,反之则越差,连翘各生长指标的综合评价得分见表 6。连翘属植物适应性强弱顺序依次为:金钟花>连翘>垂枝连翘>秦连翘>东北连翘>卵叶连翘。而金钟花属于高度适应性,连翘与垂枝连翘属于中度适应性,其他连翘种的适应性则较差,说明金钟花在南方第四纪红壤上的生长适应性状况最好,其次是连翘与垂枝连翘。

表 6 连翘属植物的生长适应性评价							
连翘属植物	根系干重	根系总长	叶片干重	叶面积	成活率	综合得分	适应性评价
连翘	0.71	0.86	0.42	0.35	0.60	0.588	中度
秦连翘	0.57	0.19	0.42	0.35	0.35	0.376	弱适应
卵叶连翘	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	不适应
东北连翘	0.66	0.59	0.19	0.15	0.13	0.344	弱适应
金钟花	1.00	1.00	1.00	1.00	0.65	0.930	高度
垂枝连翘	0.60	0.59	0.31	0.32	1.00	0.564	中度

4 讨论与结论

4.1 影响连翘属植物扦插成活率的主要因素

6 种连翘属植物在 4 种植植措施条件下扦插 100 d 后的成活率调查结果显示,垂枝连翘的平均成活率最高(86.9%),其次为金钟花(60.3%)和连翘(56.5%),而秦连翘、东北连翘和卵叶连翘的成活率均小于 50%。种植措施对 6 个连翘种的成活率均具有显著影响,塑料薄膜覆盖处理显著提高了秦连翘、金钟花和垂枝连翘的成活率,覆膜以及地膜+石灰表施的种植措施显著提高了卵叶连翘的成活率,石灰表施显著提高了东北连翘的成活率,石灰表施(LT)以及地膜+石灰表施(LPT)的种植措施却显著降低了连翘的成活率。

研究表明,气候与土壤因子对植物引种具有重大影响^[23-26]。本文引种的 3 种成活率相对较高的连翘种分别为垂枝连翘、金钟花和连翘,其中垂枝连翘和金钟花的原产地均为辽宁沈阳,其土壤为酸性(pH 值为 5.88),与引种地德安原始土壤 pH 值(5.11)差异最小,与石灰改良后土壤的 pH 值(5.99)非常接近;但辽宁沈阳属于温带半湿润大陆性气候,最冷月均温度远低于引种地江西德安,年均降雨量(716.2 mm)也仅为引种地年均降雨量(1 354.1 mm)的 52.9%,气候条件相差较远。两种连翘在地膜覆膜措施下的扦插成活率均明显大于其他 3 种植植措施,可能的原因是覆膜减少了雨水进入连翘根系土壤,从而形成与原产地土壤环境相似的干爽酸性土壤环境,从而使得

垂枝连翘和金钟花达到更高的成活率。成活率排名第 3 的连翘,其原产地湖北十堰气候类型与引种地德安相同,均为亚热带季风气候;说明连翘对高温高湿的气候环境已经具有较好的适应性,所以在无处理(空白对照)种植条件下的扦插成活率最高。总之,以上 3 种连翘种的引种成功与德国林学家 Mayr^[23]提出的“气候相似论”相吻合,即引种地区的气候(尤其是温度)和土壤条件接近于原产地才有引种成功的可能,反之亦然。秦连翘和卵叶连翘的原产地陕西丹凤和吉林长春的气候和土壤与引种地均相差较远,所以它们的平均成活率均低于 50%,尤其是卵叶连翘成活率仅为 9.9%。此外,杨洋等^[26]通过运用 4 种物种分布模型对连翘的潜在地理分布进行预测发现,气温和降水是影响物种分布的重要因素;对连翘属植物而言,温度影响大于降水,这可能是本文引种的原产于陕西和吉林等气候较低地区的秦连翘、卵叶连翘和东北连翘在南方红壤区存活率较低的原因。4 种植措施下的成活率比较发现,卵叶连翘在添加石灰和地膜覆盖的种植条件下成活率相对较高,说明覆盖增温、更少的降水和偏中性的土壤更容易使其成活;东北连翘在石灰处理条件下成活率高,间接证明它在引种地德安酸性土壤中成活率低的原因。

4.2 影响连翘属植物生长指标的主要因素

对连翘属植物成活幼苗地上部叶片和地下部根系生物量的分析结果表明,金钟花和连翘的生物量分列第 1,2 位,卵叶连翘位于第 6 位;成活率最高的垂枝连翘排列居中,秦连翘地上部叶片较地下部根系发达,东北连翘则相反。连翘种类、种植措施及其交互作用对 6 种连翘属植物的地下部和地上部生物量影响分析表明,连翘种类对地上和地下生长指标均具有极显著的影响,而种植措施仅对地上部生物量具有极显著的影响,对地下部生物量影响不显著,但连翘种类和种植措施二者交互作用除了对根系总长无显著影响外,对其他 3 个指标均具有极显著的影响。具体而言,卵叶连翘和垂枝连翘在 4 种处理条件下的根系生物量没有显著性差别;采用石灰表施的方式可以显著增加连翘的根系干重和总长、秦连翘和金钟花的根系总长;地膜覆盖显著增加金钟花和秦连翘的根系干重,并显著降低东北连翘的根系干重。地膜覆盖以及地膜+石灰表施都可以显著增加连翘的叶片干重和叶面积,此外,石灰表施、地膜覆盖和地膜+石灰表施可分别显著增加垂枝连翘、金钟花和东北连翘的叶片生物量,但对秦连翘和卵叶连翘的叶片生物量无显著性影响。连翘属植物的综合评价结果表明,金钟花在南方第四纪红壤上的生长属于高度适应,连翘与垂枝

连翘属于中度适应,其他连翘种的适应性则较差。水土保持植物主要通过冠层、枯落物层和根系层的作用来发挥固水保土的作用^[27-30];因此,叶面积与根系总长是判定连翘能否最大化起水土保持作用的指标。而本研究发现,金钟花与连翘在地膜覆盖条件下根系总长最长,金钟花叶面积与叶片干重最大,说明减少土壤水分的条件下可以促进连翘根系与叶片冠幅的生长,这个结论与王同顺等^[31]的研究结论相似。

总之,在“气候相似论”的指导下,筛选正确的连翘种,并通过适宜的栽培种植方式和管理措施,在南方红壤区引种栽培特定的连翘属植物是完全可行的。本文研究结果表明,金钟花、连翘与垂枝连翘的引种适应性表现最好,其中,垂枝连翘和金钟花采用薄膜覆盖方式最佳,而连翘直接扦插种植即可。如果采用更好的培育方法,确保上述 3 种连翘维持更高的成活率,那么连翘属植物在南方红壤侵蚀区的引种和推广将变得更为切实可行。此外,引种地土壤是缺氮缺钾缺有机质富磷的土壤,与各连翘原产地土壤相比更为瘠薄,若增加适宜的施肥管理措施,连翘的生长状况可能会更加理想,需要下一步的试验进行验证。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编委会.中国植物志:第 61 卷[M].北京:科学出版社,1992.
- [2] 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.
- [3] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:1 部[M].北京:中国医药科技出版社,2010.
- [4] 冯治朋,高秀强,韩颜超,等.连翘的研究进展[J].现代农业科技,2018(12):60-64.
- [5] 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.
- [6] 芮菁,尾崎幸紘,唐元泰.连翘提取物的抗炎镇痛作用[J].中草药,1999(1):43-45.
- [7] 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.
- [8] 胡静,马琳,张坚,等.连翘的研究进展[J].中南药学,2012,10(10):760-764.
- [9] 刘红卫.连翘主产地减产探因[J].中国现代中药,2005,7(3):50-52.
- [10] 刘铭,谢晓亮,刘红霞,等.河北太行山区野生连翘人工抚育技术研究[J].时珍国医国药,2008,19(11):2821-2822.
- [11] 滕训辉.山西野生连翘资源保护与可持续利用研究[J].中国医药导报,2010,7(34):156-157.
- [12] 梁音,张斌,潘贤章,等.南方红壤丘陵区水土流失现状与综合治理对策[J].中国水土保持科学,2008,6(1):22-27.

2.1698, $R^2 = 0.8006$ 。

(2) 两种光谱变换在 A 区和 B 区中,PLSR 模型的 RPD 值均在 1.4~1.8 之间,其预测能力一般;SMLR 模型的 RPD 值均在 1.0~1.4 之间,其预测能力很差。说明在不同研究区域中,BPNN 模型均表现出最优的预测结果。

参考文献:

[1] 阿布都热合曼·哈力克.新疆岳普湖县土壤盐分空间变异及其分布特征研究[J].水土保持研究,2011,18(1):97-100.

[2] 王飞,杨胜天,丁建丽,等.环境敏感变量优选及机器学习算法预测绿洲土壤盐分[J].农业工程学报,2018,34(22):102-110.

[3] Wichelns D, Qadir M. Achieving sustainable irrigation requires effective management of salts, soil salinity, and shallow groundwater[J]. Agricultural Water Management, 2015,157:31-38.

[4] 林鹏达,佟志军,张继权,等.基于 CWT 的黑土有机质含量野外高光谱反演模型[J].水土保持研究,2018,25(2):46-52,57.

[5] 王明宽,莫宏伟,陈红艳.基于近地高光谱的土壤氯离子含量估测[J].水土保持通报,2017,37(6):214-219.

[6] 郑雯,明金,杨孟克,等.基于波段深度分析和 BP 神经网络的水稻色素含量高光谱估算[J].中国生态农业学报,2017,25(8):1224-1235.

[7] 龚巧灵,官冬杰.基于 BP 神经网络的三峡库区重庆段水资源安全评价[J].水土保持研究,2017,24(6):292-299.

[8] 刁万英,刘刚,胡克林.基于高光谱特征与人工神经网络模型对土壤含水量估算[J].光谱学与光谱分析,2017,37(3):841-846.

[9] 卢志宏,刘辛瑶,常书娟,等.基于 BP 神经网络的草原矿区表层土壤 N/P 高光谱反演模型[J].草业科学,2018,35(9):2127-2136.

[10] 郭云开,刘宁,刘磊,等.土壤 Cu 含量高光谱反演的 BP 神经网络模型[J].测绘科学,2018,43(1):135-139,152.

[11] 段鹏程,熊黑钢,李荣荣,等.不同干扰程度的盐渍土与其光谱反射特征定量分析[J].光谱学与光谱分析,2017,37(2):571-576.

[12] 乔娟峰,熊黑钢,王小平,等.基于最优模型的荒地土壤有机质含量空间反演[J].江苏农业学报,2018,34(1):68-75.

[13] Kuang B, Mouazen A M. Effect of spiking strategy and ratio on calibration of on-line visible and near infrared soil sensor for measurement in European farms[J]. Soil & Tillage Research, 2013,128:125-136.



(上接第 363 页)

[13] 申建双,叶远俊,潘会堂,等.12 份连翘种质资源的核型参数分析[J].植物遗传资源学报,2015,16(1):178-184.

[14] 聂小飞,郑海金,左继超,等.枯落物敷盖对红壤坡地土壤水分特性的影响[J].水土保持学报,2016,30(6):85-95.

[15] 廖凯涛,宋月君,张金生,等.无人机遥测技术在水土保持生态果园改造监测中的应用[J].中国水土保持科学,2017,15(5):135-141.

[16] 姜玉印,楚翠娇.中国长序列资料测站月降水、月均温相关联系的稳定性分析[J].贵州气象,2011,35(3):7-12.

[17] 包洪福,孙志禹,陈凯麟.南水北调中线工程对丹江口库区生物多样性的影响[J].水生态学杂志,2015,36(4):14-19.

[18] 全国农业技术推广服务中心.土壤分析技术规范[M].2 版.北京:中国农业技术出版社,2006.

[19] 郑纯辉,康跃虎,姚素梅,等.基于地理信息系统的植物根系分析方法[J].农业工程学报,2004,20(1):181-183.

[20] 王彩华,宋连天.模糊论方法学[M].北京:中国建筑工业出版社,1988.

[21] 李禄军,蒋志荣,李正平,等.3 树种抗旱性的综合评价及其抗旱指标的选取[J].水土保持研究,2006,13(6):253-254.

[22] 朱慧芬,张长芹,龚洵.植物引种驯化研究概述[J].广西植物,2003,23(1):52-60.

[23] Mayr H. Die Naturgesetlicher Grundlage des Waldbause[M]. Berlin: Parey, 1909.

[24] 郎莹,汪明.春、夏季土壤水分对连翘光合作用的影响[J].生态学报,2015,35(9):3043-3051.

[25] 李许文,刘文,陈红锋,等.广州适宜的植物引种来源地与气候区选择研究[J].中国园林,2016(4):96-100.

[26] 杨洋,卫海燕,王丹,等.连翘潜在地理分布预测模型的比较[J].生态学杂志,2016,35(9):2562-2568.

[27] 杜钦,杨淑慧,任文玲,等.植物根系固岸抗蚀作用研究进展[J].生态学杂志,2010,29(5):1014-1020.

[28] 朱显谟.黄土地区植被因素对于水土流失的影响[J].土壤学报,1960,8(2):110-121.

[29] 单建平,陶大立.国外对树木细根的研究动态[J].生态学杂志,1992,11(4):46-49.

[30] 张祖荣.植物根系提高土壤抗侵蚀能力的初步研究[J].渝西学院学报:自然科学版,2002,15(1):31-35.

[31] 王同顺,孙保平,冯磊,等.不同水分处理对甘蒙柽柳幼苗根系生长特性的影响[J].生态学杂志,2013,32(3):591-596.