

伸根空间对植物卷材养分含量的影响

张湧¹, 李绍才^{1,2}, 孙海龙^{2,3}

(1. 四川大学 生命科学学院, 四川 成都 610064; 2. 四川沃尔宜环保科技有限公司, 四川 成都 610027;

3. 四川大学 水利水电国家重点实验室, 四川 成都 610064)

摘要:伸根空间是植被生态系统植物所需养分的直接提供者。以经植被恢复3年后的坡面等的植物卷材伸根空间基质为对象,分析伸根空间对基质养分含量的影响。结果表明:养分含量均值全氮(N)12.350 g·kg⁻¹,全磷(P)5.519 g·kg⁻¹,全钾(K)6.329 g·kg⁻¹,全钙(Ca)16.195 g·kg⁻¹,全镁(Mg)7.192 g·kg⁻¹,全铁(Fe)18.245 g·kg⁻¹,全锰(Mn)0.250 g·kg⁻¹,有效铜(Cu)1.927 mg·kg⁻¹,有效锌(Zn)6.675 mg·kg⁻¹;显著性分析表明,伸根空间对养分元素含量均具有显著性影响,有正显著影响也有负显著影响;以水泥盒(D)为对照,部分养分元素损耗速率加快,如全N、全Mn、有效Cu等,也能降低部分元素的损失速率,如全K、全Ca、全Mg、全Fe、有效Zn等。此外,对于全P,1:0.5坡面(P2)、沙场(S)能加速P元素的损失,而其余伸根空间能够降低损失速率。根据全国第2次土壤普查养分分级标准,所有伸根空间基质K元素均表现为缺-极缺,且有效Cu在屋面(W)和渣场(Z)表现为中等,其余测定的养分元素含量均表现为稍丰/丰,证明植物卷材对于伸根空间养分保持具有积极意义。

关键词:伸根空间;养分元素;植物卷材

中图分类号:Q 947 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)20-0115-07

伸根空间是可支撑植被生态系统结构、功能、过程及其变化的最大根系环境容量,包括几何形状、尺寸大小、边界、方向、物质成分5个方面的属性及其作用,也是植物根系营养空间。植被生态建成是由生物和非生物因子等生态因子共同作用影响下的结果。植物的生长离不开温度、光照、水、大气、肥料等环境因素。土壤是植被群落的主要因子,土壤养分水平反映了土壤对植物根系供应养分的潜在能力,影响着群落的恢复与更新^[1]。伸根空间是植物的机械附着基础,为植被生长发

育提供水分、养分等必需物质。养分是影响植被恢复成败的一个关键性因素^[2-3]。植被恢复的关键就是对植被群落伸根空间的创建和改造;植被恢复技术就是植被伸根空间的操作技术。植物卷材是一种新型植被恢复技术,能够快速施工、建成植被,并长期稳定保水保肥效果良好^[4-7]。

目前,根系空间的养分研究大多集中在立地条件,如立体类型等^[8-10],以及影响土壤肥力的土壤因子如养分、化学及生物等因素^[11-13]。对于工程技术手段进行植被恢复后的植被群落的最大根系环境容量的研究还很少。同时,对于植物卷材养分、水分等方面的研究已经比较多^[4-7,14-15]。现从伸根空间这一角度出发,以植物卷材为模型,研究植物卷材植被恢复模式的植被群落伸根空间养分含量情况,及植物卷材植被恢复系统建成后的伸根空间与其养分状况之间的关系,进而评估植物卷材在不同立地条件下的具体使用状况,以期

第一作者简介:张湧(1992-),男,硕士研究生,研究方向为植被恢复及边坡绿化与生态工程。E-mail:zhangyongstu@163.com

责任作者:孙海龙(1976-),男,博士,讲师,现主要从事生态工程等工作。E-mail:hailongsun@163.com

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2015BAC05B03)。

收稿日期:2017-03-30

为植物卷材养分设计提供数据支撑和理论基础。根据坡面、沙场、渣场、屋面、水泥盒等植物卷材植被恢复界面,植物卷材选取豆科植物紫穗槐(*Amorpha fruticosa* Linn.)作为系统建群种,由破坏试验确定经过3年的紫穗槐根系主要集中于植物卷材空间,因此,初期恢复(3年)植被群落系统测定人工基质养分可将卷材下垫面岩土忽略,即将伸根空间模型简化为植物卷材模型,测定植物卷材空间养分,探讨伸根空间对于植物卷材基质养分含量的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在四川省彭州市升平镇沃尔宜环保科技有限公司基地进行,地处四川省成都市西北部,属亚热带

带湿润气候,全年气候温和,年平均气温 16.3℃,年降雨量 1 146.5 mm,年均蒸发量 1 536.4 mm。

1.2 试验材料

供试植物卷材,厚 5 cm,容重 $1.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,纵切面由上到下分别为辐射反射层、水分入渗孔、种子萌发堆、温度调节层、植物生长基质、张力网和应力膜^[4]。植物生长基质由来自四川遂宁的紫色土(有机质含量 $56.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $64.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷 $1.64 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾 $16.89 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,通过晒干或补水把含水率控制在 $(30 \pm 1.5)\%$)以及一定比例的尿素、过磷酸钙、硫酸钾、保水剂等组成。植物卷材于 2013 年铺设于试验基地的坡面、沙场、渣场、屋面、水泥盒等场地,以紫穗槐为植被恢复植物。样地详情见表 1。

表 1
Table 1 样地详情
Introduction of sample plot

伸根空间 Root stretch space	组成 Composition	坡向 Aspect	植被恢复 Vegetation restoration	植物 Plant	恢复年限 Duration/年
D(CK)	粗糙混凝土面	阳坡	植物卷材	紫穗槐	3
P1	粗糙混凝土面	阳坡	植物卷材	紫穗槐	3
P2	粗糙混凝土面	阳坡	植物卷材	紫穗槐	3
S	建筑用沙堆面	阳坡	植物卷材	紫穗槐	3
Z	砾石(2~3 cm)	阳坡	植物卷材	紫穗槐	3
W	光滑水泥面	阳坡	植物卷材	紫穗槐	3

注:D代表水泥盒;P1代表1:0.75坡面;P2代表1:0.5坡面;S代表沙场;Z代表渣场;W代表屋面。下同。

Note: D stands for cement box; P1 stands for 1:0.75 slope surface; P2 stands for 1:0.5 slope surface; S stands for sand pile; Z stands for gravel field; W stands for roofs. The same below.

1.3 试验方法

选取同期植物卷材植被恢复处理的坡面(坡比 1:0.75 和 1:0.5)、沙场、渣场、屋面、水泥盒等建成稳定植被系统的伸根空间作为变量,研究植被恢复初步建成后基质养分含量与伸根空间类型的关系。根据《森林土壤样品的采集与制备》(LY/T 1210-1999)用环刀取出植物卷材基质,混合均匀,风干、研磨、过筛、备用,制备土样测定含水量及养分元素含量。试验采样时间在 2016 年 5 月,测定时间在 2016 年 5—7 月。

1.4 项目测定

由所取基质样品,根据植物必需矿质元素结合试验室实际选取 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn 等元

素全量及 Zn、Cu 等元素有效量以及含水量进行测定。含水量测定采用烘干称量法(LY/T 1213-1999);全氮含量测定采用半微量凯氏法(LY/T 1228-1999);全钾、全钙、全镁、全铁、全锰、有效铜、有效锌等元素含量测定采用火焰原子吸收法(LY/T 1253-1999;LY/T 1260-1999;LY/T 1261-1999);全磷含量测定采用钼锑抗比色法(LY/T 1253-1999)。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 22.0 软件,对数据进行处理、绘图及分析,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著性差异法(LSD 法, Least-Significant Difference)进行显著性分析并多重比较,分析伸

根空间与养分元素之间的显著性;根据全国第 2 次土壤养分普查结果及养分分级标准^[16-18] (表 2),分析基质养分丰缺特征。

表 2 土壤养分分级标准与丰缺指标

Table 2 Criteria for grading of soil nutrient status (GSNS) and index of abundance degree (IAD)

养分分级 Grade of soil nutrient status	丰缺度 Abundance degree	全氮 Total nitrogen /(g · kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus /(g · kg ⁻¹)	全钾 Total potassium /(g · kg ⁻¹)	有效铜 Available cuprum /(mg · kg ⁻¹)	有效锌 Available zinc /(mg · kg ⁻¹)
1	丰 Abundant	>2.0	>1.0	>25	>1.8	>3.0
2	稍丰 Slightly abundant	1.5~2.0	0.8~1.0	20~25	1.0~1.8	1.0~3.0
3	中等 Medium	1.0~1.5	0.6~0.8	15~20	0.2~1.0	0.5~1.0
4	稍缺 Slightly deficient	0.75~1.00	0.4~0.6	10~15	0.1~0.2	0.3~0.5
5	缺 Deficient	0.50~0.75	0.2~0.4	5~10	<0.1	<0.3
6	极缺 Extremely deficient	<0.5	<0.2	<5	—	—

2 结果与分析

2.1 伸根空间植物卷材水分含量的差异

由图 1 可知,伸根空间含水量在水泥盒(D)最高,为 70.48%;屋面(W)含水量最低,为 31.35%。除渣场(Z)为 36.39%外,其余含水量处在 55%~65%。可见,对植物卷材不同伸根空间的持水能力是有差别的,不同的立地条件导致伸根空间的差异性。有研究表明,在一定坡度范围内径流量随坡度增加而增大^[15,19-21]。根据分析,水泥盒(D)含水量最高可能由于其倾角最小、降水入渗面积最大,且植物生长好等导致;屋面(W)、渣场(Z)含水量较低可能主要是植物卷材下垫面的原因,屋面(W)是光滑水泥面,太阳辐射反射较多,且自身比热容较小温度高,植被蒸腾作用显著导致植物卷材伸根空间水分大量损失;而渣场(Z)则可能由于下垫面由 2~3 cm 砾石组成,持水能力极弱,植物卷材土水势较高,水势差而失水。而沙场(S)下垫面沙粒径很小,自身持水能力较强,水势差较渣场(Z)小,故失水较少;1:0.75 坡面(P1)和 1:0.5 坡面(P2)为粗糙混凝土边坡,热传导性较水泥面好,且坡长较长,降水可在上部形成径流流入植物卷材,使得水分保持较高水平。综上可知,除渣场(Z)和屋面(W)伸根空间保水稍弱,其余持水能力均较强。植物卷材在边坡植被恢复方面具有较强技术优势。

2.2 伸根空间对植物卷材养分含量的影响

土壤养分全量是土壤肥力评价的指标,土壤

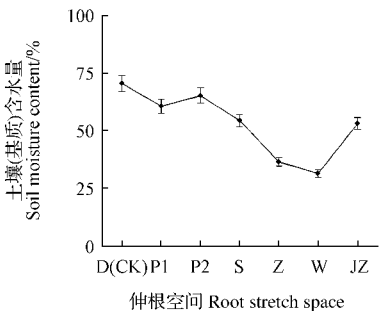


图 1 伸根空间土壤(基质)含水量

Fig. 1 Soil moisture content of root stretch space

养分全量主要与植物体内养分循环、成土母岩类型(主要是磷和钾)及施肥措施的影响有关^[22]。该研究的伸根空间土壤为人工基质,其养分全量主要与植物养分循环、基质配方组成以及降水径流的影响有关。土壤速效(有效)养分是作物能够直接吸收的养分,其含量的高低是土壤养分供给强度的指标^[23]。

2.2.1 伸根空间对全 N、全 P、全 K 的影响

表 3 为伸根空间全 N、全 P、全 K 的含量。全 N 表现为 D>S>P2>P1>Z>W,水泥盒(D)全 N 含量最高,为 18.241 g · kg⁻¹,屋面(W)最低,为 10.422 g · kg⁻¹,其余全氮的含量在 10.822~12.083 g · kg⁻¹;全 P 表现为 W>P1>Z>D>P2>S,屋面(W)全 P 含量最高,为 7.018 g · kg⁻¹,最低为沙场(S)3.960 g · kg⁻¹,除 1:0.5 坡面(P2)为 4.676 g · kg⁻¹外,其余均处于 5.612~5.959 g · kg⁻¹;全 K 表现为 S>W>Z>P2>P1>D,沙场(S)全 K 含量最高,为 7.028 g · kg⁻¹,水泥盒

表 3

伸根空间养分含量

Table 3

Nutrient content of root stretch space

伸根空间 Root stretch space	全 N /(g · kg ⁻¹)	全 P /(g · kg ⁻¹)	全 K /(g · kg ⁻¹)	全 Ca /(g · kg ⁻¹)	全 Mg /(g · kg ⁻¹)
D(CK)	18.241±0.001a	5.612±0.092c	4.591±0.037e	11.272±0.363e	6.595±0.034e
P1	10.945±0.031d	5.959±0.108b	6.291±0.128d	14.517±0.106d	7.210±0.017c
P2	11.584±0.072c	4.676±0.158d	6.556±0.049c	23.496±0.287a	7.677±0.010a
S	12.083±0.001b	3.960±0.182e	7.028±0.086a	9.980±0.171f	7.294±0.050b
Z	10.822±0.001d	5.886±0.151b	6.633±0.089c	20.134±0.163b	7.154±0.012d
W	10.422±0.001e	7.018±0.041a	6.877±0.071b	17.778±0.075c	7.231±0.010c
均值 Average	12.350	5.519	6.329	16.195	7.192

伸根空间 Root stretch space	全 Fe /(g · kg ⁻¹)	全 Mn /(g · kg ⁻¹)	有效 Cu /(mg · kg ⁻¹)	有效 Zn /(mg · kg ⁻¹)
D(CK)	10.760±0.190e	0.333±0.002a	6.325±0.008a	1.322±0.000f
P1	24.394±0.076a	0.263±0.004b	1.201±0.016b	10.221±0.035a
P2	22.007±0.107d	0.245±0.005d	1.198±0.060b	5.951±0.051e
S	5.988±0.109f	0.246±0.001c	1.108±0.022c	6.046±0.011d
Z	22.707±0.159c	0.196±0.001f	0.837±0.012e	9.463±0.014b
W	23.681±0.083b	0.217±0.001e	0.894±0.013d	7.022±0.009c
均值 Average	18.245	0.250	1.927	6.675

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters which the same column mean significant difference at 0.05 level.

(D)最低,为 $4.591 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其余全 K 含量在 $6.291 \sim 6.877 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。所以,从基质养分全量含量上看,水泥盒(D)土壤氮肥肥力最高,屋面(W)磷肥肥力最高,沙场(S)钾肥肥力最高。

N、P、K 是植物必需元素中的大量元素,对其需求是最大的。伸根空间的养分含量受降雨、植物吸收等损耗^[2,4-7];而伸根空间会影响这一过程。除此,还受其化学因素影响,可溶态含量高则损失大。因此土壤肥力主要是 N、P、K 的补充。对全 N:①紫穗槐为豆科植物,具固氮作用,对土壤氮有较强改善作用,且紫穗槐在水泥盒(D)生长好,故其全氮最高;②伸根空间影响植物生长,植物反过来作用于养分释放与储存。对全 P:不同植被状况比较,屋面(W)植被景观效果最差且植株低矮,即生物量较低,故养分消耗较低,且磷元素存在稳定,径流损失较小,不难测出全磷含量较高,与测定结果一致。对全 K,水泥盒(D)含量最低这一测定结果是与其氮含量最高这一结果想吻合的,伸根空间中基本无有钾元素的补充,钾的损失主要是径流和植物吸收,植物钾需求较大,且其水分含量高利于钾的吸收,故钾含量最低。

2.2.2 伸根空间对全钙、全镁、全铁、全锰的影响

由表 3 可知,伸根空间全 Ca、全 Mg、全 Fe、全 Mn 的含量变化。全 Ca 表现为 $P2>Z>W>$

$P1>D>S$, 1 : 0.5 坡面(P2)全钙含量最高,为 $23.496 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,最低为沙场(S) $9.980 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,不同伸根空间差异较大,大多在 $11.272 \sim 20.134 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围;全 Mg 表现为 $P2>S>W>P1>Z>D$, 1 : 0.5 坡面(P2)全镁含量最高,为 $7.677 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,水泥盒(D)最低,为 $6.595 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其余含量差异较小,其含量在 $7.10 \sim 7.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;全 Fe 表现为 $P1>W>Z>P2>D>S$,全铁最高含量为 $24.394 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,为 1 : 0.75 坡面(P1),最低含量 $5.988 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,为沙场(S),其余除水泥盒(D) $10.760 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,含量差异较小且含量较高,均在 $22.007 \sim 23.681 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;全 Mn 表现为 $D>P1>S>P2>W>Z$,全锰最高含量为 $0.333 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,最低为 $0.196 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其余含量在 $0.217 \sim 0.263 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

伸根空间的全 Ca、全 Mg、全 Fe、全 Mn 等元素整体上含量均较高。原因可能有:①钙、镁、铁、锰等元素为植物必需元素中的中微量元素,植物需求较小,可造成伸根空间剩余较多;②此类元素在土壤中的存在形式比较稳定,降雨对其溶解带走较少,且该研究测的是其元素全量;③相对其它元素,铁元素含量表现最高,除上述原因,应该还与植物卷材的安装方式有关,植物卷材均用铁质锚杆固定,经过多年的理化作用均已严重锈蚀,为

植物卷材伸根空间补充了一定的铁元素。

2.2.3 伸根空间对有效铜、有效锌的影响

表3为伸根空间有效Cu、有效Zn的含量变化。有效Cu表现为 $D>P1>P2>S>W>Z$,最高含量为 $6.325\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,最低为 $0.837\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其余在 $0.89\sim 1.21\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;有效Zn表现为 $P1>Z>W>S>P2>D$,有效Zn最高含量在 $1:0.75$ 坡面(P1),为 $10.221\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,最低在水泥盒(D),为 $1.322\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其余有效Zn含量差异较大。

相较于全量元素,土壤有效元素是植物能够吸收的养分,以有效量对伸根空间养分水平的评价更为直观^[23]。对于有效Cu,水泥盒(D)含量最高而渣场(Z)最低,这与伸根空间水分含量是一致的;原因分析:①有效Cu主要存于土壤溶液中,含水量高则有效Cu量大;②伸根空间对于卷材的保水性能是有一定影响的,降水径流会带走大量的养分^[14-15],保水能力差的其带走的养分可能较其它多。而有效Zn在水泥盒(D)的含量最低与有效Cu在伸根空间的存在规律相反,且含量为有效Cu的数倍;在水泥盒中有效Cu为有效Zn的数倍,而其它伸根空间中则恰好相反。对于为何有此结果,应该是多种因素共同作用的结果,可能是pH、有机质、降水、温度、生物及其它养分元素相互影响等共同作用,其具体原因有待进一步的研究。

2.2.4 伸根空间对养分含量影响的显著性分析

由IBM SPSS 22.0软件单因素方差分析(One-way ANOVA)并用LSD法进行多重比较得到伸根空间养分两两之间的显著性关系。由表3可知,以水泥盒(D)为对照。全N:除 $1:0.75$ 坡面(P1)和渣场(Z)不存在显著差异,其余两两之间N含量均存在显著差异,且伸根空间对N元素均具有负显著性效应,其中屋面(W)负显著效应最大;全P: $1:0.75$ 坡面(P1)和渣场(Z)两两之间不显著,其余均呈显著性差异, $1:0.5$ 坡面(P2)、沙场(S)具有负显著效应,尤以沙场(S)最为显著;其余为正显著效应,以屋面(W)为最;全K: $1:0.5$ 坡面(P2)和渣场(Z)之间不显著,其余均呈显著性差异,且伸根空间均具有正显著效应,以沙场(S)为最;全Ca:伸根空间两两之间均存在显著差异,除沙场(S)外,其余均具正显著效应,

以 $1:0.5$ 坡面(P2)为最,其次为渣场(Z);全Mg: $1:0.75$ 坡面(P1)和屋面(W)之间不显著,其余均呈正显著性差异,以 $1:0.5$ 坡面(P2)为最高,即所有伸根空间均有助于Mg元素的保持;全Fe:伸根空间两两之间存在显著差异,除沙场(S)外,其余均呈正显著效应;全Mn:伸根空间两两之间均呈显著差异,且均为负显著效应,以渣场(Z)为最高;有效Cu: $1:0.75$ 坡面(P1)与 $1:0.5$ 坡面(P2)之间不显著,其余两两之间均呈显著差异,且伸根空间均呈负显著性效应,且有效Cu含量极少;有效Zn:伸根空间两两之间存在显著差异,且均呈正显著性效应。

综上,伸根空间对于基质养分含量的影响存在显著效应,但是对于具体养分元素存在不同的显著效应;对全N、全Mn、有效Cu等呈负显著效应,即不利于其在卷材基质中保留;而对全K、全Ca、全Mg、全Fe、有效Zn等呈正显著效应,可以减缓此类元素在植物卷材中的降低;对全P,在屋面(W)、 $1:0.75$ 坡面(P1)和渣场(Z)等则是减缓植物卷材中的降低,而在沙场(S)和 $1:0.5$ 坡面(P2)等伸根空间则是促进磷元素的损耗。因此,伸根空间对养分含量的影响是复杂的,对具体元素含量则存在促进或者减缓损耗的影响效果。

2.2.5 伸根空间对养分含量丰缺的影响

根据全国第二次土壤普查养分分级标准,由表2可知,伸根空间全N、全P均表现为丰(Abundant);全K:水泥盒(D)表现为极缺(Extremely deficient),其余为缺(Deficient);有效Cu:水泥盒(D)表现为丰(Abundant),屋面(W)和渣场(Z)表现为中等(Medium),其余伸根空间表现为丰(Abundant);有效锌:除水泥盒(D)表现为稍丰(Slightly abundant),其余均表现为丰(Abundant)。综上所述,伸根空间K元素缺乏严重,其余养分元素均能支撑植被恢复系统的养分需求。K元素的缺乏主要应该由以下3个方面造成:①钾元素自身在土壤中的存在形式主要为可溶性离子,容易随降水导致径流损失;②植物生长发育对于钾元素的大量需求,因此植物对于钾元素的吸收也是造成钾缺乏的一大因素;③伸根空间的差异也造成钾元素的含量状况的差异,对比水泥盒(D)钾元素含量,表明伸根空间对于钾元素的保持也有一定效果。

3 结论与讨论

通过对水泥盒(D)等伸根空间部分养分元素全量及部分有效量的测定,研究了伸根空间对养分含量的影响。结果表明,伸根空间养分含量均值为:全 N 含量为 $12.350 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 P 含量为 $5.519 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 K 含量为 $6.329 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 Ca 含量为 $16.195 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 Mg 含量为 $7.192 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 Fe 含量为 $18.245 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 Mn 含量为 $0.250 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效 Cu 含量为 $1.927 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效 Zn 含量为 $6.675 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。伸根空间整体上养分元素含量大小顺序为:全 Fe>全 Ca>全 N>全 Mg>全 K>全 P>全 Mn>有效 Zn>有效 Cu。不同伸根空间个别元素含量大小稍有差异;其中,水泥盒(D)中全 N>全 Ca>全 Fe>全 Mg>全 P>全 K,1:0.75 坡面(P1)中全 Fe>全 Ca>全 N>全 Mg>全 K,1:0.5 坡面(P2)中全 Ca>全 Fe>全 N,沙场(S)中全 N>全 Ca>全 Mg>全 K>全 Fe,渣场(Z)中全 Fe>全 Ca>全 N,屋面(W)中全 Fe>全 Ca>全 N>全 Mg>全 P>全 K。

通过显著性分析,伸根空间对不同养分含量均具有显著性影响,存在有正显著影响也有负显著影响。陈艳华等^[6]研究表明,植物卷材是一个相对封闭的系统,卷材基质氮磷钾的含量总体趋势是减少的。以水泥盒(D)为对照:全 N、全 Mn、有效 Cu 等,不同伸根空间能一定程度上增加其含量降低程度;而对全 K、全 Ca、全 Mg、全 Fe、有效 Zn 等,伸根不能阻止其减低的趋势,却可以稍微地降低其降低的量,有利于此类养分元素在植物卷材基质中的保持年限,即提高了养分的可利用率,这对植物卷材在植被恢复、边坡绿化等的应用以及生态环境的恢复与保持具有巨大意义;此外,对于全磷,1:0.5 坡面(P2)、沙场(S)能加速磷元素的损失,而其余伸根空间能够降低损失速度。综上,伸根空间对养分元素含量的影响是复杂的,养分含量除了受伸根空间影响外,还要受植被、降水、土壤组成以及养分自身组成等影响。该研究探讨的是伸根空间对于养分含量背景剩余值的影响,至于其它的有待更进一步的研究。

根据全国第 2 次土壤普查养分分级标准,所有测定的伸根空间基质钾元素均表现为缺-极缺,

且有效铜在屋面(W)和渣场(Z)表现为中等,其余测定的养分元素含量均表现为稍丰/丰。表明植物卷材植被恢复系统伸根空间经 3 年后大部分养分元素仍然不缺乏,只需要定期补充施加钾肥。这除了初始人工基质配置外,更多的是伸根空间对于养分元素的保持作用。植物卷材的应用实践表明其应用前景广阔,尤其是当前大量工程创面的产生,养分水分条件极其恶劣,亟需更有效的、长久保持、能实现自我稳定更新的植被恢复、绿化新技术。该试验研究伸根空间对养分含量的影响主要以植物卷材为研究模型,其结论是在植物卷材的基础上得出的,但该研究对于植被恢复、边坡绿化工程上的养分供给具有一定的参考价值,有利于合理供给养分与提高养分的利用率,更能保障养分恶劣条件的植被系统建成。该研究中也存在着一些不足之处,对于伸根空间的具体研究没有深入,但也能在一定程度上反映出伸根空间对于养分元素含量的影响的多样性,对于伸根空间、养分及植被系统等方面关系将是进一步研究的重点。

参考文献

- [1] 郝云庆,何丙辉,李旭光.巫溪县红池坝不同植被恢复阶段土壤养分评价[J].西南农业大学学报(自然科学版),2006(1):149-153.
- [2] 杨晓亮,李杰华,彭婷婷,等.两种有机添加物对岩石边坡植被恢复人工土壤抗蚀性的影响[J].水土保持学报,2009(1):21-25.
- [3] 马帅帅,王英宇,宋桂龙,等.岩石边坡植被恢复初期土壤养分特征及其影响因素[J].水土保持通报,2013(3):25-28.
- [4] 邱利平,李绍才,孙海龙.植物卷材中氮、磷、钾径流试验研究[J].水土保持学报,2014(5):77-81.
- [5] 邱利平,李绍才,孙海龙.岩石边坡基质-植被系统中氮磷钾损失模型[J].生态学杂志,2014,33(11):3164-3168.
- [6] 陈艳华,孙海龙,李绍才.植物卷材中氮磷钾的流失及多效唑对植物的影响[J].北方园艺,2016(13):61-64.
- [7] 沈筱染,李绍才,孙海龙.氮磷钾在两种基质中的淋溶研究[J].北方园艺,2016(17):179-183.
- [8] 王富,李红丽,董智,等.城市周边破坏山体的立地条件类型划分及其植被恢复措施:以山东淄博市为例[J].中国水土保持科学,2009(1):92-96.
- [9] 李晓君,王国荣,徐向东,等.汶川地震灾后松潘损毁林地立地类型划分及植被恢复措施[J].四川林勘设计,2013(2):26-28.
- [10] 张灵,白中科,景明,等.黄土区大型露天煤矿复垦排土场植被恢复立地类型划分:以安太堡露天煤矿为例[J].水土保持研究,2014(6):54-60.

- [11] 刘世梁,傅伯杰,刘国华,等.我国土壤质量及其评价研究的进展[J].土壤通报,2006(1):137-143.
- [12] 刘占锋,傅伯杰,刘国华,等.土壤质量与土壤质量指标及其评价[J].生态学报,2006,26(3):901-913.
- [13] BRADY N C,WEIL R R. Elements of the nature and properties of soil[M]. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009.
- [14] 宋媛媛,邱利平,赵本淑,等.人工土壤中氮磷氯元素降雨侵蚀试验研究[J].西南大学学报(自然科学版),2015(3):132-138.
- [15] 赵本淑,宋媛媛,邱利平,等.人工土壤微量元素降雨侵蚀试验研究[J].中国水土保持,2014(5):44-47.
- [16] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [17] 王义,刘美英,陈士超,等.神东矿区土壤肥力与盐分特征研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(9):63-68.
- [18] 罗红,吴建普,边巴多吉,等.西藏人工造林作业区土壤养分特征研究[J].土壤学报,2017(3):141-153.
- [19] 刘秉正,吴发启.土壤侵蚀[M].西安:陕西人民出版社,1997:47-48.
- [20] 胡世雄,靳长兴.坡面土壤侵蚀临界坡度问题的理论与实验研究[J].地理学报,1999,54(4):347-356.
- [21] 杨春霞,吴卿,杨剑锋,等.人工模拟坡面产流试验研究[J].中国水土保持,2003(6):24-25.
- [22] 罗敏,代数,何丙辉,等.缙云山不同植被类型下土壤养分含量及物理性质研究[J].水土保持学报,2011,25(1):64-69.
- [23] 张家春,刘盈盈,黄冬福,等.贵州玄参主产地土壤养分丰缺现状及评价[J].耕作与栽培,2016(3):12-15.

Effects of Root Stretch Space on Nutrient Content of Plant Roll

ZHANG Yong¹, LI Shaocai^{1,2}, SUN Hailong^{2,3}

(1. College of Life Science, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064; 2. Sichuan Allvery Co. Ltd., Chengdu, Sichuan 610027; 3. State Key Laboratory of Water Resource and Hydropower, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064)

Abstract: The roots stretch spaces are the direct provider of nutrients needed for vegetation ecosystem plants. The effects of the root stretch space on the nutrient content of the substrate were analyzed. The results showed that the nutrient elements content was total nitrogen $12.350 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, total phosphorus $5.519 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, total potassium $6.329 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, total calcium $16.195 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, total magnesium $7.192 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, total iron $18.245 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, total manganese $0.250 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, available cuprum $1.927 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, available zinc $6.675 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The significance analysis showed that there was a significant effect which the root stretch space with the nutrient content. With the cement box (D) as the control, the loss rate of some nutrient elements was accelerated, such as total nitrogen, total manganese, available cuprum, etc., could also reduce the loss rate of some elements such as total potassium, total calcium, total magnesium, total iron, available zinc and so on. In addition, for total phosphorus, 1:0.5 slope (P2), the sand pile (S) could accelerate the loss, while the rest of the root stretch spaces could reduce the loss rate. According to the 2nd national soil survey and the criteria for grading of soil nutrient status, the potassium elements in all the root stretch spaces were shown to be deficient and extremely deficient, and the available cuprum was medium in the roof (W) and gravel field (Z), and the remaining nutrient content were shown to be slightly abundant and abundant, which showed that the plant roll had a positive significance for the nutrient retention of the root stretch spaces.

Keywords: roots stretch space; nutrient elements; plant roll