

干旱矿区废弃地重金属生境土壤种子库时空动态

张涛¹, 何明珠², 陈智平^{3,4}, 车克钧⁵, 胡天光⁶, 程斌让⁶

(1. 白龙江林业管理局 林业科学研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 沙坡头沙漠试验研究站, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省林业调查规划院, 甘肃 兰州 730020; 4. GEF(global environment facility) 甘肃省综合生态系统管理信息中心, 甘肃 兰州 730020; 5. 甘肃省白龙江林业管理局, 甘肃 兰州 730050; 6. 金川公司园林公司, 甘肃 金昌 737100)

摘要: 通过不同季节野外调查取样和室外萌发试验, 分析了干旱矿区重金属生境土壤种子库的时空动态。研究表明, 该区域土壤种子库储量随季节变化存在差异。土壤种子库储量 10 月最高, 5 月份减小至最低。土壤种子库物种种类随时间的变化与土壤种子库储量相似; 土壤中种子主要分布在 0—5 m 土层中, 该层种子比例平均占种子库全部种子数量的 76.5%。随着土层深度的增加, 种子数量逐渐减少。5—10 cm 土层中种子比例平均只占种子库全部种子数量的 23.5%。10 cm 以下土层几乎没有种子分布。

关键词: 干旱矿区; 废弃地; 土壤种子库; 时空动态

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0296-05

中图分类号: S154.4, X53

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.071

Spatial-temporal Dynamics of Soil Seed Banks of Heavy Metals Habitat at Wasted Lands in Drought Mining Area

ZHANG Tao¹, HE Ming-zhu², CHEN Zhi-ping^{3,4}, CHE Ke-jun⁵, HU Tian-guang⁶, CHENG Bin-rang⁶

(1. Institute of Forestry Science, Bailongjiang Forestry Management Bureau, Lanzhou,

Gansu 730070, China; 2. Shapotou Desert Experimental Research Station, Cold and Arid

Region Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou, Gansu 730000,

China; 3. Forest Inventory and Planning Institute of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China;

4. Gansu Institute of Forestry Survey and Planning, GEF, Lanzhou, Gansu 730020, China; 5. Bailongjiang Forestry Management Bureau, Lanzhou, Gansu 730050, China; 6. Garden Division of Jinchuan Company, Jinchang, Gansu 737100, China)

Abstract: The spatial-temporal dynamics of soil seed banks of heavy metals habitat at wasted lands in drought mine area was analyzed through the field investigation and sampling in different seasons and outdoor germination experiment. The results showed that the reserves of soil seed bank varied seasonally. It reached a maximum in October, and drop down gradually to a minimum in May. The species variation trend of soil seed bank with time was similar to that of soil seed bank reserves. The seeds in the soil were mainly distributed in 0—5 cm soil layer, which accounted for 76.5% of the total number of seeds. The seed quantity reduce gradually with the increase of soil depth, and it is only 23.5% of the total number of seeds in the 5—10 cm soil layer, and even almost none in the soil layer under 10 cm.

Keywords: drought mining area; wasted lands; soil seed bank; spatial-temporal dynamics

矿区废弃地是指在采矿过程中所破坏的, 不经一定处理无法使用的土地, 其缺少植被生长所必须的有机质和氮、磷、钾等物质。土壤种子库时期是植物生活史的一个阶段, Harper^[1] 把它称为潜在种群, 它的存在将为植物群落的演替、群落遭受干扰和破坏后的恢复提供繁殖体^[2-4]。土壤种子库的大小、组成、结构以及动态变化过程是群落更新与生态恢复的重要决

定因子。近年来, 土壤种子库研究得到了很大发展, 研究内容主要集中在沙地^[5-9]、山地^[10-12]、耕地^[13]、湿地^[14-15]等区域的土壤种子库特征, 而对矿区废弃地土壤种子库研究少有报道。土壤种子库的组成和大小随时间呈现有规律的变化, 尤其是其物种组成和数量具有季节、年际动态变化。本研究对矿业废弃地重金属环境中早期土壤种子库时空分布特征进行研究, 以

收稿日期: 2013-09-02

修回日期: 2013-09-17

资助项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目“金川集团镍铜尾矿库生态修复技术研发项目”(90y054611)

作者简介: 张涛(1980—), 女(汉族), 甘肃省礼县人, 硕士, 助理工程师, 主要从事生态保护方面的研究。E-mail: 898565234@qq.com。

期为矿区废弃地植被恢复提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区选在甘肃省金昌市镍矿区的矿业废弃地。该市是我国著名的“镍都”,其镍矿储量丰富,规模居全国第一位,铜、钴等矿产储量居全国第二位。该市地处东经 $101^{\circ}04'$ — $102^{\circ}43'$ 和北纬 $37^{\circ}47'$ — $39^{\circ}0'$ 之间,位于祁连山北麓,河西走廊东部,以大陆性沙漠干旱气候为主,暖温带荒漠区植被。年均降水量 $141\sim 352$ mm,年均蒸发 $2\ 000$ mm左右,无霜期 $98\sim 144$ d,年均风沙日数 33 d,春季8级以上大风年均 7.5 次,每次持续 $1\sim 3$ d。年平均气温 9.3 $^{\circ}\text{C}$,最高气温 42.4 $^{\circ}\text{C}$,最低气温 -28.3 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 野外采样方法

野外采样于2008年的3—11月中旬进行,共采样4次,分别在3,5,7,10月中旬进行。取样地点选择在金昌公司矿区较为典型的3个样点:①老尾矿库:①砾石土覆盖层;②预试验地;③供暖公司柽柳林地;(2)龙首矿山区:④龙首矿开采废弃地;⑤龙首矿自然植被区;⑥龙首矿绿化区;(3)戈壁滩:⑦新尾矿周边自然植被区。分别在上述7个典型区域设置3个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的固定样地,调查植被情况。在固定样地的四角及中心设5个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 小样方,调查样方内草本情况。分别在小样方附近采取土样,土样面积为 $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$,取样深度为 10 cm ,分 $0\sim 5\text{ cm}$ 和 $5\sim 10\text{ cm}$ 两层。将各层土样编号带回实验室萌发。4次共取样560个土样。样地情况详见表1。

表1 样地概况

不同矿业废弃地及编号	群落类型	纬度	经度	主要植被
老尾矿砾石层(LS)	碱蓬群落	$38^{\circ}32.167$	$102^{\circ}12.107$	主要有碱蓬、盐生草、骆驼蓬、灰绿藜、西北针茅等以及零星分布有中亚紫菀木和人工种植的多枝柽柳。
供暖公司柽柳林地(GH)	人工柽柳林群落	$38^{\circ}32.167$	$102^{\circ}12.107$	主要有灰绿藜、盐生草、马齿苋、反枝苋等。
	人工火炬树群落	$38^{\circ}31.960$	$102^{\circ}12.121$	
老尾矿预试验地(SY)	人工群落	$38^{\circ}32.167$	$102^{\circ}12.107$	主要有柽柳、碱蓬、灰绿藜、盐生草、马齿苋等。
龙首矿绿化区(LL)	人工刺槐林群落	$38^{\circ}28.785$	$102^{\circ}11.071$	主要有刺槐、沙枣、榆树、枸杞等人工植被和碱蓬、灰绿藜、盐生草、马齿苋等荒漠植被。
	人工沙枣林+枸杞林群落	$38^{\circ}28.744$	$102^{\circ}11.062$	
龙首矿开采废弃地(LK)	碱蓬+刺蓬群落	$38^{\circ}29.375$	$102^{\circ}09.410$	主要有碱蓬、刺沙蓬、补血草、大蓟、虎尾草、苦苣菜等。
	合头草+珍珠群落	$38^{\circ}28.833$	$102^{\circ}09.200$	
龙首矿自然植被区(LZ)	合头草+短叶假木贼群落	$38^{\circ}28.833$	$102^{\circ}09.200$	主要有红砂、珍珠、合头草、南山短花菊、短叶假木贼、盐爪爪等荒漠灌木。以及禾本科冰草、齿稃草、早熟禾、甘青针茅等和菊科的白沙蒿、蒲公英、藜科的碱蓬、藜、盐生草等。
	细枝盐爪爪+尖叶盐爪爪群落	$38^{\circ}28.745$	$102^{\circ}09.222$	
	珍珠群落	$38^{\circ}28.745$	$102^{\circ}09.222$	
新尾矿自然戈壁区(GZ)	红砂+珍珠群落	$38^{\circ}28.699$	$102^{\circ}17.052$	主要有珍珠猪毛菜、红砂、短脚锦鸡儿、短叶假木贼、刺叶柄棘豆、中亚紫菀木和蓍状亚菊等旱生和超旱生灌木,以及阿尔泰狗娃花、戈壁驼蹄瓣、冠芒草、锋芒草、画眉草、针茅、糙隐子草、盐生车前等一年生和多年生草本。
	红砂+荒漠锦鸡儿群落	$38^{\circ}28.576$	$102^{\circ}17.092$	
	红砂+珍珠+驼蹄瓣群落	$38^{\circ}28.838$	$102^{\circ}16.966$	

1.3 室内土壤种子萌发

通过萌发土样中种子,鉴定统计土壤中种子的组成及数量。在室内对采集的土样人工研碎,过 5 mm 筛以除去石块和草根,分别放入直径 30 cm ,高 5 cm 的花盘中,花盘内先铺设一层 1 cm 厚的洁净细沙,贴标签,摆放在塑料大棚温室,适时浇水,每天观测记录种子萌发情况,对已萌发并经种类鉴定后的幼苗进行记数,然后清除。将暂时无法鉴定的幼苗移栽到花盆并挂牌标记,直至植株形态能够鉴定。萌发实验持续 100 d 左右,直到不出现新的幼苗为止。

1.4 数据处理

将萌发试验的统计结果按参试筛选土样占原筛选土样的比例及取样面积大小换算成 1 m^2 种子数

量,即为样地土壤种子库的种子密度。土壤种子库种子储量 = 种子数量/ m^2 。

2 结果与分析

2.1 不同废弃地土壤种子库时间动态

2.1.1 不同废弃地土壤种子库储量的时间变化 不同废弃地土壤种子库储量随季节变化趋势大致相似。老尾矿砾石区、供暖公司柽柳林地、龙首矿绿化区、龙首矿开采废弃地、龙首矿自然植被区和新尾矿戈壁自然植被区土壤种子库储量10月最高,随后开始减小,5月份减小至最低,随后开始增加。这与地上植被生长结实规律基本一致,10月份大部分植物种子成熟,土壤接受种子雨输入,土壤种子库储量增加且达到峰

值,随着时间推移,土壤种子开始衰老、腐烂、被动物取食、萌发等输出,土壤种子库储量开始减小,到了 5 月,土壤种子库储量降到最低,随后,随着新的种子雨的输入,土壤种子库储量又开始增加。试验地土壤种子库储量随季节变化趋势稍有不同,3 月份最高,7 月次之,5 月最低,这可能是由于试验地人工浇水增加了植物生长期。7 月份部分一年生草本(如灰绿藜、刺藜等)迅速完成生命期,大量种子输入土壤,使土壤种子库储量达到较大值,随后由于土壤水分、温度等条件适宜,有些植物种子开始萌发,土壤种子库储量有所

下降,10 月过后,大部分植物种子成熟,大量的种子输入土壤种子库,在 11 月下旬达到最大值(图 1—2)。

对不同样地土壤种子库季节变化幅度分析表明,矿区废弃地变化幅度较大,自然植被区变化幅度较小。这是由于矿区废弃地一年生草本占绝对优势,其种子小而多,且一年生草本生长期较短,从开始结实到种子成熟需要时间较短,因而在较短的时间能够对土壤输入较多的种子。自然植被区则多年生草本和灌木相对较多,但它们种子相对大而少,输入种子雨也不太集中,因而变化比较平缓。

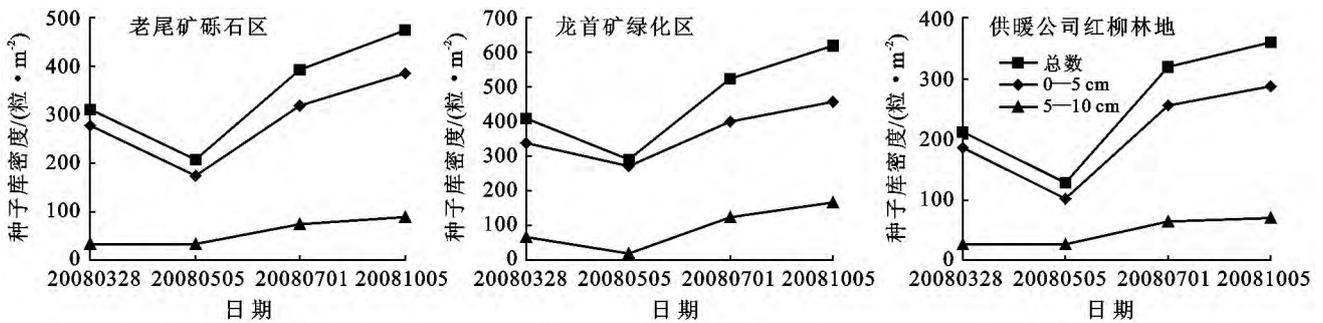


图 1 不同废弃地土壤种子库季节动态变化

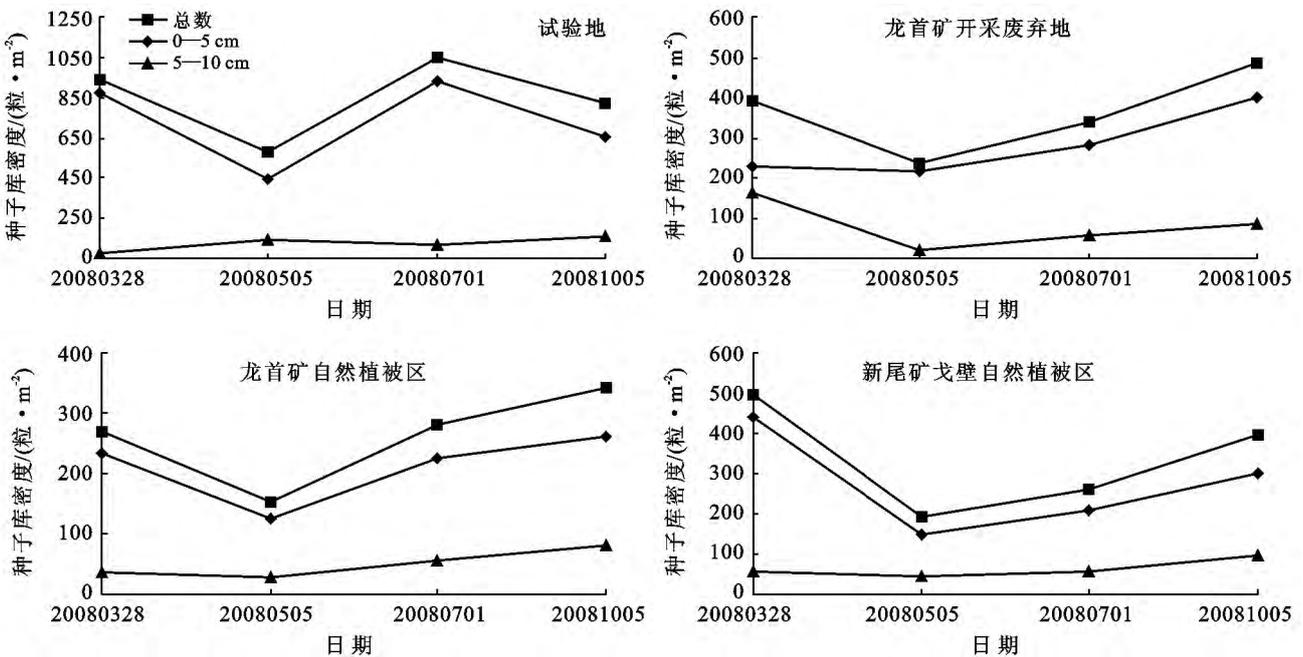


图 2 不同废弃地土壤种子库季节动态变化

2.1.2 不同废弃地土壤种子库物种种类时间变化
由表 2 可以看出,不同废弃地土壤种子库物种种类随季节变化具有一定的差异,其时间变化与土壤种子库储量基本一致。老尾矿砾石区、供暖公司红柳林地、龙首矿开采废弃地和新尾矿戈壁自然植被区土壤种子库物种种类 10 月份较为丰富,7 月次之,5 月份最小;龙首矿绿化区和龙首矿自然植被区 7 月份物种最

多,10 月次之。

3 月份研究区还没有解冻,大多数植物种子没有萌发。随着温度不断升高,到 5 月份,土壤中种子萌发,数量不断减少,植物进入生长期。随之,一些旱生、超旱生植物适应干旱生境,缩短生命周期,开始结实,土壤中开始输入种子雨,种子数量及种类开始增加,到 10 月份达到高峰。

表 2 不同季节土壤种子库种子种类的变化

样地名称	土壤种子库种子种类												共有种个数及种子占种子储量的比例/%	
	3月			5月			7月			10月				
	科	属	种	科	属	种	科	属	种	科	属	种	共有种	比例/%
老尾矿砾石区	6	6	6	4	4	4	4	7	7	5	9	9	4	92.32
供暖公司红柳林地	4	4	4	3	3	3	3	3	3	5	5	5	3	97.05
试验地	5	7	7	5	8	8	6	12	12	8	16	19	5	60.32
龙首矿绿化区	6	13	13	4	8	8	5	10	10	8	16	16	6	80.80
龙首矿开采废弃地	3	5	5	1	3	3	4	11	11	4	9	9	2	33.41
龙首矿自然植被区	7	8	8	6	10	10	9	15	15	11	19	19	5	73.07
新尾矿戈壁自然植被区	11	26	28	8	16	18	10	24	25	9	22	24	14	54.74

2.2 土壤种子库垂直分布特征

种子经过种子雨洒落到土壤表皮,经过一段时间后,在重力、风力作用和下渗水分的带动下,一部分种子下移,进入土壤较深层中。对不同废弃地各层土壤种子库储量分析表明(图 3—4),土壤中种子主要分

布在 0—5 cm 土层中,该层种子比例平均占到种子库全部种子数量的 76.5%,随着土壤深度的增加,种子数量逐渐减少,5—10 cm 土层中种子比例平均只占到种子库全部种子数量的 23.5%,10 cm 以下几乎没有种子分布。

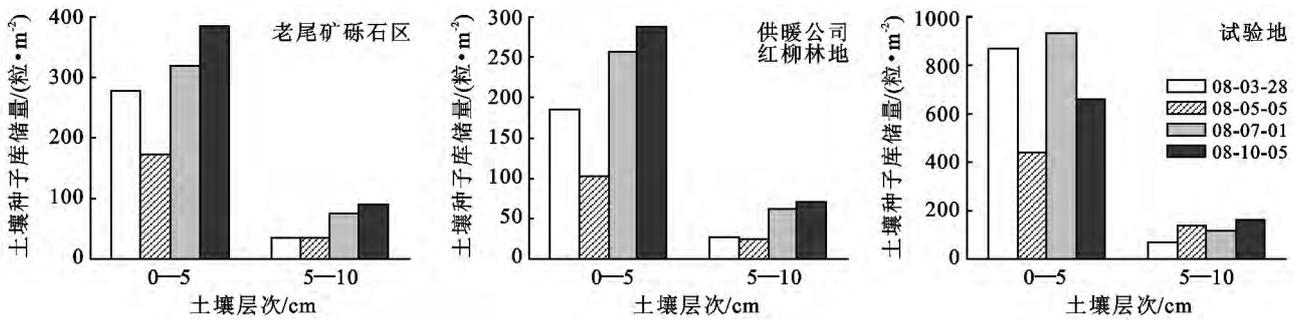


图 3 不同废弃地土壤种子库储量垂直变化

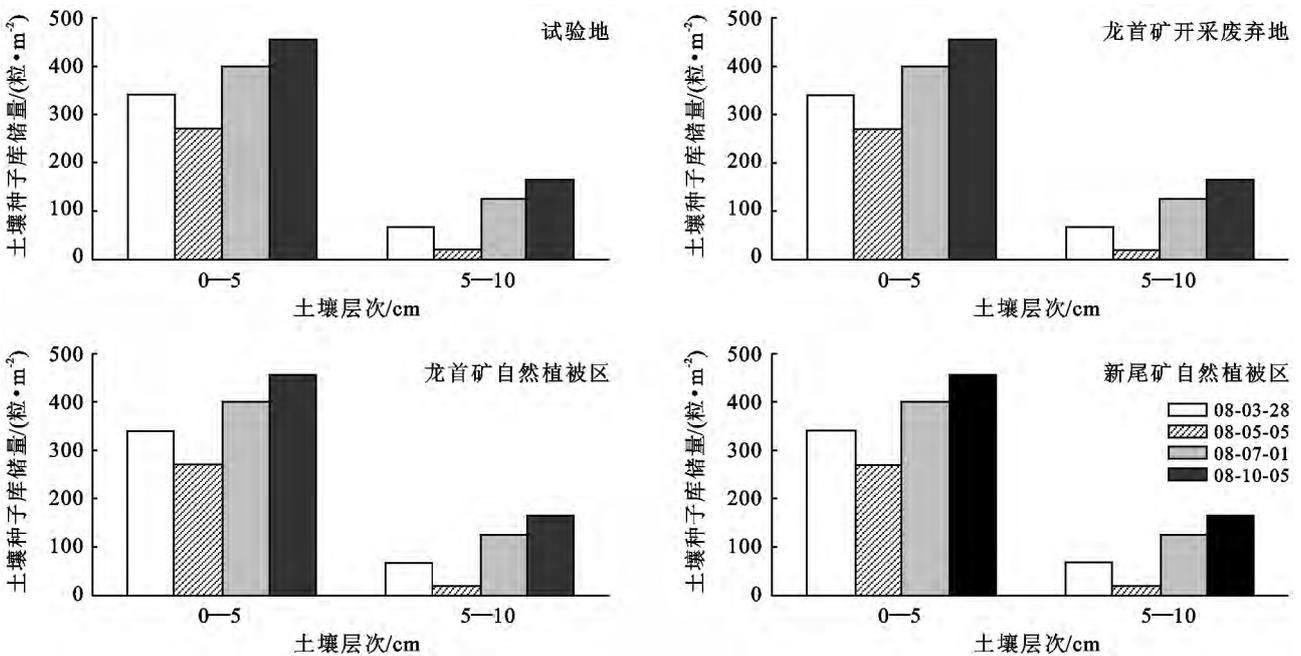


图 4 不同废弃地土壤种子库储量垂直变化

3 结果讨论

3.1 土壤种子库时间变化

土壤种子库的组成和大小随时间呈现有规律的变化,尤其是其物种组成和数量具有季节动态^[16-18]。季节的变化所引起的温度、光照、水分等非生物因素的变化直接影响了种子雨、种子的散布情况以及种子的萌发和腐烂,从而影响种子库大小的输入和输出情况。Russi 等^[19]对地中海草地的研究发现,土壤中的种子库最大在 5—6 月,即牧场上植物种子成熟并散布后;翌年的 3—4 月,即在新种子散布之前下降到最低点。李宁等^[20]对塔克拉玛干沙漠北缘土壤种子库研究表明,土壤种子数在 11 月份最高,而在 8 月份降至最小值。本研究结果表明,该区域土壤种子库最小出现在 5 月,最大出现在 10 月,这与上述研究结果有一定的出入,分析认为,这可能与研究区的植被条件和本研究取样时间有关。一方面,本试验区属于干旱典型重金属废弃地,植被组成简单,为演替初期,以一年生草本为主,且多为旱生、超旱生先锋物种,其长期适应干旱等严酷环境,表现为在适宜条件下快速完成生命周期,因而在短时间内使土壤种子的大量输入成为可能;另一方面,本次取样时间设计为 3,5,7 和 10 月中旬,间隔较长,可能没有在土壤种子库实际极小或极大值时取样,造成一定的误差。

3.2 土壤种子库垂直分布

种子的垂直运动和在上层的最终分布主要由种子形状、土壤结构和大小、动物干扰或其他物理过程决定。某一特定深度含有特定大小的种子,因为大种子很难进入土壤深处,而小种子易进入土壤深处。落到地表的种子可以通过不同途径向下移动:(1)雨水的冲刷;(2)动物的活动;(3)土壤裂隙的存在。Kemp^[21]研究认为,沙漠中土壤种子大部分分布在土壤的表面,这些种子大约有 80%~90%分布在土壤上层 2 cm 处,这 2 cm 处的种子大多数又分布在凋落物层或土壤上层的几毫米处。随着土壤深度的增加,单位面积种子数目下降^[22]。本试验中,土壤中的种子主要是分布在 0—5 cm 土层中,该层种子比例平均占到种子库全部种子数量的 76.5%,随着土壤深度的增加,种子数量逐渐减少,5—10 cm 土层中种子比例平均只占到种子库全部种子数量的 23.5%,10 cm 以下几乎没有种子分布。本研究在 5—10 cm 还有一定比例种子出现,可能由于试验区土壤主要为砾石,土壤裂隙较大,有利于种子向下运动。

李宁等^[20]对塔克拉玛干沙漠北缘荒漠区土壤种子库研究表明,土壤种子库主要分布在 0—6 cm 的土

壤层中,其中以 0—3 cm 土壤层中为最多。这可能是由于大多数荒漠植物的种子较轻,主要是依靠风力传播,重力较小不利于种子向深层的下渗。

4 结论

(1) 不同区域土壤种子库储量随季节变化趋势大致相似。老尾矿砾石区、供暖公司柽柳林地、龙首矿绿化区、龙首矿开采废弃地、龙首矿自然植被区和新尾矿戈壁自然植被区土壤种子库储量 10 月最高,随后开始减小,5 月份减小至最低,随后开始增加。土壤种子库物种种类时间变化与土壤种子库储量相似。这与地上植被生长结实规律基本一致。

(2) 不同废弃地土壤中种子主要分布在 0—5 cm 土层中,该层种子比例平均占到种子库全部种子数量的 76.5%,随着土壤深度的增加,种子数量逐渐减少,5—10 cm 土层中种子比例平均只占到种子库全部种子数量的 23.5%,10 cm 以下几乎没有种子分布。

[参 考 文 献]

- [1] Harper J L. Population Biology of Plants[M]. London: Academic Press, 1977.
- [2] Fenner M. Seed: The ecology of regeneration in plant community[M]. UK: C. A. B International, 1992: 211-235.
- [3] Kebrom T, Tesfaye B. The role of soil seed banks in the rehabilitation of degraded hill slopes in Southern Wello, Ethiopia[J]. Biotropica, 2000,32(1):23-32.
- [4] 杨跃军,孙向阳,王保平. 森林土壤种子库与天然更新[J]. 应用生态学报, 2001,12(2):304-308.
- [5] 于顺利,Marcelo Sternberg,蒋高明,等. 地中海沿岸沙丘种子大小对植物及其种子多度的影响[J]. 生态学报, 2005,25(4):749-755.
- [6] 曹子龙,赵廷宁,郑翠玲,等. 浑善达克沙地南缘沙化草地围封过程中土壤种子库与地上植被的耦合关系[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(1):178-183.
- [7] 李雪华,韩士杰. 科尔沁沙地沙丘演替过程的土壤种子库特征[J]. 北京林业大学学报,2007,29(2):66-69.
- [8] 陈荣毅,张元明. 不同沙丘部位和不同结皮类型对土壤种子库的影响[J]. 干旱区研究,2008,25(1):107-112.
- [9] 刘晓霞,王明玖. 浑善达克沙地土壤种子库结构与动态特征[J]. 畜牧与饲料科学,2009,30(2):42-46.
- [10] 沈有信,江洁,陈胜国,等. 滇东南岩溶山地退化植被土壤种子库的储量与组成[J]. 生态环境学报,2009,28(1):101-106.
- [11] 张建利,毕玉芬. 金沙江干热河谷山地草地封育过程中土壤种子库时空特征[J]. 生态学报,2009,18(4):1427-1432.

(下转第 307 页)

- 蒸腾耗水及果实品质的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11):2755-2762.
- [40] Tong Chuan, Gong Jianzhou, Marrs Robb, et al. Pattern of transpiration of four shrub species and water consumption from shrub stands in an eco-reclamation catchment in Northwest China[J]. Arid Land Research and Management, 2008, 22(3):242-254.
- [41] 王华, 欧阳志云, 任玉芬, 等. 北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1867-1876.
- [42] 汪耀富, 蔡寒玉, 李进平, 等. 不同供水条件下土壤水分与烤烟蒸腾耗水的关系[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1):19-23.
- [43] 张一平, 王馨, 王玉杰, 等. 西双版纳地区热带季节雨林与橡胶林林冠水文效应比较研究[J]. 生态学报, 2003, 23(12):2653-2665.
- [44] 袁春明, 郎南军, 孟广涛, 等. 长江上游云南松林水土保持生态效益的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2):87-90.
- [45] 邓云, 唐炎林, 曹敏, 等. 西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7836-7843.
- [46] 杨吉山, 王兆印, 余国安, 等. 小江流域不同人工林群落结构变化及其对侵蚀的控制作用[J]. 生态学报, 2009, 29(4):1921-1930.
- [47] 杞金华, 章永江, 张一平, 等. 哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用[J]. 生态学报, 2012, 32(6):1692-1702.
- [48] 赵筱青, 和春兰, 易琦. 大面积桉树引种区土壤水分及水源涵养性能研究[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 205-210.
- [49] Bacchetta G, Cao A, Cappai G, et al. A field experiment on the use of *Pistacia lentiscus* L. and *Scrophularia canina* L. subsp. *bicolor* (Sibth. et Sm.) Greuter for the phytoremediation of abandoned mining areas [J]. Plant Biosystem, 2012, 146(4): 1054-1063.
- [50] Petrou P, Milios E. Establishment and survival of *Pinus brutia* Ten. seedlings over the first growing season in abandoned fields in central Cyprus[J]. Plant Biosystem, 2012, 146(3): 522-533.
- [51] Huang Yuqing, Li Xiankun, Zhang Zhongfeng, et al. Seasonal changes in *Cyclobalanopsis glauca* transpiration and canopy stomatal conductance and their dependence on subterranean water and climatic factors in rocky karst terrain[J]. Journal of Hydrology, 2011, 402(1/2): 135-143.
- [52] Zhao M, Pitman A J, Chase T. The impact of land covers change on the atmospheric circulation[J]. Climate Dynamics, 2001, 17(5/6): 467-477.

(上接第300页)

- [12] 马文宝, 薛建辉. 西南喀斯特山地森林群落土壤种子库研究综述[J]. 生态学杂志, 2009, 28(12):2619-2623.
- [13] 魏守辉, 强胜, 马波, 等. 不同作物轮作制度对土壤杂草种子库特征的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4):385-389.
- [14] 王国栋, 吕宪国. 三江平原恢复湿地土壤种子库及其与植被的关系[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8):763-773.
- [15] 莫训强, 王秀明. 天津地区湿地土壤种子库及其在受限空间中的植被演替研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4):219-224.
- [16] Levassor C M, Ortega B P. Seed bank dynamics of Mediterranean pastures subjected to mechanical disturbance [J]. Journal of Vegetation Science, 1990, 1(3):339-344.
- [17] Lavorel S, Debussche M, Lebreton J D, et al. Seasonal patterns in the seed bank of Mediterranean old-fields [J]. Oikos, 1993, 67(1):114-128.
- [18] 杨允菲, 祝玲, 张宏一. 松嫩平原两种碱蓬群落土壤种子库通量及幼苗死亡的分析[J]. 生态学报, 1995, 15(1):66-71.
- [19] Russi L P S, Cocks E H, Roberts. Seed bank dynamic in a Mediterranean grassland [J]. Journal of Applied Ecology, 1992, 29(2):763-771.
- [20] 李宁, 冯固, 田长彦. 塔克拉玛干沙漠北缘土壤种子库特征及动态[J]. 中国科学(D辑):地球科学, 2006, 36(SII):110-118
- [21] Kemp P R. Seed Bank and Vegetation Processes in Deserts[M]//Leck M A, Parker V T, Simpson R. L, ed. Ecology of Soil Seed Bank. San Diego: Academic Press, 1989:257-282.
- [22] Guo Q, Rundel P W, Goodall D W. Horizontal and vertical distribution of desert seed banks: Patterns, causes, and implications[J]. Journal of Arid Environments, 1998, 38(3):465-478.