

荒漠化草原土壤种子库的季节动态和垂直分布

李颖, 王德凯, 解李娜, 梅续芳, 李清芳*, 马成仓

(天津师范大学生命科学学院, 天津市动植物抗性重点实验室, 天津 300387)

摘要 [目的]掌握荒漠化草原土壤种子库的季节动态和垂直分布。[方法]采用萌发法测定内蒙古高原荒漠化草原不同季节(种子成熟期、生长季初期和生长季中期)、不同土层(0~3、3~6、6~9 cm)土壤种子库的总种子数、种子发芽指数和 RGF。[结果]土壤种子库中的总种子数和种子发芽指数均从种子成熟期(9月)一生长季初期(次年5月)一生长季中期(次年7月)呈下降的趋势;RGF的季节动态整体呈现出先上升后下降的单峰趋势;总种子数从浅层到深层(0~3、3~6、6~9 cm)呈现递减趋势;种子成熟期的 RGF 从浅层到深层呈现增加趋势;生长季初期的 RGF 从浅层到深层呈现出先下降后上升的趋势;不同土壤深度快速萌发种子占土壤种子库总数比例不同,表现为0~3层(33.48%)>3~6层(11.54%)>6~9层(9.38%);土壤种子库中以一年生、多年生草本为主,未统计到灌木种子。[结论]研究结果为内蒙古高原荒漠化草原的生态恢复提供了理论依据。

关键词 土壤种子库;季节动态;垂直分布;RGF

中图分类号 S812.29 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)13-0004-03

Seasonal Dynamics and Vertical Distribution of Soil Seed Bank in Desert Grassland

LI Ying, WANG De-kai, XIE Li-na et al (College of Life Sciences, Tianjin Key Laboratory of Animal and Plant Resistance, Tianjin Normal University, Tianjin 300387)

Abstract [Objective] The aim was to understand the seasonal dynamics and vertical distribution of soil seed bank in desert steppe. [Method] We investigated the total number of soil seed bank, seed germination index and RGF in different seasons (seed maturity period, early growing season and middle growing season) and in different soil depth (0-3, 3-6 and 6-9 cm) at desert steppe on Inner Mongolia using the germination method. [Result] The total number of seeds and seed germination index decreased from the seed maturity period at September to the early growing season at May, then to the middle growing season at the following July; the seasonal dynamics of RGF were high at early growing season and low at seed maturity period, showing a curve with single valley. The total number of seeds decreased with the increasing of the soil depth, while the RGF at seed maturity period increased from the surface soil to deep soil. RGF at early growing season increased first then decreased. The ratio of rapidly germinated seeds in different soil depths was different, our results followed the pattern: 0-3 cm (33.48%) > 3-6 cm (11.54%) > 6-9 cm (9.38%). The soil seed bank is dominated by annual and perennial herbs and no shrub seeds in soil seed bank. [Conclusion] The results provide theoretical basis for ecological restoration in desertification grassland in Inner Mongolia plateau.

Key words Soil seed bank; Seasonal dynamics; Vertical distribution; RGF

土壤种子库是指存在于土壤表层凋落物和土壤中有活力种子的总和^[1-4]。土壤种子库不仅是植被更新、群落演替的基础,而且在生态系统恢复中起着重要作用,尤其在环境恶劣的荒漠区,这种作用尤其突出^[5]。土壤种子库的数量、分布状况和时间动态是决定群落更新的重要因素。

种子通过种子雨进入土壤种子库,其成熟物候^[6]、散布规律^[7]等因素导致土壤种子库具有明显的季节动态。研究表明,巨型猪草(*Heracleum mantegazzianum*)的休眠种子、有活力种子和死种子均表现出明显的季节变化^[8];黔西北喀斯特森林及各退化群落类型的土壤种子库中的种子数都以4月最高,8月或12月较低,到次年5月有所上升^[9];科尔沁沙地的种子库密度和物种丰富度表现为生长季开始前小于生长季结束前^[10]。土壤中种子数随着土壤深度的不同具有明显差异。研究表明,川西亚高山米亚罗林区的红桦(*Betula albosinensis*)和岷江冷杉(*Abie faxoniana*)的发育完全种子数、受损种子数以及腐烂种子数均随着土层深度的增加呈下降趋势^[11];云南地区的紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)土壤种子库的总种子数从0~2 cm向下呈现递减的趋势^[12];秦岭太白山南坡的巴山冷杉(*Abie fargesii*)、糙皮桦(*Betula utilis*)、锐齿槲栎(*Quercus alienavar acuteserrata*)、太白红杉(*Lar-*

ix chinensis)4类森林的土壤种子库储量由枯落物层至深土层显著减少^[13]。

近年来,全球变化和人类活动,特别是过度放牧导致全球草地正经历荒漠化不断增加的过程。了解荒漠化草原土壤种子库种类、数量、结构等特征的季节动态和垂直分布对荒漠化草原植被多样性恢复具有重要意义。国内外学者对不同生境中土壤种子库进行研究,主要涉及森林^[13-14]、典型草原^[15]、干旱荒漠区^[16-17]等方面,但对于荒漠化草原中土壤种子库特征的研究相对较少^[18]。笔者以内蒙古高原荒漠化草原为研究区,测定了该地土壤种子库的总种子数、种子发芽指数、RGF等指标的季节动态和垂直分布,旨在为该地区生物多样性的保护及荒漠化草原植被恢复提供理论依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况 试验于内蒙古自治区锡林郭勒盟苏尼特右旗南部朱日和镇进行。苏尼特右旗位于111°03'~114°16'E、41°55'~43°47'N,海拔在897~1672 m,属典型的温带干旱大陆性气候。年平均光照时数为3180 h;年平均气温为5.0℃,年降水量为206 mm。该地区土壤类型主要为淡栗钙土。草地植被以亚洲中部荒漠草原种为主,主要植物有碱韭(*Allium polyrhizum*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)、栉叶蒿(*Neopallasia pectinata*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、无芒隐子草(*Cleistogenes songorika*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、猪毛蒿

基金项目 国家自然科学基金项目(31570453,31170381)。**作者简介** 李颖(1992—),女,天津人,硕士研究生,研究方向:植物生态学。*通讯作者,副教授,从事植物营养研究。**收稿日期** 2018-02-28;修回日期 2018-03-07

(*Artemisia scoparia*)、冰草(*Agropyron cristatum*)等^[19-20]。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采样。分别于2015年9月(种子成熟期)、2016年5月(生长季初期)和7月(生长季中期)在研究区域随机设置3个样地(a、b、c),每个样地约为500 hm²,样地之间相隔5 km以上。在每个样地随机设置1条长100 m的样带,在样带上每20 m设置30 cm×30 cm小样方,每个样地50个小样方,共150个小样方,采集0~3 cm土壤样品,用塑封带密封,带回实验室进行种子萌发试验,用以调查不同季节的土壤种子库。2015年9月和2016年5月,在样地a随机选择2个小样方,样地b随机选择3个小样方,分别采集0~3 cm(A层)、3~6 cm(B层)、6~9 cm(C层)土壤样品,用以调查土壤种子库的垂直分布特征。

1.2.2 种子萌发。将采集好的土样进行过筛除杂并充分混匀,选长40 cm、宽28 cm、高4 cm的托盘作发芽床,将筛取土样平铺于托盘中,土壤厚度约为2.5 cm。试验期间,每2 d用喷壶喷洒适量水分以保持土壤水分充足,每5 d观察并分类统计种子萌发情况,直到连续7 d没有种子萌发则终止试验。

根据上述测定数据计算种子库种子数、种子发芽指数、禾草类种子数与非禾草类种子数之比(RGF)、快速萌发种子比例。

种子发芽指数 = $(\sum G_t/D_t)/\text{总种子数} \times 100$

式中, G_t 表示第 t 天种子萌发数; D_t 表示萌发天数。

$RGF = \text{禾本科种子数}/\text{非禾本科种子数}$

9月是物种成熟季,种子成熟后进入土壤种子库,次年春季能够快速萌发种子均已萌发,此时储存在土壤中的种子为较难萌发种子。因此,快速萌发种子比例 = $(9\text{月种子数} - 5\text{月种子数})/9\text{月种子数}$ 。

1.3 数据处理 采用SPSS 17.0软件进行单因素方差分析,分析不同季节土壤种子库种子数($n=15$)、RGF($n=15$)和不同土层($n=5$)之间的差异,用Tukey HSD做多重比较。

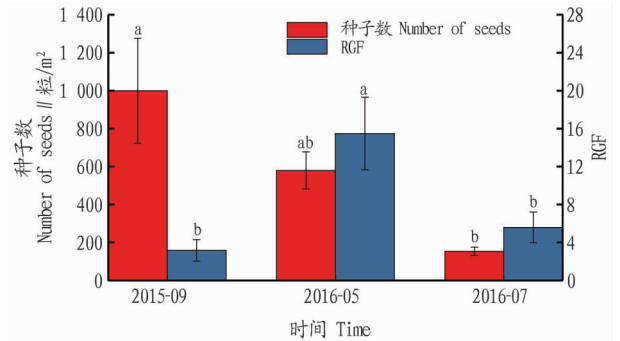
2 结果与分析

2.1 土壤种子库种子数及 RGF 的季节变化 由图1可知,从9月到次年7月土壤种子库的种子数显著减少($F_{2,42} = 6.228, P < 0.05$)。土壤种子库种子数5月比上年9月减少了41.98%,7月比5月减少了73.56%。不同季节土壤种子库 RGF 差异显著($F_{2,42} = 6.929, P < 0.05$)。从9月到次年5月 RGF 增加了388.12%,从5月到7月 RGF 减少了63.86%。土壤种子库中种子以一年生、多年生草本为主,未统计到灌木种子。

2.2 土壤种子库种子发芽指数季节动态 种子发芽指数是衡量种子质量的重要参数。试验结果表明,2015年9月土壤种子库中种子发芽指数为11.833,2016年5月为10.019,2016年7月为8.686。从9月到次年7月土壤种子库种子发芽指数显著降低($F_{2,42} = 12.981, P < 0.05$)。与9月相比,次年5月种子发芽指数下降了15.33%,7月下降了26.59%。

2.3 土壤种子库种子的垂直分布和 RGF 的垂直变化 9月和次年5月土壤种子库种子数均随着土壤深度的增加显著

下降(9月: $F_{2,12} = 166.717, P < 0.05$;5月: $F_{2,12} = 10.017, P < 0.05$)。与A层相比,9月B层土壤种子库种子数降低了88.54%,C层降低了92.95%;5月B层土壤种子库种子数降低了84.76%,C层降低了90.39%(图2a)。



注:不同小写字母表示同一指标不同季节之间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different seasons

图1 不同季节土壤种子库的种子数和 RGF

Fig. 1 Seed number and RGF of soil seed bank in different seasons

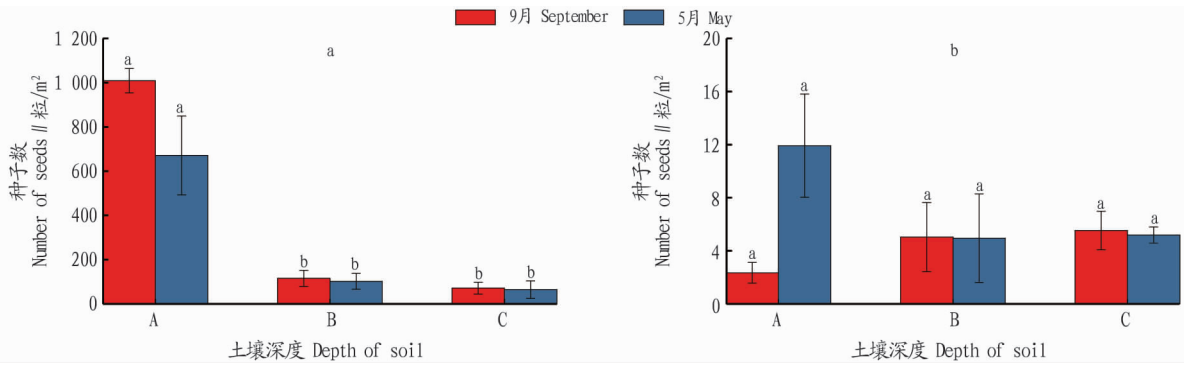
与A层相比,9月B层土壤种子库 RGF 增加了115.25%,C层增加了136.66%;5月B层 RGF 降低了58.48%,C层降低了56.45%(图2b)。

不同土壤深度快速萌发种子占土壤种子库总种子数比例不同,表现为A层(33.48%) > B层(11.54%) > C层(9.38%)。

3 结论与讨论

有研究报道,锡林郭勒盟典型草原土壤种子库密度为4 893.1~9 065.0 粒/m²^[21]。宁夏盐池县典型荒漠土壤种子库密度为792.0~1 286.0 粒/m²^[22]。该研究发现内蒙古荒漠化草原种子成熟期土壤种子库密度为999.63 粒/m²,其种子库密度远低于典型草原,与典型荒漠相似,表明这一地区草地已经明显退化,各月天童山森林土壤种子库储量为12月 > 3月 > 9月 > 6月^[23];各时期塔克拉玛干沙漠北缘土壤种子库总种子数为牧草落粒期 > 牧草返青期 > 牧草生长发育期^[24]。该研究发现各月荒漠化草原土壤种子库种子数为9月 > 5月 > 7月,表明荒漠化草原土壤种子库也具有明显季节变化趋势。种子的输入和输出是决定土壤种子库季节变化的基础,而这与物种成熟物候有关。9月是大部分物种种子成熟季,种子成熟后,除小部分种子萌发外,其余大部分种子进入休眠状态保存在土壤种子库中,此时土壤中种子总数最大。次年5—7月为生长季,种子库中大部分种子已经萌发,此时种子储量最少。

种子存活能力是影响土壤种子库组成和密度的重要因素之一^[25],种子发芽指数是衡量种子质量的重要参数。该研究发现9月种子发芽指数最高,7月最低。9月为种子成熟季,从母体脱落的新种子活力较高,经过整个生长季,土壤中活力较高的种子首先萌发,而活力较低种子存留在土



注:柱上不同小写字母表示同一季节不同深度之间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different depths in the same season

图2 土壤种子库不同深度的种子数和 RGF

Fig. 2 Seed number and RGF of soil seed bank in different depths

壤中。

荒漠化草原土壤种子库存在明显垂直分布异质性。随土壤深度的增加,土壤种子数逐渐减少。种子成熟后首先落在土壤表面,然后通过种子重力、动物干扰及其他物理过程进行二次分布。另外,土壤种子库垂直分布特征与土壤条件(土壤结构、土壤粒径大小)、动物选择性捕食有关。荒漠化草原土壤种子库的垂直分布格局与其他学者研究结果一致,均表现为 $A > B > C$ 。例如,宁夏荒漠草原不同封育年限土壤种子库储量大部分集中在 $0 \sim 5$ cm 土层, $6 \sim 10$ cm 土层分布较少^[26];不同放牧制度下短花针茅荒漠草原的土壤种子库绝大多数分布在 $0 \sim 5$ cm 土层,少数分布在 $5 \sim 10$ cm 土层内,极少数分布在 $10 \sim 15$ cm 土层内^[27]。

土壤种子库一般可分为短暂性种子库和持久性种子库两大类^[28-29]。土壤中不同位置的种子具有不同的生态学意义。土壤表面种子大多数为短暂性种子,其具有较强的萌发力,可对植被进行补充。而土壤深层种子因缺乏萌发条件通常形成持久性种子,增加生态系统稳定性^[30]。不同土壤深度快速萌发种子占土壤种子库总种子数比例不同: A 层(33.48%) > B 层(11.54%) > C 层(9.38%)。这是由于土壤表层短暂性种子较多,环境适宜即可迅速萌发,而土壤深层多为持久性种子,较长一段时间不会萌发。这也间接验证了土壤中有活力的种子一般集中在土壤表面^[30]。A 层高比例的快速萌发种子也与土壤环境有关。表层土是腐殖质层,其温度、湿度适宜,通气性良好,因此存在于表层土的种子能够快速萌发^[23]。相反,深层土壤通气性、营养状况相对较差,且外界环境对其影响较小,较稳定的环境条件促使种子休眠。

土壤种子库 RGF 在不同季节整体呈现出先上升后下降的单峰趋势,即 $9月 < 次年5月 > 7月$ 。这说明,生长季初期非禾草类种子相对于禾草类较早萌发。生长季初期 RGF 从浅层到深层呈现出先下降后上升的趋势,种子成熟期的 RGF 从浅层到深层呈现增加趋势。这说明早春 A 层非禾本科种子比禾本科种子萌发速度快,非禾本科种子的大量萌发对该地区的生态恢复具有重要作用^[31],而在 B、C 两层禾本科种子则比非禾本科种子萌发速度快,这与各种植物的生物学特

性有关^[15]。

该研究还发现土壤种子库中以一年生、多年生草本为主,未统计到灌木种子。这说明土壤种子库对于灌木更新贡献很小。曾彦军等^[16]认为,除了干旱因子以外,过度放牧也是造成天然草地种子库中主要建群植物特别是灌木和半灌木种子缺失的重要原因之一。放牧是内蒙古草原主要利用方式,近年来,过度放牧现象日趋严重。因此,笔者认为荒漠化草原未发现灌木种子的第一个原因是过度放牧降低了结实率。内蒙古荒漠化草原(朱日和)主要建群植物为锦鸡儿属灌木。研究表明,害虫对锦鸡儿种子的取食率高达 100%,危害程度极高^[32]。因此,荒漠化草原未发现灌木种子的第二个原因可能是锦鸡儿灌木种子被害虫取食。这也说明种子缺失是限制锦鸡儿属植物有性繁殖的主要原因之一。

参考文献

- [1] ZUO X A, WANG S K, ZHAO X Y, et al. Effect of spatial scale and topography on spatial heterogeneity of soil seed banks under grazing disturbance in a sandy grassland of Horqin Sand Land, Northern China[J]. Journal of arid land, 2012, 4(2): 151-160.
- [2] FENNER M. Seeds: The ecology of regeneration in plant communities[J]. Journal of ecology, 1992, 81(2): 1-17.
- [3] GIORIA M, PYŠEK P. The legacy of plant invasions: Changes in the soil seed bank of invaded plant communities[J]. Bio Science, 2016, 66(1): 40-53.
- [4] BAKKER J P, HOFFMANN F, OZINGA W A, et al. Shading results in depletion of the soil seed bank[J]. Nordic journal of botany, 2015, 32(5): 674-679.
- [5] SCHWAB A, KIEHL K. Analysis of soil seed bank patterns in an oxbow system of a disconnected floodplain[J]. Ecological engineering, 2017, 100: 46-55.
- [6] 李世雄, 马玉寿, 王彦龙, 等. 黑土滩人工草地土壤种子库季节动态研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2011, 41(5): 4-6.
- [7] 王卫, 谢小立, 谢永宏. 稻田土壤种子库研究进展[J]. 生态环境学报, 2010, 19(11): 2758-2763.
- [8] KRINKE L, MORAVCOVA L, PYŠEK P, et al. Seed bank of an invasive alien, *Heracleum mantegazzianum*, and its seasonal dynamics[J]. Seed science research, 2005, 15(3): 239-248.
- [9] 唐樱殷, 谢永贵, 余刚国, 等. 黔西北喀斯特土壤种子库季节动态及种子库对策[J]. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1454-1460.
- [10] 李雪华, 韩士杰, 宗文君, 等. 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.
- [11] 马姜明, 刘世荣, 史作民, 等. 川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3323-3333.

(下转第 22 页)

润肠通便的作用且对维持肠道菌群的平衡具有很好的功效。吕晓华等^[17]的藏茶人体试饮研究表明,受试者饮茶后排便次数增加,排便更通畅,粪便细软,更易排出,原因可能是藏茶含有较多膳食纤维,有利于促进肠道的蠕动,同时为肠道益生菌的生长繁殖创造了条件。

3 展望

综上所述,近年来雅安藏茶在抗辐射、降脂减肥等方面取得了新进展,为藏茶保健功能性方面研究开拓了新方向。但目前藏茶保健功能性研究还处于相对较低的水平,今后雅安藏茶的保健功能性研究可从以下4个方面展开:第一,应借鉴其他产地黑茶保健功能性方面研究,特别是抗癌、降血糖等方面;第二,藏茶是多种功能性成分的综合体,首先对藏茶功能性成分进行分离提纯获得活性物质单体,然后对其保健功能性展开深入研究;第三,借用其他领域的技术手段,开展藏茶活性物质作用机理方面研究;第四,目前藏茶保健功能性研究基本属于体外试验研究,应配合医学领域,多开展人体临床试验研究。

参考文献

- [1] 李朝贵,李耕冬.藏茶[M].成都:四川民族出版社,2007.
- [2] 高宇.茶马古道中的四川雅安[J].黑龙江史志,2014(7):341.
- [3] 杨琴.雅安藏茶品牌发展与传播研究[D].重庆:重庆大学,2013.
- [4] 罗莉,迟艳娜.雅安:关于藏茶的传奇[J].中国民族,2009(4):20-23.
- [5] 迟艳娜.雅安藏茶的可持续发展研究[D].北京:中央民族大学,2009.
- [6] 梅宇,王智超,林璇.2015年中国茶叶产销形势分析[J].茶世界,2016(4):21-30.
- [7] 中华全国供销合作总社.雅安藏茶:GH/T 1120—2015[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [8] 湖南省质量技术监督局.安化黑茶 茯砖茶:DB43/T 569—2010[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [9] 广西壮族自治区质量技术监督局.六堡茶:DB45/T 581—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [10] 云南省质量技术监督局.普洱茶:DB53/103—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理

委员会.地理标志产品 普洱茶:GB/T 22111—2008[S].北京:中国标准出版社,2010.

- [12] 宛晓春.茶叶生物化学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [13] 赵卉,杜晓.低咖碱茶的研究进展[J].华中农业大学学报,2008,27(4):564-568.
- [14] 谢吉林,肖海军,孙鲁云,等.滇西南茶区晒青毛茶中咖啡碱质量分数的分布规律研究[J].云南农业大学学报,2013,28(6):851-856.
- [15] 罗婧,顾颖颖,刘易成,等.不同茶叶中茶多酚和咖啡因成分的对比如分析[J].贵州茶叶,2013,41(1):10-15.
- [16] 胡燕.雅安藏茶不影响睡眠与咖啡碱含量的关系研究[J].食品工业科技,2016,37(22):131-136.
- [17] 吕晓华,徐家玉,孙冉,等.藏茶保健作用的人体试饮研究[J].食品研究与开发,2017,38(4):168-171.
- [18] 朱佳妮,张天泉,李诗竹,等.藏茶降脂减肥作用的动物实验研究[J].食品科技,2015(4):151-154.
- [19] 袁野,章斌,姚永秀,等.雅安藏茶调脂保肝及抗氧化作用研究[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2017(1):40-44.
- [20] 袁野,章斌,陆小琴,等.雅安藏茶对脂质代谢紊乱大鼠减脂降脂作用研究[J].中药药理学与临床,2016(2):161-164.
- [21] 徐甜.四川边茶茶褐素优化提取及降血脂活性研究[D].雅安:四川农业大学,2010.
- [22] 聂坤伦,何利,速晓娟,等.雅安藏茶抑制 α -淀粉酶的活性级分筛选与评价[J].食品科学,2013,34(9):74-79.
- [23] 边金霖,郭金龙,李品武,等.雅安藏茶对脂肪酶的抑制作用[J].食品科学,2015,36(3):23-28.
- [24] 赵雪,董诗竹,孙丽萍,等.海带多糖清除氧自由基的活性及机理[J].水产学报,2011,35(4):531-538.
- [25] 郭金龙,王春梅,杜晓.雅安藏茶对氧自由基清除能力评价[J].四川农业大学学报,2009,27(2):189-192.
- [26] 郭金龙.雅安藏茶活性级分筛选和评价研究[D].雅安:四川农业大学,2010.
- [27] 李解,林莉,谭晓琴,等.雅安藏茶对⁶⁰Co- γ 辐射损伤小鼠的防护作用[J].营养学报,2017,39(4):395-399.
- [28] 李解,吴家乐,谭晓琴,等.雅安藏茶多糖对⁶⁰Co- γ 射线辐照损伤小鼠抗氧化和造血功能的防护作用[J].核农学报,2017,31(8):1509-1514.
- [29] 许靖逸,李祥龙,李解,等.雅安藏茶茶褐素对⁶⁰Co γ 辐射损伤的防护作用[J].核技术,2017,40(4):7-14.
- [30] 边金霖,郭金龙,李品武,等.雅安藏茶对胃蛋白酶的促进作用[J].四川农业大学学报,2015(3):279-284.
- [31] 李解,陈雪皎,郭承义,等.雅安藏茶和低聚木糖复配物润肠通便作用[J].食品科学,2015,36(1):220-224.

(上接第6页)

- [12] 沈有信,刘文耀.长久性紫芝泽兰土壤种子库[J].植物生态学报,2004,28(6):768-772.
- [13] 张玲,方精云.秦岭太白山4类森林土壤种子库的储量分布与物种多样性[J].生物多样性,2004,12(1):131-136.
- [14] 张希彪,王瑞娟,上官周平.黄土高原子午岭油松林的种子雨和土壤种子库动态[J].生态学报,2009,29(4):1877-1884.
- [15] 赵凌平,程积民,万惠娥.黄土高原典型草原区草地土壤种子库的动态分析[J].水土保持通报,2008,28(5):60-65.
- [16] 曾彦军,王彦荣,南志标,等.阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究[J].应用生态学报,2003,14(9):1457-1463.
- [17] 杨磊,王彦荣,余进德.干旱荒漠区土壤种子库研究进展[J].草业学报,2010,19(2):227-234.
- [18] 付和平,杨泽龙,武晓东,等.不同干扰条件下荒漠区土壤种子库[J].干旱区资源与环境,2007,21(9):133-137.
- [19] 张立中,潘建伟,孙国权.草原生态环境保护与牧民生存方式的转变:苏尼特右旗实施“围封转移”战略调查研究[J].内蒙古农业大学学报(社会科学版),2002,4(3):1-3.
- [20] 侯伟峰,敖特根,董乌云嘎.朱日和镇牲畜头数与载畜量变迁研究[J].草原与草业,2016,28(1):31-36.
- [21] 李元恒,韩国栋,王正文,等.内蒙古克氏针茅草原土壤种子库对刈割和放牧干扰的响应[J].生态学杂志,2014,33(1):1-9.
- [22] 余军,马红彬,王宁.宁夏盐池荒漠草原土壤种子库动态变化研究

[J].农业科学研究,2007,28(2):36-38.

- [23] 葛斌杰,杨永川,李宏庆.天童山森林土壤种子库的时空格局[J].生物多样性,2010,18(5):489-496.
- [24] 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,2006,36(S2):110-118.
- [25] GOLOS P J, DIXON K W. Waterproofing topsoil stockpiles minimizes viability decline in the soil seed bank in an arid environment[J]. Restoration ecology, 2014, 22(4): 495-501.
- [26] 刘华,蒋齐,王占军,等.不同封育年限宁夏荒漠草原土壤种子库研究[J].水土保持研究,2011,18(5):96-98.
- [27] 闫瑞瑞,卫智军,辛晓平,等.放牧制度对荒漠草原可萌发土壤种子库的影响[J].中国沙漠,2011,31(3):703-708.
- [28] THOMPSON K, GRIME J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats[J]. Journal of ecology, 1979, 67(3):893-921.
- [29] HODGSON J G, GRIME J P, HUNT R, et al. The electronic, comparative plant ecology[J]. Journal of applied ecology, 1995, 32(4):887.
- [30] 杨宇,付美云,杨满元,等.衡阳紫色土丘陵坡地不同土地利用模式土壤种子库特征[J].西北植物学报,2014,34(11):2324-2330.
- [31] 李生,姚小华,任华东,等.黔中石漠化地区不同土地利用类型土壤种子库特征[J].生态学报,2008,28(9):4602-4608.
- [32] 罗于洋.柠条种子害虫对柠条种子生产的影响及其综合治理研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2005.