

# 黄土高原草地土壤种子库与草地更新\*

程积民 万惠娥 胡相明

(中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

## SOIL SEED BANK AND MEADOW RENEWAL IN THE GRASSLAND ON LOESS PLATEAU

Cheng Jimin Wan Huie Hu Xiangming

(Institute of Soil and Water Conservation, The Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwestern Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

关键词 黄土高原, 云雾山草原, 土壤种子库, 草原更新

中图分类号 S812.2 文献标识码 A

土壤种子库是指存在于表层土壤(包括凋落物)中具有生命的种子, 是植被天然更新的物质基础<sup>[1~3]</sup>。土壤种子库时期是植物种群生活史的一个重要阶段, 有人称为潜种群阶段, 它能部分的反映群落的历史和现状, 对退化草地生态系统的恢复起着重要的作用<sup>[4~6]</sup>。土壤种子库中的长命种子不仅具有重要的遗传学意义, 而且还被认为是植物种群基因多样性的潜在提供者<sup>[7]</sup>。所以, 土壤种子库在维持种群和群落的物种多样性和遗传多样性方面具有重要的意义<sup>[4]</sup>。在植物种群生态学研究, 土壤种子库问题一直受到广泛关注, 国外近 20 a 来, 对土壤种子库的研究一直是植物种群生态学中比较活跃的领域<sup>[5]</sup>。目前, 国内外的报道多集中于森林或湿润半湿润地区土壤种子库的研究, 对草地或半干旱区土壤种子库的研究报道较少。

我国西部的干旱与半干旱地区, 天然草地植被严重退化, 不但引起大面积生态环境恶化, 而且草地土壤种子库也受到严重破坏。例如, 黄土高原地区以本氏针茅种群为优势的草地群落受到破坏后, 多数植物的生长仅处于营养生长阶段, 往往不能开花结实, 更不能形成种子, 严重影响草地自然更新与正常恢复演替。因此, 研究封禁草地土壤种子库的形成与积累变

化过程, 对促进退化草地的自然更新、群落演替与草地植被的快速恢复具有十分重要的意义。

## 1 研究区自然概况

试验区位于宁夏固原东北部的云雾山草原自然保护区, 106°24' ~ 106°28' E, 36°13' ~ 36°19' N, 面积为 4 000 hm<sup>2</sup>, 海拔 1 800~ 2 100 m, 年平均气温 5℃。年降雨量 400~ 450 mm(1983 年~ 2003 年), 一般丰水年占 28.0%, 平水年占 35.5%, 枯水年占 36.5%, 7~ 9 月份降雨量占全年降雨量的 65%~ 75%。蒸发量 1 330~ 1 640 mm, ≥10℃积温 2 100~ 3 200℃, 干燥度 1.5~ 2.0。地势为南低北高, 阳坡平缓, 阴坡较陡, 属温凉半干旱黄土覆盖的低山丘陵区, 土壤为黄土母质上发育的淡黑垆土和黄绵土, 土层分布均匀深厚, 地下水位深, 土壤水补充能力差, 无霜期 112~ 140 d。保护区自 1982 年建立至今, 主要以本氏针茅(*Stipa bungeana*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、铁杆蒿(*Artemisia vestita*)、大针茅(*S. grandis*)、冷蒿(*A. frigida*)群落类型为主, 伴生种以猪毛蒿(*A. scoparis*)、厚穗冰草(*Aneurolepidium dasystachys*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)等群落类型为主。植物种类

\* 中国科学院水土保持研究所知识创新领域前沿项目(SW04103)、“十五”国家科技攻关计划项目(2004BA508B16)、国家自然科学基金重点项目(30230290)和面上基金项目(40371077)、国家林业局荒漠化监测专项等资助

作者简介:程积民(1955~),男,研究员,博士生导师,出版专著3部,发表论文120篇,多年来一直从事林草生态学研究。

Email:gyzcmj@ms.iswc.ac.cn

组成由保护前的 8~11 株  $m^{-2}$  增加到 25~31 株  $m^{-2}$ , 覆盖度由 20%~30% 提高到 75%~95%, 草地产量(鲜重)由 1 200~1 800  $kg\ hm^{-2}$  提高到 6 800~9 000  $kg\ hm^{-2}$ 。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验设计

试验于 1982 年开始在宁夏固原东北部的云雾山草原自然保护区进行, 每 5 a 取样测定 1 次, 取样年份为 1986 年、1991 年、1996 年和 2001 年, 草地土壤样品采集分为封禁草地和未封禁草地(对照)两种类型, 且以本氏针茅、百里香、铁杆蒿 3 种群落类型为主, 取样部位分别为坡上部、坡中部和坡下部。

### 2.2 取样方法

根据 Benoit 等<sup>[8]</sup>的报道, 在 800~1 000  $m^2$  的土地需采集 100 个土壤样本, 才能合理的统计土壤种子库中的种子数量。Barnes 等<sup>[9]</sup>在 1997 年、Dalling 等<sup>[10]</sup>在 1994 年、Tekle 等<sup>[11]</sup>在 2000 年的研究方法和样地的选择, 是在林草地的不同类型每 1 000  $m^2$  内采集 52 个土壤样本, 每个样本约 50 ml 土样。本研究是在测定年份牧草返青前, 采用水平样线法采集土壤样品, 每 30 m 采集 1 次土壤样品, 重复 6 次, 采集方法用自制直径为 20 cm 的土壤取样器, 分 0~5、5~10、10~15、15~20 cm 4 层取样, 在 1 000  $m^2$  内共采集 100 个土壤样本, 每个样本约 500 ml 土样。

### 2.3 室内测定

对采集的土壤样品在室内处理时, 首先拣出所有毛根、宿根和其他与种子无关的杂物, 然后将土壤样品放入 30 cm×30 cm×10 cm 的铝制容器中, 土壤厚度为 3 cm, 土壤水分控制在 8.0%~12% 之间, 用塑料薄膜覆盖, 从测定年份的 4~10 月放在自然光下, 每天记录土壤种子库中发芽的植物数。这种通过统计幼苗出现的数目来计算种子总数的方法与王刚等<sup>[12]</sup>、熊利民等<sup>[13]</sup>、杨允菲等<sup>[14]</sup>和 Thompson 和 Grime<sup>[15]</sup>的研究方法相一致。

### 2.4 数据处理

对采集的大量试验数据, 选用 DPS 软件中的专业统计分析方法, 进行数据处理与统计分析。

## 3 结果

### 3.1 封禁期对草地土壤种子库的影响

据丁顺利和蒋高明<sup>[4]</sup>及 Kemp<sup>[16]</sup>的研究表明

土壤种子库不仅具有季节动态, 而且也具有年际变化动态, 其主要原因是由于降雨量等气候因子的变化、引起植被的演替以及植物结实的周期性变化等。从表 1 可以看出, 不同草地封禁年限与不同土壤深度土壤种子库的数量变化过程, 随着草地封禁年限的延长, 地面凋落物的厚度由 0.5 cm 增加到 3.5 cm, 以禾本科为主有 51.3% 的植物种子悬浮于凋落物中, 致使种子成熟后进入土壤的物种数量减少, 一般土壤种子库的物种数量变化, 最高为封禁的第 10 年, 其次为第 15 年、第 20 年和第 5 年。在草地土层深度 0~20 cm 中, 封禁的第 10 年, 种子的密度最高, 可达 216 粒  $m^{-2}$ , 物种主要以禾本科为主, 占总数的 54.17%; 在封禁的第 15 年, 种子的密度为 201 粒  $m^{-2}$ , 其中禾本科种子最多, 占总数的 52.74%; 在封禁的第 20 年, 种子的密度为 158 粒  $m^{-2}$ , 其中禾本科最高, 占总数的 46.84%; 在封禁的第 5 年, 种子的密度较低, 为 126 粒  $m^{-2}$ , 其中禾本科占总数的 47.62%。封禁草地不同土壤层次种子库的密度变化, 一般 0~10 cm 土层远高于 10~20 cm。另外, 据作者在黄土高原半干旱地区人工灌木林地的调查发现, 土壤种子库的种子密度为 23 粒  $m^{-2}$ , 远低于草地。因此, 对退化草地采用封禁措施, 有利于土壤种子库的增大、天然草地的自然繁殖更新与植被的合理演替, 尤其是对我国西北部半干旱区退化草地恢复以及生态建设均有重要意义。

表 1 不同封禁期草地土壤种子数量变化(粒  $m^{-2}$ )

封禁时间 (a)	植物	种子数量				合计
		0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm	15~20 cm	
5	禾本科	33	20	4	3	60
	豆科	9	5	2	0	16
	菊科	6	3	2	1	13
	杂类草	19	10	6	2	37
10	禾本科	61	53	3	0	117
	豆科	10	8	3	2	23
	菊科	8	6	3	1	18
	杂类草	31	16	8	3	58
15	禾本科	58	45	3	0	106
	豆科	12	7	1	3	23
	菊科	8	5	3	4	20
	杂类草	24	13	9	6	52
20	禾本科	40	29	3	2	74
	豆科	9	6	2	0	17
	菊科	6	4	6	1	17
	杂类草	25	13	7	5	50

### 3.2 不同草地群落类型土壤种子库的物种变化

通过云雾山草原水平样线法的采样及其土壤内种子的自然发芽试验, 可以观察到本氏针茅、百里

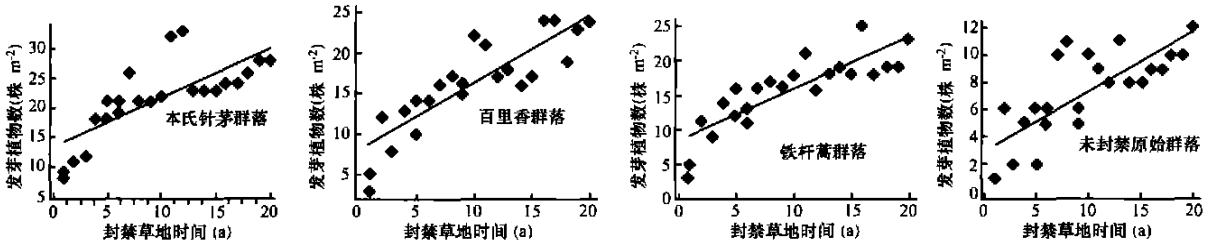


图 1 不同草地群落土壤种子库的物种变化

香、铁杆蒿3种群落类型土壤种子库中的物种变化

情况(见图1), 随着草地群落封禁年限的延长, 土壤种子库中的植物种子数量大幅度增加, 3种主要群

落类型增长趋势基本一致。

通过回归方程的计算, 本氏针茅群落  $y = 13.19 + 0.8459x$ ,  $R^2 = 0.5903$ ,  $p < 0.01$ ; 百里香群落  $y = 10.67 + 0.993x$ ,  $R^2 = 0.8764$ ,  $p < 0.01$ ; 铁杆蒿群落  $y = 8.41 + 0.741x$ ,  $R^2 = 0.7079$ ,  $p < 0.01$ ; 对照(未封禁草地)为  $y = 2.89 + 0.435x$ ,  $R^2 = 0.6087$ ,  $p < 0.01$ 。式中  $y$  为发芽植物数,  $x$  为封禁草地时间,  $R^2$  为相关系数,  $p$  为 1% 检验水平的显著性检验。从以上统计分析结果看出, 试验相关性极为显著, 封禁草地的 3 种群落土壤种子库中的植物种子密度均比未封禁草地提高 38.5%~53.6%, 且出现的物种主要以本氏针茅、厚穗冰草、香茅草、扁穗冰草、大针茅、短花针茅等禾本科植物为主, 其次为杂类草、菊科和豆科。一般在本氏针茅草地群落中, 土壤种子库出现的禾本科植物占 69%, 菊科占 10%, 豆科占 8%, 杂类草占 13%; 百里香草地群落中, 土壤种子库出现的禾本科植物占 63%, 菊科占 12%, 豆科占 5%, 杂类草占 20%; 铁杆蒿草地群落中, 土壤种子库中出现的植物禾本科占 65%, 菊科占 13%, 豆科占 7%, 杂类草占 15%。

从云雾山封禁草地不同类型中看出, 20 a 来在外界无任何干扰的条件下, 3 种类型的草地群落结构、植物生长的时序变化与其土壤种子库的物种组成相一致, 这说明地面植物组成与土壤种子库相互制约相互促进。封禁草地的自然更新与进展演替, 显著促进了群落中优良牧草的种类和密度的增加, 使草地质量得到较大改善, 尤其是 3 种群落中出现种群个体数量最多的为本氏针茅, 而百里香和铁杆蒿种群因受本氏针茅种群间竞争的影响, 个体数量逐渐减少, 致使前者为增长型种群, 后者为下降型种群, 这充分表明草地封禁是黄土高原地区退化草

地土壤种子库保护和草地植被恢复的有效途径, 也是改变草地质量的主要措施。

### 3.3 不同坡位草地土壤种子库的物种变化

通过对该区草地优势种群本氏针茅群落土壤种子库的种子, 进行自然发芽试验, 测定结果(见图2)表明, 在草地的坡上、坡中和坡下 3 种不同坡位类型中, 随着草地群落封禁年限的延长, 土壤种子库的物种数量也在大幅度增长, 3 种坡位类型其增长趋势和出现的物种基本相一致, 但由于受不同坡位自然条件和环境因子的影响, 物种数量组成差异较大。

回归方程为, 坡上部  $y = 1.67 + 0.549x$ ,  $R^2 = 0.766$ ,  $p < 0.01$ ; 坡中部  $y = 2.24 + 0.676x$ ,  $R^2 = 0.8009$ ,  $p < 0.01$ ; 坡下部  $y = 5.42 + 0.879x$ ,  $R^2 = 0.7712$ ,  $p < 0.01$ 。式中,  $y$  为发芽植物数,  $x$  为封禁草地时间,  $R^2$  为相关系数,  $p$  为 1% 检验水平的显著性检验。从统计分析看出, 在 3 种坡位类型中, 土壤种子库的数量变化为坡下部 > 坡中部 > 坡上部, 出现的植物主要以本氏针茅、厚穗冰草、香茅草、扁穗冰草、大针茅、短花针茅等禾本科为主, 其次为菊科、豆科和杂类草。在本氏针茅草地群落中, 土壤种子库中出现的禾本科植物占 58%, 菊科占 8%, 豆科占 8%, 杂类草占 26%; 在百里香草地群落中, 土壤种子库中出现的禾本科植物占 67%, 菊科占 10%, 豆科占 7%, 杂类草占 16%; 在铁杆蒿草地群落中, 土壤种子库中出现的禾本科植物占 68%, 菊科占 9%, 豆科占 8%, 杂类草占 15%。由此看出, 坡位对土壤种子库的影响较大, 这主要是受降雨和风力的作用, 在植物种子成熟期间, 天然降雨多以暴雨出现, 形成地表径流, 使泥土与种子混合自上而下层层拦截。同时, 当地为多风气候, 风力也可不断推动大量种子漂移。

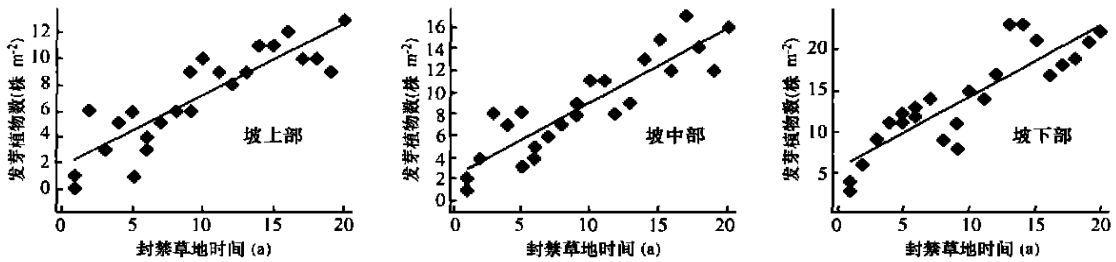


图2 封禁草地不同坡位土壤种子库植物种数变化

## 4 结论

在黄土高原半干旱区,通过 20 多年土壤种子库的定位试验研究,系统分析了宁夏云雾山典型草原本氏针茅、百里香和铁杆蒿群落土壤种子库的时空变化过程。研究表明,云雾山不同种群或群落土壤种子库的密度、物种组成与土壤深度具有较大差异,一般情况下,浅层土壤> 深层土壤,禾本科> 杂类草> 豆科> 菊科。在封禁草地中,土壤种子库物种的密度随时间的延长不断增加,高峰期为封禁的第 10 年,增长幅度为 126~ 216 粒  $m^{-2}$ , 均比未封禁草地提高 38.5%~ 53.6%。这与 Dessaint 等对撂荒地的土壤种子库研究结论相吻合,即随着演替的进行,土壤种子库密度增加<sup>[17]</sup>。封禁草地土壤种子库中出现种子数量最多的为禾本科,其次是杂类草和豆科,菊科出现数量很少。而未封禁的过渡放牧草地,土壤种子库的物种数量远低于封禁草地,且多为杂类草,并无明显的优势种,这说明放牧和人为活动的长期干扰可降低土壤种子库的物种密度,严重影响地上植被的自然更新与种群组成。

据 Holzapfel 等的研究发现,随着干燥度的提高,地面植被与土壤种子库或种子雨的相似性在提高,一年生植物的个体数占总物种数量的比例有增加趋势<sup>[18, 19]</sup>。本研究同样发现,随着干旱年份的出现,土壤种子库一年生和二年生的植物物种数量也在增加。由此看出,云雾山草地土壤种子库的最佳积累期与草地的自然恢复期相一致,草地土壤种子库的物种组成与地上植物的结构具有较强的相似性,在草地植被的植物组成中主要以禾本科为主,其次是杂类草和豆科,形成了具有明显特色的黄土高原草地植被群落景观<sup>[20]</sup>。

草地土壤种子库与草原更新有着密切的关系,但多数种子并不能很快发育成群落,因为多年生草地植物的组成不单靠种子繁殖,更重要的是靠营养繁殖来

扩大群落,所以,多数种子虽然具有较强的生命力,成活率较高,但成苗率却很低,植物群落的演替主要依靠保存下来的实生幼苗进行营养繁殖,扩大植株的覆盖度,促进草地的自然更新,该草地形成的群落较为单一,多以禾本科为主。所以,草地无论是种子繁殖还是营养繁殖,最初都是由种子繁殖而来的。

## 参考文献

- [1] 安树青,林向阳,洪必恭. 宝华山主要植被类型土壤种子库初报. 植物生态学报, 1996, 20(1): 41~ 50
- [2] 上官铁梁,许念,贾志力,等. 汾河太原段河漫滩草地土壤种子库研究. 草业科学, 2002, 19(3): 30~ 33
- [3] Moles A T, Drake D R. Potential contribution of the seed rain and seed bank to regeneration of native forest under plantation pine in New Zealand. New Zealand Journal of Botany, 1999, 37: 83~ 93
- [4] 丁顺利,蒋高明. 土壤种子库研究进展及几个热点问题. 植物生态学报, 2003, 27(4): 552~ 556
- [5] 林文智,郭耀伦,陈永修,等. 台湾南部多纳针阔叶林土壤种子库与森林更新. 台湾林业科学, 2004, 19(1): 33~ 42
- [6] 张玲,方精云. 太白山南坡土壤种子库的物种组成与优势成分的垂直分布格局. 生物多样性, 2004, 12(1): 123~ 130
- [7] Harper J L. Population Biology of Plant. London: Academic Press, 1977. 256~ 263
- [8] Benoit D L, Kenkel N C, Cavers P B. Factors influencing the precision of soil seed bank estimates. Canadian Journal of Botany, 1989, 67: 2 833~ 2 840
- [9] Bames B V, Zak D R, Denton S R. Forest Ecology. New York: Wiley, 1997. 94~ 121
- [10] Dalling J W, Swaine M D, Garwood N C. Effect of soil depth on seedling emergence in tropical soil seed bank investigations. Funct. Ecol., 1994, 9: 119~ 121
- [11] Tekle K, Bekele T. The role of soil seed banks in the rehabilitation of degraded hill slopes in southern Wello, Ethiopia. Biotropica, 2000, 32: 23~ 32
- [12] Wang G, Liang X G. The dynamics of seed bank on Shapotou artificially stabilized dunes. Acta Botanica Sinica, 1995, 37: 231~ 237
- [13] Xiong L M, Zhong Z C, Li X G, et al. A preliminary study on the soil bank of different successional stages of subtropical evergreen broad leaved forest. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica,

- 1992, 16:249~ 257
- [14] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原盐碱植物群落种子库的比较分析. 植物生态学报, 1995, 19(2): 144~ 148
- [15] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed bank of herbaceous species in the contrasting habitats. Journal of Ecology, 1979, 67:893~ 921
- [16] Kemp P R. Seed bank and vegetation processes in deserts. In: Leck M A, Parker V T, Simpson R L. eds. Ecology of Soil Seed Bank. San Diego: Academic Press, 1989. 257~ 282
- [17] Dessaint F, Chadoeuf R, Barralis G. Nine years soil seed bank and weed vegetation relationships in an arable field without weed control. Journal of Applied Ecology, 1997, 34:123~ 130
- [18] Holzapfel C, Schmidt W, Shmida A. Effects of human caused disturbances on the flora along a Mediterranean desert gradient. Flora, 1992, 186: 261~ 270
- [19] Holzapfel C, Schmidt W, Shmida A. The role of seed bank and seed rain in the recolonization of disturbed sites along an aridity gradient. Phytocoenologia, 1993, 23: 561~ 580
- [20] 朱显漠, 祝一志. 论中国黄土高原土壤与环境. 土壤学报, 1992, 29(4): 351~ 357