

鼠类对山杏种子存活和萌发的影响

张知彬, 王福生

(中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 山杏 (*Prunus armeniaca*) 是广布于北京山区阳坡的矮林或灌丛, 易生存在土壤贫脊、干旱、或严重退化的山坡、裸地, 对于保护生态环境, 减少水土流失及促进山区经济发展均具有重要作用。有关鼠类在山杏更新中作用的研究较少, 本研究主要是确定影响山杏更新的鼠类种类、鼠类对山杏种子的取食压力、人工埋藏种子及植被因素对种子存活和萌发的影响。于 1997 年 10 月 3~4 日, 采用夹捕法同时调查取食花生和山杏种子的鼠类种类及种群密度。于 1997 年 9 月 24~25 日, 通过在地表放置山杏种子, 调查在鼠类取食下, 地表种子消失的速度。于 1997 年 10 月 20 日, 作种子埋藏实验, 调查种子存活及萌发情况。于 1997 年 10 月 26 日, 进行扣网实验, 研究网内、外山杏种子存活及萌发情况。结果表明: 大林姬鼠 (*Apodemus speciosus*)、社鼠 (*Rattus confucianus*)、黑线姬鼠 (*Apodemus agrarius*) 为取食山杏种子的主要鼠类种类; 与取食花生相比, 社鼠更偏爱山杏种子, 大林姬鼠对山杏种子喜食性略低, 黑线姬鼠对二者喜食程度相近; 山杏种子放置地表后 1、10、20、30 d 的消失率分别为 13.06%、64.46%、90.70%、96.69%; 扣网实验说明, 山杏在地表的萌发率极低, 生长也慢; 而埋入土层内可明显提高萌发率和生长率 (若除去鼠类的取食, 萌发率还要高); 人工埋藏实验表明, 将山杏种子埋入土层 5 cm 后, 能够有效地减少鼠类对种子的取食; 通过分析山杏种子萌发与植被的关系, 发现山杏易在开阔、阳光充分的草丛中存活和生长, 而不易在阴闭的灌丛下存活和生长。

关键词: 鼠类; 山杏; 更新; 人工埋藏; 种子存活; 种子萌发

Effect of rodent predation on seedling survival and recruitment of wild apricot

ZHANG Zhi-Bin, WANG Fu-Sheng (National Key Laboratory of Integrated Management on Pest Rodents and Insects, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (11): 1761~1768.

Abstract: Wild apricot (*Prunus armeniaca*) low forests or shrubs are widely distributed in sunny slopes of mountains in Beijing. Wild apricot survives in very harsh dry environments with poor soil or in degenerated hills, so it plays an important role in conserving environments and reducing soil erosion as well as facilitating economic development in the undeveloped countryside. Few attempts were made to study the interaction between rodents and apricot. This study aims to identify rodent species of removing apricot seeds, seed disappearance under rodent predation, and effects of burial and wire mesh cover on seedling recruitment. On October 3~4, 1997, wooden snare traps baited with peanuts and apricot seeds were used for identifying rodent species of removing apricot seeds. Seed removal was studied by placing apricot seeds on surface between September 24~25, 1997. Seed survival and seedling recruitment were studied by burying apricot seeds 5 cm deep in soil on October 20, 1997, and also by using wire meshes on October 26, 1997. *Apodemus speciosus*, *Rattus confucianus*, *Apodemus agrarius* were identified to be seed-eaters of apricot. *R. confucianus* preferred apricot seeds to peanuts. The other species showed little difference in food preference between apricot seeds and peanuts. The removal proportions of seeds within 1, 10, 20, 30 days

基金项目: 国家自然科学基金 (39893360)、中国科学院重大重点研究 (KZ951 B1-106, KZ952 S1-107) 资助项目

收稿日期: 2000-02-18; **修订日期:** 2000-10-20

郝守身、孟智斌提供野外帮助, 谨表谢意。

作者简介: 张知彬 (1964~), 男, 博士, 研究员, 主要从事鼠类种群动态及生态系统功能研究 (Zhangzb@panda.ioz.ac.cn)。

were respectively 13.06%, 64.46%, 90.70% and 96.69% after seed placement on surface. The seedling recruitment was lower when seeds were placed on soil surface and protected in wire meshes than that when seeds were buried 5 cm deep in soil outside wire meshes without protection from seed predation by rodents. Burial in soil 5 cm deep was found effective in reducing seed predation and increasing seedling survival. Seedling recruitment was found to positively correlated with grass cover and height, while negatively correlated with shrub cover and height.

Key words: rodent; apricot; regeneration; burial; seed survival; seedling recruitment

文章编号: 1000-0933(2001)11-1761-08 中图分类号: Q143, Q948.12+2.6 文献标识码: A

鼠类作为生态系统中的一个重要功能群,在森林更新中发挥着重要作用^[1]。一方面,鼠类对植物种子有很大的取食压力,不利于森林更新^[2];另一方面,许多植物的更新又必须依赖鼠类对种子的散布和埋藏,对森林更新是有利的^[3-5]。过去的研究较偏重于鼠类的有害作用,对其有利的作用研究不多。

山杏(*Prunus armeniaca*)是广布于北京山区 600~1200m 阳坡的矮林或灌丛,属先锋植物,能较快地侵入经砍伐、过度放牧等严重退化的山坡、裸地,易生存在土壤贫脊、干旱的环境中,因而对于保护生态环境,减少水土流失有重要作用。山杏还是山区的经济野生果木,杏仁可入中药,并是杏仁露等饮料的主要原料。山杏嫁接后杏仁变得很大,俗称大扁杏,具有更好的经济价值。因此,搞好野生山杏资源的管理,促进山杏的更新,不仅有利于环境保护,还有利于当地山区经济发展。山杏种子一般在 6 月份成熟,次年 5 月份萌发。有关山杏种子更新与鼠类之间关系的研究非常少,作者曾开展过初步研究。本文研究主要确定影响山杏更新的鼠类种类、鼠类对山杏种子的取食压力、人工埋藏种子及植被因素对种子存活和萌发的影响。

1 研究方法

研究地点位于北京市门头沟区齐家庄梨园岭附近的山坡上。由于近百年的砍伐、过度放牧等,山坡上植被较差,主要为稀疏的矮灌丛和草丛。荆条(*Vitex negundo*)、山杏、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、二色胡枝子(*Lespedeza bicolor*)为优势矮灌丛。白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、黄背草(*Themeda japonica*)、白莲蒿(*Artemisia gmelinii*)、肥披肩草(*Elymus excelsus*)、早熟禾(*Poa* spp.)等为常见草本植物。本区植被、土壤等详尽描述可参见马克平等文献^[6]。

于 1997 年 10 月 3~4 日,选取 3 块灌丛和 1 块弃耕地,采用夹捕法调查取食山杏种子的鼠类种类,每块样地置木板夹 25 个,连捕 2d,诱饵为新鲜、成熟的山杏种子;另选择 16 块样地,每块样地置木板夹 25 个,连捕 2d,诱饵为新鲜花生仁(表 1)。于 1997 年 9 月 24~25 日,选取 3 条样线,在每条样线上选取 5 个样点,间距 10 m,每样点地表放置一堆 10 粒山杏,以后调查地表种子消失的情况(表 2)。1997 年 10 月 20 日,选取 12 块样地,作种子直播实验,每块在 1m² 的范围内埋藏 25 粒山杏种子,深 5 cm,次年调查种子萌发情况,并记录地表植被(表 3)。1997 年 10 月 26 日,进行扣网实验,选取一样线,选取 10 样点,间距 10 m,每样点各埋入土层中一个高 50 cm(土内埋入 20 cm),半径 15 cm 的铁丝网(网眼 10 mm),网上顶、下底均用网密封,鼠类不能进入取食种子。网内地表放置 10 粒山杏种子,网外埋 10 粒山杏种子,深 5 cm,次年检查种子萌发情况,并记录地表植被(表 4)。本实验的山杏种子实际上为种子加内果皮。

采用 SPSS For Window 软件包作统计分析,用非参数 Chi-square Test 或 Binomial Test 检验两种夹捕法得到的鼠种组成和夹捕率差异的显著性(表 1)。用 Pearson 相关(Pearson correlation)分析出苗率与地表植被的相关显著性(表 5、6)。用双尾配对 *t* 检验(2-tailed paired *t*-test)分析网内、外山杏苗高度的差异显著性。用双尾独立 *t* 检验(2-tailed independent *t*-test)分析网内、外山杏出苗率的差异显著性。

2 研究结果

2.1 取食山杏种子的鼠类

用山杏种子作诱饵捕鼠得到的结果表明,大林姬鼠(*Apodemus speciosus*)、社鼠(*Rattus confucianus*)、黑线姬鼠(*Apodemus agrarius*)为取食山杏种子的主要鼠种种类,分别占 57.1%、25%、17.9%,平均夹捕率为 14%;用花生作诱饵捕鼠得到的结果表明,大林姬鼠、社鼠、黑线姬鼠、大仓鼠(*Cricetulus triton*)为取食

花生的主要鼠种种类,分别占 63.9%、8.2%、20.0%、7.2%,平均夹捕率为 12.5%(表 1,图 1),统计分析表明:与取食花生相比,社鼠更偏爱山杏种子,大林姬鼠对山杏种子喜食性略低,黑线姬鼠对二者喜食程度相近;对大仓鼠,尚不能肯定有差异(表 1)。两种方法得到的夹捕率接近,与 1993~1995 年的夹捕率(5.4%)相比,1997 年鼠类种群密度为中高数量年(表 1)。

表 1 用花生仁、山杏种子作诱饵,采用夹捕法得到的鼠类数量和种类

Table 1 Rodent composition and abundance by using snare traps baited with peanuts and apricot seeds

诱饵 Bait	有效夹数 Traps	大林姬鼠 <i>A. speciosus</i>	社鼠 <i>R. rattus</i>	黑线姬鼠 <i>A. agrarius</i>	大仓鼠 <i>C. triton</i>	捕鼠总数 Total	夹捕率(%) Trap success
花生仁 Peanut	774**	62(63.9%)	8(8.2%)	20(20.6%)	7(7.2%)	97	12.5
山杏 Apricot	200	16(57.1%)	7(25%)	5(17.6%)	0(0%)	28	14.0
卡方值* Chi-square		3.877	12.018	0.12			1.657
显著性 Sig. level		0.049	0.001	0.915	0.131 [#]		0.198

非参数 Nonparametric Binomial Test; * 非参数 Nonparametric Chi-square Test; ** 指有效置夹数,即总置夹数减去丢失夹数 Effective trap numbers, i. e. numbers of the lost traps removed;括号内为各鼠种所占比例 The numbers in brackets are the proportion of different rodent species

表 2 放置地表后山杏种子的消失情况

Table 2 Seed removal by rodents after apricot seeds were placed on surface

样地 Site	样点 Plot	日期 Date(Month/day)				
		9/24	9/25	9/26	10/6	10/26
1	1	10	10	10	0	0
	2	10	10	10	10	0
	3	10	10	10	0	0
	4	10	10	10	0	0
	5	10	10	10	0	0
2	1	10	10	10	0	0
	2	10	9	9	1	4
	3	10	0	0	0	0
	4	10	3	2	0	0
	5	10	0	0	0	0
3	1		10	10	10	0
	2		10	10	0	0
	3		10	10	10	0
	4		10	10	9	0
	5		10	10	0	0
总计		100	122 (72)*	121	43	1

* 为 9 月 25 日样地 1 和样地 2 山杏种子之和 The subtotal of site 1 and site 2 on Sept. 25

$$\phi_1 = [1 - (72 + 121)/(100 + 122)] \cdot 100\% = 13.06\%$$

$$\phi_2 = (1 - 43/121) \cdot 100\% = 64.46\%$$

$$\phi_3 = (1 - 4/43) \cdot 100\% = 90.70\%$$

$$\phi_4 = (1 - 4/121) \cdot 100\% = 96.69\%$$

结果表明,由于鼠类的取食,山杏种子放在地表后丢失的速度很快(图 2)。释放地点没有发现被鼠就地取食的种子残片。

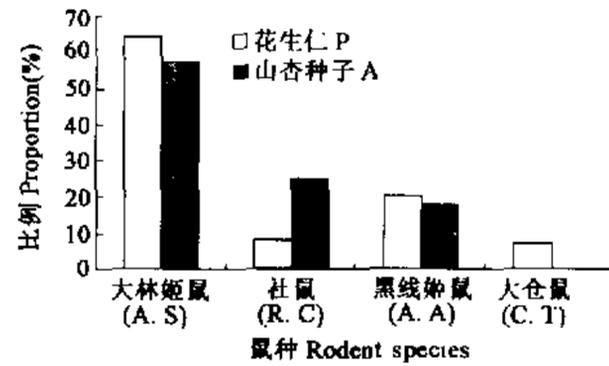


图 1 用花生仁和山杏作诱饵夹捕到的鼠类组成
Fig. 1 Rodent composition investigated by wooden snare traps baited with peanuts and apricot seeds. A. S. *Apodemus speciosus*, R. C. *Rattus confucianus*, A. A. *Apodemus agrarius*, C. T. *Cricetulus triton*. P Peanuts, A Apricot

2.2 地表种子消失率

表 2 为 1997 年 9 月 24~25 日在 3 块样地 15 个样点的地表释放 150 粒山杏种子后种子消失的情况。第 1、10、20、30 天的消失率(ϕ)分别记为 $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ 估计为:

$$\phi_1 = [1 - (72 + 121)/(100 + 122)] \cdot 100\% = 13.06\%$$

$$\phi_2 = (1 - 43/121) \cdot 100\% = 64.46\%$$

$$\phi_3 = (1 - 4/43) \cdot 100\% = 90.70\%$$

$$\phi_4 = (1 - 4/121) \cdot 100\% = 96.69\%$$

表 3 人工埋藏 5 cm 后山杏种子萌发情况
Table 3 Seedling recruitment of apricot after seeds were buried in soil 5 cm deep

	样点 Plot												平均 (M±SD)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
种子数 Seed numbers	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25±0
出苗数 Seedling numbers	13	7	10	0	4	9	5	1	15	9	3	13	7.4±4.9
苗高 Seedling height (cm)	7.6±2.4	9.4±3.7	8±2.6	-	5.3±0.6	12±4.0	11.3±2.9	10	16.2±3.2	15.7±1.6	13.3±2.5	15.2±2.0	13.9±3.9
草盖度 Grass cover (%)	20	40	20	0	10	50	50	20	70	90	20	60	37.5±27.0
草高 Grass height (cm)	11	10	10	0	25	20	16	30	21	20	15	23	16.8±8.1
灌盖度 Shrub cover (%)	0	0	0	30	0	30	10	10	0	0	20	20	10±12.1
灌高 Shrub height (cm)	0	0	0	54	0	100	100	80	0	0	400	500	102.8±168.5

表 4 网内外山杏种子萌发情况
Table 4 Seedling recruitment of apricot when seeds were placed on soil surface inside wire meshes (P) or buried in soil 5cm deep outside wire meshes without protection (NP)

	样点 Plot												平均 (M±SD)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10	
种子数 Seeds numbers	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
出苗数 Seedling numbers	4	1	0	2	7	7	3	0	2	0	0	2	2.6±2.7
苗高 Seedling height (cm)	16.8±5.0	13	-	7.5±2.1	9.3±2.9	10.3±4.0	17.7±6.4	-	17±0	-	-	-	12.3±5.1
草从 Grass cover (%)	50	10	0	70	60	70	30	40	60	9.5±5.7	-	70	5.2±3.5
灌丛 Shrub cover (%)	20	15	0	14	19	27	24	20	50	60	70	30	46±25.5
高度 Height (cm)	40	50	90	10	0	10	60	10	0	0	0	40	21.9±12.9
高度 Height (cm)	80	100	150	150	0	150	150	150	0	0	0	150	35±29.9
高度 Height (cm)													108±62.1

表 5 扣网实验中山杏种子萌发与植被的相关系数(Pearson 相关)

Table 5 Pearson correlation between seedlings of apricot and vegetation in seed exclosure experiment

		出苗数 Seedling numbers	苗高(cm) Seedling height	草盖度(%) Grass cover	草高(cm) Grass height	灌盖度(%) Shrub cover	灌高(cm) Shrub height
出苗数	<i>R</i>	1.000					
Seedling numbers	<i>P</i>						
	<i>N</i>	10					
苗高	<i>R</i>	0.231	1.000				
Seedling height (cm)	<i>P</i>	0.521	—				
	<i>N</i>	10	10				
草盖度	<i>R</i>	0.621	0.159	1.000			
Grass cover (%)	<i>P</i>	0.055	0.660	—			
	<i>N</i>	10	10	10			
草高	<i>R</i>	0.171	0.392	0.578	1.000		
Grass height (cm)	<i>P</i>	0.636	0.071	0.080	—		
	<i>N</i>	10	10	10	10		
灌盖度	<i>R</i>	-0.645	-0.206	-0.860	-0.611	1.000	
Shrub cover (%)	<i>P</i>	0.044	0.567	0.001	0.061	—	
	<i>N</i>	10	10	10	10	10	
灌高	<i>R</i>	-0.205	-0.460	-0.188	-0.459	0.532	1.000
Shrub height (cm)	<i>P</i>	0.571	0.181	0.603	0.182	0.113	—
	<i>N</i>	10	10	10	10	10	10

R 相关系数 Correlation coefficient, *P* 显著水平 Significance level, *N* 样本大小 Sample size

表 6 种子埋藏实验中山杏种子萌发与植被的相关系数(Pearson 相关)

Table 6 Pearson correlation between seedlings of apricot and vegetation in seed burial experiment

		出苗数 Seedling numbers	苗高(cm) Seedling height	草盖度(%) Grass cover	草高(cm) Grass height	灌盖度(%) Shrub cover	灌高(cm) Shrub height
出苗数	<i>R</i>	1.000					
Seedling numbers	<i>P</i>	—					
	<i>N</i>	12					
苗高	<i>R</i>	0.559	1.000				
Seedling height (cm)	<i>P</i>	0.059	—				
	<i>N</i>	12	12				
草盖度	<i>R</i>	0.592	0.842	1.000			
Grass cover (%)	<i>P</i>	0.043	0.001	—			
	<i>N</i>	12	12	12			
草高	<i>R</i>	0.117	0.560	0.365	1.000		
Grass height (cm)	<i>P</i>	0.718	0.058	0.244	—		
	<i>N</i>	12	12	12	12		
灌盖度	<i>R</i>	-0.369	-0.155	-0.195	-0.176	1.000	
Shrub cover (%)	<i>P</i>	0.238	0.631	0.543	0.585	—	
	<i>N</i>	12	12	12	12	12	
灌高	<i>R</i>	0.003	0.377	0.066	0.187	0.540	1.000
Shrub height (cm)	<i>P</i>	0.992	0.227	0.838	0.560	0.070	—
	<i>N</i>	12	12	12	12	12	12

R 相关系数 Correlation coefficient, *P* 显著水平 Significance level, *N* 样本大小 Sample size

2.3 扣网实验

表3为网内外山杏种子萌发及生长情况。网外的出苗率为26%，而网内出苗率仅为6%，二者差异显著($t = 2.301$, $df = 9$, $p = 0.047$, 配对 t 检验);网外的苗高度为 12.3 ± 5.1 cm, 而网内苗高仅为 5.2 ± 3.5 cm, 二者差异显著($t = 3.206$, $df = 30$, $p = 0.03$, 独立 t 检验)(图3)。说明山杏在地表的萌发率极低, 生长也慢; 而埋入土层内可明显提高萌发率和生长率(若除去鼠类的取食, 萌发率还要高)。

2.4 人工埋藏实验

人工埋藏后, 山杏种子平均萌发率为29.6%, 高 13.9 ± 3.9 cm, 与扣网实验中网外结果类似(表4, 图3)。本实验表明, 将山杏种子埋入土层5 cm后, 能够有效地减少鼠类对种子的取食。

2.5 山杏种子萌发与植被的关系

表5、表6分别给出了扣网实验和人工埋藏实验中山杏种子萌发率和高度与草盖度、高度及灌丛盖度和高度的相关关系(Pearson 相关)。在扣网实验中, 发现出苗率与草盖度成明显正相关($p = 0.055$), 而与灌丛盖度成显著负相关($p = 0.044$), 山杏苗高与草高度成明显的正相关($p = 0.071$)。在人工埋藏实验中, 发现出苗率与草盖度成显著正相关($p = 0.043$), 山杏苗高与草盖度成极显著正相关($p = 0.001$), 与草高度成明显正相关($p = 0.058$)。图4给出了相关明显或显著的山杏种子萌发与植被的几个关系图(a, b; 扣网实验; c, d; 人工埋藏实验)。两个实验的结果都说明山杏易在开阔、阳光充分的草丛中存活和生长, 而不易在阴闭的灌丛下存活和生长。

3 讨论

研究表明, 取食山杏种子的鼠类主要是大林姬鼠、社鼠和黑线姬鼠。这3种鼠均是研究区的主要优势种类。由于山杏种子坚硬的外壳, 显然只有鼠类才能取食它。相比之下, 社鼠更喜食营养丰富的山杏种子, 可能是因为社鼠个体较大, 优先取食大且营养较高的种子的缘故。本区共有鼠类11种, 比较常见的种类还有大仓鼠(*Cricetulus triton*)、棕背鼯(*Clethrionomys rufocanus*)、岩松鼠(*Sciurotamias davidianus*)、花鼠(*Eutamias sibiricus*)等^[11]。野外观察表明, 岩松鼠、花鼠比较喜食山杏种子, 但由于数量相对低, 没有被夹捕到。通过室内饲喂实验, 发现大仓鼠也取食山杏种子。这说明, 大部分鼠类均取食山杏种子, 但山杏种子的命运显然主要与优势鼠类有关。

人工埋藏实验表明将植物种子埋入土层内能有效地减少鼠类的取食, 并能增加出苗率, 这与以往文献中的许多报道一致^[4, 11, 15]。鼠类主要依赖嗅觉寻找食物, 将种子埋入土中显然是减弱了种子散发的气味。但是, 在我们埋藏种子的大部分样点, 仍然可以看到鼠类挖掘的痕迹, 说明还是有不少种子被鼠类挖走。由于土中湿度较高, 埋入土中的种子比较容易萌发; 而放在地表的种子由于风吹日晒, 缺乏湿度, 很难发芽。山杏种子要成功侵入土壤贫瘠、干旱的裸地, 非常依赖鼠类的埋藏作用, 否则萌发率很低。尽管在秋季释放的山杏的种子的91.7%将最终被鼠类吃掉, 仍然有少量的种子可以逃逸鼠类的破坏。野外调查也表明, 山杏的实生苗(1年生)随处可见, 表明山杏的自然更新良好, 可见, 山杏与鼠类的关系是一种典型互惠的协同进化关系。

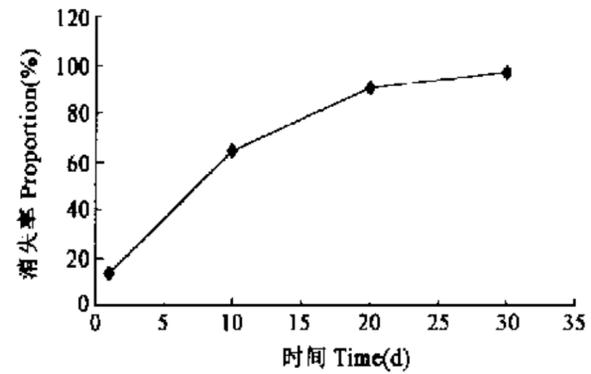


图2 山杏种子放置地表后1d, 10d, 20d, 30d的消失率

Fig. 2 Seed removal by rodents within 1, 10, 20 and 30 days when seeds were placed on surface

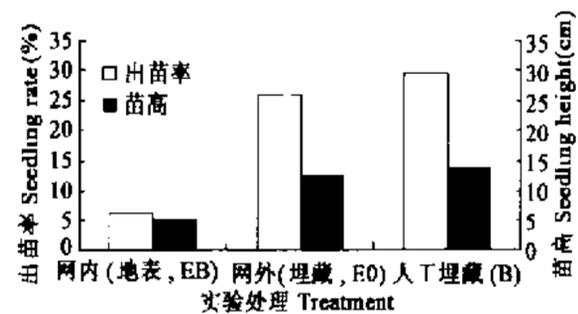


图3 扣网实验和人工埋藏实验中山杏种子存活和萌发的情况

Fig. 3 Seedling recruitment of apricot when seeds were protected in wires meshes and/or buried in soil. EB: protected without burying. EO: protected with burying.

B: buried without protection.

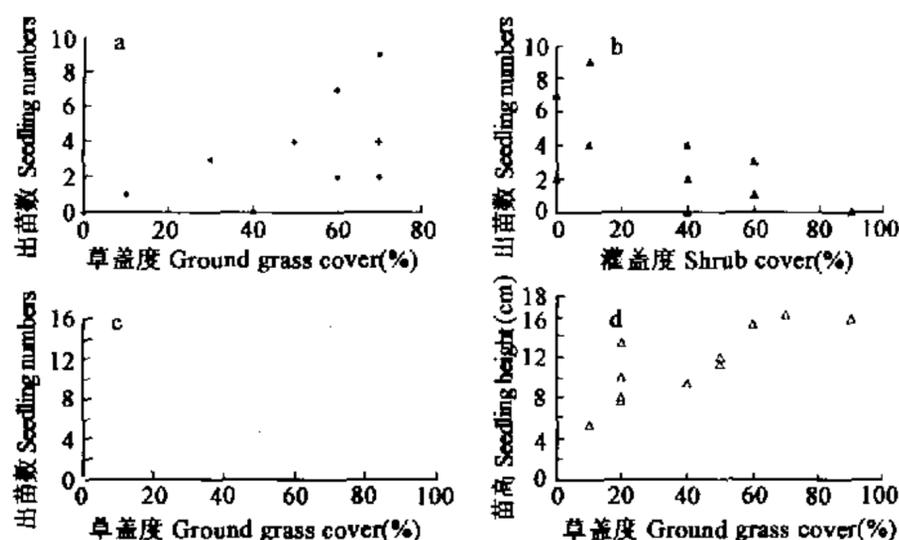


图4 山杏种子萌发与植被的关系; a, b 为扣网实验; c, d 为人工埋藏实验

Fig. 4 Correlation between seedling recruitment and vegetation; a, b; Exclusion experiment; c, d; Burial experiment

本研究表明,开阔、阳光充分的草丛有利于山杏种子存活和生长,而阴闭的灌丛不利于山杏种子存活和生长。这也进一步印证了山杏是一种喜阳的先锋植物。除了植物间的竞争外^[19,20],鼠类对栖息环境的喜好也可能影响种子的存活^[4,21-24]。当地表植被密闭时,放在地表的蒙古栎(*Q. mongolica*)坚果被鼠类较快的取走^[4]。根据以往的研究,本研究区鼠类的出现和环境的关系并不十分明显,加之放在不同样点的种子最终都基本丢失(表2),故认为造成不同环境间山杏萌发差异的主要因素是山杏的喜阳避阴习性和植被郁闭度所决定的。

本研究说明,人工直播种子可以提高山杏的萌发率,此方法对于在本地区严重退化的山坡、裸地进行植被恢复有一定意义。许多研究表明,如不控制鼠类对种子的取食,飞播造林很难成功^[25]。直播是一个比较有效的手段^[27-28]。根据本文的研究,将山杏埋入上中5 cm左右是可行的,并应选择阳光充分、开阔的草地、裸地直播,避免在高大、闭郁的灌木下直播。

参考文献

- [1] 张知彬. 小型哺乳动物在生态系统中的作用. 见: 钱迎倩, 马克平主编. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 210~217.
- [2] Shaw MW. Factor affecting the natural regeneration of sessile oak (*Quercus petraea*) in North Wales. 1. A preliminary study of acorn production, viability and losses. *Journal of Ecology*, 1968, **56**: 565~585.
- [3] Kanazawa Y and Nishikata S. Disappearance of acorns from the floor in *Quercus crispula* forests. *Journal of Japanese Forestry Society*, 1976, **58**: 52~56.
- [4] Kikuzawa K. Dispersal of *Quercus mongolica* acorns in a broad-leaved deciduous forest. 1. Disappearance. *Forest Ecology and Management*, 1988, **25**: 1~8.
- [5] Herrera J. Acorn predation and seedling production in a low density population of cork oak (*Quercus suber* L.). *Forest Ecology and Management*, 1955, **76**: 197~201.
- [6] Jensen TS. Seed predation by animals. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1971, **2**: 465~492.
- [7] Jensen TS. Seed production and outbreaks of non-cyclic rodent populations in deciduous forests. *Oecologia*, 1982, **54**: 181~189.
- [8] Jensen TS. Seed predator interactions of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and forest rodents, *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus flavicollis*. *Oikos*, 1985, **44**: 149~156.
- [9] Silvertown JW. The evolutionary ecology of mast seeding in trees. *Biol. J. Linn. Soc.*, 1981, **14**: 235~250.

- [10] 陈灵芝, 鲍显诚, 陈清朗, 等. 京津地区的植被生态学研究. 见: 中国科学院植物研究所和中国科学院动物研究所主编. 京津地区生物生态学研究. 北京: 海洋出版社, 1990, 1~41.
- [11] 马克平, 刘灿然, 张知彬, 等. 东灵山暖温带落叶阔叶林生态系统多样性. 见: 马克平主编. 中国重点地区与类型生态系统多样性. 1999, 54~108.
- [12] 马克平, 陈灵芝, 于顺利, 等. 北京东灵山植物群落的基本类型. 见: 陈灵芝, 黄建辉主编. 暖温带森林生态系统结构与功能的研究. 北京: 科学出版社, 1997, 56~75.
- [13] Ovington JD and MacRae C. The growth of seedlings of *Quercus petraea*. *Journal of Ecology*, 1960, **48**: 549~555.
- [14] Stapanian MA and Smith CC. Density-dependent survival of scatterhoarded nuts: an experimental approach. *Ecology*, 1984, **65**(5): 1387~1396.
- [15] Borchert MI, Davis FW, Michaelsen J, et al. Interactions of factors affecting seedling recruitment of blue oak (*Quercus douglasii*) in California. *Ecology*, 1989, **70**(2): 389~404.
- [16] Reichman OJ and Oberstein D. Selection of seed distribution types by *Dipodomys merriami* and *Perognathus amplus*. *Ecology*, 1977, **58**: 636~643.
- [17] Vander Wall SB. *Food Hoarding in Animals*. Chicago: University of Chicago Press, 1990, 1~10.
- [18] Griffin JR. Oak regeneration in the upper Carmel Valley, California. *Ecology*, 1971, **52**: 862~868.
- [19] Curtis JT. *The vegetation of Wisconsin*. Madison: University of Wisconsin Press, 1959.
- [20] Potter GL. The effect of small mammals on forest ecosystem structure and function. In: Snyder DP ed. *Population of Small Mammals under Natural Conditions*. Pymaturing Laboratory of Ecology, 1976, Special Publication No. 5, 181~186.
- [21] Wada N. Dwarf bamboos affect the regeneration of zoochorous trees by providing habitats to acorn-feeding rodents. *Oecologia*, 1993, **94**: 403~407.
- [22] Kondo N. Seasonal fluctuation of population size, activity area of *Apodemus speciosus* (Thomas) in a small stand. *Journal of Mammalogy Society of Japan*, 1980, **8**: 129~138 (in Japanese).
- [23] Gill DS and Marks PL. Tree and shrub seedling colonization of old fields in central New York. *Ecological Monographs*, 1991, **61**: 183~205.
- [24] Schupp EW. Seed-seedling conflicts, habitat choice, and patterns of plant recruitment. *American Journal of Botany*, 1995, **82**: 399~409.
- [25] 孟智斌, 张知彬. 东灵山鸟兽及其生境和啮齿类动物群落特征. 见: 陈灵芝, 黄建辉主编. 暖温带森林生态系统结构与功能. 北京: 科学出版社, 1997, 76~87.
- [26] Black HC and Lawrence WH. Animal damage management in pacific northwest forests, 1901-90. In: Black HC ed. *Sivicultural Approaches to Animal Damage Management in Pacific Northwest Forests*. USDA, FSPNRS, General Technical Report PNW-GTR-287, 1992, 23~50.
- [27] Radivanyi A. Small mammals and regeneration of white spruce forests in west Alberta. *Ecology*, 1970, **51**: 1120~1105.
- [28] Forget P-M and Milleron T. Evidence for secondary dispersal by rodents in Panama. *Oecologia*, 1991, **87**: 596~599.