

滇西北小型啮齿动物对不同植物种子的捕食差异调查

杨晓兰, 巩合德

(西南林业大学 生态旅游学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 在滇西北 2 种生境类型中对 54 种被捕食的植物种子进行了为期 2 a 的比较研究, 探讨不同植物种类、种子密度、生境和年份等因素对种子被捕食强度的影响。结果表明: ①2005 年的种子平均被捕食率为 17.4%, 要显著低于 2006 年的种子被捕食率(66.6%)($P < 0.001$); ②种子在低干扰生境中的被捕食率为 46.2%, 要显著高于高干扰生境中的 33.9%($P < 0.001$); ③种子在高低 2 种密度情况下的被捕食率无显著差异, 分别为 40.3%和 39.8%($P = 0.519$); ④种子的被捕食强度存在显著的种间差异($P < 0.001$), 但种子长度和百粒质量与种子被捕食强度无显著相关性($P > 0.05$); ⑤2006 年, 种皮硬度对捕食强度的影响显著($P = 0.007$), 但在 2005 年无显著影响($P = 0.325$)。表 2 参 34

关键词: 动物学; 啮齿动物; 种子被捕食率; 种子性状; 云南

中图分类号: Q948; S718.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)03-0440-06

Seed predation by rodents in northwest Yunnan Province

YANG Xiaolan, GONG Hede

(Ecotourism Faculty, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: To determine the possible effects of plant species, seed density, habitat, and time on seed predation, a survey was conducted for two years on seed predation of 54 species in two habitats of northwest Yunnan Province. Artificial seed deposition were conducted in the field to collect the seed predation data. At each habitat in both years, the sample size for each density level per species was 30, i.e. 5 replications in each of the 6 experimental days. Results demonstrated that (1) the average seed predation rate in 2005 (17.4%) was much lower than in 2006 (66.6%) (ANOVA, $P < 0.001$). Also, (2) seeds suffered much more predation in the less disturbed habitats (46.2%) than in the heavily disturbed habitats (33.9%) (ANOVA, $P < 0.001$), but (3) seeds suffered similar predation in both high (40.3%) and low densities (39.8%) (ANOVA, $P = 0.519$). (4) Seed predation rates strongly differed among species (ANOVA, $P < 0.001$) with no relationships being found between seed length/weight and seed predation (Spearman's rank correlation, $P > 0.05$). Finally, (5) effects of seed coat hardness on seed predation existed in 2006 (ANOVA, $P = 0.007$), but not in 2005 (ANOVA, $P = 0.325$). From our results, it seems that seed predation by rodents may be affected by varied factors which should be more considered in the future studies. [Ch, 2 tab. 34 ref.]

Key words: zoology; rodent; seed predation; seed trait; Yunnan Province

啮齿动物对植物种子的捕食是动植物关系研究中的热点问题之一^[1-4]。动物通过取食种子满足自身营养需求的同时还会分散储藏大量种子来度过食物短缺期, 而部分被储藏的植物种子会借机萌发, 完成种子传播和幼苗建成^[5-7]。因此, 对这一相互关系的研究有助于我们深入了解植物个体的繁殖、种群的

收稿日期: 2014-07-10; 修回日期: 2014-09-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31100315); 云南省教育厅科学研究基金资助项目(2014J096); 西南林业大学科技创新基金资助项目(1411)

作者简介: 杨晓兰, 从事动植物相互关系研究。E-mail: yangxiaolan2013@126.com。通信作者: 巩合德, 副教授, 博士, 从事群落生态学研究。E-mail: gonghede3@163.com

空间分布及种子捕食者在生态系统中的作用,从而为生态系统维持和生物多样性保护提供科学依据及有效的干预措施^[5, 8-10]。影响种子被捕食强度的因素包括外部时空环境和种子自身性状 2 个方面。例如,植物种子产量或动物捕食者种群数量的季节或者年际差异,会造成种子的被捕食强度出现相应差异^[11-13]。生境特征和植被类型等因素会造成动物的捕食风险差异,进而对种子的被捕食强度产生影响^[14-16]。种子密度同样是影响种子被捕食强度的重要因素。不少研究表明:随着种子密度的增加,其被捕食强度也会随之增加^[17-19],但也有研究表明密度和种子的被捕食强度无关或负相关^[20-22]。种子的大小、营养及防卫特征等自身性状存在显著种间差异,同样会造成捕食者对不同植物种子产生选择偏好^[11, 19, 23]。例如,Alcantara 等^[21]指出:个体较大的种子被捕食强度明显高于小种子;Vander Wall^[24]同样指出:随着种子个体的增大,种子被动物发现和捕食的速度也随之增大。但也有一些相反的观点,认为小种子更容易遭受捕食^[11, 23]。此外,种皮厚度直接关系到捕食者的取食时间和捕食风险,因此也会相应地影响到种子自身的被捕食强度^[23]。总之,啮齿动物对植物种子的捕食偏好是受多方面因素综合影响的,但由于当前相关研究仅考虑其中 1 个或少数几个因素,并且在实验地点、时间以及所选取的植物种类等方面存在差异,并没有得出一致结论。因此,为了更加全面地了解这一重要的动植物相互作用,本研究在滇西北 2 种生境类型中对 54 种植物种子的被捕食情况进行了为期 2 a 的比较研究,探讨不同植物种类、种子密度、年份和生境等对种子被捕食强度的综合影响。

1 材料与方法

1.1 研究地点

滇西北地处中国 3 个特有种中心之一的横断山地区,植被类型丰富,是中国种子植物种类最丰富的地区之一,生态系统地位显著。本研究选取云南省迪庆州香格里拉高山植物园(27°54'N, 98°38'E, 海拔 3 370 m)内进行。植物园内具有不同生境类型,能够满足实验需求,且依托植物园便于进行实验操作和管理,有助于实验的顺利实施。

本研究选取高山植物园内 2 种不同人为干扰强度的生境类型(相距约 1 500 m)作为试验样地。其中高干扰样地植被稀疏,以蔷薇 *Rosa* sp.和栒子 *Cotoneaster* sp.等灌木为主,样地内建有藏民烧香台,人为活动频繁;低干扰样地植被茂密,是以高山松 *Pinus densata* 为优势种的针叶林群落,伴有云杉 *Picea* sp., 桦木 *Betula* sp.和滇杨 *Populus yunnanensis* 等混生,林下分布为矮高山栎 *Quercus monimotricha*, 各种杜鹃 *Rhododendron* spp.灌丛以及少量草本植物,样地内的人为活动较少。

1.2 研究方法

本研究选取 30 科 47 属共 54 种植物种子(部分采集于迪庆州从海拔 2 000~4 000 m 的林地;部分购买于云南省林木种苗工作总站),其中 2005 年采用 41 种,2006 年 35 种(表 1)。随机选取植物种子 30 粒·种⁻¹测量质量(精度 0.000 1 g)和长度(精度 0.01 mm)。种皮硬度分为 3 个等级:能够用指甲轻松打开定义为“软”,不能则为“硬”,而用刀具都很难打开定义为“非常硬”^[19, 23]。

每年 9 月中旬到 11 月中旬进行种子摆放试验。种子摆放实验是研究种子被捕食强度的传统方法,即把种子放置于样地内观测其存留状态,进而对影响其存留的因素进行分析比较^[2-3, 19, 23]。此研究方法便于控制其他影响因素,从而能够比较某些特定因素对种子捕食强度的影响。本研究分别设置样带 5 条·样地⁻¹,间隔 5 m;设置种子摆放点 10 个·样带⁻¹,间隔 5 m。设置倒扣于地面的塑料盘(直径 0.1 m)2 个·摆放点⁻¹,间隔 1 m,于每个盘上放置实验种子。实验设置高低 2 种种子密度,即摆放同种植物种子 3 粒·塑料盘⁻¹或 15 粒·塑料盘⁻¹。将实验种子随机分组,分别包含植物种子 5 种·组⁻¹(2005 年所采用 41 种共分为 9 组,其中 2 组分别包含 3 种;2006 年所采用的 35 种共分为 7 组),植物种子依次进行为期 6 d·组⁻¹的摆放实验。实验中,均随机选取摆放点 10 个·样地⁻¹·种子⁻¹(高、低密度各 5 个)。由于实验地种子捕食者主要为夜间活动的啮齿动物^[19],因此,我们只对夜间的种子被捕食情况进行调查研究。每天下午 19:00 进行种子摆放,翌日上午 7:00 检查记录种子的被捕食情况并收回剩余种子,连续重复 6 d。

实验期间,用活捕法(live-traps)对啮齿动物进行取样调查。在低干扰样地中距离摆放实验样带大于 500 m 处设置 5 条平行样带(间隔 5 m),放置活捕笼 10 个·样带⁻¹,间隔 5 m。每天下午 18:00 用花生米做诱饵设置活捕笼,次日上午 8:00 检查记录所捕获动物种类和数量,连续进行 6 d。在高干扰样地

中，由于藏民烧香台原因，未进行动物的活捕调查。

1.3 数据分析

本研究采用种子消失率定义种子的被捕食强度。种子消失率=(摆放数量-剩余种子数量)/摆放数量。选用多因素方差分析(ANOVA)检验物种类型、种子密度、生境和年份对种子被捕食的影响及其交互作用；选用 Spearman 相关分析检验种子大小(即长度和百粒质量和被捕食率间的相关性。选用单因素方差分析(one way ANOVA)检验种皮硬度对种子被捕食强度的影响。统计软件选用 R 语言(2.15.0 版本)。

表 1 试验选用的 54 种植物种子及其长度、百粒质量和硬度

Table 1 Seed length, weight of 100 seeds and seed hardness of the fifty-four plant species

种类	长度/mm	百粒质量/g	硬度	种类	长度/mm	百粒质量/g	硬度
藏柏 <i>Cupressus torulosa</i> ^a	4.14	0.458	硬	杏 <i>Prunus</i> sp. ^b	24.15	197.134	非常硬
刺柏 <i>Juniperus formosana</i> ^b	4.50	1.143	非常硬	蔷薇 <i>Rosa omeiensis</i> ^{ab}	7.13	4.463	非常硬
滇柏 <i>Fokienia hodginsii</i> ^{ab}	4.80	0.461	硬	中甸山楂 <i>Crataegus chungdianensis</i> ^{ab}	5.82	3.103	非常硬
大头续断 <i>Dipsacus chinensis</i> ^{ab}	4.89	0.668	软	石楠 <i>Photinia</i> sp. ^{ab}	2.62	0.328	软
鼠尾草 <i>Salvia</i> sp. ^{ab}	3.70	0.327	软	栒子 <i>Cotoneaster</i> sp. ^{ab}	5.64	3.167	非常硬
乌柏 <i>Sapium</i> sp. ^{ab}	7.47	11.815	硬	冬樱花 <i>Cerasus cerasoides</i> ^b	10.17	21.567	硬
于甘子 <i>Phyllanthus emblica</i> ^a	5.24	1.698	硬	荚蒾 <i>Viburnum betulifolium</i> ^{ab}	6.22	2.308	软
山毛豆 <i>Oxytropis hirta</i> ^a	4.50	1.941	非常硬	荚蒾 <i>Viburnum</i> sp. ^{ab}	5.66	2.302	非常硬
桃七 <i>Sinopodophylum hexandrum</i> ^{ab}	4.37	1.745	硬	血满草 <i>Sambucus adnata</i> ^a	2.81	0.219	软
金合欢 <i>Acacia farnesiana</i> ^{ab}	6.44	8.176	非常硬	四照花 <i>Cronus</i> sp. ^a	5.56	3.374	非常硬
大叶相思 <i>Acacia auriculiformis</i> ^b	4.75	1.849	硬	冻绿 <i>Rhamnus</i> sp. ^a	4.99	1.890	非常硬
银合欢 <i>Leucaena</i> sp. ^{ab}	7.41	4.708	非常硬	冷杉 <i>Abies forrestii</i> ^{ab}	11.31	2.009	软
红豆杉 <i>Taxus cuspidate</i> ^b	6.73	8.494	硬	高山松 <i>Pinus densata</i> ^a	4.85	0.857	软
沙棘 <i>Hippophae</i> sp. ^{ab}	3.58	0.896	硬	华山松 <i>Pinus armandii</i> ^{ab}	13.60	32.950	非常硬
波凌瓜 <i>Hemsleya pedunculosa</i> ^b	11.25	7.488	软	云南松 <i>Pinus yunnanensis</i> ^{ab}	5.61	1.539	软
马蹄荷 <i>Exbucklandia</i> sp. ^a	6.14	0.373	软	马尾松 <i>Pinus massoniana</i> ^b	4.58	1.008	软
珠子参 <i>Codonopsis forrestii</i> ^a	3.52	0.710	软	黑松 <i>Pinus thunbergii</i> ^b	5.36	1.446	软
獐牙菜 <i>Swertia bimaculata</i> ^b	1.98	0.204	硬	加勒比松 <i>Pinus caribaea</i> ^b	8.87	1.854	软
马桑 <i>Coriaria</i> sp. ^a	2.25	0.134	软	雪松 <i>Cedrus deodara</i> ^b	13.53	9.087	软
钩柱唐松草 <i>Thalictrum uncatum</i> ^{ab}	6.08	0.624	软	云南油杉 <i>Keteleeria evelyniana</i> ^a	12.72	7.294	软
银莲花 <i>Anemone</i> sp. ^{ab}	8.89	0.973	软	云杉 <i>Picea asperata</i> ^a	3.53	0.403	软
云南含笑 <i>Michelia yunnanensis</i> ^a	6.37	5.762	非常硬	羊蹄甲 <i>Bauhina</i> sp. ^{ab}	15.53	24.663	非常硬
木棉 <i>Bombax malabaricum</i> ^b	5.53	3.396	硬	车桑子 <i>Dodonaea</i> sp. ^a	3.54	1.122	软
大叶女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> ^a	6.63	2.478	硬	无患子 <i>Sapindus</i> sp. ^{ab}	13.33	137.928	非常硬
漆树 <i>Toxicodendron</i> sp. ^a	4.65	2.104	非常硬	西南鸢尾 <i>Iris bulleyana</i> ^{ab}	4.58	1.773	软
五角枫 <i>Acer mono</i> ^b	9.97	13.289	硬	楠木 <i>Phoebe zhenna</i> ^a	9.55	23.501	非常硬
火棘 <i>Pyracantha</i> sp. ^a	2.53	0.206	软	重阳木 <i>Bischofia</i> sp. ^a	3.60	0.597	软

说明：a. 2005 年采用(41 种)；b. 2006 年采用(35 种)。

2 结果与分析

2.1 种子捕食者

活捕法调查表明：实验地主要种子捕食者为小型啮齿动物。2005 年捕获 8 只，均为大耳姬鼠 *Apodemus latronum*；2006 年捕获 16 只，包括 9 只大耳姬鼠、6 只高山姬鼠 *A. chevrieri* 和 1 只西南绒鼠 *Eothenomys custos*。

2.2 影响种子被捕食率的因素分析

多因素方差分析表明：种子的被捕食率在不同年份和生境下具有显著差异(表 2)。2005 年的种子被捕食率为 17.4%，显著低于 2006 年(66.6%)($P<0.001$)；低干扰样地中的种子被捕食率(46.2%)要显著

高于高干扰样地(33.9%, $P<0.001$)；种子在高低 2 种密度下的捕食率分别为 40.3%和 39.8%，无显著差异($P=0.519$ ，表 2)。

表 2 植物种类、种子密度、生境和年份等影响种子被捕食率的多因素方差分析结果

Table 2 ANOVA for the effect of species, density, habitat and year on seed predation									
变量	自由度	均方差	<i>F</i> 值	<i>P</i>	变量	自由度	均方差	<i>F</i> 值	<i>P</i>
年份	1	183 338	3 374.560	<0.001	生境×密度	1	157	2.892	0.104
生境	1	11 466	211.048	<0.001	生境×种类	53	403	7.420	<0.001
密度	1	23	0.431	0.519	密度×种类	53	69	1.276	0.275
种类	53	3 365	61.932	<0.001	年份×生境×密度	1	41	0.753	0.396
年份×生境	1	342	6.289	0.020	年份×生境×种类	21	709	13.055	<0.001
年份×密度	1	25	0.461	0.505	年份×密度×种类	21	58	1.076	0.434
年份×种类	21	1 650	30.378	<0.001	生境×密度×种类	53	66	1.211	0.322

种子被捕食强度存在显著种间差异(表 2)。2005 年 41 种植物种子的被捕食率范围为 0~94%，平均被捕食率为 46.2%；2006 年 35 种植物种子的被捕食率范围为 0~100%，平均被捕食率为 66.6%。在 2 a 的实验中，包括高低 2 种密度和 2 种干扰生境情况下，种子长度和百粒质量与种子被捕食率均无显著相关性($P>0.05$)。在 2005 年，种皮硬度对捕食强度无显著影响($F_{2,161} = 1.132$ ， $P = 0.325$)；而 2006 年，硬种皮的种子被捕食强度(82.5%)显著高于其他 2 种硬度的种子(59.7%和 61.1%， $F_{2,137} = 5.141$ ， $P = 0.007$)。

3 讨论

本研究表明：种子的被捕食强度存在显著年际差异，种子在 2005 年的被捕食强度远低于 2006 年。这可能是由于种子捕食者种类和数量差异造成的，2005 年的动物捕获率(2.7%)要显著低于 2006 年(5.3%)。Ostfeld 等^[15]也曾经指出，随着捕食者密度的改变，捕食者对种子的选择和捕食格局也会随之改变。此外，也有研究表明食物相对丰富度同样会造成种子的被捕食强度产生季节或年际差异^[12, 26]，但本研究并未调查实验样地内种子产量的年间差异，需要进一步研究。

很多研究表明：植物种子的被捕食率存在显著的空间差异，例如种子在林内的被捕食率要低于空旷地^[14]，而在灌丛中的被捕食率要高于草地^[15]。此外，森林斑块的大小也会影响种子的被捕食率^[16]。我们的结果表明：种子在低干扰生境中的被捕食率要高于高干扰生境，这可能是因为在高干扰生境中人为活动频繁(藏民烧香台的原因)，干扰了动物正常的觅食行为，进而降低了种子的被捕食率。另外，2 个样地的植被差异，即高干扰样地植被稀疏而低干扰样地植被茂密，也可能是造成种子被捕食差异的原因。因为啮齿动物多在植被较为茂密的生境中活动，复杂的植被可以降低啮齿动物的觅食风险^[25, 27]。

很多研究指出：随着密度的增加，种子的被捕食率也随之增加^[17, 18, 28]。但也有研究表明：种子密度的增加并不会导致捕食率的增加^[21-22]，甚至会降低被捕食率^[20]。本研究中种子密度对种子的被捕食率没有显著影响，可能是因为本研究地点地处高海拔地区，温度低，食物相对缺乏，因此动物会捕食大部分种子，从而表现出非密度依赖性。然而 2004 年在相同的研究地点，通过比较 18 种植物种子的被捕食率却得出了正密度依赖结果，即种子在高密度下的被捕食率显著高于低密度^[19]。由此可见，种子密度对被捕食率的影响可能会因为实验时间、环境气候条件以及植物种类等试验条件的差异而得出不同研究结果。

植物种子各个性状存在显著种间差异，因此也会造成种子捕食者对不同种类的种子表现出捕食偏好^[11, 23, 29-30]。本研究同样表明：种子的被捕食强度存在显著的种间差异。然而在本研究中，我们仅调查了种子大小，结果表明：其对种子被捕食强度无显著影响。种子捕食者偏好取食个体较大的植物种子(例如华山松、乌桕和云南含笑)，但一些个体较小的种子，例如珠子参、云南松、云杉和银莲花等同样遭受到较高的被捕食强度。当前，有关种子大小对被捕食强度影响的研究也一直存在 2 种对立观点，一种认为大种子对于捕食者具有较高的捕食效益，因而会遭受较高的被捕食强度^[21, 24, 31]；而相反观点认为小种子可以减少取食时间，降低被天敌捕食的风险，因而会遭受较高的被捕食强度^[23, 32]。本研究中部分植物种类的种子被捕食率比较低，则可能是多方面原因造成的。例如，金合欢和无患子种皮硬度高，而

较强的物理防御被证明可以有效降低种子的被捕食率^[23]；西南鸢尾和冷杉的种子单宁含量分别高达25.7%和26.5%^[33]，则可能是其被捕食率较低的重要原因，因为次生代谢物质同样会降低种子的被捕食风险^[1, 11]；此外，种皮与种仁的相对比例也会影响种子的被捕食强度^[34]，本研究中的栲子被捕食率较低，则可能是由于其较低的种仁比例所致（约16.3%）。由此可见：由于各个种子性状相互偶联在一起，很难阐明何种性状影响种子的被捕食强度，因此尚需进一步试验研究加以论证。

4 致谢

中国科学院西双版纳热带植物园王博博士对本论文撰写提供了实验数据和修改意见，特此感谢。

5 参考文献

- [1] JANZEN D H. Seed predation by animals [J]. *Annu Rev Ecol System*, 1971, **2**: 465 – 492.
- [2] HULME P E. Post-dispersal seed predation and seed bank persistence [J]. *Seed Sci Res*, 1998, **8**(4): 513 – 519.
- [3] VANDER WALL S B, KUHZ K M, BECK M J. Seed removal, seed predation, and secondary dispersal [J]. *Ecology*, 2005, **86**(3): 801 – 806.
- [4] VELHO N, ISVARAN K, DATTA A. Rodent seed predation: effects on seed survival, recruitment, abundance, and dispersion of bird-dispersed tropical trees [J]. *Oecologia*, 2012, **169**(4): 995 – 1004.
- [5] VANDER WALL S B. *Food Hoarding in Animals* [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1990.
- [6] XIAO Zhishu, ZHANG Zhibin, WANG Yushan. The effects of seed abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Castanopsis fargesii* (Fagaceae) [J]. *Plant Ecol*, 2005, **177**(2): 249 – 257.
- [7] JANSEN P A, HIRSCH B T, EMSENS W J, et al. Thieving rodents as substitute dispersers of megafaunal seeds [J]. *P Natl Acad Sci USA*, 2012, **109**(31): 12610 – 12615.
- [8] JANZEN D H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests [J]. *Am Nat*, 1970, **104**: 501 – 528.
- [9] WENNY D G. Seed dispersal, seed predation, and seedling recruitment of a neotropical montane tree [J]. *Ecol Monogr*, 2000, **70**(2): 331 – 351.
- [10] BRICKER M, PEARSON D, MARON J. Small-mammal seed predation limits the recruitment and abundance of two perennial grassland forbs [J]. *Ecology*, 2010, **91**(1): 85 – 92.
- [11] KOLLMANN J, COOMES D A, WHITE S M. Consistencies in post-dispersal seed predation of temperate fleshy-fruited species among seasons, years and sites [J]. *Funct Ecol*, 1998, **12**(4): 683 – 690.
- [12] JANSEN P A, BONGERS F, HEMERIK L. Seed mass and mast seeding enhance dispersal by a neotropical scatter-hoarding rodent [J]. *Ecol Monogr*, 2004, **74**(4): 569 – 589.
- [13] WANG Bo, WANG Gang, CHEN Jin. Scatter-hoarding rodents use different foraging strategies for seeds from different plant species [J]. *Plant Ecol*, 2012, **213**(8): 1329 – 1336.
- [14] KOLLMANN J. Regeneration window for fleshy-fruited plants during scrub development on abandoned grassland [J]. *EcoScience*, 1995, **2**(3): 213 – 222.
- [15] OSTFELD R S, MANSON R H, CANHAM C D. Effects of rodents on survival of tree seeds and seedlings invading old fields [J]. *Ecology*, 1997, **78**(5): 1531 – 1542.
- [16] FLEURY M, GALETTI M. Effects of microhabitat on palm seed predation in two forest fragments in southeast Brazil [J]. *Acta Oecol*, 2004, **26**(3): 179 – 184.
- [17] BREWER S W, WEBB M A H. Ignorant seed predators and factors affecting the seed survival of a tropical palm [J]. *Oikos*, 2001, **93**(1): 32 – 41.
- [18] RUSSO S E. Linking seed fate to natural dispersal patterns: factors affecting predation and scatter-hoarding of *Virola calophylla* seeds in Peru [J]. *J Trop Ecol*, 2005, **21**(3): 243 – 253.
- [19] 王博, 杨效东. 大耳姬鼠对滇西北 18 种植物种子的捕食[J]. 动物学研究, 2007, **28**(4): 389 – 394.
WANG Bo, YANG Xiaodong. Seed predation of *Apodemus latronum* on 18 plant species in Northwest Yunnan [J]. *Zool Res*, 2007, **28**(4): 389 – 394.
- [20] ANDERSEN A N. Effects of seed predation by ants on seedling densities at a woodland site in SE Australia [J]. *Oikos*, 1987, **48**: 171 – 174.

- [21] ALCANTARA J M, REY P J, SANCHEZ-LAFUENTE A M, *et al.* Early effects of rodent post-dispersal seed predation on the outcome of the plant-seed disperser interaction [J]. *Oikos*, 2000, **88**(2): 362 – 370.
- [22] HAUGHT J E, MYSTER R W. Effects of species, density, season and prairie-type on post-dispersal seed removal in Oklahoma [J]. *Am Midl Nat*, 2008, **159**(2): 482 – 488.
- [23] BLATE G M, PEART D R, LEIGHTON M. Post-dispersal predation on isolated seeds: a comparative study of 40 tree species in a Southeast Asian rainforest [J]. *Oikos*, 1998, **82**(3): 522 – 538.
- [24] VANDER WALL S B. Removal of wind-dispersed pine seeds by ground-foraging vertebrates [J]. *Oikos*, 1994, **69**(1): 125 – 132.
- [25] JONES F A, PETERSON C J, HAINES B L. Seed predation in neotropical pre-montane pastures: site, distance, and species effects [J]. *Biotropica*, 2003, **35**(2): 219 – 225.
- [26] LI Hongjun, ZHANG Zhibin. Effects of mast seeding and rodent abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Prunus armeniaca* (Rosaceae) [J]. *For Ecol Manage*, 2007, **242**(2): 511 – 517.
- [27] LU Jiqi, ZHANG Zhibin. Effects of habitat and season on removal and hoarding of seeds of wild apricot (*Prunus armeniaca*) by small rodents [J]. *Acta Oecol*, 2004, **26**(3): 247 – 254.
- [28] ROMO M, TUOMISTO H, LOISELLE B A. On the density-dependence of seed predation in *Dipteryx micrantha*, a bat-dispersed rain forest tree [J]. *Oecologia*, 2004, **140**(1): 76 – 85.
- [29] XIAO Zhishu, WANG Yushan, HARRIS M, *et al.* Spatial and temporal variation of seed predation and removal of sympatric large-seeded species in relation to innate seed traits in a subtropical forest, Southwest China [J]. *For Ecol Manage*, 2006, **222**(1/3): 46 – 54.
- [30] VANDER WALL S B. How plants manipulate the scatter-hoarding behaviour of seed-dispersing animals [J]. *Philos Trans Roy Soc London Biol Sci*, 2010, **365**(1542): 989 – 997.
- [31] WANG Bo, CHEN Jin. Seed size, more than nutrient or tannin content, affects seed caching behavior of a common genus of Old World rodents [J]. *Ecology*, 2009, **90**(11): 3023 – 3032.
- [32] OSUNKOYA O O. Postdispersal survivorship of north queensland rain-forest seeds and fruits effects of forest, habitat and species [J]. *Austr J Ecol*, 1994, **19**(1): 52 – 64.
- [33] WANG Bo, CHEN Jin. Tannin concentration enhances seed caching by scatter-hoarding rodents: an experiment using artificial ‘seeds’ [J]. *Acta Oecol*, 2008, **34**(3): 379 – 385.
- [34] GARCIA D, OBESO J R, MARTINEZ I. Rodent seed predation promotes bird-dispersed trees in temperate differential recruitment among secondary forests [J]. *Oecologia*, 2005, **144**(3): 435 – 446.