

陕西林区草兔空间格局及区域变化研究^{*}

韩崇选, 杨学军, 杨清娥, 王明春, 张宏利, 卜书海

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 陕西林区草兔的空间分布可以分为3种基本类型, 其聚集度从南向北依次增强, 聚集块大小为 $1\sim 2\text{ hm}^2$ 。草兔向食物丰富和隐蔽条件较好的林地相对集中的行为, 使草兔在小样方中有聚集分布的趋势, 且与密度有依赖性, 同时由于各林区植被状况的差异, 造成了不同林区空间分布的差异。随着取样大小的逐渐加大, 样方内食物和景观的丰富度不断提高, 食物条件和空间异质性的影响逐渐减弱, 表现为均匀分布或随机分布。在密度或样方较小时, 聚集块指标与其有较好的一致性, 而在密度或样方较大时, 聚集块指标与其一致性急剧下降, 并逐渐接近其稳定值。

[关键词] 林区; 草兔; 空间格局; 区域变化; 聚集块

[中图分类号] S764 503

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)11-0065-08

动物的空间分布格局是动物种群生态学的一个重要特征, 也是观察啮齿动物种群时最先看到的现象之一。目前, 国内外学者在昆虫和鸟类空间分布格局方面的研究较多, 也比较深入, 讨论的种类均达百种以上, 而对啮齿动物空间分布格局的研究相对较少^[1], 且多是对农田、荒漠和草原啮齿动物的研究^[2~14], 涉及林区啮齿动物空间分布格局的研究报道甚少^[15,16]。近年来, 国内外学者在研究啮齿动物空间分布格局的同时, 也在不断探索新的研究方法^[1,6,10,14,15], 但在大的空间尺度范围内对啮齿动物空间格局及区域变化的研究尚未见报道。为此, 本研究采用线路调查法, 于2001~2002年4~5月对陕西林区的草兔(*Lepus capensis* Linnaeus)空间分布格局和区域变化进行了研究。

1 材料与方法

1.1 调查基地自然概况

陕西地处中国内陆的中心位置, 从北至南分为陕北高原、关中平原和秦巴山地三大自然区, 纵跨温带、暖温带、北亚热带3个气候带, 分为5大林区。为此, 选择能代表地貌和气候特征的安康市汉滨区、宝鸡市麟游县、咸阳市永寿县和延安市的桥山林业局、桥北林业局、吴旗县的幼林地作为研究基地。

安康市汉滨区地处陕南秦巴山地丘陵沟壑区, 地势南北高、中间低, 海拔216~2141 m, 主要地貌

有川道、丘陵和山地, 属北亚热带大陆湿润性季风气候区, 年平均气温 15.7°C , 降水量540~1109 mm, 无霜期254 d, 森林覆盖率47.9%。麟游县地处黄土高原区, 地形以黄土梁状丘陵为主, 西、南、中部为山丘, 东北部是带状残塬, 海拔1000~1651 m, 年平均气温 9.2°C , 年降水量640 mm, 无霜期178 d。永寿县位于陕北高原西南部, 年平均气温 10°C , 年降水量611 mm, 无霜期210 d。桥山林区以天然次生林为主, 其间穿插分布着大量的荒山丘陵, 立地条件十分复杂。桥山以北延河以南为典型的黄土沟壑区, 地表侵蚀严重, 形成了塬、梁、峁、河谷、断陷和盆地等多种地貌景观, 植被以灌木疏林为主。吴旗林区海拔1233~1809 m, 以白于山为界, 东北部位于内蒙古毛乌素沙漠南缘, 属无定河流域; 以南属北洛河流域, 北高南低, 梁面狭长起伏, 沟壑深窄陡峻。

1.2 调查方法与数据处理

在各研究基地内, 采用踏查的方法, 按照啮齿动物的常发区和偶发区, 选择具有能代表研究区域各种景观(如天然次生林、灌木疏林、荒坡、农田等)的林地作为标准地, 以灌木疏林、荒坡和幼林地3种生态景观为研究对象, 在标准地内选定能通过各种生境的长1.5~2.5 km的路线进行调查。行进中用计数器统计步数, 并折算成长度(m), 按0.1 km分别记录两边50 m宽度范围内的草兔数量, 以路线长度乘调查宽度为样方大小, 记录调查地植被、土壤

^{*} [收稿日期] 2004-02-05

[基金项目] 国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B07-2-02)

[作者简介] 韩崇选(1962-), 男, 陕西西安人, 研究员, 主要从事森林鼠害治理研究。

造林树种、坡向和坡位等情况^[17]。对调查资料按 1, 2, 3, …, 25 hm² 样方统计草兔数量, 进行频次统计, 用符合负二项分布、Poisson 分布和 Neyman-A 分布进行拟合检验, 同时用 Taylor^[18] 的 $\log S^2 - \log m$ 回归指标, Lody^[19] 的平均拥挤度 (m°) 和聚集块指标 (m°/m), Ivao^[20, 21] 的拥挤度直线回归 ($m^\circ m$) 等方法, 讨论草兔空间分布格局。用聚集块指标 (m°/m) 和变差函数 ($\gamma(h)$) 分析草兔空间分布格局的区域变化^[22]。用聚集块指标与密度模型 ($m^\circ/m m$) 讨论密度和环境异质对草兔空间分布格局的影响。

2 结果与分析

2.1 空间分布

2.1.1 理论分布 本研究结果表明, 在不同林区和样方中, 草兔具有不同的聚集强度和空间格局。在安康林区的 1~15 hm² 样方中符合 Poisson 分布 ($\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 > \chi^2_{\max} = 4.172$), 有时也符合 Neyman-A 分布 ($\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841$, $\chi^2_{\max} = 4.172$, $\chi^2_{\min} = 1.152$), 而在大于 15 hm² 样方中 3 种理论分布均不符合 (负二项分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 < \chi^2_{\min} = 7.185$, Neyman-A 分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 5.991 < \chi^2_{\min} = 8.185$, Poisson 分布 $\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 < \chi^2_{\min} = 11.135$)。在麟游林区的 1~10 hm² 样方中有时符合 Neyman-A 分布 ($\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841$, $\chi^2_{\max} = 18.994$, $\chi^2_{\min} = 1.322$), 在 1 hm² 样方中, 草兔 3 种理论分布均符合 (负二项分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.481 > \chi^2 = 1.555$, Neyman-A 分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 > \chi^2 = 3.324$, Poisson 分布 $\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 > \chi^2 = 1.276$), 而在大于 10 hm² 的样方中 3 种理论分布均不符合 (负二项分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 < \chi^2_{\min} = 5.423$, Neyman-A 分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 < \chi^2_{\min} = 6.723$, Poisson 分布 $\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 < \chi^2_{\min} = 9.236$)。在永寿林区的 1~15 hm² 样方中符合 Poisson 分布 ($\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 > \chi^2_{\max} = 4.375$), 其中 2 hm² 样方也符合 Neyman-A 分布 ($\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 > \chi^2 = 1.522$), 1 hm² 样方 3 种理论分布均符合 (负二项分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 > \chi^2 = 2.159$, Neyman-A 分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 > \chi^2 = 2.112$, Poisson 分布 $\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 > \chi^2 = 0.155$), 而在大于 15 hm² 的样方中 3 种理论分布均不符合 (负二项分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 < \chi^2_{\min} = 4.375$, Neyman-A 分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 < \chi^2_{\min} = 5.959$, Poisson 分布 $\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 < \chi^2_{\min} = 9.236$)。陕北

林区, 1~15 hm² 样方符合 Poisson 分布 ($\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 > \chi^2_{\max} = 5.592$), 其中 1~2 hm² 样方, 桥山林区也符合 Neyman-A 分布 ($\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 > \chi^2 = 2.224$ 和 0.803), 桥北和吴旗林区同时也符合负二项分布 ($\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 > \chi^2_{\text{iaohei}} = 0.635$ 和 0.621, $\chi^2_{\text{uqi}} = 0.857$ 和 2.339)。在大于 15 hm² 的样方中, 草兔均不符合 3 种理论分布 (负二项分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 < \chi^2_{\min} = 8.817$, Neyman-A 分布 $\chi^2_{(0.05, 1)} = 3.841 < \chi^2_{\min} = 54.462$, Poisson 分布 $\chi^2_{(0.05, 2)} = 5.991 < \chi^2_{\min} = 6.417$)。

2.1.2 聚集指标 用 Lody 的平均拥挤度 (m°) 和聚集块指标 (m°/m) 方法, 计算不同林区和不同样方下的指标值, 结果见表 1。在安康汉滨、宝鸡麟游和延安桥山林区, 草兔均为均匀分布 ($m^\circ/m < 1$); 在永寿林区的 1 hm² 样方中为随机分布 ($m^\circ/m = 1$), 在大于 1 hm² 的样方中为均匀分布 ($m^\circ/m < 1$); 在桥北和吴旗林区, 1 和 2 hm² 样方为聚集分布 ($m^\circ/m > 1$), 而大于 3 hm² 的样方为均匀分布 ($m^\circ/m < 1$)。

2.1.3 Ivao 的 $m^\circ m$ 回归方法 Ivao 发现平均拥挤度 (m°) 可适用于对各种生境、样本单位种群空间分布的测定。且对同一物种的多个种群, 其 m° 与 m 关系可用简单的线性回归方程描述。

$$m^\circ = \alpha + \beta m,$$

式中, α 为分布基本成分的平均拥挤度, β 为基本成分空间分布型的判别尺度。对表 1 中的拥挤度 (m°) 与草兔密度 (m) 进行分析, 结果见图 1。由图 1a 可知, 不同林区草兔的空间分布格局基本一致。因 $\alpha \leq 0$, $\beta < 1$, 说明均具有以个体为基本分布成分的均匀分布趋势。由图 1b 可知, 在不同大小样方中, 草兔具有不同的聚集程度。因 $\alpha \leq 0$, 且变化不规则, 不趋于一个常数, 进一步证实了草兔在林地分布的基本成分为个体而不是个体群。在 1~3 hm² 样方中, β 值与样方大小存在较高的负相关性, 表现为样方大小增加, β 值减小, 依次为 3.664, 3.1778 和 1.244, 但均大于 1, 说明草兔在林区 1~3 hm² 样方中有聚集分布的趋势; 在大于 3 hm² 样方时, 随样方大小的增加, β 值下降的幅度逐渐降低, 最终趋于一个常数。这一变化说明在大于 3 hm² 样方中, 草兔具有均匀分布的趋势, 且随着样方大小的增加, 空间分布格局愈稳定。因 β 值在 1~2 hm² 样方间下降最快, 说明草兔在林区的聚集块大小为 1~2 hm²。

表 1 陕西林区草兔空间分布格局的平均拥挤度(m°/m)和聚集块指标(m°/m)

Table 1 The mean crowding (m°) and the index of crowding plot (m°/m) of *Lepus capensis* in Shannxi forest-land

地点 Local	项目 Item	样方大小/ hm^2 Size of samples							
		1	2	3	4	5	6	7	8
安康汉滨 Hanbin county, Ankang	m°	0 039 6	0 032 1	0 215 4	0 314 6	0 497 8	0 511 9	0 837 2	0 927 1
	m°/m	0 158 4	0 073 1	0 352 5	0 382 0	0 468 5	0 383 9	0 532 7	0 547 9
宝鸡麟游 Linyou county, Baoji	m°	0 047 7	0 027 6	0 166 7	0 515 1	0 853 6	1 253 4	1 665 3	1 918 5
	m°/m	0 143 1	0 042 9	0 166 7	0 386 3	0 494 2	0 596 9	0 651 6	0 667 3
咸阳永寿 Yongshou county, Xianyang	m°	0 400 0	0 549 3	0 793 3	1 114 3	1 300 0	1 788 0	2 013 9	2 539 0
	m°/m	1 000 0	0 641 0	0 644 5	0 607 8	0 650 0	0 687 7	0 697 1	0 752 3
延安桥山 Qiaoshan forest, Yan'an	m°	0 344 1	0 370 0	0 709 6	0 924 3	1 128 2	2 022 2	2 515 3	2 959 5
	m°/m	0 737 4	0 431 7	0 614 8	0 616 2	0 620 5	0 722 2	0 780 6	0 789 2
延安桥北 Qiaobei forest, Yan'an	m°	0 970 2	0 952 3	1 031 6	1 212 6	1 472 5	1 817 3	2 397 4	2 893 8
	m°/m	2 205 1	1 038 8	0 790 9	0 721 5	0 702 8	0 712 7	0 785 4	0 813 9
延安吴旗 Wuqi county, Yan'an	m°	0 970 2	0 952 3	1 031 6	1 228 8	1 412 7	1 817 3	2 397 4	2 893 8
	m°/m	2 205 1	1 038 8	0 790 9	0 772 6	0 689 9	0 712 7	0 785 4	0 813 9

地点 Local	项目 Item	样方大小/ hm^2 Size of samples							
		9	10	11	12	13	14	15	16
安康汉滨 Hanbin county, Ankang	m°	0 969 4	1 300 0	1 482 8	1 660 3	1 938 1	2 111 1	2 219 3	2 488 2
	m°/m	0 561 2	0 650 0	0 674 0	0 679 2	0 702 5	0 703 7	0 700 8	0 731 8
宝鸡麟游 Linyou county, Baoji	m°	2 358 2	2 585 7	2 852 6	3 308 8	3 410 2	3 611 1		
	m°/m	0 717 7	0 738 8	0 750 7	0 778 5	0 787 0	0 802 5		
咸阳永寿 Yongshou county, Xianyang	m°	2 957 9	3 200 0	3 695 5	3 666 6	4 583 3	5 000 0		
	m°/m	0 796 4	0 800 0	0 839 9	0 833 3	0 859 4	0 833 3		
延安桥山 Qiaoshan forest, Yan'an	m°	3 418 8	3 895 3	4 200 0	4 560 6	5 166 7	6 000 0		
	m°/m	0 825 2	0 834 7	0 840 0	0 829 2	0 861 1	0 857 1		
延安桥北 Qiaobei forest, Yan'an	m°	3 281 3	3 707 0	4 390 0	4 800 7	5 004 8	5 457 3	5 765 2	6 239 3
	m°/m	0 820 3	0 835 4	0 866 4	0 872 9	0 867 5	0 873 2	0 868 7	0 878 8
延安吴旗 Wuqi county, Yan'an	m°	3 281 3	3 707 0	4 068 3	4 633 0	5 161 2	5 457 3	5 765 2	6 239 3
	m°/m	0 820 3	0 835 4	0 835 9	0 864 8	0 871 4	0 873 2	0 868 7	0 878 8

地点 Local	项目 Item	样方大小/ hm^2 Size of samples							
		17	18	19	20	21	22	23	24
安康汉滨 Hanbin county, Ankang	m°	2 595 2	2 757 6						
	m°/m	0 741 5	0 752 1						
延安桥北 Qiaobei forest, Yan'an	m°	6 691 6	7 142 9	7 475 4	7 676 5	7 936 4	8 493 2	9 300 0	10 000 0
	m°/m	0 885 7	0 892 9	0 902 2	0 903 1	0 901 9	0 918 2	0 930 0	0 909 1
延安吴旗 Wuqi county, Yan'an	m°	6 691 6	7 142 9	7 475 4	7 676 5	7 936 4	8 493 2	9 300 0	10 000 0
	m°/m	0 885 7	0 892 9	0 902 2	0 903 1	0 901 9	0 918 2	0 930 0	0 909 1

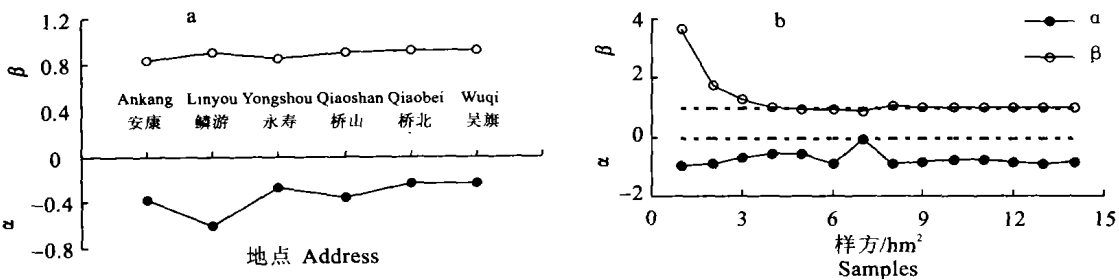


图 1 陕西林区草兔空间分布格局 m°/m 回归的 α 与 β 变化

a 不同林区; b 不同大小样方

Fig 1 The α and β variety of *Lepus capensis* in Shaanxi forest-land

a In the different forest-land; b In the different samples

2.1.4 Taylor 的 $\log S^2 - \log m$ 回归指标 Taylor 从大量的生物资料中总结出方差(S^2)与种群平均密度(m)的经验公式,发现两者之间呈幂指数关系。

$$S_2 = a \cdot m^b, \log S^2 = \log a + b \log m,$$

式中, a, b 为常数, b 的生物学意义为种群的聚集度对密度的依赖程度。将表 2 调查资料按照不同林区和不同样方分别进行分析,结果见图 2。

从图 2a 可以看出,不同林区草兔的聚集强度不

同,但均有均匀分布的趋势($\log a < 0, b < 1$)。其中,麟游林区草兔空间分布与密度依赖程度最低, b 值为 0.045 3;永寿林区最高, b 值为 0.372 9;陕北林区的基本相同,其 b 值从南向北依次为 0.283 5, 0.283 5和0.272 0。图 2b 表明,在 $1\sim 5\text{ hm}^2$ 样方中, b 值随样方大小均匀下降,说明随着样方大小的增加,聚集对密度的依赖性降低;在 6 hm^2 样方处出现反弹;在 $7\sim 12\text{ hm}^2$ 样方趋于稳定(在 1 附近波动); 12 hm^2 样方后, b 值在 1 以上波动,到 15 hm^2 样方处值最大(2.209 1)。造成这一变化的原因可能是由食物和空间异质性引起的。在小样方中,由于造林方式、树种和景观的不同,造成春季草兔栖息地食物和隐蔽条件分布的差异,草兔为了获取足够的食物和保障自身安全,有向食物丰富和隐蔽条件较好

林地相对集中的趋势,即有聚集分布趋势($\log a > 0, b > 1$),且与密度有依赖性,同时由于各林区植被状况的差异,造成了草兔在不同林区空间分布的差异。随着样方大小的逐渐加大,样方内食物和景观的丰富度不断提高,食物条件和空间异质性的对草兔分布的影响逐渐减弱,空间异质性和密度对草兔空间分布的影响相对稳定,草兔表现为均匀分布或随机分布($\log a < 0, b$ 在 1 附近波动)。随着样方大小的进一步扩大,同一林区样方间的条件趋于相同,环境异质性对草兔分布的影响进一步减弱,只是在大的环境景观上有所差异,而草兔密度较小,对分布的影响不显著,造成了在大样方中草兔的聚集度呈现波动变化。

表 2 陕西不同林区的草兔平均密度(m)与方差(S^2)

Table 2 The mean density (m) and the variance (S^2) of *Lepus capensis* in Shannxi forest-land

地点 Local	项目 Item	样方大小/ hm^2 Size of samples							
		1	2	3	4	5	6	7	8
安康汉滨 Hanbin county, Ankang	m	0.250 0	0.421 1	0.611 1	0.823 5	1.062 5	1.333 3	1.571 4	1.692 3
	S^2	0.197 4	0.257 3	0.369 3	0.404 4	0.462 5	0.238 1	0.417 6	0.397 4
宝鸡麟游 Linyou county, Baoji	m	0.333 3	0.642 9	1.000 0	1.333 3	1.727 3	2.100 0	2.555 6	2.875 0
	S^2	0.238 1	0.247 3	0.166 7	0.242 4	0.218 2	0.322 2	0.277 8	0.125 0
咸阳永寿 Yongshou county, Xianyang	m	0.400 0	0.857 1	1.230 8	1.833 3	2.000 0	2.600 0	2.888 9	3.375 0
	S^2	0.400 0	0.593 4	0.692 3	0.515 2	0.600 0	0.488 9	0.361 1	0.553 6
延安桥山 Qiaoshan forest, Yan'an	m	0.466 7	0.857 1	1.153 8	1.500 0	1.818 2	2.800 0	3.222 2	3.750 0
	S^2	0.409 5	0.439 6	0.641 0	0.636 4	0.563 7	0.622 2	0.944 4	0.785 7
延安桥北 Qiaobei forest, Yan'an	m	0.440 0	0.916 7	1.304 3	1.681 8	2.095 2	2.550 0	3.052 6	3.555 6
	S^2	0.673 3	0.949 3	0.948 6	0.893 9	0.790 5	0.681 6	1.052 6	1.202 6
延安吴旗 Wuyi county, Yan'an	m	0.440 0	0.916 7	1.304 3	1.590 9	2.047 6	2.550 0	3.052 6	3.555 6
	S^2	0.673 3	0.949 3	0.948 6	1.015 2	0.747 6	0.681 6	1.052 6	1.202 6

地点 Local	项目 Item	样方大小/ hm^2 Size of samples							
		9	10	11	12	13	14	15	16
安康汉滨 Hanbin county, Ankang	m	1.727 3	2.000 0	2.200 0	2.444 4	2.750 0	3.000 0	3.166 7	3.400 0
	S^2	0.418 2	0.600 0	0.622 2	0.527 8	0.500 0	0.333 3	0.166 7	0.300 0
宝鸡麟游 Linyou county, Baoji	m	3.285 7	3.500 0	3.800 0	4.250 0	4.333 3			
	S^2	0.238 1	0.300 0	0.200 0	0.250 0	0.333 3			
咸阳永寿 Yongshou county, Xianyang	m	3.714 3	4.000 0	4.400 0	5.000 0	5.333 3			
	S^2	0.904 8	0.800 0	1.300 0	1.333 3	1.333 3			
延安桥山 Qiaoshan forest, Yan'an	m	4.142 9	4.666 7	5.000 0	5.500 0	6.000 0			
	S^2	1.142 9	1.066 7	1.000 0	0.333 3	1.000 0			
延安桥北 Qiaobei forest, Yan'an	m	4.000 0	4.437 5	5.066 7	5.500 0	5.769 2	6.250 0	6.636 4	7.100 0
	S^2	1.125 0	1.195 8	1.638 1	1.653 9	1.359 0	1.295 5	0.854 6	0.988 9
延安吴旗 Wuyi county, Yan'an	m	4.000 0	4.437 5	4.866 7	5.357 1	5.923 1	6.250 0	6.636 4	7.100 0
	S^2	1.125 0	1.195 8	0.981 0	1.478 0	1.410 3	1.295 5	0.854 6	0.988 9

地点 Local	项目 Item	样方大小/ hm^2 Size of samples							
		17	18	19	20	21	22	23	24
安康汉滨 Hanbin county, Ankang	m	3.500 0	3.666 7						
	S^2	0.333 3	0.333 3						
延安桥北 Qiaobei forest, Yan'an	m	7.555 6	8.000 0	8.285 7	8.500 0	8.800 0	9.250 0	10.00 0	11.000
	S^2	1.027 8	1.142 9	1.571 4	1.500 0	1.200 0	2.250 0	3.000 0	0.000 0
延安吴旗 Wuyi county, Yan'an	m	7.555 6	8.000 0	8.285 7	8.500 0	8.800 0	9.250 0	10.000 0	11.000
	S^2	1.027 8	1.142 9	1.571 4	1.500 0	1.200 0	2.250 0	3.000 0	0.000 0

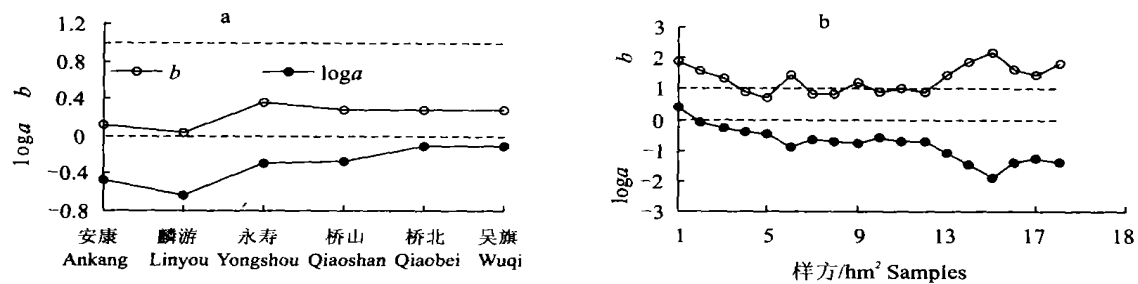


图 2 陕西林区草兔空间分布格局的 $\log a$ 与 b 变化
a 不同林区; b 不同大小样方

Fig 2 The $\log a$ and b variation of *Lepus capensis* in Shaanxi forest-land
a In the different forest-land; b In the different samples

2 2 空间格局区域变化

2 2 1 聚集块指标(m°/m)的区域变化与聚集块的大小 从 m°/m 的变化分析(图 3)可知,从南向北,陕西林区草兔空间分布的聚集度依次增强,安康林区最低,桥北和吴旗林区最高。各地点聚集度在1~2 hm^2 样方下降最快,说明草兔在林区分布聚集块大小为1~2 hm^2 ,不存在更大的个体聚集块。这一分析结果与不同样方的 m°/m 回归中的 β 分析结果一致^[23]。大于2 hm^2 样方时,聚集度随样方大小的增大有增强的趋势,但增强幅度随样方大小的逐渐增大而缩小,最终趋于一个常数。聚集是由草兔本身的生活习性和林地内环境异质性,如食物种类和丰富度决定的。就草兔本身的分布特性(即一种内禀分布)来说,有趋于均匀分布的倾向,即一种稳定的分布状态,但由于林地空间异质程度的影响及草兔自身密度的变化,导致了草兔在不同样方分布的差异。

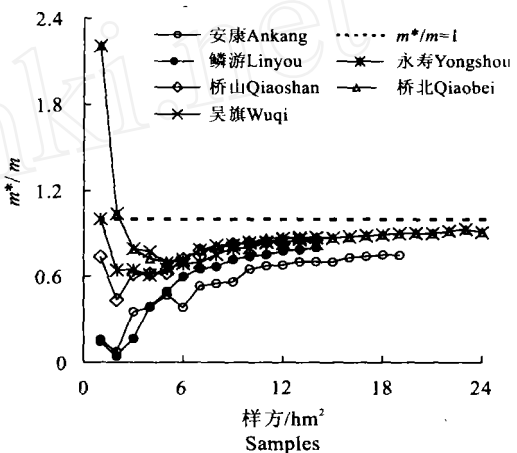


图 3 陕西林区草兔的 m°/m 区域变化

Fig 3 The district variation of m°/m of *Lepus capensis* in Shaanxi forest-land

2 2 2 密度对聚集块指标(m°/m)的影响 对聚集块指标(m°/m)与相对应的草兔密度(m)进行回归分析,结果见表 3。

表 3 草兔密度对其空间格局的影响

Table 3 Influence of density of *Lepus capensis* on the spatial distribution patterns

样方/ hm^2 Samples	m°/m 直线回归 Rectilinear regression model			m°/m 抛物线回归 Parabola regression model			
	聚集状态 α^* Constant	斜率 β^* Slope	r Correlation rate	个体均值 a_0 Constant	低密度聚集度 b_0 m° 's modulus	变化速率 c_0 m° 's modulus	r Correlation rate
1	- 3 080 2	11. 330 7	0. 893 7	9. 636 7	- 65. 349 0	110. 008 0	0. 998 2
2	- 0. 913 1	1. 896 2	0. 846 3	2. 728 0	- 9. 928 5	8. 737 9	0. 969 1
3	- 0. 217 9	0. 707 6	0. 748 2	2. 244 1	- 4. 899 7	2. 919 9	0. 950 7
4	- 0. 045 8	0. 448 8	0. 829 1	1. 363 5	- 2. 028 5	1. 005 2	0. 928 4
5	0. 196 5	0. 227 6	0. 874 6	1. 023 9	- 0. 910 8	0. 363 7	0. 954 6
6	0. 072 7	0. 242 6	0. 986 0	- 0. 242 9	0. 578 8	- 0. 082 6	0. 994 2
7	0. 345 5	0. 137 7	0. 710 4	0. 006 1	0. 440 9	- 0. 006 4	0. 832 3
8	0. 313 4	0. 133 2	0. 972 0	0. 459 1	0. 013 4	0. 022 0	0. 975 5
9	0. 361 5	0. 113 7	0. 994 8	0. 413 1	0. 073 1	0. 007 0	0. 995 4
10	0. 495 5	0. 074 7	0. 988 9	0. 553 5	0. 035 6	0. 005 9	0. 990 5
11	0. 526 1	0. 065 2	0. 970 5	0. 568 0	0. 039 5	0. 003 5	0. 971 3
12	0. 534 1	0. 058 9	0. 973 8	0. 539 9	0. 055 7	0. 000 4	0. 973 9
13	0. 560 8	0. 052 6	0. 987 2	0. 473 9	0. 095 9	- 0. 004 9	0. 990 2

当密度较小时, 聚集块指标有较好的密度一致性, 即聚集块指标随密度的变化其变化速率较大; 而在密度较大时, 聚集块指标的密度一致性急剧下降, 即聚集块指标随着密度的变化速率迅速降低; 当聚集块指标超过其稳定值的一半时, 聚集块指标随密度增加的速度逐步降低, 并逐渐接近其稳定值。

对表 3 的各回归参数与样方大小进行模拟分析, 其模型如下:

$$\alpha^* = 0.8747 - \frac{0.3843}{h}, r = 0.9951;$$

$$\beta^* = 0.0777 h^{-2.0261}, r = 0.9935;$$

$$a_0 = -0.8583 + \frac{0.9724}{h}, r = 0.9695;$$

$$b_0 = 0.8870 - \frac{6.6134}{h}, r = 0.9449;$$

$$c_0 = -16.9410 + \frac{10.7926}{h}, r = 0.9153.$$

从其模型分析可知, 除直线回归的斜率为指数模型外, 其余模型参数均为逆函数模型, 但都是一条渐进线, 即随着样方大小的增加, 密度对草兔分布的影响趋于稳定。就其对聚集度随密度变化速率的影响而言, 当样方较小时, 聚集块指标与样方有较好的一致性, 即聚集块指标与密度的一致性随样方大小的增加而迅速降低; 而样方较大时, 聚集块指标的样方连续性急剧下降, 即聚集块指标与密度的一致性随样方大小的变化速率迅速降低, 当样方大小达到 6 hm^2 以后, 聚集块指标与密度的一致性几乎消失, 并逐渐接近其稳定值零。

2.2.3 变差函数($\gamma(h)$)分析 自然界种群的空间分布生境大多是由多个斑块组成的。空间异质性(spatial heterogeneity)是指生态学过程和格局在空间分布上的不均匀性及其复杂性, 一般可以理解为空间的斑块性(patchiness)和梯度(gradient)的总合。对同一区域内种群空间格局的相关性常用变差函数(semi variance)来分析。变差函数是指区域化变量 $z(x)$ 和 $z(x_i + h)$ 增量平方的数学期望, 即区域化变量增量的方差。其计算公式为

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [z(x_i) - z(x_i + h)]^2,$$

式中, $\gamma(h)$ 为变差函数值; $N(h)$ 为被 h 分隔的数据对的数量; $z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 分别是点 x_i 和 $x_i + h$ 处样本的测量值; h 为两分隔点的距离。对陕西林区草兔进行变差函数分析(图 4), 其变化趋势模型如下:

(1) 汉滨林区 $\gamma(h) = 0.0338h + 0.1271, r = 0.2375, V = 0.0096;$

(2) 永寿林区 $\gamma(h) = 0.3612h + 0.1902, r = 0.5783, V = 0.0592;$

(3) 麟游林区 $\gamma(h) = 0.0514h + 0.2017, r = 0.2191, V = 0.0096;$

(4) 桥山林区 $\gamma(h) = 0.1691h + 0.2494, r = 0.3083, V = 0.0479;$

(5) 桥北林区 $\gamma(h) = 0.2064h + 0.5327, r = 0.4446, V = 0.0346;$

(6) 吴旗林区 $\gamma(h) = 0.2212h + 0.4673, r = 0.4370, V = 0.0988.$

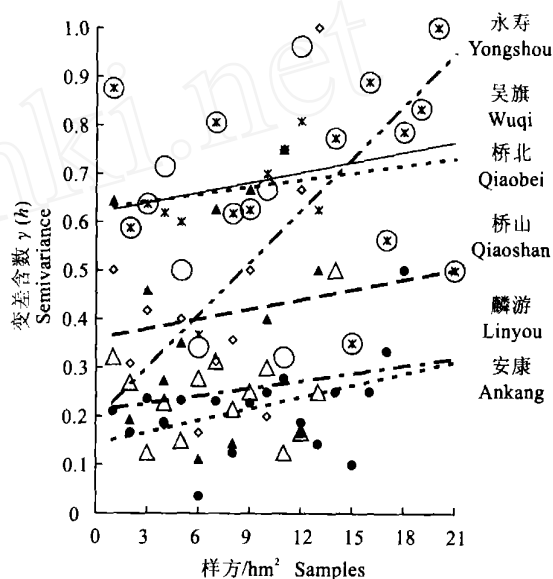


图 4 陕西林区草兔变差函数的区域变化

*. 桥北; ○. 吴旗; ▲. 桥山; . 永寿; . 麟游; ●. 安康

Fig. 4 The semi variance variance of *Lepus capensis* in Shaanxi forest-land

*. Qiaobei; ○. Wuqi; ▲. Qiaoshan;

. Yongshou; . Linyou; ●. Ankang

从各林区草兔分布的变差函数模型斜率分析, 安康和麟游林区的斜率较小, 模型近似水平直线, 且相关系数大于方差, 表示数据是无规律的变化, 样点间无空间相关性存在, 有均匀分布的趋势。永寿林区的斜率最大, 说明草兔在高密度下有聚集分布的倾向, 其空间依赖范围超过研究尺度, 但相关系数大于方差, 表明草兔为均匀分布。陕北林区草兔空间分布的聚集程度从南向北依次增强, 但斜率均相对较小, 且相关系数大于方差, 表示数据是无规律的变化, 样点间无空间相关性存在, 呈均匀分布^[22]。

2.3 序贯抽样

序贯抽样是根据调查的实际情况, 利用已知的样本信息和要求的置信范围决定抽样数的方法。其特点是预先不需确定取样数, 可以同时控制犯两类

错误的概率, 特别适用于鼠类防治效果的检验。

用 $m^{\circ} = \alpha + \beta m$ 估计平均密度的置信区间半宽度 $d \pm t \cdot S_E$, 则在特定的置信度 t 时, 被抽取的草兔个体总数的上下限为

$$T_{0(Q)}' = Qm_0 + t\sqrt{Q[(\alpha+1)m + (\beta-1)m^2]} \\ = Q(m_0 + d),$$

$$T_{0(Q)}'' = Qm_0 - t\sqrt{Q[(\alpha+1)m + (\beta-1)m^2]} \\ = Q(m_0 - d)。$$

式中, Q 为抽样数, 草兔对油松、侧柏和刺槐危害的单因子群落生态阈值 m_0 分别为每 5 hm^2 样方 1.5, 1.2 和 1.3 只^[24]。 5 hm^2 样方下的 $m^{\circ}m$ 回归方程为 $m_{05}^{\circ} = -0.5666 + 0.9361m_{05}$, $r = 0.9609$ 。

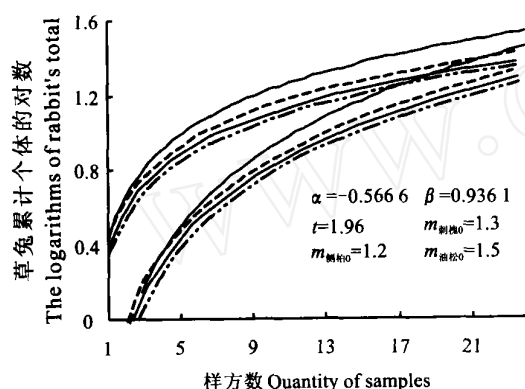


图 5 陕西林区草兔调查的序贯抽样

----, 油松; ———, 刺槐; - - -, 侧柏

Fig 5 The consecutive samples of *Lepus capensis* in Shaanxi forestland

----, *Pinus tabulaeformis*; ———, *Robinia pseudoacacia*; - - -, *Platycladus orientalis*

如果取置信度 $t = 1.96$ 时, 则可绘出陕西林区草兔调查的序贯图(图 5)。其最大抽样数($Q_{\max}$)可用下式计算:

$$Q_{\max} = \frac{t^2}{d_0^2} [(\alpha+1)m_0 + (\beta-1)m_0^2]$$

安康林区草兔调查的最大抽样数为 16, 麟游为 23, 永寿和桥山为 9, 桥北为 12, 吴旗为 13。

3 结果与讨论

(1) 陕西林区草兔的空间分布格局可以分为 3 种基本类型。第一种是以安康汉滨林区为代表的秦巴山地草兔空间分布格局类型, 植被相对较好, 林内食物丰富, 草兔在林地有均匀分布趋势, 但密度较低。第二种是以桥山林区为代表的黄桥林地草兔空间分布格局类型, 为典型的黄土高原灌木疏林和荒

坡幼林地草兔类型, 立地景观相对较破碎, 草兔密度较高, 食物相对充足, 草兔有均匀分布的趋势。第三种是以桥北和吴旗林区为代表的陕北黄土沟壑区林地草兔空间分布格局类型, 林地景观破碎, 植被稀少, 农林交叉分布现象十分严重。因为造林方式和树种的不同, 造成林地草兔食物分布的严重不均匀, 春季食物缺乏时, 草兔为了获得维持生命的食物, 向食物丰富的林地集中。同时由于草兔的护幼行为, 在食物缺乏时, 允许其当年生的幼体与其共同享受同一食物资源。但由于草兔个体间的相互排斥和领域行为, 使个体间保持一定距离。因此, 在小样方中草兔表现为以个体为基本分布成分的聚集分布; 而在大范围内, 草兔表现为均匀分布。麟游林区草兔空间格局具有秦巴山地和黄土沟壑区林地分布的特点, 是典型的过渡型分布, 也是关中北部塬区林地草兔空间分布格局的基本类型。永寿林区草兔的空间分布格局是关中北部塬区林地向陕北黄土沟壑区林地过渡类型, 在小样方条件下, 有随机分布的趋势, 而在大范围内, 有均匀分布的趋势。

(2) 陕西林区草兔空间分布的聚集度从南向北依次增强, 安康林区最低, 桥北和吴旗林区最高。草兔在林区分布聚集块大小为 $1 \sim 2 \text{ hm}^2$, 不存在更大的个体聚集块。在小样方中, 由于草兔有向食物丰富和隐蔽条件较好的林地相对集中的趋势, 使草兔有聚集分布的趋势, 且与密度有依赖性, 同时由于各林区植被状况的差异, 造成了草兔在不同林区空间分布格局的差异。随着样方大小的逐渐增加, 样方内食物和景观丰富度不断提高, 食物条件和空间异质性对草兔分布的影响逐渐减弱, 影响相对稳定, 草兔表现为均匀分布或随机分布。随着样方大小的进一步扩大, 样方间的条件趋于相同, 只是在大的环境景观上有所差异, 造成了在大样方中草兔的聚集度呈现波动变化。

(3) 在密度较小时, 聚集块指标与密度有较好的一致性, 而在密度较大时, 聚集块指标与密度的一致性急剧下降, 当聚集块指标超过其稳定值的一半时, 聚集块指标随密度增加的速度逐渐降低, 缓慢接近其稳定值。在样方较小时, 聚集块指标与样方有较好的一致性, 而样方较大时, 聚集块指标与样方的一致性急剧下降, 当样方大小在 6 hm^2 以后, 聚集块指标与密度的一致性几乎消失, 并逐渐接近其稳定值。

[参考文献]

- [1] 房继明 啮齿动物的空间分布格局[J]. 生态学报, 1994, 13(1): 39- 44, 68
- [2] 张知彬, 朱 靖, 杨荷芳, 等. 农田大仓鼠洞巢空间分布及季节动态研究[J]. 动物学杂志, 1997, 32(4): 32- 33
- [3] 常 弘, 张国萍 珠江三角洲黄毛鼠和板齿鼠种群的空间格局[J]. 中山大学学报, 1996, 35(6): 90- 94
- [4] 王增君, 陈 宏, 董立涛, 等. 棕色田鼠种群的空间分布型研究[J]. 山东农业科学, 1998, (6): 36- 37
- [5] 米景川, 夏连续, 王兰芳, 等. 内蒙古北部荒漠草原啮齿动物的空间分布格局[J]. 兽类学报, 1998, 18(4): 314- 316
- [6] 施大钊 布氏田鼠鼠洞的分布格局的初步研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1985, 6(2): 111- 117
- [7] 赵天飙, 李新民, 张忠兵, 等. 大沙鼠和子午沙鼠种群空间分布格局的研究[J]. 兽类学报, 1998, 18(2): 131- 136
- [8] 赵天飙, 张忠兵, 李新民, 等. 大沙鼠洞群空间分布格局的研究[J]. 兽类学报, 1997, 17(4): 303- 305
- [9] 张忠兵, 赵天飙, 李新民, 等. 大沙鼠种群空间分布格局的研究[J]. 动物学杂志, 1997, 32(4): 29- 31
- [10] 宗 浩, 樊乃昌, 于福溪 高寒草甸生态系统优势鼠种高原鼯鼠和高原鼠兔空间格局的研究[J]. 生态学报, 1991, 11(2): 125- 129
- [11] 祁爱民, 何生伟, 杜 怡, 等. 鄂尔多斯荒漠草原五趾跳鼠空间分布特征[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 1997, 8(4): 303- 304
- [12] 祁爱民, 田进义, 白 忠 鄂尔多斯荒漠草原五趾跳鼠空间分布特点[J]. 内蒙古预防医学, 1998, 23(2): 49- 50
- [13] 王 育, 胡锦涛, 湛利民 唐家河自然保护区社鼠种群空间格局研究[J]. 四川动物, 1994, 13(2): 67- 68
- [14] 房继明, 孙儒泳 布氏田鼠空间分布格局的季节动态[J]. 生态学报, 1991, 11(2): 111- 116
- [15] 韩崇选, 胡忠朗, 杨学军, 等. 林地甘肃鼯鼠空间格局研究[J]. 西北林学院学报, 1995, 10(1): 74- 79
- [16] 刘炳友, 谷 枫, 张 颖, 等. 东北鼯鼠空间分布型研究[J]. 齐齐哈尔师范学院学报, 1997, 17(3): 67- 69
- [17] 韩崇选 林区害鼠综合治理技术[M]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2003 44- 46; 148- 149
- [18] Taylor L R. Aggregation variance and the mean[J]. Nature, 1961, 189: 732- 735
- [19] Lloyd M. Mean crowing[J]. J Anim Ecol, 1967, 36: 1- 30
- [20] Iwao S. Application of the method to the analysis of spatial patterns by changing the gadrat size[J]. Res Popul Ecol, 1972, 14: 97- 128
- [21] Iwao S. The statistics as a comprehensive method for analyzing spatial patterns of biological populations and its application to sampling problems[A]. Morisita M. Studies on Methods of Estimation Density, Biomass and Productivity in Terrestrial Animals[C]. Tokyo: University of Tokyo, 1977. 21- 46
- [22] 戈 峰 现代生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000 213- 276
- [23] 徐汝梅 昆虫种群生态学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987. 27- 31
- [24] 韩崇选, 王明春, 杨学军, 等. 林区啮齿动物结构与林木受害关系研究[J]. 陕西师范大学学报, 2003, 31(专辑): 184- 190

Study on spatial distribution patterns and district variation of *Lepus capensis* in Shaanxi forest-land

HAN Chong-xuan, YANG Xue-jun, YANG Qing-e, WANG Ming-chun,
ZHANG Hong-li, PU Shu-hai

(College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: There are 3 basic types of *Lepus capensis* spatial distribution pattern in Shaanxi forest-land. Rabbit's collecting intensity gradually strengthens from south to north. And its crowding plot size is 1- 2 hm². The rabbit relative concentration behavior in the forestry of food abundance and fine concealing conditions makes a trend of collecting distribution in the small samples, the trend depends on its density. Meanwhile, the vegetation condition's difference in the forest-land causes different spatial distributions. Due to the increase of sampling areas, food and spectacle inside the sampling areas are continuously abundant, the influence of the food condition and the spatial heterogeneity to the rabbit distribution gradually dies down, and rabbit performance is an even, or is a extraneous distribution. When the density is lower and the sampling area is smaller, the index of crowding plot has the good consistency with them, but when the density is higher and the sampling area is bigger, the index of crowding plot of continuity reduce quickly with them, also gradually runs to its steady-state value.

Key words: forest-land; *Lepus capensis*; spatial distribution patterns; district variation; crowding plot