

高原鼢鼠种群能量动态的研究

I. 平均每日代谢及挖掘活动代谢特征*

苏建平 王祖望**

2959.837

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001)

摘 要

高原鼢鼠(*Myospalax baileyi*)的平均每日代谢率(ADMR)在6—10月期间无显著变化($F = 0.731$, $p \gg 0.05$),这可能与地下洞道中环境温度的相对稳定有关。各月份ADMR合并统计为 1.3027 ± 0.2314 毫升氧/克·小时。ADMR与体重(W ,以克计)呈显著的负相关,两者间的回归关系为: $ADMR = 20.09W^{-0.50}$ 。

挖掘活动代谢率(MR_B)为 4.6282 ± 0.9332 毫升氧/克·小时,相当于各月ADMR平均值的3.15—3.78倍。 MR_B 亦与 W 呈明显的负相关,回归公式为: $MR_B = 67.24W^{-0.49}$ 。

实验室条件(20℃)下,日代谢活动无明显的似昼夜节律现象,这可能是对黑暗条件长期适应的结果。然而,自由生活状态下,鼢鼠的日挖掘取食活动却具明显的似昼夜节律,而且挖掘取食活动期间代谢率将明显地升高,据此推测:野外自由生活状态下的高原鼢鼠可能具有与日挖掘活动相伴随的日代谢节律,而且可能与地温的昼夜变动有关。

关键词 高原鼢鼠, 平均每日代谢率, 日代谢节律, 挖掘活动代谢率, 种群动态

本世纪60年代以来,在国际生物学事业规划(IBP)的推动下,小哺乳动物的能学研究得到了广泛而深入的发展,种群能流的估计早已成为生态系统研究中的基本内容之一,受到学者们的普遍关注。然而,地下鼠种群能学的研究则迟迟未得到应有的发展,至今仍远远落后于其它小哺乳动物(Andersen等,1981)。虽然已有不少文献涉及到地下鼠的能学,但绝大部分仅限于阐述与适应地下生境条件相关的能量代谢特征(如体温调节等),而只有Andersen等(1981)关于囊鼠(*Thomomys talpoides*)的研究才开始探讨地下鼠个体及种群的能量动态,此后尚无类似报道。这绝不是因为地下鼠在生态系统中的作用不重要而遭此冷遇,相反,它们可能是某些生态系统中的一条重要的能流途径(王祖望等,1980; Andersen等,1981; Vleck, 1979, 1981),对全面理解生态系统的结构和功能具有重要意义。

高原鼢鼠(*Myospalax baileyi*)是青藏高原典型的地下鼠种,在高寒草甸生态系统中为优势小哺乳动物之一。有关它的基础代谢率(BMR)、静止代谢率(RMR)和非颤抖性产热(NST)等能学特征及其适应意义的研究已有报道(王祖望等,1979; 苏建平,1991)。本文将探讨高原鼢鼠的平均每日代谢率(ADMR)、日代谢节律以及挖掘活动代

* 国家自然科学基金及中国科学院西北高原生物研究所定位站基金资助项目。

** 现在中国科学院动物研究所工作。

本文于1991年3月27日收到,1991年12月15日收到修改稿。

谢率(burrowing metabolic rate)特征,并结合文献分析,进一步阐述该种动物对高寒地下生境的独特适应。同时,为下一步建立适用于估计地下鼠个体每日能量收支(DEB)的模型,探讨其种群的能流奠定必要的基础。

材料和方法

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行,该地区自然概况已有报道(杨福国,1982),本文不再赘述。

高原鼯鼠活捕自定位站附近海拔约3200米的矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸,在实验室条件(15℃)下,用胡萝卜和以蕨麻为主的天然食物驯养3—5天,选择健康个体用于平均每日代谢率(ADMR)和挖掘活动代谢率(MR_B)的测定。

ADMR的测定参照IBP手册第24卷的有关规定进行。将动物置于温度控制在20±1℃的呼吸室(30×30×10厘米³)中,并提供足够的天然食物及巢材(棉花),用气泵向呼吸室供气,其速率为1000毫升/分。呼吸室中的气体由另一只气泵采样,经变色硅胶吸收水份和固体氢氧化钠吸收二氧化碳(CO₂)后,由Beckman OM-14氧气分析仪测出氧气浓度。当整个开放式呼吸系统达到稳定状态后,用记录仪记录呼吸室中连续24小时的氧气浓度。每小时间隔15分钟读取3个连续稳定5分钟的氧浓度值,然后取其平均值,再按照Depocas等(1957)以及Hill(1972)的方法计算个体24小时的总耗氧量,再根据实验前后个体的平均体重求出ADMR值(毫升氧/克·小时)。

MR_B的测定按Vleck(1979)及Andersen等(1981)的方法进行。测定系统同上。只是呼吸室改为一只长135厘米,内径12.5厘米,壁厚1厘米的透明有机玻璃管。其一端连接一个约4升的方盒,用来收集挖掘过程中动物推出的松土。方盒的一面装有一个便于开关的门,以便取放动物。有机玻璃管内放置一只与之等长,外径11厘米,厚0.5毫米且填有供测试动物挖掘的矮嵩草草甸土(密度同天然环境)的铁皮管。铁皮管四周密布直径约5毫米的小孔,以保证呼吸室内气体能迅速交换,而不致因土壤的阻塞影响测定系统的响应时间和灵敏度。有机玻璃管的另一端也装有一个易于开启的门,以便更换铁皮管内的土壤。

挖掘活动期间,动物耗氧量较高,因此,呼吸室供气速率增至2000毫升/分。每次测定前,先测土壤中微生物的呼吸。然后将动物称重并置于方盒内。通常,在1分钟内动物即可寻至铁皮管开口处,并立刻进行挖掘。氧气分析仪约在置放动物后2分钟内显示出呼吸室内氧气浓度逐渐下降,最后达到一最低值而不再改变(除非动物停止挖掘活动),记录下这一氧浓度值,并将动物取出称重。采用与ADMR相同的方法计算出上述最低氧浓度所对应的最大耗氧量,并从中减去土壤的呼吸耗氧即为所测动物挖掘活动过程中的耗氧量(Vleck, 1979)。最后,根据实验前后所测动物的平均体重求出MR_B(毫升氧/克·小时)。

由于MR_B的测定不受环境温度影响(Vleck, 1979; Andersen等, 1981),且测定难度较大,因此,我们只在10月份15±2℃的室温条件下,采用20只动物作一次测定。ADMR的测定比较容易,在实验期(6—10月份)内,每月中旬各测一次,除10月份只测了4只动物外,其余各月均测8只。测定数据均以平均值±标准差(mean±SD)表示。ADMR各月份间差异的显著性采用单因子方差分析进行检验。

结 果

高原鼢鼠各月份的ADMR值见表1。统计分析表明, 各月ADMR无显著差异($F =$

表 1 高原鼢鼠的平均每日代谢率
Table 1 Average daily metabolic rate of the plateau zokor

月 Month	样 本 数 Sample size	体重(克) Body weight (g)	平均每日代谢率(毫升氧/克体重·小时) Average daily metabolic rate (mlO ₂ /g.hr)	
			观测值 Observed	预期值 Expected**
6月 June	8	270.19(72.03)*	1.2918(0.3118)	1.2131
7月 July	8	231.31(55.68)	1.4176(0.2256)	1.3834
8月 August	8	245.88(70.73)	1.3111(0.1897)	1.2717
9月 Sept.	8	286.56(80.89)	1.2232(0.1965)	1.1800
10月 Oct.	4	250.75(41.73)	1.2699(0.2811)	1.2765
合并 pooled	36	257.83(64.16)	1.3084(0.2212)	1.2423

* 括弧内数据为标准差。Data in parentheses were standard deviations.

** 平均每日代谢率预期值的计算采用 Grodzinski(1975)的公式: $ADMR = 19.94W^{-0.50}$.

Expected values of average daily metabolic rate were calculated by using the equation of Grodzinski(1975): $ADMR = 19.94W^{-0.50}$.

0.731, $p \gg 0.05$)。ADMR与体重(W)通常呈明显的负相关, 但因各月份样本较小, 这种相关性难以达到显著水平, 这也是本文没有采用协方差分析(孙儒泳, 1976)检验月份间差异显著性的原因。为了解 ADMR 与W之间的真实关系, 将全部数据合并为一个样本, 并把各ADMR和与之对应的W值均作对数转换, 由此计算出相关系数(转换后) $r = -0.726$, $df = 28$, $p < 0.005$, 表明ADMR与W之间存在极显著的负相关, 回归公式为:

$$\text{LOG ADMR} = \text{LOG } 20.09 - 0.50 \text{LOG } W \quad (1)$$

式(1)可改写为:

$$ADMR = 20.09W^{-0.50} \quad (2)$$

式(1)和(2)中, ADMR以毫升氧/克·小时表示; W以克(g)计。图1直观地表达了ADMR与W之间的负相关关系。

Grodzinski(1975)曾对多种小哺乳动物的ADMR与W之间的关系进行分析, 并得到一般啮齿类动物的经验公式为 $ADMR = 19.94W^{-0.50}$ 。与之相比, 高原鼢鼠的ADMR和W之间的关系与一般啮齿类动物十分相似, 只是其ADMR值略高。

实验室条件下, 温度为20℃时, 高原鼢鼠的日代谢活动无明显的与光

周期一致的似昼夜节律(circadian rhythm)现象(图2), 6—10月的结果完全一致。类似现象在其它种类的地下鼠如 *Thomomys bottae* (Vleck, 1979)和 *Spalacopus cyanus*^s

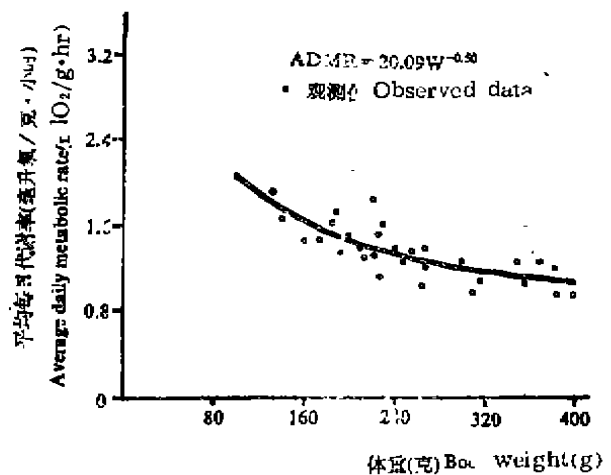


图 1 高原鼢鼠的平均每日代谢率与体重的关系
Fig. 1 The relationship between average daily metabolic rate and body weight of the plateau zokor

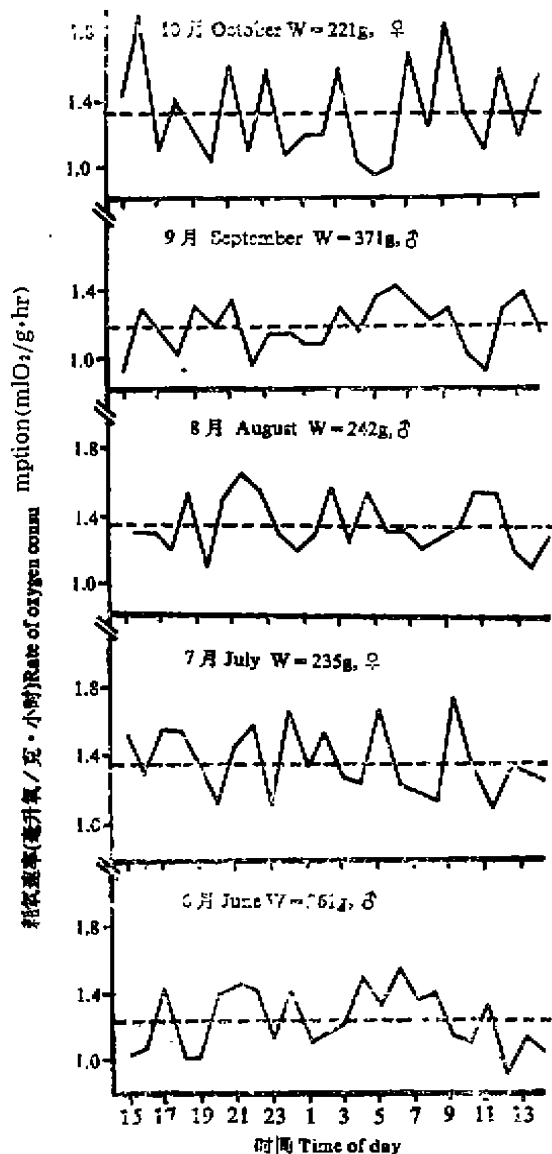


图2 高原鼢鼠的日代谢活动在20℃时无昼夜节律。每月选取1只动物的日代谢资料绘于此，虚线为该动物的平均每日代谢率值。

Fig.2 The daily metabolic activity of *Myospalax baileyi* at 20°C lacked of circadian rhythm. Data of daily metabolism of one animal was plotted for each month, June through October. The dotted line represented the Value of ADMR of the animal.

(Contreras, 1986)之中也曾得到，并被认为这是地下鼠对黑暗环境长期适应的结果(曾绍祥等, 1981)。

高原鼢鼠的 MR_B 为 4.6282 ± 0.9332 毫升氧/克·小时，相当于 ADMR 各月平均值(表1)的 3.15–3.78 倍。 MR_B 亦与 W 呈明显的负相关($r = -0.493$, $df = 18$, $p < 0.05$)，回归公式为：

$$MR_B = 67.24W^{-0.49} \quad (3)$$

MR_B 与 W 之间的负相关关系可用图3显示。与图1显示的ADMR- W 关系相比， MR_B 回归线对实测数据的拟合度较差。此外，挖掘活动期间，个体代谢水平差异较大。

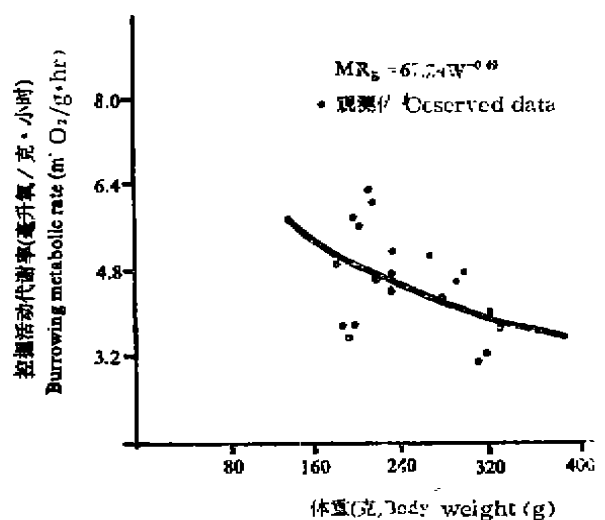


图3 高原鼢鼠挖掘活动代谢率与体重的关系
Fig.3 The relationship between burrowing metabolic rate (MR_B) and body weight (W) of the plateau zokor

讨 论

一些研究(贾西西等, 1986a; Drozd等, 1971; Gebczynski, 1966; Gor-

贾西西等, 1986a,b)。相反, 由于土层的屏障作用, 地下洞系中温度变化却比地面小得多, 使得营地下洞系生活的高原鼯鼠能保持相对稳定的代谢水平, 这不仅表现为其 ADMR 无显著的季节性变化, 其它能学参数如基础代谢率 (BMR)、非颤抖性产热 (NST)、理论临界温度、临界梯度以及化学体温调节能力也都没有明显的季节性差异 (王祖望等, 1979; 苏建平等, 1991)。

地上鼠的日代谢活动具有明显的似昼夜节律 (circadian rhythm)。尽管对生物节律现象的解释存在不同的观点, 但仍比较偏重于把它看成是生物体内部的一种固有属性, 在环境因子的干扰作用下, 能够自调节 (宗浩, 1986; 宗浩等, 1987)。在众多的环境因子中, 光照和温度两者对生物节律的效应受到特别关注。然而在地下鼠中, 至今仍未发现代谢活动具明显似昼夜节律的证据。相反, 三个在分类上相差甚远的种——*Thomomys bottae* (Vleck, 1979), *Spalacopus cynanus* (Contreras, 1986) 和 *Myospalax baileyi* (本研究) 却相继被发现其日代谢活动不具明显的高峰期和低谷期, 表明它们的代谢活动没有节律现象, 更谈不上光照周期效应。显然, 这是地下鼠长期生活在黑暗无光的地下洞系环境之中趋同适应 (Convergent adaptation) 的结果。

值得注意的是, 周文扬等 (1990) 发现, 野外自由生活状态下高原鼯鼠的日挖掘取食活动因季节不同而主要集中在一个 (4—7月) 或两个 (8—10月) 高峰期内, 其余时间则很少甚至为零, 显示出明显的似昼夜节律。他们认为这种现象与地温变化有关, 活动高峰期与极端地温的出现不重叠。从能学角度看, 挖掘活动期间, 体内大量产热, 若地温较高加之洞道湿度太大, 不利散热 (McNab, 1966, 1979); 若地温太低甚至结冻, 离开主巢活动必将导致挖掘价和体温调节价的增加 (Andersen 等, 1981)。这种避免极端环境温度的行为调节也见于其他地下鼠种 (Vleck, 1979)。挖掘取食活动过程中, 代谢率将明显增高, 由此推测, 尽管在实验室条件下, 高原鼯鼠无明显的日代谢节律, 但在野外自由生活状态下, 它必然表现出与挖掘取食活动同步的代谢活动高峰期, 并具有一种可被称之为“伴随性质”的似昼夜节律。这种特点为建立以平均每日代谢率 (ADMR) 为基础并对掘土价 (Cost of burrowing) 进行校正的每日能量收支 (Daily energy budget, DEB) 模型奠定了基础, 这将是下一步欲探讨的问题。

参 考 文 献

- 王祖望、曾绍祥、韩永才 1979 高原鼠兔和中华鼯鼠气体代谢的研究。动物学报 25(1):75—84。
 王祖望、曾绍祥、韩永才、张晓爱 1980 高山草甸生态系一小哺乳动物能量动态的研究 I、高原鼠兔和中华鼯鼠对天然食物的消化率和同化水平的测定。动物学报 26(2):184—195。
 孙儒泳 1976 协方差分析和调整平均数在生物学中的应用。北京师范大学学报(自然科学版) 76(2—3):62—75。
 苏建平、王祖望 1991 高原鼯鼠的基础代谢和非颤抖性产热及其在冷适应中的意义。高寒草甸生态系统 3:139—148。
 杨福刚 1982 高寒草甸生态系统定位站的自然概况。高寒草甸生态系统 (夏武平主编), 1—8, 甘肃人民出版社。
 宗浩 1986 哺乳动物似昼夜节律研究概要。兽类学报 6(1):63—72。
 宗浩、夏武平 1987 高原鼠兔似昼夜活动节律的研究。兽类学报 7(3):211—223。
 周文扬、窦丰满 1990 高原鼯鼠活动与巢区的初步研究。兽类学报 10(1):31—38。
 贾西西、孙儒泳 1986a 根田鼠平均每日代谢率及每日能量收支的估计。兽类学报 6(2):133—140。
 贾西西、孙儒泳 1986b 根田鼠静止代谢率特征的研究。动物学报 32(3):280—287。
 曾绍祥、王祖望、韩永才 1981 五种小哺乳动物活动节律的初步研究。兽类学报 1(2):189—198。
 Andersen, D.C. and J.A. MacMahon 1981 Population dynamics and bioenergetics of a fossorial herbivore, *Thomomys talpoides* (Rodentia: Geomyidae), in a spruce-fir sere. Ecol. Monographs 51(2):179—202。
 Contreras, L.C. 1986 Bioenergetics and distribution of fossorial *Spalacopus cynanus* (Rodentia),

- thermal stress or cost of burrowing? *Physiol. Zool.* 59(1):20—28.
- Dopcas, F. and J. S. Hart 1957 Use of the Pauling oxygen analyzer for measurement of oxygen consumption of animals in open-circuit systems and in a short-lag closed-circuit apparatus. *J. Appl. Physiol.* 10:388—392.
- Drozdz, A., A. Gorecki, W. Grodzinski and J. Pelikan 1971 Bioenergetics of water voles (*Arvicola terrestris*) from southern Moravia. *Ann. Zool. Fennici.* 8:97—103.
- Gabczynski, M. 1966 Daily energy requirement of the yellownecked field mouse in different seasons. *Acta Theriol.* 11:391—392.
- Gorecki, A. 1968 Metabolic rate and energy budget in the bank vole. *Acta Theriol.* 15:93—66.
- Grodzinski, W. 1975 Energy flow through a vertebrate population. In: *Methods for ecological bioenergetics* (Grodzinski, W. ed), IBP Handbook, No.24, pp.65—94. Blackwell Scientific Oxford.
- Hill, R. W. 1972 Determination of oxygen consumption using the paramagnetic oxygen analyzer. *J. Appl. Physiol.* 33:261—263.
- McNab, B. K. 1963 The metabolism of fossorial rodents: a study of convergence. *Ecology* 47:712—733.
- 1979 The influence of body size on the energetics and distribution of fossorial and burrowing mammals. *Ecology*, 60:1010—1021.
- Vleck, D. 1979 The energy cost of burrowing by the pocket gopher *Thomomys bottae*. *Physiol. Zool.* 52(2):122—136.
- 1981 Burrow structure and foraging costs in the fossorial rodent, *Thomomys bottae*. *Oecologia* (Berl.) 49:391—396.

Abstract

STUDIES ON THE POPULATION ENERGETICS OF PLATEAU ZOKOR I. AVERAGE DAILY METABOLIC RATE AND BURROWING METABOLIC RATE

SU Jianping WANG Zuwang

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica, Xining, 810001)

Plateau zokor (*Myospalax baileyi*) is the specific species of fossorial rodent in Qinghai-Tibet Plateau and a dominant species of small mammals in alpine meadow ecosystem. To understand the function of this species in the ecosystem, a research project of population energetics has been carried out year by year since 1987. This paper reports the results of laboratory experimental measurements for average daily metabolic rate (ADMR) monthly June through October and burrowing metabolic rate (MR_B) in October, 1988.

ADMR of the zokors in each month June through October was tabulated in Table 1. No significant monthly difference was detected by ANOVA ($F=0.731$, $p \gg 0.05$), suggesting no seasonal variation of ADMR in the zokors. This pattern differed significantly from those of terrestrial small mammals and was partly due to the relative stability of microclimate in burrows underground. The relationship between ADMR and body weight (W) for the pooled data could be described by equation, $ADMR = 20.09W^{-0.50}$ ($n=30$, $r = -0.726$), where ADMR expressed in terms of ml O₂/g·hr and W in gram.

Burrowing metabolic rate (MR_B) of the zokors was 4.6282 ± 0.9332 ml O₂/g·hr, equivalent to 3.15—3.78 times of averaged ADMR for different months. MR_B was negatively correlated with body weight. The relationship between MR_B and W could be

described by equation: $MR_B = 67.24W^{-0.49}$ ($n = 20$, $r = -0.493$), where MR_B expressed in terms of $ml\ O_2/g \cdot hr$ and W in gram.

No significant circadian metabolic rhythm was found in the zokors under laboratory conditions with $T_a = 20^\circ C$, which was viewed as an adaptation to darkness of the burrow habitat. However, we presumed that zokors ranging in the field perform a daily rhythm of metabolism accompanied with that of burrowing because of higher metabolic rate in the process of burrowing. The characteristics of daily metabolism mentioned above will be helpful to establish a model fit to estimate daily energy budget of the zokor which will be discussed in the next paper.

Key words: Plateau zokor (*Myospalax baileyi*); Average daily metabolic rate (ADMR); Daily metabolic rhythm; Burrowing metabolic rate (MR_B)

第六届国际兽类学大会将在澳大利亚举行

THE SIXTH INTERNATIONAL THERIOLOGICAL CONGRESS WILL BE HELD IN 4—10 JULY 1993, SYDNEY, AUSTRALIA

第6届国际兽类学大会(ITC6)将于1993年6月4—10日在澳大利亚Sydney召开。本届大会下设20个专题报告会和专题讨论会,包括:早期哺乳类、海洋哺乳类、有袋类的演化、哺乳动物系统分类、消化生理学、蝙蝠生物学、灵长类生物学、猪科生物学、栖息地选择、食虫类生物学、南部大陆动物地理学、濒危物种的保护、干扰生态学、干旱地区的兽类、热带地区的兽类、温带地区的兽类、兽类种群生物学、繁殖生理学、疾病在种群调节中的作用以及野生动物管理。每个专题报告会和专题讨论会都将进行相关的板报交流。每天安排5—6个专题报告和4个专题讨论。大会期间,将组织一次游览和野餐活动,与会代表及随从人员届时可考察澳洲哺乳动物和灌丛栖息地的情况。

会议注册费350澳元,可参加会议全部正式议程,论文摘要以及早茶和午茶的费用也包括在内。晚餐、午餐、夜间活动和会前会后的游览费用将另计。学校提供的食宿条件(包括一单人房间、床、早餐)日费用38澳元(1991年)。学校附近(20分钟距离之内)有大量的宾馆和汽车旅馆。

凡愿参加会议者,请填好回执并尽快寄回。另请注明是否提交论文板报、是否愿意参加专题报告或专题讨论会的组织以及您所感兴趣的专题。联系地址:大会秘书处或Parr Fox(或Mike Augee), School of Biological Science, University of New South Wales.

苏建平(中国科学院西北高原生物研究所)