

我国哺乳动物生理生态学的一些进展和 未来发展的建议

王德华

(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 100101)

摘要: 本文简要论述了我国哺乳动物生理生态学 (主要是啮齿动物) 的几个主要领域 (方向) 的研究进展, 如环境的适应和瘦素的生理功能。根据国际发展动态, 对未来一些可能的发展方向提出了建议。

关键词: 哺乳动物; 生理生态学; 适应; 瘦素; 褐色脂肪组织

中图分类号: Q4, Q958

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 1050 (2011) 01 - 0015 - 05

Some progress in mammalian physiological ecology in China

WANG Dehua

(State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Some research progress in physiological ecology of mammals in China (mainly on small mammals) was briefly reviewed, such as adaptation to different environments, physiological function of leptin and thermogenesis in brown adipose tissue. According to the status in China and the developmental trends in the world, some possible directions and growing fields were proposed, such as macrophysiology and responses to the global climate change.

Key words: Adaptation; Brown adipose tissue; Leptin; Mammal; Physiological ecology

生理生态学作为一个相对比较年轻的交叉学科, 其研究成果在进化生物学、行为学、种群生态学、群落和系统生态学的理论发展和建立过程中, 产生了重要影响。随着新的生理学和分子生物学技术的发展及其在野外生物学研究中的应用, 对野生生物种的地理分布和丰度等生态学问题、种群调节及群落组织和结构等问题的研究越来越深入, 越来越综合。生理生态学的主题是野生动物对自然环境的适应, 起步于上世纪 40 年代, 在我国的发展相对比较缓慢。经过赵以炳、孙儒泳、王祖望等老一辈科学家的努力, 我国的哺乳动物生理生态学发展已经有了一定的规模, 许多领域方向都有较好的发展态势。

生理生态学 (环境生理学) 的研究, 对于一个物种的生活史特征、种群生物学特征等都具有重要的意义。夏武平 (1984) 曾指出我国的兽类生理生态学研究“应注意极端环境对兽类影响的研究, 如高海拔、强光照、极端干旱或潮湿、寒冷与炎热等等。极端的环境条件下, 常能看到事物的本质。此中既有野外观察, 也有室内实验研究。”纵

观我国兽类生理生态学的发展, 主要涉及的研究领域有: 代谢生理学、消化生理学、生态免疫学、整合生理学等, 研究地区涵盖了青藏高原、内蒙古高原、横断山脉、华北平原、东北平原等, 达 20 余种动物, 主要集中在小型哺乳动物。关于我国兽类生理生态学的研究进展, 我曾在近年的几篇文章中进行过论述 (Wang and Wang, 2003; 王德华, 2007; 王德华等, 2009), 在此不再具体论述相关领域的进展。本文主要简述我国兽类生理生态学发展的几个重要方面, 对未来可能的发展趋势进行一些建议。

1 动物对环境的生理适应机理

不同环境中动物的代谢和能量学特征研究是我国兽类生理生态学发展中的一个基本和重要内容, 现在已经对数十种小型兽类的代谢率进行了研究。孙儒泳先生上世纪 60 年代在《北京师范大学学报》上报道了他在前苏联开展的棕背鼯 (*Clethrionomys glarolus*) 和普通田鼠 (*Microtus arvalis*) 的工作 (孙儒泳 1959、1963), 70 年代在国内开展了社鼠 (*Niviventer confucianus*) 和褐家鼠 (*Rattus*

作者简介: 王德华 (1963 -), 男, 博士, 研究员, 主要从事动物生理生态学研究。

收稿日期: 2010 - 12 - 29; 修回日期: 2011 - 01 - 12

* 通讯作者, Corresponding author, E - mail: wangdh@ioz.ac.cn

norvegicus) 的代谢研究 (孙儒泳和黄铁华, 1973), 王祖望先生等 70 年代在青藏高原对野生高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 和高原鼯鼠 (*Myospalax baileyi*) 的气体代谢和能量摄入等进行了研究 (王祖望等, 1979, 1980)。随后的这些年里, 相关研究逐渐增多, 如棕色田鼠 (*Microtus mandarinus*)、根田鼠 (*Microtus oeconomus*)、布氏田鼠 (*Lasiopodomys brandtii*)、长爪沙鼠 (*Meriones unguiculatus*)、黄胸鼠 (*Rattus losea*)、莫氏田鼠 (*Microtus maximowiczii*)、中缅树鼩 (*Tupaia belangeri*)、大绒鼠 (*Eothenomys miletus*)、黄鼠 (*Spermophilus dauricus*)、刺猬 (*Erinaceus europaeus*)、子午沙鼠 (*Meriones meridianus*)、大仓鼠 (*Tscherskia triton*)、黑线仓鼠 (*Cricetulus barabensis*)、坎氏毛足鼠 (*Phodopus campbelli*)、小毛足鼠 (*Phodopus roborovskii*)、三趾跳鼠 (*Dipus sagitta*)、倭蜂猴 (*Nycticebus pygmaeus*)、大林姬鼠 (*Apodemus speciosus*)、黑线姬鼠 (*Apodemus agrarius*)、高山姬鼠 (*Apodemus chevrieri*)、中华姬鼠 (*Apodemus draco*) 等 (贾西和孙儒泳, 1986; 王政昆等, 1999; 其他见王德华, 2007)。

野生动物褐色脂肪组织 (Brown adipose tissue, BAT) 的产热机理和生理意义是我国寒冷适应研究的一个重要方面。BAT 作为一种快速有效产热组织, 自上世纪 60 年代被确定其产热地位后, 相关研究发展迅速。王德华和王祖望 (1989, 1990) 首先报道了青藏高原高原鼠兔和根田鼠的 BAT 重量和显微结构, 及其非颤抖性产热 (Nonshivering thermogenesis, NST) 的季节变化。宋晓葳和曾缙祥 (1991)、张淑珍等 (1996) 报道了对黄鼠、孙金生和曾缙祥 (1994) 报道了对刺猬的 BAT 产热研究。关于其他物种 BAT 产热的生物化学和分子机理也有较多研究, 且逐渐深入, 我国亚热带和北方的一些物种都有涉及, 李庆芬等对我国不同地理区域物种的冷适应机理进行了比较 (Li *et al.*, 2001) 和总结 (李庆芬 2007)。

冬眠生理学是我国兽类生理生态学发展的一个重要内容。有些物种在寒冷环境条件和季节中, 会放弃恒温而进入蛰伏状态。冬眠是蛰伏 (Torpor) 的一种类型, 属于季节性蛰伏 (Seasonal torpor), 指恒温动物在冬季等不利的条件和季节中, 表现出昏睡状态, 其体温和代谢都降低到很低水平的一种生理调节行为。北京大学赵以炳先生在上世纪 50 年代即对刺猬的体温调节进行了比较详细的观察,

开创了我国现代冬眠生理学的先河。金宗濂和蔡益鹏 (1987)、曾缙祥等 (1987) 对黄鼠的冬眠机理进行过研究。BAT 产热对于冬眠苏醒具有重要的意义, 对此有比较深入的研究 (Liu *et al.*, 1998)。

分子生物学和基因组学的发展, 极大地促进了生理生态学各个领域的发展。王祖望和张知彬 (2001) 曾预测我国的“生理生态学将在适应性、适应对策和适应机理等方面有较大的发展, 尤其是小型兽类对极端环境 (寒冷、干旱、炎热、低氧等) 的适应机理的研究会取得较大的进步, 与分子生物学的结合, 探讨生理适应的分子学机制将是一个重要发展方向。”Shen 等 (2010) 利用生物信息学的技术手段, 分析了蝙蝠飞行的能量代谢基因及其适应选择意义。Tatum 等 (2010) 和 Yi 等 (2010) 从基因 (基因组) 水平上, 阐述了藏人对高寒低氧环境的适应特征。

2 瘦素 (Leptin) 在能量平衡和产热过程中的调节作用

瘦素是 1995 年发现的一种脂肪激素, 主要是由白色脂肪细胞分泌的、肥胖基因编码的、分子量为 16 KD 的蛋白类激素, 在动物的能量平衡、产热、繁殖、生长发育和免疫等方面有重要作用。我们近几年从整合生理学的角度, 在以分布于内蒙古草原的布氏田鼠、长爪沙鼠和青藏高原的高原鼠兔和根田鼠为研究对象, 对瘦素的功能进行了比较生理学研究, 包括瘦素在季节变化中的生理地位, 对繁殖期能量摄入和能量消耗的调节作用, 及其主要环境因素 (光照、温度和食物质量等) 的影响等等 (Li and Wang, 2005a, 2005b; Zhao and Wang, 2006; Wang *et al.*, 2006a, 2006b; Tang *et al.*, 2009)。Yang 等 (2008) 发现高原鼠兔在自然选择的作用下, 瘦素蛋白发生了适应性的功能进化, 产生了新的功能或原有功能的加强, 瘦素蛋白的这种适应性进化对高原鼠兔适应严酷的高寒低氧环境具有重要的生态和进化意义。

关于布氏田鼠繁殖期的能量和产热调节, 我们近几年的研究有重要进展, 在此进行简要阐述。哺乳动物的繁殖过程是一个非常耗能的生理过程。繁殖期的能量对策和产热调节对动物的适合度和种群增长等生物学过程具有决定性作用。通过对布氏田鼠非繁殖期、初次繁殖妊娠中期、妊娠晚期、哺乳早期和哺乳高峰期能量摄入、产热能力和血清瘦素水平等测定, 发现动物可通过调整能量摄入、产热

能力和身体脂肪储备等方式应对繁殖期的高能量需求，妊娠期血清瘦素浓度高但能量摄入并没有降低，哺乳期瘦素浓度低而能量摄入增加，表明瘦素在妊娠期和哺乳期对能量平衡和产热调节具有不同的生理功能 (Zhang and Wang 2007, 2008)。妊娠期瘦素水平和食物摄入都增加，暗示动物产生瘦素抵抗现象。下丘脑瘦素受体减少和瘦素信号转导的消弱是中枢瘦素抵抗的特征。通过测定布氏田鼠妊娠期不同阶段的瘦素长型受体 (Ob-Rb)、细胞信号抑制因子 SOCS3 (suppressor-of-cytokine-signaling 3)、增食类神经肽 NPY (neuropeptide Y) 和 AgRP (Agouti-related protein) 以及厌食类神经肽 POMC (proopiomelanocortin) 和 CART (cocaine- and amphetamine-regulated transcript peptide) 的 mRNA 表达等，发现妊娠期下丘脑 Ob-Rb mRNA 的表达没有显著变化；SOCS3 mRNA 的表达显著增加，POMC mRNA 显著降低，同时 NPY、AgRP 和 CART 的 mRNA 表达跟对照组相比没有差别。在妊娠期下丘脑瘦素长型受体 Ob-Rb 减少和 SOCS3 增加是能量平衡和产热调节的重要因素 (Tang *et al.*, 2008)。鼠类哺乳期脂肪积累常减少到很低的水平，但动物体内脂肪获得的能量对哺乳总能量平衡贡献微小。脂肪减少的一个重要作用是引起外周瘦素减少，从而促进哺乳期动物过度摄食。通过使用微型渗透泵施加外源瘦素的方法，发现补充瘦素引起哺乳期布氏田鼠剂量依赖性的体重和食物摄入下降，哺乳期瘦素减少可能部分是通过刺激下丘脑增食性神经肽 NPY 和 AgRP 的释放，以及对厌食性神经肽 POMC 的抑制起作用。这些生理效应都可被外源补充瘦素所逆转。同时瘦素处理对每日能量消耗、乳汁分泌量或幼体的生长没有影响，但补充瘦素确实逆转了褐色脂肪组织中解偶联蛋白 1 (Uncoupling protein 1, UCP1) 表达的抑制。哺乳期外源施加瘦素可影响神经肽和解偶联蛋白变化 (Cui *et al.*, 2011)。

3 新技术手段的应用

刘志龙等利用同位素标记方法对布氏田鼠的水周转速率的季节动态进行了测定 (Liu *et al.*, 1992)。裴艳新等利用食物标记技术 (液相的 Co-EDTA 和固相的 Cr-CWC) 研究了布氏田鼠和长爪沙鼠的消化生理学，通过测定食物在消化道内的滞留时间和通过时间，发现布氏田鼠具有结肠分离机制 (CSM)，而长爪沙鼠则没有 (Pei *et al.*, 2001a, 2001b)。吴宿慧等 (2009) 通过利用双标记水 (Double labeled water, DLW) 稳定同位素方

法对不同温度环境中哺乳母鼠的最大持续能量摄入和泌乳量进行测定，发现低温条件下母鼠的泌乳量增加，能量摄入增加，最大持续能量摄入受胎仔数大小的影响。阐明了温度变化会影响母体对后代的繁殖投资 (Wu *et al.*, 2009)。迟庆生和王德华 (2011) 使用无线遥测技术在实验室低温驯化条件下监测了小毛足鼠 (*Phodopus roborovskii*) 的体核温度和活动性，使用开放式代谢仪测定了其代谢速率，使用运动监测系统记录了动物的每日活动强度和ación分配等。发现在面对寒冷环境时，小毛足鼠在能量 (食物) 供应充足的条件下，会采取积极的策略，如增加能量摄入量和对食物的消化能力、提高自身的产热能力等，维持稳定的体温和体重。小毛足鼠每天活动的强度和开始活动的时间不变，也未发现异温性现象，但当在 23 °C 的环境中进行 24 h 的食物限制 (如剥夺食物) 时，可表现出低于 30 °C 的低体温现象 (Chi and Wang, 2011)。

4 未来的发展和建议

我国的兽类生理生态学在很多领域都有了长足的发展。生理生态学与其他学科的交叉和实际应用，在我们今后的工作中需要重视和关注。生态毒理学是应用性很强的学科，随着经济和社会的发展，环境污染物造成的许多危害人类健康的问题都是生理学问题。生理生态学与保护生物学、行为生物学、种群生物学和群落生态学等学科的交叉协作，显得日趋迫切。这些学科中的许多机理性问题，都迫切需要生理学层次的阐释，如动物保护中的环境适应性问题，行为生物学中的生理应激问题，种群生物学中的繁殖、发育和适合度问题，以及群落生态学中的资源分配问题等等。

生理生态学的许多领域和方向在我国都是需要开展和加强的，具体有：大尺度下动物的生理生态特征的变化 (宏生理学 macrophysiology)，极端环境中动物的内分泌系统的变化 (环境内分泌学 environmental endocrinology)，干旱半干旱地区动物的生理适应 (高温生理学)，冬眠 (蛰伏) 生理学 (如黄鼠、刺猬等)，飞行兽类的生态生理学 (如蝙蝠)，地下活动兽类的生态生理学 (如鼯鼠)，高寒低氧生态生理学 (如高原鼠兔和牦牛) 等等，这些研究的开展我国有独特的自然条件和优势。同时，随着全球气候变化，对动物的地理分布格局和生理适应性研究，将是一个迫切和重要的课题，不容忽视。我国大型兽类的生态生理学研究，一直不足，需要加强。

生理生态学有许多有趣的重要科学问题需要我们去解决和探索。我国地形复杂、物种繁多、环境多样,要对每个物种都进行研究几乎是不可能的,所以针对不同的科学问题,选择合适的物种进行研究是必要的。孙儒泳(1991)在思考我国生理生态学的发展战略时,曾提出了几个发展方向,包括动物对极端或特殊环境适应的生理机制研究;分子生态学、遗传生理学和进化生态学的学科前沿的研究;生理生态与种群生态学和群落生态学的界面研究等。生物学上的奥古斯特原则(August Krogh Principle)对于我们选择动物模型是很有帮助的,即对于几乎每一个(生理学、生物学)问题,都有一种适合的物种用于研究。

生理学研究中,动物体型的影响是需要特别注意的。孙儒泳先生在上世纪60年代对当时的代谢指标提出了建设性意见(孙儒泳,1963),为了去除体重的影响,还在统计分析时引入了协方差分析的思想(孙儒泳,1973,1976),这些建议和思想对于学科的促进和学术思想的发展都是非常重要的贡献。动物的体型对机体、种群和群落等层次的生物学特性是一个非常重要的限制因素,在进行相关分析时,重视动物体型的生理学影响是必要的。无论生理上还是生态上,动物最重要的特征是体型(个体大小)的变化。

进化生物学思想对生理生态学的重要性是无庸多言的,加强融合和渗透是必要的。在组学时代(-omics时代),信息积累和更新更加丰富迅速和庞大,整合(生态)生理学的思想和途径要重视,对相关信息进行整合,发现新的问题,进而形成和提出新的假说,是一条创新之路。要尝试将分子生物学、基因组学(生态基因组学)、神经生物学的新的技术手段,应用到生理生态学的研究中。环境在不断变化之中,处在变化环境中的动物,生理上必然产生相应的适应性调节。进行长期的和大地理尺度的比较研究,也是很有必要的。

致谢:中国科学院动物研究所动物生理生态学研究组汤刚彬、张学英和迟庆生博士阅读文稿并提出修改建议,特此致谢。

参考文献:

Chi Q S, Wang D H. 2011. Thermal physiology and energetics in male desert hamsters (*Phodopus roborovskii*) during cold acclimation. *Journal of Comparative Physiology B*, **181**: 91 - 103.

- Cui J G, Tang G B, Wang D H, Speakman J R. 2011. Effects of leptin infusion during peak lactation on food intake, body composition, litter growth and maternal neuroendocrine status in female Brandt's voles. *American Journal of Physiology: Regul Integr Comp Physiol* DOI: 10. 1152/ajpregu. 00121.
- Li Q F, Sun R Y, Huang C X, Wang Z K, Liu X T, Hou J J, Liu J S, Cai L Q, Li N, Zhang S Z, Wang Y. 2001. Cold adaptive thermogenesis in small mammals from different geographical zones of China. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, **129**: 949 - 961.
- Li X S, Wang D H. 2005a. Regulation of body weight and thermogenesis in seasonally acclimatized Brandt's voles (*Microtus brandti*). *Hormones and Behavior*, **48**: 321 - 328.
- Li X S, Wang D H. 2005b. Seasonal adjustments in body mass and thermogenesis in Mongolian gerbils: the roles of photoperiod and cold. *Journal of Comparative Physiology B*, **175**: 593 - 600.
- Liu X T, Lin Q S, Li Q F, Huang C X, Sun R Y. 1998. Uncoupling protein mRNA, mitochondrial GDP-binding, and T4 5'-deiodinase activity of brown adipose tissue in daurian ground squirrel during hibernation and arousal. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, **120**: 745 - 752.
- Liu Z L, Liu Z M, Sun R Y. 1992. Seasonal water metabolism of free-living Brandt's voles. *Physiological Zoology*, **65**: 215 - 225.
- Pei Y X, Wang D H, Hume I. 2001a. Selective digesta retention and coprophagy in Brandt's vole (*Microtus brandti*). *Journal of Comparative Physiology B*, **171**: 457 - 446.
- Pei Y X, Wang D H, Hume I. 2001b. Effects of dietary fibre on digesta passage, nutrient digestibility, and gastrointestinal tract morphology in the granivorous Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*). *Physiological Biochemical Zoology*, **74**: 742 - 749.
- Shen Y Y, Liang L, Zhu Z H, Zhou W P, D M, Zhang Y P. 2010. Adaptive evolution of energy metabolism genes and the origin of flight in bats. *PNAS*, **107**: 8666 - 8671.
- Tang G B, Cui J G, Wang D H. 2008. Hypothalamic suppressor-of-eytokine-signalling 3 mRNA is elevated and hypothalamic Ob-Rb is reduced and SOCS3 is increased during pregnancy in Brandt's voles. *Journal of Neuroendocrinology*, **20** (9): 1038 - 1044.
- Tang G B, Cui J G, Wang D H. 2009. The role for hypoleptinemia in cold adaptation in Brandt's voles. *American Journal of Physiology: Regul Integr Comp Physiol*, **297**: R1293 - R13.
- Tatum S, Simonson T S, Yang Y Z, Huff C D, Yun H X, Qin G, Witherspoon D J, Bai Z Z, Lorenzo F R, Xing J C, Jorde L B, Prchal J T, Ge R L. 2010. Genetic evidence for high-altitude adaptation in Tibet. *Science*, **329**: 72 - 75.
- Wang D H, Wang Z W. 2003. Rodent physiological ecology in China. In: Singleton G R, Hinds L A, Krebs C J, Spratt D M eds. *Rats, Mice and People: Rodent Biology and Management*. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 551 - 553.
- Wang J M, Zhang Y M, Wang D H. 2006a. Seasonal regulations of energetics, serum concentrations of leptin, and uncoupling protein 1 content of brown adipose tissue in root voles (*Microtus oeconomus*) from the Qinghai-tibetan plateau. *J Comp Physiol*, **176**: 663 - 671.
- Wang J M, Zhang Y M, Wang D H. 2006b. Seasonal thermogenesis and

- body mass regulation in plateau pikas (*Ochotona curzoniae*). *Oecologia*, **149**: 373 – 382.
- Wu S H, Zhang L N, Speakman J R, Wang D H. 2009. Limits to sustained energy intake. XI. A test of the heat dissipation limitation hypothesis in lactating Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*). *The Journal of Experimental Biology*, **212**: 3455 – 3465.
- Yang J, Wang Z L, Zhao X Q, Wang D P, Qi D L, Xu B H, Ren Y H, Tian H F. 2008. Natural selection and adaptive evolution of leptin in the *Ochotona* family driven by the cold environmental stress. *PLoS ONE*, **3**: e1472.
- Yi X, Liang Y, Huerta-Sanchez E, Jin X, Cuo Z X, Pool J E, Xu X, Jiang H, Vinckenbosch N, Korneliusen T S, Zheng H, Liu T, He W, Li K, Luo R, Nie X, Wu H, Zhao M, Cao H, Zou J, Shan Y, Li S, Yang Q, Asan, Ni P, Tian G, Xu J, Liu X, Jiang T, Wu R, Zhou G, Tang M, Qin J, Wang T, Feng S, Li G, Huasang, Luo-sang J, Wang W, Chen F, Wang Y, Zheng X, Li Z, Bianba Z, Yang G, Wang X, Tang S, Gao G, Chen Y, Luo Z, Gusang L, Cao Z, Zhang Q, Ouyang W, Ren X, Liang H, Zheng H, Huang Y, Li J, Bolund L, Kristiansen K, Li Y, Zhang Y, Zhang X, Li R, Li S, Yang H, Nielsen R, Wang J, Wang J. 2010. Sequencing of 50 human exomes reveals adaptation to high altitude. *Science*, **329**: 75 – 78.
- Zhang X Y, Wang D H. 2007. Thermogenesis, food intake and serum leptin in cold-exposed lactating Brandt's voles *Lasiopodomys brandtii*. *Journal of Experimental Biology*, **210**: 512 – 521.
- Zhang X Y, Wang D H. 2008. Large litter size increases maternal energy intake but has no effect on UCP1 content and serum-leptin concentrations in lactating Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*). *Journal of Comparative Physiology B*. **178**: 637 – 645.
- Zhao Z J, Wang D H. 2006. Short photoperiod influences energy intake and serum leptin level in Brandt's voles (*Microtus brandtii*). *Hormone and Behavior*, **49**: 463 – 469.
- 王政昆, 刘璐, 梁子卿, 李庆芬, 孙儒泳. 1999. 大绒鼠体温调节和产热特征. *兽类学报*, **19** (4): 276 – 286.
- 王祖望, 张知彬. 2001. 二十年来我国兽类学研究的进展与展望 II: 形态分类、动物地理、古兽类学. *兽类学报*, **21** (4): 241 – 250.
- 王祖望, 曾缙祥, 韩永才, 张晓爱. 1980. 高寒草甸生态系统小型哺乳动物能量动态研究 I. 高原鼠兔和中华鼢鼠对天然食物的消化率和同化水平的测定. *动物学报*, **26**: 184 – 195.
- 王祖望, 曾缙祥, 韩永才. 1979. 高原鼠兔和中华鼢鼠气体代谢的研究. *动物学报*, **25**: 75 – 85.
- 王德华, 王祖望. 1989. 小哺乳动物在高寒环境中的生存对策 I. 高原鼠兔和根田鼠褐色脂肪组织 (BAT) 重量和显微结构的季节性变化. *兽类学报*, **9** (3): 176 – 185.
- 王德华, 王祖望. 1990. 小哺乳动物在高寒环境中的生存对策 II: 高原鼠兔和根田鼠非颤抖性产热的季节性变化. *兽类学报*, **10** (1): 40 – 53.
- 王德华, 杨明, 刘全生, 张志强, 张学英, 迟庆生, 徐德立. 2009. 小型哺乳动物生理生态学研究进展与进化思想. *兽类学报*, **29** (3): 343 – 351.
- 王德华. 2007. 小型哺乳动物生理生态学研究进展. 王德华等主编: *动物生态学研究进展—庆祝孙儒泳院士 80 寿辰纪念文集*. 北京: 高等教育出版社, 29 – 46.
- 孙金生, 曾缙祥. 1994. 刺猬冬眠过程中褐色脂肪和非颤抖性产热研究. *兽类学报*, **14**: 147 – 153.
- 孙儒泳. 1959, 1963. 棕北鼢和普通田鼠的生态生理特征的地理变异. *北京师范大学学报 (自然科学版)*, **6**: 61 – 82, 1959; **1**: 51 – 88.
- 孙儒泳. 1963. 对以耗氧量作为化学体温调节强度指标的意见. *动物学报*, **15**: 44 – 48.
- 孙儒泳. 1976. 协方差分析和调整平均数在生物学研究中的应用. *北京师范大学学报 (自然科学版)*, **2** – **3**: 62 – 76.
- 孙儒泳, 黄铁华. 1973. 褐家鼠和社鼠耗氧量研究中协方差分析的应用. *动物学报*, **19**: 283 – 392.
- 孙儒泳. 1991. 动物生理生态学的发展趋势. 见: 马世骏主编. *中国生态学发展战略研究*. 北京: 中国经济出版社, 1 – 18.
- 宋晓崑, 曾缙祥. 1991. 黄鼠基础代谢率、静止代谢率、化学热调节强度的季节性变化研究. *兽类学报*, **11** (1): 48 – 55.
- 张淑珍, 李庆芬, 黄晨西. 1996. 达乌尔黄鼠产热的季节性变化. *兽类学报*, **16** (3): 211 – 216.
- 李庆芬. 2007. 北师大动物生理生态研究室的发展—小哺乳动物热能代谢的研究. 王德华等主编: *动物生态学研究进展—庆祝孙儒泳院士 80 寿辰纪念文集*, 北京: 高等教育出版社, 10 – 12.
- 金宗濂, 蔡益鹏. 1987. 季节、环境温度与黄鼠冬眠的关系. *生态学报*, **7**: 185 – 192.
- 夏武平. 1984. 中国兽类生态学进展. *兽类学报*, **4**: (3) 223 – 238.
- 夏武平. 2009. 动物分类学工作之我见. *兽类学报*, **29** (2): 112 – 115.
- 贾西西, 孙儒泳. 1986. 根田鼠静止代谢率特征的研究. *动物学报*, **32**: 280 – 287.
- 曾缙祥, 李瑞仁, 李梦华, 林统先, 邹积凭, 宋晓崑. 1987. 冬眠黄鼠代谢、循环、呼吸系统的变化. *生态学报*, **7**: 95 – 101.