

虎纹蛙和大树蛙肾细胞超微结构 及其与环境适应性的关系*

潘鸿春** 吴孝兵

(安徽师范大学生命科学学院 芜湖 241000)

摘要 用透射电镜比较了大树蛙和虎纹蛙肾细胞的超微结构. 大树蛙近曲小管上皮细胞具发达的质膜内褶迷路, 虎纹蛙近曲小管上皮细胞无此结构; 大树蛙远曲小管上皮细胞含丰富的质膜内褶, 虎纹蛙远曲小管上皮细胞的质膜内褶较少; 两种蛙的集合管上皮细胞都有质膜内褶迷路. 结果表明, 虎纹蛙和大树蛙之间肾细胞超微结构特征的差异是与它们不同的栖息环境和生态习性相适应的. 图版 1 参 13

关键词 虎纹蛙; 大树蛙; 肾; 超微结构; 环境适应性

CLC Q959.530.8

ULTRASTRUCTURES OF THE RENAL CELLS OF *RANA RUGULOSA* AND *POLYPEDATES DENNYSI* AND THE RELATION TO THEIR HABITATS

PAN Hongchun** & WU Xiaobing

(School of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract The ultrastructures of the renal cells of *Rana rugulosa* and *Polypedates dennysi* were studied by transmission electron microscope. The plasma membrane infolding labyrinth was absent in the same cells of *R. rugulosa*, but existed numerously in the cells of proximal tubule of *P. Dennysi*; the plasma membrane infolding was more in the cells of distal tubule of *P. Dennysi* than that of *R. rugulosa*; the cells of the collecting tubules of both *R. Rugulos* and *P. Dennysi* had plasma membrane infolding labyrinth. This study showed that the ultrastructures of the renal cells of *R. rugulosa* and *P. Dennysi* were resulted from the adaptation to their habitats. Plate 1, Ref 13

Keywords *Rana rugulosa*; *Polypedates dennysi*; kidney; ultrastructure; environmental adaptation

CLC Q959.530.8

关于不同生态类型的两栖动物, 肾生理机能对不同栖息环境适应性的研究较多^[1~4], 主要结论是偏水生种类的肾主要以氨的形式排泄氮废物, 而大多数偏陆生种类的肾主要以尿素的形式排泄氮废物, 少数偏陆生的种类特别是树栖种类的肾却排泄尿酸结晶, 上述 3 种肾排泄方式所消耗的水分依次减少. 不同生态类型的两栖动物, 肾形态学特别是肾细胞超微结构对不同栖息环境适应性方面的研究则较少. 本文用透

射电镜比较了偏水生的虎纹蛙(*Rana rugulosa*) 和偏陆生的大树蛙(*Polypedates dennysi*) 肾细胞的超微结构, 为两栖动物生态学、超微结构和生理学的研究提供基础资料.

1 材料和方法

虎纹蛙 5 只(体重 90 ~ 150 g), 采自安徽省芜湖市郊农田区; 大树蛙 7 只(体重 85 ~ 130 g)采自安徽省皖南山区祁门县查湾林场山坡丛林. 活蛙先用乙醚麻醉, 用 2.5% 戊二醛动脉灌注, 整体固定 0.5 h, 然后解剖取出肾并切成小于 1 mm³ 的组织块, 入 2.5% 戊二醛再固定 4 h(4 °C), 1% 锇酸后固定 2 h, Epon812 包埋, 做半薄切片在光镜下定位后制超薄切片, 醋酸

收稿日期: 2001-09-04 接受日期: 2001-11-28

* 安徽省林业厅自然保护科研基金资助项目(99LYT01), 安徽省教育厅自然科学基金资助项目(98JL148), 安徽省动物多样性研究室研究报告第 0103 号 Supported by the Science Research Fund of the Provincial Forestry Department of Anhui for Nature Conservation and the Natural Science Fund of the Provincial Education Department of Anhui, China

** 通讯作者 Corresponding author (E-mail: phongc8@263.net)

钼和枸橼酸铅双重染色, 日立 H-600 型透射电镜下观察和摄片。

2 结果

2.1 肾小体

两种蛙肾小体结构相似(图 1~2)。肾小体包括血管球和肾小囊。血管球由毛细血管组成。肾小囊外壁由单层扁平细胞组成; 肾小囊内壁由足细胞组成, 足细胞有许多突起, 足细胞突起攀附在血管球毛细血管内皮细胞外的基膜上。由毛细血管内皮细胞、基膜和足细胞突起三层结构共同组成血尿屏障。

2.2 颈段

两种蛙颈段结构相似(图 3)。颈段连接肾小囊和近曲小管, 由单层纤毛立方上皮细胞组成。上皮细胞游离面有较多纤毛伸向管腔, 多数纤毛由"9+2"型微管支持。细胞核位于细胞中部、核内异染色质较多, 围绕细胞核排列一定数量的线粒体。

2.3 近曲小管

虎纹蛙近曲小管上皮细胞由单层柱状上皮细胞组成(图 4)。细胞游离面向管腔伸出密集而纤细的微绒毛, 细胞核较小、圆形, 位于细胞中部。胞质内线粒体丰富。大树蛙近曲小管上皮细胞基本结构与虎纹蛙相似, 但大树蛙近曲小管上皮细胞底部有发达的质膜内褶迷路, 质膜内褶迷路附近密集线粒体。质膜内褶迷路为大树蛙近曲小管上皮细胞底部细胞膜向细胞质内凹陷所形成, 质膜内褶迷路内有较大的细胞外空间(图 5)。虎纹蛙近曲小管上皮细胞内无质膜内褶迷路。

2.4 中间段

两种蛙中间段上皮细胞相似。中间段位于近曲小管和远曲小管之间。该段由单层纤毛立方上皮细胞组成, 细胞结构特征与颈段相似。

2.5 远曲小管

虎纹蛙远曲小管由单层柱状上皮细胞组成(图 6), 细胞核较大位于细胞中部, 细胞核周围分布有许多线粒体。细胞底部有少量质膜内褶。大树蛙远曲小管上皮细胞底部的质膜内褶非常发达(图 1, 图 7), 甚至有的细胞底部基膜至细胞核之间的区域充满了质膜内褶。质膜内褶附近有丰富的线粒体。质膜内褶为两种蛙的远曲小管上皮细胞底部细胞膜向细胞质凹陷所形成, 但与大树蛙近曲小管上皮细胞中的质膜内褶迷路相比, 质膜内褶内的细胞外空间较小。

2.6 集合管

两种蛙集合管结构相似。由单层柱状上皮细胞构

成, 细胞核较大位于细胞中央, 核内异染色质较多, 集合管上皮细胞具有质膜内褶迷路。但与大树蛙近曲小管上皮细胞中的质膜内褶迷路不同的是两种蛙集合管上皮细胞不但细胞底部具有质膜内褶迷路, 而且相邻的上皮细胞之间侧面接触部位也有质膜内褶迷路(图 8)。另外, 集合管上皮细胞的电子致密度变化较大, 有的细胞电子致密度低在电镜下染色较浅, 而有的细胞电子致密度高在电镜下染色较深。不同电子致密度的上皮细胞相间排列。

3 讨论

虎纹蛙、大树蛙的肾单位由肾小体、颈段、近曲小管、中间段、远曲小管和集合管 6 个部分组成, 大部分鱼类、两栖类、大部分爬行类都具有这种结构的肾单位^[5-7]。而哺乳类和一部分鸟型爬行类肾单位也由 6 个部分组成, 但上述的中间段被特殊的亨氏祥(loop of Henle)所代替。

虎纹蛙和大树蛙的栖息环境和生态习性差异较大, 虎纹蛙主要生活于丘陵、平原地区的稻田、沟塘等水体中, 为偏水生种类; 大树蛙生活于山区竹林、树林、山坡灌丛中, 为偏陆生的树栖种类^[8]。从本文研究结果看, 两种蛙肾单位的组成和超微结构基本相似, 但也存在比较明显的差异。大树蛙肾近曲小管上皮细胞底部有发达的质膜内褶迷路, 虎纹蛙近曲小管上皮细胞无此结构; 大树蛙肾远曲小管上皮细胞中的质膜内褶较虎纹蛙远曲小管上皮细胞发达。上述差异可能与这两种蛙栖息环境和生态习性不同有关。一般认为, 细胞的质膜内褶(plasma membrane infolding)和质膜内褶迷路(plasma membrane infolding labyrinth)是许多具有水溶液运输机能的上皮细胞特有的结构特征, 如哺乳类的胆囊上皮细胞、蛙类皮肤上皮细胞、脊椎动物肾小管上皮细胞等^[9,10]。质膜内褶和质膜内褶迷路都是上皮细胞底部的细胞膜向细胞质凹陷所形成的特殊结构^[11], 但前者形成的细胞外空间较小, 而后者形成的细胞外空间较大。质膜内褶主要出现于肾单位的远曲小管上皮细胞中, 质膜内褶迷路主要出现于近曲小管和收集管上皮细胞中。脊椎动物肾小囊内的原尿在通过肾小管逐渐流动过程中, 原尿中的一部分水分要被肾小管上皮细胞重吸收并转运到肾小管周围的毛细血管中。而肾小管上皮细胞中的质膜内褶或质膜内褶迷路能增大肾小管上皮细胞与细胞外环境之间物质交换的有效面积。肾小管上皮细胞质膜内褶或质膜内褶迷路是否发达与肾小管上皮细胞重吸

收原尿中水分的能力有关,这在许多研究中得到了证明. Minoru 研究了唯一能在高盐环境中生活的两栖动物即在海边红树林沼泽地带生活的食蟹蛙 (*Rana cancrivora*) 肾细胞超微结构^[5], 试图找出食蟹蛙和其他淡水蛙肾细胞之间的区别, 结果发现这种蛙远曲小管上皮细胞质膜内褶比其他淡水蛙发达. Roberts 等曾比较了 3 种陆生蜥蜴肾小管的超微结构^[11], 发现其中陆生适应性较强的一种蜥蜴近曲小管上皮细胞的质膜内褶迷路和远曲小管上皮细胞的质膜内褶最发达, 他们还对照尿液生理实验, 证明了近曲小管上皮细胞的质膜内褶迷路和远曲小管上皮细胞质膜内褶的发达程度, 与上皮细胞重吸收原尿中水分的能力呈正相关. Arvid 等发现偏陆生的蝾螈 *Ambystoma* sp. 肾近曲小管上皮细胞具发达的质膜内褶迷路^[12], 而另外一种偏水生的蝾螈 *Necturus* sp. 肾近曲小管上皮细胞几乎无质膜内褶迷路. Burce 等做了一个更有趣的实验^[13], 一种在淡水中生活的蝾螈 *Amphiuma means* 肾远曲小管上皮细胞无质膜内褶, 他们把这种蝾螈放入一定浓度的 NaCl 溶液中生活两星期后发现它的远曲小管上皮细胞出现了发达的质膜内褶. 本文作者曾比较过淡水产的扬子鳄 (*Alligator sinensis*) 和海边咸淡水交界处沼泽地带生活的美洲鳄 (*Crocodylus acutus*) 肾的超微结构^[7], 结果表明, 扬子鳄远曲小管上皮细胞有少量质膜内褶, 而美洲鳄远曲小管上皮细胞质膜内褶发达. 综上所述, 在缺水环境或高渗环境中生活的动物肾小管上皮细胞的质膜内褶或质膜内褶迷路发达, 因而肾小管重吸收原尿中水分的能力较强, 以适应缺水环境和高渗环境可能是普遍现象. 本文研究的结果也支持上述观点. 大树蛙肾小管中近曲小管细胞的质膜内褶迷路发达、远曲小管细胞的质膜内褶发达, 因而其肾小管从原尿中重吸收水分的能力较强, 从而增强其个体的保水能力, 保证了大树蛙能较长时间地离开水源活动; 而虎纹蛙与此相反. 由此看来, 大树蛙和虎纹蛙之间肾细胞超微结构的差异是对它们不同的栖息环境和生态习性相适应

的结果.

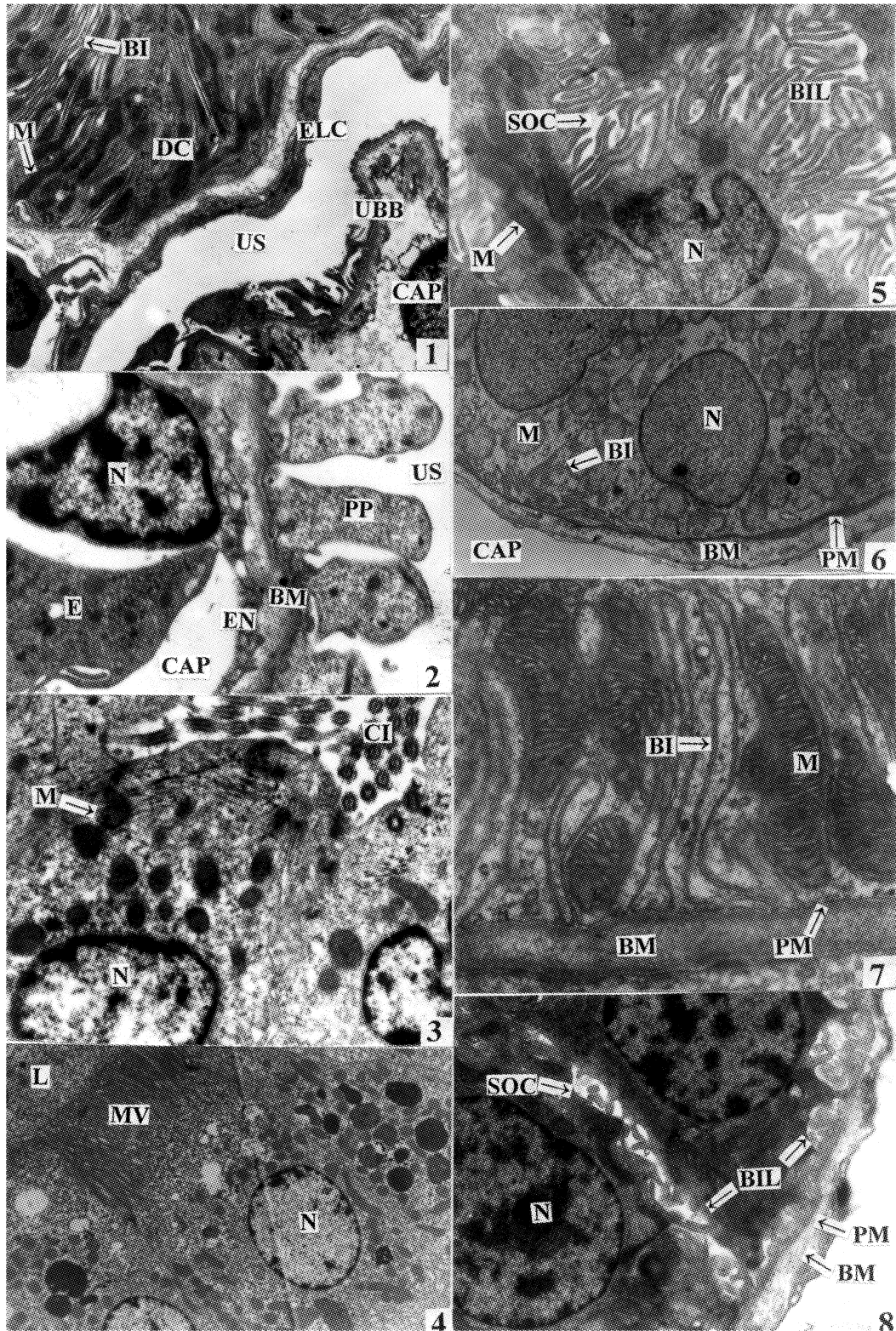
致谢 安徽师范大学生命科学学院陈壁辉教授对该文提出了宝贵意见, 安徽师范大学生命科学学院电子显微镜室和南京师范大学生命科学学院电子显微镜室提供了无偿的技术支持.

References

- 1 Shoemaker VH. Comparative Physiology: Lie in Water and on Land. New York: IX - liviana Press, 1987. 109 ~ 120
- 2 Shoemaker VH. Uricotelism and low evaporative water loss in a south American frog. *Science*, 1972, **175**: 1018 ~ 1020
- 3 John BB. Adaptation of nitrogen metabolism to hyperosmotic environment in amphibia. *J Exp Zool*, 1981, **215**: 335 ~ 350
- 4 Dantzler WH. Significance of comparative studies for renal physiology. *J Amer Physiol*, 1980, **241**: F437 ~ F444
- 5 Minoru V. Structure of the kidney in the crab-eating frog *Rana cancrivora*. *J Morphol*, 1990, **204**(2): 147
- 6 Romen AS, Parsons TS. The Vertebrate Body. New York: Saunders Company, 1977. 281 ~ 283
- 7 Pan HC (潘鸿春), Tang JY (唐剑云), Chen BH (陈壁辉). Ultrastructure of the kidney of *Alligator sinensis*. *Acta Anat Sin* (解剖学报), 1995, **26**(4): 436 ~ 438
- 8 Chen BH (陈壁辉). Amphibians and Reptiles in Anhui. Hefei: Anhui Technology Press, 1991. 127 ~ 145
- 9 Farquhar MG, Palade GE. Adenosine triphosphatase localization in amphibian epidermis. *J Cell Biol*, 1996, **30**(2): 359
- 10 Kelly DE. The leydig cell in larval amphibian epidermis fine structure and function. *Anat Rec*, 1996, **154**(4): 685
- 11 Roberts JS, Schmidt - Nielsen B. Renal ultrastructure and excretion of salt and water by three terrestrial lizards. *Am J Physiol*, 1966, **211**(2): 476
- 12 Arvid BM. Quantitative ultrastructure and functional correlates in proximal tubule of *Ambystoma* and *Necturus*. *J Amer Physiol*, 1984, **246**: F710 ~ F724
- 13 Bruce S. Cellular ultrastructure of *Amphiuma* distal nephron: effects of exposure to potassium. *Am J Physiol*, 1984, **247**(16): C204 ~ C209

潘鸿春等: 虎纹蛙和大树蛙肾细胞超微结构及其与环境适应性的关系

PAN Hongchuan *et al.*: Ultrastructures of the renal cells of *Rana rugulosa* and *Polypedates dennysi* and the relation to their habitats



图版说明

1. 大树蛙肾小体(部分, $\times 3\ 500$): 示远曲小管上皮细胞(DC)、质膜内褶(BI)、线粒体(M)、肾小囊腔外壁单层扁平上皮细胞(ELC)、肾小囊腔(US)、血尿屏障(UBB)、毛细血管(CAP);
2. 大树蛙血尿屏障($\times 14\ 000$): 示肾小囊腔(US)、足细胞突起(PP)、基膜(BM)、毛细血管内皮细胞(EN)、内皮细胞核(N)、毛细血管(CAP)、红细胞(E);
3. 大树蛙肾单位颈段上皮细胞($\times 6\ 000$): 示细胞核(N)、线粒体(M)、纤毛(CI);
4. 虎纹蛙近曲小管上皮细胞($\times 5\ 000$): 示管腔(L)、微绒毛(MV)、细胞核(N);
5. 大树蛙近曲小管上皮细胞底部($\times 8\ 000$): 示细胞核(N)、质膜内褶迷路(BIL)、细胞外空间(SOC)、线粒体(M);
6. 虎纹蛙远曲小管上皮细胞($\times 5\ 000$): 示细胞核(N)、线粒体(M)、细胞膜(PM)、质膜内褶(BI)、基膜(BM)、毛细血管(CAP);
7. 大树蛙远曲小管上皮细胞底部($\times 12\ 000$): 示细胞膜(PM)、质膜内褶(BI)、线粒体(M)、基膜(BM);
8. 大树蛙收集管上皮细胞($\times 5\ 000$): 示细胞核(N)、细胞膜(PM)、质膜内褶迷路(BIL)、细胞外空间(SOC)、基膜(BM).

Explanation of plate

1. Renal corpuscle in *Polypedates dennysi*, showing cell of the distal tubule (DC), basal plasma membrane infolding (BI), mitochondria (M), simple squamous cell of the external laminal wall of renal vesicle (ELC), primary urine sac of renal vesicle (US), blood-urine barrier (UBB) and capillary (CAP), $\times 3\ 500$;
2. Blood-urine barrier in *Polypedates dennysi*, showing primary urine sac of renal vesicle (US), podocyte processes (PP), basal membrane (BM), endothelial cell of the capillary (EN), nucleus of the endothelial cell of the capillary (N), capillary (CAP) and erythrocyte (E), $\times 14\ 000$;
3. Neck segment of the nephron in *Polypedates dennysi*, showing nucleus (N), mitochondria (M) and cilia (C), $\times 6\ 000$;
4. Cell of the proximal tubule in *Rana rugulosa*, showing lumen of the proximal tubule (L), microvilli (MV) and nucleus (N), $\times 5\ 000$;
5. Basal part of the cell of the proximal tubule in *Polypedates dennysi*, showing nucleus (N), basal plasma membrane infolding labyrinth (BIL), space outside cell (SOC) and mitochondria (M), $\times 8\ 000$;
6. Cell of the distal tubule in *Rana rugulosa*, showing nucleus (N), mitochondria (M), plasma membrane (PM), basal plasma membrane infolding (BI), basal membrane (BM) and capillary (CAP), $\times 5\ 000$;
7. Basal part of the cell of the distal tubule in *Polypedates dennysi*, showing plasma membrane (PM), basal plasma membrane infolding (BI), mitochondria (M) and basal membrane (BM), $\times 12\ 000$;
8. Cell of the collecting tubule in *Polypedates dennysi*, showing nucleus (N), plasma membrane (PM), basal plasma membrane infolding labyrinth (BIL), space outside cell (SOC) and basal membrane (BM), $\times 5\ 000$.