

甘肃鼯鼠肾结构特征

张 倩 李彩虹 闫 瑾 戴月琴 何建平^{*}
(陕西师范大学生命科学院 西安 710062)

摘要: 甘肃鼯鼠(*Myosialax cansus*) 在缺水的黄土高原营严格地下生活, 主要从食物中摄取水分。为研究甘肃鼯鼠的调水机制, 用组织解剖学方法对其肾的形态结构进行观察。结果显示, 甘肃鼯鼠肾为单乳头肾, 呈蚕豆形, 表面光滑, 不分叶; 皮质与髓质的厚度比为 0.71: 1; 皮质中髓旁肾单位相对分布密度小于浅表肾单位的相对分布密度; 髓旁肾单位中的血管球直径大于浅表肾单位中的血管球直径; 近曲小管与远曲小管的截面数量比为 2.25: 1。结果表明, 甘肃鼯鼠肾的重吸收能力较小, 其组织形态学结构有显著的生态适应意义。

关键词: 甘肃鼯鼠; 肾; 显微结构; 适应; 地下鼠

中图分类号: Q954 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2008)03-139-05

Kidney Microstructure in Gansu Zokor

ZHANG Qian LI CaiHong YAN Jin DAI Yue-Qin HE Jiarr-Ping^{*}
(Life Science College, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: The Gansu Zokor (*Myosialax cansus*) is a subterranean rodent inhabiting the relatively arid zones of Loess Plateau. Comparative studies on its kidney morphology and microstructure have been conducted in order to understand how this species utilizes water. The kidney is smooth, non lobular and broad bean shaped. The ratio of thickness of the renal cortex to the medulla and the ratio of the number of proximal convoluted tubule to the distal convoluted tubule in the cortical labyrinth are 0.71 and 2.25, respectively. The density of renal corpuscle in superficial cortex is more than that in the deep cortex. The glomus diameters are also different, with juxtamedullary nephron > superficial nephron. The microstructure characteristics show that the reabsorption capacity of kidneys is lower in Gansu Zokor than in other mammals which inhabit in the arid areas. These structural characteristics have importance significance for adaptation to living environment.

Key words: Gansu Zokor (*Myosialax cansus*); Kidney; Microstructure; Adaptation; Subterranean rodent

哺乳动物稳态的维持主要依赖于肾功能^[1]。肾通过调节机体水盐平衡和酸碱平衡, 保持内环境的相对稳定及生理机能的正常^[2], 因此, 任何动物对不同环境的适应辐射均可能与肾的结构和功能变化有关。

不同生态条件下由于水分获得的途径和量不同, 动物为了维持水平衡, 尿的排量及浓缩程度成为调节的主要因素。研究表明, 营严格地下生活的囊鼠(*Geomyidae*)、鼯形鼠(*Spalacinae*)等, 终生生活在地下通道中, 从不饮用自由水,

仅从食物获得水分, 食物含水量决定了这类动物的水分摄入量, 其主要依赖水分丧失量的变化调节体内水平衡。水分丧失途径主要有呼吸、汗液、粪便及尿, 地下鼠通过肺及皮肤蒸发

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30670360), 陕西师范大学校级重点项目;

^{*} 通讯作者, E-mail: hejiarping@snnu.edu.cn;

第一作者介绍 张倩, 女, 硕士研究生; 研究方向: 神经生物学; E-mail: dingott@stu.snnu.edu.cn.

收稿日期: 2007-12-09, 修回日期: 2008-03-10

散失的水分极少,粪便中水分含量取决于食物的消化,基本是恒定的^[3],尿是水分丧失的主要途径,而这主要取决于肾的浓缩能力。甘肃鼯鼠(*Myospalax cansus*)营地下生活,主要栖息于黄土高原丘陵区的农田、林地和草地。喜食植物幼嫩、肥大多汁、略带甜味儿的块根、块茎,从不饮用自由水,其水分的获得均来自于食物。黄土高原干旱少雨,年降雨量约为 500 mm,空气相对湿度低,气候干燥。为了解甘肃鼯鼠对干旱环境的适应进化,我们研究其肾的结构,旨在揭示其肾结构对生境的适应性。

1 材料与方法

1.1 材料 实验用成年甘肃鼯鼠 6 只(3♀, 3♂)捕自陕西延安,体重 190~320 g,室内单笼饲养,室温(20±1)℃,自然光照,笼内垫锯末,以刨花及脱籽棉作巢材。饲以胡萝卜、卷心菜。

1.2 方法 乙醚麻醉后用 4% 多聚甲醛-PB 缓冲液心灌流固定,迅速摘取两侧肾,称重后即刻固定于 4℃ 的 Bouin 氏液中 48 h,将肾沿正中额状面切开,继续固定 48 h 以上。将固定好的标本进行常规脱水、石蜡包埋,切片厚 7 μm, H. E 染色,中性树脂胶封片, Nikon 显微镜观察并摄影。在 15×40 倍镜下,以正中额状面上一个视野为单位,每只随机取 10 个视野记数,统计肾小体分布密度及近、远曲小管截面数量;在皮质浅层、中部和近髓各选择 10 个肾小体用测微尺测量血管球直径。在解剖镜下用测微尺测量皮质与髓质的厚度。统计数据用 SPSS 11.0 软件处理, One-Sample Kolmogorov-Smirnov 检验正态性; One-Way ANOVA 方差分析,用 Duncan's 多重比较,结果用 Mean±SD 表示。

2 结果

2.1 形态结构 成年甘肃鼯鼠左右肾位于腹后壁上部,呈蚕豆形,表面光滑,不分叶。表面有一薄纤维膜,在肾内侧缘的中部有凹入的肾门,左肾有切迹,右肾略前于左肾约 1/4~1/3。各只动物的两肾共重(1.67±0.45)g,占体重 0.64%;单肾长 15~17 mm、宽 10~12 mm、厚 8

~9 mm,随个体大小而变化。甘肃鼯鼠肾固定标本的正中额状面上皮质与髓质界限较模糊,但仍可分辨出深色的皮质和浅色的髓质,皮质与髓质平均厚度比为 0.71:1。

2.2 显微结构 甘肃鼯鼠肾的显微结构无性别差异(表 1)。肾纤维膜外层易于剥离,深层有少量环行平滑肌。甘肃鼯鼠为单乳头肾(图版 I:1)。整体看,肾结构致密。髓放线明显(图版 I:2);肾小囊腔隙较大(图版 I:3);肾小体密度为(1.003±0.779)个/视野,其中浅表肾单位(1.400±0.337)个/视野,髓旁肾单位(0.628±0.087)个/视野,分布于髓放线两侧,较集中(图版 I:2)。

2.2.1 皮质 甘肃鼯鼠肾皮质由皮质迷路和髓放线组成(图版 I:2)。皮质迷路有近曲小管、远曲小管、肾小体等结构。髓放线内有集合小管、近端小管直部和远端小管直部。各种泌尿小管间有少量疏松结缔组织构成间质,间质内有丰富的毛细血管。近曲小管管腔小而不规则,上皮细胞多为单层立方,胞体较大,细胞分界不清,胞质嗜酸性强,胞核呈球形,位于近基底部。远曲小管管腔大而规则,细胞立方,但胞体较近曲小管细胞小,细胞分界较清楚,胞质弱嗜酸性,着色较近曲小管浅,胞核圆形,位于中央。近曲和远曲小管的断面均有横切面、纵切面和斜切面等,但近曲小管多于远曲小管,其截面数量比为 2.25:1(表 1)。肾小体(图版 I:3)圆形或椭圆形,其尿极与近曲小管相接,血管极的入球小动脉、出球小动脉和远曲小管三者围成三角区。肾小体在皮质浅层、中部和近髓均有分布,肾被膜以下约 41 μm 内无肾小体分布。浅表肾单位血管球平均直径(82.194±3.866) μm,中间肾单位血管球平均直径为(88.389±3.679) μm,髓旁肾单位血管球平均直径为(99.000±5.736) μm。皮质中髓旁肾单位的分布密度相对少于浅表肾单位(表 1)。

2.2.2 髓质 髓质部的直行泌尿小管中远直小管占大多数,细段其次,集合小管比例最小(图版 I:4)。从皮髓交界(图版 I:5)的髓质到髓质深层,远直小管和细段的相对数量呈递减

趋势, 而集合小管数量逐渐增多, 在近肾乳头处 方上皮逐渐过渡为柱状上皮及高柱状上皮(图
集合小管的数量占绝对优势, 其管壁由单层立 版 I: 6), 最后移行为乳头管的变移上皮。

表 1 甘肃鼯鼠肾的结构特征

Table 1 Renal structure characteristics of Gansu Zokor (*Myospalax cansus*)

	雌鼠(n= 3)	雄鼠(n= 3)	t- 检验(P)	整体值(n= 6)
	Female	Male	t test P	Whole value
CO/ME	0.734±0.108	0.671±0.063	0.393	0.713±0.096
PI/DF	1.928±0.548	2.246±0.985	0.125	2.028±0.724
SC (个/视野)	1.517±0.207	1.167±0.475	0.152	1.400±0.337
DC (个/视野)	0.642±0.066	0.600±0.132	0.535	0.628±0.087
GDS (μm)	80.542±2.188	85.500±0.822	0.063	82.194±3.866
GDM (μm)	87.208±2.968	90.750±4.423	0.190	88.389±3.679
GDD (μm)	97.500±4.899	102.000±7.146	0.296	99.000±5.736

CO/ME: 皮质与髓质厚度比; PI/DF: 近曲小管与远曲小管截面数量比; SC: 浅表肾单位的相对密度; DC: 髓旁肾单位的相对密度; GDS: 浅表肾单位血管球的平均直径; GDM: 中间肾单位血管球的平均直径; GDD: 髓旁肾单位血管球的平均直径。

CO/ME: The ratio of cortex and medulla thickness; PI/DF: The ratio of proximal and distal convoluted tubules cross section volume; SC: The relative density of superficial nephron; DC: The relative density of juxtamedullary nephron; GDS: The average diameter of glomus in the superficial nephron; GDM: The average diameter of glomus in the medial nephron; GDD: The average diameter of glomus in the juxtamedullary nephron.

3 讨 论

肾占体重的百分比随着生活地区干旱程度的增加而增加, 生活在以色列的鼯形鼠(*Spalax ehrenbergi*) 超种的 4 种核型 $2n= 54, 52, 58, 60$ 中, 生活环境从温带到干旱, 肾占体重的百分比分别为 0.688%, 0.836%, 0.922%, 0.977%^[4]。甘肃鼯鼠肾重量(两肾)为(1.67±0.45)g, 占体重的 0.64%, 与生活在凉爽的半干旱地区戈兰高地的核型 $2n= 54$ 鼯形鼠接近。

生活在沙漠地区的动物尿浓缩能力特别强, 如澳大利亚卫士弹鼠(*Notomys alexis*), 可产生 18 倍于血浆浓度的尿^[5], 短耳沙鼠(*Desmodillus auricularis*) 产生 14 倍于血浆浓度的尿^[6]; 而生活在非洲的裸睛鼠(*Heterocephalus glaber*) 仅产生 5 倍于血浆的尿^[7], 索马里刺毛鼠(*Acomys subspinosus*) 产生 7 倍于血浆的尿^[6]。尿浓缩能力与肾结构相适应, 其中相对髓质厚度代表肾的尿浓缩能力, 反映动物对水的利用程度。生活在干旱缺水环境沙漠地区的动物具有相对长的乳突和较大的髓质厚度, 如双峰驼(*Camelus bactrianus*) 的皮质/髓质为 0.25, 大袋鼠(*Macropus giganteus*) 和非洲野驴(*Equus africanus*) 为 0.2, 山羊(*Capra hircas*) 和绵羊(*Ovis aries*) 为

0.33^[8,9]; 研究发现长耳刺猬(*Hemiechinus auritus*) 产生 12 倍于血浆的尿, 沙漠刺猬(*Erinaceus europaeus*) 产生 9 倍于血浆的浓缩尿^[9], 其浓缩尿能力与相对髓质厚度呈正相关。最有代表性的例证是分布在约旦河谷地带的鼯形鼠, 该超种有 4 种染色体核型, 从北向南分布, 生活环境从湿润到干旱, 产生的尿浓度分别为 1 102, 1 154, 1 213, 1 522 mmol/kg 体重, 其肾占体重的百分比、相对髓质厚度均逐渐增大, 相对髓质厚度在 $2n= 60$ 的个体中最大^[4]。髓质的宽厚程度, 是尿浓缩能力的最重要结构基础, 也是衡量亨利氏袢、直小血管和集合小管长度的重要指标。肾相对髓质厚度与髓袢的相对长度成正比, 相对髓质厚度越大则髓袢越长, 反之髓袢越短。长髓袢有利于髓质中建立更高的渗透压梯度, 形成高浓缩尿, 减少尿液中水分的损耗。甘肃鼯鼠是严格营地下掘土生活的鼠类, 生活环境较为湿润, 食物含水量较高, 其肾的皮质/髓质的厚度之比为 0.71, 与 $2n= 54$ 的鼯形鼠接近, 说明甘肃鼯鼠肾的髓质相对狭窄, 对水分重吸收较少, 不会产生高浓缩尿液。

一般哺乳动物肾单位有三种, 分别为浅表肾单位、髓旁肾单位和中间肾单位。其髓袢长度变化为浅表肾单位短于髓旁肾单位, 皮质肾

单位与水和电解质的调节有关,中间肾单位和髓旁肾单位决定尿浓缩能力^[10]。生活于潮湿多水地区的大部分动物含有较多的浅表肾单位,髓袢很短,一般排泄稀释尿液;干旱缺水地带的动物则具有更多的髓旁肾单位和中间肾单位,髓袢和细段较长,一般产生高浓缩尿液^[10,11]。甘肃鼯鼠的髓旁肾单位与浅表肾单位相对密度之比为 0.45:1,说明甘肃鼯鼠肾的髓旁肾单位相对较少,对水分的重吸收能力较小。

近曲小管表面的刷状缘可增加吸收表面积,原尿中 70%~80% 的水分在此被重吸收。生活于干旱地区的动物近曲小管相对较长;生活在水源充足地区的动物近曲小管相对较短^[12]。甘肃鼯鼠肾的近曲小管截面数量与远曲小管数量之比为 2.25,说明甘肃鼯鼠肾的近曲小管相对较短,对水分的重吸收能力不强。

Lacey 等^[3]认为,生活于地下洞道中的啮齿动物,具有较低的体温,洞道为典型的高湿度环境,使得气体交换过程通过肺、皮肤丧失的水分减少,因此,水蒸发极少,说明生活在地下的啮齿动物不需要特化的尿浓缩机制,包括那些生活于相对干旱地区的地下鼠种类。甘肃鼯鼠肾结构从相对重量、相对髓质厚度及肾单位种类等显微结构来看,其本身对水的重吸收能力均很低,不具有很强的尿浓缩能力而产生较高的浓缩尿,说明甘肃鼯鼠虽生活在半干旱的生活环境中,但其向地下发展,进化上是成功的。

参 考 文 献

[1] Harvey R J. The Kidneys and the Internal Environment.

London: Vhapman and Hall, 1974

[2] Pros ser C L. Comparative Animal Physiology. Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1973.

[3] Lacey E A, Patton J L, Cameron G N. Life Underground, the Biology of Subterranean Rodents. Chicago: The University of Chicago Press, 2000, 62~ 110.

[4] Nevo E, Simson S, Beiles A, *et al.* Adaptive variation in structure and function of kidneys of speciating subterranean mole rats. *Oecologia*, 1989, **79**: 336~ 371.

[5] MacMillen R E, Lee A K. Australian desert mice: independence of exogenous water. *Science*, 1967, **158** (799): 383~ 385

[6] Buffenstein R, Campbell W, Jarvis J U M. Identification of crystalline allantoin in the urine of African Cricetidae (rodentia) and its role in the water economy. *J Comp Physiol B*, 1985, **155**: 211~ 218.

[7] Urison N T, Buffenstein R. Kidney concentrating ability of a subterranean xeric rodent, the Naked Mole rat (*Heterocephalus glaber*). *J Comp Physiol B*, 1994, **163**(8): 676~ 681.

[8] Mbassa G K. Mammalian renal modifications in dry environments. *Vet Res Commun*, 1988, **12**: 1~ 18

[9] Yaakobi D, Shkolnik A. Structure and concentrating capacity in kidneys of three species of hedgehogs. *Ameri J Physiol*, 1974, **226**(4): 948~ 952

[10] Valtin H. Structural and functional heterogeneity of mammalian nephrons. *Am J Physiol Renal Physiol*, 1977, **233**: F491~ F501.

[11] 陈秋生, 刘仪. 双峰驼肾产生高浓缩尿的形态学基础. *中国农业科学*, 2002, **35** (3): 331~ 334.

[12] Beliveau R, Brunette M G. The renal brush border membrane in man. Protein pattern, inorganic phosphate binding and transport: comparison with other species. *Ren Physiol*, 1984, **7** (2): 65~ 71

图 版 说 明

1. 甘肃鼯鼠肾正中额状切面, × 10; 2. 肾皮质, × 100; 3. 肾小体, × 400; 4. 肾髓质, × 400; 5. 皮髓交界, × 100; 6. 乳头管, × 400; 7. 肾皮质, × 400; 8. 肾髓质, × 400. C. 皮质; CD. 集合小管; CE. 高柱状上皮; CL. 皮质迷路; CS. 肾小囊腔; DT. 远端小管; G. 血管球; M. 髓质; MD. 致密斑; MR. 髓放线; PT. 近端小管; RP. 单乳头肾; TS. 细段; UP. 尿极; VP. 血管极。

Explanation of Plate

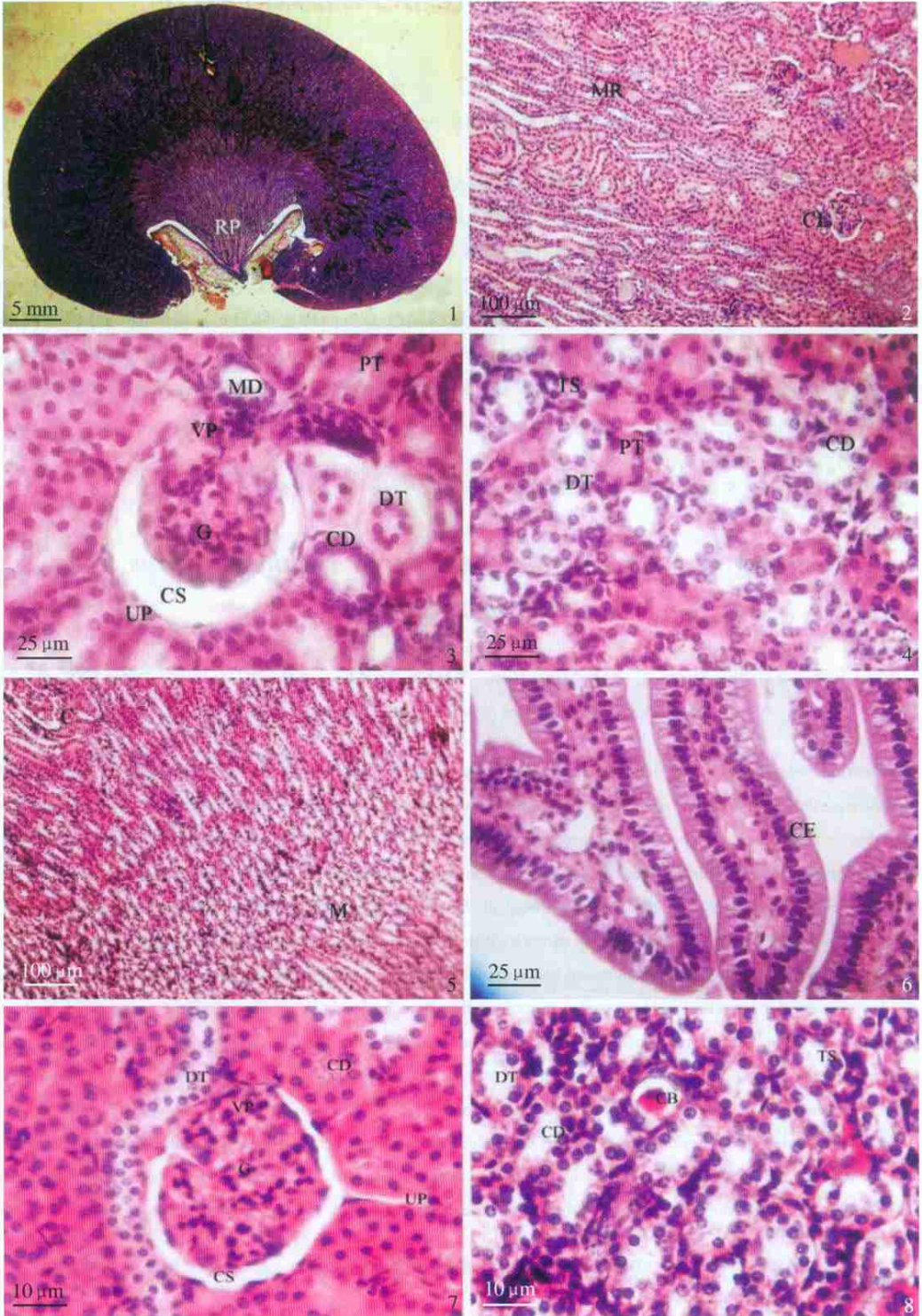
1. Frontal plane of kidney of Gansu Zokor, × 10; 2. Renal cortex, × 100; 3. Renal corpuscle, × 400; 4. Renal medulla, × 400; 5. Relay of cortex and medulla, × 100; 6. Papillary duct, × 400; 7. Renal cortex, × 400; 8. Renal medulla, × 400. C. Cortex; CD. Collecting duct; CE. High columnar epithelium; CL. Cortical labyrinth; CS. Capsular space; DT. Distal tubule; G. Glomus; M. Medulla; MD. Macula densa; MR. Medullary ray; PT. Proximal tubule; RP. Single renal papilla; TS. Thin segment; UP. Urinary pole; VP. Vascular pole.

张 倩等: 甘肃鼯鼠肾结构特征

图版 I

ZHANG Qian *et al.*: Kidney Microstructure in Gansu Zokor

Plate I



图版说明见文后