

异生物素及其代谢物在反刍家畜体组织的分泌与排泄机理

龙瑞军^{1,2}, 王元素², 董世魁³, 卢辉², J. PAGELLA⁴

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 北京师范大学资源科学研究所, 北京 100875; 4. Universidad Nacional de Le Pampa, Argentina)

摘要:胆汁分泌和尿液排泄是异生物素如芳香族和脂环族化合物排出反刍动物有机体的主要途径。渗透过滤是胆汁分泌的主要机制,离子运输对共轭态异生物素的胆汁分泌具有重要作用,其影响因素主要为代谢物极性、分子量和结构。胆汁分泌促进了异生物素在动物体内持续地进行肠肝循环。肾脏中的分泌排泄过程在肾单位中进行。代谢物的尿液排泄包括3个基本过程:肾小球过滤、肾小管分泌和肾小管再吸收。家畜有机体排出异生物素的其他途径有唾液、乳汁、汗水和气体。家畜对某一特定饲料的采食量以及饲料本身的属性直接影响异生物素经尿液的排泄,以此建立合理的关系模型就可以根据尿液中的排泄量测定或预测家畜的采食量。

关键词:反刍动物;体组织;异生物素;分泌;排泄

中图分类号:S823.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2005)03-0050-06

* 异生物素(xenobiotics)是植物的一种保护策略,而动物进化了代谢失活机制,具备化学防御的能力^[1]。消化道中的芳香族和脂环族异生物素通过被动扩散穿过细胞内通道胞膜而被上皮层吸收,进入血液后立即与血液成分结合,限制了异生物素在血液与细胞内环境之间的分布,有利于异生物素达到肝脏等代谢场所。通过一个双阶段的反应过程,异生物素失活。芳香族和脂环族化合物在体组织中的氧化反应主要有、氧化反应和芳构化反应。通过共轭反应,异生物素降低了脂溶性而能够通过尿液排泄。异生物素主要有与葡萄糖苷酸、硫酸和氨基酸共轭3种途径,而这3种途径之间对底物存在竞争机制。

共轭态的异生物素易于被机体排泄,其排泄途径主要有胆汁分泌和尿液排泄。尿液中的异生物素及其代谢物的含量水平对预测反刍家畜的采食量最具有潜力,笔者将对其分泌、排泄机理与机制展开讨论与总结。

1 芳香族和脂环族化合物在肝脏中的胆汁分泌

胆汁是肝脏的一种外分泌物,是含有机和无机溶质的碱性水状液体^[2]。其中的无机溶质主要是钠、钾、氯化物和重碳酸盐离子(bicarbonate ions),有机溶质主要是胆汁酸(bile acids)、胆汁色素、磷脂(phospholipids)和胆固醇。Erlinger^[2]报道,胆汁的同渗重摩(osmolality)为300 mmol/kg 渗透压。由于胆汁分泌是相对独立的静水压力^[3],其分泌机制主要是渗透过滤(osmotic filtration)^[2]。这意味着渗透水流与溶质(主要是胆汁酸)的主动运输有关,渗过上皮细胞直到达到新的渗透平衡^[2]。代谢物也能刺激胆汁分泌^[2],已观察到水杨酸刺激狗的胆汁分泌^[4]。水和溶质进入胆囊主要经细胞内通道而很少存在于细胞外通道。血液流速对胆汁流量没有太大的影响^[2]。胆汁对异生物素的排泄作用早在上个世纪初就有所认识^[5]。

在异生物素的胆汁分泌过程中既有主动运输又有被动运输。由于离子运输在胆汁分泌中有重要的作用,因此对异生物素的共轭态来说,其胆汁分泌会更为重要。但是,代谢物极性不是影响异生物素胆汁排泄程度的唯一因素,其他影响因子是化合物分子量及其结构^[5]。一般说来,哺乳动物主要通过胆汁分泌排泄的应是分子量高于325的代谢物^[6]。分子量达到1 000的异生物素,能够通过胆汁排泄^[7]。因此,从分子量的角度来说,对一特定的异生物素而言,其葡萄糖苷酸共轭态应该比其硫酸或氨基酸共轭态更容易通过胆汁排泄。没有报道表明环己胺羧酸(cyclohexanecarboxylic acid)和苯甲酸及其相关化合物能大量通过胆汁排泄。但是,具有一个以上氢氧根的简

* 收稿日期:2004-06-07

基金项目:中科院“百人计划”和高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划(TRAPOYT)资助。

作者简介:龙瑞军(1964),男,吉林农安人,教授,博士,博士生导师。E-mail: longruijun@sina.com

单酚和酚酸应该很容易地通过胆汁排泄。对绵羊的研究结果表明,胆汁的分泌应需要阿魏酸(ferulic acid)和咖啡酸(caffeic acid)等二羟基苄基化合物(dihydroxy benzylates compounds)^[8]。总之,异生物素通过胆汁排泄被看作是尿液排泄的补充过程,是有机体清除异生物素的机制^[6]。

胆汁分泌对异生物素在家畜体内能持续地进行肠肝循环(enterohepatic circulation)具有重要意义^[3],其共轭态通过胆汁分泌进入十二指肠腔并进入大肠,被微生物水解后变成游离态^[5,7,9]。而且,释放出的游离态能经历进一步的微生物代谢^[5,7]。肠粘膜对异生物素或其微生物代谢产物的再吸收,延长了异生物素在机体组织内的半衰期^[7,9]。Martin^[8]在绵羊的皱胃中注入二羟基肉桂酸(dihydroxycinnamic acids)后,尿液中苯甲酸有所增加;在山羊的粪便中也发现了 3-苯基丙酸(3-phenylpropionic acid)。这些研究结果表明,二羟基肉桂酸的葡糖苷酸共轭物能通过胆汁排泄,在大肠微生物的代谢作用下转化为 3-苯基丙酸,这一最终代谢物吸收后在体组织中转化为苯甲酸。

2 芳香族和脂环族化合物的肾脏排泄

尿液是含有机溶质(如氮、硫代谢产物)、色素和无机溶质(如钠、钾盐)的水溶液^[10]。从量上来说,肾脏是异生物素及其代谢物从体内组织排泄的最主要的器官^[3,9,11],心脏输出量的 20%直接到达肾脏^[12]。尿液的分泌排泄过程在肾的功能单元即肾单位(nephrons)中进行。每一肾单位由环绕血管的“U”型肾小管组成,在顶端有一束毛细血管即肾小球(glomerulus)。代谢物的尿液排泄包括 3 个基本过程:肾小球过滤、肾小管分泌和肾小管再吸收^[3,9,12,13]。通过对狗进行的研究证明,肾小球过滤和肾小管分泌都是马尿酸(hippuric acid)通过肾脏排泄的主要过程^[14]。

在肾小球过滤的主要过程中,当血液通过肾小球时血浆受力学超渗透(mechanical ultrafiltration)的支配^[9]。通过肾小球过滤的肾脏排泄,其动力来自于静水压梯度(hydrostatic pressure gradient)^[3,12]。血浆里异生物素的含量越高,肾小球过滤的效率越大,但异生物素与血浆的大量结合将降低肾小球过滤的效率^[3,13],因为与血浆蛋白结合的代谢物不能通过肾小球过滤^[9]。分子量高达 5 000 的代谢物能通过肾小球过滤而排出^[3]。异生物素的分子有效半径大于 20 Å 时会降低肾小球过滤的效率^[13]。

肾小管分泌包括代谢物通过主动运输穿过膜进入肾小管内腔的过程^[9]。分子量为 500 的代谢物能通过肾小管分泌而排泄^[13]。据推测,异生物素只能以非结合态形式通过肾小管分泌而排出,而这会引起异生物素血浆结合态的快速解离。这样,不论是异生物素的结合态还是非结合态都能通过肾小管分泌而排走。影响异生物素通过肾小管分泌排泄的主要因素是肾脏的血流^[12]。异生物素通过肾小管分泌排走的速率可相当于肾小球过滤速率的 5 倍。有机阴离子具有促进代谢物排出的基本功能,而如果这些代谢物在体内积累会产生毒害作用^[13]。马尿酸就是易于通过这一过程排出的一种异生物素^[3,13]。马尿酸及其相关甘氨酸共轭态能容易地通过肾脏排泄,一次循环就能从血浆中排出^[13]。

肾小管再吸收是代谢物通过主动运输或者被动运输从尿液返回血液的过程。以主动运输进行的肾小管再吸收是一个“节省”营养物质的过程,而在此过程中异生物素通过简单扩散重新被吸收^[13]。尿液 pH 值和代谢物解离常数是决定异生物素的肾小管被动再吸收的重要因素。如果尿液 pH 值使代谢物呈非离子态,则离子阱效应(ion trapping effect)会阻止肾小管的被动再吸收^[9,13]。与其他草食动物一样,由于较多的钾离子、重碳酸盐离子等通过尿液排泄,反刍家畜的尿液呈碱性,pH 值为 7.5~8.5^[10],所以酸性代谢物很少通过被动扩散而被再吸收^[9]。异生物素通过生物转化变成低脂溶性的离子态,有助于减少肾小管被动再吸收而增强肾小管的分泌排泄^[3]。可以推断,异生物素通过肾脏排泄与肝功能有密切联系^[13]。

概而言之,异生物素通过肾的净排泄量由以下因素所决定:异生物素的血浆结合度影响肾小球过滤;异生物素的化学结构影响肾小管分泌;异生物素的脂溶性和解离常数以及尿液 pH 值影响肾的被动再吸收;血压及血液通过肾脏的速率以及尿液的形成速率。

3 芳香族和脂环族化合物排泄的其他途径

尽管尿液和胆汁是异生物素排泄的主要途径,家畜有机体还可通过其他途径排出异生物素,如唾液、乳汁、汗水和气体^[11]。唾液是一种水状液体,含有机溶质如粘蛋白(mucoproteins)和无机溶质如重碳酸盐、磷、钠和钾。

反刍动物唾液的 pH 平均为 8.2^[15], 同渗透压平均为 300 mmol/kg 渗透压^[16]。唾液中芳香族酸的浓度远低于瘤胃液中的, 但当反刍家畜采食粗饲料时会分泌大量唾液^[17], 会对家畜体内这些化合物的动力学特性有较大的影响^[15]。异生物素的脂溶性和离解常数是影响唾液途径排泄程度的主要因素^[11]。研究表明异生物素可以通过乳汁排泄。科研人员已在牛奶中发现了游离态芳香族酸^[18]、共轭态芳香族酸^[18,19]和共轭态苯酚^[19]。乳汁是脂肪在水中形成的乳剂, 其正常 pH 为 6.7^[11]。而血浆的 pH 为 7.4, 这样, 血浆和乳汁之间的 pH 梯度不利于负离子态的异生物素从血浆进入乳汁。异生物素可能通过被动运输机制从血浆进入乳汁, 而这些被动运输取决于异生物素的分子量、离解常数、脂溶性及其与血浆蛋白结合度^[20]。只有极少量的异生物素化合物能通过汗液排出, 这是因为在血浆中异生物素是高度未离子化的^[11]。异生物素通过气体排出同样受到限制, 因为这一途径要求异生物素具有高度挥发性或者经氧化代谢降解为二氧化碳^[11]。

4 影响芳香族化合物从尿液排泄的因素

已有研究表明, 家畜对某一特定饲料的采食量直接影响苯甲酸经尿液的排泄^[21]。另外, 对绵羊^[22-24]、山羊和肉牛^[22]进行绝食代谢试验时, 尿液排泄的苯甲酸明显降低。绝食 10 d 后, 绵羊的水解尿液中发现的芳香族酸仅为苯甲酸和苯乙酸(phenylacetic acid), 每天的排泄率分别为 0.7~1.9 mmol(或 0.1 mmol/kg W^{0.75})和 2.9~5.3 mmol(或 0.3 mmol/kg W^{0.75})^[22-24], 而对于苯酚来说, 只发现极少量的酚化合物(phenolic compound)^[25]。这些试验证明, 与饲料状况对芳香族酸尿排泄量的影响相比, 内源性芳香族酸对芳香族酸尿排泄量的影响并不显著^[22-24]。

有关反刍动物日粮采食影响芳香族酸尿液排泄量的一系列试验得到了有趣的结论。上世纪初叶, Warth 和 Das Gupta^[26]以肉牛作试验研究时发现, 总苯甲酸(游离态 + 结合态)和苯酚经尿液的排出量是饲料自身特性的结果。给绵羊饲喂干草时总苯甲酸经尿液的排出量比饲喂作物秸秆时增加了 3 倍^[27]。Warth 和 Das Gupta^[26]的研究工作也初步推测出, 给家畜饲喂不同物候期的饲料作物对总苯甲酸的排泄可能有影响。这一推测在以后的饲养试验中得到了证实。在分别用三叶草(*Trifolium spp.*)^[28]和黑麦草(*Lolium perenne*)^[21]饲喂绵羊、鸭茅草(*Dactylis glomerata*)^[29]饲喂肉牛的试验中, 家畜采食鲜嫩多叶牧草时, 尿液中总苯甲酸的排泄量明显高于采食老化牧草时的。在鹿^[30]和绵羊^[22,30]的日粮中增加大量的谷物精料时, 尿液中的总苯甲酸含量明显低于饲喂花生时的。在家畜饲料中加入蛋白质精料时, 可以使尿液中的苯乙酸总含量增加^[23]。绵羊饲料中蛋白质精料的增加量与尿液中总苯甲酸的增加量相互平行, 呈线性正相关关系^[21]。在绵羊瘤胃中注入酪蛋白(casein)后, 尿液中总苯甲酸和酚化合物的排泄量增加^[8]。

与家畜日粮的影响相比, 3-苯基丙酸和肉桂酸(cinnamic acid)经尿液的排泄总量更多地取决于家畜自身的因素^[25], 这些芳香酸的尿排泄量似乎与家畜对这些酸的氧化率差异密切相关。Bogan 和 Marriner^[15]指出, 牛和山羊对芳香酸的氧化代谢能力高于绵羊。所以, 绵羊尿液中 3-苯基丙酸和肉桂酸的含量应高于牛和山羊。Martin^[25]发现绵羊对 3-苯基丙酸和肉桂酸的氧化代谢能力存在个体差异。Lowry^[31]报道, 饲喂劣质饲料后, 反刍家畜尿液中的 3-苯基丙酸和肉桂酸含量趋于增加, 这可能是在营养胁迫下, 家畜的氧化代谢发生紊乱。

其他影响芳香族化合物尿液排出量的因素应该是瘤胃内食糜停留的平均时间、粗饲料日粮中加入精料后产生的取代效应、瘤胃中食糜粘合度、短链脂肪酸的还原性微生物分解、瘤胃甲烷气体、血浆蛋白粘合度、肌体组织中产生二氧化碳的氧化分解、肌体组织的保持力、唾液的再循环和肠肝循环等。Silanikove 和 Brosh^[32]对采食小麦秸秆的山羊研究发现, 瘤胃内食糜停留时间的延长可以增加尿液中除总苯甲酸以外的所有芳香族酸的含量。以牧草为主的日粮中增加精料的比例后, 尿液中总苯甲酸的排泄量会减少^[33]、细胞壁中的二羟基肉桂酸的释放量降低^[34], 从而导致了瘤胃中 3-苯基丙酸产量的下降。

5 结语

植物中的芳香族和脂环族等异生物素被家畜采食后, 经过消化、吸收、运转、分布等一系列过程, 最终绝大部分经胆汁分泌和尿液排泄排出体外, 只有很少一部分经过唾液、乳汁、汗水和气体排出。

植物中广泛存在的芳香族和脂环族等次生化合物即异生物素是植物进化获得的保护机制, 国外对其在反刍家畜体内的代谢与排泄的研究已长达一个世纪, 并探索其排泄水平与家畜采食量之间的关系^[1]。国内在动物营

养研究方面,借鉴了一些先进的方法,如王中华等^[35]利用同位素示踪法研究不同瘤胃乙、丙酸比例对绵羊体内氧化代谢的影响。但在利用次生化合物代谢水平测定家畜采食量的研究方面几乎是空白。龙瑞军等^[1,36,37]从反刍动物采食量的概念与研究方法、利用芳香族化合物估测反刍动物采食量的潜力、芳香族和脂环族化合物在反刍家畜消化道中的释放代谢机制、常见芳香族和脂环族化合物在反刍家畜瘤胃内的代谢、异生物素及其代谢物在反刍动物体组织的吸收运转与分布、异生物素及其代谢物在反刍家畜体组织的分泌与排泄机理等 6 个方面对国外该领域近一个世纪的研究方法、进展与成果进行了系统深入的回顾与总结,以期为促进国内相关方面的研究起到抛砖引玉的作用。

反刍家畜采食行为是由生物和非生物因素相互作用和共同影响的复杂动态过程,不同放牧强度下,不但反刍动物的采食量不同,采食方式不同^[38],而且选择性采食也不同^[39]。采食量主要受家畜、饲料和饲养环境 3 个方面的影响。采食量的测定方法有基于饲草的直接法和基于家畜的间接法,后者较多地应用于放牧家畜。预测方法有基于数学函数和生物学原理的模型法、基于消化试验的经验法和结合家畜属性的改进经验法^[36]。舍饲条件下可准确地测定和预测家畜的采食量,但对放牧家畜尚未发现精确的方法。通过测定与饲草水平密切相关的家畜尿液、血液或粪便中的代谢物水平将成为预测放牧家畜采食量的准确方法。

芳香族化合物特别是马尿酸对预测反刍家畜的采食量具有重要潜力和作用。反刍动物的尿液中排出的苯甲酸几乎完全来源于日粮中的前体物。尿液中芳香族化合物的多少与饲料中芳香族化合物的含量间具有一定的相关关系是用尿液芳香族化合物代谢水平预测反刍动物采食量的基本依据。植物中异生物素在反刍动物体内的消化代谢途径主要取决于瘤胃微生物的代谢能力和化合物本身的结构特点。因此,这些不同的化合物,在瘤胃厌氧微生物的作用下,通过水解、还原或经取代、脱羧等反应,进行生物转化或矿化,达到脱毒或解毒的目的^[1,37]。了解和掌握植物中主要芳香族和脂环族化合物在瘤胃内的降解和代谢过程,不仅对筛选和确定那些具有预测放牧采食量潜力的化合物起决定性作用,而且对研究放牧行为和草畜互作等内在机理意义重大。

芳香族化合物的代谢水平不仅取决于瘤胃的消化代谢能力,而且取决于消化道的吸收和排泄作用及动物组织的代谢和运转过程。芳香族化合物在动物体内的代谢和运转过程是复杂而系统的,它包括消化道的代谢与吸收、血液循环系统的结合与运输、体组织的代谢与循环及肝脏、肾脏等器官的排泄过程。因此,研究异生物素的消化、吸收、运转与排泄机理,可以对反刍动物采食量与其代谢水平关系间机理模型的建立提供理论依据。当然,建立数学模型并以此预测反刍家畜的采食量,还需要进一步开展深入、广泛的研究。

参考文献:

- [1] 龙瑞军,王元素,董世魁,等. 利用芳香族化合物估测反刍动物采食量的潜力[J]. 草业学报,2004,13(2):13-22.
- [2] Erlinger S. Bile flow[A]. In: Arias I M, Popper H, Schachter D. The Liver: Biology and Pathobiology[C]. New York, USA: Raven Press,1982. 407-427.
- [3] Levine W G. Excretion mechanisms[A]. In: Caldwell J, Jakoby W B. Biological Basis of Detoxication[C]. New York, USA: Academic Press,1983. 251-285.
- [4] Rutishauser S C B, Stone S L. The effect of sodium salicylate on bile secretion in the dog[J]. Journal of Physiology,1975, 245:549-565.
- [5] Smith R L, Williams R T. Implication of the conjugation of drugs and other exogenous compounds[A]. In: Dutton G J. Glucuronic Acid: Free and Combined[C]. New York, USA: Academic Press,1966. 457-491.
- [6] Hirom P C, Millburn P. Enzymic mechanisms of conjugation[A]. In: Hathway D E. Foreign Compound Metabolism in Mammals[C]. London, U K: The Chemical Society,1979. 132-158.
- [7] Drasar B S, Barrow P A. Intestinal Microbiology[M]. Wokingham, Berkshire, U K: Van Nostrand Reinhold (U K), 1985.
- [8] Martin A K. The origin of urinary aromatic compounds excreted by ruminants. 2. The metabolism of phenolic cinnamic acids to benzoic acid[J]. British Journal of Nutrition,1982,47:155-164.
- [9] Waynforth H B. General aspects of the administration of drugs and other substances[A]. In: Tuffery A A. Laboratory Animals: An Introduction for Experimenters (Second Edition)[C]. Chichester, U K: John Wiley and Sons,1995. 295-319.

- [10] Gans J H , Mercer P F. The kidneys[A]. In: Swenson M J. Dukes' Physiology of Domestic Animals (Ninth Edition) [C]. Ithaca , New York , USA : Cornell University Press ,1982. 463-492.
- [11] Chasseaud L F. Processes of absorption , distribution , and excretion[A]. In: Hathway D E. Foreign Compound Metabolism in Mammals[C]. London , UK: The Chemical Society ,1970. 1-33.
- [12] Pang K S. Fate of xenobiotics : physiologic and kinetic considerations[A]. In: Caldwell J , Jakoby W B. Biological Basis of Detoxication[C]. New York , USA : Academic Press ,1983. 213-250.
- [13] Pritchard J B , James M O. Metabolism and urinary excretion[A]. In: Jakoby W B , Bend J R , Caldwell J. Metabolic Basis of Detoxication : Metabolism of Functional Groups[C]. London , UK: Academic Press ,1982. 339-357.
- [14] Russel F G M , Wouterse A C , Hekman P , *et al*. Quantitative urine collection in renal clearance studies in the dog[J]. Journal of Pharmacological Methods ,1987 ,17 :125-136.
- [15] Bogan J A , Marriner S E. The rumen as a pharmacokinetic compartment[A]. In: Ooms L A A , Degryse A D , Van Miert. Physiological and Pharmacological Aspects of the Reticulo-Rumen[C]. Dordrecht , The Netherlands : Martinus Nijhoff Publishers ,1987. 253-269.
- [16] Carter R R , Grovum W L. A review of the physiological significance of hypertonic body fluids on feed intake and ruminal function : salivation , motility and microbes[J]. Journal of Animal Science ,1990 ,68 :2811-2832.
- [17] Kay R N B. The influence of saliva on digestion in ruminants[J]. World Review of Nutrition and Dietetics , 1966 ,6 :292-325.
- [18] Parks O W , Allen C Jr. Previously unreported odorous compounds in sterile concentrated skimmilk[J]. Journal of Dairy Science ,1972 ,56 :328-330.
- [19] Brewington C R , Parks O W , Schwartz D P. Conjugated compounds in cow 's milk[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry ,1974 ,22 :293-294.
- [20] Boisseau J , Moretain J P. Drug excretion by the mammary gland[A]. In: Ruckebusch Y , Toutain P L , Koritz G D. Veterinary Pharmacology[C]. Lancaster , UK: MTP Press ,1983. 193-202.
- [21] Martin A K. The urinary aromatic acids excreted by sheep given S24 perennial ryegrass cut at six stages of maturity[J]. British Journal of Nutrition ,1970 ,24 :943-959.
- [22] Morris S , Ray S C. The fasting metabolism of ruminants[J]. Biochemical Journal , 1939 , 33 : 1217-1230.
- [23] Martin A K. Urinary excretion of aromatic acids by sheep given diets containing different amounts of protein and roughage [J]. British Journal of Nutrition ,1969 ,23 :389-399.
- [24] Martin A K. Urinary aromatic excretion by fed and fasted sheep in relation to protein metabolism in the rumen[J]. British Journal of Nutrition ,1973 ,30 :251-267.
- [25] Martin A K. The metabolism of aromatic compounds in ruminants[A]. In: Moore J H , Rook J A F. The Hannah Research Institute , 1928-1978 : Essays on the Scientific Work of the Institute[C]. Ayrshire , UK: Hannah Research Institute ,1978. 148-163.
- [26] Warth F J , Das Gupta N C. The quantitative production of benzoic acid and phenols in the animal system[J]. Indian Journal of Veterinary Science ,1932 ,2 :281-288.
- [27] Brigl P , Pfähler A. Zur Herkunft der Hippursäure im Harn des Pflanzenfressers[J]. Tierernährung ,1929 ,1 : 30-36.
- [28] Pazur J H , DeLong W A. Pasture studies. XXVIII. Effect of lignin content and stage of maturity of dry clover forage on the urinary excretion of aromatic acids by sheep[J]. Scientific Agriculture ,1948 ,28 :39-46.
- [29] Ely R E , Kane E A , Jacobson W C. Studies on the composition of lignin isolated from orchard grass hay cut at four stages of maturity and from the corresponding feces[J]. Journal of Dairy Science ,1953 ,36 :346-355.
- [30] Topps J H , Goodall E D , Kay R N B. Urinary excretion of nitrogenous compounds by sheep and red deer[J]. Proceedings of the Nutrition Society ,1968 ,27 :53-54.
- [31] Lowry J B. Metabolic and nutritional significance of the cell-wall phenolic acid fraction[A]. In: Akin D E , Ljungdahl L G , Wilson J R. Microbial and Plant Opportunities to Improve Lignocellulose Utilization by Ruminants[M]. New York , USA : Elsevier ,1990. 119-126.
- [32] Silanikove N , Brosh A. Lignocellulose degradation and subsequent metabolism of lignin fermentation products by the desert

- black Bedouin goat fed on wheat straw as a single-component diet[J]. *British Journal of Nutrition*, 1989, 62:509-520.
- [33] Schiemann R, Zelck U, Nehring K. Über die Zusammensetzung des Harns an organischen Inhaltsstoffen bei Rindern, Schafen und Schweinen. 3. Der Einfluß hoher Kohlenhydratzulagen (Saccharose, Cellulose) auf die Ausscheidung an den einzelnen organischen Harninhaltsstoffen bei Rinder und Schafen[J]. *Archiv für Tierernährung*, 1965, 15:81-91.
- [34] Bourquin L D, Titgemeyer E C, Merchen N R. Forage level and particle size effects on rchardgrass digestion by steers. I. Site and extent of organic matter, nitrogen, and cell wall digestion[J]. *Journal of Animal Science*, 1994, 72:746-758.
- [35] 王中华, 冯仰廉, 李福昌. 不同瘤胃乙、丙酸比例对绵羊体内氧化代谢的影响[J]. *动物营养学报*, 2000, 12(3):34-36.
- [36] 龙瑞军, 董世魁, 王元素, 等. 反刍家畜采食量的概念与研究方法[J]. *草业学报*, 2003, 12(5):8-17.
- [37] 龙瑞军, 董世魁, 王元素, 等. 芳香族和脂环族化合物在反刍家畜消化道中的释放代谢机制[J]. *草业学报*, 2004, 13(5):18-25.
- [38] 腾星, 王德利, 程志茹, 等. 不同放牧强度下绵羊采食方式的变化特征[J]. *草业学报*, 2004, 13(2):67-72.
- [39] 刘金祥, 周道玮, 王德利. 羊草草原放牧动物选择性采食研究[J]. *草业学报*, 2004, 13(1):101-104.

Mechanisms of secretion and excretion of xenobiotics and their metabolites in ruminants

LONG Rui-jun^{1,2}, WANG Yuan-su², DONG Shi-kui³, LU Hui², J. PAGELLA⁴

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xi 'ning 810001, China;

2. Grassland Science College of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

3. Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

4. Universidad Nacional de Le Pampa, Argentina)

Abstract: The main pathways by which body tissues eliminate xenobiotics, such as aromatic and alicyclic compounds, are biliary secretion and renal excretion. Biliary secretion has an important role in the persistence of xenobiotics within animal tissues by enterohepatic circulation. The major mechanism of bile flow is osmotic filtration. For biliary secretion of conjugating xenobiotics, ionic transport is the main form which is influenced by metabolite polarity, compound molecular weight and structure. The urine excretion process takes place in functional units of the kidney called nephrons and involves three primary processes: glomerular filtration, tubular secretion and tubular reabsorption. Other possible routes of xenobiotic elimination from the animal environment are saliva, milk, sweat and exhaled air. The attributes of feedstuff and the amount of a particular feed consumed by the animal, directly affect the urinary excretion of xenobiotics. If an inference model is set up accordingly, the feed intake of the animal can be measured or predicted.

Key words: ruminants; body tissues; xenobiotics; secretion; excretion