

“十四五”实验动物重点专项成果专栏

## 实验羊驼在生物医学研究领域的应用\*

李睿<sup>1,2</sup> 吴德胜<sup>1</sup> 刘家<sup>1</sup>和<sup>1</sup> 任亚妮<sup>1</sup> 王诗博<sup>1</sup>  
李昌文<sup>3</sup> 王野<sup>3</sup> 常轶聪<sup>1,2</sup> 刘芳萍<sup>1,2</sup>

(1. 东北农业大学动物医学学院, 哈尔滨 150030) (2. 黑龙江省动物疾病防控技术与制剂创制重点实验室, 哈尔滨 150030)  
(3. 中国农业科学院哈尔滨兽医研究所, 哈尔滨 150069)

**摘要:**羊驼作为新型实验动物, 凭借其独特免疫特性与生理构造, 在生物医学领域展现了重要的应用价值。羊驼源纳米抗体具有体积小、稳定性高、免疫原性低等优势, 已被广泛应用于疾病诊疗和食品安全检测; 羊驼的生理学特征使其可用于多种医学模型的构建; 其参与的辅助治疗活动为心理健康干预提供新途径; 羊驼肠道或粪便中分离出的菌株及抗菌肽等物质, 为替代抗生素及医疗材料开发提供资源。本文综述了实验羊驼在医学应用的研究进展, 为羊驼向标准化医学资源转化提供理论依据。

**关键词:**羊驼; 纳米抗体; 动物模型; 动物辅助干预; 益生菌

**中图分类号:** Q95-3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-6179(2026)02-0012-06

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6179.2026.02.003

## Application of Experimental Alpacas in Biomedical Research

Li Rui<sup>1,2</sup>, Wu Desheng<sup>1</sup>, Liu Jiahe<sup>1</sup>, Ren Yani<sup>1</sup>, Wang Shibo<sup>1</sup>,  
Li Changwen<sup>3</sup>, Wang Ye<sup>3</sup>, Chang Yicong<sup>1,2</sup>, Liu Fangping<sup>1,2</sup>

(1. College of Veterinary Medicine, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

(2. Heilongjiang Key Laboratory for Animal Disease Control and Pharmaceutical Development, Harbin 150030, China)

(3. Harbin Veterinary Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150069, China)

**Abstract:** As a novel experimental animal, the alpaca demonstrates significant application value in the biomedical field due to its unique immune characteristics and physiological structure. Alpaca-derived nanobodies, which offer advantages such as small size, high stability, and low immunogenicity, have been widely applied in disease diagnosis and treatment as well as food safety testing; the physiological characteristics of alpacas make them suitable for the construction of various medical models; their involvement in animal-assisted intervention provides new avenues for mental health interventions; strains and antimicrobial peptides isolated from alpaca intestines or feces offer resources for the development of alternatives to antibiotics and medical materials. This review summarizes the research progress of experimental alpacas in medical applications, providing a theoretical basis for the transformation of alpacas into standardized medical resources.

**Key words:** alpaca; nanobody; animal model; animal-assisted intervention; probiotics

收稿日期: 2025-09-29

\* 基金项目: 国家重点研发计划(2022YFF0710500); 中央引导地方科技发展专项(ZY25JD15)。

作者简介: 李睿(1980—), 女, 实验师, 研究方向为兽医药理与毒理学。E-mail: 379454379@qq.com。

通信作者: 刘芳萍(1973—), 女, 教授, 研究方向为兽医药理与毒理学。E-mail: fangpingliu@126.com。

羊驼是哺乳纲、偶蹄目、骆驼科、美洲驼属毛肉兼用型的草食动物,其绒毛因细腻保暖、弹性优异,有“软黄金”的美称,在全球特种经济动物中占据重要地位<sup>[1]</sup>。羊驼原产于南美洲,我国于 2002 年从澳大利亚首次引进<sup>[2]</sup>,因其独特的免疫系统和生理构造逐渐成为医学研究的新焦点。本文就羊驼在纳米抗体研发、医学模型构建、动物辅助疗法、益生菌开发等领域的研究进展进行综述,旨在为实验羊驼的医学应用转化提供理论参考。

## 1 羊驼源纳米抗体的应用

1993 年 Hamers 教授<sup>[3]</sup>首次报道了骆驼科动物体内发现的一种天然缺乏轻链的抗体,这些抗体被称为重链抗体。重链抗体的可变区片段(variable domain of the heavy chain of HcAbs, VHH)可以在体外克隆和重组表达,并稳定存在,同时保留了与抗原结合的能力,因其纳米尺寸被称作纳米抗体。纳米抗体相较于传统抗体,具有分子质量小、稳定性高及生产成本低、易于基因改造等独特优势<sup>[4]</sup>,使其在疾病的诊疗和食品安全检测等方面具有广阔的应用前景。羊驼性格温顺、易于饲养管理,是纳米抗体的重要来源之一。

### 1.1 羊驼源纳米抗体在诊断中的应用

在体外诊断方面,纳米抗体被广泛应用于细菌、病毒、寄生虫感染和癌症等疾病的检测。Kordus 等<sup>[5]</sup>以艰难梭菌 TcdA 和 TcdB 蛋白毒素的无毒突变体作为免疫原对羊驼进行免疫,筛选获得了高特异性的纳米抗体,并基于此建立了定量检测 TcdA 与 TcdB 的夹心 ELISA 方法。刘文婧<sup>[6]</sup>构建了羊驼天然纳米抗体文库,筛选出特异性结合幽门螺旋杆菌 Urease-B 和 CagA 蛋白的纳米抗体,可用于幽门螺旋杆菌的分型诊断。通过靶向结合流感病毒血凝素蛋白的保守区域,纳米抗体可以对不同的流感亚型进行广谱检测,能够快速识别和区分流感毒株,有助于流感暴发的早期诊断和管理<sup>[7]</sup>。He 等<sup>[8]</sup>用急性呼吸系统综合征冠状病毒刺突蛋白 S1 亚基免疫羊驼,筛选出两株具有高亲和活性的纳米抗体,为新型冠状病毒的诊断提供了新工具。纳米抗体已被开发用于检测各种人类生物标志物,例如癌症和炎症性疾病中的 MMP-9<sup>[9]</sup>、急性髓性白血病标志物 AXL<sup>[10]</sup> 和乳腺炎症—癌症转化的生物标志物 BFT<sup>[11]</sup>。这些纳米抗体可以与荧光染料或其他标

志物偶联,为早期癌症诊断创建灵敏的检测方法。

在体内检测领域,基于纳米抗体构建的放射性示踪剂已在肿瘤学、神经学及免疫相关疾病研究中展现出良好的应用前景<sup>[12]</sup>。癌症早期诊断需要使用能够穿透肿瘤组织并以高特异性结合其靶点的显像剂,同时将过量的未结合试剂迅速从体内清除。单克隆抗体长期以来一直是分子成像示踪剂设计的主要内容之一,但组织穿透力差及高非特异性背景限制了它们的适用性。纳米抗体的大小使其成为体内成像的合适试剂。Gondry 等<sup>[13]</sup>研究表明,<sup>68</sup>Ga 标记的人类巨噬细胞甘露糖受体的特异性纳米抗体 MMR3.49 安全性及耐受性良好,能快速经血液清除和肾排泄,可在注射后 90 min 进行高对比度噪声成像,正在准备进入 II 期临床试验。

### 1.2 羊驼源纳米抗体在治疗中的应用

2018 年,全球首个纳米抗体药物 Caplacizumab 获欧洲药品管理局批准,用于特异性治疗获得性血栓性血小板减少性紫癜<sup>[14]</sup>。新型冠状病毒 COVID-19 激发了人们对纳米抗体作为潜在疗法的兴趣,临床试验正在进行中。纳米抗体通过阻断血管紧张素转换酶 2 结合位点、与多个受体结合域表位结合、阻止病毒进入以及高特异性中和等机制来对抗 SARS-CoV-2<sup>[15]</sup>。Sun 等<sup>[16]</sup>免疫羊驼制备了抗 N 末端重复序列的纳米抗体,为人类免疫缺陷病毒感染引起的获得性免疫缺陷综合征提供了可能的疗法。纳米抗体已经被证明能够穿过血-脑脊液屏障,目前已应用于治疗 and 诊断,如阿尔茨海默病、帕金森病、胶质母细胞瘤等多种中枢神经系统疾病<sup>[17]</sup>。在癌症治疗中,纳米抗体介导的靶向递送可以提高肿瘤组织内的局部药物浓度,同时最大限度地减少药物向正常组织的分布,从而提高抗肿瘤药物的有效性并减少不良反应,降低免疫反应的风险。Ratnikova 等<sup>[18]</sup>制备了一种高亲和力的羊驼源抗 CD47 纳米抗体,并构建了基于链霉亲和素的四聚体,通过体外和体内实验确定其破坏 CD47-SIRP  $\alpha$  轴的作用。通过基因工程或化学方法,将靶向纳米抗体连接至通用骨架并组装成“即插即用”疫苗平台,该技术展现出巨大的应用潜力。一方面,纳米抗体可精准结合病原体或受感染细胞表面的特定抗原,实现靶向识别;另一方面,通用骨架能被免疫细胞识别,进而强烈激活细胞免疫应答,最终高效清除被病原体感染的细胞<sup>[19]</sup>。双特异性纳米抗体作为潜在治疗药物,用于对抗单纯疱疹病毒感染,尤其适用于抗病毒

药物耐药病例及严重疱疹性脑炎的治疗。其同时阻断病毒进入与细胞间传播的机制,也为预防性抗体疗法及多价抗体制剂设计提供了新思路<sup>[20]</sup>。

### 1.3 羊驼源纳米抗体在食品安全检测中的应用

食品中细菌、病毒、农药残留、重金属、过敏原及兽药残留等污染物的精准检测是食品安全防控风险的关键。纳米抗体凭借高特异性、强稳定性及良好亲和力等优势,在食品污染物检测领域展现出巨大潜力。He 等<sup>[21]</sup>用热灭活的大肠埃希菌 O157:H7 对羊驼进行免疫制备纳米抗体,建立了双抗夹心 ELISA 方法用于牛奶样品中大肠埃希菌 O157 的检测,检出限为  $8.7 \times 10^3$  CFU/mL。羊驼噬菌体文库中筛选得到的双表位纳米抗体制备的免疫传感器,对轮状病毒抗原的检出限达到  $0.0207$  pg/mL,相较于传统免疫分析方法,检测灵敏度提升了  $3.77 \times 10^5$  倍<sup>[22]</sup>。纳米抗体检测农药残留主要是集中在影响中枢神经系统的农药,如有机磷酸盐、氨基甲酸酯、有机氯和拟除虫菊酯衍生物类。Lyu 等<sup>[23]</sup>基于羊驼源纳米抗体-碱性磷酸酶和金纳米团簇-二氧化锰复合材料建立的荧光免疫分析方法,用于监测白菜中杀螟硫磷的降解,纳米抗体的高选择性提高了结合效率和抗干扰能力。有研究构建了库容量为  $6.7 \times 10^7$  CFU 的羊驼纳米抗体文库,淘选得到特异性亲和甲萘威的纳米抗体,建立了免疫分析方法,检出限为  $19.4$  ng/mL<sup>[24]</sup>。Hu 等<sup>[25]</sup>用澳洲坚果的粗蛋白提取物对羊驼进行免疫,构建纳米抗体文库,以食物过敏蛋白为靶标进行淘选,基于所选的纳米抗体构建了夹心酶联免疫吸附方法,该方法通过检测食品中的抗原得到验证。Yang 等<sup>[26]</sup>构建了羊驼磺胺二甲氧嘧啶免疫噬菌体展示文库,库容为  $5 \times 10^6$  CFU,筛选得到特异性纳米抗体 H1-17,建立的免疫分析方法在牛奶样本中的检出限为  $0.76$  μg/L。

在纳米抗体制备中,对羊驼进行“二次免疫”是一种高风险短视行为。它并非成本优化,而是一个从源头引入污染的系统性陷阱——既往免疫背景会直接干扰特异性应答、污染抗体文库、限制结构多样性,并显著增加后续工程化改造与临床开发的难度及失败风险。这最终将导致研发周期延长、综合成本激增,甚至引发知识产权纠纷,从根本上危及高价值纳米抗体的开发效率与最终产出质量。

## 2 羊驼在动物模型中的应用

羊驼在生理学特征方面具有独特优势,使其成

为极具研究价值的医学模型,越来越得到广泛关注。从体型特征来看,成年羊驼平均体质量在  $100 \sim 150$  kg,其适中的体型既便于管理,又能提供充足的生物样本量,有利于实验操作与数据采集。从生命周期来看,羊驼的寿命远超常规实验动物,这为开展慢性病研究与药物长期毒性评估等实验提供了理想模型。相较于其他物种,羊驼在葡萄糖刺激下胰岛素分泌水平偏低,胰岛素抵抗显著,持续性高血糖现象普遍<sup>[27]</sup>。其血糖调节系统表现出与人类相似的动态特征,因而被视为研究糖代谢紊乱及各类糖尿病的理想动物模型,尤其适用于探讨糖基化的有害影响<sup>[28]</sup>。

退行性椎间盘疾病及其治疗策略的研究依赖于全面且适宜的动物模型。然而天然发生椎间盘退变的动物物种较少,且伴随退变的疼痛存在与否及严重程度难以客观表征。羊驼的下颈椎因在脊柱姿势、椎间盘大小、生物力学灵活性及自然椎间盘病理学特征等方面与人类具有显著相似性,被认为是研究椎间盘退变与再生机制的新型大型动物模型<sup>[29]</sup>。

新月体性肾小球肾炎 (crescentic glomerulonephritis, CGN) 是人类最具侵袭性的肾小球肾炎类型之一。目前被广泛应用的动物模型,是由绵羊或兔免疫小鼠肾皮质抗原建立的<sup>[30]</sup>。然而,只有少数绵羊产生有效的抗血清,且单只兔产生的血清量相对不足。研究发现羊驼抗血清产生的病理学特征和临床症状类似于人类疾病和标准绵羊 CGN 模型的特征,且不会导致终末期肾衰竭,这些特征有利于针对该病的长期临床研究和机制揭示<sup>[31]</sup>。

中东呼吸综合征冠状病毒 (Middle East respiratory syndrome coronavirus, MERS-CoV) 对公共卫生构成严重威胁。Cramer 等<sup>[32]</sup>研究表明,羊驼是研究该病毒感染与传播动态的适宜模型。此外,羊驼还被应用于 MERS-CoV 疫苗的研发及其安全性与有效性评价<sup>[33]</sup>。Te 等<sup>[34]</sup>使用气液界面培养系统建立了离体羊驼气管外植体 (alpaca tracheal explant, ATE) 模型,该模型适用于研究 MERS-CoV 感染和复制而不会触发先天性抗病毒反应,且从羊驼获得的组织块可以多次重复使用,可减少实验变异性和使用的动物数量,进一步减少实验成本、伦理问题及生物安全风险。

博尔纳病病毒 1 型 (Borna disease virus 1, BoDV-1) 可引发人畜共患的致命性脑炎,但其确切

的病理机制、传播途径及病毒排泄方式尚未明确。羊驼作为 BoDV-1 的宿主之一,为阐明该病毒所致中枢神经系统病变的发病机制及病变分布特点提供了重要模型<sup>[35]</sup>。

近年来,羊驼的遗传资源价值被产业界进一步深化开发。专业的羊驼免疫与抗体发现服务已成为成熟产业链,服务于科研机构 and 药企。产业界正致力于推动羊驼模型标准化和数据积累,建立了涵盖不同年龄、生理状态的标准化羊驼种群,系统收集其生理、代谢和多组学数据,构建更精准的转化医学模型数据库。此外,基因编辑羊驼模型的构建,也已成为前沿探索方向,有望为复杂疾病机制研究与疗法开发提供更强大的工具。

### 3 羊驼在动物辅助疗法中的应用

近年来,人类与伴侣动物的长期互动及其健康效应已成为社会关注的焦点,动物辅助干预(animal-assisted intervention, AAI)作为一种新兴的补充替代疗法,相关研究正迅速发展。在传统 AAI 中,狗、马、猫是主要的参与动物。近年来,羊驼凭借温顺的性情和良好的可训练性,在动物辅助疗法中崭露头角。已有研究证实羊驼辅助活动可显著降低大学生群体的焦虑评分,参与者在羊驼辅助活动后,焦虑与抑郁水平显著降低;用羊驼对患有唐氏综合征合并自闭症的障碍个体进行干预,可显著改善其社交互动与情绪调节能力<sup>[36]</sup>。Hawranek 等<sup>[37]</sup>研究表明羊驼适合作为青少年人格障碍的治疗动物,有创伤经历的青少年因童年早期创伤破坏了对他人的信任,导致其接受心理治疗的动机有限,羊驼在动物辅助治疗中可改善青少年对治疗的低信任与低动机问题,为青少年人格障碍治疗提供有效支持。羊驼在促进人情绪健康方面有较大潜力。值得注意的是,在动物辅助疗法的实施过程中,保障动物福利与健康是核心前提,应通过科学管理最大限度降低动物的应激反应和情绪压力。

### 4 羊驼源益生菌的开发

羊驼原产于安第斯高原地区的恶劣环境中,在长期适应环境的过程中形成了出色的抗寒抗旱能力、较强的抗病力,这些优良特性的形成可能与其肠道内特定的菌群结构存在密切关联<sup>[38]</sup>。近年来,在

中国全面禁止动物饲料中抗生素添加的政策推动下,寻找安全高效的替代品已成为畜牧科技领域的研究焦点,其中细菌素等天然抗菌物质因靶向性强、无残留风险而备受关注。Eveno 等<sup>[39]</sup>从法国动物园中羊驼和其他动物粪便中分离出的 51 株细菌,对致病性大肠埃希菌 MC4100、产气荚膜梭菌、肠沙门菌 ATCC6962 表现出抑制作用。于秀菊等<sup>[40]</sup>从羊驼粪便中成功分离出一株产生抗菌物质的芽孢杆菌菌株 SXAU06,进一步分离纯化出类细菌素 BLIS\_SXAU06,其不仅具有耐高温、耐蛋白酶 K 和耐酸碱的特性,还对表皮葡萄球菌、金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特菌和藤黄微球菌表现出有效的抗菌活性,显示出其在食品防腐、医疗抗菌材料等领域的潜在应用价值。

综上所述,羊驼作为一种兼具经济价值与科研潜力的特种动物,在医学领域展现出了多元化的应用前景。未来,仍需深入探索羊驼特殊生理机制,优化相关技术方法,同时加强动物福利保障,加速羊驼从特色经济动物向标准化、规模化医学资源的转化,从而促进羊驼资源在生物医学领域更高效、更广泛的应用。

### 参考文献

- [1] VILÁ B, ARZAMENDIA Y. South American Camelids: their values and contributions to people[J]. *Sustain Sci*, 2022, 17(3): 707-724.
- [2] 权国栋. 羊驼的生活习性及其饲养管理与疫病防控[J]. *中兽医学杂志*, 2021(11): 55-56.
- [3] HAMERS-CASTERMAN C, ATARHOUCHE T, MUYLDERMANS S, et al. Naturally occurring antibodies devoid of light chains[J]. *Nature*, 1993, 363(6428): 446-448.
- [4] WANG X, ZHANG L, ZHANG Y, et al. Distinct types of VHHs in Alpaca[J]. *Front Immunol*, 2024, 15: 1447212.
- [5] KORDUS S L, KROH H K, RODRIGUEZ R C, et al. Nanobodies against C, difficile TcdA and TcdB reveal unexpected neutralizing epitopes and provide a toolkit for toxin quantitation in vivo[J]. *PLoS Pathog*, 2023, 19(10): e1011496.
- [6] 刘文婧. 基于纳米抗体文库筛选幽门螺旋杆菌分型诊断抗体[D]. 西宁:青海大学, 2023.
- [7] GAIOTTO T, RAMAGE W, BALL C, et al. Nanobodies mapped to cross-reactive and divergent epitopes on A(H7N9) influenza hemagglutinin using yeast display[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 3126.
- [8] HE L, WU Q, ZHANG Z, et al. Development of broad-spectrum nanobodies for the therapy and diagnosis of SARS-CoV-2 and its

- multiple variants[J]. *Mol Pharm*, 2024, 21(8): 3866-3879.
- [9] WU D, YANG J, CONG J, et al. A disposable VHH-based SPR fiber probe for sensitive and specific detection of MMP-9 in cancer and inflammatory disease[J]. *Biosens Bioelectron*, 2025, 287: 117684.
- [10] VANDEWALLE N, SATILMIS H, VERHEYE E, et al. AXL-specific single domain antibodies show diagnostic potential and anti-tumor activity in acute myeloid leukemia[J]. *Theranostics*, 2024, 14(7): 2656-2674.
- [11] GUO Y, OUYANG Z, HE W, et al. Screening and epitope characterization of diagnostic nanobody against total and activated *Bacteroides fragilis* toxin [J]. *Front Immunol*, 2023, 14: 1065274.
- [12] ZEVEN K, LAUWERS Y, DE MEY L, et al. Advancements in nuclear imaging using radiolabeled nanobody tracers to support cancer immunotherapy [J]. *Immunother Adv*, 2024, 4(1): ltae006.
- [13] GONDRY O, XAVIER C, RAES L, et al. Phase I study of [<sup>68</sup>Ga] Ga-Anti-CD206-sdAb for PET/CT assessment of protumorigenic macrophage presence in solid tumors (MMR Phase I)[J]. *J Nucl Med*, 2023, 64(9): 1378-1384.
- [14] ALEXANDER E, LEONG K W. Discovery of nanobodies: a comprehensive review of their applications and potential over the past five years[J]. *J Nanobiotechnology*, 2024, 22(1): 661.
- [15] ARIA H, MAHMOODI F, GHAHEH H S, et al. Outlook of therapeutic and diagnostic competency of nanobodies against SARS-CoV-2: a systematic review[J]. *Anal Biochem*, 2022, 640: 114546.
- [16] SUN L, CHEN B, LIU X, et al. Alpaca-derived nanobody targeting the hydrophobic pocket of the HIV-1 gp41 NHR broadly neutralizes HIV-1 by blocking six-helix bundle formation [J]. *Curr Res Microb Sci*, 2024, 7: 100263.
- [17] ZHENG F, PANG Y, LI L, et al. Applications of nanobodies in brain diseases[J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 978513.
- [18] RATNIKOVA N M, KRAVCHENKO Y, IVANOVA A, et al. A novel anti-CD47 nanobody tetramer for cancer therapy [J]. *Antibodies (Basel)*, 2024, 13(1): 2.
- [19] CHENG K, ZHAO R, LI Y, et al. Bioengineered bacteria-derived outer membrane vesicles as a versatile antigen display platform for tumor vaccination via plug-and-display technology [J]. *Nat Commun*, 2021, 12(1): 2041.
- [20] HU J, TAN H, WANG M, et al. A potent protective bispecific nanobody targeting herpes simplex virus gD reveals vulnerable epitope for neutralizing[J]. *Nat Commun*, 2025, 16(1): 4196.
- [21] HE Q, PAN J, XU Z, et al. Development of a nanobody-based immunoassay for the detection of *Escherichia coli* O157:H7 in food samples[J]. *Food Chem*, 2025, 473: 142987.
- [22] HU W, YANG S, WANG X, et al. Development of a dual-epitope nanobody-based immunosensor with MXenes@CNTs@AuNPs for ultrasensitive detection of rotavirus[J]. *Anal Chem*, 2024, 96(49): 19678-19686.
- [23] LYU T, WANG B, XU N, et al. Gold nanoclusters-manganese dioxide composite-based fluorescence immunoassay for sensitive monitoring of fenitrothion degradation in Chinese cabbage [J]. *Food Chem*, 2023, 412: 135551.
- [24] 姬培, 王楷, 刘志平, 等. 杀虫剂甲萘威纳米抗体的制备及鉴定[J]. *中国科技论文*, 2017, 12(12): 1380-1385.
- [25] HU Y, WU S, WANG Y, et al. Unbiased immunization strategy yielding specific nanobodies against macadamia allergen of vicilin-like protein for immunoassay development [J]. *J Agric Food Chem*, 2021, 69(17): 5178-5188.
- [26] YANG H, VASYLIEVA N, WANG J, et al. Precise isolation and structural origin of an ultra-specific nanobody against chemical compound[J]. *J Hazard Mater*, 2023, 458: 131958.
- [27] BYERS S R, BEEMER O M, LEAR A S, et al. Evaluation of glucose response to 3 types of insulin using a continuous glucose monitoring system in healthy alpacas [J]. *J Vet Intern Med*, 2014, 28(5): 1613-1620.
- [28] ARAYA A V, ATWATER I, NAVIA M A, et al. Evaluation of insulin resistance in two kinds of South American camelids: llamas and alpacas[J]. *Comp Med*, 2000, 50(5): 490-494.
- [29] ALINI M, DIWAN A D, ERWIN W M, et al. An update on animal models of intervertebral disc degeneration and low back pain; exploring the potential of artificial intelligence to improve research analysis and development of prospective therapeutics [J]. *Jor Spine*, 2023, 6(1): e1230.
- [30] KURTS C, PANZER U, ANDERS H J, et al. The immune system and kidney disease: basic concepts and clinical implications[J]. *Nat Rev Immunol*, 2013, 13(10): 738-753.
- [31] DHANA E, KLAUS D, BÖHNER A, et al. Generation of an alpaca serum that induces immune-mediated crescentic glomerulonephritis in mice[J]. *J Immunol Methods*, 2022, 507: 113310.
- [32] CRAMERI G, DURR P A, KLEIN R, et al. Experimental infection and response to rechallenge of alpacas with Middle East respiratory syndrome coronavirus[J]. *Emerg Infect Dis*, 2016, 22(6): 1071-1074.
- [33] YANG S, LI H, LIU F. Commentary: Inactivated rabies virus vectored MERS-Coronavirus vaccine induces protective immunity in mice, camels, and alpacas [J]. *Front Immunol*, 2025, 16: 1549481.
- [34] TE N, RODON J, CREVE R, et al. Evaluation of alpaca tracheal explants as an ex vivo model for the study of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) infection [J]. *Vet Res*, 2022, 53(1): 67.
- [35] FÜRSTENAU J, RICHTER M T, ERICKSON N A, et al. Bornavirus infection in alpacas: comparison of pathological lesions and viral distribution to other dead-end hosts [J]. *Vet Pathol*, 2024, 61(1): 62-73.
- [36] SUBA-BOKODI É, NAGY I, MOLNÁR M. Unconventional animal species participation in animal-assisted interventions and methods for measuring their experienced stress [J]. *Animals*

- (Basel), 2024, 14(20): 2935.
- [37] HAWRANEK P, KASPER L, WEIGL M, et al. "I think it's good that they choose who they want to be stroked by" - the support quality of animal-based therapy[J]. *Prax Kinderpsychol Kinderpsychiatr*, 2023, 72(8): 702-721.
- [38] 于秀菊, 张敏爱, 胡燕姣, 等. 枯草芽孢杆菌细菌素的分离、表达及稳定性分析[J]. *畜牧兽医学报*, 2024, 55(1): 323-333.
- [39] EVENO M, SALOUHI A, BELGUESMIA Y, et al. Biodiversity and phylogenetic relationships of novel bacteriocinogenic strains isolated from animal's droppings at the zoological garden of Lille, France[J]. *Probiotics Antimicrob Proteins*, 2021, 13(1): 218-228.
- [40] 于秀菊, 韩小涛, 李钰钰, 等. 地衣芽孢杆菌类细菌素的分离、鉴定及其原核表达[J]. *生物工程学报*, 2021, 37(7): 2453-2462.
- [引用本文]  
李睿, 吴德胜, 刘家和, 等. 实验羊驼在生物医学研究领域的应用[J]. *实验动物科学*, 2026, 43(2): 12-17.  
Li R, Wu D S, Liu J H, et al. Application of experimental alpacas in biomedical research[J]. *Lab Anim Sci*, 2026, 43(2): 12-17.  
DOI:10.3969/j.issn.1006-6179.2026.02.003.

---

## 《实验动物科学》不再接收使用水合氯醛进行动物麻醉文章 (2019年8月18日起)

为进一步保障实验动物的福利,不断提升动物实验研究的水平并获得国际学术界同行的认可,根据我国和北京市实验动物有关法规和标准,在实验动物麻醉方法中,鉴于水合氯醛原属于镇静、催眠及抗惊厥药,作为麻醉剂效果较差,刺激性强、毒副作用较大,存在干扰实验结果、对实验动物不人道和有悖实验动物福利伦理审查原则等问题,国外期刊普遍建议不再使用水合氯醛作为实验动物的麻醉剂。因此,本刊自2019年8月18日起,不再接收使用水合氯醛作为实验动物麻醉剂的文章,特此告知广大作者及读者。

《实验动物科学》编辑部