

田星星, 韩若羽, 谌杰, 等. 不同日龄肉鸡小肠神经胶质细胞超微结构和数量变化的研究 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (10): 36-44.

TIAN X X, HAN R Y, CHEN J, et al. Ultrastructural and quantitative changes of enteric glial cells in the small intestine of broilers at different ages [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (10): 36-44.

不同日龄肉鸡小肠神经胶质细胞超微结构和数量变化的研究

田星星, 韩若羽, 谌杰, 杨宽, 祁凤华, 徐春生*

(石河子大学动物科技学院, 新疆 石河子 832061)

摘要: 肠神经胶质细胞 (EGCs) 对肠神经系统起着支持保护营养作用, 同时也在维持肠道功能和稳态中起着关键作用, 本试验旨在探究不同日龄肉鸡小肠中 EGCs 超微结构及数量变化规律。选择 300 只健康 1 日龄新疆黄羽肉鸡, 定时喂食饮水、按时接种疫苗, 分别于 7、20、40、55 和 70 日龄采集十二指肠、空肠、回肠组织样分别固定于 4% 戊二醛和 Holzer 溶液并制成超薄切片及石蜡切片, 用六硼化钨透射电子显微镜和光镜分别观察不同日龄 EGCs 超微结构和数量变化。结果: 7 日龄肉鸡 EGCs 超微结构处于无膜期, 胞内线粒体数量最多; 随着日龄增大, EGCs 膜界限清晰, 细胞间距增大, 胞内神经轴突和胶质纤维酸性蛋白 (GFAP) 增多, 但线粒体数量减少; 肉鸡小肠内 EGCs 在黏膜层集中分布, 黏膜下层和肌层呈散在分布, 黏膜层 EGCs 数量多于黏膜下层和肌层, 细胞呈星形, 有较多分支和突起; 7~70 日龄肉鸡小肠 EGCs 数量呈现出先上升后下降趋势, 7 日龄 EGCs 数量最少, 为 226 个, 55 日龄 EGCs 数量达到峰值, 为 404 个。综上, 在肉鸡 40 和 55 日龄时间段, 小肠 EGCs 数量和细胞内容物丰富, 细胞状态良好, 能够给予肠道稳态较好的保护。

关键词: 肠神经胶质细胞; 肉鸡; 小肠; 超微结构; 细胞数量

中图分类号: S831 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2025)10-0036-09

Ultrastructural and quantitative changes of enteric glial cells in the small intestine of broilers at different ages

TIAN Xingxing, HAN Ruoyu, CHEN Jie, YANG Kuan, QI Fenghua, XU Chunsheng*

(College of Animal Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832061, China)

Abstract: Enteric glial cells (EGCs) play a supportive and protective nutritional role for the enteric nervous system, and they also play a key role in the maintenance of intestinal function and homeostasis. The aim of this experiment was to investigate the distribution of EGCs ultrastructure and their morphological and quantitative changes in the small intestines of broilers at different ages. 300 healthy 1-day-old Xinjiang yellow-feathered broiler chickens were used, were given feed and water regularly, and were vaccinated on schedule. The duodenal, jejunal, and ileal tissue samples were collected from the small intestine of the chickens at 7, 20, 40, 55, and 70 days of age, respectively; and the samples were fixed in 4% glutaraldehyde and Holzer solution. Then, ultrathin sections and paraffin sections were prepared, and the ultrastructure and quantitative changes of EGCs at different ages were observed using transmission electron microscopy and light microscopy combined with lanthanum hexaboride. The results were as follows: The ultrastructure of EGCs in the broiler chickens at 7 days of age was in the membrane-free stage, and the number of intracellular mitochondria was the highest. With the increase in age, the EGCs membrane boundaries were clearly defined, the spacing of the cells increased, and the intracellular neural axon and glial fibrillary acidic protein (GFAP) were increased, but the number of mitochondria decreased. The EGCs in the small intestine were concentrated in the mucosal layer, the submucosal layer, and the muscularis propria were scattered. There were more EGCs in the mucosal layer than in the submucosal layer and muscularis propria, and the cells were in a star shape, with more branches and protrusions. The number of EGCs in the small intestines of the broiler chickens aged 7 to 70 days showed an upward trend followed by a downward one. The number of EGCs was the lowest (only 226 in total) at 7 days of age, and reached a peak (404 in total) at 55 days of age. In summary, EGCs in the small intestines of broiler chickens at 40 and 55 days of age were abundant in number and cell contents, and the cells were in good condition; which provided good protection for intestinal homeostasis.

Keywords: enteric glial cells; broiler; small intestine; ultrastructure; cell number

收稿日期: 2024-09-09; 修回日期: 2025-07-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32060782, 31560683)

第一作者: 田星星, 男, 硕士研究生

* 通信作者: 徐春生, 副教授, 研究方向为组织胚胎学, E-mail: csxu2004@163.com。

家禽肠道组成由前至后依次是十二指肠、空肠、回肠、盲肠、结肠和直肠，肠道组织学分层可分为黏膜层、黏膜下层、肌层和浆膜层，肠神经胶质细胞（enteric glial cells, EGCs）多数分布在黏膜下层和肌层中神经元富集的神经丛^[1]。鸡肠神经发育来自脊神经节的初级传入纤维、荐部副交感神经的传出纤维和少量的来自交感的节后纤维，荐部副交感节前纤维大多数经同侧的盆神经到达肠神经，少数交叉到对侧，行经对侧的盆神经到达肠神经^[2]。研究已经证实，机体95%以上的感染发生在黏膜或由黏膜入侵机体引起，家禽的消化道亦是机体重要的免疫器官，肠道是黏膜免疫系统中的主要组成部分，而家禽黏膜免疫系统又是免疫功能的第一道防线^[3-4]。

胃肠道的肠神经系统（enteric nervous system, ENS）是一个复杂的神经网络系统，包括神经元和神经胶质细胞，是仅有的本身能介导反射活动的外周神经系统，有着调节和控制肠道的功能^[5]。ENS中的神经元和EGCs源自神经嵴的迷走神经区域在肠神经节内，EGCs是一种亚细胞群体，细胞形态主要是星形，具有许多相对较短且不规则的分支突起，存在于胃肠道中，是神经节的重要组成部分；EGCs是完全包裹住神经束，不是单独的一条神经元纤维^[6]。目前认为EGCs除对神经系统的支持功能外，在调控神经元生长发育、神经回路功能和细胞凋亡等过程中起重要作用，还具有干细胞某些特性^[7-8]。

EGCs还可能参与免疫调节、神经介质功能，与肠道的其他细胞共同维持着肠道的消化吸收功能，可修复肠上皮屏障坏死性细胞，加强肠上皮屏障的咬合蛋白和紧密连接蛋白之间的连接^[9]。在过去的研究中已经证实，EGCs能够通过释放抗凋亡、促存活和促增殖因子来刺激上皮细胞，以维持肠道上皮屏障的完整性^[10]。此外，EGCs也能够通过分泌无翅型信号通路（WNT）配体来调节肠干细胞的生态位^[11]，或者通过产生胶质源性神经营养因子（glia-derived neurotrophic factor, GDNF）、S-亚硝基谷胱甘肽（S-nitrosoglutathione, GSNO）、神经生长因子（nerve growth factor, NGF）等来支持神经元的存活，并协助神经传递功能，保护肠道功能稳态^[12-14]。

总之，EGCs在肠道稳态等方面有着不可或缺的地位，但是在家禽中关于EGCs的研究甚少。鉴于此，本试验旨在探究不同日龄新疆黄羽肉鸡小肠EGCs超微形态结构特征以及数量变化，为肉鸡EGCs功能研究提供形态学参考资料。

1 材料与方法

1.1 主要仪器和试剂

六硼化钨透射电子显微镜 HT7700 购自日本电子公司；徕卡石蜡切片机 RM2235 和包埋机购自徕卡显微系统（上海）有限公司。4%戊二醛固定液购自新疆恒朝生物有限公司；1%锇酸、丙酮由石河子大学分析测试中心提供；二氯甲烷、冰乙酸购自天津市富宇精细化工有限公司；苯胺、溴化钾、甲醛购自天津鑫铂特化工有限公司；结晶紫、磷钼酸购自天津永晟精细化工有限公司；重铬酸钾购自天津市致远化学试剂有限公司。

1.2 生物样品制备

从新疆天蓬养殖场购买300只健康1日龄新疆黄羽肉鸡，在鸡舍采用笼养方式饲养，在较小日龄时每笼30~40只，日常饲喂全价饲料，自由饮水和常规免疫。有研究表明，肉鸡在6日龄时十二指肠的长度增长了近2倍，回肠、空肠的长度增长50%，从出壳前7d到第7日龄，绒毛高度和周长大约增加了11倍^[15-16]；2周龄时生长强度达到最大^[17]；小肠增幅在35日龄左右最大^[18]；55日龄和70日龄则分别是成年和成年后期。因此，本试验选择7、20、40、55和70日龄5个时间段，将肉鸡麻醉后快速放血至死亡状态，采集十二指肠、空肠、回肠3个部位的小肠，每段长度为1~2cm，用pH值7.2~7.5的PBS冲洗小肠内侧粪便，冲洗1~2次，然后用4%的戊二醛、10%的中性甲醛溶液固定肠道组织，24h后进行后续试验。

1.3 电子显微镜观察

将采集的小肠样品放入4%戊二醛溶液中固定2~4h，剪成0.2mm×0.3mm小块，用磷酸缓冲液（0.1mol/L, pH=7.0）漂洗，15min×3次，1%锇酸溶液固定样品2h以上。50%、70%、80%、90%和95%乙醇溶液对样品分别脱水15min，100%乙醇处理20min×2次，纯丙酮处理20min×2次。用体积比为3:1、1:1、1:3的丙酮、树脂混合液分别处理样品1、1和3h，最后用树脂纯包埋12h以上。将处理好的小肠样品放进中性树脂，并置于70℃烘箱中聚合72h，切片（50~70nm）、染色，六硼化钨透射电子显微镜观察。

1.4 Holzer 染色

样品经过脱水、包埋、切片（10μm），脱蜡至水。磷钼酸溶液漂洗8min，酒精氯仿溶液浸泡15s，

保持切片湿润，放进结晶紫溶液 3~5 s，自来水冲洗切片 2 min，溴化钾溶液浸泡 10 min，苯胺溶液分色，尽可能地洗净紫色染液。脱水和透明，中性树脂封片，自然晾干 24 h 以上，细胞染色结果呈现为蓝色、蓝紫色或者更深，依脱色时间而定。

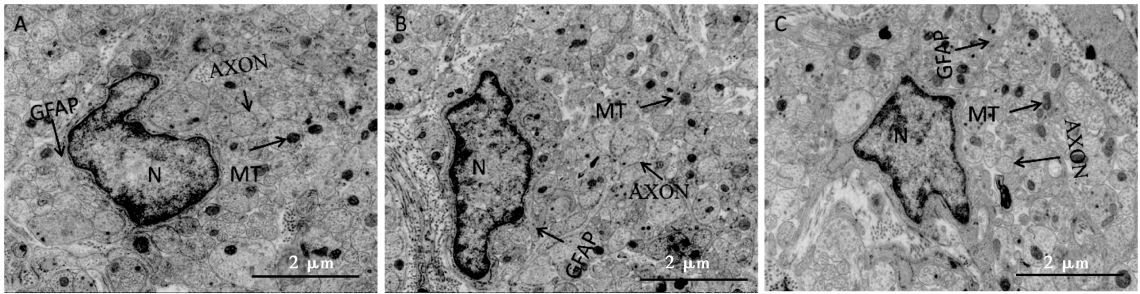
1.5 数据统计和分析

用 Image-ProPlus 6.0 对肠神经胶质细胞 Holzer 染色结果进行统计。每个组随机采样 3 只鸡，每个小肠组织测定部位面积为 200 μm×200 μm，每组取 3 个切片统计细胞数量，数据以“平均数±标准差”表示，两组间差异显著性比较使用 *t* 检验，多组间采用单因素方差分析 (One-way ANOVA)，统计结果用 GraphPad Prism 9.0.0 作图表示。

2 结果

2.1 不同日龄肉鸡小肠 EGCs 超微结构变化

由于大型试验设备使用时间限制，以及纳米超薄切片不易成型，本次超微结构观察到的 EGCs 均位于黏膜下神经丛。由图 1 可以看出，7 日龄肉鸡小肠 EGCs 细胞呈星型，细胞体较大，细胞膜与外界无分界或界限不清楚。细胞核呈星型，胞核较大，核内染色质均匀，核膜界线清晰。细胞质多，几乎充盈整个细胞。线粒体数量多，3 段肠道组织的线粒体数量分别是 23、34 和 36 个，数量远大于其他日龄的肠道组织。也可见少量溶酶体。细胞内的胶质纤维直径细小，数量多，神经轴突数量较多，神经轴突为一个圆形囊泡里包裹着较多的无髓神经纤维，细胞内几乎没有空囊泡结构。



注：GFAP 表示胶质纤维酸性蛋白，N 表示细胞核，MT 表示线粒体，AXON 表示神经轴突，下同。

图 1 7 日龄肉鸡十二指肠 (A)、空肠 (B) 和回肠 (C) EGCs 超微结构

由图 2 可以看出，20 日龄肉鸡小肠 EGCs 细胞呈梭型，细胞胞体较模糊，细胞膜与外界界线也较模糊。细胞核为椭圆形或星型，细胞核较大，核内染色质均匀分布，核膜清晰。胶质纤维直径细小且数量较

多，神经轴突逐渐增多，直径变大。细胞质分布不均匀，核糖体和线粒体数量较少。在空肠和回肠内出现较多空泡囊泡状结构。

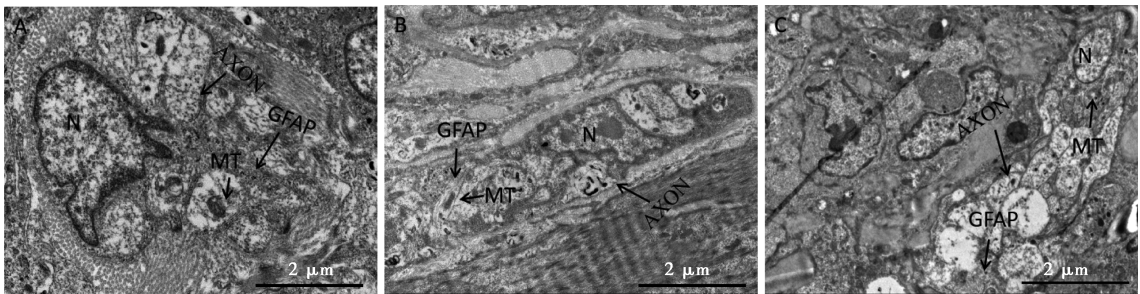


图 2 20 日龄肉鸡十二指肠 (A)、空肠 (B) 和回肠 (C) EGCs 超微结构

由图 3 可以看出，40 日龄肉鸡小肠 EGCs 细胞表现为梭型或星型，细胞胞体结构清晰，胞膜界线清楚。细胞核呈星型或椭圆形，核膜清晰，核内染色质均匀，胞内细胞质密集分布，核糖体和线粒体丰富，

线粒体嵴清晰。神经轴突直径增大，胶质纤维形态由圆轴型转变为椭圆形或不规则形状，胶质丝交错融合，仅在十二指肠观察到少量空泡结构。

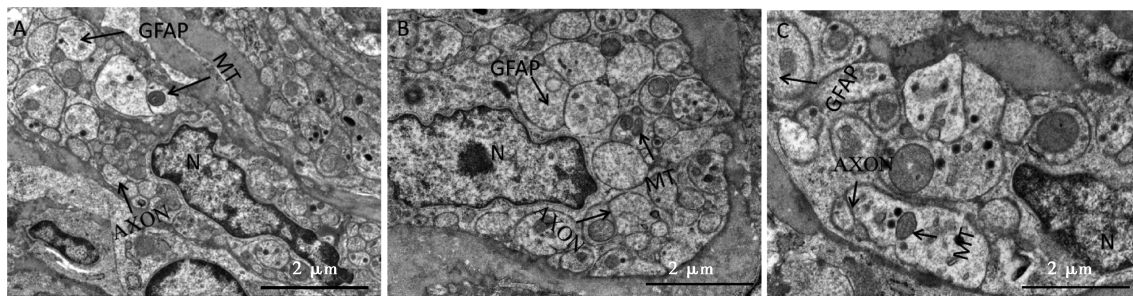


图3 40日龄肉鸡十二指肠(A)、空肠(B)和回肠(C)EGCs超微结构

由图4可以看出,55日龄肉鸡小肠EGCs细胞主要为梭型结构,细胞体结构清晰可见,细胞膜与外界界面清晰。细胞核为椭圆形或星型,核较大,核内染色质均匀,核膜清晰。胞内细胞质分布较为密集,核

糖体和线粒体丰富。此外,胞内胶质丝相互交错融合,神经轴突呈现集中或散在分布于细胞。在空肠EGCs内存在少量空囊泡状结构。

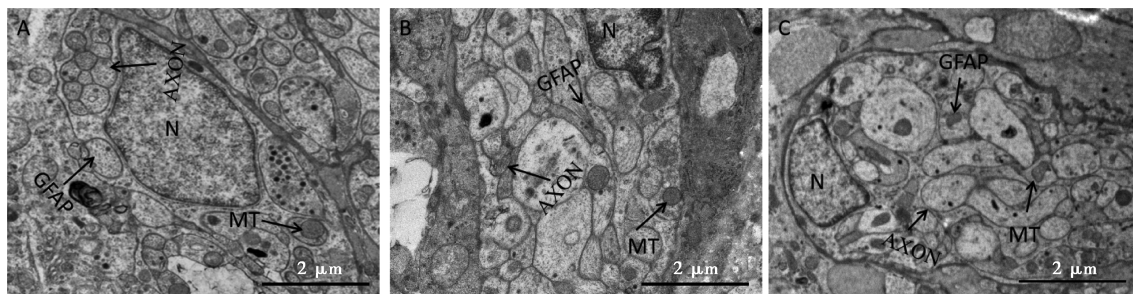


图4 55日龄肉鸡十二指肠(A)、空肠(B)和回肠(C)EGCs超微结构

由图5可以看出,70日龄肉鸡小肠EGCs细胞呈现为星型,胞体结构较模糊,细胞膜的界线不清楚。细胞核呈棱形或星型,细胞核较小,核内染色质均匀

分布,核膜清晰。胞内的细胞质松散分布,线粒体数量少。空肠内可见胶质纤维酸性蛋白是纤维状形态,也可见EGCs内存在少数空囊泡状结构。

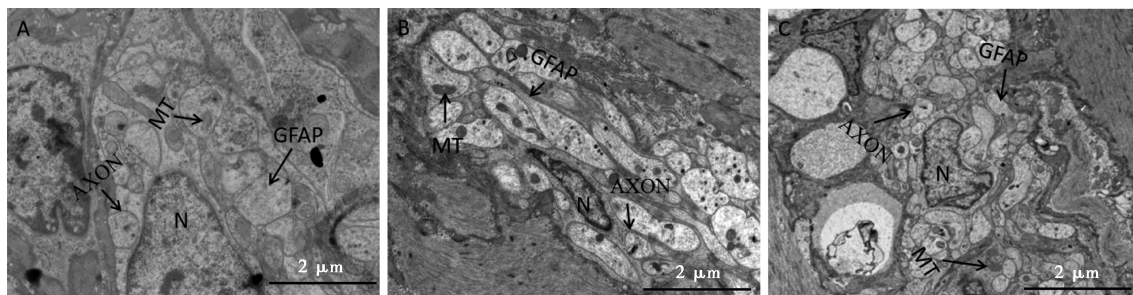
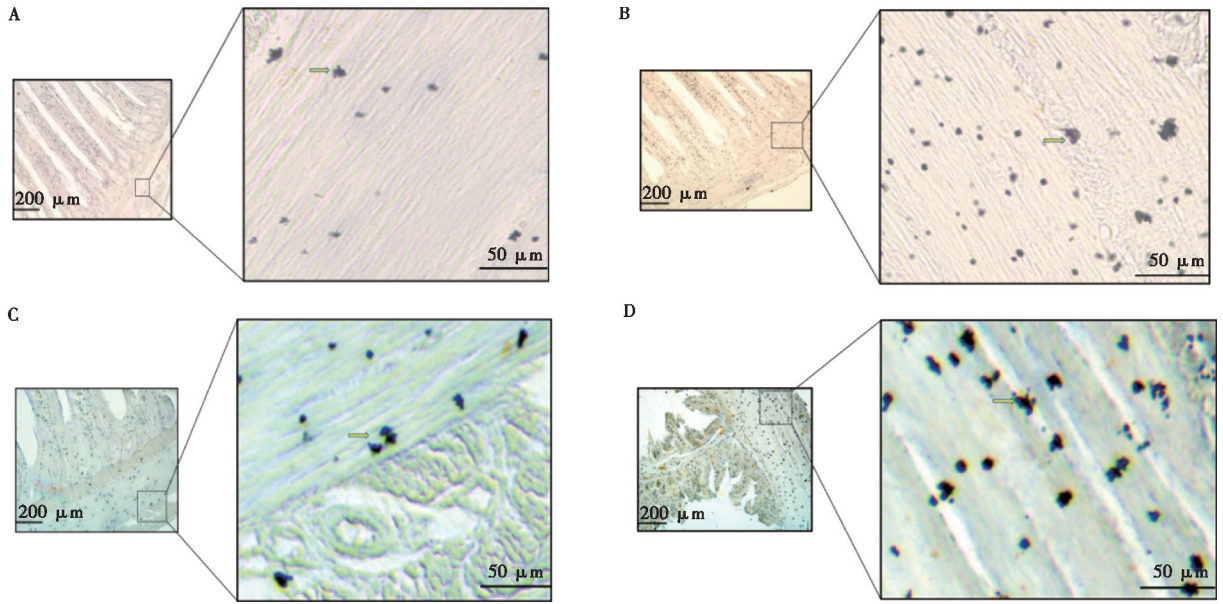


图5 70日龄肉鸡十二指肠(A)、空肠(B)和回肠(C)EGCs超微结构

2.2 EGCs形态和数量变化

Holzer染色结果表现为蓝色、蓝紫色或者更深,胞核颜色强于胞体。由图6可以看出,EGCs在鸡肠道组织各层均有分布,在黏膜层呈两端分布或集中分

布于绒毛中间,EGCs分支较多,突触细短,黏膜下层和肌层为散在分布,细胞分支较多,突触细长。整个肠道组织中,黏膜层和黏膜下层EGCs数量大于肌肉层。



A. 40 日龄肉鸡十二指肠; B. 40 日龄肉鸡空肠; C. 40 日龄肉鸡回肠; D. 55 日龄肉鸡回肠。

图 6 Holzer 染色下肉鸡小肠 EGCs 形态和分布

统计各日龄肉鸡十二指肠、空肠和回肠每个肠道组织在黏膜层、黏膜下层和肌层的 EGCs 数量, 共计 3 个区域, 单个统计区域面积为 $40\ 000\ \mu\text{m}^2$, 7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡十二指肠、空肠和回肠 EGCs 总数平均值为 226、261、340、404 和 272 个/ $120\ 000\ \mu\text{m}^2$ 。EGCs 变化呈现先增加后减少的趋势, 55 日龄时达到最大值。

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡十二指肠 EGCs 总数分别是 (82 ± 5) 、 (103 ± 8) 、 (133 ± 12) 、 (137 ± 9)

和 (120 ± 10) 个 (图 7A), 空肠 EGCs 总数分别是 (84 ± 4) 、 (81 ± 9) 、 (142 ± 8) 、 (157 ± 13) 和 (100 ± 8) 个 (图 7B), 回肠 EGCs 总数分别是 (60 ± 7) 、 (78 ± 7) 、 (65 ± 8) 、 (109 ± 10) 和 (52 ± 7) 个 (图 7C)。3 段肠组织 EGCs 数量随着日龄变化, 也表现为先增加后降低的趋势。因为小肠不同组织间 EGCs 差距较大, 数据离散程度也是不可避免地出现了较大差异, 所以不同日龄、不同肠段之间的 EGCs 只是进行了数量统计。

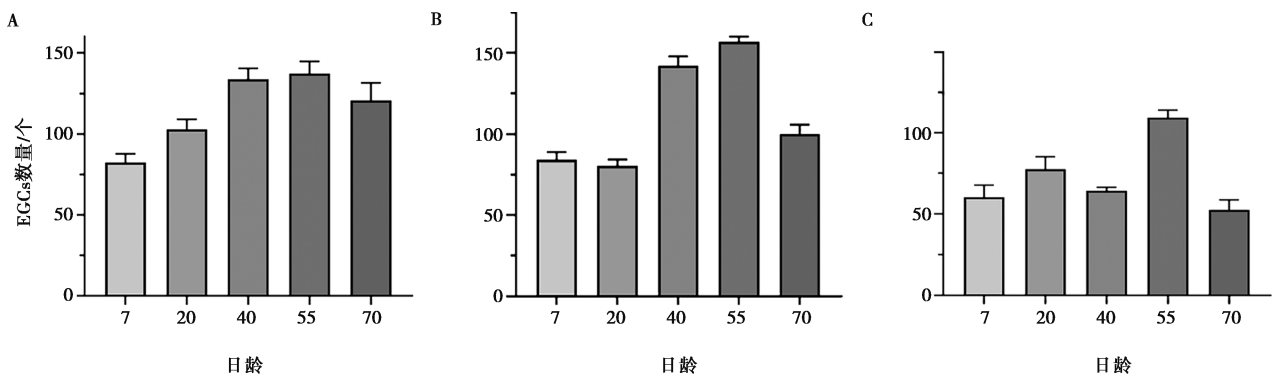


图 7 不同日龄肉鸡十二指肠 (A)、空肠 (B) 和回肠 (C) EGCs 数量 (以 $120\ 000\ \mu\text{m}^2$ 面积计)

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡十二指肠黏膜层单个统计区域面积 EGCs 数量分别是 (34 ± 3) 、 (50 ± 8) 、 (63 ± 6) 、 (28 ± 7) 和 (36 ± 9) 个。由图 8A 可以看出, 十二指肠 EGCs 数量在 7~40 日龄呈现增加的趋势, 40 日龄 EGCs 数量达到最大值, 其中 40 日

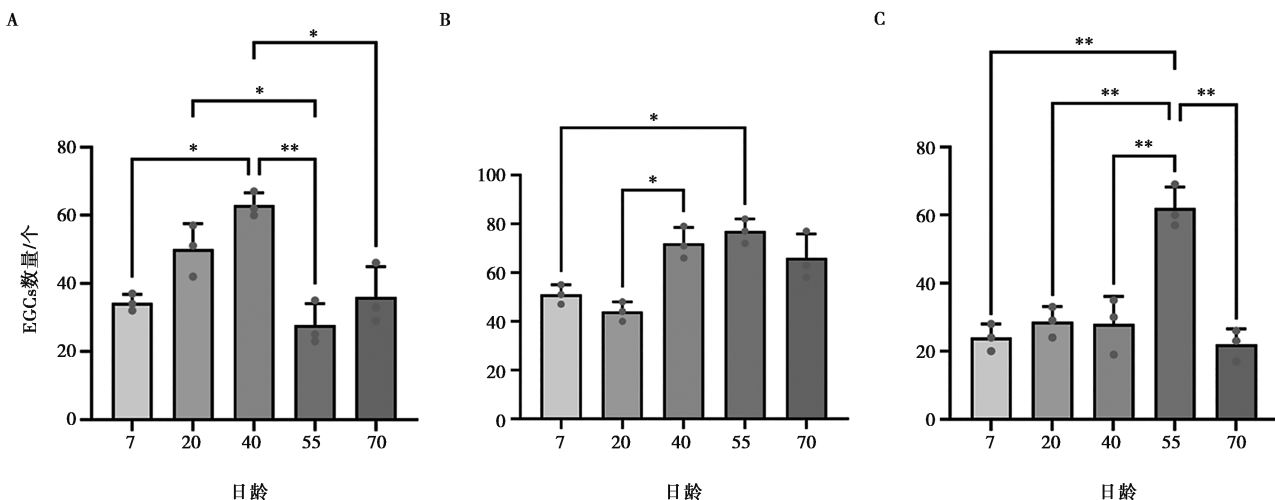
龄 EGCs 数量极显著大于 55 日龄 EGCs 数量 ($P < 0.01$, $n=3$), 40 日龄 EGCs 数量显著大于 7、70 日龄 ($P < 0.05$, $n=3$), 20 日龄 EGCs 数量显著大于 55 日龄 ($P < 0.05$, $n=3$)。

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡空肠黏膜层单个

统计区域面积 EGCs 数量分别是 (51±5)、(44±4)、(72±11)、(77±9) 和 (66±8) 个。由图 8B 可以看出, 空肠 EGCs 数量从 20~55 日龄呈现上升趋势, 到 70 日龄时又出现了略微下降, 40、55 和 70 日龄 EGCs 数量大于 7、20 日龄。其中 40 日龄 EGCs 显著高于 20 日龄 ($P<0.05$, $n=3$), 55 日龄 EGCs 数量显著高于 7 日龄 ($P<0.05$, $n=3$), 40 日龄和 7 日龄之间、70 日龄和 20 日龄之间的 EGCs 数量差异均不

显著 ($P>0.05$, $n=3$)。

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡回肠黏膜层单个统计区域面积 EGCs 数量分别是 (24±3)、(29±3)、(28±12)、(62±7) 和 (22±5) 个。由图 8C 可以看出, 回肠黏膜层的 EGCs 数量从 7~55 日龄呈现上升趋势, 55~70 日龄又出现了下降的趋势。55 日龄 EGCs 数量极显著高于 7、20、40 以及 70 日龄 ($P<0.01$, $n=3$)。



注: * 表示 $P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$, 下同。

图 8 不同日龄肉鸡十二指肠 (A)、空肠 (B) 和回肠 (C) 黏膜层 EGCs 数量 (以 40 000 μm^2 面积计)

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡十二指肠黏膜下层单个统计区域面积 EGCs 数量分别 (34±4)、(33±6)、(43±8)、(81±7) 和 (52±8) 个。由图 9A 可以看出, 十二指肠 EGCs 数量在 5 个日龄之间呈现先增加后降低的趋势, 在 55 日龄时达到了最大值, 55 日龄 EGCs 数量极显著高于 7、20、40 日龄 ($P<0.01$, $n=3$), 显著大于 70 日龄 ($P<0.05$, $n=3$)。20 日龄 EGCs 数量大于 70 日龄 EGCs 数量, 但是不显著 ($P>0.05$, $n=3$)。

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡空肠黏膜下层单个统计区域面积 EGCs 数量分别是 (22±4)、(16±8)、(32±6)、(57±13) 和 (22±4) 个。由图 9B 可以看出, EGCs 数量在 7~20 日龄呈现下降趋势, 20~55 日龄出现了上升趋势, 后又出现了下降趋势, 总体趋势为先增加后降低。55 日龄 EGCs 数量极显著高于 20 日龄 ($P<0.01$, $n=3$), 显著高于 7 日龄和 70 日龄 ($P<0.05$, $n=3$), 与 40 日龄间差异不显著 ($P>0.05$, $n=3$)。

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡回肠黏膜下层单个统计区域面积 EGCs 数量分别是 (20±4)、(31±3)、(24±5)、(32±6) 和 (16±4) 个。由图 9C 可

以看出, EGCs 数量在各日龄之间没有明显的规律变化, 20、55 日龄的 EGCs 数量高于 70 日龄, 但差异不显著 ($P>0.05$, $n=3$)。

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡十二指肠肌层单个统计区域面积 EGCs 数量分别是 (14±7)、(20±5)、(27±8)、(29±9) 和 (32±7) 个。由图 10A 可以看出, EGCs 数量在 7~70 日龄呈现增加的趋势, 70 日龄 EGCs 的数量处于最大值。55、70 日龄 EGCs 数量显著高于 7 日龄 ($P<0.05$, $n=3$), 70 日龄 EGCs 数量大于 20 日龄, 但不显著 ($P>0.05$)。

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡空肠肌肉层单个统计区域面积 EGCs 数量分别是 (11±5)、(20±7)、(38±7)、(23±4) 和 (12±7) 个。由图 10B 可以看出, EGCs 的数量在 7~40 日龄和 40~70 日龄 EGCs 呈现先增多后减少的趋势, 在 40 日龄时, EGCs 的数量最多, 40 日龄分别极显著高于 7 日龄以及 70 日龄之间的 EGCs 数量 ($P<0.01$, $n=3$)。40 日龄 EGCs 数量显著高于 20 日龄 ($P<0.05$, $n=3$), 和 55 日龄之间差异不显著 ($P>0.05$, $n=3$)。

7、20、40、55 和 70 日龄肉鸡回肠肌肉层单个统计区域面积 EGCs 数量分别是 (16±5)、(18±4)、

(13±4)、(15±5) 和 (14±6) 个。由图 10C 可以看出, EGCs 数量在各个日龄之间并没有出现规律性变

化, 各组之间也没有显著性差异 ($P>0.05$)。

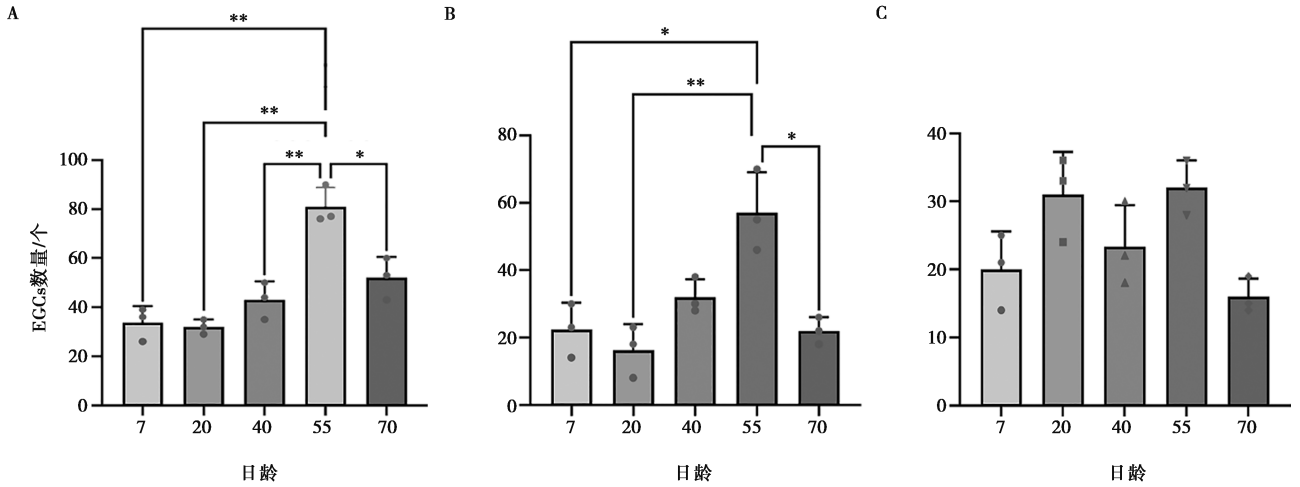


图 9 不同日龄肉鸡十二指肠 (A)、空肠 (B) 和回肠 (C) 黏膜下层 EGCs 数量 (以 40 000 μm² 面积计)

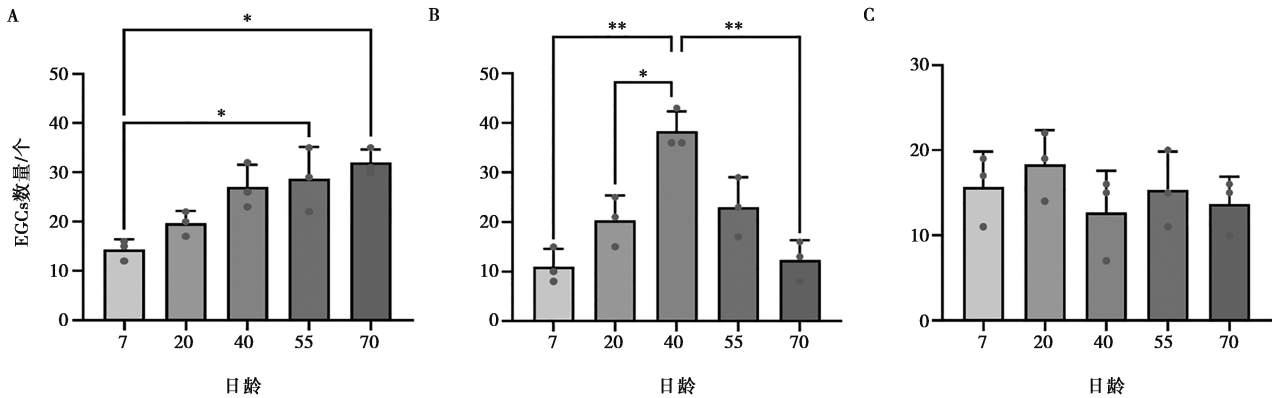


图 10 不同日龄肉鸡十二指肠 (A)、空肠 (B) 和回肠 (C) 肌层 EGCs 数量 (以 40 000 μm² 面积计)

3 讨论

EGCs 的超微结构随着肉鸡发育过程呈现显著变化, 在 7 日龄, EGCs 之间并没有明显的细胞分界, 细胞之间紧密连接, 到 20、40、55、70 日龄时, 细胞界线清楚, 与外界之间有一定的间隙, 这可能是由于发育后的胶质细胞在抵御感染和应激源激活状态下, 它们变得高度动态和可移动, 更好地对神经元起到保护和缓冲作用, 减少外界对神经元的挤压^[19]。

GFAP 胶质纤维开始呈细小圆点状, 到后面是融合的胶质状态, 相互交错充盈整个细胞; 无髓神经纤维轴突的直径先是小, 数量也相对较少, 到 40 日龄的过程中直径逐渐增大。线粒体在 7 日龄时数量最多, 随着日龄增加均有所减少。有研究发现, 雏鸡从出壳前 7 d 到出壳后 7 d, 绒毛高度和周长大约增加了 11 倍, 更多的线粒体数量可以更好地跟上肠道的

发育速度^[15,19]。

除了 7 日龄鸡的小肠, 其他日龄鸡小肠都出现了线粒体减少、空泡状结构的情况, 在 20、55 日龄鸡小肠中较多, 可能是神经消融导致, 此时神经元处于更新状态^[20]; 另外一种推测是鸡笼饲养, 导致活动量少, 所以出现线粒体损伤减少^[21]。蛋鸡在不同产蛋阶段, 肝脏脂肪随日龄增长而不断沉积, 代谢降低^[22-23], 还有可能是外力或者刺激所导致^[24]。不过, 结合 EGCs 超微结构和 2 个蛋白的表达等, 可以推测黄羽肉鸡在生长到 40 和 55 日龄时, 不管是细胞质、神经轴突、GFAP, 还是囊泡内容物, 都十分丰富, 表示细胞在该时期具有良好的生物活性。

在肉鸡发育过程中, EGCs 数量随着发育过程先增多后降低, 很多动物在发育过程中的不同时期也会出现局部组织细胞差异变化。在小鼠发育过程中, 结肠组织中的杯状细胞数量不断增加, 6 日龄时杯状细

胞的数目最少,与9日龄的数目存在显著差异;13日龄时结肠杯状细胞数目不断增多,比6日龄多出1倍;28日龄时杯状细胞的数目最多,与22日龄相比存在显著差异,且28日龄比22日龄的数目多出1倍,比6日龄的数目多出5倍^[25]。另外,小鼠生长发育过程中,肠不断分化,杯状细胞数目不断增多,结肠中杯状细胞的数目随着日龄增长而不断增多,肠黏膜和肌层厚度也在不断增厚^[26]。对不同发育阶段牦牛肺组织内支气管-血管周围的肥大细胞数量进行计数发现,随年龄增加,肺内肥大细胞数也逐渐增加,1~30日龄肺泡组织中肥大细胞数量有一定增加,180日龄相较1日龄无显著变化,但显著少于30日龄,成年后肺泡组织内肥大细胞数量大幅度地增加,显著多于其他年龄组^[27]。从江香猪睾丸细胞数统计显示,30日龄生殖细胞数较15日龄极显著增加^[28]。在红嘴相思鸟胚后发育过程中,消化道中的嗜银细胞数量由多到少依次为腺胃、直肠、回肠、空肠和十二指肠,且随日龄增长呈增加趋势^[29]。在神户大学的新近研究中,用扫描电子显微镜(SBF-SEM)探究小鼠肠道内EGCs时发现,回肠、盲肠和降结外侧肠顶端部分的EGCs数量多于隐窝部分^[6],这也和本研究结果相同,即黏膜层EGCs数量大于黏膜下层和其他解剖层,其中,回肠黏膜层、十二指肠和空肠黏膜下层7和20日龄的EGCs发育速度较40日龄慢,建议在幼龄时使用红光灯和加温保护措施,这样能够更好地促进雏鸡发育^[30-31]。

4 结论

本研究表明,随着肉鸡日龄增长,EGCs细胞中的线粒体先多后少,40日龄小肠EGCs细胞膜结构清晰完整,胶质丝逐渐增多,神经轴突直径变大。EGCs主要为星型,在小肠黏膜层中分布最多。7~70日龄肉鸡小肠EGCs数量呈现先增加后降低趋势,55日龄达到最大值,为404个。

参考文献:

- [1] 李礼,刘黎黎. 肠神经胶质细胞在维持肠黏膜稳态与调控炎症中的作用[J]. 生物化学与生物物理进展, 2022, 49(11): 2130-2135.
- [2] 闫景莲. 关于鸡肠神经的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2000.
- [3] KAGNOFF M F. Mucosal immunology: new frontiers [J]. Immunol Today, 1996, 17(2): 57-59.
- [4] 王树华,白元生,赵娟,等. 白色单冠来航鸡肠黏膜发育的组织形态学研究[J]. 中国家禽, 2014, 36(18): 27-31.
- [5] SHARKEY K A, KROESE A B A. Consequences of intestinal inflammation on the enteric nervous system: neuronal activation induced by inflammatory mediators [J]. Anat Rec, 2001, 262(1): 79-90.
- [6] MANTANI Y, OHNO N, HARUTA T, et al. Histological study on the regional difference in the localization of mucosal enteric glial cells and their sheath structure in the rat intestine [J]. J Vet Med Sci, 2023, 85(10): 1034-1039.
- [7] LI H, FAN C, LU H, et al. Protective role of berberine on ulcerative colitis through modulating enteric glial cells-intestinal epithelial cells-immune cells interactions [J]. Acta Pharm Sin B, 2020, 10(3): 447-461.
- [8] 吕健. 肠神经胶质细胞研究进展[J]. 医学综述, 2008, 14(19): 2904-2907.
- [9] XIAO W, WANG W, CHEN W, et al. GDNF is involved in the barrier-inducing effect of enteric glial cells on intestinal epithelial cells under acute ischemia reperfusion stimulation [J]. Mol Neurobiol, 2014, 50(2): 274-289.
- [10] CORNET A, SAVIDGE T C, CABARROCAS J, et al. Enterocolitis induced by autoimmune targeting of enteric glial cells: a possible mechanism in Crohn's disease? [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2001, 98(23): 13306-13311.
- [11] CORNET A, SAVIDGE T C, CABARROCAS J, et al. Enterocolitis induced by autoimmune targeting of enteric glial cells: a possible mechanism in Crohn's disease [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2001, 98(23): 13306-13311.
- [12] LI Y, LI Y, ZHANG Q, et al. The role of enteric glial cells in intestinal neuroimmunomodulation [J]. Chin J Cell Mol Immunol, 2022, 38(1): 84-88.
- [13] LÓPEZ-GÓMEZ L, SZYMASZKIEWICZ A, ZIELIŃSKA M, et al. Nutraceuticals and enteric glial cells [J]. Molecules, 2021, 26(12): 3762.
- [14] 李林蔓,刘俊宏,王森蕾,等. 肠胶质细胞在腹泻型肠易激综合征发病中的研究[J]. 胃肠病学和肝病学杂志, 2022, 31(11): 1207-1211.
- [15] 辜新贵,王启军,周樱,等. 雏鸡消化道发育与营养消化吸收特征[J]. 广东畜牧兽医科技, 2010, 35(6): 11-15.
- [16] NOY Y, SKLAN D. Yolk and exogenous feed utilization in the post-hatch chick [J]. Poult Sci, 2001, 80(10): 1490-1495.
- [17] 马猛,王克华,曲亮,等. 不同生长速度肉鸡肠道性状生长发育规律研究[J]. 畜牧与兽医, 2023, 55(1): 8-13.
- [18] 张铁鹰,汪敬,李永清. 0~49日龄肉仔鸡消化参数的变化规律研究[J]. 中国畜牧兽医, 2005, 32(1): 6-10.
- [19] CHEN H, HAN T, GAO L, et al. The involvement of glial cell-derived neurotrophic factor in inflammatory bowel disease [J]. J Interferon Cytokine Res, 2022, 42(1): 1-7.
- [20] DORA D, FERENCZI S, STAVELY R, et al. Evidence of a myenteric plexus barrier and its macrophage-dependent degradation during murine colitis: implications in enteric neuroinflammation [J]. Cell Mol Gastroenterol Hepatol, 2021, 12(5): 1617-1641.
- [21] CECCARINI M R, CECCARELLI V, CODINI M, et al. The polyunsaturated fatty acid EPA, but not DHA, enhances neurotrophic factor expression through epigenetic mechanisms and protects against parkinsonian neuronal cell death [J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(24): 16176.
- [22] 匡伟,刘峻池,嵇宏杰,等. 不同产蛋阶段蛋鸡肝脏脂肪沉积

规律研究 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (7): 27-30.

[23] 邹湘霖, 刘梦婷, 胡南希, 等. 博普总碱在肉鸡体内的药代动力学及残留研究 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (7): 72-79.

[24] QIN D, WANG J, LE A, et al. Traumatic brain injury: ultra-structural features in neuronal ferroptosis, glial cell activation and polarization, and blood - brain barrier breakdown [J]. Cells, 2021, 10 (5): 1009.

[25] 刘晓东, 彭利兰, 龙征荣, 等. 日龄对小鼠结肠组织形态和杯状细胞数量的影响研究 [J]. 四川畜牧兽医, 2021, 48 (6): 25-26.

[26] 曾艳, 陈昌蓉, 姜晓玲, 等. 不同生长期小鼠胸腺 T 细胞不同亚群的变化及 ROCK 抑制剂对衰老小鼠胸腺再生的促进作用 [J]. 细胞与分子免疫学杂志, 2021, 37 (1): 16-23.

[27] 孟祥琼, 胡学敏, 王悦如, 等. 不同发育阶段牦牛肺组织内肥大细胞的分布 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2020 (9): 43-44.

[28] 王维勇, 龚婷, 王婷婷, 等. 从江香猪生精上皮周期及睾丸发育的形态学分析 [J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46 (7): 2012-2020.

[29] 黄铖, 袁施彬, 方静, 等. 消化道嗜银细胞在红嘴相思鸟胚后发育过程中的分布规律 [J]. 吉林畜牧兽医, 2019, 40 (6): 5-6.

[30] 张伟, 于海波, 王园园, 等. 灯光颜色对 SPF 鸡育雏质量的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (3): 28-31.

[31] 张伟, 于海波, 杨鸣发, 等. SPF 鸡育雏期加热方式的选择 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (12): 29-34.

· 信息 ·

21 种畜牧、兽医科学类中国科技核心期刊中《畜牧与兽医》 综合评价总分排名第九位

《2024 年版中国科技期刊引证报告 (核心版) 自然科学卷》共收录了在中国 (不含港澳台地区) 正式出版的 1 998 种中文期刊和 167 种英文期刊, 其中畜牧、兽医科学类期刊共收录 21 种, 包括 19 本中文期刊和 2 本英文期刊, 《畜牧与兽医》综合评价总分排名第九位。21 种期刊主要指标详见附表。

附表 2023 年畜牧、兽医科学类期刊主要指标

序号	刊名	核心总被引频次			核心影响因子			综合评价总分		学科扩 散指标	学科影 响指标	红点 指标
		数值	排名	离均差率	数值	排名	离均差率	数值	排名			
1	ANIMAL NUTRITION	951	15	-0.49	1.612	2	0.65	51.9	2	6.52	0.81	0.25
2	JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY	1 123	13	-0.40	1.403	4	0.44	46.8	4	6.48	0.81	0.08
3	蚕业科学	627	19	-0.66	0.660	16	-0.32	34.3	13	7.19	0.43	0.25
4	动物医学进展	1 522	9	-0.19	0.670	15	-0.31	41.7	8	16.05	0.90	0.52
5	动物营养学报	7 671	1	3.11	1.990	1	1.04	78.4	1	16.33	1.00	0.82
6	家畜生态学报	1 158	12	-0.38	0.643	17	-0.34	34.6	12	8.90	0.95	0.54
7	经济动物学报	215	21	-0.88	0.510	20	-0.48	26.6	19	3.71	0.71	0.53
8	粮食与饲料工业	807	16	-0.57	0.618	19	-0.37	28.3	18	7.81	0.57	0.22
9	饲料工业	2 549	6	0.36	1.529	3	0.57	45.6	5	11.00	0.90	0.73
10	饲料研究	3 500	3	0.87	1.202	6	0.23	32.2	16	13.43	0.95	0.70
11	畜牧兽医学报	2 563	5	0.37	1.060	8	0.09	44.1	7	12.14	0.95	0.59
12	畜牧与兽医	1 484	11	-0.21	0.730	14	-0.25	39.1	9	9.48	0.86	0.57
13	畜牧与饲料科学	797	17	-0.57	0.620	18	-0.37	36.8	11	8.14	0.86	0.47
14	中国动物传染病学报	648	18	-0.65	0.821	11	-0.16	24.7	20	5.33	0.76	0.56
15	中国家禽	1 966	7	0.05	0.911	10	-0.07	33.6	15	7.71	0.95	0.56
16	中国兽药杂志	572	20	-0.69	0.462	21	-0.53	23.6	21	7.95	0.76	0.25
17	中国兽医科学	1 102	14	-0.41	0.772	12	-0.21	33.8	14	8.05	0.86	0.57
18	中国兽医学报	1 808	8	-0.03	0.761	13	-0.22	37.4	10	11.38	0.95	0.56
19	中国畜牧兽医	3 121	4	0.67	1.004	9	0.03	45.3	6	15.29	0.95	0.65
20	中国畜牧杂志	3 551	2	0.90	1.189	7	0.22	47.4	3	12.95	1.00	0.63
21	中国预防兽医学报	1 484	10	-0.21	1.338	5	0.37	31.0	17	6.52	0.81	0.47

注: 数据来自中国科学技术信息研究所《2024 年版中国科技期刊引证报告 (核心版) 自然科学卷》。