

黑线姬鼠与大林姬鼠组织中超氧化物酶和过氧化物酶的分布与活性比较

贾修歧 杨新宇 金志民*

牡丹江师范学院生命科学与技术学院 牡丹江 157011

摘要: 以黑线姬鼠 (*Apodemus agrarius*) 和大林姬鼠 (*A. peninsulae*) 为研究对象, 采用聚丙烯酰胺凝胶电泳 (PAGE) 不连续体系的方法, 比较分析了心、肝、肾、肌肉、脑、肺 6 种器官和组织中超氧化物酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 活性, 并建立了 2 种酶的电泳图谱。结果显示, 上述 2 种酶在黑线姬鼠和大林姬鼠的 6 种器官和组织中均有表达并表现出明显的特异性, 其中, 2 种鼠中超氧化物酶共分离出迁移率由 0.15 ~ 0.66 的 9 条电泳谱带, 过氧化物酶共分离出迁移率由 0.09 ~ 0.83 的 20 条电泳谱带。在肝和肺中酶的活性最强, 黑线姬鼠 6 种器官和组织中超氧化物酶活性均强于大林姬鼠, 2 种鼠组织中过氧化物酶的活性和分布相似, 但在同一物种不同器官和组织间过氧化物酶的活性及分布存在明显差异。

关键词: 大林姬鼠; 黑线姬鼠; 超氧化物酶; 过氧化物酶; 组织

中图分类号: Q956 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2020) 01-090-06

Distribution and Activity of Superoxide Dismutase and Peroxidase in Various Tissues of *Apodemus agrarius* and *A. peninsulae*

JIA Xiu-Qi YANG Xin-Yu JIN Zhi-Min*

School of Life Science and Technology, Mudanjiang Normal University, Mudanjiang 157011, China

Abstract: The discontinuous polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE) was used to analyze and compare the activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) in six tissues and organs including heart, liver, kidney, muscle, brain and lung of *Apodemus agrarius* and *A. peninsulae*. SOD and POD were expressed in all six tissues and organs analyzed, but both enzymes showed their specific characteristics in different tissues or organs of *Apodemus agrarius* and *A. peninsulae*. A total of 9 polyacrylamide gel electrophoresis bands with a mobility of 0.15 to 0.66 were separated for SOD, while 20 bands with a mobility of 0.09 to 0.83 were separated for peroxidase. Strongest activities of the two enzymes were found in the liver and lung. The

基金项目 牡丹江师范学院科研项目 (No. YB2019004)、校级项目 (No. MNU201804) 及研究生科技创新项目 (No. KJXC2019-31mdjnu), 黑龙江省教育厅项目 (No. 1353PT012), 牡丹江流域陆生脊椎动物资源调查项目 (No. 1353PT009);

* 通讯作者, E-mail: swxjzm@163.com;

第一作者介绍 贾修歧, 男, 助教; 研究方向: 动物生理生化; E-mail: 799003144@qq.com。

收稿日期: 2019-07-27, 修回日期: 2019-12-16 DOI: 10.13859/j.cjz.202001011

activities of SOD in 6 tissues and organs of *A. agrarius* were stronger than in *A. peninsulae*. The activities and distribution of POD in the six tissues and organs of *A. agrarius* and *A. peninsulae* were similar. However, there were significant differences in POD activity and distribution among tissues and organs in the same species.

Key words: *Apodemus peninsulae*; *Apodemus agrarius*; Superoxide dismutase; Peroxidase; Tissues

黑线姬鼠 (*Apodemus agrarius*) 与大林姬鼠 (*A. peninsulae*) 分类地位较为相近, 都为我国农林地区优势种, 两者都是农林业主要害鼠且在生境选择和取食倾向上存在较大重叠 (黄广传等 2019)。

超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 是一类金属酶, 能特异地歧化生物体内产生的超氧负离子自由基 $O_2^{\cdot-}$ 。在防御氧的毒性、抗辐射损伤、抗炎症、预防衰老以及防治肿瘤等方面起重要作用 (Wallace 1999)。过氧化物酶 (peroxidase, POD) 是重要的机体保护酶, 可催化过氧化氢、氧化酚类和胺类化合物, 具有消除过氧化氢和酚类、胺类毒性的双重作用 (罗曼等 2000)。通过了解生物体内超氧化物酶和过氧化物酶的分布和活性可以衡量该种生物对所处生境的适应能力及对外来病菌入侵的抵御能力 (Du et al. 2019, Kim et al. 2019)。了解黑线姬鼠和大林姬鼠组织中超氧化物酶和过氧化物酶的分布和活性对其深入研究具有重要参考意义。

本实验通过聚丙烯酰胺凝胶电泳不连续体系 (polyacrylamide gel electrophoresis, PAGE) 分离黑线姬鼠和大林姬鼠心、肝、肾、肌肉、脑、肺 6 种器官和组织中超氧化物酶和过氧化物酶, 研究 2 种鼠器官和组织中超氧化物酶和过氧化物酶谱系的分布, 讨论其分布特点以及比较 2 种酶在器官和组织中的表达强度, 并分别建立黑线姬鼠和大林姬鼠 6 种器官和组织中超氧化物酶、过氧化物酶的电泳图谱, 提供其基础生化数据。

1 材料与方法

1.1 材料

采用笼捕法自黑龙江省牡丹江市牡丹峰国

家自然保护区 (海拔 329 ~ 386 m) 捕捉健康成年黑线姬鼠 (2♀, 1♂) 和大林姬鼠 (2♀, 1♂) 各 3 只。

1.2 实验方法

1.2.1 粗酶液的制备 常规解剖 2 种鼠, 取出心、肝、肾、肌肉、脑、肺于预冷的研钵中按照 1 : 5 加入 pH 6.5 的磷酸盐缓冲液进行研磨, 吸取组织匀浆于离心管中通过高速冷冻离心机 (Beckman Coulter 64R Centrifuge) 4 000 r/min 离心 30 min, 上清液即为超氧化物酶、过氧化物酶粗酶液, 吸取上清液于超低温冰箱中 (-81 °C) 保存备用。

1.2.2 电泳 用 Tris、HCl、TEMED、过硫酸铵、丙烯酰胺、甲叉双丙烯酰胺、甘氨酸、核黄素 (天津市大茂化学试剂有限公司生产) 配制浓缩胶 3% (pH 6.8) 与分离胶 9% (pH 8.9), 用微量移液器 (Eppendorf) 将电泳上样液依次加入到点样孔中, 点样顺序为: 黑线姬鼠 (肺、脑、肌肉、肾、心、肝) 大林姬鼠 (肺、脑、肌肉、肾、心、肝)。超氧化物酶加样量为 15 ~ 30 μ l, 过氧化物酶加样量为 25 ~ 40 μ l, 电极缓冲液为 Tris-Gly (pH 8.3)。使用 DYCZ-24A 型双垂直电泳槽 (北京市六一仪器厂生产) 进行不连续聚丙烯酰胺垂直板电泳, 起始电流 10 mA, 待指示剂到达分离胶上沿时将电流调至 40 mA 稳流电泳 4 h。

1.2.3 染色 电泳结束后, 进行同工酶染色。超氧化物酶染色液: 10 ml 6×10^{-5} mol/L NBT + 2 ml 12×10^{-6} mol/L PMS + 15 ml 0.5 mol/L Tris-HCl 缓冲液 + 5 ml 0.5 mol/L NaCl + 68 ml 蒸馏水, 充分混匀。将胶板置于染色液中, 进行超氧化物酶染色时要准确将暗染时间控制为 45 ~ 50 min, 暗染时间过短或过长都会导致染色效果不佳。过氧化物酶染色液: 10 ml

1.5 mol/L NaAc + 10 ml 1.5 mol/L HAc + 10 ml 联苯胺 + 70 ml 蒸馏水，充分混匀。将凝胶置于染色液中并加入 1 或 2 滴 30% H₂O₂，加入 H₂O₂ 过多会导致染色过深不易观察（陈毓荃 2002）。

1.2.4 结果判定 使用凝胶成像系统（美国 Alpha 公司，AlphaImager Mini）对染色后凝胶进行拍照、扫描。并计算各组相对迁移率，即溴酚蓝的迁移距离与蛋白质条带迁移距离的比值（周国权等 2006）。通过比较谱带迁移率、数量和谱带染色的深浅度来判断酶的分布、表达强度和活性（彭亮跃等 2007，高博等 2009）。

2 结果与分析

2.1 组织中超氧化物酶电泳谱图及分析

黑线姬鼠和大林姬鼠心、肝、肾、肌肉、脑、肺 6 种器官和组织中 SOD 酶共分离出共 9 条电泳谱带（图 1），迁移率 0.15 ~ 0.66（表 1）。

超氧化物酶组织中活性由强到弱，在黑线姬鼠为肝、肾、心、肌肉、肺、脑，大林姬鼠

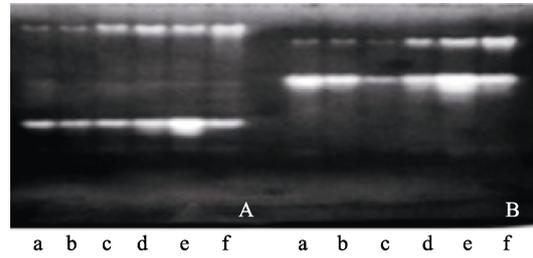


图 1 黑线姬鼠 (A) 和大林姬鼠 (B) 6 种器官和组织中超氧化物酶电泳图谱

Fig. 1 Polyacrylamide gel electrophoresis pattern of superoxide dismutase in six tissues and organs of *Apodemus agrarius* (A) and *A. peninsulae* (B)

a. 肺; b. 脑; c. 肌肉; d. 肾; e. 肝; f. 心。

a. Lung; b. Brain; c. Muscle; d. Kidney; e. Liver; f. Heart.

为肝、心、肺、脑、肾、肌肉，且黑线姬鼠组织中超氧化物酶活性均强于大林姬鼠。SOD₂、SOD₃、SOD₅、SOD₉ 是黑线姬鼠特有带，SOD₃ 是黑线姬鼠的主带区。黑线姬鼠特有带的酶活性比较，SOD₂ 肝 > 肾 > 心 = 脑 > 肌肉 > 肺，SOD₃ 肝 > 心 = 肾 = 肌肉 > 脑 > 肺，SOD₅ 心 > 肾 = 肌肉 = 肺 > 肝 = 脑，

表 1 黑线姬鼠和大林姬鼠 6 种器官和组织中超氧化物酶谱带分布和迁移率

Table 1 Distribution and mobility of Superoxide Dismutase bands in six tissues and organs of *Apodemus agrarius* and *A. peninsulae*

| 迁移率 Mobility | 谱带编号 Band number | 黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i> | | | | | | | 大林姬鼠 <i>A. peninsulae</i> | | | | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|---------|-----------|----------|---------|---------|--------|---------------------------|-----------|----------|---------|---------|---|--|
| | | 肺 Lung | 脑 Brain | 肌肉 Muscle | 肾 Kidney | 肝 Liver | 心 Heart | 肺 Lung | 脑 Brain | 肌肉 Muscle | 肾 Kidney | 肝 Liver | 心 Heart | | |
| 0.15 | SOD ₉ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.22 | SOD ₈ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.34 | SOD ₇ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.38 | SOD ₆ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.42 | SOD ₅ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.44 | SOD ₄ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.55 | SOD ₃ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.59 | SOD ₂ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 0.66 | SOD ₁ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| 谱带数 Band number | | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | |

酶带从上到下为从负极到正极。酶谱带颜色越深和越宽表示酶带活性的越强。表中空白处表示无酶谱带分布。

The enzyme band is from the negative electrode to the positive electrode and from top to bottom. The color depth and width of the enzyme band at the same height indicate the strength of the enzyme band activity. The blank space in the table indicates that there is no enzyme band distribution.

SOD₉ 心 > 肝 = 肾 > 肌肉 > 脑 = 肺。大林姬鼠的心、肺分别分离出 SOD₁、SOD₆、SOD₇ 和 SOD₈ 共 4 条谱带；肝、肾、肌肉、脑分别分离出 SOD₁、SOD₄、SOD₆、SOD₇ 和 SOD₈ 共 5 条谱带。SOD₇ 是大林姬鼠的主带区，SOD₆、SOD₈ 是大林姬鼠特有带。大林姬鼠特有带酶活性比较，SOD₆ 肝 > 肾 > 心 > 脑 = 肺 > 肌肉，SOD₈ 心 > 肝 > 肾 > 脑 = 肺 > 肌肉。SOD₁ 和 SOD₇ 是 2 种鼠 6 种组织共有带。SOD₁ 酶活性比较，心、肝、肾、肺为大林姬鼠强于黑线姬鼠，而肌肉为黑线姬鼠强于大林姬鼠，2 种鼠脑的酶活性一致。SOD₇ 则 6 种组织酶活性均为大林姬鼠强于黑线姬鼠。

2.2 组织中过氧化物酶电泳谱图及分析

黑线姬鼠和大林姬鼠心、肝、肾、肌、脑、

肺 6 种器官和组织中共分离出 20 条电泳谱带（图 2），迁移率 0.09 ~ 0.83（表 2）。

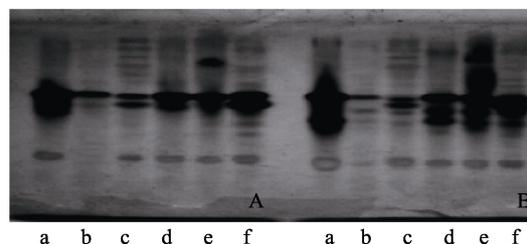


图 2 黑线姬鼠 (A) 和大林姬鼠 (B) 6 种器官和组织中过氧化物酶电泳图谱

Fig. 2 Polyacrylamide gel electrophoresis pattern of Peroxidase in six tissues and organs of *Apodemus agrarius* (A) and *A. peninsulae* (B)

a. 肺; b. 脑; c. 肌肉; d. 肾; e. 肝; f. 心。

a. Lung; b. Brain; c. Muscle; d. Kidney; e. Liver; f. Heart.

表 2 黑线姬鼠和大林姬鼠 6 种器官和组织中过氧化物酶谱带分布和迁移率

Table 2 Distribution and mobility of Peroxidase bands in six tissues and organs of *Apodemus agrarius* and *A. peninsulae*

| 迁移率 Mobility | 谱带编号 Band number | 黑线姬鼠 <i>Apodemus agrarius</i> | | | | | | 大林姬鼠 <i>A. peninsulae</i> | | | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|------------|--------------|-------------|------------|------------|---------------------------|------------|--------------|-------------|------------|------------|
| | | 肺 Lung | 脑 Brain | 肌肉 Muscle | 肾 Kidney | 肝 Liver | 心 Heart | 肺 Lung | 脑 Brain | 肌肉 Muscle | 肾 Kidney | 肝 Liver | 心 Heart |
| 0.09 | POD ₂₀ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.12 | POD ₁₉ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.17 | POD ₁₈ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.22 | POD ₁₇ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.25 | POD ₁₆ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.29 | POD ₁₅ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.32 | POD ₁₄ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.34 | POD ₁₃ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.35 | POD ₁₂ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.41 | POD ₁₁ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.44 | POD ₁₀ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.46 | POD ₉ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.49 | POD ₈ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.54 | POD ₇ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.57 | POD ₆ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.65 | POD ₅ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.67 | POD ₄ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.74 | POD ₃ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.79 | POD ₂ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.83 | POD ₁ | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 谱带数 Band number | | 11 | 9 | 11 | 9 | 7 | 13 | 8 | 11 | 13 | 12 | 9 | 14 |

酶带从上到下为从负极到正极。酶谱带颜色越深和越宽表示酶带活性的越强。表中空白处表示无酶谱带分布。

The enzyme band is from the negative electrode to the positive electrode and from top to bottom. The color depth and width of the enzyme band at the same height indicate the strength of the enzyme band activity. The blank space in the table indicates that there is no enzyme band distribution.

黑线姬鼠组织中过氧化物酶活性为, 心 > 肌肉 = 肺 > 肾 = 脑 > 肝, 大林姬鼠组织中过氧化物酶活性为, 心 > 肌肉 > 肾 > 脑 > 肝 > 肺, 黑线姬鼠心、肝、肾、脑组织中过氧化物酶活性弱于大林姬鼠相应组织, 肌肉、肺中过氧化物酶活性强与大林姬鼠相应组织。

根据酶的活性表达强度分为 3 个区来进行比较分析: I 区为 POD₁~POD₃, II 区为 POD₄~POD₁₃, III 区为 POD₁₄~POD₂₀。

I 区 POD₁~POD₃ 为 2 种鼠 6 种器官和组织所共有, 且这 3 条谱带在 2 种鼠的 6 种组织中酶活性一致, 酶活性均为, 脑 > 心 = 肝 = 肾 = 肌肉 = 肺。

II 区: POD₄ 是大林姬鼠特有带, 酶活性为, 心 = 肝 = 肾 = 肌肉 > 肺 > 脑; POD₅ 是黑线姬鼠特有带, 酶活性为, 肺 > 心 = 肝 = 肾 > 脑; POD₆ 是大林姬鼠脑和黑线姬鼠心的共有带; POD₇ 是大林姬鼠肝、肾、肌肉、脑、肺与黑线姬鼠心和肾共有带, 其中大林姬鼠组织间酶活性比较为, 肺 > 肝 > 肾 > 脑 > 肌肉, 黑线姬鼠酶活性为, 心 > 肾, 大林姬鼠肾中酶活性强于黑线姬鼠肾; POD₈ 是大林姬鼠心、肝、肾、肌肉、脑和黑线姬鼠心共有带, 其中大林姬鼠组之间酶活性比较为, 肝 > 肾 > 心 > 肌肉 > 脑; POD₉ 是黑线姬鼠肺特有带; POD₁₀ 是大林姬鼠心和黑线姬鼠心、肺共有带, 其中在大林姬鼠心的酶活性强于黑线姬鼠心; POD₁₁ 是 2 种鼠心、肝、肾、肌肉、脑共有带, 黑线姬鼠各组织中酶活性比较为, 心 > 肌肉 > 肾 > 肝 > 脑, 大林姬鼠各组织中酶活性比较为, 心 = 肝 = 肾 > 肌肉 > 脑, 在黑线姬鼠心的酶活性强于大林姬鼠心, 在黑线姬鼠肝、肾、脑中酶活性弱于大林姬鼠相应组织, 在 2 种鼠的肌肉中酶活性一致; POD₁₂ 是 2 种鼠 6 种组织共有带, 其中黑线姬鼠组织中酶活性为, 心 > 肝 = 肾 > 肺 > 肌肉 = 脑, 大林姬鼠组织中酶活性为, 肺 > 心 = 肝 = 肾 > 脑 > 肌肉, 黑线姬鼠肌肉中过氧化物酶活性强于大林姬鼠肌肉, 黑线姬鼠心、肝、肺

中过氧化物酶活性弱于大林姬鼠相应组织, 2 种鼠肾和脑中酶活性一致; POD₁₃ 是黑线姬鼠心、肾、肌肉、脑、肺和大林姬鼠心、肾、肌肉共有带, 黑线姬鼠组织中酶活性, 肾 > 心 > 肺 > 肌肉 = 脑, 大林姬鼠组织中酶活性, 肌肉 > 心 = 肾; 黑线姬鼠心和肾过氧化物酶活性强于大林姬鼠相应组织, 肌肉中过氧化物酶活性则弱于大林姬鼠。

III 区: POD₁₄ 是黑线姬鼠脑、肺和大林姬鼠脑共有谱带, 在 2 种鼠脑中, 过氧化物酶活性一致; POD₁₅ 是黑线姬鼠肌肉和大林姬鼠心共有带; POD₁₆ 是黑线姬鼠心、肌肉和大林姬鼠心、肌肉、肾共有谱带, 其中黑线姬鼠组织中过氧化物酶活性为心 > 肌肉, 大林姬鼠组过氧化物酶活性为肌肉 > 心 > 肾, 黑线姬鼠心的过氧化物酶活性强于大林姬鼠心, 肌肉的过氧化物酶活性弱于大林姬鼠; POD₁₇ 是黑线姬鼠肺、肝特有带; POD₁₈ 是黑线姬鼠肺和大林姬鼠心、肝、肌肉、肺共有带, 其中黑线姬鼠组织中过氧化物酶活性, 肝 > 心 = 肌肉 > 肺, 黑线姬鼠肺的过氧化物酶活性强于大林姬鼠; POD₁₉ 是 2 种鼠心、肾、肌肉、脑共有谱带, 其中 2 种鼠组织中过氧化物酶活性均为, 肌肉 > 心 > 肾 > 脑, 黑线姬鼠肌肉和脑中过氧化物酶活性强于大林姬鼠相应组织, 肾的过氧化物酶活性弱于大林姬鼠, 2 种鼠心的过氧化物酶活性一致; POD₂₀ 是黑线姬鼠肌肉、肺和大林姬鼠心、肾、肌肉、肺共有谱带, 其中黑线姬鼠肌肉中酶活性强于肺, 大林姬鼠组中酶活性为, 肌肉 > 心 > 肺 > 肾, 黑线姬鼠肌肉的酶活性强于大林姬鼠肌肉, 2 种鼠肺的过氧化物酶活性一致。

3 讨论

由酶谱的分布图和电泳迁移率计算结果可知: 超氧化物酶和过氧化物酶在 2 种鼠的 6 种组织器官中均有表达。同一组织器官在不同个体间酶带表达数量和表达强度不同, 各组织间酶带的分布和活性也不尽相同, 且伴有酶带缺

失的现象, 说明酶的表达具有组织特异性和多态性。电泳图谱的表型, 如谱带的数目、宽窄, 谱带颜色的深浅及电泳迁移率的大小和谱带的缺失现象, 均可以从不同角度客观反映该谱带对应的等位基因的遗传本质(金建丽等 2018)。肝是重要的解毒和免疫器官, 肺具有对吸入的空气进行过滤和净化的功能, 将吸入的灰尘和细菌通过肺泡转移到气管分泌液中, 而后排出体外。2 种鼠在肝和肺中超氧化物酶和过氧化物酶的表达强度均明显高于其他组织, 说明酶的表达和活性与组织功能相适应, 这一研究结论与陈晓虹等(2000)对小鲵和李永通等(1992)对中国大鲵 (*Andrias davidianus*) 组织中同工酶表达强度的研究结果一致。

参 考 文 献

- Du J, Zhu H X, Ye M S, et al. 2019. *Macrobrachium rosenbergii* Cu/Zn superoxide dismutase (Cu/Zn SOD) expressed in *Saccharomyces cerevisiae* and evaluation of the immune function to *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish & Shellfish Immunology*, 90: 363–375.
- Kim W K, Moon J Y, Cho J S, et al. 2019. Protective efficacy of a *Brucella* vaccine using a *Salmonella*-based delivery system expressing *Brucella* Omp3b, BCSP31, and SOD proteins against brucellosis in Korean Black Goats. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 83(4): 261–266.
- Wallace D C. 1999. Mitochondrial diseases in man and mouse. *Science*, 283(5407):1482–1488.
- 陈晓虹, 王林嵩, 瞿文元. 2000. 河南省小鲵科两种动物酯酶、过氧化物酶同工酶的比较研究. *动物学杂志*, 35(5): 19–23.
- 陈毓荃. 2002. 生物化学实验方法和技术. 北京: 科学出版社, 238–242.
- 高博, 张建庆, 蔡亨忠, 等. 2009. 3 种吸血蛭酯酶同工酶的比较研究. *中国媒介生物学及控制杂志*, 20(2): 138–139.
- 黄广传, 司俊杰, 蒙新, 等. 2019. 不同生境和季节社鼠与大林姬鼠的微生物选择比较. *兽类学报*, 39(3): 242–251.
- 金建丽, 刘泓玮, 曹明星, 等. 2018. 棕背鲟、红背鲟血清蛋白比较分析. *黑龙江畜牧兽医*, (17): 190–193.
- 罗曼, 蒋立科, 刘颖, 等. 2000. 野生与养殖长吻鲩血液及不同器官同工酶的比较. *应用与环境生物学报*, 6(5): 447–451.
- 李永通, 向应海, 杨业勤. 1992. 中国大鲵及鳖不同组织 LDH 同工酶的比较研究. *动物学杂志*, 27(1): 28–31.
- 彭亮跃, 肖亚梅, 骆剑, 等. 2007. 中国大鲵不同组织同工酶的比较研究. *水生生物学报*, 31(6): 915–919.
- 周国权, 巫光宏, 黄翠颜, 等. 2006. 聚丙烯酰胺凝胶电泳的快速脱色方法. *植物生理学通讯*, 42(1): 95–97.