

鸡原始生殖细胞在性腺发育中的作用研究进展

周碧妍¹, 罗锦堂¹, 杨秀荣^{1,2*}

(1. 广西大学动物科学技术学院, 广西南宁 530004; 2. 广西畜禽繁育与疾病防控重点实验室, 广西南宁 530004)

摘要: 鸡原始生殖细胞 (Chicken Primordial Germ Cells, PGCs) 是生殖系的前体细胞, 在胚胎发育过程中可通过血液循环迁移到性腺嵴, 最终分化为卵原细胞或精原细胞, 决定个体的生殖潜能。作为性腺发育与性别分化的关键参与者, PGCs 不仅是生殖细胞谱系的奠基者, 也是鸡遗传资源保存与转基因研究的重要材料。本文综述了鸡 PGCs 的起源、迁移、命运及其与性腺发育、性别分化之间的互作关系, 并探讨了 PGCs 在转基因鸡生产、遗传资源保存等领域的应用潜力, 以期为家禽生殖生物学研究与生物技术创新提供理论支持。

关键词: 原始生殖细胞 (PGCs); 性腺; 性别分化; 应用

中图分类号: S831.2

文献标识码: A

DOI 编号: 10.19556/j.0258-7033.20241104-02

鸡原始生殖细胞 (PGCs) 是一种多能性干细胞, 是生殖细胞系的前体细胞, 其经血液循环定植于性腺后分化为成熟的精子和卵母细胞^[1]。鸡胚的原始生殖腺位于中肾嵴腹内侧, 由中胚层发育而来。在鸡胚胎期第 3 天左右, 血液中循环的 PGCs 从生殖嵴附近的血管中出来, 侵入中肾腹侧的体腔上皮, 特征是体腔上皮开始增厚, 此时性腺开始发生^[2-3], 待性别分化完成后, 雌雄性腺分别发育成卵巢和睾丸。鸡 PGCs 已应用于各种研究, 包括遗传资源保存、转基因鸡生产、移植治疗以及发育生物学研究等。本文就鸡 PGCs 的起源、迁移和命运, 性腺发育及其与 PGCs 之间的调控关系, PGCs 参与性别分化的研究现状和进展进行综述, 以期为禽类性别分化和性别决定提供新的见解和研究思路。

1 PGCs 的起源、迁移以及命运

1.1 PGCs 的起源 PGCs 是能分化为成熟精子和卵子的干细胞^[4]。自从 19 世纪 80 年代人们在鸡中发现 PGCs

以来, 不少研究者对 PGCs 的起源展开了一系列研究。PGCs 具有大量的细胞质糖原颗粒, 因此, 常用高碘酸-希夫 (PAS) 染色来鉴定鸡胚中的 PGCs^[5]。Eyal-Giladi 等^[6]根据 PAS 染色结果认为 PGCs 起源于 EG&K X 期 (Eyal-Giladi 和 Kochav 分期系统^[7]) 透明区的中心区域, 处于外胚层的腹侧表面, 在 XI 阶段逐渐转移到下胚层^[8]。此外, 有研究人员分离了 *Vasa* 基因的同源基因 *CVH*, 并证明了 *CVH* 是鸡 PGCs 的表面标记物, 发现在鸡胚胎发育的 EG&K X 期透明区中央散存着约 30 个显示 *CVH* 阳性的细胞, XI 期下胚层有 45~60 个 *CVH* 呈阳性的细胞, HH 4 阶段 (Hamburger and Hamilton 分期系统^[2]) 生殖新月区由于形态发生运动有 200~250 个 *CVH* 阳性的细胞^[9], 这与 PGCs 的分布是类似的, 即鸡 PGCs 是起源于 EG&K X 期的透明区中心区域, 随着胚胎发育 PGCs 的数量也随之增加, 并发生位置的迁移。

1.2 PGCs 的迁移和命运 在许多脊椎动物中, 如小鼠和斑马鱼, PGCs 通过“变形运动”迁移到性腺中^[10], 然而, 在鸟类中, PGCs 利用血管系统迁移到性腺中^[11]。在 EG&K X 期, PGCs 最初位于透明区的中心区域, 处于外胚层的腹侧表面; 随后在 XI 期开始迁移至下胚层; HH 4 阶段迁移到生殖新月区; 随后, 在 HH 9~12 阶段, PGCs 进入血管并在血液中循环^[12-13], 并且在 HH 14 阶段 (孵化 50~53 h) 达到峰值, 随后下降^[14]; 至 HH 17 阶段 (孵化 52~62 h), PGCs 沿着肠系膜背侧迁移到

收稿日期: 2024-11-04; 修回日期: 2025-09-18

资助项目: 广西科技“尖峰”专项 (重大) 项目 (桂科 AA23 062049); 国家自然科学基金地区基金 (32460828); 国家现代农业产业技术体系广西家禽产业创新团队 (nyctxgxcxt-2024-19)

作者简介: 周碧妍 (2000-), 女, 广西梧州人, 硕士研究生, 研究方向为家禽遗传育种, E-mail: zhoubiyan07@163.com

* 通信作者: 杨秀荣 (1979-), 女, 广西灵川人, 教授, 主要从事家禽遗传育种研究, E-mail: yangxiurong09@163.com

性腺^[15-16],大量的PGCs聚集在性腺原基处并参与性腺的形成^[17]。PGCs的迁移过程会受到其内在因素和各种转录调节因子的作用,Huss等^[18]发现鹌鹑PGCs对生发新月区的细胞外基质有贡献。循环中的禽类PGCs比血细胞更硬,因此PGCs在生殖嵴附近的血管丛处被有效闭塞,导致它们归巢到发育中的性腺^[19]。Huang等^[20]根据RNA-seq结果提出血小板衍生的生长因子信号转导可能参与禽类PGCs向性腺的迁移过程。此外,研究人员指出将Oct4缺失的PGCs重新注入胚胎的血液中时,表现出细胞迁移受损,导致PGCs无法定植于性腺^[21];有研究发现干扰 $lncBMP4$ 后生殖嵴中的PGCs数量显著减少,过表达 $lncBMP4$ 后则相反^[22],说明 $lncBMP4$ 参与了PGCs的迁移。这些结果强调了内在因素和多能性转录因子调控在鸡PGCs的迁移过程中的重要性。

随着胚胎发育和性别分化,雄性的性腺将发育成睾丸,PGCs则分化为精原细胞,随着个体发育,精原细胞往曲精细管的基膜迁移并分化形成精原干细胞;而雌性性腺发育成卵巢,PGCs分化形成卵原细胞,卵原细胞开始减数分裂形成初级卵母细胞^[23-26]。

2 性腺发育

性腺发育的第1个证据出现在胚胎发育的第3天,特征是中肾腹侧体腔上皮增厚,性腺开始发生^[2-3]。在E3.5~E4.5,鸡胚的性腺是“未分化的”,从形态上雌雄之间无法区分^[27];直到胚胎孵化到E6.5,性腺分化开始在组织学上变得明显^[28-29]。在胚胎E6.5,在一些性别决定关键基因和激素的调控作用下,性腺向卵巢或睾丸分化发育。雄性两侧性腺对称地发育,而在雌性的两侧性腺不对称地发育^[30]。雌性左右性腺之间的不对称形态在E8时变得明显^[31]。韩紫燕等^[32]通过转录组测序鉴定雌性鸡胚性腺不对称发育相关候选基因,发现左右性腺特异性差异表达基因 $Pou5f3$ 、 $STK31$ 、 $DMRTB1$ 可能在雌性鸡胚性腺不对称发育中发挥作用。研究结果表明miRNAs和lncRNAs调控是新的基因特异性剂量补偿机制,它们可能导致鸡性腺的左右不对称^[33]。此外,研究人员通过定量蛋白组学发现蛋白DMRT1、ZFPM2、TSHZ3可能与雌性胚胎右侧性腺的退化有关^[34]。王静娜^[35]通过差异蛋白质组学研究发现雌性左右侧性腺差异蛋白的代谢途径主要集中于细胞凋

亡、性腺发育调控等代谢过程,其中下调蛋白主要参与性腺发育和细胞凋亡,说明右侧退化的性腺中有部分蛋白参与了程序性死亡。通过单细胞转录组联合空间转录组对雌性鸡卵巢不对称发育的研究表明,左侧卵巢表现出与卵泡生长和卵泡发育相关的特定基因的高表达,而右侧卵巢表现出与肌细胞分化相关的表达模式^[36]。这表明雌性性腺的不对称发育是由多种因素调控,未来可通过对这些基因和蛋白进行功能分析来解析调节右侧性腺变性的机制。

在鸟类中, $DMRT1$ 和 $SOX9$ 的激活表达启动了雄性睾丸的分化过程,而 $FOXL2$ 和 $CYP19A1$ 的激活表达则标志着雌性卵巢的发育,这些基因是鸟类性腺分化的重要上游调控因子。有研究表明 $DMRT1$ 水平降低将导致雄性(ZZ)性腺的雌性化^[37],且Lee等^[38]研究也表明在雄性发育的早期阶段 $DMRT1$ 表达破坏会诱导性腺雌性化,并带来广泛的生理和分子变化;相反, $DMRT1$ 的过表达则会导致雌性(ZW)性腺的雄性化^[39]。 $SOX9$ 在E6.5的雄性性腺中开始表达,其表达时间比 $DMRT1$ 的表达时间晚^[40];且 $DMRT1$ 通过鸡血红素同源物直接或者间接激活 $SOX9$ 的表达^[41]。

雌性胚胎中 $FOXL2$ 表达水平降低会使 $SOX9$ 的表达被激活^[42],这可能导致雌性胚胎性腺向雄性化发育。雌激素在其受体作用下调控鸡胚性腺发育,而 $CYP19A1$ 编码的芳香化酶是雌激素合成的关键酶。 $FOXL2$ 的表达比 $CYP19A1$ 的表达和鸡胚性别分化的时间早,并且 $FOXL2$ 和 $CYP19A1$ 在E14共定位于雌性性腺的髓质中^[43]。这些研究表明性腺发育是受到多基因调控的,随着基因的表达水平改变,雌性性腺会向雄性化发育或雄性性腺向雌性化发育。有研究发现 $TEAD$ 基因家族参与了鸡胚性腺发育的停滞,表明 $TEAD$ 在鸡的性别决定和性腺发育过程中发挥着重要的调节作用^[44]。此外,Li等^[45]对3个不同发育时期的鸡胚性腺进行单细胞多组学测序,发现转录因子 $DMRT1$ 和 $ESRRG$ 在鸡性别决定和分化过程中可能是调节双潜能支持细胞命运的关键决定因素,且在鸡性别决定过程中,雄性性腺发育调控网络是优先被激活的。综合以上,性腺发育是由多基因共同调控的,同时也受到激素水平的影响。

3 PGCs与性腺发育的关系

有研究指出PGCs的定居与生殖嵴形成有着密切关

系^[46]。研究人员通过制作 HH15~18 阶段的鸡胚切片,分析 PGCs 电镜超微结构,发现在生殖嵴附近的血管中出现 PGCs 后逐渐迁移至体腔上皮增厚区,到 HH 17 阶段大多数 PGCs 通过血管系统循环迁移并定居在生殖嵴中,生殖嵴将发育成性腺,到达性腺后的 PGCs 被称为性腺原始生殖细胞(gPGCs)^[47]。

Huang 等^[20]分别分离了 HH 13~15 阶段的血液 PGCs 和 HH 27 阶段的性腺 PGCs 进行转录组分析,发现在 PGCs 由血液中循环到定植于性腺的过程中,沉默的基因比激活的基因多;同样在斑马鱼和小鼠的研究中也发现,随着 PGCs 的发育,在迁移过程中表达的基因数量减少^[48-49],说明在 PGCs 定植到性腺之前一直保持着多能性。有研究对 E2.5 雌雄鸡胚血液中 PGCs 进行转录组测序分析也印证了 PGCs 具有独特的特性^[50],能够在适当的发育信号下实现多能性。

由此可见 PGCs 参与胚胎发育早期性腺发育,且在 PGCs 从血液到性腺的迁移过程中基因表达是动态变化的。这些研究有助于人们更好地理解 PGCs 迁移到性腺的发育过程和多能性特性,为未来进一步探究 PGCs 发育和性腺发生提供了重要参考。

4 PGCs 与性别分化的关系

一直以来,鸡的性别决定和性别分化都是研究热点。而鸟类的性别主要是由细胞自主机制以及其他因素(如 *DMRT1* 剂量)决定的。在一些脊椎动物中,生殖细胞的性别是随着 PGCs 迁移到性腺并受到性腺体细胞影响的。但在鸟类中有研究发现 PGCs 的细胞自主的性别特性^[51]。Soler 等^[52]对雌雄鸡胚 HH 16 阶段(孵化 56 h)的血液 PGCs 进行定量蛋白质组学分析发现,雄性 PGCs 和雌性 PGCs 吸收蛋白质的能力不同。而且,与来自雄性胚胎的 PGCs 相比,从雌性胚胎中分离获得的 PGCs 的自我更新的倾向较低^[53]。这也说明培养雌性鸡 PGCs 要比雄性 PGCs 困难。Ichikawa 等^[54]分离了雌雄鸡胚 HH 16 阶段(E2.5)的血液 PGCs 以及 E4.5 和 E6.5 的性腺 PGCs 进行 RNA 测序分析发现,在 PGCs 进入性腺之前(HH 16 阶段),就已经有一些 W 染色体相关的基因在 PGCs 中以细胞自主的方式表达。这一系列的研究都说明 PGCs 的性别差异是由其内在的因素决定的,与性腺的性别决定无关,PGCs 的性别在定植于性腺之前就已经确定。

5 PGCs 的应用

PGCs 在基因工程、遗传修饰、保存以及种质扩增领域发挥着重要作用。对于产蛋类的动物来说,胚胎冷冻保存的方法并不适用,所以常用低温冷冻保存技术来保存精液繁育后代,但对许多鸡品种来说冷冻保存的鸡精液在人工授精时受精率很低,很少用于商业家禽生产^[55]。冷冻保存 PGCs 可以保留雌性和雄性种系的遗传信息,因此,使用低温保存技术来保存 PGCs 有益的遗传信息,以满足未来的生产需求更为可取。

近些年来,随着嵌合体技术的发展,人们逐渐开始利用嵌合体技术来保护禽类珍稀品种。PGCs 可以长期冷冻保存,而且解冻后移入受体胚胎能产生有生育能力的嵌合体,为恢复珍稀濒危品种、进行品种资源多样性保护和利用提供新的思路。Woodcock 等^[56]使用基因工程修饰过的不育雌性蛋鸡作为代孕宿主,移植冷冻保存的禽类 PGCs 得到均来自于供体的稀有传统品种肉鸡后代。

通过冷冻保存 PGCs 可以有效保留雌性和雄性种系的遗传信息,为未来的生产需求提供可取的途径。此外,利用 PGCs 来保护珍稀品种并恢复濒危物种的举措也在逐渐展开。这些研究为珍稀品种的保护和利用以及品种资源多样性的保护开辟了新的可能性。通过对 PGCs 的不断深入研究和应用,可以更好地利用 PGCs 的潜力,推动禽类遗传资源的可持续发展和保护。

6 小 结

尽管目前人们已对鸡 PGCs 起源和迁移、发育、性别分化以及性腺的发育、PGCs 与性腺发生进行了大量研究,但关于雌性鸡胚左右侧性腺 PGCs 差异的研究还未见完整的报道,未来对于鸡胚左右侧性腺 PGCs 的研究将有助于加深人们对性腺不对称发育以及性别分化的理解。对禽类 PGCs 进行性别决定的深入研究有助于控制后代性别,这对于高效的家禽生产和动物福利至关重要。此外,通过深入研究禽类 PGCs 和性腺的性别分化和性别决定机制,可以促进禽类的遗传改良和保种。

参考文献:

- [1] Glover J D, McGrew M J. Primordial germ cell technologies for avian germplasm cryopreservation and investigating germ cell development[J]. J Poult Sci, 2012, 49(3): 155-162.
- [2] Hamburger V, Hamilton H L. A series of normal stages in the

- development of the chick embryo[J]. *J Morphol*, 1951, 88(1): 49-92.
- [3] Ukeshima A, Kudo M, Fujimoto T. Relationship between genital ridge formation and settlement site of primordial germ cells in chick embryos[J]. *Anat Rec*, 1987, 219(3): 311-400.
 - [4] Wylie C C, Stott D, Donovan P J. Primordial germ cell migration[J]. *Dev Biol*, 1986, 2: 433-448.
 - [5] Meyer D B. The migration of primordial germ cells in the chick embryo[J]. *Dev Biol*, 1964, 10: 154-190.
 - [6] Eyal-Giladi H, Ginsburg M, Farbarov A. Avian primordial germ cells are of epiblastic origin[J]. *Development*, 1981, 65: 139-147.
 - [7] Eyal-Giladi H, Kochav S. From cleavage to primitive streak formation: a complementary normal table and a new look at the first stages of the development of the chick. I. General morphology[J]. *Dev Biol*, 1976, 49(2): 321-337.
 - [8] Ginsburg M, Eyal-Giladi H. Primordial germ cells of the young chick blastoderm originate from the central zone of the area pellucida irrespective of the embryo-forming process[J]. *Development*, 1987, 101(2): 209-219.
 - [9] Tsunekawa N, Naito M, Sakai Y, *et al.* Isolation of chicken vasa homolog gene and tracing the origin of primordial germ cells[J]. *Development*, 2000, 127(12): 2741-2750.
 - [10] Grimaldi C, Raz E. Germ cell migration-evolutionary issues and current understanding[J]. *Semin Cell Dev Biol*, 2020, 100: 152-159.
 - [11] Ichikawa K, Horiuchi H. Fate decisions of chicken primordial germ cells (PGCs): development, integrity, sex determination and self-renewal mechanisms[J]. *Genes (Basel)*, 2023, 14(3): 612.
 - [12] Ukeshima A, Yoshinaga K, Fujimoto T. Scanning and transmission electron microscopic observations of chick primordial germ cells with special reference to the extravasation in their migration course[J]. *J Electron Microsc*, 1991, 40(2): 124-128.
 - [13] Fujimoto T, Ukeshima A, Kiyofuji R. The origin, migration and morphology of the primordial germ cells in the chick embryo[J]. *Anat Rec*, 1976, 185(2): 139-145.
 - [14] Tajima A, Hayashi H, Kamizumi A, *et al.* Study on the concentration of circulating primordial germ cells (cPGCs) in early chick embryos[J]. *J Exp Zool*, 1999, 284(7): 759-764.
 - [15] Kuwana T, Rogulska T. Migratory mechanisms of chick primordial germ cells toward gonadal anlage[J]. *Cell Mol Biol*, 1999, 45(5): 725-736.
 - [16] Nakamura M, Kuwana T, Miyayama Y, *et al.* Extragonadal distribution of primordial germ cells in the early chick embryo[J]. *Anat Rec*, 1988, 222(1): 90-94.
 - [17] 李碧春, 陈国宏, 赵东伟, 等. 鸡胚 PGCs 迁移与性腺发育关系的研究[J]. *扬州大学学报*, 2002(1): 18-22, 26.
 - [18] Huss D J, Saias S, Hamamah S, *et al.* Avian primordial germ cells contribute to and interact with the extracellular matrix during early migration[J]. *Front Cell Dev Biol*, 2019, 7: 35.
 - [19] Saito D, Tadokoro R, Nagasaka A, *et al.* Stiffness of primordial germ cells is required for their extravasation in avian embryos[J]. *iScience*, 2022, 25(12): 105629.
 - [20] Huang X, Meng L, Wang S, *et al.* Transcriptional dynamics of the circulating chicken primordial germ cells revealing key genes in cell adhesion and proliferation prior to gonad colonization[J]. *Mol Reprod Dev*, 2022, 89(4): 214-226.
 - [21] Meng L, Wang S, Jiang H, *et al.* Oct4 dependent chromatin activation is required for chicken primordial germ cell migration[J]. *Stem Cell Rev Rep*, 2022, 18(7): 2535-2546.
 - [22] Zuo Q, Jing J, Zhou J, *et al.* Dual regulatory actions of LncBMP4 on BMP4 promote chicken primordial germ cell formation[J]. *EMBO Rep*, 2022, 23(1): e52491.
 - [23] Wylie C. Germ cells[J]. *Cell*, 1999, 96(2): 165-174.
 - [24] Smith C A, Roeszler K N, Bowles J, *et al.* Onset of meiosis in the chicken embryo; evidence of a role for retinoic acid[J]. *BMC Dev Biol*, 2008, 8: 1-19.
 - [25] Mendez C, Carrasco E, Pedernera E. Adenohypophysis regulates cell proliferation in the gonads of the developing chick embryo[J]. *J Exp Zool A Comp Exp Biol*, 2005, 303A(3): 179-185.
 - [26] Aponte P M, Van Bragt M P A, De Rooij D G, *et al.* Spermatogonial stem cells: characteristics and experimental possibilities[J]. *Apmis*, 2005, 113(11-12): 727-742.
 - [27] Smith C A, Sinclair A H. Sex determination: insights from the chicken[J]. *Bioessays*, 2004, 26(2): 120-132.
 - [28] Ebensperger C, Drews U, Mayerová A, *et al.* Serological H-Y antigen in the female chicken occurs during gonadal differentiation[J]. *Differentiation*, 1988, 37(3): 186-191.
 - [29] Carlon N, Stahl A. Origin of the somatic components in chick embryonic gonads[J]. *Arch Anat Microsc Morphol Exp*, 1985, 74(1): 52-59.
 - [30] Ukeshima A, Fujimoto T. A fine morphological study of germ cells in asymmetrically developing right and left ovaries of the chick[J]. *Anat Rec*, 1991, 230(3): 378-386.
 - [31] 李碧春, 陈国宏, 王克华, 等. 鸡胚性腺发生发育的研究[J]. *中国家禽*, 2001(8): 58-61.
 - [32] 韩紫燕, 吴申军, 鲍海港. 基于转录组测序鉴定雌性鸡胚性腺不对称发育相关候选基因[J]. *中国畜牧杂志*, 2024, 60(3): 149-155.
 - [33] Zou X, Wang J, Qu H, *et al.* Comprehensive analysis of miRNAs, lncRNAs, and mRNAs reveals potential players of sexually dimorphic and left-right asymmetry in chicken gonad during gonadal differentiation[J]. *Poult Sci*, 2020, 99(5): 2696-2707.
 - [34] Qin H, Wang J, Jia X, *et al.* Quantitative proteomics analysis of chicken embryos reveals key proteins that affect right gonadal degeneration in females[J]. *Proteomics*, 2022, 22(23-24): e2200428.
 - [35] 王静嫻. 鸡胚性腺差异蛋白质组学的初步研究[D]. 南宁: 广西大学, 2021.
 - [36] Wang T, Leng D, Cai Z, *et al.* Insights into left-right asymmetric development of chicken ovary at the single-cell level[J]. *J Genet Genomics*, 2024, 51(11): 1265-1277.
 - [37] Smith C A, Roeszler K N, Ohnesorg T, *et al.* The avian Z-linked

- gene DMRT1 is required for male sex determination in the chicken[J]. *Nature*, 2009, 461(7261): 267-271.
- [38] Lee H J, Seo M, Choi H J, *et al.* DMRT1 gene disruption alone induces incomplete gonad feminization in chicken[J]. *Faseb J*, 2021, 35(9): e21876.
- [39] Lambeth L S, Raymond C S, Roeszler K N, *et al.* Over-expression of DMRT1 induces the male pathway in embryonic chicken gonads[J]. *Dev Biol*, 2014, 389(2): 160-172.
- [40] Hirst C E, Major A T, Smith C A. Sex determination and gonadal sex differentiation in the chicken model[J]. *Int J Dev Biol*, 2018, 62(1-2-3): 153-166.
- [41] Nakata T, Ishiguro M, Aduma N, *et al.* Chicken hemogen homolog is involved in the chicken-specific sex-determining mechanism[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2013, 110(9): 3417-3422.
- [42] Major A T, Ayers K L, Chue J, *et al.* FOXL2 antagonises the male developmental pathway in embryonic chicken gonads[J]. *J Endocrinol*, 2019, 243(3): 211-228.
- [43] Govoroun M S, Pannetier M, Pailhoux E, *et al.* Isolation of chicken homolog of the FOXL2 gene and comparison of its expression patterns with those of aromatase during ovarian development[J]. *Dev Dyn*, 2004, 231(4): 859-870.
- [44] Li J, Sun C, Zheng J, *et al.* Time-Course transcriptional and chromatin accessibility profiling reveals genes associated with asymmetrical gonadal development in chicken embryos[J]. *Front Cell Dev Biol*, 2022, 10: 832132.
- [45] Li J, Zhang X, Wang X, *et al.* Single-nucleus transcriptional and chromatin accessible profiles reveal critical cell types and molecular architecture underlying chicken sex determination[J]. *J Adv Res*, 2024, 24: 00185.
- [46] Ando Y, Fujimoto T. Ultrastructural evidence that chick primordial germ cells leave the blood-vascular system prior to migrating to the gonadal anlagen: (germ cells/chick/migration/ultrastructure)[J]. *Dev Growth Differ*, 1983, 25(4): 345-352.
- [47] Nakajima Y, Minematsu T, Naito M, *et al.* A new method for isolating viable gonadal germ cells from 7-day-old chick embryos[J]. *J Poult Sci*, 2011, 48(2): 106-111.
- [48] Molyneaux K A, Zinszner H, Kunwar P S, *et al.* The chemokine SDF1/CXCL12 and its receptor CXCR4 regulate mouse germ cell migration and survival[J]. *Development*, 2003, 130(18): 4279-4286.
- [49] Zhang X, Li X, Li R, *et al.* Transcriptomic profile of early zebrafish PGCs by single cell sequencing[J]. *PLoS One*, 2019, 14(8): e0220364.
- [50] Doddamani D, Woodcock M, Taylor L, *et al.* The transcriptome of chicken migratory primordial germ cells reveals intrinsic sex differences and expression of Hallmark germ cell genes[J]. *Cells*, 2023, 12(8): 1151.
- [51] Jang H J, Lee M O, Kim S, *et al.* Biallelic expression of the *L*-arginine:glycine amidinotransferase gene with different methylation status between male and female primordial germ cells in chickens[J]. *Poult Sci*, 2013, 92(3): 760-769.
- [52] Soler L, Alves S, Brionne A, *et al.* Protein expression reveals a molecular sexual identity of avian primordial germ cells at pre-gonadal stages[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 19236.
- [53] Miyahara D, Mori T, Makino R, *et al.* Culture conditions for maintain propagation, long-term survival and germline transmission of chicken primordial germ cell-like cells[J]. *J Poult Sci*, 2014, 51(1): 87-95.
- [54] Ichikawa K, Nakamura Y, Bono H, *et al.* Prediction of sex-determination mechanisms in avian primordial germ cells using RNA-seq analysis[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 13528.
- [55] Th  lie A, Bailliard A, Seigneurin F, *et al.* Chicken semen cryopreservation and use for the restoration of rare genetic resources[J]. *Poult Sci*, 2019, 98(1): 447-455.
- [56] Woodcock M E, Gheyas A A, Mason A S, *et al.* Reviving rare chicken breeds using genetically engineered sterility in surrogate host birds[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2019, 116(42): 20930-20937.

Advances in the Role of Chicken Primordial Germ Cells in Gonadal Development

ZHOU Biyan¹, LUO Jintang¹, YANG Xiurong^{1,2*}

(1. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Guangxi Nanning 530004, China;
2. Guangxi Key Laboratory of Animal Breeding, Disease Control and Prevention, Guangxi Nanning 530004, China)

Abstract: Chicken primordial germ cells (PGCs) serve as precursor cells for the germ line. During embryonic development, they migrate to the gonadal ridge via the bloodstream, ultimately differentiating into oogonia or spermatogonia, thereby determining the reproductive potential of the individual. As pivotal participants in gonadal development and sexual differentiation, PGCs not only serve as the foundation of the germ cell lineage but also constitute crucial material for chicken genetic resource conservation and transgenic research. This paper reviewed the origin, migration and fate of chicken PGCs and its interactions with gonadal development and sexual differentiation. It further explored the potential applications of PGCs in areas such as transgenic chicken production and genetic resource conservation, aiming to provide theoretical support for poultry reproductive biology research and biotechnological innovation.

Keywords: Primordial germ cells (PGCs); Gonad; Sexual differentiation; Application

(责任编辑: 周会会)