

抗生素对肉鸡生长、屠宰性能和肉品质的影响

万建美¹, 吕林², 李素芬², 仲明³, 张克英^{1*}, 罗绪刚^{2*}

(1. 四川农业大学动物营养研究所, 四川雅安 625014;

2. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 矿物元素营养研究室, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193;

3. 香港美国辉宝有限公司上海代表处, 上海 200336)

摘要: 试验研究饲料中添加维吉尼亚霉素、恩拉霉素或黄霉素对肉鸡生长性能、屠宰性能及肌肉品质的影响。试验采用完全随机设计, 将 216 只 1 日龄 AA 肉仔鸡随机分为 6 个处理, 每个处理 6 个重复, 每重复 6 只鸡(公、母各半)。基础饲料为无抗生素对照组, 其余处理在基础饲料中分别添加维吉尼亚霉素(5、10、20 mg/kg)、恩拉霉素(1~21 日龄 5 mg/kg, 22~42 日龄 3 mg/kg)或黄霉素(5 mg/kg)。与无抗生素对照组相比, 添加维吉尼亚霉素和恩拉霉素显著提高 11~21 日龄平均日增重(ADG)及 22~42 日龄平均日采食量(ADFI)和 ADG($P < 0.10$)。添加黄霉素可显著提高 22~42 日龄 ADG($P < 0.10$)。黄霉素组胸肌滴水损失显著低于维吉尼亚霉素组($P < 0.10$)。维吉尼亚霉素、恩拉霉素对屠宰性能和肌肉品质均无显著影响($P > 0.10$)。结果表明: 饲料中添加维吉尼亚霉素、黄霉素和恩拉霉素均可改善肉仔鸡的生长性能, 对其屠宰性能均无影响; 维吉尼亚霉素和恩拉霉素对肉鸡肌肉品质无显著影响, 而黄霉素可降低鸡胸肌滴水损失。

关键词: 维吉尼亚霉素; 恩拉霉素; 黄霉素; 肉品质; 肉仔鸡

中图分类号: S831.5

文献标识码: A

文章编号: 0258-7033(2010)01-0048-05

随着肉鸡深加工产品数量的不断增长, 肉鸡屠宰性能, 特别是胴体中售价较高部分(如胸肌)越来越受到人们的关注。目前, 饲用抗生素仍然是我国畜禽养殖中用于防病促生长的主要饲料添加剂之一, 但有关抗生素影响肉鸡屠宰性能的报道并不一致。一些报道表明, 抗生素可以改善屠宰率、胸肌率, 而另一些报道则表明抗生素对屠宰性能只有微弱影响或没有影响。另外, 滴水损失是造成肌肉在贮存和零售过程中重量损失的重要原因之一, 而肌肉颜色又是消费者评价新鲜禽肉质量的一个重要指标。有关抗生素影响肉鸡肌肉品质的研究报道很少。

Leeson^[1]报道, 维吉尼亚霉素增加了屠体重和屠宰率。Izat 等^[2]发现亚甲基双水杨酸杆菌肽(BMD)和维吉尼亚霉素对屠宰率及胴体各部分重量没有显著影响。而 Woodward 等^[3]发现, 维吉尼亚霉素显著改善了屠宰率。Hughes 等^[4]报道, 在猪的饲料中长期添

加亚治疗剂量的抗生素可以改善肉质, 减少肉品脂肪含量, 同时增加蛋白质含量。如果在生长期动物的饲料中持续添加低剂量的抗生素可以改变肉品的脂肪和蛋白质含量, 那么也很有可能显著影响其他肉品质指标。李菊^[5]的研究表明, 饲料中添加金霉素可显著降低肉鸡腿肌的亮度值(L*)。Costa 等^[6]报道, 亚治疗剂量和治疗剂量的泰乐菌素对胸肌水分含量、pH、滴水损失、肉色和脂质氧化度无显著影响, 但却显著增加了胸肌的烹饪损失; 此外, 其研究还表明泰乐菌素的添加剂量对肉仔鸡胸肌肉质有影响。

由于肉鸡屠宰性能和肉品质在商业化家禽业中的重要性, 本试验旨在观测生产中常用的不同剂量的维吉尼亚霉素与恩拉霉素、黄霉素对肉鸡生长性能、屠宰性能和肌肉品质的影响。

1 材料与方法

1.1 动物与饲料 采用完全随机设计, 共设 6 个处理组, 对照组及各处理饲料分别为无抗生素基础饲料; 基础饲料 + 维吉尼亚霉素 5 mg/kg; 基础饲料 + 维吉尼亚霉素 10 mg/kg; 基础饲料 + 维吉尼亚霉素

收稿日期: 2008-11-27; 修回日期: 2009-06-01

作者简介: 万建美(1982-), 男, 四川丹棱人, 硕士

* 通讯作者

20 mg/kg;基础饲料 + 恩拉霉素(1~21 日龄 5 mg/kg, 22~42 日龄 3 mg/kg);基础饲料 + 黄霉素 5 mg/kg。

将 216 只 1 日龄 AA 肉仔鸡随机分为 6 个处理组,每处理组 6 个重复,每个重复 6 只鸡(公、母各半),1~21 日龄和 22~42 日龄 2 个阶段饲养。保持 24 h 恒定光照,自由采食和饮水。0~3 日龄鸡舍为 34~33℃,以后每周逐渐降低 2~3℃,直至 22℃。试验期间共有 5 只鸡死亡,均与处理无关。

参照美国 NRC (1994) 家禽营养需要量配制 1~21 日龄和 22~42 日龄肉鸡基础饲料,见表 1,并按上述试验处理安排配制其余 5 种试验饲料。

1.2 生长性能测定 在 21 日龄和 42 日龄分别以重复为单位称鸡只空腹重,并记录耗料量。分别计算各阶段的日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和饲料增重比(F/G)。

1.2 屠宰性能和肌肉品质测定 于 42 日龄从每个处理中随机抽取 6 只公鸡(每个重复 1 只),按文献[7]方法测定屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率和腿肌率。用 TC-P II G 自动测色色差计测定屠宰后 2 h 内胸肌和腿肌的 L*(亮度)、a*(红度)和 b*(黄度)。用 pH-211 型 pH 计测定屠宰后 24 h 胸肌和腿肌的 pH。肉鸡屠宰后 2 h 内,取右侧胸大肌肌肉称重(W_1),置于封口塑料中,在 4℃ 冰箱放置 24 h 后,用滤纸揩干并称重(W_2),滴水损失率 = $\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$ 。

1.4 统计分析 试验数据用 SAS (Version 8.1, SAS Institute, Cary, NC) GLM 程序,按完全随机设计进行方差分析。方差分析显著者用 Duncan's 法检测各处理平均数间的差异显著性,采用 0.10 为各项数据的差异显著性检验水平。

表 1 基础饲料组成和营养成分

项目	1~21 日龄	22~42 日龄
饲料组成/%		
玉米	58.92	62.59
豆粕	34.29	31.50
鱼粉	1.50	
大豆油	1.89	2.63
石粉	1.26	1.38
磷酸氢钙	1.41	1.15
DL-Met	0.13	0.15
食盐	0.30	0.30
微量成分	0.30	0.30
合计	100.00	100.00
营养成分		
代谢能/(MJ·kg ⁻¹)	12.26	12.55
粗蛋白/%	20.44	19.61
赖氨酸/%	1.14	0.99
蛋氨酸/%	0.46	0.36
钙/%	0.98	0.80
总磷/%	0.73	0.59
非植酸磷/%	0.41	0.33

注:微量成分可为每千克全价料提供:维生素 A 15 000 IU,维生素 D₃ 3 900 IU,维生素 E 30 IU,维生素 K₃ 3 mg,维生素 B₁ 2.4 mg,维生素 B₂ 9 mg,维生素 B₆ 4.5 mg,维生素 B₁₂ 0.021 mg,泛酸 30 mg,烟酸 45 mg,叶酸 1.2 mg,生物素 0.18 mg,胆碱 700 mg,铜 8 mg,锌 40 mg,铁 80 mg,锰 100 mg,碘 0.35 mg,硒 0.15 mg。粗蛋白、钙、总磷为实测值。其余营养成分为计算值

2 结果

2.1 饲料中不同添加剂量的维吉尼亚霉素、恩拉霉素和黄霉素对肉鸡生长性能的影响 由表 2 可见,维吉尼亚霉素组 1~21 日龄 ADG 显著高于无抗生素对照组、恩拉霉素组和黄霉素组($P < 0.10$),且随着维吉尼亚霉素添加量的提高,1~21 日龄 ADG 也相应提高;恩拉霉素组和黄霉素组肉仔鸡 1~21 日龄 ADG 与无抗生素对照组无显著差异($P > 0.10$);各

表 2 饲料中不同添加剂量的维吉尼亚霉素、恩拉霉素和黄霉素对肉鸡生长性能的影响

处理	平均体重/(g·只 ⁻¹)			1~21 d			22~42 d		
	1 d	21 d	42 d	ADFI/g	ADG/g	F/G	ADFI/g	ADG/g	F/G
无抗生素对照组	45.2	664	2 198	43.1	29.4 ^b	1.46	140 ^d	73.1 ^c	1.91
维吉尼亚霉素 5 mg/kg	45.8	716	2 333	46.1	31.9 ^a	1.44	145 ^{bc}	77.0 ^b	1.89
维吉尼亚霉素 10 mg/kg	46.3	722	2 421	45.1	32.2 ^a	1.40	149 ^{ab}	80.9 ^a	1.84
维吉尼亚霉素 20 mg/kg	46.1	719	2 405	45.7	32.1 ^a	1.43	151 ^a	80.3 ^a	1.88
恩拉霉素	45.4	694	2 319	44.6	30.9 ^{ab}	1.44	145 ^{bc}	77.4 ^b	1.87
黄霉素	46.1	675	2 264	43.5	30.0 ^b	1.45	143 ^{cd}	75.3 ^b	1.89
集合标准误	0.3			1.4	0.7	0.03	2.00	1.00	0.02
P	0.16			0.60	0.05	0.69	0.003	0.00	0.50

注:同列数据肩标不同肩标字母者表示差异显著($P < 0.10$)。下表同

处理组间 1~21 日龄 ADFI 和 F/G 均无显著差异($P > 0.10$)。饲料添加维吉尼亚霉素和恩拉霉素均显著提高了 22~42 日龄 ADFI 和 ADG($P < 0.10$),而添加黄霉素仅显著提高了 22~42 日龄 ADFI($P < 0.10$)。各处理组间 22~42 日龄 F/G 均无显著差异($P > 0.10$)。

2.2 饲料中不同添加剂量的维吉尼亚霉素、恩拉霉素和黄霉素对肉仔鸡屠宰性能的影响 由表 3 可见,饲料中添加抗生素对肉仔鸡各项屠宰性能指标无显著影响($P > 0.10$),各处理间各项指标非常接近。

表 3 饲料中不同添加剂量的维吉尼亚霉素、恩拉霉素和黄霉素对肉鸡屠宰性能的影响 %

处理	屠宰率	半净膛率	全净膛率	胸肌率	腿肌率
无抗生素对照组	91.6	85.9	70.3	30.2	25.6
维吉尼亚霉素 5 mg/kg	90.5	85.0	69.0	28.8	27.4
维吉尼亚霉素 10 mg/kg	90.6	85.2	69.8	29.5	26.2
维吉尼亚霉素 20 mg/kg	90.6	85.0	70.1	30.5	27.2
恩拉霉素	89.9	84.3	69.3	30.2	26.8
黄霉素	90.0	84.6	68.9	28.2	25.8
集合标准误	0.77	0.75	0.80	1.08	1.01
P	0.71	0.74	0.74	0.61	0.75

2.3 饲料中不同添加剂量的维吉尼亚霉素、恩拉霉素和黄霉素对肉鸡肌肉品质的影响 由表 4 可见,各处理间胸肌和腿肌的 L^* 、 a^* 、 b^* 均无显著差异($P > 0.10$)。由表 5 可见,各处理组间胸肌和腿肌 pH,及各处理间腿肌滴水损失无显著差异($P > 0.10$),而黄霉素组鸡胸肌滴水损失显著低于维吉尼亚霉素组($P < 0.01$)。

表 4 饲料中不同添加剂量的维吉尼亚霉素、恩拉霉素和黄霉素对肉鸡肌肉肉色的影响

处理	胸肌			腿肌		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
无抗生素对照组	46.30	3.81	11.43	48.98	6.02	11.82
维吉尼亚霉素 5 mg/kg	50.96	3.39	12.19	50.86	3.96	9.66
维吉尼亚霉素 10 mg/kg	48.88	4.75	13.45	50.65	6.04	12.51
维吉尼亚霉素 20 mg/kg	54.69	4.00	12.99	50.14	6.95	13.24
恩拉霉素	47.79	3.49	12.07	49.25	6.25	11.15
黄霉素	51.47	4.56	11.83	49.75	7.03	13.58
集合标准误	3.26	0.64	1.01	1.81	1.11	1.29
P	0.53	0.61	0.73	0.97	0.43	0.31

表 5 饲料中不同添加剂量的维吉尼亚霉素、恩拉霉素和黄霉素对肉鸡肌肉滴水损失和 pH 的影响

处理	胸肌		腿肌	
	滴水损失/%	pH	滴水损失/%	pH
无抗生素对照组	1.64 ^{ab}	5.95	0.79	6.24
维吉尼亚霉素 5 mg/kg	1.99 ^a	5.83	0.60	6.20
维吉尼亚霉素 10 mg/kg	1.71 ^a	5.91	0.60	6.40
维吉尼亚霉素 20 mg/kg	1.74 ^a	5.91	0.72	6.28
恩拉霉素	1.65 ^{ab}	5.82	0.65	6.22
黄霉素	1.36 ^b	5.95	0.61	6.35
集合标准误	0.14	0.06	0.06	0.07
P	0.07	0.40	0.22	0.24

3 讨论

畜禽饲料中添加饲用抗生素主要是为了抑制有害病原微生物(如沙门氏菌、大肠杆菌和魏氏梭菌等),减少微生物所产生的毒素,降低微生物对营养物质的消耗,促进动物生长和维护动物的健康状况,从而达到理想的生产成绩。本试验中,这 3 种抗生素在畜禽生产中广泛使用,且极少被肠道吸收,休药期短;2) 它们的抗菌机理不尽相同,维吉尼亚霉素和恩拉霉素同属多肽类抗生素,而黄霉素属含磷多糖类抗生素。维吉尼亚霉素是维吉尼亚链霉菌(*Streptomyces virginiae*)产生的,由维吉尼亚霉素 M 和维吉尼亚霉素 S 组成的天然混合物,2 种成分间相互作用以阻止细菌内蛋白质的合成。恩拉霉素主要由恩拉霉素 A(C107H138N26O31C12)和恩拉霉素 B(C106H140N26O31C12) 2 种成分组成,其抑菌机理和黄霉素相似,即通过阻断肽聚糖链的形成而抑制细菌细胞壁的形成,干扰细菌细胞膜的正常功能。因此,它们可能对肉仔鸡的生长性能、屠宰性能和肉质产生不同的影响。

本试验的结果表明,饲料中添加维吉尼亚霉素(5、10 mg/kg 或 20 mg/kg)对各阶段肉鸡生长性能的改善状况均优于恩拉霉素和黄霉素,黄霉素仅对 22~42 日龄 ADG 有明显影响。同时随着维吉尼亚霉素添加量的增加,1~21 日龄及 22~42 日龄 ADFI、ADG 和 F/G 均有改善,部分指标达到显著水平。但各抗生素对屠宰性能均无明显影响,这一结果与 Izat 等^[2]的报道一致。Izat 等^[8]的研究却发现,维吉尼亚霉素或黄霉素对饲料转化率和 49 日龄体重没有改善,但是对屠宰率、胸肌率等屠宰性能指标有影

响。饲用抗生素对生产性能的作用效果受饲料组成及营养水平、圈舍卫生状况、应激、动物健康状况及饲养密度等因素的影响,因而不同试验得出的结论不尽相同。屠宰性能指标是从表观上反映营养物质在不同组织(内脏、肌肉、骨骼、表皮等)及同一组织的不同部位中沉积量差异的一组指标,而影响营养物质沉积的因素又很多。由于抗生素在多数情况下,只是通过影响动物肠道形态增加营养物质的利用率,但是对营养物质在机体内的分配情况影响可能极小,所以,即使抗生素提高了肉仔鸡的生产性能也并不意味着屠宰性能的提高,反之亦然。

肌肉最终的 pH 主要取决于屠宰前和屠宰过程中的加工处理条件。动物被屠宰后,由于失血缺氧,肌肉通过糖酵解途径利用肌糖原产生 ATP。随着肌肉中乳酸的蓄积, pH 开始下降,直至糖酵解被抑制,此时 pH 达到最小值(约 5.4)。与此同时, ATP 的含量已不足以将肌动蛋白和肌球蛋白解离开,肌肉开始逐渐僵硬。当肌肉完全僵直时肌肉的 pH 约为 6.0。这一过程通常在 2~8 h 内完成,肌肉最终的 pH 在 5.4~6.5 之间。虽然 pH 下降的速率和程度变异很大,但是胸肌(酵解型白肌) pH 下降的速率和程度大于腿肌(氧化型红肌)。屠宰前因慢性应激引起肌肉中糖原含量低会使最终 pH 较高,而屠宰前的高温或急性应激则会加快肌肉的糖酵解活动使最终 pH 较低。本试验中各处理组间的屠宰条件被控制到基本一致,因而各处理间的 pH 没有统计学差异,胸肌和腿肌的 pH 范围与 Costa 等^[6]报道的基本相同。

滴水损失是评价肌肉保水力的指标。肌肉的保水力不仅直接影响肌肉的营养品质,而且具有重要的经济意义。本试验中,黄霉素有降低肌肉滴水损失的作用,这一结果与王建辉等^[9]的报道一致。但是,黄霉素组肉仔鸡腿肌的滴水损失仅比对照组略微降低,这可能是因为腿肌本身的系水力较高。恩拉霉素和维吉尼亚霉素对滴水损失无明显影响,但维吉尼亚霉素有增加胸肌滴水损失的趋势。这些结果表明,不同的抗生素对肌肉滴水损失可能有不同的影响。

肌肉颜色是消费者评价新鲜禽肉质量的一个重要感观指标。肉色的变化受动物品种、年龄、营养状况、屠宰处理和肉品贮存的影响。除营养状况外,这些影响因素在本试验中也被控制到基本一致。各处理试

验饲料中添加的抗生素种类或剂量虽然不同,但由于抗生素对营养状况的改善程度可能没有达到影响肉色的水平,因而各处理间 L^* (亮度)、 a^* (红度)和 b^* (黄度)差异不显著,与 Costa 等^[6]的报道一致。Qiao 等^[10]根据 L^* (亮度)值将鸡的胸肉分为偏暗色($L^* < 48$)、正常色($48 < L^* < 53$)和偏白色($53 < L^*$)。按照上述分类原则,本试验无抗生素对照组胸肌肉色偏暗,各抗生素处理组的胸肌和腿肌 L^* (亮度)值均在正常范围内。由于 pH 下降速率和程度对肌肉肉色有很大的影响。pH 下降过快过大,肉色偏白,反之则偏暗。因而,抗生素处理组肌肉肉色位于正常范围内可能与抗生素降低肉仔鸡应激作用有关。

4 结 论

饲料中添加维吉尼亚霉素(≥ 5 mg/kg)、恩拉霉素(1~21 日龄 5 mg/kg, 22~42 日龄 3 mg/kg)均可显著改善肉仔鸡 1~21 日龄 ADG 及 22~42 日龄 ADFI 和 ADG,而对肉仔鸡屠宰性能和肌肉品质无明显影响;黄霉素可显著改善肉仔鸡 22~42 日龄 ADG,并有降低肉仔鸡胸肌低水损失的作用,但对其屠宰性能及其他肉品质指标均无明显影响。

参考文献:

- [1] Leeson S. Growth and carcass characteristics of broiler chickens fed virginiamycin [J]. *Nutr Rep Int*, 1984, 29:1383-1389.
- [2] Izat A L, Thomas R A, Adams M H. Effects of dietary antibiotic treatment on yield of commercial broilers [J]. *Poult Sci*, 1989, 68: 651-655.
- [3] Woodward S A, Harms R H, Miles R D, *et al.* Research note: influence of virginiamycin on yield of broilers fed four levels of energy [J]. *Poult Sci*, 1988, 67: 1222-1224.
- [4] Hughes P, Heritage J. Antibiotic growth promoters in food animals [A]. In: *Assessing Quality and Safety of Animal Feeds* [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2004. 129-152.
- [5] 李菊. 肉仔鸡不同菌群状态对肠道化学成分以及肉品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [6] Costa A I A, Teldeschi E, Gerritzen M A, *et al.* Influence of flock treatment with the antibiotic tylosin on poultry meat quality: results of a preliminary experiment [J]. *NJAS-Wagen J Life Sci*, 2007, 54(3): 269-278.
- [7] 全国家禽育种委员会. 家禽生产性能指标名称和计算方法(试行标准)[J]. *中国家禽*, 1984, (4): 25-27.
- [8] Izat A L, Colberg M, Reiber M A, *et al.* Effects of different antibiotics on performance, processing characteristics, and parts

- yield of broiler chickens[J]. Poult Sci, 1990, 69(10): 1787-1791.
- [9] 王建辉, 贺建华, 易宣, 等. 杜仲提取物对猪胴体品质及肌肉氨基酸含量的影响 [J]. 动物营养学报, 2007, 19(3): 269-276.
- [10] Qiao M, Fletcher D L, Smith D P, *et al.* The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity [J]. Poult Sci, 2001, 80: 676-680.

Effects of Different Antibiotics on Growth and Slaughter Performance and Meat Quality in Broiler Chickens

WAN Jian-mei¹, LV Lin², LI Su-fen², ZHONG Ming³, ZHANG Ke-ying^{1*}, LUO Xu-gang^{2*}

(1. Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Sichuan Ya'an 625014, China;
2. Mineral Nutrition Research Division, State key laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Phibro Corporation Limited Shanghai Rep. Office, Shanghai 200336, China)

Abstract: An experiment was conducted to investigate the effects of virginiamycin, enramycin, and flavomycin on growth performance, slaughter performance and meat quality in broiler chickens. The completely randomized design was used. Two hundred and sixteen 1-day-old Arbor Acres broilers were randomly assigned to one of six treatments, each consisting of 6 replicate cages with 6 birds (3 male and 3 female) per cage. The basal diet served as the control group, and the other 5 treatment diets were formulated by adding virginiamycin (5, 10, 20 mg/kg of diet), enramycin (5 mg/kg of diet from 1d to 21 d, 3 mg/kg of diet from 22 d to 42 d) or flavomycin (5 mg/kg of diet) to the basal diet. The average daily gain (ADG) of 1d to 21d and the average daily feed intake (ADFI), ADG of 22 d to 42 d were significantly ($P < 0.10$) improved by virginiamycin and enramycin when compared with the control group; The ADG of 22 d to 42d and the drip loss of the pectoral muscle was significantly ($P > 0.10$) improved when the diet supplemented with flavomycin, but the slaughter performance were not significantly ($P > 0.10$) influenced by flavomycin; The slaughter performance and meat quality were not significantly ($P > 0.10$) changed by virginiamycin or enramycin. It was concluded that the growth performance was improved by virginiamycin, enramycin, and flavomycin, but slaughter performance was influenced by none of them. The meat quality was not influenced by virginiamycin and enramycin, but the drip loss of the pectoral muscle was reduced by flavomycin.

Key words: virginiamycin; enramycin; flavomycin; meat quality; broiler

(上接第22页)

- and AI[J]. Anim Sci, 1999, 77: 213-220.
- [7] 赵永聚. 舍饲条件下小尾寒羊与无角陶赛特及萨福克公羊精液品质的比较[J]. 甘肃畜牧兽医, 2000, 30(3): 6-7.
- [8] 赵永聚, 李福兵, 孙新明, 等. 山羊精子结合外源DNA能力的年龄及品种依赖性[J]. 动物学报, 2005, 51(6): 1058-1066.
- [9] 赵永聚, 郑双艳. 山羊精子介导转染外源DNA的研究[J]. 西南大学学报, 2007, 29(6): 46-50.
- [10] Camation M A, Russo T, Odorisio F, *et al.* Uptake of exogenous DNA by mammalian spermatozoa: specific localization of DNA on sperm heads[J]. Reprod Fertil, 1992, 96: 203-212.
- [11] Lavitrano M, French D, Zani M, *et al.* The interaction between exogenous DNA and sperm cells [J]. Mol Reprod Dev, 1992, 31(3): 161-169.
- [12] Francolini M, Lavitrano M, Lamia C L, *et al.* Evidence for nuclear internalization of exogenous DNA into mammalian sperm cells[J]. Mol Reprod Dev, 1993, 34(2): 133-139.
- [13] Perry A C, Wakayama T, Kishikawa H, *et al.* Mammalian transgenesis by intracytoplasmic sperm injection [J]. Science, 1999, 284: 1180-1183.
- [14] Gandolfi F. Sperm-mediated transgenesis [J]. Theriogenology, 2000, 53(1): 127-37.
- [15] 郝爱玲, 阿淑艳, 曲云森, 等. 牛精子冷冻前后的形态学对比试验[J]. 黑龙江动物繁殖, 2007, 15(5): 30-31.
- [16] 赵永聚, 王勇, 王剑, 等. 冷冻对山羊精子转染外源DNA和体外制备转基因胚胎的影响[J]. 动物学报, 2008, 54(6): 1089-1097.