

# 外源性 cAMP 对秦川犊牛生长性能及部分血液指标的影响\*

李常青<sup>1</sup>, 咎林森<sup>1,2\*</sup>, 朱光星<sup>1</sup>, 钟 昕<sup>1</sup>,  
黄 磊<sup>1</sup>, 胡怡菲<sup>1</sup>, 王洪宝<sup>1,2</sup>, 辛亚平<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 动物科技学院, 陕西杨凌 712100; 2. 国家肉牛改良中心, 陕西杨凌 712100)

**摘 要:** 旨在观察外源性 cAMP 对秦川犊牛生长性能及部分血液指标的影响。选取体质量相近的秦川犊牛公、母各 6 头(2 月龄±10 d)。公母犊牛均分成试验组和对照组, 进行 120 d 的饲养试验, 试验组每隔 10 d 皮下注射 cAMP 标准注射液 10 mL(0.6 mg/kg); 对照组注射等量生理盐水。结果表明, 和对照组相比, 公犊牛末体质量、日增体质量分别提高 8.99%、20.00% ( $P < 0.01$ ), 血清总胆固醇浓度在 240 h 内降低 26.10% ( $P < 0.05$ ), 血糖浓度、生长激素质量浓度在 72 h 内分别提高 6.50%、8.24% ( $P < 0.05$ ), 胰岛素质量浓度在 48 h 内提高 7.43% ( $P < 0.05$ )。母犊牛末体质量、日增体质量分别提高 7.94%、19.18% ( $P < 0.01$ ), 血清总胆固醇浓度在 240 h 内降低 12.18% ( $P < 0.05$ ), 血糖浓度、生长激素质量浓度在 72 h 内分别提高 8.30%、6.72% ( $P < 0.05$ ), 胰岛素质量浓度在 48 h 内提高 6.15% ( $P < 0.05$ )。由此可知, 注射外源性 cAMP 可显著提高犊牛的生长性能, 并影响部分血液生化指标。

**关键词:** 环腺苷酸; 秦川犊牛; 生产性能; 血液指标

中图分类号: S823.81

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2010)05-0001-05

## Effect of Exogenous cAMP on the Growth and Blood Parameters in Qinchuan Calves

LI Changqing<sup>1</sup>, ZAN Linsen<sup>1,2\*</sup>, ZHU Guangxing<sup>1</sup>, ZHONG Xin<sup>1</sup>,  
HUANG Lei<sup>1</sup>, HU Yifei<sup>1</sup>, WANG Hongbao<sup>1,2</sup> and XIN Yaping<sup>1,2</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. National Beef Cattle Improvement Centre in China, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of exogenous cAMP on the growth ability and blood parameters of Qinchuan calves, 12 healthy Qinchuan calves (6 males and 6 females) at similar physical conditions were selected for a 120-d raising experiment. Calves were grouped randomly and equally into the experimental group and control group which had both genders (3 males and 3 females each group). Ten milliliters of 0.6 mg/kg exogenous cAMP (cyclic adenosine monophosphate) were injected subcutaneously into each subject of experimental group every 10 days and the same amount of saline was injected into each subject of the control group. The results show that, compared with the control group, male calves in experimental group had 8.99% ( $P < 0.01$ ) higher body weight and 20.00% ( $P < 0.01$ ) higher daily weight gain after the whole experiment session, as well as 26.10% ( $P < 0.05$ ) lower serum total cholesterol by 240-hour treatment, 6.50% ( $P < 0.05$ ) higher blood glucose, 8.24% ( $P < 0.05$ ) higher growth hormone concentrations by 72-hour treatment and 7.43% ( $P < 0.05$ ) higher insulin concentration by 48-hour treatment. Meanwhile, compared with the control group, female

\* 收稿日期: 2009-11-03 修回日期: 2010-01-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(30871788); 陕西省“13115”科技创新专项(2007IDCY-01)。

作者简介: 李常青, 硕士, 主要从事动物分子营养学研究。E-mail: changqing8691@163.com

\* 通讯作者: 咎林森, 教授, 博士生导师, 主要从事动物生长发育调控及牛遗传育种与繁殖研究。E-mail: zanls@yahoo.com.cn

calves in experimental group have 7.94% ( $P < 0.01$ ) higher body weight and 19.18% ( $P < 0.01$ ) higher daily weight gain after the whole experiment session, as well as 12.18% ( $P < 0.05$ ) lower serum total cholesterol by 240-hour treatment, 8.30% ( $P < 0.05$ ) higher blood glucose, 6.72% ( $P < 0.05$ ) higher growth hormone concentrations by 72-hour treatment and 6.15% ( $P < 0.05$ ) higher insulin concentration by 48-hour treatment. Based on these results, we concluded that the exogenous cAMP injection can obviously enhance the growth ability of Qinchuan calves as well as affect some blood parameters.

**Key words:** Cyclic nucleotides; Qinchuan calf; Growth ability; Blood parameters

近年来,随着人民生活水平的不断提高,对畜禽产品的品质要求越来越高。而抗生素、激素、 $\beta$ -兴奋剂等产品因其对动物和人存在安全隐患而将逐步被禁用,因此研究开发动物机体本身所具有的、安全可靠的促生长物质,对促进动物生长,改善动物产品品质具有重要意义。环腺核苷酸(cAMP)是 Sutherland 于 1957 年发现的体内没有特异性的低分子物质,其广泛存在于一切哺乳动物的组织和细胞外液中。随后 Sutherland 于 1965 年提出了第二信使学说,明确了激素(第一化学信使)通过环核苷酸 cAMP 和 cGMP(第二信使)发挥作用的机理。其作为激素的第二信使发挥对机体物质代谢的调配作用,促进基因转录 mRNA,加速蛋白质的合成过程。大量的试验资料证明,cAMP 具有广泛的营养代谢调节作用,可以调控脂肪细胞的生长、分化及机体脂肪沉积,其作为重要的第二信使在畜牧生产中的应用具有良好的前景<sup>[1-4]</sup>。Beatmaun 等<sup>[5]</sup>研究表明,应用以 cAMP 作为介导物的 Cimaterol 可诱导羔羊肌肉生长,改变其内分泌状况。Macrae、Thornton 等认为,Clenbuterol 可改变去势羔羊的能量消耗,增加蛋白质利用率,并可影响绵羊的脂质代谢和胴体组成<sup>[6-7]</sup>。刘永峰等<sup>[8]</sup>研究表明,外源性 CNT 对甘油在哈白兔血液中的代谢及在组织和器官中的分布均有明显影响。本研究以 cAMP 标准注射液处理秦川犏牛,测定犏牛体质量及部分血液生化指标,旨在进一步了解其对秦川犏牛生长性能的影响及部分血液生化指标的变化机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

cAMP 为美国 Sigma 公司产品,根据试验组犏牛体质量按 0.6 mg/kg 分别配置成 10 mL-cAMP 标准注射液<sup>[9]</sup>。

### 1.2 试验动物

选用健康无病,体质量基本一致的秦川犏牛公母各 6 头(2 月龄 $\pm$ 10 d)。

### 1.3 试验设计与饲养管理

公母犏牛均分成试验组和对照组。试验组于颈部皮下注射 10 mL cAMP 标准注射液,对照组注射等量生理盐水。试验前进行驱虫处理并分组,预饲期 15 d,试验期 120 d。试验首日对犏牛进行第 1 次注射,其后每隔 10 d 注射 1 次,共 12 次。各组犏牛均饲喂相同的精料补充料和粗料,自由采食及饮水。

### 1.4 生长性能测定

试验首日称量犏牛体质量,之后每隔 15 d 称量 1 次,称量前对犏牛禁食(自由饮水)24 h。

### 1.5 血液采集

在注射后每隔 24 h 在犏牛进食前颈静脉采血 5 mL,并立即置于离心机中离心(3 000 r/min, 10 min),将上层血清转移至 1.5 mL 的离心管中,-20 °C 保存备用,样品分析前解冻。

### 1.6 血液指标的测定

采用美国产 LX 220 型全自动血液生化分析仪测定血液生化指标。

### 1.7 数据统计

用 SPSS 17.0 软件对试验数据进行单因素方差分析,显著性检验采用 Duncan's 多重比较,数据以“平均数 $\pm$ 标准差”表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源性 cAMP 对秦川犏牛生长性能的影响

试验过程中,各组犏牛健康状况良好,日增体质量表现一定差异性。由表 1 可知,与对照组相比,末体质量、日增体质量公犏牛分别提高 8.99%、20.00% ( $P < 0.01$ ),母犏牛分别提高 7.94%、19.18% ( $P < 0.01$ )。

表 1 秦川犊牛体质量测定结果

Table 1 Effect of cAMP on average daily gain(ADG) in Qinchuan calves

项目 Item	公犊牛 Male calf		母犊牛 Female calf	
	试验组 Experimental group	对照组 Control group	试验组 Experimental group	对照组 Control group
始体质量/kg Initial weight	60.67±6.43 <sup>a</sup>	63.67±3.79 <sup>a</sup>	61.67±4.73 <sup>a</sup>	65.33±4.16 <sup>a</sup>
末体质量/kg Final weight	166.33±3.21 <sup>A</sup>	152.61±2.31 <sup>B</sup>	162.67±3.06 <sup>A</sup>	150.71±2.57 <sup>B</sup>
总增体质量/kg Total weight gain	108.33±1.53 <sup>A</sup>	90.00±1.73 <sup>B</sup>	104.00±2.00 <sup>A</sup>	87.33±2.52 <sup>B</sup>
日增体质量/kg ADG	0.90±0.02 <sup>A</sup>	0.75±0.02 <sup>B</sup>	0.87±0.01 <sup>A</sup>	0.73±0.02 <sup>B</sup>

注:同行肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ ),下表同。

Note:In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), different capital letter superscripts mean significant difference ( $P<0.01$ ), and the same as the following tables.

## 2.2 外源性 cAMP 对秦川犊牛部分血液指标的影响

### 2.2.1 cAMP 对秦川犊牛总胆固醇浓度的影响

由表 2 可知:与对照组相比,公犊牛血清总胆固

醇浓度降低 26.10%( $P<0.05$ ),母犊牛血清总胆固醇浓度降低 12.18%( $P<0.05$ )。试验组平均血清总胆固醇浓度明显低于对照组。

表 2 血清总胆固醇浓度测定结果

Table 2 Determination of total cholesterol levels in blood serum

mmol · L<sup>-1</sup>

测定时间/h Detection time	公犊牛 Male calf		母犊牛 Female calf	
	试验组 Experimental group	对照组 Control group	试验组 Experimental group	对照组 Control group
24	2.26±0.20 <sup>a</sup>	2.90±0.37 <sup>b</sup>	2.29±0.25 <sup>a</sup>	2.38±0.06 <sup>b</sup>
48	2.21±0.16 <sup>a</sup>	3.34±0.50 <sup>b</sup>	2.61±0.14 <sup>a</sup>	2.96±0.37 <sup>b</sup>
72	2.31±0.21 <sup>a</sup>	3.08±0.28 <sup>b</sup>	2.54±0.03 <sup>a</sup>	2.79±0.36 <sup>b</sup>
96	2.18±0.16 <sup>a</sup>	2.92±0.52 <sup>b</sup>	2.47±0.37 <sup>a</sup>	2.68±0.50 <sup>b</sup>
120	2.16±0.18 <sup>a</sup>	2.71±0.91 <sup>b</sup>	2.45±0.35 <sup>a</sup>	2.55±0.67 <sup>b</sup>
144	2.12±0.18 <sup>a</sup>	3.11±0.69 <sup>b</sup>	2.25±0.75 <sup>a</sup>	2.80±0.52 <sup>b</sup>
168	2.16±0.06 <sup>a</sup>	2.89±0.52 <sup>b</sup>	2.40±0.54 <sup>a</sup>	2.83±0.62 <sup>b</sup>
192	2.14±0.92 <sup>a</sup>	2.93±0.50 <sup>b</sup>	2.09±0.20 <sup>a</sup>	2.83±0.66 <sup>b</sup>
216	2.16±0.18 <sup>a</sup>	2.67±0.85 <sup>b</sup>	2.45±0.35 <sup>a</sup>	2.5±0.67 <sup>b</sup>
240	2.12±0.18 <sup>a</sup>	2.96±0.47 <sup>b</sup>	2.25±0.75 <sup>a</sup>	2.80±0.52 <sup>b</sup>
平均 Mean	2.18±0.13	2.95±0.47	2.38±0.35	2.71±0.42

### 2.2.2 cAMP 对秦川犊牛血糖浓度的影响

由表 3 可知:与对照组相比,公犊牛血清葡萄糖浓度在注射后 72 h 内升高 6.50%( $P<0.05$ ),母犊牛

血清葡萄糖浓度在注射后 72 h 内升高 8.30%( $P<0.05$ )。试验组平均血清葡萄糖浓度高于对照组。

表 3 血糖浓度测定结果

Table 3 Determination of blood sugar levels

mmol · L<sup>-1</sup>

测定时间/h Detection time	公犊牛 Male calf		母犊牛 Female calf	
	试验组 Experimental group	对照组 Control group	试验组 Experimental group	对照组 Control group
24	5.81±0.14 <sup>a</sup>	5.35±0.14 <sup>b</sup>	5.96±0.23 <sup>a</sup>	5.61±0.08 <sup>b</sup>
48	5.74±0.22 <sup>a</sup>	5.39±0.21 <sup>b</sup>	5.89±0.05 <sup>a</sup>	5.22±0.18 <sup>b</sup>
72	5.81±0.89 <sup>a</sup>	5.56±0.49 <sup>b</sup>	5.75±0.28 <sup>a</sup>	5.42±0.22 <sup>b</sup>
96	5.22±0.50	5.59±0.11	5.42±0.56	5.42±0.15
120	5.51±0.12	5.49±0.13	5.49±0.11	5.41±0.28
144	5.50±0.46	5.27±0.45	5.33±0.03	5.19±0.14
168	5.18±1.09	5.32±0.26	5.55±0.01	5.37±0.17
192	5.54±0.25	5.33±0.06	5.62±0.20	5.34±0.18
216	5.22±0.50	5.55±0.56	5.38±0.04	5.45±0.23
240	5.51±0.12	5.54±0.13	5.43±0.16	5.29±0.29
平均 Mean	5.50±0.45	5.44±0.21	5.58±0.27	5.37±0.19

2.2.3 cAMP对秦川犊牛生长激素质量浓度的影响 由表4可知:与对照组相比,公犊牛血清生长激素质量浓度在注射后72 h内升高8.24%( $P$

$<0.05$ ),母犊牛血清中生长激素质量浓度在注射后72 h内升高6.72%( $P < 0.05$ )。试验组平均血清生长激素质量浓度高于对照组。

表4 生长激素质量浓度测定结果

Table 4 Determination of growth hormone levels

ng · mL<sup>-1</sup>

测定时间/h Detection time	公犊牛 Male calf		母犊牛 Female calf	
	试验组 Experimental group	对照组 Control group	试验组 Experimental group	对照组 Control group
24	4.54±0.11 <sup>a</sup>	4.21±0.24 <sup>b</sup>	4.46±0.01 <sup>a</sup>	4.20±0.06 <sup>b</sup>
48	4.51±0.12 <sup>a</sup>	4.11±0.07 <sup>b</sup>	4.45±0.50 <sup>a</sup>	4.11±0.48 <sup>b</sup>
72	4.48±0.27 <sup>a</sup>	4.18±0.01 <sup>b</sup>	4.28±0.13 <sup>a</sup>	4.05±0.27 <sup>b</sup>
96	4.13±0.05	4.19±0.01	4.18±0.09	4.11±0.09
120	4.15±0.27	4.10±0.02	4.22±0.05	4.09±0.46
144	4.20±0.33	4.19±0.21	4.21±0.15	4.20±0.07
168	4.13±0.17	4.14±0.04	4.12±0.08	4.18±0.16
192	4.03±0.20	4.13±0.12	4.09±0.04	4.08±0.03
216	4.19±0.04	4.12±0.02	4.08±0.10	4.12±0.15
240	4.09±0.03	4.15±0.10	4.10±0.04	4.02±0.01
平均 Mean	4.24±0.23	4.15±0.01	4.22±0.19	4.12±0.19

2.2.4 cAMP对秦川犊牛胰岛素质量浓度的影响 由表5可知:与对照组相比,公犊牛血清中胰岛素质量浓度在注射后48 h内平均升高7.43%

( $P < 0.05$ ),血清中胰岛素质量浓度在注射后48 h内平均升高6.15%( $P < 0.05$ )。试验组平均血清胰岛素质量浓度高于对照组。

表5 胰岛素质量浓度测定结果

Table 5 Determination of insulin levels

ng · mL<sup>-1</sup>

测定时间/h Detection time	公犊牛 Male calf		母犊牛 Female calf	
	试验组 Experimental group	对照组 Control group	试验组 Experimental group	对照组 Control group
24	26.35±0.06 <sup>a</sup>	24.86±0.26 <sup>b</sup>	27.12±0.18 <sup>a</sup>	25.55±0.01 <sup>b</sup>
48	26.87±0.40 <sup>a</sup>	24.68±0.81 <sup>b</sup>	26.55±0.10 <sup>a</sup>	25.01±0.55 <sup>b</sup>
72	24.69±2.74	24.07±0.38	23.04±1.22	23.26±1.06
96	23.67±0.65	24.32±4.44	23.69±4.58	25.45±5.60
120	23.14±0.83	23.44±1.37	25.59±1.58	24.46±0.61
144	25.89±1.31	23.45±0.14	24.22±3.30	23.70±0.86
168	24.50±1.52	26.03±0.94	26.07±4.07	23.16±1.56
192	23.17±2.46	24.48±0.32	24.90±0.51	24.98±1.24
216	23.14±0.88	23.44±1.37	25.59±1.58	24.46±0.61
240	25.89±1.31	23.45±0.14	24.22±3.30	23.70±0.86
平均 Mean	24.73±1.76	24.22±1.42	25.10±2.26	24.37±1.67

### 3 讨论

#### 3.1 cAMP对肉牛生产性能的影响

研究表明,在120 d的试验期中,与对照组相比,公犊牛末体质量、日增体质量分别提高8.99%、20.00%,母犊牛提高7.94%、19.18%。其结果与杨在清等<sup>[10]</sup>用cAMP处理肥育猪、陈承祯等<sup>[11]</sup>用cAMP和cGMP处理育肥牛试验相一致。外源性cAMP促进生长的效应可能有两方面:一方面,由于外源cAMP进入细胞内,提高体内cAMP的质量浓度,从而激活蛋白激酶,使代谢酶的活性加强,底物蛋白磷酸化,使组蛋白加速

复制转录,酸性蛋白加强转录,从而促进核酸和mRNA合成,最终加强蛋白质的合成<sup>[12]</sup>;另一方面,cAMP促进脂肪分解,改变了体内的能量分配,增加了脂肪和糖利用,减少蛋白质的分解氧化,提高了净蛋白质沉积量<sup>[13]</sup>。

#### 3.2 cAMP对秦川犊牛部分血液指标的影响

血糖浓度对于犊牛各组织器官的生理功能极其重要,是能量的主要来源。本试验中试验组与对照组相比,在注射后72 h内血清葡萄糖浓度公犊牛升高6.50%,母犊牛升高8.30%。Krobs和Walsh等发现,cAMP在骨骼中可活化一种蛋白酶,从而使cAMP促进肌肉中糖元的分解和加强

糖元合成的抑制,使血糖升高<sup>[14]</sup>。但外源性 cAMP 影响血糖的作用机制目前尚不清楚,仍需进一步研究。

血清总胆固醇测定结果表明,与对照组相比,血清总胆固醇浓度在 240 h 内,公犊牛降低 26.10%,母犊牛降低 12.18%。其原因可能与 cAMP 促进动物机体内脂肪的分解代谢有关。研究表明,外源 cAMP 进入体内,在 cAMP 载体蛋白的作用下进入细胞内,导致动物细胞内 cAMP 水平升高,进一步激活 cAMP 依赖蛋白激酶,使激素敏感脂酶(HSL)磷酸化,从而催化甘油三酯水解为甘油和脂肪酸<sup>[15]</sup>。水解的脂肪酸又被生成酰基 CoA,再进入  $\beta$ -氧化和三羧酸循环(TCA)而氧化产热。体内游离脂肪酸(FFA)浓度升高,可使线粒体进入解偶联呼吸状态,底物氧化耗能增强,最终导致脂肪分解加强<sup>[16]</sup>。

外源 cAMP 通过 cAMP 载体蛋白进入脑垂体细胞,使生长激素释放激素分泌加强,从而诱导生长激素(GH)释放,GH 用于靶细胞,促进动物生长,所以 cAMP 可以模拟 GH 的生物作用<sup>[17-18]</sup>。胰岛素(INS)也是和糖类代谢密切相关的激素,使动物体内营养分配流向增加蛋白质合成的方向,从而提高动物体内肉质中的蛋白质含量,并促进脂肪的合成与贮存,减少血中游离脂肪酸<sup>[19]</sup>。本试验中,与对照组相比,公犊牛血清 GH 质量浓度在注射后 72 h 内提高 8.24%、INS 质量浓度在注射后 48 h 内提高 7.43%。母犊牛血清 GH 质量浓度在注射后 72 h 内提高 6.72%,INS 质量浓度在注射后 48 h 内提高 6.15%。这与牛淑玲等<sup>[20]</sup>和陈承祯等<sup>[11]</sup>的结果相似。可见,给犊牛注射 cAMP 制剂可影响犊牛部分血液生化指标,并对犊牛体内 GH 和 INS 的分泌、代谢具有一定的促进诱导功能,进而促进蛋白质、脂肪的合成与储存,加快犊牛生长速度,提高生产性能,改善胴体品质。

#### 参考文献:

[1] 赵华,王康宁. 外源性环核苷酸营养生理作用研究进展[J]. 动物营养学报,2003,15(4):7-11.  
 [2] 陶勇,任善茂. 生长促进剂外源性环核苷酸的研究进展[J]. 饲料博览,2004(2):26-27.  
 [3] 竺林森,邱怀,袁志发. 环核苷酸(CNT)在豚鼠体内代谢规

律的研究[J]. 畜牧兽医学报,2000,31(2):124-130.  
 [4] 杨在清,甘莉. 不同生长期长白猪体脂代谢的特点与 cAMP 的调控作用[J]. 畜牧兽医学报,1998,29(3):220-224.  
 [5] Beatmaun D J,Butler W R,Hogue D E. Cimaternal induced muscle hypertrophy and altered endocrine status in lambs[J]. Journal of Animal Science,1987,65:1514-1524.  
 [6] Mecrae J C, Lobley G E, Skene P A. The effects of the  $\beta$ -adrenergic agonist clenbuterol on the energy expenditure and protein turnover of wether lambs[J]. Journal of Animal Science,1986,63(Suppl. 1):453-458.  
 [7] Thornton R F, Tume R K, Larsen T W. The influence of the  $\beta$ 2-adrenergic agonist, Clenbuterol on ovine lipid metabolism and body composition[J]. Proceeding of the Nutrition Society of Australia,1984,9:185-188.  
 [8] 刘登科,竺林森,刘永峰. 外源性 CNT 对 3H-赖氨酸在哈白兔体内代谢动力学的影响[J]. 核农学报,2007,21(5):518-522.  
 [9] 刘永峰,竺林森,刘登科,等. 外源性 CNT 对 3H-甘油在哈白兔体内的示踪动力学研究[J]. 核农学报,2008,36(1):66-72.  
 [10] 杨在清,金光亮,鲁安太. 外源和内源 cAMP 对猪肥育期脂肪和蛋白质沉积的影响[J]. 西北农业大学学报,1992,1(4):19-22.  
 [11] 陈承祯,谢光洪,张永宏,等. 外源性环核苷酸对肉牛生产性能及血液生化指标的影响[J]. 中国草食动物,2007,27(5):17-19.  
 [12] Pahan K, Khan M, Singh I. Therapy for X-adrenoleukodys-trophy: normalization of very long chain fatty acids and inhibition of induction of cytokines by cAMP[J]. Journal of Lipid Research,1998,39(5):1091-1100.  
 [13] 杨在清,甘莉,汪邦李. 环核苷酸对豚鼠生长和脂代谢的影响[J]. 动物营养学报,1997,9(2):35-40.  
 [14] 高士争,张曦,程美玲. 环腺苷酸的生物学作用与动物营养代谢调控[J]. 中国畜牧兽医,2003,30(6):21-23.  
 [15] Okuda H, Morimoto C, Tsujita T. Effect of substrates on the cyclic AMP-dependent lipolytic reaction of hormone-sensitive lipase[J]. Journal of Lipid Research,1994,35(7):1267-1273.  
 [16] McNeel R L, Mersmann H J. Adrenergic receptor subtype transcripts in porcine adipose tissue[J]. Journal of Animal Science,1995,73(7):1962-1971.  
 [17] Marta S, Nell E S, Barbara J, et al. Biphasic action of forskolin on growth hormone and prolactin secretion by rat anterior pituitary cells in vitro[J]. Endocrinology,1990,127(4):1811-1817.  
 [18] Donoghue D J, Scanes C G. Possible involvement of adenylyl cyclase-cAMP-protein kinase a pathway in somatostatin inhibition of growth hormone release from chicken Pituitary cells[J]. General and Comparative Endocrinology,1991,81(1):113-119.  
 [19] 陈邦云,吕继蓉,张克英,等. 外源环腺苷酸(cAMP)对营养物质代谢的影响[J]. 饲料工业,2003,24(8):21-26.  
 [20] 牛淑玲,刘静波,张永亮,等. 外源性环腺苷酸对 AA 肉鸡脂肪和蛋白质代谢的影响[J]. 吉林农业科学,2000,25(3):45-47.