

日粮不同碘、硒水平对绒山羊绒生长相关激素及酶的影响

秦枫^{1,2} 朱晓萍¹ 张微¹ 周佳萍¹ 宋先忱³ 贾志海^{1*}

(1. 中国农业大学 动物科学技术学院,北京 100193; 2. 江苏省农业科学院 畜牧研究所,南京 210014;
3. 辽宁绒山羊育种中心,辽宁 辽阳 111001)

摘要 为探讨日粮添加不同水平的碘和硒对辽宁绒山羊非产绒期和产绒期血液中褪黑激素(MT)、催乳素(PRL)、类胰岛素生长因子(IGF-I)、生长激素(GH)、甲状腺过氧化物酶(TPO)以及脱碘酶(DIO)的影响,选择36只体况良好、体重相近(38.0 ± 2.94 kg)的2周岁辽宁绒山羊作为试验动物,采用 2×3 完全随机试验设计,随机分为6组。分别在基础日粮中添加3个水平的碘(0、2和4 mg/kg,DM)和2个水平的硒(0和1 mg/kg,DM)进行饲喂。试验结果表明:1)非产绒期,日粮添加碘显著提高了血液中GH和IGF-1的浓度,降低了血浆MT的浓度($P < 0.05$),对PRL、TPO和DIO浓度没有显著影响($P > 0.05$)。添加硒对血液MT、PRL、GH、IGF-I和TPO没有影响,但是显著提高了DIO的浓度($P < 0.05$)。2)产绒期,日粮添加碘极显著提高了血液中IGF-1的浓度($P < 0.01$),对MT、PRL、GH、TPO和DIO浓度没有影响。添加硒则显著提高了DIO的浓度($P < 0.05$),对血浆MT、PRL、GH、IGF-1和TPO没有影响。通过2个阶段的比较,综合碘促绒生长作用,推断碘或甲状腺激素促进山羊绒生长的机制可能是通过调控IGF-I分泌途径实现的;硒仅提高了血液中脱碘酶的浓度。

关键词 绒山羊; 碘; 硒; 血液激素; 酶; 绒生长

中图分类号 S 816.72; S 827.91 文章编号 1007-4333(2011)05-0110-06 文献标志码 A

Effects of dietary iodine and selenium on serum hormones and enzymes related with cashmere growth of Liaoning cashmere goats

QIN Feng^{1,2}, ZHU Xiao-ping¹, ZHANG Wei¹, ZHOU Jia-ping¹, SONG Xian-chen³, JIA Zhi-hai^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. Institute of Animal Science, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;
2. Liaoning cashmere goats breeding center, Liaoyang 111001, China)

Abstract Thirty-six two-year-old Liaoning cashmere goats (body weight = $38.0(2.94)$ kg) were used to investigate the effects of dietary iodine (I) and selenium (Se) supplementation on the concentration of Melatonin (MT), Prolactin (PRL), Insulin-like growth factor-I (IGF-I), Growth hormone (GH), Thyroid peroxidase (TPO) and Deiodinase (DIO). The goats were evenly divided into six groups, and 2×3 factorial experimental design was applied with supplemental I/kg dry matter (DM) at 0, 2 and 4 mg level and supplemental Se/kg DM at 0 and 1 mg level. Results showed that: 1) In cashmere non-growth period, iodine supplementation significantly increased the concentrations of GH and IGF-1, decreased the concentration of MT ($P < 0.05$), but there was no effect on the concentrations of PRL, TPO, DIO ($P > 0.05$). Selenium supplementation did not affect serum MT, PRL, GH, IGF-I, TPO concentrations, but the concentration of DIO was significantly increased ($P < 0.05$) with Selenium supplementation. 2) In cashmere growth period, iodine supplementation highly increased the concentration of IGF-1 ($P < 0.01$), but no effect was found on the concentrations

收稿日期: 2011-03-31

基金项目: 辽宁绒山羊新品系规范化养殖技术集成与产业化开发体系建设示范项目(2009BADA5B042); 现代农业产业技术体系建设项目(绒毛用羊)(nycytx-40-09)

第一作者: 秦枫, 博士研究生, E-mail: fqin1983@gmail.com

通讯作者: 贾志海, 教授, 主要从事羊种质特性与营养研究, E-mail: jzh331@cau.edu.cn

of MT, PRL, GH, TPO, DIO ($P > 0.05$). Selenium supplementation did not affect serum MT, PRL, GH, IGF-1, TPO concentrations, but the concentration of DIO was significantly increased after supplemental 1 mg Se/kg DM ($P < 0.05$). Comparing the above two periods, we may conclude that the mechanism of iodine or thyroid hormones stimulating the cashmere fiber growth may be through the regulating the IGF-1 secretion, while Selenium supplementation can improve the concentration of serum DIO only.

Key words cashmere goats; iodine; selenium; hormones; enzymes; cashmere growth

绒山羊被毛生长是一个复杂的生理过程, 主要受遗传、环境和营养 3 种因子的影响。遗传是被毛生长主要的调控因子, 内分泌在被毛生长中起重要作用, 血液激素的变化是在一定程度上反映了动物机体内分泌的状况; 环境、营养等因素最终也要通过神经和内分泌系统调节体内生理变化来发挥作用。蛋白质和能量是绒山羊绒生长的基础, 研究报道较多^[1-2]。目前, 与内分泌相关的微量元素铜、钼、锌以及褪黑激素(MT)前体物色氨酸在绒山羊上研究也逐渐展开, 对绒山羊绒生长具有一定的调控作用^[3-6]。因此, 在绒山羊生产上, 对激素有调控作用的营养素研究就显得非常重要。

碘和硒是动物体内必须的微量元素, 碘在体内的生理作用主要通过甲状腺激素来完成的, 而硒也是甲状腺激素代谢的重要调节因子。甲状腺激素是动物体内重要的代谢调节激素, 特别是角质蛋白(毛、绒成分)的代谢, 探明甲状腺激素对绒山羊的调控机理对绒山羊生产具有重要的意义。研究发现, 甲状腺激素是诱导换毛, 参与羊毛、羊绒萌发与生长的重要激素^[7-9], 尤其是 T3 在羊绒萌发与生长中有重要的影响。但碘或甲状腺激素对绒山羊绒生长的调控是否是通过调控血液相关激素分泌来完成的, 至今国内外未见报道。本研究通过添加碘、硒研究甲状腺激素对辽宁绒山羊血液中与绒生长相关激素及酶的影响, 旨在探讨碘、硒或甲状腺激素对绒毛生长的激素调节机理。

1 材料与方法

1.1 试验动物

选择 36 只体况良好、体重相近(38.0 ± 2.94 kg)的 2 周岁辽宁绒山羊作为试验动物, 试验前统一用阿维菌素驱虫。试验地点在辽宁省畜牧科学研究院辽宁绒山羊科技示范场。

1.2 试验设计

本试验采用 2×3 完全随机试验设计, 将 36 只辽宁绒山羊随机分为 6 组, 每组 6 个重复; 添加 3 个

水平的碘(0、2 和 4 mg/kg, DM)和 2 个水平的硒(0 和 1 mg/kg, DM)。添加水平的选择基于 AFRC (1998)^[10] 饲养标准以及中国肉羊饲养标准(2004)^[11]。试验时间为 2009-03—04, 即辽宁绒山羊处于非产绒期, 试验期 45 d, 其中预试期 15 d, 正试期 30 d; 2009-08—11, 即辽宁绒山羊处于产绒旺盛期, 试验期 90 d, 其中预试期 20 d, 正试期 70 d。

1.3 试验日粮

试验日粮配制参照 NRC(1981)^[12] 山羊饲养标准, 代谢能供给量为 1.2 倍的维持需要。碘、硒分别以碘化钾、亚硒酸钠的形式在日粮中添加。基础日粮组成及营养水平见表 1。

表 1 日粮组成(风干基础)和营养水平(DM 基础)
Table 1 Ingredient composition (air-dry basis) and nutrient levels (DM basis) of diets

| 原料 | 质量分数/% | 营养水平 | 含量 |
|------------------|--------|--|-------|
| 干草 | 70.0 | $w(\text{干物质})/\%$ | 89.02 |
| 玉米 | 17.5 | 代谢能 ^② /(MJ/kg) | 8.29 |
| 小麦麸 | 5.0 | $w(\text{粗蛋白})/\%$ | 10.05 |
| 豆粕 | 6.0 | $w(\text{中性洗涤纤维})/\%$ | 69.6 |
| 石粉 | 0.00 | $w(\text{酸性洗涤纤维})/\%$ | 31.6 |
| 磷酸氢钙 | 0.40 | $w(\text{钙})/\%$ | 0.43 |
| 食盐 | 0.60 | $w(\text{总磷})/\%$ | 0.38 |
| 预混料 ^① | 0.50 | $w(\text{碘})/(\text{mg}/\text{kg}, \text{DM})$ | 0.67 |
| 合计 | 100 | $w(\text{硒})/(\text{mg}/\text{kg}, \text{DM})$ | 0.09 |

注: ①每 kg 预混料含: 一水硫酸亚铁 18.0 g, 五水硫酸铜 22.4 g, 一水硫酸锰 8 815 mg, 一水硫酸锌 12.0 g, 六水氯化钴 107 mg, VA 54 000 kIU, VD 10 800 kIU。
②估计值(NRC, 1981)。

1.4 饲养管理

试验羊为单栏饲养, 分别在早上 08:30 和下午 17:00 饲喂 2 次, 先喂粗料, 以羊草为主, 后喂精料, 精料为玉米-豆粕型, 自由饮水。

1.5 样品采集

在正试期即非产绒期的第 30 天, 产绒期第 70

天所有试验动物于早饲前采集血液样品,从试验羊颈静脉采血 20 mL,分别盛入 10 mL 离心管(需要分离血浆的则加入 0.01 mg/mL 的肝素钠)中,在 30 min 内,于室温下 3 500 r/min 离心 10 min 分离血液样本,置于 -25 °C 保存,待测血液中 MT、PRL、IGF-I 和 GH 的浓度。

1.6 测定指标及方法

血清 IGF-I 浓度在中国农业科学院原子能利用研究所采用放射免疫法进行测定,所用试剂盒购自天津九鼎医学生物工程有限公司;血清 PRL、MT、GH 由北京华英生物研究所采用放射免疫法测定。血清 TPO、DIO 由北京华英生物研究所采用酶联免疫法(ELISA)进行测定。

1.7 统计分析

利用 SAS 软件包中的 GLM 过程进行两因素有互作的最小二乘方差分析。

2 结果与分析

2.1 碘、硒水平对非产绒期绒生长相关血液激素的影响

表 2 为非产绒期绒山羊血液其他相关激素的数据变化,日粮添加碘显著提高了血液中生长激素(GH)和类胰岛素生长因子(IGF-I)的浓度($P < 0.05$),显著降低了血液中褪黑激素(MT)的浓度($P < 0.05$),对催乳素(PRL)的浓度没有影响,但数值有所提高。补硒则对血液中 GH、IGF-I、MT 和

表 2 碘、硒水平对非产绒期绒生长相关血液激素的影响

Table 2 Effects of dietary iodine and selenium on serum hormones related with cashmere growth in cashmere non-growth period

| 指标 | 低硒(0 mg) | | | 高硒(1 mg) | | | SEM | P | | |
|---------------|--------------|------|------|--------------|------|------|------|-------|------|------|
| | 碘添加量/(mg/kg) | | | 碘添加量/(mg/kg) | | | | I | Se | I×Se |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 | | | | |
| MT/(pg/mL) | 78.8 | 67.9 | 63.0 | 76.9 | 63.5 | 65.8 | 4.81 | 0.02* | 0.77 | 0.75 |
| GH/(ng/mL) | 1.27 | 1.42 | 1.65 | 1.39 | 1.46 | 1.55 | 0.10 | 0.02* | 0.78 | 0.52 |
| PRL/(pg/mL) | 8.75 | 9.46 | 9.26 | 8.45 | 8.15 | 8.87 | 0.51 | 0.66 | 0.12 | 0.55 |
| IGF-I/(ng/mL) | 66.1 | 71.1 | 76.0 | 63.8 | 64.4 | 72.3 | 3.41 | 0.03* | 0.14 | 0.80 |

注:*为差异显著($P < 0.05$)。下表同。

PRL 都没有影响。碘硒之间未存在互作效应。

2.2 碘、硒水平对产绒期绒生长相关血液激素的影响

产绒期绒山羊血液其他相关激素的数据见表 3。

日粮添加碘极显著提高血液中 IGF-I 的浓度($P < 0.01$),对 MT、PRL 和 GH 浓度没有影响。补硒则对血液中 GH、IGF-I、MT 和 PRL 都没有影响。

表 3 碘、硒水平对产绒期绒生长相关血液激素的影响

Table 3 Effects of dietary iodine and selenium on serum hormones related with cashmere growth in cashmere growth period

| 指标 | 低硒(0 mg) | | | 高硒(1 mg) | | | SEM | P | | |
|---------------|--------------|------|------|--------------|------|------|------|---------|------|------|
| | 碘添加量/(mg/kg) | | | 碘添加量/(mg/kg) | | | | I | Se | I×Se |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 | | | | |
| MT/(pg/mL) | 81.3 | 76.7 | 75.0 | 76.0 | 79.1 | 77.7 | 4.26 | 0.86 | 0.99 | 0.57 |
| GH/(ng/mL) | 3.07 | 3.37 | 3.09 | 2.98 | 2.85 | 3.30 | 0.25 | 0.78 | 0.54 | 0.38 |
| PRL/(pg/mL) | 17.1 | 15.8 | 18.3 | 16.6 | 18.7 | 16.2 | 1.55 | 0.96 | 0.94 | 0.29 |
| IGF-I/(ng/mL) | 50.3 | 61.4 | 69.8 | 57.0 | 58.0 | 61.9 | 3.41 | 0.004** | 0.59 | 0.10 |

注:**为差异极显著($P < 0.01$)。下表同。

2.3 碘、硒水平对非产绒期绒山羊血液甲状腺过氧化物酶与脱碘酶浓度的影响

表 4 为非产绒期辽宁绒山羊血液甲状腺过氧化物酶(TPO)及脱碘酶(DIO)浓度的数据变化,日粮

添加碘对血液中 TPO、DIO 浓度没有影响 ($P > 0.05$)。但是添加硒能够显著提高辽宁绒山羊血液中的 DIO 浓度 ($P < 0.05$)。但对 TPO 浓度没有影响 ($P > 0.05$)。碘和硒之间未出现互作效应。

表 4 碘、硒水平对非产绒期绒山羊血液 TPO、DIO 的影响

Table 4 Effects of dietary iodine and selenium on concentrations of serum TPO and DIO in cashmere non-growth period of Cashmere goats

| 指标 | 低硒(0 mg) | | | 高硒(1 mg) | | | SEM | P | | |
|-----------|--------------|------|-------|--------------|-------|-------|------|------|-------|------|
| | 碘添加量/(mg/kg) | | | 碘添加量/(mg/kg) | | | | I | Se | I×Se |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 | | | | |
| TPO/(U/L) | 104.8 | 96.7 | 102.3 | 103.6 | 102.5 | 111.5 | 4.62 | 0.30 | 0.22 | 0.53 |
| DIO/(U/L) | 49.0 | 53.0 | 57.8 | 65.5 | 57.1 | 59.7 | 3.76 | 0.62 | 0.03* | 0.13 |

2.4 碘、硒水平对产绒期绒山羊血液 TPO、DIO 浓度的影响

日粮添加碘对产绒期辽宁绒山羊血液中 TPO、

DIO 浓度没有影响 ($P > 0.05$) (表 5)。但是添加硒能够显著提高辽宁绒山羊血液中的 DIO 浓度 ($P < 0.05$)。TPO 浓度有提高的趋势 ($P = 0.05$)。碘和

表 5 碘、硒水平对产绒期绒山羊血液 TPO、DIO 的影响

Table 5 Effects of dietary iodine and selenium on concentrations of serum TPO and DIO in cashmere growth period of Cashmere goats

| 指标 | 低硒(0 mg) | | | 高硒(1 mg) | | | SEM | P | | |
|-----------|--------------|------|------|--------------|------|------|------|------|--------|------|
| | 碘添加量/(mg/kg) | | | 碘添加量/(mg/kg) | | | | I | Se | I×Se |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 | | | | |
| TPO/(U/L) | 73.3 | 75.6 | 70.6 | 85.1 | 80.3 | 80.1 | 5.63 | 0.76 | 0.07 | 0.83 |
| DIO/(U/L) | 37.7 | 33.9 | 31.1 | 44.5 | 39.6 | 40.3 | 3.17 | 0.21 | 0.01** | 0.85 |

硒之间未出现互作效应。

3 讨论

3.1 碘、硒水平对非产绒期和产绒期绒生长相关激素的影响

碘研究主要集中于甲状腺激素的研究,对其他激素的影响未见报道。碘或甲状腺激素能够促进动物毛发或绒的生长。研究碘或甲状腺激素对绒调控作用,就需研究其对绒生长相关的调节因子的影响。MT 目前是研究最多的绒调节因子,许多研究证明埋植 MT 能够增加绒山羊的产绒量^[13-15],添加 MT 前体物色氨酸也可以提高绒山羊的产绒量^[6]。而 PRL 则是另一调节因子,高浓度 PRL 对于处于休止期的次级毛囊来讲是一种活动信号,它能促使休止的次级毛囊进入夏季的绒纤维生长阶段^[16-17]。血

液循环系统中 PRL 与 MT 浓度都存在季节性变化规律且存在一定的联系。当日照由长逐渐变短血浆中 PRL 浓度逐渐降低,而 MT 浓度则逐渐升高,同时伴随着 PRL 浓度降低和 MT 浓度升高羊绒开始萌发,当山羊绒生长进入旺盛期血浆 PRL 浓度降到最低水平^[18]。日粮添加碘在非产绒期能显著降低血液中 MT 的浓度,对 PRL 浓度影响却不显著;在产绒期,对血液中 MT 的浓度没有影响,说明碘不影响产绒期 MT 的分泌和 MT 促绒生长作用,但是对非产绒期 MT 的分泌有抑制作用。非产绒期和产绒期绒山羊处于两个不同的生理状态,添加碘使血液中 MT 浓度降低,其原因及作用尚不清楚,还需要进一步的研究。

GH 和 IGF-I 都具有促生长作用,促进体内蛋白质的合成,同时也是绒生长的调节因子。研究表

明, GH 处理可以减小绵羊的毛纤维直径、刺激绒山羊次级毛囊的生长^[19-20]。Dicks 等^[21]研究表明 IGF-I 有可能直接参与山羊绒毛生长, Villar 等^[20]用牛生长激素处理绒山羊时发现次级毛囊活性提高与处理组血液 IGF-I 浓度升高有直接的关系。许多学者研究证明了 IGF-I 可以显著促进体外培养毛囊的生长^[22-23], 影响毛囊的形态发育^[24]。本次试验发现添加碘可以显著提高非产绒期和产绒期血液中 IGF-I 的浓度, 推测碘或甲状腺激素调控绒山羊的绒生长的途径之一可能是通过调控 IGF-I 的分泌来实现的。非产绒期 GH 浓度的提高对绒毛萌发有什么作用, 目前尚不清楚, 需要进一步研究。

目前对硒的研究主要集中于动物的促生长, 添加硒能够显著的提高生长期动物日增重; 也有研究报道补硒可以提高生长激素的分泌^[25-26], 这可能是促生长或提高产量的原因。对 IGF-I、MT 和 PRL 的影响未见报道。此次试验中, 日粮补硒对非产绒期和产绒期血液 GH、IGF-I、MT、PRL 都没有影响, 这可能与添加量、动物品种及用途有关, 有关硒对绒山羊的影响还需作系统的研究。

3.2 碘、硒水平对产绒期绒山羊血液 TPO、DIO 浓度的影响

甲状腺过氧化物酶(TPO)是一种糖基化血红蛋白蛋白, 跨于甲状腺细胞顶缘的细胞膜上, 伸向充满胶质滤泡腔的部分具有催化活性。TPO 在甲状腺激素的生物合成中参与 2 种不同的反应: 1) 酪氨酸残基的碘化。2) 甲状腺球蛋白上 2 个碘酪氨酸残基的氧化偶联。TPO 是甲状腺激素合成的关键酶, 调节甲状腺激素的合成, 是反映甲状腺激素代谢的重要指标, 目前其研究也仅限于甲状腺激素代谢。本次试验日粮添加碘对血液中 TPO 浓度没有影响。有研究显示, 高碘能够抑制甲状腺内 TPO 的活性, 从而影响甲状腺激素的合成。两试验阶段羊都处于健康状态, 未出现异常的精神状况, 因此碘添加量没有对绒山羊造成毒害作用, 且对甲状腺激素的合成有促进作用。日粮补硒对绒山羊血液中 TPO 浓度也没有影响。也间接反映了绒山羊机体的健康状态。

脱碘酶(DIO)是甲状腺激素代谢的另一个关键酶, 其发现, 较为科学的解释了硒与甲状腺激素代谢理论, 其主要作用是维持机体甲状腺代谢的动态平衡, 能将低活性的 T4 转化为高活性的 T3, 还能使甲状腺激素降解为低活性或无活性的形式。研究显

示脱碘酶与山羊绒生长有一定的联系^[9,15,26]。高碘对甲状腺及其外周组织 5'脱碘酶活性有抑制作用, 碘缺乏时, 甲状腺及垂体 5'脱碘酶活性升高, 肝肾 5'脱碘酶活性下降, 机体自身调节 DIO 的分泌来维持甲状腺激素代谢的动态平衡。两试验阶段添加碘对绒山羊血液中 DIO 的浓度没有影响, 添加硒则显著提高了血液中 DIO 的浓度。结果表明适宜碘对 DIO 的影响不大, 而 DIO 是含硒酶, 硒对其调节有直接的作用, 研究报道也较多。Hotz 等^[27]报道大鼠低硒采食条件下, 其肾脏, 肝脏中 I 型脱碘酶的活性显著低于正常组。熊莉等^[28]研究发现缺硒仔猪肝组织 I 型脱碘酶受到显著影响, 显著低于各硒添加组水平($P < 0.05$), 这与夏枚生等^[29]在肉鸡上发现的结果相同。以上研究表明添加硒能够提高脱碘酶的活性。在研究大鼠碘过量时也发现, 脱碘酶活性的降低可以通过补硒来干预^[30], 但是补硒要注意适宜的添加量。

4 结 论

在非产绒期和产绒期, 日粮添加碘显著提高血液 IGF-I 的浓度, 推测碘或甲状腺激素调控绒山羊生长的途径之一可能是通过调控 IGF-I 的分泌来实现的; 碘对非产绒期血液中 MT、GH 浓度的影响原因及作用具体还需进一步研究。补硒仅提高了产绒期与非产绒期血液中脱碘酶的浓度, 对绒生长相关激素没有影响。

参 考 文 献

- [1] 施立成. 内蒙古白绒山羊能量利用的研究[M]. 北京: 中国农业大学, 2003
- [2] 刘书广, 贾文彬, 贾志海, 等. 日粮蛋白质水平对绒山羊公羊养分消化和精液品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(2): 92-97
- [3] 孙江涛, 张微, 岳春旺, 等. 日粮铜水平对绒山羊血浆褪黑激素水平及产绒性能的影响[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(2): 53-56
- [4] 张永生. 日粮不同铜钼水平对绒山羊产绒性能的影响及机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2009
- [5] 贾文彬. 辽宁绒山羊锌生物学利用率及需要量的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2009
- [6] 马慧. 过瘤胃保护色氨酸对绒山羊产绒性能的影响及调控机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2010
- [7] Hynd P I. Follicular determinants of the length and diameter of wool fibres. 2. Comparison of sheep differing in thyroid hormone status[J]. Aust J Agr Res, 1994, 45: 1149-1157

- [8] Rhind S M, McMillen S R. Seasonal changes in systemic hormone profiles and their relationship to patterns of fibre growth and moulting in goats of contrasting genotypes[J]. Aust J Agr Res, 1995a, 46: 1273-1283
- [9] Villar D, Rhind S M, Dicks P, et al. Effect of propylthiouracil-induced hypothyroidism on thyroid hormone profiles and tissue deiodinase activity in cashmere goats[J]. Small Ruminant Res, 1998, 29: 317-324
- [10] AFRC. The Nutrition of goats[R]. AFRC (Agricultural and Food Research Council) Technical Committee on Responses to Nutrients, Report no. 10, CAB International, 1998
- [11] 中华人民共和国农业部. NY/T 816-2004 肉羊饲养标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004
- [12] NRC. Nutrient requirements of goats: Angora, Dairy and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries[M]. Washington, DC: National Academy Press, 1981
- [13] O'Neill K T, Litherland A J, Hamilton G. Melatonin for cashmere production in breeding does[C]. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production, 1992, 52: 161-164
- [14] 王林枫, 卢德勋, 孙海洲, 等. 光照和埋植褪黑激素对内蒙古绒山羊氮分配和生产性能影响的研究[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(1): 22-28
- [15] 岳春旺, 张微, 孔祥浩, 等. 褪黑激素对内蒙古白绒山羊产绒性能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2007, 43(7): 32-34
- [16] Litherland A J. The role of plasma prolactin concentration in seasonal fibre growth cycles in down-producing goats and Wiltshire sheep[J]. Physiol Rev, 1996, 80: 1523-1631
- [17] Dicks P, Williams L M. The localization and characterization of endocrine and growth factor receptors in cashmere goat skin and hair follicles using *in vitro* autoradiography [C] // Hormonal Control of Fibre Growth and Shedding. European Fine Fibre Network, 1994: 149-157
- [18] Klören W R L, Norton B W, Waters M J. Fleece growth in Australian cashmere goats. III. The seasonal patterns of cashmere and hair growth, and association with growth hormone, prolactin and thyroxine in blood[J]. Aust J Agr Res, 1993a, 44: 1035-1050
- [19] Wynn P C, Wallace A L, Kirby A C, et al. Effects of growth hormone administration on wool growth in Merino sheep[J]. Aust J Biol Sci, 1988, 41: 177-187
- [20] Villar D, McMillen S R, Dicks P, et al. The effects of bovine somatotropin on hair follicle activity and cashmere fibre growth in goats[J]. Aust J Agr Res, 1999, 50: 1365-1373
- [21] Dicks P, Morgan C J, Morgan P J, et al. The localisation and characterization of insulin-like growth factor-I (IGF-I) receptors and the investigation of melatonin receptors on the hair follicles of seasonal and non-seasonal fibre-producing goats [J]. J Endocrinol, 1996, 151: 55-63
- [22] Phipott M P. Effects of insulin and insulin-like growth factors on cultured human hair follicles; IGF-1 at physiologic concentrations is an important regulator of hair follicles growth *in vitro* [J]. J Invest Dermatol, 1994, 102(6): 857-861
- [23] Bhora F Y, Dunkin B J, Batzri S, et al. Effect of growth factors on cell proliferation and epithelialization in human skin[J]. J Surg Res, 1995, 59: 236-244
- [24] Rudman S M, Phipott M P, Thomas G A, et al. The role of IGF-I in human and its appendages morphogen as well as mitogen[J]. J Invest Dermatol, 1997, 109(6): 770-777
- [25] 张春香, 岳文斌, 董文甫, 等. 纳米硒对山羊生长、血清抗氧化酶生长激素和胰岛素的影响[J]. 激光生物学报, 2007, 16(5): 583-588
- [26] Villar D, Nicol F, Arthur J R, et al. Type II and type III monodeiodinase activities in the skin of untreated and propylthiouracil-treated cashmere goats [J]. Research in Veterinary Science, 2000b, 68: 119-123
- [27] Hotz C S, Fitzpatrick D W, Trick K D, et al. Dietary iodine and selenium interact to affect thyroid hormone metabolism of rats [J]. J Nutr, 1997, 127(6): 1214-1218
- [28] 熊莉, 胡彩虹, 夏枚生, 等. 不同硒添加剂对仔猪生长肝脱碘酶 I 活性和血清甲状腺激素水平的影响[J]. 中国兽医科技, 2004, 34(10): 29-33
- [29] 胥保华, 胡彩虹, 夏枚生. 纳米硒对肉鸡肝脏谷胱甘肽过氧化物酶和脱碘酶 I 活性的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(5): 633-637
- [30] 徐健, 杨雪锋, 候晓晖, 等. 硒对大鼠高碘性 I 型脱碘酶损伤的干预作用[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2006, 22(2): 136-138

(责任编辑: 苏燕)