

不同营养水平对羔羊肌肉组织学性状的影响

张崇志¹ 高爱武^{2*} 侯先志¹ 考桂兰³ 刘小刚¹ 张 园¹

(1. 内蒙古农业大学动物科学学院, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 呼和浩特 010018;
3. 内蒙古农业大学兽医学院, 呼和浩特 010018)

摘 要: 本试验旨在研究羔羊在营养限制期和补偿期背最长肌、半腱肌和股二头肌的肌纤维直径、面积和密度的变化规律。选用蒙古羔羊(羯羊)80只, 随机分为4个组, 即: 对照组(C组)、中等受限1组(R1组)、中等受限2组(R2组)、严重受限组(R3组), 进行营养限制期60 d和补偿期90 d的羔羊生长试验。限制期4个组饲料能氮水平分别为代谢能(ME): 10.88、10.88、9.41、8.62 MJ/kg, 粗蛋白质(CP): 15.00%、10.00%、10.00%、5.70%; 补偿期各组饲喂同一能氮水平(ME 9.75 MJ/kg, CP 12.00%)的饲料。结果表明: 限制期结束时, R1和R2组羔羊肌纤维直径和面积高于C组和R3组, 但R1和R2组羔羊的肌纤维密度低于C组, 极显著低于R3组($P < 0.01$)。补偿期结束时, 4个组羔羊肌纤维直径、面积、密度差异均不显著($P > 0.05$)。研究表明: 饲料中能量和蛋白质水平影响羔羊肌纤维的直径、面积和密度。在限制期, 当饲料ME为8.62 MJ/kg、CP为5.7%时, 羔羊的肌纤维发育受到严重影响, 而在补偿期肌纤维发育快, 明显表现出补偿生长效应。

关键词: 营养限制; 营养补偿; 肌纤维直径; 肌纤维面积; 肌纤维密度

中图分类号: S826 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-267X(2011)02-0336-07

补偿生长是生物界中普遍存在的一种现象, 是指动物受营养限制或营养缺乏后, 生长、发育缓慢, 一旦恢复营养后所表现出的快速生长现象。营养限制和补偿将对羔羊肌纤维的直径、面积、密度产生一定的影响, 进而影响羊肉的食用品质^[1]。Crouse^[2]在1972年首先以牛为对象, 研究其肌纤维组织学性状。猪在胚胎期90 d时, 肌纤维数目将不再发生变化^[3]。也有报道指出, 猪在出生后其肌肉的肌纤维数目已定, 所以肌肉的生长主要是指肌纤维的增粗、增大^[4]。研究表明, 肌纤维越细, 肉质越嫩; 肌纤维越粗, 肉质越差^[5-6]。实践中可以根据肌纤维直径、单根肌纤维横截面积和肌纤维密度来判断肌肉品质的好坏^[7]。饲料能量水平能较大程度地影响肌纤维直径, 而蛋白质水平不会显著影响肌纤维的直径和密度^[8]。

随着畜牧业的快速发展以及生活水平的提

高, 人们对肉的食用品质越来越重视。影响肉品质的因素很多, 肌肉的组织学特征是影响肉品质的关键因素之一, 近年来对肌纤维特性的研究已成为热点。本试验结合蒙古羔羊断奶后营养受限和后期补偿生长这一过程, 深入研究饲料不同能氮水平的营养限制与相同能氮水平的营养补偿对羔羊肌肉的肌纤维直径、面积和密度的一系列变化规律的影响, 从而为我国北方草原地区蒙古羔羊合理科学的饲养提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与分组

在内蒙古锡林浩特地区, 选用3月龄自然断奶、体况良好、平均体重为 (14.72 ± 1.10) kg的蒙古羔羊(羯羊)80只, 随机分为4组, 分别为对照组(C组)、中等受限1组(R1组)、中等受限2组

收稿日期: 2010-08-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30860194)

作者简介: 张崇志(1983—), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 博士研究生, 研究方向为反刍动物营养及饲料科学。E-mail: nmzcz@yahoo.cn

* 通讯作者: 高爱武, 副教授, 硕士生导师, E-mail: gao_69nm@163.com

(R2 组)、严重受限组(R3 组)。正式试验前,动物经检疫、剪毛、驱虫、消毒等处理。

1.2 饲养管理与试验饲粮

本试验分为 2 个阶段:限制期(60 d)和补偿期(90 d)。整个试验期每日分别在 07:00 和 16:00 分 2 次饲喂,每只羊单槽饲喂(限制期对照组自由采食,受限组采食量控制为不超过对照组;补偿期 4 个组均自由采食),自由饮水,饲料全部为颗粒

料,每周监测体重,每天记录采食量。试验期各组羔羊饲粮组成和营养水平见表 1,设计参照内蒙古细毛羊饲养标准和本课题组高峰^[9]前期研究得出的基础数据。限制期 4 个组饲粮能氮水平分别为代谢能(ME):10.88、10.88、9.41、8.62 MJ/kg,粗蛋白质(CP):15.00%、10.00%、10.00%、5.70%;补偿期各组饲喂同一能氮水平(ME 9.75 MJ/kg,CP 12%)的饲粮。

表 1 饲粮组成及营养水平(风干基础)
Table 1 Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis) %

| 项目 Items | 限制期 Restriction period | | | | 补偿期 Compensation period |
|--------------------------|------------------------|--------|--------|--------|----------------------------|
| | C | R1 | R2 | R3 | |
| 原料 Ingredients | | | | | |
| 混合牧草 Mixed pasture | 38.00 | 38.00 | 25.00 | 14.00 | 61.10 |
| 玉米秸 Corn stalks | | 53.00 | 44.00 | | |
| 玉米 Corn | 36.00 | 57.80 | 15.70 | 3.00 | 21.00 |
| 豆粕 Soybean meal | 22.00 | 2.00 | 17.70 | 14.00 | |
| 葵花籽粕 Sunflower seed meal | 1.10 | 0.90 | 0.58 | 17.40 | 1.00 |
| 石粉 Limestone | | | 1.00 | | |
| 磷酸氢钙 CaHPO ₄ | | 0.40 | 0.82 | | |
| 食盐 NaCl | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| 预混料 Premix | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 膨润土 Bentonite | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels | | | | | |
| 代谢能 ME/(MJ/kg) | 10.88 | 10.88 | 9.41 | 8.62 | 9.75 |
| 粗蛋白质 CP | 15.00 | 10.00 | 10.00 | 5.70 | 12.00 |
| 钙 Ca | 0.43 | 0.42 | 0.44 | 0.47 | 0.39 |
| 磷 P | 0.29 | 0.27 | 0.28 | 0.34 | 0.26 |
| 中性洗涤纤维 NDF | 33.27 | 32.61 | 48.02 | 54.00 | 46.13 |

预混料为每千克饲粮提供 Premix provides the following per kilogram of the diets:Fe 25 mg,Zn 35 mg,Cu 9 mg,Co 0.1 mg,I 0.9 mg,Se 0.25 mg,Mn 19.5 mg,VE 15 IU,烟酸 nicotinic acid 60 mg,VA 3 000 IU,VD₃1 000 IU。

1.3 试验方法

在限制期开始、限制期结束和补偿期结束时,分别从每组选出与平均体重接近的 4 只羔羊常规保定,颈动脉放血处死后,迅速取 3 cm×2 cm×1 cm 的背最长肌(longissimus dorsi,LD)、半腱肌(semi-tendinosus,ST)、股二头肌(biceps femoris,BF)组织块迅速置于 40 g/L 多聚甲醛磷酸缓冲液(0.1 mol/L,pH 7.4)中 48 h,进行石蜡包埋,常规切片(厚度 6 μm),HE 染色。为了减小误差,每个样本取 5 张切片,每张切片取 5 个视野,切片用 Nikon 显微镜和 Instudio 照相系统在 10×10 倍下

拍照,用 DT2000 V2.0 图像分析软件进行分析,先测出肌纤维横断面上最长 2 点间距离,作为长轴,再过长轴中点量出垂直于长轴的长度作为短轴,然后求出长短轴的几何平均值并换算成每条肌纤维的直径;为了减小误差每个视野测 100 条肌纤维,软件可计算出每个视野肌纤维的根数(换算成每 mm² 的根数,作为被测样本的肌纤维密度)和每根肌纤维的面积。

1.4 数据统计分析

采用 SAS 9.0 ANOVA 模型进行数据分析,Duncan 氏法进行多重比较,结果以平均值±标准差表示。

2 结 果

2.1 限制期各组羔羊肌纤维直径、面积、密度的变化

由表 2 可知,限制期结束时,R3 组羔羊各部位平均肌纤维直径显著低于 C 组和 R2 组($P<0.05$),极显著低于 R1 组($P<0.01$)。R3 组羔羊各部位平均

肌纤维面积显著低于 C 组($P<0.05$),极显著低于 R1 和 R2 组($P<0.01$)。但是,R3 组羔羊各部位平均肌纤维密度显著高于 C 组($P<0.05$),极显著高于 R1 和 R2 组($P<0.01$)。上述结果表明,限制期结束时,R3 组羔羊各部位平均肌纤维直径和面积显著受限($P<0.05$ 或 $P<0.01$),而平均密度显著增大($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

表 2 限制期各组羔羊背最长肌、半腱肌、股二头肌肌纤维直径、面积、密度的变化
Table 2 The changes in diameter, cross section area and density of muscle fibers in LD, ST and BF of the lambs during the restriction period

| 项目 Items | | 限制期开始 The beginning of the restriction period | 限制期结束 The end of the restriction period | | | |
|----------------|------------------------------------|--|---|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| | | | C | R1 | R2 | R3 |
| 背最长肌 LD | 直径 Diameter/ μm | 19.02 \pm 0.76 ^{bc} | 22.44 \pm 1.71 ^b | 28.25 \pm 2.91 ^a | 27.92 \pm 3.22 ^a | 15.54 \pm 1.28 ^c |
| | 面积 Area/ μm^2 | 316.33 \pm 35.16 ^c | 297.94 \pm 4.86 ^c | 451.92 \pm 79.15 ^b | 584.73 \pm 92.58 ^a | 157.37 \pm 2.92 ^d |
| | 密度 Density/(N/mm ²) | 1 917.62 \pm 221.77 ^b | 1 875.41 \pm 155.21 ^b | 1 086.89 \pm 211.45 ^c | 1 248.97 \pm 661.00 ^c | 2 958.94 \pm 69.05 ^a |
| 半腱肌 ST | 直径 Diameter/ μm | 18.08 \pm 0.82 ^c | 23.94 \pm 0.91 ^{ab} | 25.25 \pm 3.01 ^{ab} | 26.66 \pm 5.80 ^a | 19.99 \pm 0.63 ^{bc} |
| | 面积 Area/ μm^2 | 305.97 \pm 25.45 ^{ab} | 320.08 \pm 16.96 ^{ab} | 365.52 \pm 99.88 ^{ab} | 448.88 \pm 10.88 ^a | 185.34 \pm 5.21 ^b |
| | 密度 Density/(N/mm ²) | 2 172.89 \pm 310.50 ^{ab} | 1 852.65 \pm 58.80 ^{bc} | 1 207.10 \pm 362.64 ^c | 1 437.24 \pm 755.31 ^{bc} | 2 812.26 \pm 45.60 ^a |
| 股二头肌 BF | 直径 Diameter/ μm | 18.99 \pm 1.62 ^{ab} | 21.71 \pm 0.45 ^{ab} | 25.69 \pm 0.77 ^a | 22.56 \pm 0.57 ^{ab} | 16.77 \pm 0.72 ^b |
| | 面积 Area/ μm^2 | 312.48 \pm 19.22 ^{ab} | 283.41 \pm 7.90 ^{ab} | 356.89 \pm 39.40 ^{ab} | 456.79 \pm 233.37 ^a | 181.04 \pm 6.62 ^b |
| | 密度 Density/(N/mm ²) | 2 082.30 \pm 141.23 ^{ab} | 1 917.77 \pm 215.09 ^{ab} | 1 189.19 \pm 410.16 ^b | 1 625.94 \pm 139.17 ^b | 2 747.19 \pm 213.45 ^a |
| 平均值 Average | 直径 Diameter/ μm | 18.70 \pm 0.53 ^c | 22.70 \pm 1.14 ^b | 26.40 \pm 1.62 ^a | 25.71 \pm 2.80 ^{ab} | 17.43 \pm 2.30 ^c |
| | 面积 Area/ μm^2 | 311.59 \pm 5.24 ^c | 300.48 \pm 18.47 ^c | 391.44 \pm 52.5 ^b | 496.80 \pm 76.25 ^a | 174.58 \pm 15.06 ^d |
| | 密度 Density/(N/mm ²) | 2 057.60 \pm 129.41 ^b | 1 881.94 \pm 33.05 ^b | 1 161.06 \pm 64.58 ^d | 1 437.38 \pm 188.49 ^c | 2 839.46 \pm 108.46 ^a |

同行数据肩注相同字母表示差异不显著($P>0.05$),相邻字母表示差异显著($P<0.05$),相隔字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。

In the same row, values with the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), with adjacent letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with separate letter superscripts mean extremely significant difference ($P<0.01$). The same as below.

2.2 补偿期结束各组羔羊肌纤维直径、面积、密度的变化

由表 3 可知,补偿期结束时 R3 组羔羊各部位

平均肌纤维直径和面积已超过 C 组,而平均密度低于 C 组。4 个组羔羊各部位平均肌纤维直径、面积和密度均已差异不显著($P>0.05$)。

表 3 补偿期结束各组羔羊背最长肌、半腱肌、股二头肌肌纤维直径、面积、密度的变化

Table 3 The changes in diameter, cross section area and density of muscle fibers in LD, ST and BF of the lambs at the end of the compensation period

| 项目 Items | | 补偿期结束 The end of the compensation period | | | |
|------------|------------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| | | C | R1 | R2 | R3 |
| 背最长肌 LD | 直径 Diameter/ μm | 27.73 \pm 5.61 ^b | 34.37 \pm 1.91 ^{ab} | 36.87 \pm 6.00 ^a | 26.17 \pm 0.64 ^b |
| | 面积 Area/ μm^2 | 431.69 \pm 93.43 ^a | 471.03 \pm 33.78 ^a | 470.75 \pm 64.78 ^a | 454.23 \pm 91.25 ^a |
| | 密度 Density/(N/mm ²) | 1 492.24 \pm 418.23 ^a | 1 245.30 \pm 244.30 ^a | 1 220.81 \pm 196.22 ^a | 1 375.93 \pm 307.22 ^a |
| | 直径 Diameter/ μm | 27.44 \pm 3.30 ^b | 30.35 \pm 2.55 ^b | 38.81 \pm 5.24 ^a | 28.33 \pm 1.24 ^b |
| 半腱肌 ST | 面积 Area/ μm^2 | 420.21 \pm 84.50 ^a | 512.89 \pm 115.41 ^a | 582.46 \pm 51.94 ^a | 480.70 \pm 69.44 ^a |
| | 密度 Density/(N/mm ²) | 1 461.48 \pm 258.47 ^{ab} | 1 465.52 \pm 173.31 ^{ab} | 1 202.45 \pm 171.04 ^b | 1 666.20 \pm 209.87 ^a |
| | 直径 Diameter/ μm | 28.43 \pm 3.47 ^a | 30.91 \pm 3.47 ^a | 26.34 \pm 0.58 ^a | 29.98 \pm 3.33 ^a |
| | 面积 Area/ μm^2 | 439.13 \pm 70.46 ^a | 531.21 \pm 122.09 ^a | 435.96 \pm 28.35 ^a | 474.56 \pm 74.00 ^a |
| 股二头肌 BF | 密度 Density/(N/mm ²) | 1 408.45 \pm 190.84 ^a | 1 339.41 \pm 133.98 ^b | 1 258.42 \pm 148.68 ^{ab} | 998.01 \pm 108.06 ^b |
| | 直径 Diameter/ μm | 27.87 \pm 0.51 ^a | 31.88 \pm 2.18 ^a | 34.01 \pm 6.71 ^a | 28.16 \pm 1.91 ^a |
| | 面积 Area/ μm^2 | 430.34 \pm 9.53 ^a | 501.12 \pm 42.55 ^a | 496.39 \pm 76.54 ^a | 469.83 \pm 13.85 ^a |
| | 密度 Density/(N/mm ²) | 1 454.06 \pm 42.39 ^a | 1 350.08 \pm 110.50 ^a | 1 227.23 \pm 28.53 ^a | 1 346.71 \pm 335.05 ^a |

3 讨 论

肌纤维又叫肌细胞,是肌肉组织的基本组成物质。其发育过程可分为 4 个阶段:1)中胚层干细胞分化为成肌细胞;2)成肌细胞融合形成肌管;3)肌管转变为肌纤维;4)肌纤维生长至成熟^[10]。一般脊椎动物肌纤维发育的前 3 个阶段在妊娠期已完成,出生后肌纤维的生长主要是指肌细胞的肥大。肌纤维由肌膜、细胞核、肌原纤维和肌浆组成。肌纤维作为肌肉组织的重要组成部分,其组织学特性与肉品质直接相关。Fahey 等^[11]以羔羊为试验动物时发现,肌肉肌纤维的密度与肉的嫩度呈显著正相关。武艳群等^[12]研究发现,肌纤维密度越大,肉质越嫩,肌纤维密度越小,肉质越硬。也有报道指出,猪肌肉的生长发育过程既受多基因影响,又受复杂的生理生化过程等影响^[13]。影响肌纤维发育的因素很多,

主要是年龄、品种、营养和活动量等^[14]。营养供给状况,动物对营养物质的消化、吸收状况对肌纤维的发育起重要作用。

本研究结果表明,饲料中能量和蛋白质的水平对肌纤维的直径、面积和密度有显著影响。在限制期结束时,R3 组羔羊肌纤维的发育严重受到饲料营养水平的限制,R1 和 R2 组羔羊肌纤维的发育并没有受到限制,说明中度限制饲料能量和蛋白质水平不会限制肌纤维的发育,严重限制饲料能量和蛋白质水平对肌纤维的发育影响显著。朱砺等^[15]对猪的研究指出,饲料蛋白质水平为 11%~20%,能量水平为 1.25 MJ/kg,对肌纤维的影响达不到显著水平,与本试验结果不一致,这可能是因为它所设定的饲料蛋白质和能量水平与本试验差别较大。严重受限组羔羊饲料中粗蛋白质为 5.70%,代谢能为 8.62 MJ/kg,严重影响肌纤维的发育,这是因为动

物肌肉组织的生长主要取决于肌纤维中蛋白质含量的增加,肌纤维中的蛋白质不断进行合成与降解,2者处于动态平衡。R3 组饲料中蛋白质和能量严重供给不足,由于蛋白质的合成和分解需要能量,因此,蛋白质的合成和降解效率都降低,而且合成效率比降解效率更低。虽然 R3 组羔羊的肌纤维最细,表现为肉质最嫩,但是相关研究^[16]结果表明,其增重效果最差。而且,评定肉品质的指标除了嫩度还包括颜色、持水性、肌肉脂肪含量、pH 和风味等,所以仅从肉质嫩度 1 个方面不能说明肉品质好。因而,营养水平设定时,除了考虑到对肉品质的影响,还要考虑对增重效果的影响。本试验所设定饲料中的营养水平过低,已影响到 R3 组羔羊肌纤维的发育,使羔羊的肌肉发育潜能受到限制。

在补偿期结束时,各个组羔羊的肌纤维直径、面积和密度差异均不显著。这说明,R3 组羔羊在补偿期由于恢复了饲料能量和蛋白质的水平使肌纤维的发育明显表现出了补偿效应。肌肉的补偿生长主要是蛋白质的合成和分解效率不同,在某一特殊时期,蛋白质的周转速率会加快。Margrethe^[17]研究表明,营养受限组小牛在恢复期肌肉中蛋白质的周转速率明显高于自由采食组。肌肉中蛋白质的周转与能量供应有密切关系,随着能量的增加,肌肉蛋白质的合成和降解速率提高,当蛋白质的合成速率大于降解速率时,肌肉生长速率增加。RNA 和 DNA 浓度的增加是蛋白质合成速率提高的内在机制,RNA 的浓度反映了蛋白质的合成能力^[18],DNA 的浓度反映了细胞核中卫星细胞的增殖和积累速度。Margrethe^[17]还测定了背最长肌中 RNA 和 DNA 的浓度,结果是营养受限组均高于自由采食组,这可能是由于补偿期恢复了饲料中能量和蛋白质的水平,使合成蛋白质的前体物质氨基酸的种类和数量增加,提高了蛋白质的周转速率,使蛋白质的合成速率比降解速率更占优势,进而加快了肌纤维的生长发育。在补偿期结束时,C 组羔羊的肌纤维直径和面积比 3 个受限组小($P > 0.05$),而密度较大($P > 0.05$),这表明经过补偿生长后的羔羊肉品质可能会下降。这与 Purchas 等^[19]的研究结果有相似之处,自由采食小牛的肉质比补偿生长后小牛的肉质嫩。但是,补偿生长与肌肉嫩度的关系还不是很清楚,其机理有待进一步研究。总之,在断奶后羔羊的营养水平设定时,持续严重低营养水平的饲料影响肌纤维的发育,可能会影响到增重效果及肉品质其他指标。

结合我国北方草原地区的实际情况来看,由于受到了自然条件的限制,草原畜牧业还无法摆脱冬瘦、春乏、夏壮、秋肥的格局。冬春季节,由于牧草的严重匮乏,使羔羊难免受到一定的营养限制,到了夏秋季节,牧草的茂盛使得羔羊得到一定的营养补偿,虽然补偿生长能力得以充分发挥,但是可能对肉品质造成一定的不良影响。

4 结 论

① 在本试验条件下,饲料中的蛋白质和能量水平显著影响羔羊肌纤维的直径、面积和密度。

② 营养限制期饲料 ME 为 8.62 MJ/kg,CP 为 5.70% 时,羔羊的肌纤维发育受到严重影响,在营养补偿期肌纤维发育快,明显表现出补偿生长效应。

参考文献:

- [1] 孙竹珑. 藏山羊肌肉组织学特性研究[J]. 西南民族学院学报,1991,17(3):48-54.
- [2] CROUSE H R. Palatability of individual muscles from bovine leg steaks as related to chemical and histological traits[J]. Journal of Food Science, 1972, 37:280-290.
- [3] WIGMORE P M, STICKLAND N C. Muscle development in large and small big fetuses[J]. Journal of Anatomy, 1983, 137: 235-245.
- [4] BIDANEL J P, BONNEAU M, POINTILLART A, et al. Effects of exogenous porcine somatotropin (pST) administration on growth performance, carcass traits, and pork meat quality of Meishan, Piétrain, and cross-bred gilts[J]. Journal of Animal Science, 1991, 69: 3510-3515.
- [5] 罗军. 肌肉纤维特性研究进展[J]. 黄牛杂志,1989(4):36-40.
- [6] CASSENS R G. Myosin-ATPase fibre typing of chemically skinned muscle fibres[J]. Food Microstructure, 1984(3):1-7.
- [7] 郑永静. 小尾寒羊肌肉组织学和理化性状的研究[D]. 硕士学位论文. 保定:河北农业大学,2008:3-4.
- [8] 韩海霞,曹顶国,雷秋霞,等. 日粮营养水平对鲁禽 3 号麻鸡肌纤维直径和密度的影响[J]. 饲料研究,2008(1):47-49.
- [9] 高峰. 妊娠后期限制母羊对其胎儿生长发育及出生后羔羊补偿生长的影响[D]. 博士学位论文. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2006:31-35.

- [10] 杨飞云,刘作华,黄金秀,等.猪骨骼肌纤维的生长与营养调控[J].动物营养学报,2009,21(6):803-808.
- [11] FAHEY A J, BRAMELD J M, PARR T, et al. The effect of maternal undernutrition before muscle differentiation on the muscle fiber development of the new born lamb[J]. Journal of Animal Science, 2005, 83(11):2564-2571.
- [12] 武艳群,吴旧生,赵晓枫,等.猪 CAST 基因多态性与肌纤维组织学特性及屠宰性状的相关性分析[J]. 2007,29(1):65-69.
- [13] CORCONRAN M P, LAMON-FAVA S, FIELDING R A. Skeletal muscle lipid deposition and insulin resistance: effect of dietary fatty acids and exercise[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2007, 85(3): 662-677.
- [14] 高儒松,张春霞,赵红艳.肌肉组织学特性与肉品质的关系[J].肉类研究,2009(5):11-12.
- [15] 朱砺,李学伟,李芳琼,等.肌纤维生长的影响因素分析[J].四川农业大学学报,2002,20(1):20-22.
- [16] 刘小刚,侯先志,李大彪,等.营养限制及补偿对羔羊体重及外周血液 $CD4^{+}$ 和 $CD8^{+}$ T 淋巴细胞的影响[J].动物营养学报,2010,22(4):934-936.
- [17] MARGRETHE T. Muscle protein degradation in bull calves with compensatory growth[J]. Livestock Production Science, 2005, 98:205-218.
- [18] MILLWARD D J, GARLICK P J, STEWART R J, et al. Skeletal-muscle growth and protein turnover[J]. Biochemistry Journal, 1975, 150(2):235-243.
- [19] PURCHAS R W, BURNHAM D L, MORRIS S T. Effects of growth potential and growth path on tenderness of beef longissimus muscle from bulls and steers[J]. Animal Science, 2002, 80:3211-3221.

Effects of Different Nutritional Levels on Muscle Histological Characteristics of Lambs

ZHANG Chongzhi¹ GAO Aiwu^{2*} HOU Xianzhi¹ KAO Guilan³ LIU Xiaogang¹ ZHANG Yuan¹

(1. College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 3. College of Veterinary Medicine, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different nutritional levels on muscle histological characteristics of lambs. Eighty castrated Mongolian lambs were randomly divided into four equal groups. Lambs in the control group (group C) were fed a diet (ME 10.88 MJ/kg, CP 15.00%) *ad libitum*; lambs in the moderate restriction groups (groups R1 and R2) were fed restriction diets (ME 10.88 MJ/kg, CP 10.00% and ME 9.41 MJ/kg, CP 10.00%, respectively); lambs in the severe restriction group (group R3) were fed a restriction diet (ME 8.62 MJ/kg, CP 5.70%). The lambs were fed restriction diets for 60 days followed by compensation diet (ME 9.75 MJ/kg, CP 12.00%) for 90 days. The changes in the diameter, cross section area and density of muscle fibers in longissimus dorsi, semitendinosus and biceps femoris of the lambs in each group were measured in the restriction and compensation period. The results showed that the muscle fiber diameter and cross section area of groups R1 and R2 were higher than those of groups C and R3. However, the muscle fiber density of groups R1 and R2 was lower than that of group C, and significantly lower than that of group R3 ($P < 0.01$) with feed restriction. There were no significant differences in the diameter, cross section area and density of muscle fiber among the four groups by the end of the compensation period ($P > 0.05$). The results indicate that the energy and protein levels of the diets significantly affect the diameter, cross section area and density of muscle fibers in lambs. The development of muscle fiber in lambs is severely affected by the nutritional levels of the diet (ME 8.62 MJ/kg, CP 5.70%) during the restriction period. However, the muscle fiber develops rapidly, and presents compensatory growth effects during the compensation period. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(2):336-342]

Key words: nutritional restriction; nutritional compensation; muscle fiber diameter; cross section area of muscle fiber; muscle fiber density

* Corresponding author, associate professor, E-mail: gao_69nm@163.com