

# 猪肉蛋白和牛肉蛋白对生长期大鼠生理功能的影响

蒯茜莎, 李影球, 朱莹莹, 石学彬, 周光宏, 徐幸莲, 李春保\*  
(南京农业大学 国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 江苏 南京 210095)

**摘要:**目的: 研究长期摄入猪肉蛋白和牛肉蛋白对生长期大鼠生长性能、生理功能的影响。方法: 30 只雄性 Sprague-Dawley (SD) 大鼠随机分为3组, 分别饲喂添加酪蛋白、猪肉蛋白和牛肉蛋白作为蛋白质来源的半合成饲料, 实验期为90 d, 观察其对大鼠生理指标的影响。结果: 相对于酪蛋白组, 猪肉蛋白组和牛肉蛋白组大鼠的生长速率变缓, 脂肪沉积减少 ( $P < 0.05$ ), 但有较高的谷丙转氨酶和谷草转氨酶活力 ( $P < 0.05$ )。猪肉蛋白和牛肉蛋白可降低大鼠血清中的甘油三酯浓度 ( $P < 0.05$ ), 牛肉蛋白还可降低总胆固醇和血糖浓度 ( $P < 0.05$ ), 猪肉蛋白则对其没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。猪肉蛋白组和牛肉蛋白组的大鼠有较低的血清游离氨基酸水平 ( $P < 0.05$ )。结论: 长期摄入猪肉蛋白和牛肉蛋白会对大鼠机体代谢产生不同的影响, 这与蛋白质来源及其消化和吸收有关。猪肉蛋白和牛肉蛋白有控制大鼠体质量增长的作用, 牛肉蛋白还可以降低大鼠肝脏代谢水平, 具有降血脂的功能。

**关键词:** 猪肉蛋白; 牛肉蛋白; 血液生化; 脂质代谢

## Effect of Dietary Pork and Beef Proteins on Physiological Responses of Growing Rats

LIN Xisha, LI Yingqiu, ZHU Yingying, SHI Xuebin, ZHOU Guanghong, XU Xinglian, LI Chunbao\*  
(National Center of Meat Quality and Safety Control, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** This study was designed to investigate the effect of dietary pork and beef proteins on growth performance and physiological responses of growing rats after a long-term intervention. Thirty young male Sprague-Dawley rats were categorized into three groups and fed a diet containing proteins isolated from pork, beef or casein, respectively. After 90-day intervention, physiological parameters were measured. The results indicated that rats fed pork and beef proteins showed a decrease in growth rate and fat deposition than those fed casein ( $P < 0.05$ ), but they had higher activities of alanine aminotransferase and aspartate transaminase in serum and lower triglyceride level ( $P < 0.05$ ). Pork and beef protein could decrease serum concentration of triglyceride ( $P < 0.05$ ). Rats fed beef protein showed lower serum total cholesterol and glucose contents than the casein-fed group ( $P < 0.05$ ), but the pork protein-fed group did not show such an effect ( $P > 0.05$ ). Rats fed pork and beef protein had lower concentrations of free amino acids in serum ( $P < 0.05$ ). Therefore, long-term intervention with beef and pork proteins had different effects on body metabolism, depending on protein source and variation in digestion and absorption. Pork and beef protein intakes can control body weight, and beef protein may cause lower hepatic metabolism and reduce serum lipid levels.

**Key words:** pork protein; beef protein; blood biochemistry; lipid metabolism

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201605031

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 05-0175-05

引文格式:

蒯茜莎, 李影球, 朱莹莹, 等. 猪肉蛋白和牛肉蛋白对生长期大鼠生理功能的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(5): 175-179.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201605031. <http://www.spkx.net.cn>

LIN Xisha, LI Yingqiu, ZHU Yingying, et al. Effect of dietary pork and beef proteins on physiological responses of growing rats[J]. Food Science, 2016, 37(5): 175-179. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201605031. <http://www.spkx.net.cn>

肉类食品富含多种营养成分, 是健康均衡饮食的重要组成部分, 在人类的进化发展过程中起着重要的作用。近年来, 人们越来越关注肉的摄入与机体健康之间的关系, 降低

心血管疾病等代谢疾病的风险已经成为研究者在21世纪的重要目标<sup>[1]</sup>。过去人们主要过多关注脂质的种类和数量对代谢疾病的影响<sup>[2-3]</sup>, 而对膳食肉蛋白及其营养价值的研究较少。

收稿日期: 2015-05-09

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31471600); 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目 (NCET-11-0668)

作者简介: 蒯茜莎 (1988—), 女, 硕士, 研究方向为肉品加工与质量控制。E-mail: 2013808104@njau.edu.cn

\*通信作者: 李春保 (1978—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量控制。E-mail: chunbao.li@njau.edu.cn

蛋白质的质量，特别是氨基酸组成对人体健康具有极其重要的作用<sup>[4]</sup>。国内外研究表明，膳食蛋白质的类型可能会影响机体代谢，但目前大多数研究集中于大豆蛋白。Simmen等<sup>[5]</sup>研究发现大豆蛋白可以改善机体脂质代谢水平，Azadbakht等<sup>[6]</sup>发现大豆蛋白可改善血糖水平，减少胰岛素抵抗。然而，作为优质蛋白的动物蛋白则被人们所忽略。酪蛋白、猪肉和牛肉在全球人类营养膳食中占有重要地位，可提供平衡的氨基酸，且消化率高，适宜机体生长发育。然而，关于不同膳食肉蛋白对大鼠生长和代谢反应的长期影响仍然是未知的。本实验以酪蛋白、猪肉蛋白和牛肉蛋白为对象，研究蛋白质的氨基酸组成对大鼠生长、血清代谢指标的影响，旨在为通过膳食蛋白调控机体健康提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料、动物与试剂

酪蛋白 南通特洛菲饲料科技有限公司；猪背最长肌 淮安苏食肉品有限公司；牛背最长肌 河南众品食品股份有限公司。

30 只雄性清洁级Sprague-Dawley (SD) 大鼠，体质量(97±9) g，购于浙江省实验动物中心，许可证号SCXK(浙)2008-00。

血清胰岛素试剂盒购于北京北方生物技术研究所；其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

L-8900全自动氨基酸分析仪 日本Hitachi公司；ZKSY-600恒温水浴锅 南京科尔仪器设备有限公司；热电偶温度计 深圳市安普华电子科技有限公司；DxC-800全自动生化分析仪 美国Beckman Coulter公司；GC-911 γ放射免疫计数器 安徽中科中佳科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 蛋白粉的制备

将猪背最长肌、牛背最长肌剔除可见结缔组织，绞碎混匀后平铺在大号蒸煮袋中，将热电偶温度计插入其几何中心并置于72℃水浴中加热至中心温度为70℃，取出流水下冷却至室温。将冷却的熟肉从蒸煮袋中取出平铺于托盘上，置于-18℃冻存，用于后续冷冻干燥。冻干的肉样用粉碎机粉碎，将肉粉平铺于托盘上，40℃干燥箱中过夜烘干。每100 g肉粉加入1.5 L二氯甲烷与甲醇的混合液(2:1, V/V)，用玻璃棒搅拌抽提30 min，之后采用布氏漏斗抽滤，滤渣收集起来重复抽提1次。抽提后的肉粉平铺于托盘中，置于通风橱中挥干有机试剂，过25目筛备用。

1.3.2 动物分组及处理

给大鼠预饲AIN-93G标准饲料1周后，随机分成3个

处理组，每组10只：酪蛋白组、猪肉蛋白组和牛肉蛋白组。饲料蛋白来源由上述蛋白粉分别提供，其他营养成分相同，饲料参照AIN-93G标准配制<sup>[7]</sup>，由南通特洛菲饲料科技有限公司制作完成，于-20℃保存待用。饲料配方见表1，饲料氨基酸组成见表2。所有动物实验方案均获得南京农业大学动物福利委员会的批准。实验地点为南京农业大学实验动物中心(许可证号SYXK(苏)2011-0037)，大鼠饲养温度为(22±2)℃，相对湿度50%~60%，保持12 h光照周期，自由采食及饮水。实验期90 d，每2 d饲喂1次，每周记录大鼠采食量及体质量。

表1 大鼠日粮组成  
Table 1 Composition of experimental diets

g/kg			
成分	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组
蛋白粉 <sup>a</sup>	200	190	191
玉米淀粉	397.5	397.5	397.5
玉米糊精	132	132	132
蔗糖	100	100	100
大豆油	70	70	70
纤维素	50	50	50
矿物质预混料 <sup>b</sup>	35	35	35
维生素预混料 <sup>b</sup>	10	10	10
L-胱氨酸	3	3	3
胆碱酒石酸盐	2.5	2.5	2.5

注：a. 饲料配方是等能和等氮的，酪蛋白中蛋白质含量为87%，猪肉蛋白和牛肉蛋白的蛋白质含量为93%，饲料中蛋白粉所提供的蛋白质为17%；b. 矿物质预混料和维生素预混料的配方参考AIN-93G饲料标准。

表2 饲料中氨基酸含量(̄x±s, n=3)  
Table 2 Concentrations of amino acids in experimental diets (̄x±s, n=3)

g/100 g			
氨基酸种类	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组
Asp	1.22±0.03 <sup>b</sup>	1.75±0.03 <sup>a</sup>	1.75±0.06 <sup>a</sup>
Thr	0.77±0.02 <sup>b</sup>	0.95±0.01 <sup>a</sup>	0.97±0.11 <sup>a</sup>
Ser	0.88±0.02 <sup>a</sup>	0.73±0.01 <sup>b</sup>	0.74±0.02 <sup>b</sup>
Glu	3.79±0.08 <sup>a</sup>	3.04±0.04 <sup>b</sup>	3.18±0.09 <sup>b</sup>
Gly	0.32±0.02 <sup>b</sup>	0.75±0.00 <sup>a</sup>	0.72±0.08 <sup>a</sup>
Ala	0.55±0.02 <sup>b</sup>	1.12±0.01 <sup>a</sup>	1.14±0.06 <sup>a</sup>
Cys	0.12±0.01 <sup>c</sup>	0.18±0.01 <sup>a</sup>	0.15±0.02 <sup>b</sup>
Val	1.01±0.01 <sup>a</sup>	0.93±0.02 <sup>b</sup>	0.92±0.04 <sup>b</sup>
Met	0.36±0.01 <sup>a</sup>	0.39±0.02 <sup>a</sup>	0.39±0.05 <sup>a</sup>
Ile	0.85±0.01 <sup>b</sup>	0.91±0.02 <sup>a</sup>	0.91±0.03 <sup>a</sup>
氨基酸种类	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组
Leu	1.61±0.03 <sup>a</sup>	1.58±0.03 <sup>a</sup>	1.61±0.06 <sup>a</sup>
Tyr	0.79±0.07 <sup>a</sup>	0.60±0.06 <sup>b</sup>	0.61±0.06 <sup>b</sup>
Phe	1.08±0.03 <sup>a</sup>	1.09±0.03 <sup>a</sup>	0.99±0.05 <sup>b</sup>
Lys	1.54±0.00 <sup>c</sup>	1.90±0.02 <sup>a</sup>	1.81±0.02 <sup>b</sup>
His	0.59±0.01 <sup>b</sup>	0.86±0.02 <sup>a</sup>	0.65±0.08 <sup>b</sup>
Arg	0.53±0.01 <sup>b</sup>	1.14±0.03 <sup>a</sup>	1.16±0.03 <sup>a</sup>
Pro	1.63±0.03 <sup>a</sup>	0.59±0.01 <sup>b</sup>	0.59±0.06 <sup>b</sup>
氨基酸比例			
Met/Gly	1.11±0.06 <sup>a</sup>	0.52±0.03 <sup>b</sup>	0.54±0.02 <sup>b</sup>
Lys/Arg	2.91±0.03 <sup>a</sup>	1.67±0.02 <sup>b</sup>	1.56±0.05 <sup>b</sup>

注：同行小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。下同。

实验结束后，大鼠禁食4 h后称质量，断头处死。收集血液室温放置30 min，4℃条件下1 500×g离心15 min，分离血清，-80℃保存待测。迅速解剖大鼠，剪取心脏、肝脏、脾脏、肾脏以及附睾、肾周的脂肪组织，称质量，用生理盐水漂洗干净后液氮速冻，-80℃保存待测。

1.3.3 饲料氨基酸含量的测定

采用氨基酸自动分析仪测定氨基酸含量，方法

如下：精确称取0.1 g样品装入安瓿瓶中，加入10 mL 6 mol/L HCl水解，置于液氮中冷冻1~2 min后抽真空封口，置于110 °C恒温干燥箱中，水解24 h，冷却，混匀，将所有溶液转移至蒸馏瓶中，并用0.02 mol/L HCl冲洗安瓿瓶1~2次，将蒸馏瓶置于旋转蒸发仪上蒸干。移取20 mL 0.02 mol/L HCl于蒸馏瓶，待充分溶解瓶内干物质后移取4 mL溶液于25 mL容量瓶，用0.02 mol/L HCl定容。取1 mL液体过滤后通过氨基酸自动分析仪检测，以保留时间定性氨基酸种类，标准峰面积计算氨基酸含量。

### 1.3.4 脏器指数的测定

记录大鼠的体质量及大鼠各个脏器的质量，并按照下式计算各个器官的脏器指数。

$$\text{脏器指数}/\% = \frac{\text{脏器湿质量}/\text{g}}{\text{体质量}/\text{g}} \times 100$$

### 1.3.5 血清生化指标的测定

通过全自动生化分析仪测定大鼠血清生化指标。测定指标包括：总蛋白、尿素氮、葡萄糖水平，谷丙转氨酶（alanine aminotransferase, ALT）、谷草转氨酶（aspartate transaminase, AST）活力以及甘油三酯（triglyceride, TG）、总胆固醇（total cholesterol, TC）、高密度脂蛋白胆固醇（high density lipoprotein cholesterol, HDL-C）和低密度脂蛋白胆固醇（low density lipoprotein cholesterol, LDL-C）水平。

### 1.3.6 血清游离氨基酸水平的测定

取50 μL血清样品置于1.5 mL离心管，加入150 μL 50 g/L的磺基水杨酸沉淀蛋白，20 000 r/min离心10 min，吸取1 mL上清液，过0.22 μm滤膜后通过氨基酸自动分析仪检测。

### 1.3.7 血清胰岛素含量的测定

采用放射性免疫试剂盒测定血清胰岛素含量，严格按照试剂盒说明书方法操作。批内变异系数<10%，批间变异系数<15%。同一指标的放射性免疫试剂盒来自同一批号。示踪元素（<sup>125</sup>I）的放射性检测采用γ计数器。

## 1.4 数据分析

实验数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示，采用SAS 9.2软件进行统计分析，以单因素方差分析（one-way analysis of variance, one-way ANOVA）中的Duncan's多重比较法进行差异显著性检验，显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 膳食蛋白对大鼠采食量及生长指标的影响

由表3可知，各组大鼠的初始体质量无显著差异（ $P>0.05$ ）；实验结束时，与酪蛋白组相比，牛肉蛋白组大鼠的终体质量、日增体质量和采食量都显著降低

（ $P<0.05$ ）；猪肉蛋白组大鼠的终体质量与酪蛋白组无显著差异；猪肉蛋白组大鼠的附睾脂肪质量显著低于酪蛋白组（ $P<0.05$ ），牛肉蛋白组大鼠的肾周脂肪质量和附睾脂肪质量均显著低于酪蛋白组（ $P<0.05$ ）。长期饲喂牛肉蛋白对大鼠的生长发育有一定的影响，这与Brandsch等<sup>[8]</sup>短期研究结果不同，这种差异可能与肉蛋白的生理功能、采食量、脂肪沉积和饲喂时间有关<sup>[9]</sup>。牛肉蛋白组大鼠较低的体质量可能与其较低的采食量有关。神经中枢、消化系统和生理调节因子可能会影响动物的采食量。动物食欲下降，可能是由于机体产生了一些生理调节因子，作用于摄食中枢神经系统，从而导致采食量的下降<sup>[10]</sup>。猪肉蛋白组和牛肉蛋白组大鼠较低的脂肪沉积水平可能与膳食中较高水平的精氨酸有关。例如，Yao Kang等<sup>[11]</sup>研究发现精氨酸可能通过激活mTOR途径来调控骨骼肌蛋白质的形成。膳食中补充精氨酸会减少机体的脂肪沉积，这可能与肝脏中脂肪酶活性降低有关<sup>[12]</sup>。此外，Mikkelsen等<sup>[13]</sup>研究发现，相对于植物蛋白，猪肉蛋白饮食中组氨酸、蛋氨酸、亮氨酸的含量较高，氨基酸比例合理，有利于蛋白质的合成，可增加24 h能量消耗，这也可以部分解释为何本实验中猪肉蛋白组大鼠具有较低的脂肪沉积水平。

表3 膳食蛋白对大鼠采食量及生长指标的影响（ $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ ）  
Table 3 Effect of dietary proteins on feed intake and growth parameters in rats ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )

指标	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组
初始体质量/g	165.91±15.45 <sup>a</sup>	167.82±14.74 <sup>a</sup>	174.86±14.37 <sup>a</sup>
终体质量/g	687.00±99.52 <sup>a</sup>	644.82±41.28 <sup>ab</sup>	610.00±70.05 <sup>b</sup>
日增体质量/(g/d)	5.82±1.02 <sup>a</sup>	5.26±0.29 <sup>bc</sup>	4.83±0.72 <sup>c</sup>
采食量/(g/d)	25.92±0.82 <sup>a</sup>	24.98±0.96 <sup>a</sup>	22.95±2.63 <sup>b</sup>
肾周脂肪质量/g	31.27±8.98 <sup>a</sup>	26.58±5.07 <sup>ab</sup>	19.57±9.24 <sup>b</sup>
附睾脂肪质量/g	23.62±7.32 <sup>a</sup>	12.68±0.53 <sup>b</sup>	13.97±9.24 <sup>b</sup>

### 2.2 膳食蛋白对大鼠脏器指数的影响

表4 膳食蛋白对大鼠脏器指数的影响（ $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ ）  
Table 4 Effect of dietary proteins on organ weight and indices ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )

指标	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组
心脏指数/%	0.27±0.03 <sup>b</sup>	0.26±0.01 <sup>b</sup>	0.41±0.08 <sup>a</sup>
肝脏指数/%	2.84±0.51 <sup>a</sup>	2.48±0.18 <sup>b</sup>	2.35±0.09 <sup>b</sup>
脾脏指数/%	0.30±0.04 <sup>ab</sup>	0.29±0.04 <sup>b</sup>	0.34±0.06 <sup>a</sup>
肾脏指数/%	0.48±0.01 <sup>b</sup>	0.48±0.06 <sup>b</sup>	0.52±0.05 <sup>a</sup>

由表4可知，牛肉蛋白组大鼠的心脏指数和肾脏指数显著高于其他两组（ $P<0.05$ ），猪肉蛋白组大鼠的心脏指数和肾脏指数与酪蛋白组无显著差异（ $P>0.05$ ）；猪肉蛋白组和牛肉蛋白组大鼠的肝脏指数显著低于酪蛋白组（ $P<0.05$ ）。脏器指数可近似地反映脏器功能状态和病变情况，可为诊断异常状况提供重要的信息<sup>[14]</sup>。牛肉蛋白组大鼠的肝脏质量和肾周脂肪质量最轻，这表明牛



肉蛋白组大鼠的脂质合成水平较低<sup>[15]</sup>。牛肉蛋白组大鼠的心脏指数和肾脏指数显著高于其他组,长期摄入牛肉蛋白可能会对心脏、肾脏产生一定的影响<sup>[16]</sup>。

### 2.3 膳食蛋白对大鼠血清生化指标的影响

**表 5 膳食蛋白对大鼠血清生化指标的影响 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )**  
**Table 5 Effect of dietary proteins on serum biochemical parameters in rats ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )**

指标	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组
总蛋白含量/(g/L)	75.60±4.97 <sup>a</sup>	72.40±2.32 <sup>a</sup>	71.22±3.23 <sup>a</sup>
尿素氮含量/(mmol/L)	5.61±0.77 <sup>a</sup>	5.98±0.58 <sup>a</sup>	5.77±0.87 <sup>a</sup>
ALT活力/(IU/L)	53.75±6.84 <sup>b</sup>	69.82±17.95 <sup>a</sup>	62.70±15.06 <sup>ab</sup>
AST活力/(IU/L)	232.00±45.61 <sup>b</sup>	280.09±65.26 <sup>a</sup>	289.88±15.87 <sup>a</sup>
血糖水平/(mmol/L)	5.65±0.84 <sup>a</sup>	5.76±0.33 <sup>a</sup>	3.96±0.98 <sup>b</sup>
胰岛素水平/(mmol/L)	43.21±14.42 <sup>a</sup>	37.59±13.57 <sup>a</sup>	34.26±15.58 <sup>a</sup>

由表5可知,各组大鼠的总蛋白水平无显著差异( $P>0.05$ ),这可能是由于大鼠处于生长阶段,蛋白质代谢旺盛,机体对蛋白质的消化利用率较高。尿素氮由鸟氨酸循环合成,是反映机体蛋白质代谢和氨基酸平衡较为准确的指标<sup>[17]</sup>,各组大鼠间的血清尿素氮水平差异不显著,说明两个肉蛋白组的氨基酸组成合理,利于机体蛋白质的合成代谢。血清中ALT和AST的活性变化趋势相似,猪肉蛋白组和牛肉蛋白组大鼠血清中这两种转氨酶的活性高于酪蛋白组。血清ALT和AST的活性可作为肝功能的诊断指标之一,各种肝脏疾病都可能引起ALT和AST活性的升高。摄入猪肉蛋白和牛肉蛋白可能会使机体蛋白质代谢活动增强,削弱了肝脏的解毒功能,导致代谢废物和毒素堆积,增加肝脏的负担,还可能影响消化道的正常功能,因此建议肉蛋白的摄入要适量。

长期摄入牛肉蛋白后大鼠血糖水平下降( $P<0.05$ ),但对胰岛素分泌无显著影响( $P>0.05$ )。这说明牛肉蛋白组大鼠血糖水平降低不是通过胰岛素调节实现的,可能与肝脏糖代谢调节有关。糖代谢水平降低,减少了糖基化终产物的形成和多元醇代谢异常的可能,降低了动脉粥样硬化的发生率。血糖浓度降低时,机体就会利用脂肪作为燃料,最终导致体质量减轻<sup>[18]</sup>。胰岛素对蛋白质合成过程及相关酶类的活性有促进作用,从而促进机体蛋白质的合成。

### 2.4 膳食蛋白对大鼠血清脂质代谢水平的影响

**表 6 膳食蛋白对大鼠血清脂质代谢的影响 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )**  
**Table 6 Effect of dietary proteins on serum lipid concentrations in rats ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )**

指标	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组
TG	1.59±0.90 <sup>a</sup>	0.97±0.30 <sup>b</sup>	0.77±0.31 <sup>b</sup>
TC	2.51±0.50 <sup>a</sup>	2.62±0.28 <sup>a</sup>	2.08±0.30 <sup>b</sup>
HDL-C	1.12±0.22 <sup>a</sup>	1.20±0.12 <sup>a</sup>	0.94±0.14 <sup>b</sup>
LDL-C	1.39±0.37 <sup>a</sup>	1.34±0.19 <sup>a</sup>	1.07±0.22 <sup>b</sup>

由表6可知,猪肉蛋白组和牛肉蛋白组大鼠的血清TG水平显著低于酪蛋白组( $P<0.05$ );牛肉蛋白组大鼠的TC、HDL-C和LDL-C水平显著低于酪蛋白组和猪肉蛋白组( $P<0.05$ )。脂质代谢异常与动脉粥样硬化密切相关,控制机体TG、TC的含量是预防心血管疾病及其相关代谢疾病的有效途径。本研究发现,摄入肉蛋白后大鼠血清TG浓度显著低于酪蛋白组,这可能与肝脏脂质合成能力降低相关,或者与血清清除TG能力增强有关<sup>[19]</sup>。血液TG代谢水平的改善对抑制血液凝固作用和促进纤溶作用有良好的影响<sup>[20]</sup>。此外,膳食蛋白的种类和数量可能会影响血脂水平和血压,蛋白质中的特定氨基酸也可能参与膳食蛋白的降血脂功能。Gudbrandsen等<sup>[21]</sup>研究发现膳食中较低的蛋氨酸/甘氨酸或赖氨酸/精氨酸比例有助于降血脂。研究表明精氨酸有抗动脉粥样硬化的作用,甘氨酸有降胆固醇的作用<sup>[22]</sup>。饲料中添加蛋氨酸或赖氨酸会引起大鼠血清胆固醇水平的升高,可能是因其影响肝脏中磷脂酰胆碱和磷脂酰乙醇胺的比例<sup>[23]</sup>。与酪蛋白相比,猪肉蛋白和牛肉蛋白有较低的蛋氨酸/甘氨酸和赖氨酸/精氨酸水平,可部分解释两个肉蛋白组大鼠较低的血脂水平,但仍需进一步研究。

### 2.5 膳食蛋白对大鼠血清游离氨基酸的影响

血液游离氨基酸水平可反映小肠上皮细胞对氨基酸的吸收和肝脏或其他组织器官对氨基酸代谢的动态平衡,还可作为评价饮食中限制性氨基酸的准则<sup>[24]</sup>。由表7可知,酪蛋白组大鼠血清中总游离氨基酸含量和单个氨基酸的含量都高于猪肉蛋白组和牛肉蛋白组。这种差异可能是因为猪肉蛋白组和牛肉蛋白组大鼠小肠对氨基酸的吸收较少,也可能是因为这两组大鼠分解代谢较强。一些氨基酸可能与机体的代谢水平密切相关。Holeček<sup>[25]</sup>研究发现,支链氨基酸可通过调节肌肉蛋白质合成促进动物生长。此外,精氨酸对内分泌系统有潜在的影响,可以诱导胰腺分泌胰岛素和胰高血糖素,从而调节血糖代谢<sup>[26]</sup>。

**表 7 膳食蛋白对大鼠血清游离氨基酸的影响 ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )**  
**Table 7 Effect of dietary proteins on free amino acid profile in serum of rats ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=10$ )**

氨基酸	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组	氨基酸	酪蛋白组	猪肉蛋白组	牛肉蛋白组
Asp	117.6±28.7 <sup>a</sup>	86.2±17.4 <sup>b</sup>	101.1±16.4 <sup>ab</sup>	Leu	194.2±48.8 <sup>a</sup>	134.8±33.0 <sup>b</sup>	138.6±36.3 <sup>b</sup>
Thr	542.2±56.8 <sup>a</sup>	388.6±128.5 <sup>b</sup>	434.8±115.2 <sup>b</sup>	Tyr	102.4±22.7 <sup>a</sup>	62.3±16.0 <sup>b</sup>	67.2±12.4 <sup>b</sup>
Ser	382.5±78.9 <sup>a</sup>	250.5±60.9 <sup>b</sup>	288.8±42.9 <sup>b</sup>	Phe	100.9±18.9 <sup>a</sup>	78.3±17.8 <sup>b</sup>	79.1±4.6 <sup>b</sup>
Glu	343.8±88.1 <sup>a</sup>	261.8±74.0 <sup>b</sup>	321.9±32.3 <sup>ab</sup>	Lys	598.9±139.2 <sup>a</sup>	484.6±59.4 <sup>b</sup>	531.9±102.0 <sup>b</sup>
Gly	389.7±107.9 <sup>a</sup>	272.6±71.0 <sup>b</sup>	325.6±68.4 <sup>ab</sup>	His	70.1±20.2 <sup>a</sup>	48.1±8.9 <sup>b</sup>	46.4±9.7 <sup>b</sup>
Ala	702.9±150.7 <sup>a</sup>	459.8±123.1 <sup>b</sup>	517.9±50.8 <sup>b</sup>	Arg	286.7±70.8 <sup>a</sup>	241.5±42.6 <sup>b</sup>	237.9±48.7 <sup>b</sup>
Val	220.7±49.9 <sup>a</sup>	149.7±38.8 <sup>b</sup>	152.9±36.7 <sup>b</sup>	Pro	222.7±58.0 <sup>a</sup>	144.5±36.9 <sup>b</sup>	157.8±18.7 <sup>b</sup>
Cys	16.9±8.3 <sup>a</sup>	9.1±3.1 <sup>b</sup>	15.3±5.0 <sup>b</sup>	总游离氨基酸	4 496.8±876.8 <sup>a</sup>	3 181.9±738.9 <sup>b</sup>	3 636.7±420.8 <sup>b</sup>
Met	82.7±9.8 <sup>a</sup>	51.5±11.7 <sup>b</sup>	55.9±6.3 <sup>b</sup>	尿素	5 680.7±647.0 <sup>a</sup>	4 712.5±1 333.7 <sup>b</sup>	5 026.3±857.5 <sup>b</sup>
Ile	151.1±28.6 <sup>a</sup>	103.4±24.5 <sup>b</sup>	111.8±15.8 <sup>b</sup>	NH <sub>3</sub>	610.4±129.6 <sup>a</sup>	573.2±184.3 <sup>b</sup>	698.6±69.6 <sup>b</sup>

### 3 结 论

本实验结果表明,与酪蛋白相比,长期摄入猪肉蛋白或牛肉蛋白对控制大鼠体质量增长、脂肪沉积等具有积极的作用,这可能与较低的肝脏代谢能力有关。两种肉蛋白组大鼠的血清游离氨基酸水平较低,可能与肠道吸收或组织器官代谢能力相关。牛肉蛋白可降低大鼠血清中TG、TC和血糖浓度,对预防动脉粥样硬化及其他代谢疾病有积极的影响,具体机理仍有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] LICHTENSTEIN A H, APPEL L J, BRANDS M, et al. Diet and life style recommendations revision 2006: a scientific statement from the American Heart Association Nutrition Committee[J]. *Circulation*, 2006, 114(1): 82-96. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.176158.
- [2] SVENSSON M, SCHMIDT E B, JORGENSEN K A, et al. *n*-3 Fatty acids as secondary prevention against cardiovascular events in patients who undergo chronic hemodialysis: a randomized, placebo-controlled intervention trial[J]. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 2006, 1(4): 780-786. DOI:10.2215/CJN.00630206.
- [3] YANAGITA T, NAGAO K. Functional lipids and the prevention of the metabolic syndrome[J]. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2008, 17(1): 189-191.
- [4] MILLWARD D J, LAYMAN D K, TOME D, et al. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2008, 87(5): 1576-1581.
- [5] SIMMEN F A, MERCADO C P, ZAVACKI A M, et al. Soy protein diet alters expression of hepatic genes regulating fatty acid and thyroid hormone metabolism in the male rat[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2010, 21(11): 1106-1113. DOI:10.1016/j.jnutbio.2009.09.008.
- [6] AZADBAKHT L, KIMIAGAR M, MEHRABI Y, et al. Soy consumption, markers of inflammation, and endothelial function: a cross-over study in postmenopausal women with the metabolic syndrome[J]. *Diabetes Care*, 2007, 30(4): 967-973. DOI:10.2337/dc06-2126.
- [7] REEVES P G, NIELSEN F H, FAHEY G C. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet[J]. *Journal of Nutrition*, 1993, 123(11): 1939-1951.
- [8] BRANDSCH C, SHUKLA A, HIRCHE F, et al. Effect of proteins from beef, pork, and turkey meat on plasma and liver lipids of rats compared with casein and soy protein[J]. *Nutrition*, 2006, 22(11/12): 1162-1170. DOI:10.1016/j.nut.2006.06.009.
- [9] GILBERT J A, BENDSEN N T, TREMBLAY A, et al. Effect of proteins from different sources on body composition[J]. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases*, 2011, 21(2): 16-31. DOI:10.1016/j.numecd.2010.12.008.
- [10] JOHNSON R W. Immune and endocrine regulation of food intake in sick animals[J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 1998, 15(5): 309-319. DOI:10.1016/S0739-7240(98)00031-9.
- [11] YAO K, YIN Y L, CHU W, et al. Dietary arginine supplementation increases mTOR signaling activity in skeletal muscle of neonatal pigs[J]. *Journal of Nutrition*, 2008, 138(5): 867-872.
- [12] WU L Y, FANG Y J, GUO X Y. Dietary *L*-arginine supplementation beneficially regulates body fat deposition of meat-type ducks[J]. *British Poultry Science*, 2011, 52(2): 221-226. DOI:10.1080/00071668.2011.559452.
- [13] MIKKELSEN P B, TOUBRO S, ASTRUP A. Effect of fat-reduced diets on 24-h energy expenditure: comparisons between animal protein, vegetable protein, and carbohydrate[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 72(5): 1135-1141.
- [14] 李国华, 席小平, 贾继峰, 等. Wistar大鼠主要脏器系数与体重相关性的探讨[J]. *山西医药杂志*, 2005, 34(8): 661-662.
- [15] TSEKOURAS Y E, MAGKOS F, KAVOURAS S A, et al. Estimated liver weight is directly related to hepatic very low-density lipoprotein-triglyceride secretion rate in men[J]. *European Journal of Clinical Investigation*, 2008, 38(9): 656-662. DOI:10.1111/j.1365-2362.2008.01999.x.
- [16] WANG A Y M, WANG M, WOO J, et al. Inflammation, residual kidney function, and cardiac hypertrophy are interrelated and combine adversely to enhance mortality and cardiovascular death risk of peritoneal dialysis patients[J]. *Journal of the American Society of Nephrology*, 2004, 15(8): 2186-2194. DOI:10.1097/01.ASN.0000135053.98172.D6.
- [17] EGGUM B O. Blood urea measurement as a technique for assessing protein quality[J]. *British Journal of Nutrition*, 1970, 24(4): 983-988. DOI:10.1079/BJN19700101.
- [18] GANNON M C, NUTTALL F Q. Amino acid ingestion and glucose metabolism[J]. *IUBMB Life*, 2010, 62(9): 660-668. DOI:10.1002/iub.375.
- [19] GAVRILOVA O, HALUZIK M, MATSUSUE K, et al. Liver peroxisome proliferator-activated receptor gamma contributes to hepatic steatosis, triglyceride clearance, and regulation of body fat mass[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2003, 278(36): 34268-34276. DOI:10.1074/jbc.M300043200.
- [20] 包斌, 宋瑞瑞, 王永先, 等. POGDG对小鼠血脂和血糖含量的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(19): 283-286. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201319058.
- [21] GUDBRANDSEN O A, WERGEDAHL H, LIASET B, et al. Dietary proteins with high isoflavone content or low methionine-glycine and lysine-arginine ratios are hypocholesterolaemic and lower the plasma homocysteine level in male Zucker fa/fa rats[J]. *British Journal of Nutrition*, 2005, 94(3): 321-330. DOI:10.1079/BJN20051496.
- [22] VEGA-LÓPEZ S, MATTHAN N R, AUSMAN L M, et al. Altering dietary lysine: arginine ratio has little effect on cardiovascular risk factors and vascular reactivity in moderately hypercholesterolemic adults[J]. *Atherosclerosis*, 2010, 210(2): 555-562. DOI:10.1016/j.atherosclerosis.2009.12.002.
- [23] SUGIYAMA K, KANAMORI H, AKACHI T, et al. Amino acid composition of dietary proteins affects plasma cholesterol concentration through alteration of hepatic phospholipid metabolism in rats fed a cholesterol-free diet[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 1996, 7(1): 40-48. DOI:10.1016/0955-2863(95)00165-4.
- [24] DUNKELGOD K E, WINKLEMAN G E. Free amino acids in the plasma of poult used as an indicator of possible limiting amino acids in presently available protein sources[J]. *Poultry Science*, 1982, 61(8): 1674-1683.
- [25] HOLEČEK M. The BCAA-BCKA cycle: its relation to alanine and glutamine synthesis and protein balance[J]. *Nutrition*, 2001, 17(1): 70. DOI:10.1016/S0899-9007(00)00483-4.
- [26] SULIBURSKA J, BOGDANSKI P, SZULINSKA M, et al. Changes in mineral status are associated with improvements in insulin sensitivity in obese patients following *L*-arginine supplementation[J]. *European Journal of Nutrition*, 2014, 53(2): 387-393. DOI:10.1007/s00394-013-0533-7.