

彩色獭兔肉品质和产肉性能与 *agouti* 基因的关联分析

杨翠军^{1,2}, 葛剑³, 刘亚娟^{1,4}, 陈赛娟^{1,4}, 刘进军², 杨国忠³, 谷子林^{1,4}

(1. 河北农业大学动物科技学院, 河北保定 071001) (2. 河北北方学院生命科学研究中心, 河北张家口 075000)

(3. 河北北方学院动物科技学院, 河北张家口 075131) (4. 河北省山区农业工程技术研究中心, 河北保定 071001)

摘要: *Agouti* 基因除了控制毛色外, 也影响动物进食行为等多种生理过程。通过测定彩色獭兔产肉性能和肉品质, 分析 *agouti* 基因多态性和表达量对其影响。结果显示, 彩色獭兔 *agouti* 基因有三个等位基因, A (野生型), at (tan型), a (non-*agouti*型), 代表毛色分别为海狸色、水貂色、黑色。从产肉性能来看, 彩色獭兔有较高的屠宰率、净肉率和肉骨比, 肉质保水性较好, 熟肉率高, 肌肉嫩度好, 整体肉品质较高。獭兔养殖中, 除重视彩色獭兔皮用价值外, 亦应重视兔肉价值。*Agouti* 多态性对彩色獭兔产肉性能和肉品质的影响效果依次为: 海狸色>黑色>水貂色; *agouti* 基因表达量与彩色獭兔产肉性能相关性不显著 ($P>0.05$), 但与肉品质显著相关 ($P<0.05$)。 *Agouti* 基因是控制彩色獭兔被毛颜色的基因, 亦影响獭兔的肉品质, 可能和参与哺乳动物脂肪的形成有关; *agouti* 基因过表达时, 可能影响其生产性能等性状。

关键词: *agouti* 基因; 肉品质; 生产性能; 彩色獭兔

文章编号: 1673-9078(2015)7-111-116

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.019

Influence of the *Agouti* Gene on Production and Quality of Colored Rex Rabbit Meat

YANG Cui-jun^{1,2}, GE Jian³, LIU Ya-juan^{1,4}, CHEN Sai-juan^{1,4}, LIU Jin-jun², YANG Guo-zhong³, GU Zi-lin^{1,4}

(1.College of Animal Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

(2.Life Science Research Center, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China)

(3. College of Animal Science and Technology, Hebei North University, Zhangjiakou 075131, China)

(4.Engineering Research Centre for Agriculture in Hebei Mountainous Areas, Baoding 071001, China)

Abstract: Apart from regulating the coat color in mammals, the *agouti* gene also affects a variety of physiological processes including feeding behavior. In this study, the effects of *agouti* gene polymorphism and expression on production and quality of colored Rex Rabbit meat were examined. The results showed that colored Rex Rabbits exhibited three *agouti* gene alleles: "A" (wild type), "at" (Tan), and "a" (non-*agouti*), which represent castor, otter, and black coat color, respectively. With regard to meat yield, colored Rex Rabbits showed higher dressing percentage, meat percentage, and meat-bone ratio. The overall meat quality was generally excellent, with good water retention capability, high cooked-meat percentage, and good meat tenderness. Thus, Rex Rabbit farming not only focuses on the value of colored Rex Rabbit skin, but also the value of the rabbit meat. The influence of *agouti* gene polymorphisms on meat production and meat quality were in the following order of color: castor > black > otter. *Agouti* gene expression did not show a significant correlation with meat production ($p>0.05$), but was significantly correlated with meat quantity ($p<0.05$). In summary, the *agouti* gene not only controls the color of Rex Rabbit fur, but also the meat quality, and may be associated with fat formation in mammals. When the *agouti* gene is over-expressed, it may affect other traits such as meat production.

Key words: *agouti* gene; meat quality; production performance; colored Rex Rabbit

收稿日期: 2014-12-28

基金项目: 国家兔产业技术体系 (CARS-44-B-3); 张家口市科技计划项目 (13110180-4); 河北农业大学青年基金项目 (QN201303); 河北北方学院创新人才培育基金 (CXRC1306); 河北省科技厅课题 (14226315D)

作者简介: 杨翠军 (1979-), 女, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 动物遗传育种

通讯作者: 谷子林, 男, 博士, 教授, 研究方向: 动物营养与动物遗传育种

agouti 基因是影响哺乳动物毛色发生的主要候选基因之一, 目前研究多集中在其在毛色方面的作用机制。但 *agouti* 基因编码的 *agouti* 信号蛋白及其相关蛋白具有多方面的效应, 除作用于皮肤颜色外, 与肥胖、性行为、糖尿病和肿瘤易感性等均有关。正常情况下, 啮齿类动物 *agouti* 基因编码的 *agouti* 信号蛋白主要在专门的真皮细胞毛囊中表达。在皮肤毛囊中 *agouti* 信

号蛋白拮抗黑素细胞刺激素 α (α -MSH)对黑素皮质素受体 MC1-R 的刺激作用。MC1-R 与 α -MSH 的结合将激活腺苷环化酶,引起胞内 cAMP 浓度升高,继而激活酪氨酸酶来调节真黑素与棕黑素的生成。因此, *agouti* 信号蛋白的表达水平将直接影响毛发的颜色。在非皮肤组织中, *agouti* 信号蛋白可拮抗黑素皮质素受体 MC3-R 或 MC4-R,进而干扰神经和外周组织对能量代谢的调控,从而影响动物进食等多方面生理行为发生改变^[1]。Xue 等证明, *agouti* 基因与脂肪的形成相关,在人类中 *agouti* 基因很有可能是另外一种脂肪细胞生长因子,经由旁分泌或自分泌机制调节脂肪细胞类脂物代谢作用^[2]。小鼠 *agouti* 基因非编码区的显性突变,将导致黄色毛发的产生,并且该基因的异位表达将导致肥胖、II型糖尿病、机体迅速增长甚至肿瘤的产生^[3]。獭兔(*Oryctolagus cuniculus*),又名力克斯兔,为“兔中之王”,属皮肉兼用型兔,其皮毛颜色众多,皮毛质量好,颜色鲜艳,除白色獭兔外,统称为彩色獭兔。彩色獭兔的研究主要集中在品种培育和毛皮特性等方面,忽视了对獭兔肉深加工利用问题。目前,有关獭兔肉用品质的报道主要为不同的屠宰、饲养、加工方法对肉品质的影响,但缺乏有关肉品特性和相关基因的系统 and 深入的报道。本试验以 *agouti* 基因为研究对象,对 *agouti* 基因多态性、表达量与肉品质和产肉性能的相关性进行综合分析,探讨彩色獭兔 *agouti* 基因影响獭兔肉用性能的作用机理,在发展彩色獭兔毛皮产业的同时,为进一步开发其肉用价值提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取断奶体重相当、性别各半的海狸色獭兔、黑色獭兔和水貂色獭兔为研究对象,分别为试验 1 组、试验 2 组和试验 3 组,每组 24 只,饲养于河北省张家口阳原县万荣养殖有限公司,獭兔断奶后独立饲养于兔笼中,定期测量其生产性能,同时保持舍内卫生,兔舍定期清扫,保持良好的试验环境,于 100 日龄结束实验,测定产肉性能和肉品质,分析 *agouti* 基因多态性和表达量。

1.2 肉品质测定

1.2.1 pH 值

獭兔屠宰后 1、24 h 分别采用 PHS-3C 精密 pH 计在左侧后腿肌和背最长肌同一部位分别测定三次,取平均值为 pH 1 值和 pH 24 值。

1.2.2 失水率测定

宰后 2 h 内分别取相同部位的背最长肌和腿肌,切取厚度为 1.0 cm 的薄片,称重,上下层各垫 10 层吸水纸,加压 35 kg,保持 5 min,撤除压力后立即称重,计算失水率。

$$\text{失水率}(\%) = \frac{\text{加压前肉样重} - \text{加压后肉样重}}{\text{加压前肉样重}} \times 100\%$$

1.2.3 嫩度剪切值测定

将去除脂肪和结缔组织的背最长肌和腿部肌肉样切成 2 cm × 2 cm × 1 cm 的肉块,真空包装后于 80 °C 恒温水浴锅中水浴 30 min,取出,冷却至室温,用纸吸干肉样表面的水分,然后将其置于 TMS-PRO 质构仪上,探头沿着垂直于肌原纤维方向测定剪切值^[4]。

1.2.4 熟肉率的测定

宰后 2 h 将一定重量的后腿肌和背最长肌,放在电饭锅的蒸屉上蒸煮 30 min,放置阴凉处干燥 30 min 后再次称重,两次重量之比作为熟肉率。

1.3 产肉性能测定方法

在正式期结束的第 2 d,从每组中挑选 16 只接近各组平均体重的试验兔,采用耳缘静脉注射空气法致死,称重(活重),立即剥皮,在第 1 颈椎上沿处去头、在腕关节处去前肢及在跗关节处去后腿,并移除肾以外的内脏,静止 30 min 后称重,即为胴体重,再计算屠宰率。测定指标:活体重、胴体重、屠宰率、净肉率、骨肉比

$$\text{屠宰率}(\%) = \text{胴体重} / \text{活重} \times 100\%$$

$$\text{净肉率}(\%) = \text{净肉重} / \text{胴体重} \times 100\%$$

$$\text{骨肉比} = \text{净肉重} / \text{骨重}$$

1.4 基因序列分析

参照 NCBI 基因库 AM748787.1 基因序列,设计引物。

外显子 2(5'-GCACCAACCACTTTCTCTGT-3', 5'-GGAATAAACCATGATGATGGCAA T-3') 扩增条件: 95 °C 5 min; 35 个循环: 95 °C 30 s, 55 °C 30 s, 72 °C 30 s; 最后 72 °C 5 min。外显子 3(5'-GACACCA CAGGCAA ACCC-3', 5'-CCCTCTTC AACACGACC C-3') 扩增条件: 95 °C 5 min; 35 个循环: 95 °C 30 s, 52.5 °C 30 s, 72 °C 30 s; 最后 72 °C 5 min。外显子 4(5'-CTGAGG TGCCCTGTGGTC-3', 5'-TCAGCAGT TGGGGTTGAGCACGCG GCAGGT-3') 扩增条件: 95 °C 5 min; 35 个循环: 95 °C 30 s, 58 °C 30 s, 72 °C 30 s; 最后 72 °C 5 min。扩增产物送于测序博迈德公司直接测序。

1.5 基因表达量测定

迅速采取彩色试验獭兔腹部皮肤、肝脏和背最长肌组织放入处理过的冷冻瓶中,迅速置于液氮中冷冻保存,然后置于-80℃冰箱保存,用于总RNA提取。采用博迈德生物的RNA pure超纯总RNA快速提取试剂盒提取总RNA。

cDNA由总RNA转录而来,逆转录条件:1 μg的逆转录酶,0.5 μg的oligo(dT)引物和逆转录酶,具体按说明书操作,在42℃孵育50 min,然后70℃孵育15 min。得到的cDNA溶液可直接用于PCR扩增,cDNA亦可保存在-80℃备用。

$$F = 2^{-(\text{待测组目的基因平均Ct值} - \text{待测组管家基因平均Ct值}) - (\text{对照组目的基因平均Ct值} - \text{对照组管家基因平均Ct值})} \quad (1)$$

*Agouti*基因RT-PCR扩增产物上1.5%琼脂糖凝胶电泳,Bioered凝胶图像仪拍照。

1.6 数据统计分析

运用SPSS11.5软件系统进行统计分析,进行描述统计分析最大值、最小值、平均数、标准差,不同组间显著性检验采用单因素方差分析。*Agouti*基因表达量与獭兔产肉性能以及背最长肌肉品质进行相关性分析,应用Bivariate过程进行Pearson相关系数分析,选双侧检验。

2 结果与讨论

2.1 彩色獭兔 *agouti* 基因多态性分析

三种毛色獭兔 *agouti* 基因测序结果显示,共有三种等位基因 A、a' 和 a, 与 Fontanesi^[5]报道的 *agouti*

本实验参照 GenBank 中兔 GAPDH 基因(NM_001082253.1), *agouti* 基因(AM748787.1)序列以及参考文献中 ASIP 的引物序列等,利用 primer primer 5 设计 QRT-PCR 引物, GAPDH 引物:上游 5'-CCCACTCCTCTACCTTCG-3' 和下游 5'-CGTCCTCCTCTGGTGCTCT-3', *agouti* 基因引物:5'-TAGCAGGTGTGGCTTTGT-3' 和 5'-GCTCACATAACACTGTATTTTCG-3'。

ABI7300 进行实时荧光定量 PCR, *agouti* 和 GAPDH 基因扩增条件:95℃ 2 min; 40 个循环:95℃ 20 s, 55℃ 20 s, 72℃ 30 s; 最后 72℃ 5 min。对 *agouti* 基因进行相对定量分析-2^{-ΔΔCt}法, 见公式(1):

位点三种基因型一致。对彩色獭兔基因序列对比发现,外显子 2、3、4 均发现基因突变位点,导致獭兔的不同表型(见表 1)。海狸色 *agouti* 位点编码基因测序,等位基因为“A”,野生型。黑色獭兔在第二外显子处 5 和 6 之间插入 A,导致编码氨基酸的遗传序列发生改变在第 22 个密码子处遇见终止密码子 TAG,蛋白质编码序列发生改变,停止转录,从而导致 *Agouti* 蛋白失活,等位基因为“a”。此外发现外显子 2 的在水貂色獭兔发现 *agouti* 基因发生突变,突变位点分别为 147 (G>A)、230 (A>G)、252 (G>A)、266 (T>C),其中 230 处导致外显子 4 氨基酸序列发生改变赖氨酸变成了精氨酸,266 处基因序列的改变导致亮氨酸变成了脯氨酸,其余基因序列突变为无义突变,等位基因为“a”。说明 *agouti* 基因突变是改变獭兔毛皮颜色的重要因素。本研究中毛色能够代表 *agouti* 基因的基因型,是 *agouti* 基因多态性的一种体现。

表 1 彩色獭兔 *agouti* 基因编码序列突变和基因型

Table 1 Mutations in the *agouti* gene coding sequence and genotype of colored Rex Rabbit

组别	毛色	基因型	<i>Agouti</i> 基因编码序列	
			非同义突变	同义突变
1 组	海狸色	AA,Aa,Aa'	-	-
2 组	黑色	aa	5_6insA	-
3 组	水貂色	a'a',a'a	230 (A>G) 和 266(T>C)	147(G>A)和 252 (G>A)

2.2 獭兔产肉性能的测定

由表 2 可知,三种毛色獭兔断奶重、体重、酮体重和屠宰率差异不显著 ($P>0.05$)。肉骨比和净肉率水貂色獭兔显著低于海狸色獭兔 ($P<0.05$),这反映不同品种(品系)的肉骨比差异较大。成活率水貂色显著低于海狸色和黑色,可能与 *agouti* 基因突变有关,有关机制需进一步研究。本研究测定的彩色獭兔产肉性

能高于简文素^[6]报道的 5 月龄獭兔的体质量 (2.33 kg),但獭兔的生长速度比新西兰、加利福尼亚等肉兔缓慢,上述 2 种肉兔 2.5 月龄时体质量即可达到 2.5 kg。屠宰率是反映兔生产性能的重要指标,獭兔的屠宰率为 48.42~49.72%,低于吴信生等人^[7]用肉兔测定的结果,可能与獭兔为皮用兔有关,但獭兔尤其是彩色獭兔综合价值则远高于肉兔。因此在充分利用彩色獭兔皮毛的同时,应重视开发其产肉性能。

表 2 彩色獭兔产肉性能测定结果

Table 2 Meat production in colored Rex Rabbits

组别	断奶重/g	体重/g	胴体重/g	屠宰率/%	肉骨比	净肉率/%	成活率/%
1 组	527.25±6.51 ^a	2182.17±30.89 ^a	1085.25±62.18 ^a	49.74±3.73 ^a	4.31±0.11 ^a	81.14±3.74 ^a	98.00 ^a
2 组	529.67±7.98 ^a	2158.33±77.84 ^a	1067.12±43.54 ^a	49.44±5.24 ^a	4.24±0.89 ^{ab}	80.90±3.08 ^{ab}	96.70 ^a
3 组	525.92±10.29 ^a	2064.83±327.10 ^a	1039.92±74.29 ^a	48.42±6.99 ^a	4.18±0.68 ^b	80.69±2.91 ^b	85.00 ^b

注: 同列含有不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 含有相同字母差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3 獭兔肉质测定结果

目前, 育种和肉类研究工作者以及消费者越来越重视肉的品质。衡量肉品质的指标主要包括肌肉的颜色、pH 值、持水性、嫩度(剪切力)和烹饪损失等^[8]。

pH 值与肉的颜色、嫩度、新鲜程度等肉用品质及肉的风味关系密切, 是肉质评价的重要指标, 在兔肉成熟过程中变化较为显著^[9]。屠宰后 45~60 min 肌肉的 pH 值 (pH 1 值) 和 24 h 后的最终 pH 24 值常作为肉质评价指标。三种毛色獭兔 pH 1 值和 pH 24 值差异显著 ($P<0.05$), 其腿肌和背最长肌的 pH 值在宰后 24 h 时显著下降 ($P<0.05$)。宰后成熟过程中, 肌肉依然消耗 ATP 产生乳酸, 导致 pH 值显著下降 ($P<0.05$), 低 pH 值降低糖酵解活性, 终止糖原分解, 达到极限 pH 值。这与吴信生等^[7]报道的肌肉 pH 值在品种 (品系) 间差异不大的结论不一致, 即不同毛色獭兔肉 pH 值存在差异。

保水性直接影响肉的风味和品质, 与肉的嫩度、外观、肌纤维和 pH 值等有关^[10]。系水率和失水率相对应, 是衡量肉的保水性能优劣的重要指标, 影响肉的颜色、营养成分、多汁性、嫩度等食用品质, 具有重要的经济意义^[11~12]。肌肉的保水性能差, 肉品在加工前及加工过程中, 肉因失水较多, 造成一定经济损失。本实验中, 失水率海狸色要显著低于黑色和水貂色 ($P<0.05$), 毛色不同失水率不同, *agouti* 基因多态性可引起獭兔肌肉保水性的差异。本试验测定彩色獭兔失水率较吴信生等^[7]测定的 6 个品种的肉兔和蒋必光等^[13]测定的 4 个品种的肉兔高, 比臧素敏等^[14]测定的獭兔失水率低, 说明彩色獭兔有一定保水性, 但比肉兔保水性能差。可能与獭兔的品种有关, 亦可能是兔的年龄和体重等因素造成的差异。

熟肉率是肉烹调损失程度的表示, 与系水力密切相关, 很大程度影响肉的加工后的产量。熟肉率越高则烹调损失越小, 表明肉的品质越好。3 种毛色獭兔熟肉率海狸色稍高, 差异不显著 ($P>0.05$), 腿肌熟肉率显著高于背最长肌 ($P<0.05$), 说明 *agouti* 基因多态性对肌肉的熟肉率有一定程度影响。

嫩度是消费者评判肉品质的重要指标之一, 它是

指人对肉入口后咀嚼过程中的感受, 既能够反映肉的质地, 同时也能够反应肌肉的成熟程度。肌纤维的组织学特征是肉质性状形成的物质基础, 影响肉嫩度的主要因素有肌节的长度、结缔组织的含量及肌原纤维蛋白的降解程度^[15]。剪切值是成熟过程中肌肉嫩化程度最客观的评定指标, 剪切值越小, 肌肉越嫩。本研究发现, 三种毛色獭兔嫩度剪切值差异不显著 ($P>0.05$), 腿肌嫩度剪切值显著高于背最长肌 ($P<0.05$), 腿肌嫩度高于背最长肌。

通过分析可知, 背最长肌和腿肌的肉品质都很好, 3 种毛色獭兔肉品质总体相近, 但以海狸色獭兔肉品质为佳, 黑色次之, 水貂色最低, 这可能和獭兔的年龄和品种有关, 亦可能与它们的毛色相关, 即与 *agouti* 基因多态性有关, 野生型獭兔的肉品质优于突变型獭兔的肉品质。

表 3 彩色獭兔肉质测定结果

Table 3 Meat quality of colored Rex Rabbits

肌肉类型	测定指标	1 组	2 组	3 组
背最长肌	pH 1 值	6.41±0.14 ^a	6.36±0.13 ^b	6.32±0.22 ^c
	pH 24 值	5.93±0.51 ^a	5.84±0.32 ^b	5.80±0.13 ^b
	失水率/%	28.45±2.87 ^a	29.18±1.72 ^b	29.80±1.38 ^b
	熟肉率/%	55.07±1.50 ^a	54.81±1.31 ^a	53.32±1.94 ^a
	嫩度剪切值/kg	2.29±0.104 ^a	2.28±0.071 ^a	2.23±0.118 ^b
腿肌	pH 1 值	6.51±0.13 ^a	6.46±0.15 ^a	6.43±0.30 ^b
	pH 24 值	5.94±0.14 ^a	5.90±0.08 ^a	5.89±0.03 ^a
	失水率/%	23.67±1.88 ^a	24.78±1.67 ^b	25.12±1.32 ^b
	熟肉率/%	58.29±1.51 ^a	57.48±1.42 ^a	57.36±2.54 ^a
	嫩度剪切值/kg	2.60±0.06 ^a	2.58±0.05 ^a	2.53±0.09 ^a

注: 同行含有不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 相同字母差异不显著 ($P>0.05$)。

2.4 彩色獭兔 *agouti* 基因表达量的影响

试验提取彩色獭兔腹部皮肤组织、肝脏和肌肉总 RNA (见图 1), 进行 *agouti* 和 *GAPDH* 基因的实时监测扩增, 扩增产物进行电泳鉴定, *GAPDH* 扩增产物长度为 195 bp, *agouti* 基因扩增产物长度为 100 bp (见图 2)。本实验采用 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 法对不同毛色獭兔腹部皮肤、

肝脏、肌肉组织 *agouti* 基因表达量分析, 各组织中均以海狸色獭兔的皮肤组织为参照。 *agouti* 表达量在不同毛色和组织差异显著 (见图 2), 皮肤组织 *agouti* 表达量最高, 说明 *agouti* 基因主要在皮肤组织表达, 肝脏次之, 肌肉组织表达量最低; 从毛色看, 海狸色獭兔 *agouti* 基因表达量最高, 其次为水貂色, 最后为黑色。毛色决定 *agouti* 基因在体内的表达量, 并存在组织差异性, 皮肤相关组织 *agouti* 基因表达量最高, 非皮肤组织也有微量表达, 这与杨树玲在太行鸡^[16]和李蓓^[17]在蒙古马中的报道一致。

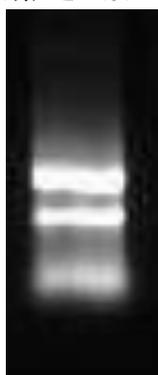


图 1 总 RNA 提取结果

Fig.1 Total RNA extraction

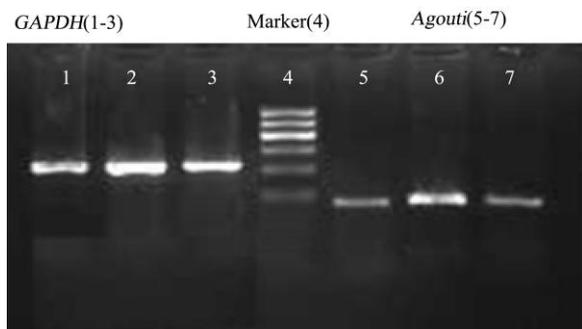


图 2 实时荧光定量 *agouti* 和 *GAPDH* 扩增产物电泳结果

Fig.2 Amplification of *agouti* and *GAPDH* genes visualized by electrophoresis

注: marker 从下向上分别为 100 bp、200 bp、300 bp、400 bp、500 bp、600bp 六条带。

表 4 彩色獭兔产肉性能和肉品质与 *agouti* 表达量相关分析

Table 4 Correlation between *agouti* gene expression level and production as well as quality of colored Rex Rabbit meat

项目	屠宰率	肉骨比	净肉率	pH 1 值	pH 24 值	失水率	熟肉率	嫩度剪切值
皮肤 <i>agouti</i> 表达量	0.443	0.44	0.434	0.728**	0.691**	-0.588**	0.203	0.200
肝脏 <i>agouti</i> 表达量	0.281	0.36	0.351	0.733**	0.706**	-0.522*	0.265	0.242
肌肉 <i>agouti</i> 表达量	0.016	0.073	0.065	0.620**	0.584**	-0.469*	0.164	0.456**

注: **相关性显著 ($P < 0.01$); *相关性显著 ($P < 0.05$)。

3 结论

3.1 彩色獭兔有较好的屠宰率、净肉率和肉骨比。肉质保水性较好, 熟肉率较高, 肌肉嫩度较好。所以,

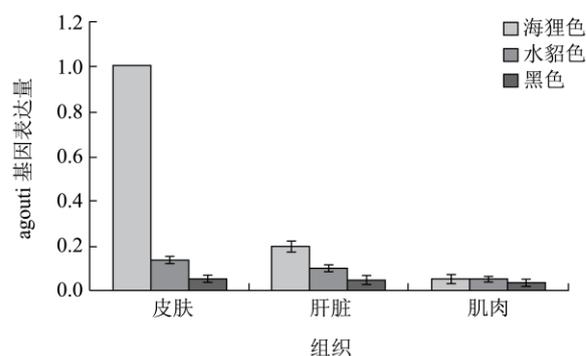


图 3 彩色獭兔不同组织 *agouti* 基因表达量分析图

Fig.3 Expression levels of the *agouti* gene in different tissues of colored Rex Rabbits

2.5 彩色獭兔肉品质和产肉性能与 *agouti* 基因表达量的相关分析

由表 4 可见, 宰后 pH 1 值和 pH 24 值与各组织 *agouti* 表达量呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 各毛色 *agouti* 表达量与失水率呈负相关 ($P < 0.05$, $P < 0.01$), 但 *agouti* 表达量与屠宰率、肉骨比、净肉率、和熟肉率不相关 ($P > 0.05$), 皮肤和肝脏 *agouti* 表达量与嫩度剪切值不相关 ($P > 0.05$), 肌肉 *agouti* 表达量与嫩度剪切值显著相关 ($P < 0.01$)。 *agouti* 基因对产肉性能未产生显著影响, 但其表达量显著影响獭兔肉品质。 *Agouti* 蛋白是通过作用于中枢神经系统和外周组织使脂肪积累。 Zemel 等^[18]发现重组的 *Agouti* 蛋白直接增加不同细胞内的钙离子, 包括鼠和人的脂肪细胞, 刺激脂肪细胞脂肪酸合酶的表达和活性, 增加甘油三酯的积聚。 *Agouti* 基因在全身不同组织中微量表达, 对脂肪积累起一定作用, 当 *agouti* 基因表达量发生一定程度变化时, 未能影响机体的体重以及产肉性能, 但肉品质发生了变化。 *Agouti* 表达量降低, 脂肪积累减少 pH1 值和 pH24 值降低, 失水率提高, 肌肉的保水性差, 肉品质降低。

彩色獭兔除了重视其皮用价值外, 兔肉也有很高的开发利用前景。

3.2 彩色獭兔 *agouti* 基因共有 3 种基因型, A (野生型), a^t (tan 型), a (non-*agouti* 型), 分别代表海狸

色、水貂色、黑色獭兔。产肉性能海狸色>黑色>水貂色,水貂色成活率显著低于海狸色和黑色; *agouti* 表达量与彩色獭兔产肉性能相关性不大,但与肉品质显著相关,可能与 *Agouti* 蛋白参与脂肪形成有关,有待于进一步验证。

参考文献

- [1] Voisey J, Carroll L, van Daal A. Melanocortins and their Receptors and Antagonists [J]. *Current Drug Targets.*, 2003, 4(7): 586-587
- [2] Xue B, Zemel M B. Relationship between Human Adipose Tissue *Agouti* and Fatty Acid Synthase (FAS) [J]. *Journal of Nutrition*, 2000, 130(10): 2478-2481
- [3] Voisey J, van Daal A. *Agouti*: from Mouse to Man, from Skin to Fat [J]. *Pigment Cell Research*, 2002, 15(1): 10-18
- [4] 熊国远,朱秀柏.美系獭兔的胴体性状和肉品质特性研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2007, 34(5): 69-74
XIONG Guo-yuan, ZHU Xiu-bai. Studies on Carcass Characteristics and Meat Quality of American Strain Rex Rabbit [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2007, 34(5): 69-74
- [5] Fontanesi L, Forestier L, Allain D, et al. Characterization of the Rabbit *Agouti* Signaling Protein (ASIP) Gene: Transcripts and Phylogenetic Analyses and Identification of the Causative Mutation of the Nonagouti Black Coat Colour [J]. *Genomics.*, 2010, 95: 166-175
- [6] 简文素.獭兔最佳屠宰月龄的研究[J]. *中国养兔杂志*, 1999, 5:3-4
JIAN Wen-su. Research on the Best Slaughter Age of Rex Rabbit [J]. *Chinese Journal of Rabbit Farming*, 1999, 5: 3-4
- [7] 吴信生,王金玉,林大光,等.四种肉兔及杂交兔屠宰性能和肉品质的研究[J]. *中国养兔杂志*, 2001, 6:20-23
WU Xin-sheng, WANG Jin-yu, LIN Da-guang, et al. Research on Slaughter Performance and meat quality of four Kind of meat rabbits [J]. *Chinese Journal of Rabbit Farming*, 2001, 6: 20-23
- [8] Ruiz D R Y, Moumen A, Garcia A I M, et al. Ruminal Fermentation and Degradation Patterns, Protozoa Population and Urinary Purine Derivative Excretion in Goats and Wethers Fed Diets Based on Two-Stage Olive Cake: Effect of PEG Supply [J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 82: 2023-2032
- [9] 朱学伸,陆亚宇,黄雪方.宰后猪 PSE 肉特征形成与初期温度的关系[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(7):69-73
ZHU Xue-shen, LU Ya-yu, HUANG Xue-fang. Relationship between Development of Porcine PSE Characteristics and Initial Postmortem Temperature [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(7):69-73
- [10] 高晓平,柳艳霞,赵改名,等.屠宰因素对肌肉保水性影响的研究进展[J]. *现代食品科技*, 2007, 23(2):98-100
GAO Xiao-ping, LIU Yan-xia, ZHAO Gai-ming, et al. Advance in the Research of Slaughter on Water Holding Capacity of Muscle [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2007, 23(2):98-100
- [11] NRC. *Nutrient Requirements of Rabbits* [S]. 2th ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1977
- [12] Blasco A, Ouhayoun J, Masoero G. Harmonization of Criteria and Terminology in Rabbit Meat Research [J]. *World Rabbit Science*, 1993, 1(1): 3-10
- [13] 蒋必光,李华,王康宁,等.五个品种兔肉品质的测定与分析[J]. *中国养兔杂志*, 1995, 1:20-22
JIANG Bi-guang, LI Hua, WANG Kang-ning, et al. Measurement and Analysis on Meat Quality of Five Varieties of Rabbits [J]. *Chinese Journal of Rabbit Farming*, 1995, 1: 20-22
- [14] 臧素敏,李同洲,张宝庆,等.力克斯兔皮肉性能及其相关关系研究[J]. *中国养兔杂志*, 1996, 3:18-22
ZANG Su-min, LI Tong-zhou, ZHANG Bao-qing, et al. Research on Fur-Meat Quality and Its Correlation of Rex Rabbits [J]. *Chinese Journal of Rabbit Farming*, 1996, 3: 18-22
- [15] Karlsson A H, Klont R E, Fernandez X. Skeletal Muscle Fibers as Factors for Pork Quality [J]. *Livestock Product Science*, 1999, 60: 255-269
- [16] 杨树玲.太行鸡 *Agouti* 基因及其与若干生产性能的关联性分析[D].保定:河北农业大学硕士学位论文, 2013
YANG Shu-ling. Taihang Chicken *Agouti* Gene and Its Correlation with some Production Performance Analysis [D]. Baoding: Master Thesis of Agriculture University of Hebei, 2013
- [17] 李蓓.蒙古马毛色性状相关基因多态性分析及组织表达研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学博士学位论文, 2011
LI Bei. The Study on Polymorphism Analysis and Tissue Expression of Mongolian Horse Coat Colour Genes [D]. Hohhot: PhD Thesis of Inner Mongolia Agriculture University, 2011
- [18] Zemel M B. Nutritional and Endocrine Modulation of Intracellular Calcium: Implications in Obesity, Insulin Resistance and Hypertension [J]. *Developments in Molecular and Cellular Biochemistry*, 1998, 26: 129-136

现代食品科技