

# 角蛋白 HGTP 及其对羊毛发育的影响

石国庆<sup>1</sup> 管峰<sup>2</sup> 唐红<sup>1</sup> 倪建宏<sup>1</sup> 代蓉<sup>1</sup> 沈敏<sup>1</sup> 柳楠<sup>3\*</sup>

(<sup>1</sup>新疆农垦科学院畜牧兽医研究所, 石河子 832000; <sup>2</sup>中国计量学院生命科学院, 杭州 310018;

<sup>3</sup>青岛农业大学动物科技学院, 青岛 266109)

**摘要** 羊毛的主要成分是角蛋白, 其组分高甘氨酸-酪氨酸蛋白(HGTP)家族成员 KAP6、KAP7和KAP8基因表达对羊毛细度和弯曲等特性具有重要影响。本文从羊毛的组成、角蛋白的生物学特征以及HGTP基因定位和表达对细度的影响等方面进行了综述, 旨在为羊毛发育调控研究提供理论参考。

**关键词** 羊毛; 角蛋白; 高甘氨酸-酪氨酸蛋白(HGTP)

羊毛是绵羊养殖业重要的畜产品之一, 羊毛性状尤其是羊毛细度和弯曲度是决定其纺织和经济价值的重要指标之一。羊毛产量和细度属高遗传力性状, 分别达到0.56和0.59<sup>[1]</sup>, 可稳定遗传, 在绵羊遗传育种中具有重要应用价值。但另一方面, 羊毛的组成成分复杂, 发育过程受多基因调控<sup>[2]</sup>, 因而难以找到控制细度等性状的主基因。因此, 缺乏可靠的选择标记成为制约细毛羊分子标记辅助育种的瓶颈。

近年来, 随着毛发蛋白分离技术和基因定位及功能研究的进展, 羊毛纤维成分和角蛋白基因的研究结果表明, 羊毛主要构成物质是角蛋白, 其编码基因存在多个家族和亚家族。羊毛角蛋白基因及表达具有很高的组织特异性和时空表达顺序, 对羊毛发育和特性具有重要作用和影响。

## 1 羊毛组分及特性

羊毛和其他动物毛发纤维一样, 都是皮肤衍生物, 基本结构主要由鳞片层、角质层和髓质层三部分构成, 其中角质层为组成毛纤维实体的主要部分, 占洁净羊毛纤维重量的90%以上, 又可分为正皮质、副皮质和间皮质<sup>[3]</sup>。角质层主要由角蛋白构成, 角蛋白包含多种蛋白成分, 主要有角蛋白中间丝蛋白(intermediate filament proteins, IF)和角蛋白结合蛋白(keratin associated proteins, KAP), 前者位于羊毛中间构成骨架, 后者作为基质填充物并与前者交叉连接<sup>[4]</sup>, 在羊毛发育中经过角质化作用形成羊毛纤维。同时, 参与羊毛形成的还有少量其他成份, 如组蛋白、微管蛋白和细胞小体等非角蛋白成分的结构蛋白。也有研究者将羊毛分成内皮层和外角质层两大部分, 内

皮层决定弹性和强度等机械特征, 角质层决定了手感、着色等纺织特性; 相应地, 主要成分IF和KAP分别对应位于内皮层和角质层<sup>[5]</sup>。

对弯曲和细度不同的羊毛, 很多研究人员进行了蛋白分离和氨基酸的测定, 由于分离和鉴定方法以及所用毛发纤维材料不同, 加上相应基因表达具有组织特异性和时空顺序, 研究结果各有不同, 但总体结果表明羊毛角质层正副皮质蛋白成分及含量对羊毛性状具有重要影响。一般来说, 正皮质细胞组成的大纤维丝构成羊毛纤维骨架, 成螺旋状, 规则整齐, IF含量较高; 而副皮质区大纤维丝含量少, 骨架结构包裹不规则, 该区域IF含量较低, 中间皮质结构介于二者中间<sup>[3]</sup>。透射电镜对毛发横截面扫描研究显示, IF在正副皮质区的相对含量变化分别为67%~70%和33%~48%, 但是品种间存在较大差异<sup>[6]</sup>。美利奴羊毛的正副皮质中IF含量分别为42%和61%; 而罗姆尼羊的则为34%和52%<sup>[7]</sup>。但粗细和弯曲不同的羊毛中正副皮质细胞的数量和分布在羊毛横向和纵向都有较大变化, 总体来说不论品种间还是品种内这种差别主要在于正副皮质细胞的数量和分布。在以细毛著称的美利奴羊毛中, 角质层的正副皮质细胞成两侧对称且均匀分布, 且这种分布被认为是羊毛弯曲的主要原因<sup>[8]</sup>。在美利奴羊突变体中, 只有副皮质而无正皮质细胞, 这类羊毛比正常羊毛粗且光泽增加<sup>[9]</sup>。就细胞分布和氨基酸来说, 正皮质细胞分布在弯曲的凸面富含甘氨酸-酪氨酸蛋白, 副皮质细胞分布在弯曲

收稿日期: 2010-09-16 接受日期: 2010-11-08

“863”计划(No.2008AA101011)和国家自然科学基金(No.C120103)

资助项目

\*通讯作者。Tel: 0532-86080562, E-mail: nanliu@sina.com

的凹面且高硫蛋白和半胱氨酸含量较高<sup>[3]</sup>;而在相对弯曲较少的羊毛纤维中,部分副皮质细胞被间皮质细胞或二裂片结构的副皮质代替<sup>[3]</sup>。

人类头发一直用作毛发结构研究的模型。研究表明,蒙古人的直发横截面中只有副皮质样细胞而高加索人的卷发中大部分为副皮质细胞,外围有一层正皮质细胞;黑人卷曲的头发中正副皮质细胞呈不对称分布,类似羊毛的弯曲<sup>[3]</sup>。因此,推测正皮质在羊毛中的相对含量和分布是决定细度和弯曲的重要因素,其基因表达参与羊毛的形成并影响羊毛的特性。

## 2 角蛋白生物学与羊毛发育

角蛋白是蛋白质的一种,广泛存在于人和动物的表皮,并且是毛发、羽毛、蹄、壳、角、爪的主要成分,属于纤维性的非营养性的“硬”蛋白,是结缔组织重要的结构蛋白。角蛋白在一级结构上分为主链和侧链,主链是通过肽键链接构成的多缩氨酸链,侧链由20多种不同的 $\alpha$ -氨基酸构成,各链间通过半胱氨酸中的-SH氧化形成二硫键,使肽键间形成相当稳定的交互网络,遇到空气产生膨胀并形成稳定的毛发结构,侧链的种类和性质决定了角蛋白整体的物理和化学性质<sup>[10]</sup>。另外,在角蛋白大分子主链间还形成盐式键和氢键等空间联键<sup>[10,11]</sup>,因此毛发有着极高的结构稳定性。

角蛋白的分类方法很多,按物种可分为哺乳动物角蛋白、鸟类角蛋白和爬虫类角蛋白;按成分和结构可分为A角蛋白和B角蛋白。A角蛋白富含半胱氨酸残基,二级结构几乎都呈A2螺旋结构,二级结构之间形成大量的二硫键,主要存在于哺乳动物。B角蛋白富含小侧链甘氨酸、丝氨酸和丙氨酸残基,二级结构几乎都呈B2片层结构,主要存在于鸟类和爬虫类。从功能角度角蛋白分为构成表皮和许多内脏器官或体腔上皮的角蛋白或“软” $\alpha$ 角蛋白,另一类是构成毛发和甲的毛发角蛋白或“硬” $\alpha$ 角蛋白。从分子生物学角度又可分为酸性角蛋白和碱性角蛋白以及角蛋白结合蛋白等<sup>[10]</sup>。

羊毛角蛋白主要分布在羊毛纤维皮质层,属于纤维性的、非营养型的 $\alpha$ “硬”蛋白,也是维持毛囊结构并在毛囊中表达的最丰富的蛋白质,由18种氨基酸构成,其中半胱氨酸约占12%,构成元素主要是50%碳、7%氢、22%~25%氧、16%~17%氮和3%~4%硫<sup>[10,12,13]</sup>。羊毛角蛋白包括约30种蛋白质分子,由多基因家族编码,目前已经分离鉴定出100种以上

的蛋白<sup>[4]</sup>。IF已知有4种类型,可分为酸性(I型)和碱性(II型)两个家族;绵羊的I型和II型分别有11和6种蛋白,其基因分别位于11q25-q29和3q14-q22<sup>[3,14]</sup>。I型基因约4~5 Kb,包含6个内含子;II型基因7~9 Kb,包含8个内含子<sup>[15]</sup>。绵羊、大鼠、小鼠和人类毛发中发现的KAP被分成23个家族<sup>[16]</sup>,其中绵羊KAP包含较高含量的半胱氨酸、甘氨酸和酪氨酸。根据蛋白序列和所含氨基酸成分的不同,绵羊KAP被分成三个家族和相应亚家族:①高甘氨酸-酪氨酸蛋白(HGTP, KAP6~8);②高硫蛋白(HSP, 半胱氨酸含量16%~30%, KAP1~3);③超高硫蛋白(UHSP, 半胱氨酸含量>30%, KAP4, KAP5, KAP9, KAP10)。最近新发现KAP24.1和KAP26.1其半胱氨酸含量分别为9%和10%,也被列为HSP家族<sup>[17,18]</sup>。KAP家族编码基因序列较小,在0.6~1.5 Kb之间,而且不含内含子。绵羊KAP6、KAP7和KAP8定位于1号染色体;KAP1.1、KAP1.2、KAP1.3和KAP3.2定位于11号染色体,KAP5.1定位于21号染色体<sup>[19]</sup>。这些基因家族内部以及在哺乳动物不同物种间均具有较高的同源性,说明在进化过程中承受较强的选择压力。

在羊毛发育过程中,首先等量的I型和II型角蛋白在毛囊形成8~10 nm的细丝填充在KAP形成的基质之间,之后所有角蛋白基因表达都有明显的时空顺序。I型和II型角蛋白形成的骨架不但优先表达,且遍布整个毛囊的所有皮质细胞;而后HGTP基因开始在皮质层一侧的细胞中表达,随之是作为补充的HSP和UHSP基因;但如果在羊毛生长终期或者静止期,所有角蛋白基因都不表达<sup>[3,20]</sup>。采用等电聚集和质谱分析法对美利奴羊毛纤维(直径20  $\mu$ m)正副皮质研究发现,在正皮质区HGTP表达较高,副皮质区KAP家族HSP高度表达<sup>[21]</sup>。这种组织特异性表达和羊毛角蛋白成分中正皮质细胞含有较多的酪氨酸、甘氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸,副皮质区富含半胱氨酸一致<sup>[22]</sup>。应用多种综合分析手段,许多研究小组还报道了KAP基因家族多样性与羊毛细度相关,另外研究还表明KAP基因遗传多样性与羊毛强度和颜色及亮度等性状有关。因此可以推测,作为羊毛主要成分的角蛋白其组成和蛋白比例对羊毛特性具有决定性作用。

## 3 HGTP与羊毛发育

HGTP即高甘氨酸-酪氨酸蛋白,属于KAP家族的重要成员之一,相对富含甘氨酸-酪氨酸(35%~

60%)而得名。目前鉴定的HGTP有4种,但是研究较多的主要是KAP6、KAP7和KAP8<sup>[5]</sup>。依据氨基酸残基和溶解性分为I型(KAP7和KAP8)和II型(KAP6家族),其氨基酸含量分别为50%和77%,均富含甘氨酸、酪氨酸、丝氨酸和苯丙氨酸<sup>[23]</sup>。HGTP家族在羊毛角蛋白中分子量是最小的(M=6 000~9 000),KAP8在角蛋白家族中是最小的,由单一基因编码,分子量小于10 kDa<sup>[24]</sup>。

HGTP在毛囊的表达具有较严格的时空表达特点。在IF表达形成纤维丝骨架后,KAP家族中HGTP(目前仅发现KAP6.1)最初在正皮质区表达,同时HSP和UHSP在另一侧的副皮质区表达,然后在毛囊的半个部分HGTP和HSP呈交替、对称表达<sup>[9]</sup>。这种尚未完全证实的表达模式和美利奴羊毛结构的分析结果一致,对称分布的正副皮质形成了羊毛的弯曲。尽管通过原位杂交显示HGTP定位于正皮质,但是对HGTP亚家族在细胞中的定位仍不十分清楚,且通过分离羊毛蛋白成分来确定和基因表达之间的关系尚存在争论。甚至有人指出HGIP在副皮质区优先表达<sup>[25]</sup>。目前对HGTP的表达定位研究显示,在一些毛囊细胞的横向上HGTP呈均匀分布,但具有毛囊依赖性,在同一个体的不同毛囊之间HGTP的表达存在差异<sup>[9]</sup>。或许这种毛囊之间的表达差异恰好说明了同一个体不同部位的羊毛性状差异。就表达部位来说,HGTP的表达具有高度特异性,但物种间存在差异。绵羊KAP6.1表达仅限于毛囊皮质细胞中的正皮质区,但在其他动物如兔子KAP6.1的表达则几乎遍布皮质层中所有细胞<sup>[3,23]</sup>。KAP6在HGTP中相对分子量较其他分子量大,且甘氨酸和酪氨酸含量比其他HGTP成员低,因此推测HGTP的定位仅仅依赖于HGTP的亚细胞群<sup>[26]</sup>。

KAP6是HGTP家族中最重要的成员,在绵羊以及多种哺乳动物中均为多基因编码家族。绵羊KAP6不含内含子,具有多基因亚家族,其中KAP6.1编码82个氨基酸残基的蛋白,甘氨酸-酪氨酸含量为60%<sup>[23]</sup>。KAP6亚家族的几个基因均位于1 050 Kb的范围内,目前仅发现KAP6.1在皮质层表达<sup>[3,23]</sup>。KAP6在毛囊分化中表达相对较晚,表达量在毛囊的皮层细胞中存在较大差异,以至于在同一个体的不同毛囊之间也存在较大差异。KAP6表达最典型的特点是随着毛囊分化进程而出现时空变化,即使毛囊附近大部分皮质细胞都表达该基因,但在一些毛囊细胞中

的表达仍局限在皮质层的一些发生角质化的细胞内。应用原位杂交探针技术对KAP6的表达定位研究显示,KAP6在毛囊细胞增生带皮质层以上近200 μm处具有明显的杂交信号,该层为正在分化的毛干角质化细胞,但在表皮和其他任何类型的毛囊细胞都未检测到该基因的表达<sup>[9]</sup>。KAP6在毛囊中的这种高度组织特异性和不对称的表达方式,说明其在毛囊正副皮质细胞中的比例和分布对羊毛的弯曲具有重要作用。

KAP8的含量在不同毛发纤维中差异极大,林肯羊(半细毛羊中羊毛最粗最长的品种)为3%、美利奴羊为13%,针鼹为30%~40%。KAP8.1基因主要调控开司米山羊的羊绒发育<sup>[27]</sup>。KAP8和KAP6在染色体上紧密相连,在羊毛发育中共同表达并且具有关联性,表达量和羊毛纤维直径具有很大关系,二者所在染色体区域和这些编码基因本身可能存在控制羊毛细度的主效基因<sup>[28]</sup>。通过转基因技术使KAP2.1过量表达,羊毛纤维变粗且弯曲减少,其中KAP8基因表达显著降低<sup>[29]</sup>。同样,对美利奴羊突变个体的研究证实,突变后羊毛纤维变粗、弯曲减少,KAP6.1、KAP7和KAP8基因表达严重下调,而KAP2.12和KAP4.2表达上调。在突变体毛囊细胞中只有副皮质细胞,而正常美利奴羊中具有均匀对称的正副皮质细胞<sup>[9]</sup>。这一结果说明KAP6和KAP8直接影响了羊毛的细度和弯曲。另外,Cockett等<sup>[30]</sup>通过分析绵羊基因组发现,KAP6与羊毛细度有关。刘贵芬等<sup>[31]</sup>发现,在KAP6.1外显子位点W06993的基因型与羊毛细度有相关性。赵宗盛等<sup>[32]</sup>发现,1号染色体上KAP6和KAP8附近微卫星位点和羊毛细度有关。比较基因组学显示,绵羊KAP6和绒山羊6个KAP6亚家族之间具有高度同源性(98.8%),证明KAP6是由多基因家族编码的蛋白,并推测5'端非翻译区可能影响到毛发角蛋白及角蛋白-偶连蛋白的相互作用,参与该基因表达调控,从而影响羊毛结构和物理特性。序列克隆证明,在绵羊和兔子KAP6的5'端都存在7~9个核苷酸的基序,KAP6.1在毛囊表达并受到非编码区和5'端侧翼区基序的调控<sup>[23]</sup>。另外,在KAP7和KAP8的5'端侧翼区也证明存在几个7~9个核苷酸的保守调控基序,即HGT-1和HGT-2基序,但对基因的表达调控影响及机制尚不清楚。

与羊毛角蛋白表达比较,人类头发和小鼠被毛的发育也常作为羊毛发育的参考,其形成过程基本一致。人类毛发中富含甘氨酸-酪氨酸的KAP含量不

足3%,而人类基因组也和绵羊一样包含唯一的KAP7和KAP8基因以及多个KAP6基因<sup>[3]</sup>。KAP在小鼠被毛中占19%,小鼠基因组同样包含唯一的KAP7和KAP8基因,但KAP6的EcoR I酶切多样性片段高达20个,属于多基因家族<sup>[3]</sup>。对以上研究结果也有人表示怀疑。首先,头发多种多样且蛋白的提取十分困难,有时候提取到的蛋白不足实际含量的5%,因此低估了KAP的实际含量;其次,头发虽然含有大量蛋白,总蛋白可达头发的80%以上,但其中KAP含量实际很低<sup>[3]</sup>。人类毛发鉴定的蛋白种类已达343种,70种相对含量较高的蛋白中KAP仅有5种,KAP家族在毛发中的含量较低<sup>[24]</sup>。另外,一些基因的转录效率存在较大的种间差异,可能因为人类的KAP基因转录水平较低,而一些物种KAP6的转录表达水平却很高,如小鼠基因组中KAP6表达水平是人类的两倍多。然而,不容争辩的是,就KAP含量来说,这和人类头发中缺少甚至没有正皮质细胞、而KAP家族又在正皮质表达的结果一致,即正皮质细胞越少,HGTP含量越低,毛发越粗;美利奴羊突变体的研究结果也说明了这一点。

#### 4 问题与展望

羊毛的主要成分是角蛋白,其种类和含量决定了结构和细度等物理特性,不同细度和弯曲度的羊毛组分差异来自于不同基因及其表达量。KAP含量和HGTP在不同羊毛中的差异,尤其是KAP6和KAP8的含量对羊毛细度和弯曲度具有重要作用。当KAP6和KAP8表达和含量降低,羊毛直径变粗且弯曲减少。但也有人认为,哺乳动物毛发正皮质细胞占有优势分布,在横切面和体积中占到50%以上;随着羊毛直径的增加,正皮质细胞比例增加而副皮质和间皮质减少<sup>[21]</sup>。羊毛的发育模式和人的头发发育不同,且不同物种的毛发发育过程差异较大。一些研究结果也表明,毛发发育在种间和种内都存在较大差异。例如,在人类头皮和胡须毛囊纵向截面上所有HGTP呈现同等水平的表达,但是KAP7在胡须的表达水平显著较低;HGTP在毛囊中为不对称表达,其表达完全依赖于个别蛋白<sup>[25]</sup>。另外,所用材料和实验技术不同也会影响甚至得到不同的结果。目前,尽管对头发蛋白的提取达到总蛋白的80%以上,但是很难从中分离和鉴定KAP,甚至还无法分离到KAP6、KAP7和KAP8<sup>[24]</sup>。近来,利用生物酶和化学水解方法,对皮

质层蛋白双向电泳分离,发现正副皮质细胞蛋白的差异是KAP3.2,而不是KAP6和KAP8<sup>[21]</sup>。毛发角蛋白正副皮质细胞分离的技术和效果以及分离纯度都尚未见详细报道。同时,毛发角蛋白的表达还受到营养、生理和遗传的影响。因此,毛发的发育是一个复杂的过程,结构稳定的角蛋白在分离上也有很大难度,对羊毛的发育和基因调控研究尚有待进一步深入。

人类对毛发发育机制的研究随着仪器检测和分子生物学技术的发展也在不断深入,已从表观遗传发展到蛋白的时空表达。随着绵羊基因组功能研究和蛋白分离、测序等技术的不断发展,人们必将更加深入地认识羊毛的组分和结构,也必将在此基础上对多种主要成分蛋白及其编码基因进行更多细致深入的研究。目前对角蛋白KAP6的研究除了在表达定位和基因克隆等方面外,已经深入到其启动子的活性和基因多样性等多个领域。相信在不久的将来,人们定会逐步掌握羊毛的发育和基因调控规律,为细毛羊育种提供可靠快速的技术手段。

#### 参考文献(References)

- 1 Safari E, Fogarty NM, Gilmour AR, Atkins KD, Mortimer SI, Swan AA, *et al.* Genetic correlations among and between wool, growth and reproduction traits in Merino sheep. *J Anim Breed Genet* 2007; 124(2): 65-72.
- 2 Adelson DL, Cam GR, DeSilva U, Franklin IR. Gene expression in sheep skin and wool (hair). *Genomics* 2004; 83(1): 95-105.
- 3 Plowman JE, Paton LN, Bryson WG. The differential expression of proteins in the cortical cells of wool and hair fibres. *Exp Dermatol* 2007; 16(9): 707-14.
- 4 Koehn H, Clerens S, Deb-Choudhury S, Morton JD, Dyer JM, Plowman JE. Higher sequence coverage and improved confidence in the identification of cysteine-rich proteins from the wool cuticle using combined chemical and enzymatic digestion. *J Proteomics* 2009; 73(2): 323-30.
- 5 Koehn H, Clerens S, Deb-Choudhury S, Morton JD, Dyer JM, Plowman JE. The proteome of the wool cuticle. *J Proteome Res* 2010; 9(6): 2920-8.
- 6 Dobb MG. Electron diffraction studies of keratin cells. *J Text Inst* 1970; 61: 232-4.
- 7 Caldwell JP, Mastronarde DN, Woods JL, Bryson WG. The three dimensional arrangement of intermediate filaments in Romney wool cortical cells. *J Struct Biol* 2005; 151: 298-305.
- 8 Marshall RC, Orwin DF, Gillespie JM. Structure and biochemistry of mammalian hard keratin. *Electron Microsc Rev* 1991; 4(1): 47-83.
- 9 Li SW, Ouyang HS, Rogers GE, Bawden CS. Characterization of the structural and molecular defects in fibres and follicles of the Merino felting lustre mutant. *Exp Dermatol* 2009; 18(2): 134-42.
- 10 管峰,石国庆,刘守仁,杨利国.角蛋白家族及其对羊毛生长发育的调控. *生命的化学* 2007; 27(1): 92-4.

- 11 刘梅, 于伟东. 羊毛角蛋白作为生物医用材料的研究进展. 材料导报 2005; 19(9): 111-3.
- 12 郭颖杰, 佟金. 角蛋白材料结构与力学特性研究进展. 农业工程学报 2004; 20(3): 266-8.
- 13 陈莹, 王宇新. 角蛋白及其提取. 材料导报 2002; 16(12): 65-8.
- 14 Dolling CH, Brooker MG. A viable hypotrichosis in Poll Dorset sheep. J Heredit 1966; 57(3): 86-90.
- 15 Powell BC. Molecular genetics. In: the genetics of sheep. Oxon, UK: CAB International, 1997.
- 16 Rogers MA, Langbein L, Praetzel-Wunder S, Winter H, Schweizer J. Human hair keratin-associated proteins (KAPs). Int Rev Cytol 2006; 251: 209-63.
- 17 Rogers MA, Winter H, Langbein L, Wollschläger A, Praetzel-Wunder S, Jave-Suarez LF, *et al.* Characterization of human KAP24.1, a cuticular hair keratin-associated protein with unusual amino-acid composition and repeat structure. J Invest Dermatol 2007; 127(5): 1197-204.
- 18 Rogers MA, Langbein L, Praetzel-Wunder, Giehl K. Characterization and expression analysis of the hair keratin associated protein KAP26.1. Br J Dermatol 2008; 159(3): 725-9.
- 19 Itenge-Mweza TQ, Forrest RH, Mckenzie GW, Hogan A, Abbott J, Amofo O, *et al.* Polymorphism of the KAP1.1, KAP1.3 and K33 genes in Merino sheep. Mol Cell Probes 2007; 21(5-6): 338-42.
- 20 Dunn SM, Keough RA, Rogers GE, Powell BC. Regulation of a hair follicle keratin intermediate filament gene promoter. J Cell Sci 1998; 111(23): 3487-96.
- 21 Plowman JE, Deb-Choudhury S, Bryson WG, Clerens S, Dyer JM. Protein expression in orthocortical and paracortical cells of merino wool fibers. J Agric Food Chem 2009; 57(6): 2174-80.
- 22 Chapman GV, Bradbury JH. The chemical composition of wool Separation and analysis of orthocortex and paracortex. Arch Biochem Biophys 1968; 127: 157-63.
- 23 Fratini A, Powell BC, Rogers GE. Sequence, expression, and evolutionary conservation of a gene encoding a glycine tyrosine-rich keratin-associated protein of hair. J Biol Chem 1993; 268(6): 4511-8.
- 24 Lee YJ, Rice RH, Lee YM. Proteome analysis of human hair shaft from protein identification to posttranslational modification. Mol Cell Proteomics 2006; 5: 789-800.
- 25 Hewish DR, French PW. Monoclonal antibodies to a subfraction of Merino wool high-tyrosine proteins. Aust J Biol Sci 1986; 39: 341-51.
- 26 Rogers MA, Langbein L, Winter H, Ehmann C, Praetzel S, Schweizer J. Characterization of a first domain of human high glycine-tyrosine and high sulfur keratin-associated protein (KAP) genes on chromosome 21q22.1. J Biol Chem 2002; 277: 48993-9002.
- 27 Zhao M, Chen H, Wang X, Yu H, Wang M, Wang J, *et al.* aPCR-SSCP and DNA sequencing detecting two silent SNPs at KAP8.1 gene in the cashmere goat. Mol Biol Rep 2009; 36: 1387-91.
- 28 Parsons YM, Cooper DW, Piper LR. Evidence of linkage between high-glycine-tyrosine keratin gene loci and wool fibre diameter in a Merino half-sib family. Anim Genet 1994; 25(2): 105-8.
- 29 Bawden CS, Powell BC, Walker SK, Rogers GE. Expression of a wool intermediate filament keratin transgene in sheep fibre alters structure. Transgenic Res 1998; 7(4): 273-87.
- 30 Cockett NE, Shay TL, Smit M. Analysis of the sheep genome. Physiol Genomics 2001; 7(2): 69-78.
- 31 刘贵芬, 田可川, 张恩平, 黄锡霞, 张艳花. 优质细毛羊羊毛细度的候选基因分析. 遗传 2007; 29(1): 70-4.
- 32 赵宗盛, 王根林, 马玉萍, 牟艳军, 李大全. 绵羊微卫星标记与部分毛用性状的关系研究. 畜牧兽医学报 2006; 37(9): 864-89.

## Keratin HGTP Gene and Its Effects on Wool Fiber Development

Guo-Qing Shi<sup>1</sup>, Feng Guan<sup>2</sup>, Hong Tang<sup>1</sup>, Jian-Hong Ni<sup>1</sup>, Rong Dai<sup>1</sup>, Min Shen<sup>1</sup>, Nan Liu<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Xinjiang Agricultural Reclamation Academy, Shihezi 832000, China;

<sup>2</sup>College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; <sup>3</sup>College of Animal Science, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract** Keratin protein is the major component of wool fiber and the subfamily of high glycine-tyrosine proteins (HGTP) including KAP6, KAP7 and KAP8 genes expression which had important effects on wool diameter and crimp and other characteristics. Herein, the composition of wool, characteristics of keratin protein, location of HGTP and the gene expressional effects on wool fiber diameter are reviewed in this paper. The aim is to provide some basic instructions to study wool.

**Key words** wool; keratin; high glycine-tyrosine proteins (HGTP)

Received: September 16, 2010 Accepted: November 8, 2010

This work was supported by the National High-tech R&D Program of China (863 Program) (No.2008AA101011) and the National Natural Science Foundation of China (No.C120103)

\*Corresponding author. Tel: 86-532-86080562, E-mail: nanliu@sina.com