

不同鸡品种 *TYR* 基因遗传变异分析

张建勤¹, 陈宏^{1,3*}, 孙兆军^{2*}, 刘小林¹, 强巴央宗⁴, 顾玉兰¹

(1. 西北农林科技大学动物科技学院 陕西省农业分子生物学重点实验室, 杨凌 712100;

2. 宁夏大学新技术应用研发中心, 银川 750021; 3. 徐州师范大学细胞与分子生物学研究所, 徐州 221116;

4. 西藏大学西藏农牧学院牧医系, 林芝 860000)

摘要: 采用 PCR-SSCP 方法, 对中国宁夏固原鸡、海南文昌鸡、西藏藏鸡和国外引进海赛克斯鸡 *TYR* 基因 5' 侧翼区及外显子 1 3 个位点 (P1、P2、P3) 的遗传变异进行研究。结果表明, P2 位点无多态, P1 位点在 3 个中国鸡品种中均出现 3 种基因型, 分别为 AA 型、BB 型和 AB 型; 在引进的海赛克斯鸡中, 只检测到 BB 型和 AB 型 2 种类型。4 个鸡品种在该位点均处于 Hardy-Weinberg 平衡状态; P3 位点在中国 3 个鸡品种中均检测到 3 种基因型, 分别为 AA 型、BB 型和 AB 型, 而海赛克斯鸡中只检测到 AA 和 AB 型, 固原鸡和文昌鸡在该位点处于 Hardy-Weinberg 平衡状态, 藏鸡和海赛克斯鸡均处于极不平衡状态。进一步说明, 中国地方鸡品种的 *TYR* 基因蕴藏丰富变异资源。经克隆测序分析, P1 位点存在 C→T 的单碱基替换突变, P3 位点存在 G→A 的单碱基替换突变, 但未引起氨基酸突变。独立 χ^2 分析显示, 两位点基因型和等位基因分布在不同鸡品种之间存在显著或极显著差异 ($P < 0.05$ 和 $P < 0.01$), 提示 *TYR* 基因的基因型和等位基因分布与鸡品种因素显著相关。本研究为以后对鸡 *TYR* 基因 5' 侧翼区及外显子 1 的进一步研究提供基础依据。

关键词: 鸡; *TYR* 基因; PCR-SSCP

中图分类号: S831.2

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2008)09-1153-06

Genetic Variation of *TYR* Gene in Different Chicken Breeds

ZHANG Jian-qin¹, CHEN Hong^{1,3*}, SUN Zhao-jun^{2*}, LIU Xiao-lin¹,

QIANG Ba-yang-zong⁴, GU Yu-lan¹

(1. Shaanxi Key Laboratory of Molecular Biology for Agriculture, College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. The Applied Research and Development Center for New Technology of Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. Institute of Cellular and Molecular Biotechnology, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116 China; 4. Department of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, College of Tibet Agriculture and Animal Husbandry, Tibet University, Linzhi 860000, China)

Abstract: In order to study genetic variation of *TYR* gene in four chicken breeds selected from special district including Guyuan, Wenchang, Tibetan and Hisex chicken, two sites of the gene exon1 and one site of 5' flanking region were analyzed by PCR-SSCP and DNA sequencing. The result indicated: there was no polymorphism at P2 site, while at P1 site, there were three genotypes (AA, BB, AB) in three Chinese chicken breeds respectively. They were all in equilibrium at P1 site. At P3 site, there were three genotypes (AA, BB and AB) in Chinese local chicken breeds (Guyuan, Wenchang and Tibetan chicken) and two genotypes (AA and AB) in Hisex chicken

收稿日期: 2007-09-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30460097); 西北农林科技大学青年专项项目 (08080251)

作者简介: 张建勤 (1974-), 女, 陕西宝鸡人, 讲师, 博士生, 主要从事动物遗传育种教学与研究, E-mail: zhangjianqin1356@126.com

* 通讯作者: 陈宏 (1955-), 男, 陕西西安人, 教授, 博士生导师, 主要从事分子生物学研究; 孙兆军 (1962-), 男, 宁夏银川人, 研究员, 硕士生导师, 主要从事生物技术研究

breed. Guyuan and Wenchang breeds were in equilibrium at the site, but Tibetan and Hisex breeds were extremely in unbalance. It is concluded that there was abundant variation of *TYR* gene in Chinese local chicken breeds. DNA sequencing of PCR products for different genotypes showed that there were two mutation sites: C to T at P1 site and G to A at P3 site, respectively, which didn't cause amino acid variation at P1 site. The chi-square analysis revealed that there was significant statistical difference in distribution of genotype and allele frequencies at the two *TYR* sites among the analyzed four chicken populations ($P < 0.05$ and $P < 0.01$). It revealed that there was significant association between genotype and chicken breeds. This study provided original information for elucidating the possible roles of *TYR* gene of exon1 and 5' flanking region in different chicken populations.

Key words: chicken; *TYR* gene; PCR-SSCP

黑色素能提高生物的生存竞争能力,可作为紫外线的吸收剂、抗氧化剂和新型的天然药物载体,用来治疗与黑色素缺乏有关的神经系统疾病,并具有体外抗 HIV 病毒的作用。因此,它在医疗、食品和化妆品工业的应用潜力巨大。根据哺乳动物有关黑色素性状研究结果表明,大量的基因在各种水平直接或间接影响黑色素的形成^[1-9]。Kin 等研究表明人类的酪氨酸酶基因(*TYR* 基因)是影响黑色素合成的关键基因^[10],是目前研究黑色素性状的第一候选基因。陈志强等对中国丝毛乌骨鸡 *TYR* 基因研究证实该基因突变主要是点突变,并未引起氨基酸突变。邓学梅等继续对中国乌骨鸡 *TYR* 基因外显子变异情况进行了分析研究,表明 *TYR* 基因在乌骨鸡中具有丰富的变异资源^[11],但 *TYR* 基因在其它非乌鸡品种鸡中变异情况如何未见报道。Norton 等最近研究揭示,*TYR* 基因在白色人种的进化过程中,欧洲人种承担了重要的角色而不是东亚人种^[12],说明 *TYR* 基因在不同地域人种中存在一定的差异。但是 *TYR* 基因在不同地域的鸡品种中遗传变异是否也存在一定差异目前尚未进行具体研究。

本研究以中国南方耐热品种海南文昌鸡(肉色为淡黄色)、中国北方耐寒耐低氧品种藏鸡(肉色为红色)、中国耐干旱、耐寒品种宁夏固原鸡(肉色为淡黑色)、国外引进品种海赛克斯鸡(肉色为白色)这 4 个非乌鸡品种作为试验材料,采用 PCR-SSCP 和 DNA 测序方法对影响黑色素性状的第一候选基因-*TYR* 基因 5'侧翼区及第 1 外显子进行单核苷酸多态性检测,比较 4 种不同生境条件下的非乌鸡品种鸡 *TYR* 基因的遗传变异,为进一步对禽类黑色素性状的研究奠定一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

应用随机抽样在宁夏固原采集 112 只固原鸡(Guyuan chicken, GC)的血样,海赛克斯鸡(Hisex chicken, HC)血样 36 只,在海南罗牛山文昌鸡保种场采集文昌鸡(Wenchang chicken, WC)221 只血样,在西藏林芝农牧学院采集藏鸡(Tibetan chicken, TC)100 只血样,每只鸡翅静脉采血 2~3 mL,分装在 1.5 mL 离心管中,加入肝素抗凝剂,-20 °C 以下保存备用。用酚氯仿抽提法提取基因组 DNA,溶于灭菌超纯水,4 °C 保存。

1.2 引物和 PCR 扩增

根据 GenBank 中已发表的鸡 *TYR* 基因(L46805)序列,利用 Primer5.0 软件对其 5'调控区及外显子 1 设计 3 对引物,预期片段大小在 170~220 bp。所有引物由上海生工生物工程有限公司合成,引物序列及位置如表 1 所示。

PCR 反应程序:95 °C 预变性 4 min;94 °C 变性 30 s,57 °C 退火 30 s,72 °C 延伸 35 s,进行 36 个循环;72 °C 延伸 10 min;4 °C 保存。

1.3 PCR 产物的单核苷酸多态检测

PCR-mix 混合液 6.25 μ L, ddH₂O 4.25 μ L,引物(10 μ mol/L)0.5 μ L, DNA 模板(50 mg/ μ L)0.5 μ L,总体积 12.0 μ L,各组在冰盒上操作加完后,瞬时离心,轻微振荡后,再离心 10 s,然后进行扩增。

4 μ L PCR 产物和 8 μ L 变性缓冲液(98%去离子甲酰胺、0.025%溴酚蓝、10 mmol/L EDTA (pH=8.0))的混合液 98 °C 变性 10 min,立即插入冰渣并于冰箱中放置 10 min。将变性产物在 12%非变性聚丙烯酰胺凝胶中电泳,电泳结束后,进行银染显带。

表 1 TYR 基因引物的序列及信息

Table 1 Primer pair sequences and their information on TYR gene in chicken

名称 Name	引物序列 Primer sequence	片段大小 Product Size/ bp	位置 Location	在 L46805 上的位置/ nt Position in L46805
P1	F: 5'- TTCTGCTGCTGTGGGAACG -3' R: 5'-TGCCTGTCCCTTACCTGCCA -3'	192	Exon1~intron1	2 766 ~2 957
P2	F: 5'- TGCTCAGATGAACAACGGC-3' R: 5'-GTATCTCACGTTCCACAGC-3'	200	Exon1	2 593 ~2 792
P3	F: 5'- TGCCATATGCTGGTCTGGG -3' R: 5'- CAGTTGGCTATTCCGCATCAT -3'	218	5' flanking region	1 534 ~1 751

1.4 对不同类型 PCR 产物的测序

不同类型 PCR 产物由上海捷瑞生物公司进行测序,将测序结果提交 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST> 网站进行比较,并对编码区的氨基酸序列利用 <http://www.ncbi.com/CLASTWL> 网站进行比较。

1.5 分子群体遗传结构分析

利用 PopGene、Excel、SPSS(13.0) 软件分析遗传多态性指标,涉及等位基因频率、基因型频率、群体平衡检验、位点遗传纯合度(Homozygosity, H_o)、杂合度(Heterozygosity, H_e)和有效等位基因数(N_e)、多态信息含量(PIC);利用 χ^2 独立性检验分析不同品种(群体)间基因型频率和等位基因频率分布差异,2 品种(群体)间采用公式(1),多品种间采用公式(2):

$$\chi^2 = \frac{T^2}{T_1 \times T_2} \left[\sum_{j=1 \text{ or } j=2} \frac{a_{ij}^2}{T_i} - \frac{T_j^2}{T} \right] \quad (1)$$

$$\chi^2 = T \left[\sum \frac{a_{ij}^2}{T_j \times T_i} - 1 \right] \quad (2)$$

式中, T 为 2 个或多个品种(群体)的总个体数, T_1 、 T_2 分别为第 1 和第 2 个品种(群体)个体数, T_i 是 2 个或多个品种(群体)第 i 个基因型的总个体数, a_{ij} 是第 j 个品种(群体)第 i 个基因型的实际个体数, T_j 代表第 j 个品种(群体)的个体数。

2 结果与分析

2.1 P1 位点的遗传变异分析

2.1.1 P1 引物扩增片段的检测结果 PCR 产物在 192 bp 处有清晰的 DNA 扩增条带(图 1)。

2.1.2 P1 引物扩增片段的 PCR-SSCP 分析结果 P1 引物扩增片段在 4 个品种中共检测到 3 种基因型,分别命名为 AA、BB 和 AB 型(图 2)。在中国的文昌鸡、固原鸡、藏鸡群体中均检测到 AA、BB 和

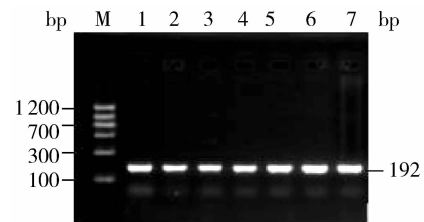


图 1 外显子 1 P1 引物扩增片段的检测图谱

Fig. 1 The electrophoresis patterns of PCR product for P1 primer of exon1

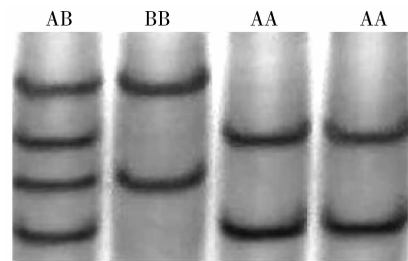


图 2 P1 位点扩增片段的 SSCP 电泳图谱

Fig. 2 SSCP electrophoresis patterns of PCR products at the P1 site

AB 型 3 种基因型,而在引进的海赛克斯群体中只检测到 BB 和 AB 型。

2.1.3 P1 位点不同基因型 PCR 产物的测序及分析 根据测序结果与 GenBank 公布的鸡的 TYR 基因(L46805)序列比对表明:AA 型与 BB 型在 2 866 bp 处发生 C→T 的单碱基转换(图 3),经过分析此碱基突变并未引起氨基酸变异。

2.2 P2 位点的遗传变异分析

P2 引物扩增产物经过 SSCP 分析,所有个体 SSCP 电泳图谱均为一致的 2 条带,表明在该位点无多态性。

2.3 P3 位点的序列分析

2.3.1 P3 引物扩增片段检测结果 PCR 产物在

218 bp 处有一清晰的 DNA 扩增条带(图 4)。

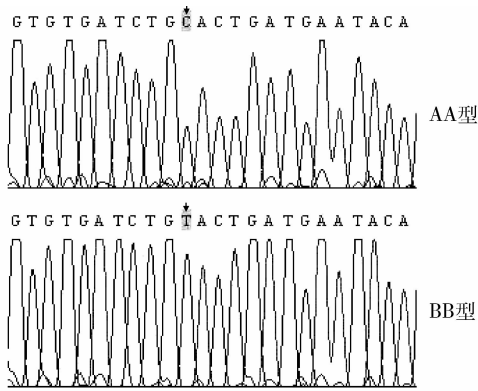


图 3 P1 位点不同基因型多态序列峰图
Fig. 3 The polymorphic site at the P1 site

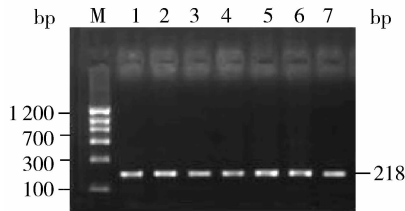


图 4 P3 引物扩增片段的电泳图谱
Fig. 4 The electrophoresis patterns of PCR products of P3 primer

2.3.2 P3 引物扩增片段的 PCR-SSCP 分析结果在 P3 引物扩增片段上检测到 3 种基因型,分别命名为 AA、BB、AB 型(图 5)。在中国的文昌鸡、固原鸡、藏鸡群体中均检测到 AA、BB 和 AB 型 3 种基因型,而在引进的海赛克斯群体中只检测到 AA 和 AB 型。

2.3.3 P3 位点不同基因型 PCR 产物的测序及分析 根据测序结果与 GenBank 公布的鸡的 TYR 基因(L46805)序列比对表明:AA 型与 BB 型在 1 626 bp 处发生 G→A 的单碱基转换突变(图 6),经过分

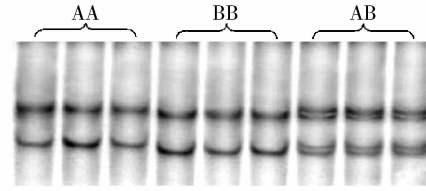


图 5 P3 位点扩增片段的 SSCP 电泳图谱
Fig. 5 SSCP electrophoresis patterns of PCR products at the P3 site

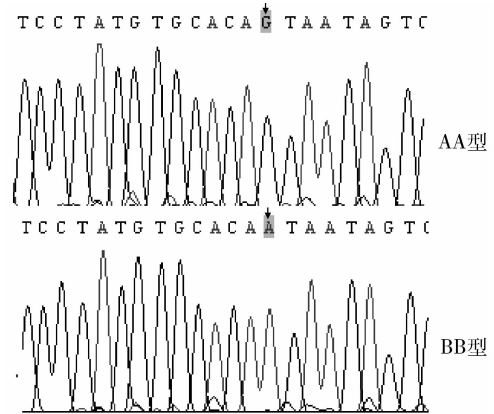


图 6 P3 位点不同类型多态序列峰图
Fig. 6 The polymorphic site at the P3 site

析此碱基突变并未引起氨基酸变异。

2.4 不同鸡品种 TYR 基因型频率和等位基因频率分析

2.4.1 P1 扩增片段在不同品种鸡的基因型频率和等位基因频率分析 统计结果显示,P1 位点在 3 个中国鸡品种均有 3 种基因型,经过适合 χ^2 检验结果表明,各群体在该位点均处于 Hardy-Weinberg 平衡状态。

2.4.2 P3 扩增片段在不同品种鸡的基因型频率和等位基因频率分析 由表 3 结果表明,藏鸡和海赛克斯鸡在该位点处于极不平衡状态($P < 0.01$),固

表 2 引物 P1 扩增片段在不同品种鸡的基因型分布
Table 2 The genotype distributions of amplified P1 fragments among different chicken breeds

品种 Breed	基因型频率 Genotype frequency			等位基因频率 Alleles frequency	
	AA	AB	BB	A	B
藏鸡 (TC, N=98)	0.540 8(53)	0.367 4(36)	0.091 8(9)	0.724 5	0.275 5
固原鸡 (GC, N=146)	0.287 7(42)	0.520 5(76)	0.191 8(28)	0.548 0	0.452 0
文昌鸡 (WC, N=154)	0.493 5(76)	0.441 6(68)	0.064 9(10)	0.714 3	0.285 7
海赛克斯鸡 (HC, N=26)	0.000 0(0)	0.230 8(6)	0.769 2(20)	0.115 4	0.884 6

表 3 引物 P3 扩增片段在不同品种鸡的基因型分布

Table 3 The genotype distributions of amplified P2 fragments among different chicken breed

品种 Breed	基因型频率 Genotype frequency			等位基因频率 Alleles frequency	
	AA	AB	BB	A	B
藏鸡 (TC, N=80)	0.100 0(8)	0.175 0(14)	0.725 0(58)	0.187 5	0.812 5
固原鸡 (GC, N=146)	0.219 2(32)	0.479 4(70)	0.301 4(44)	0.458 9	0.541 1
文昌鸡 (WC, N=146)	0.219 2(32)	0.520 5(76)	0.260 3(38)	0.479 5	0.520 5
海赛克斯鸡(HC, N=26)	0.307 7(8)	0.692 3(18)	0.000 0(0)	0.653 9	0.346 1

原鸡与文昌鸡处于平衡状态($P>0.05$)。

2.4.3 不同品种鸡各位点纯合度、杂合度、有效等位基因数及多态信息含量分析 杂合度、有效等位基因数和多态信息含量都用来度量群体的遗传多样性。P1 位点 3 个中国鸡品种-藏鸡、固原鸡和文昌鸡的杂合度(He):0.367 4、0.520 5、0.446 1,有效等位基因数(Ne)分别为 1.580 8、2.085 5、1.790 8,及多态信息含量(PIC)分别为 0.319 5、0.520 6、0.479 5 均高于海赛克斯鸡(分别为 0.230 8、1.256 0、0.186 0);P3 位点固原鸡和文昌鸡的杂合度(He)分别为:0.479 4、0.520 5,有效等位基因数(Ne)分别为 1.920 9、1.921 2,多态信息含量(PIC)分别为 0.373 3、0.374 6 均高于海赛克斯鸡(0.346 1、1.529 3、0.350 1);但藏鸡各指标分别为 0.175 0、1.212 1、0.258 3,均处于最低。

2.3.4 不同品种鸡 P1 位点基因型频率和等位基因频率分布的 χ^2 检验分析 经过独立 χ^2 分析揭示:两位点基因型和等位基因分布在不同鸡品种之间存在显著或极显著差异($P<0.05$ 和 $P<0.01$)。P1 位点,中国的固原鸡、藏鸡、文昌鸡与海赛克斯鸡品种间频率差异极显著($P<0.01$),文昌鸡和藏鸡品种间频率差异不显著($P=0.883$ 和 $P=0.441$)。P3 位点,中国的固原鸡、藏鸡、文昌鸡与海赛克斯鸡品种间频率差异极显著($P<0.01$),文昌鸡和固原鸡品种间频率差异不显著($P=0.678$ 和 $P=0.710$)。

3 讨论

3.1 P1 和 P3 位点在 4 个鸡品种中的遗传变异分析

本研究对国外引进品种鸡—海赛克斯鸡,中国海南的文昌鸡、西藏的藏鸡、宁夏的固原鸡这 4 个典型不同生境条件下鸡品种的 TYR 基因 2 个位点的

遗传多态进行了对比分析研究。P1 位点在 3 个中国鸡品种均检测到 3 种基因型(AA、BB、AB 型),引进的海赛克斯鸡只检测到 BB 和 AB 型 2 种类型,而没有检测到 AA 型。并在该位点 3 个中国鸡品种的杂合度(He)、有效等位基因数(Ne)及多态信息含量(PIC)均高于海赛克斯鸡;P3 位点在中国的固原鸡、藏鸡、文昌鸡这 3 个鸡品种中均检测到 AA、BB 和 AB 型 3 种基因型,但在引进的海赛克斯鸡中只检测到 AA 和 AB 型,没有检测到 BB 型个体。且该位点上除藏鸡,文昌鸡和固原鸡的 He 、 Ne 和 PIC 均高于海赛克斯。这些均说明中国的地方鸡品种在 TYR 基因的这 2 个位点上相对于引进品种鸡具有较丰富的遗传资源。海赛克斯鸡在这 2 个位点均有一种基因型没有检测到,有可能是样本量太小,也有可能是由品种本身的遗传特征所决定。

适合性 χ^2 检验表明,4 个群体在 P1 位点均处于 Hardy-Weinberg 平衡状态。但是通过基因型频率和等位基因频率分布的独立 χ^2 检验分析表明,在中国的固原鸡、藏鸡、文昌鸡中 A 为优势等位基因,而在海赛克斯鸡中 B 为优势等位基因,除文昌鸡和藏鸡中品种间频率差异不显著,品种间频率差异极显著($P<0.01$),($P=0.883$ 和 $P=0.441$ 均 >0.05),这可能与文昌鸡和藏鸡生存的 2 个地域均为紫外线较强环境有关联,有待于进一步研究证实。P3 位点适合性 χ^2 检验结果表明,藏鸡和海赛克斯鸡在该位点处于极不平衡状态,而固原鸡与文昌鸡处于平衡状态。但独立 χ^2 检验分析表明,在藏鸡中 B 为优势等位基因,而海赛克斯鸡中 A 为优势等位基因,文昌鸡和固原鸡中 A 和 B 等位基因基本平衡,品种间频率差异不显著($P=0.678$ 和 $P=0.710$ 均 >0.05)其余品种间频率差异极显著($P<0.01$),造成这一结果的原因可能是由于藏鸡特殊的低氧环境长期选择使 AA 型个体难以适应存活。说明低氧

环境对该位点选择有一定的影响,藏鸡的这一特殊变异值得进一步关注研究。

海赛克斯鸡是我国从国外引进的一个优良蛋用鸡品种,长期对其生产性能的选择压力较大,所以造成其遗传面相对较窄,在本研究中海赛克斯鸡的遗传变异明显低于中国 3 个地方品种鸡。中国这 3 个地方品种鸡对各自的特殊生境具有极强的耐受性,在 P1 和 P3 这 2 个位点,海赛克斯鸡与中国这 3 个地方品种鸡的品种间频率差异均极显著($P < 0.01$)这也揭示 P1 位点的 A 等位基因和 P3 位点的 B 等位基因可能与某些抗逆基因相关,有待于进行深入研究。

3.2 两个位点变异类型的序列分析

P1 引物扩增不同类型个体的测序及分析结果表明,AA 型与 BB 型发生 C→T 的单碱基替换;P3 引物扩增不同类型个体的测序及分析结果表明,AA 型与 BB 型发生 G→A 的单碱基替换突变,但两个位点的碱基突变并未引起氨基酸变异,属于同义变异。在陈志强等对中国丝毛乌骨鸡的 *TYR* 基因研究中,在 1 626 bp 和 2 866 bp 处存在和本研究一致的变异(相对于 L46805),同属于同义突变,但是在与本研究相同的 3 个位点区域内,在中国丝毛乌骨鸡中还检测到其它多个 SNPs,但均未引起氨基酸突变。这揭示,丝毛乌骨鸡比其它品种鸡 *TYR* 基因 5'侧翼区第 1 外显子区域存在更为丰富的遗传变异。更进一步证明,*TYR* 基因 5'侧翼区第 1 外显子区域与鸡的色素性状有着密切关联。

参考文献:

- [1] 徐幸连,庄 苏,陈宝祥. 乌骨鸡黑色素对延缓果蝇衰老的作用[J]. 南京农业大学学报, 1998, 22(2): 105-108.
- [2] CAPRON B, WATTIEZ R, SINDIC C, et al. Tyrosine phosphorylation of rabphilin during long-lasting long-term potentiation[J]. *Neurosci Lett*, 2007, 414(3): 257-262.
- [3] 王 岩,刘学惠. 几种天然黑色素分子结构的红外光谱表征研究[J]. 分析实验, 1996, 15(6): 63-64.
- [4] 胡国斌,郑从文. 黑色素拟制流感病毒诱导宿主细胞凋亡[J]. 中国病毒学, 1999, 14(2): 140-146.
- [5] CHAN P A, DURAISAMY S, MILLER P J, et al. Interpreting missense variants: comparing computational methods in human disease genes CDKN2A, MLH1, MSH2, MECP2, and tyrosinase (*TYR*) [J]. *Hum Mutat*, 2007, 16(3): 895-901.
- [6] WANG Y, ZHOU K, ZENG X, et al. Tyrosine phosphorylation of missing in metastasis protein is implicated in platelet-derived growth factor-mediated cell shape change [J]. *Biol Chem*, 2007, 282(10): 7 624-7 631.
- [7] 彭 方,王 伟. 高产黑色素微生物资源的研究[J]. 氨基酸和生物资源, 1996, 18(4): 1-4.
- [8] 王戈林,宁 华. 酪氨酸酶基因工程菌产黑色素的发酵条件研究[J]. 中国医药工业杂志, 1999, 30(4): 150-153.
- [9] SUNDARESAN P, SIL A K, PHILP A R, et al. Genetic analysis of oculocutaneous albinism type 1 (OCA1) in Indian families: two novel frameshift mutations in the *TYR* gene[J]. *Mol Vis*, 2004, 27(10): 1 005-1 011.
- [10] KIN D K, KANG K H, CHOI I J, et al. One-allele system in the Korean for MboI-RFLP in exon1 of the human tyrosinase (*TYR*) gene [J]. *Dermatol Sci*, 2002, 24(1): 700-712.
- [11] 陈志强,邓学梅,周 军,等. 鸡的酪氨酸酶基因 5'调控区的单链构象多态性分析[J]. 农业生物技术学报, 2005, 13(2): 191-194.
- [12] NORTON H L, KITTLES R A, PARRA E, et al. Genetic evidence for the convergent evolution of light skin in Europeans and East Asians [J]. *Mol Biol Evol*, 2007, 24(3): 710-722.