

IGF-I 与 IGFBP-1 基因对京海黄鸡生长性状的遗传效应分析

赵秀华^{1,2}, 王金玉^{1,2*}, 张跟喜^{1,2}, 魏岳^{1,2}, 顾玉萍³, 俞亚波³, 施会强³

(1. 扬州大学动物科学与技术学院, 扬州 225009; 2. 江苏省动物遗传繁育与分子设计重点实验室, 扬州 225009; 3. 江苏京海禽业集团有限公司, 海门 226103)

摘要: 旨在对 IGF-I 和 IGFBP-1 基因部分 SNPs 与鸡生长性状进行关联分析。试验以京海黄鸡为材料, 采用 PCR-SSCP 方法检测 2 个候选基因的单核苷酸多态性(SNPs), 采用一般线性模型(GLM)分析基因型与生长性状的遗传效应。结果表明, IGF-I 基因外显子 3 序列的 60 bp 处有 A→G 的点突变, 在京海黄鸡中检测到 AA、AB、BB 3 种基因型, A 等位基因频率为 0.613, B 等位基因的频率为 0.387; IGFBP-1 基因外显子 2 序列的 21 bp 处有 A→T 的点突变, 104 bp 处有 T→C 的突变, 在京海黄鸡中检测到 CC、CD 和 DD 3 种基因型, C 等位基因频率为 0.558, D 等位基因频率为 0.442。IGF-I 基因 BB 基因型个体 4 周龄体质量显著高于 AA 和 AB 型个体 ($P < 0.05$); IGFBP-1 基因 DD 基因型个体 8 周龄体质量显著高于 CC 基因型个体 ($P < 0.05$), 4、12 和 16 周龄体质量差异极显著 ($P < 0.01$)。因此, 推测这些 SNPs 对京海黄鸡生长性状具有一定的影响, 应用于鸡育种过程中的标记辅助选择可以加快育种进程。

关键词: 京海黄鸡; 胰岛素样生长因子-I 基因; 胰岛素样生长因子结合蛋白-1 基因; 遗传多态性; 遗传效应

中图分类号: S831.2; Q343.15

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2012)01-0152-07

Genetic Effects of IGF-I and IGFBP-1 Genes on the Growth Traits in Jinghai Yellow Chicken

ZHAO Xiu-hua^{1,2}, WANG Jin-yu^{1,2*}, ZHANG Gen-xi^{1,2},

WEI Yue^{1,2}, GU Yu-ping³, YU Ya-bo³, SHI Hui-qiang³

(1. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Key Laboratory for Animal Genetics, Breeding, Reproduction and Molecular Design of Jiangsu Province, Yangzhou 225009, China; 3. Jiangsu Jinghai Poultry Group Co., Ltd., Haimen 226103, China)

Abstract: The aim of this study was to analyze the association of SNPs in IGF-I and IGFBP-1 genes with chicken growth traits. PCR-SSCP approach was applied to assess the single nucleotide polymorphisms(SNPs) and the general linear model was used to analyze genetic effects between different genotypes and growth traits of the Jinghai Yellow chicken. For the IGF-I gene, three genotypes (AA, AB and BB) were detected in Jinghai Yellow chicken population, the frequency of A and B alleles was 0.613 and 0.387, respectively. Sequencing revealed one mutation (G60A) of IGF-I gene in the genotype BB in comparison to the genotype AA. For IGFBP-1 gene, three genotypes (CC, CD and DD) were detected in Jinghai Yellow chicken population, the frequency of C and D alleles was 0.558 and 0.442, respectively. Sequencing revealed two mutations (A21T, T104C) of the IGFBP-1 gene in the genotype DD in comparison to the genotype CC.

收稿日期: 2011-03-09

基金项目: 国家肉鸡产业技术体系资助(nycytx-42-G1-05); 江苏高校优势学科建设工程资助

作者简介: 赵秀华(1979-), 女, 内蒙古人, 博士生, 主要从事动物遗传育种研究, E-mail: yzxxh_007@163.com

* 通讯作者: 王金玉, 教授, 主要从事动物遗传育种研究, Tel: 0514-87979075, E-mail: jywang@yzu.edu.cn

The results showed that individuals with BB genotype of the *IGF-I* gene had higher bodyweight at 4 weeks compared to individuals with AA and AB genotypes ($P < 0.05$); The individuals with DD genotype of the *IGFBP-1* gene had significantly higher bodyweight at 4, 12, 16 weeks compared to the individuals with CC genotype ($P < 0.01$). The results suggest that SNPs of *IGF-I* and *IGFBP-1* genes have certain effects on growth traits of Jinghai Yellow chicken, which can be used in marker-assisted selection to accelerate the chicken breeding progress.

Key words: Jinghai Yellow chicken; *IGF-I* gene; *IGFBP-1* gene; genetic polymorphism; genetic effect

虽然传统的育种方法在家禽很多重要经济性状中的运用取得了巨大进展,但是速度缓慢。近年来,分子生物技术方法在家禽育种中得到广泛的应用。候选基因法旨在寻找与动物经济性状遗传变异相关的 QTL^[1-2]。胰岛素样生长因子-I(Insulin like factor-1, IGF-I)是调节动物生命活动的重要多肽生长因子之一^[3],它对动物的生长发育及代谢有重要的调控作用。鸡 *IGF-I* 基因全长约 50 kb,包括 4 个外显子和 3 个内含子,其中成熟的 IGF-I 多肽(70 个氨基酸)由外显子 2 和 3 编码合成,而外显子 1 和 4 分别合成 IGF-I 的氨基(NH₂-)和羧基(COOH-)末端肽部分^[4-5]。李伟彭等采用 PCR-RFLP 技术,对 100 只玫瑰冠鸡的 *IGF-I* 基因的 5' 端调控区进行遗传多态性研究,结果表明 *IGF-I* 基因对鸡的体质量有一定的影响^[6]。武艳平等采用 PCR-SSCP 和 PCR-RFLP 方法,分析 *IGF-I* 基因与泰和乌鸡体质量间的关系,结果表明泰和乌鸡体质量在不同基因型之间均存在显著差异($P < 0.05$)^[7]。

IGFBP-1 是 IGFBPs 家族的重要成员之一,具有广泛的生物学功能,它可以调节胰岛素样生长因子 I 和胰岛素样生长因子 II 的促有丝分裂和新陈代谢作用^[8]。降低 IGFBP-1 的水平,会导致葡萄糖耐受性降低、血压升高,甚至引起肥胖^[9-11]。IGFBP-1 是 IGF-I 生物活性的敏感调节因子。在肝脏中,胰岛素通过结合位于 *IGFBP-1* 基因启动子上的胰岛素应答因子,来抑制 *IGFBP-1* 的活性。因此,建立了葡萄糖代谢与 IGF 轴的联系^[12-13]。*IGFBP-1* 的 cDNA 最初报道于 1988 年,其分子量为 25.3 ku,由 234 个氨基酸组成。鸡 *IGFBP-1* 定位在 2 号染色体上,由 4 个外显子和 3 个内含子组成。Ou 等运用 PIRA-RFLP 技术检测了 826 只北京油鸡 *IGFBP-1* 基因 5' 的单核苷酸多态性,对检测到的 *IGFBP-1* 基因单核苷酸多态性与北京油鸡群体的生长性状进

行了关联分析,结果表明 *IGFBP-1* 基因与鸡的生长有密切的关系^[14]。因此,*IGF-I* 和 *IGFBP-1* 基因可能是与动物生长有关的候选基因,可将其应用于鸡育种过程中的标记辅助选择以加快鸡的生长发育。

京海黄鸡是以当地地方黄鸡资源为育种素材,经传统遗传育种理论和分子标记辅助选择,经多个世代选育而成的小型优质肉鸡新品种,它具有体型小、早熟、肉质优良等特征。本研究采用 PCR-SSCP 技术,以京海黄鸡为研究对象,研究 *IGF-I* 和 *IGFBP-1* 基因的多态性,并分析其与京海黄鸡生长性状之间的关系,以期在分子水平上为京海黄鸡的育种工作及京海黄鸡的进一步开发利用提供理论参考。

1 材料与与方法

1.1 实验动物

146 只京海黄鸡血样采自江苏京海禽业集团有限公司,翅静脉采集血样 1.5 mL,肝素钠抗凝,-20 ℃ 保存。用酚氯仿抽提法提取基因组 DNA,溶于 TE,4 ℃ 保存。记录 146 只京海黄鸡的初生体质量,4、8、12、16 周龄体质量。

1.2 引物设计及 PCR 扩增

IGF-I 基因参照文献^[15]设计引物,对外显子 3 区域进行特异性扩增,引物序列:上游引物:5'-TACACATCTACCACTGTTCAT-3';下游引物:5'-TCCTCAGGTCACAACCTCT-3',目的片段大小为 208 bp。*IGFBP-1* 基因根据 GenBank 已发表的序列(NC_006089),采用 Primer 5.0 设计 1 对引物,对 *IGFBP-1* 基因外显子 2 区域进行特异性扩增,引物序列:上游引物:5'-CCAGAATCTACCGAGCCTGA-3';下游引物:5'-CCCCTCACCTGTCTTTCC-3',目的片段大小为 192 bp。引物由上海生物工程技术服务有限公司合成。

PCR 反应体系为 20 μL , 其中包括 DNA 模板 1 μL , dNTP 混合物(各 2.5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 0.8 μL , $10\times$ buffer(25 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 2 μL , Mg^{2+} (10 $\text{pmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 2.2 μL , 引物(均为 10 $\text{pmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 各 1 μL , *Taq* 酶(5 $\text{U} \cdot \mu\text{L}^{-1}$) 0.2 μL , 双蒸水 11.8 μL 。反应条件: 94 $^{\circ}\text{C}$ 预变性 5 min; 31 个循环(94 $^{\circ}\text{C}$ 变性 30 s, 60 $^{\circ}\text{C}$ 退火 30 s, 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸 30 s); 最后 72 $^{\circ}\text{C}$ 延伸性 10 min, 10 $^{\circ}\text{C}$ 保存产物。

1.3 SSCP 分析和测序

将 2.5 μL PCR 产物和 7.5 μL 上样缓冲液(98% 去离子甲酰胺、0.025% 溴酚蓝、0.025% 二甲苯青 FF、10 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ EDTA(pH 8.0)、2% 甘油) 混合, 98 $^{\circ}\text{C}$ 变性 10 min 后, 迅速冰浴 5 min, 变性后的 PCR 产物进行非变性聚丙烯酰胺凝胶(PAGE30%, Acr : Bis=29 : 1) 电泳, 10 $\text{V} \cdot \text{cm}^{-1}$ 电泳 14~16 h 后, 银染显色。每种基因型选取 3 个样本的 PCR 产物交由上海生工进行测序。

1.4 统计模型与分析

统计不同基因型个体的数量, 计算基因型频率, 对京海黄鸡多态片段的基因型分布进行 χ^2 独立性检验, 以了解每种基因型在群体中的分布情况。PCR-SSCP 标记条带效应值的最小二乘分析模型:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + GP_j + B_{ij} + e_{ij}$$

其中, Y_{ij} 为生长性状的记录值; μ 为群体平均值; G_i 为 *IGF-I* 标记基因型的固定效应; GP_j 为 *IGFBP-1* 标记基因型的固定效应; B_{ij} 为 2 种标记基因型的互作效应; e_{ij} 为随机参差效应。

根据以上线性模型, 采用 SPSS (11.0) 的 GLM (General Linear Model) 分析基因型对生长性状的遗传效应。如果基因型之间无互作, 采用单标

记回归统计模型。以下列模型, 对生长性状进行最小二乘分析:

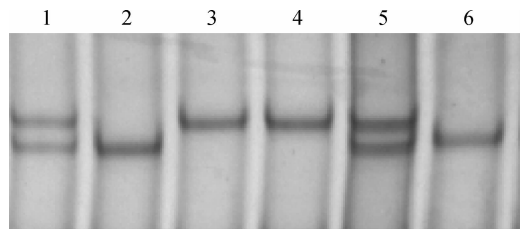
$$Y_{ij} = \mu + G_j + e_{ij}$$

其中, Y_{ij} 为生长性状的记录值; μ 为群体均值; G_j 是基因型效应; e_{ij} 是随机误差。

2 结果

2.1 *IGF-I* 基因多态性与生长性状的相关分析

2.1.1 *IGF-I* 基因突变位点的等位基因和基因型频率 *IGF-I* 基因的 PCR 产物经 SSCP 分析后表现出多态性(图 1), 在京海黄鸡中检测到 3 种基因型分别为 AA、AB 和 BB 型, 3 种基因型及等位基因的频率见表 1, 其中 A 等位基因频率为 0.613, B 等位基因的频率为 0.387; χ^2 适合性检验表明该位点处于哈代-温伯格平衡状态($P > 0.05$), 表明该基因处于遗传平衡状态。AA 与 BB 基因型相比, 在外显子 3 序列的 60 bp 处有 A→G 的点突变, 导致密码子 GAA 突变为 GAG, 但均编码谷氨酸, 属于同义突变(图 2)。



1,5. AB 基因型; 2,6. BB 基因型; 3,4. AA 基因型
1,5. AB genotype; 2,6. BB genotype; 3,4. AA genotype

图 1 京海黄鸡 *IGF-I* 基因扩增片段的 SSCP 分析
Fig. 1 SSCP analysis of PCR amplification of *IGF-I* gene in Jinghai Yellow chicken

表 1 京海黄鸡 *IGF-I* 基因的基因型和等位基因频率

Table 1 Distribution of genotypes and alleles frequency of *IGF-I* gene in Jinghai Yellow chicken

等位基因频率		基因型频率			χ^2	多态信息含量 <i>PIC</i>	杂合度 <i>H</i>	有效等位基因数 N_e
Allele frequency		Genotype frequency						
A	B	AA	AB	BB				
0.613	0.387	0.397(58)	0.432(63)	0.171(25)	1.196	0.362	0.474	1.903

$df=1, \chi^2_{0.05(1)}=3.84, \chi^2_{0.01(1)}=6.64$

2.1.2 *IGF-I* 基因的多态性与生长性状的相关分析 采用 SPSS(11.0) 软件中的广义线性模型

(GLM), 综合分析 *IGF-I* 和 *IGFBP-1* 的互作效应, 结果表明, 从初生体质量到 16 周龄体质量 2 个基因

间互作效应均不显著($P < 0.05$),说明 2 个基因间无互作效应。由于基因间无互作效应,根据单标记回归统计模型,采用 SPSS(11.0)对数据进行 GLM 过程分析,计算不同基因型的初生体质量、4、8、12 和 16 周龄体质量的最小二乘均数,并进行显著性检

验,结果见表 2。IGF-1 基因多态性与京海黄鸡的生长性能显著相关。经多重比较发现,BB 基因型个体的 4 周龄体质量显著高于 AA 型个体($P < 0.05$),而 AA 与 AB 型个体体质量间差异不显著。

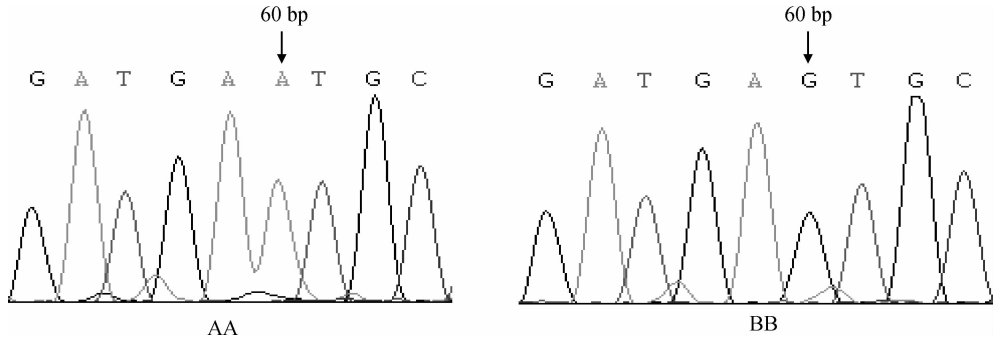


图 2 IGF-1 基因 AA 和 BB 基因型序列比较

Fig. 2 Sequence alignment of genotype AA and BB of IGF-1 gene

表 2 IGF-1 基因型与京海黄鸡生长性能的关联分析

Table 2 Associations between genotypes of IGF-1 gene and growth traits in Jinghai Yellow chicken

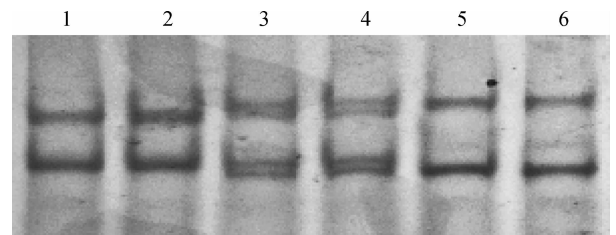
性状 Trait	AA(58)	AB(63)	BB(25)
初生体质量/g Hatch weight	35.60±0.42	35.41±0.40	35.65±0.64
4 周龄体质量/g 4 week-age-weight	182.10±3.38 ^b	183.94±3.25 ^b	196.96±5.15 ^a
8 周龄体质量/g 8 week-age-weight	457.64±10.17	458.54±9.76	464.84±15.50
12 周龄体质量/g 12 week-age-weight	855.98±15.35	839.14±14.73	870.88±23.39
16 周龄体质量/g 16 week-age-weight	1 165.31±13.05	1 136.33±12.52	1 166.48±19.88

同行数据标肩大写字母不同者表示差异极显著($P < 0.01$);同行数据标肩小写字母不同者表示差异显著($P < 0.05$)。下同
The different capital letters in the same row indicated significant deviation($P < 0.01$), the different small letters in the same row indicated significant deviation($P < 0.05$). The same as below

2.2 IGFBP-1 基因多态性与生长性状的相关分析

2.2.1 IGFBP-1 基因突变位点等位基因和基因型频率

IGFBP-1 基因的 PCR 产物经 SSCP 分析后表现出多态性(图 3),在京海黄鸡中检测到 3 种基因型分别为 CC、CD 和 DD 型,3 种基因型及等位基因的频率见表 3,其中 C 等位基因频率为 0.558, D 等位基因的频率为 0.442, χ^2 适合性检验表明该位点偏离哈代-温伯格平衡状态($P < 0.05$),说明该基因未处于遗传平衡状态。CC 与 DD 基因型相比,在外显子 2 序列的 21 bp 处有 A→T 的点突变,导致氨基酸的改变(Ile→Leu),104 bp 处有 T→C 的突变,导致密码子 ATT 突变为 ATC,但均编码异亮氨酸,属于同义突变(图 4)。



1,2. DD 基因型;5,6. CC 基因型;3,4. CD 基因型

1,2. DD genotype; 5,6. CC genotype; 3,4. CD genotype

图 3 京海黄鸡 IGFBP-1 基因扩增片段的 SSCP 分析

Fig. 3 SSCP analysis of PCR amplification of IGFBP-1 gene in Jinghai Yellow chicken

表 3 京海黄鸡 *IGFBP-1* 基因的基因型和等位基因频率

Table 3 Distribution of genotypes and alleles frequency of *IGFBP-1* gene in Jinghai Yellow chicken

等位基因频率 Allele frequency		基因型频率 Genotype frequency			χ^2	多态信息含量 <i>PIC</i>	杂合度 <i>H</i>	有效等位基因数 <i>N_e</i>
C	D	CC	CD	DD				
0.558	0.442	0.384 (56)	0.349(51)	0.267(39)	12.429	0.372	0.493	1.973

df=1, $\chi^2_{0.05(1)} = 3.84$, $\chi^2_{0.01(1)} = 6.64$

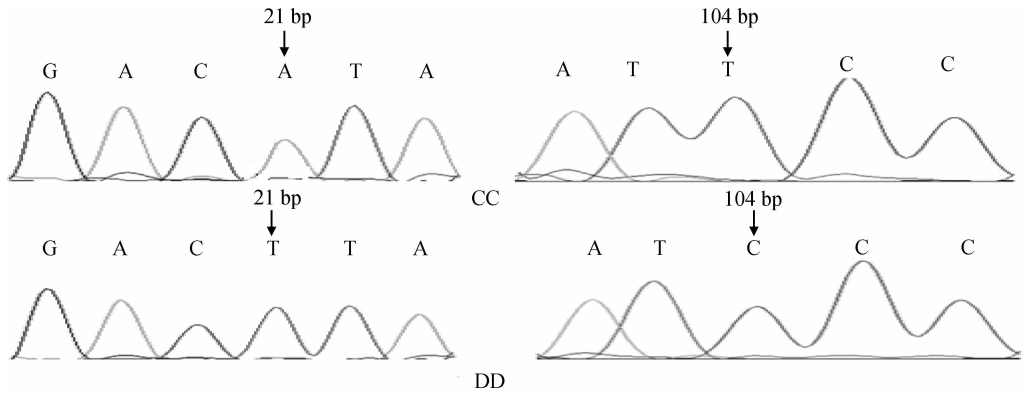


图 4 *IGFBP-1* 基因 CC 和 DD 基因型序列比较

Fig. 4 Sequence alignment of genotype CC and DD of *IGFBP-1* gene

2.2.2 *IGFBP-1* 基因的多态性与生长性状的相关分析 由于基因间无互作效应,根据单标记回归统计模型,采用 SPSS(11.0)对数据进行 GLM 过程分析,计算不同基因型的初生体质量、4、8、12 和 16 周龄体质量的最小二乘均数,并进行显著性检验,结果见表 4。*IGFBP-1* 基因多态性与京海黄鸡的生

长性能显著相关。经多重比较发现:对于 4、16 周龄体质量,DD 基因型个体与 CC 基因型个体间差异极显著($P < 0.01$);对于 8 周龄体质量,DD 与 CC 基因型个体间差异显著($P < 0.05$);12 周龄时,DD 基因型个体体质量极显著高于 CD 基因型个体($P < 0.01$)。

表 4 *IGFBP-1* 基因的不同基因型与京海黄鸡生长性能的关联分析

Table 4 Associations between genotypes of *IGFBP-1* gene and growth traits in Jinghai Yellow chicken

性状 Trait	CC(56)	CD(51)	DD(39)
初生体质量/g Hatch weight	35.68±0.42	34.98±0.44	36.00±0.51
4 周龄体质量/g 4 week-age-weight	180.50±3.40 ^{Bab}	182.57±3.56 ^{ABb}	196.28±4.07 ^{Aa}
8 周龄体质量/g 8 week-age-weight	447.93±10.19 ^b	454.29±10.67 ^{ab}	482.03±12.21 ^a
12 周龄体质量/g 12 week-age-weight	848.13±15.38 ^{AB}	827.02±16.11 ^B	887.49±18.43 ^A
16 周龄体质量/g 16 week-age-weight	1 129.48±13.10 ^B	1 154.71±13.72 ^{AB}	1 184.56±15.69 ^A

3 讨论

3.1 *IGF-I* 基因的多态性与京海黄鸡生长性状的相关分析

胰岛素样生长因子-I (IGF-I)是具有多种生理

功能的生长因子,它的主要功能是调节机体出生后的生长。目前关于 *IGF-I* 基因与鸡生长、繁殖相关的研究很多。Seo 等对韩国公鸡 5'非翻译区的多态性进行分析后发现,韩国公鸡 BB 基因型个体的体质量高于其他基因型个体^[16]。Amills 等采用

RFLP 技术运用 *Hinf* I 酶对鸡 *IGF-1* 基因 5' 调控区的另一个酶切位点进行了研究,测序结果表明, *Hinf* I 识别位点发生了 A→C 突变,研究表明该突变与鸡的生长和采食量呈显著相关^[17]。

本研究通过 PCR-SSCP 方法分析了 *IGF-1* 基因多态性,结果发现在外显子 3 区域的 60 bp 处有 A→G 的点突变, χ^2 独立性检验显示,京海黄鸡在该位点处于哈代-温伯格平衡状态($P>0.05$),表明在人工选育、迁徙和遗传漂变等因素作用下,该品种的 *IGF-1* 基因处于动态平衡。试验进一步分析了 *IGF-1* 外显子 3 的多态位点与京海黄鸡体质量性状间的关系,结果表明 BB 基因型个体的 4 周龄体质量显著高于 AA 基因型个体($P<0.05$)。本研究结果与李伟、武艳平等的研究存在一定差异,这可能是由于研究的基因区域不同,选取的样本也不相同。外显子 3 的这个突变位点影响京海黄鸡生长性状的相关机理有待进一步研究。

3.2 IGFBP-1 基因的多态性与京海黄鸡生长性状的相关分析

IGFBP-1 是 IGFBPs 家族成员之一,具有广泛的生物学功能,降低 IGFBP-1 的水平,会导致葡萄糖耐受性降低、血压升高,甚至引起肥胖。近年来,人们运用不同的分子标记方法在鸡上检测到了许多 QTL。很多与生长有关的 QTL 定位在 2 号和 7 号染色体上,其中就包括 *IGFBP-1* 基因及 *IGFBPs* 家族的其他成员,这些基因影响肌肉的含量和其他生长性状^[18-20]。然而,目前关于鸡 *IGFBP-1* 基因多态性与生产性能关系的研究较少。Ou 等对检测到的 *IGFBP-1* 基因单核苷酸多态与北京油鸡群体的生长性状进行了关联分析,结果表明 *IGFBP-1* 基因与鸡的生长有密切的关系^[14]。

本研究通过 PCR-SSCP 方法分析了 *IGFBP-1* 基因多态性,结果表明在外显子 2 序列的 21 bp 处有 A→T 的点突变,104 bp 处有 T→C 的突变, χ^2 独立性检验显示,京海黄鸡在该位点偏离了哈代-温伯格平衡状态($P<0.05$),说明京海黄鸡该位点受到选种、选配的影响或由于选择、突变、杂交等因素改变了群体的基因频率,基因频率正向新的平衡趋近,然而仍未达到新的平衡状态。除初生体质量外, *IGFBP-1* 基因对其他周龄体质量有显著或极显著的影响。其中 DD 为优势基因型,因此,可以加强 DD 基因型个体的选择,进而提高京海黄鸡的体质量。

3.3 IGF-1 与 IGFBP-1 基因的协同作用

对于某一数量性状而言,有明显效应的主基因,同时还有其他协同作用的基因。Hanrahan 等报道 5 号染色体上 *GDF9* 和 X 染色体上 *BMP15* 2 个基因的突变与高繁殖力绵羊品种 Belclare 和 Cambridge 杂合携带母羊的高排卵数和纯合子不育相关。而且, Hanrahan 等首次证明同时具有 *GDF9* 和 *BMP15* 突变的绵羊比单独具有一个突变的绵羊具有更多的排卵数^[21]。

鸡生长性状是受微效多基因和环境因素影响的数量性状。本研究在对 *IGF-1* 与 *IGFBP-1* 基因间的协同效应进行分析时,未发现它们之间的互作。其原因:首先可能是不同品种生长及繁殖性状的遗传机制不同, Hanrahan 等^[21] 在高繁殖力绵羊品种 Belclare 和 Cambridge 中发现 *GDF9* 和 *BMP15* 基因间存在协同作用,而储明星等^[22] 以小尾寒羊为研究对象却没有发现 2 个基因间的互作效应。其次,可能是 *IGF-1* 基因与 *IGFBP-1* 基因分别与其它主效基因处于连锁不平衡状态,但它们两者之间并没有互作效应。

综上所述, *IGF-1* 基因与 *IGFBP-1* 基因的 SNP 位点分别对京海黄鸡生长性状具有一定的作用,因此,可用于京海黄鸡生长性状的标记辅助选择,以加快京海黄鸡育种进程。

4 结 论

本研究对 *IGF-1* 基因的 A60G 突变和 *IGFBP-1* 基因的 A21T、T104C 突变进行了分析。结果表明, *IGF-1* 基因 A60G 突变对京海黄鸡 4 周龄体质量有显著影响;除初生体质量外, *IGFBP-1* 基因对其他周龄体质量有显著或极显著的影响。其中 DD 为优势基因型,加强 DD 基因型个体的选择可提高京海黄鸡的体质量。初步推断 *IGF-1*、*IGFBP-1* 基因部分 SNPs 对京海黄鸡的生长发育具有一定的调控作用。

参考文献:

- [1] LAMONT S L, LAKSHMANAN N, PLOTSKY Y, et al. Genetic markers linked to quantitative traits in poultry [J]. *Anim Genet*, 1996, 27(1): 1-8.
- [2] BAI J Y, ZHANG Q, JIA X P. Comparison of different foreground and background selection methods in marker-assisted introgression [J]. *Acta Genetica Sin-*

- ica*, 2006, 33(12): 1073-1080.
- [3] NIELS O, FLORENCE G, MOGENS V. Basic principles of muscle development and growth in meat producing mammals as affected by the insulin-like growth factor (IGF) system [J]. *Domest Anim Endocrin*, 2004, 27: 219-240.
- [4] KAJIMOTO Y, ROTWEIN P. Structure of the chicken insulin-like growth factor 1 gene reveals conserved promote elements [J]. *Biol Chem*, 1991, 266(15): 9724-9731.
- [5] 聂庆华, 张细权, 杨关福. 鸡生长轴相关基因的研究进展 [J]. *农业生物技术学报*, 2003, 11(3): 305-312.
- [6] 李伟彭, 夏雨, 孙凤霞, 等. 玫瑰冠鸡 IGF-I 基因多态性与体重及屠体性状关系的研究 [J]. *现代农业科技*, 2007, 15: 160-162.
- [7] 武艳平, 霍俊宏, 谢明贵, 等. 泰和丝羽乌骨鸡 IGF-I 基因与体重的关联分析 [J]. *华北农学报*, 2010, 25(增刊): 22-26.
- [8] LEE P D, CONOVER C A, POWELL D R. Regulation and function of insulin-like growth factor binding protein-1 [J]. *Proc Soc Exp Biol Med*, 1993, 204(1): 4-29.
- [9] JANSSEN J A, STOLK R P, POLS H A, et al. Serum total IGF-I, free IGF-I and IGFBP-1 levels in an elderly population: relation to cardiovascular risk factors and disease [J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 1998, 18(2): 277-282.
- [10] JANSSEN J A, LAMBERTS S W. The role of IGF-I in the development of cardiovascular disease in type 2 diabetes mellitus: is prevention possible [J]. *Eur J Endocrinol*, 2002, 146(4): 467-477.
- [11] HEALD A H, CRUICKSHANK J K, RISTE L K, et al. Close relation of fasting insulin-like growth factor-1 with glucose tolerance and cardiovascular risk in two populations [J]. *Diabetologia*, 2001, 44(3): 333-339.
- [12] GHOSH A K, LACSON R, LIU P, et al. A nucleoprotein complex containing CCAAT/enhancer-binding protein β interacts with an insulin response sequence in the insulin-like growth factor binding protein-1 gene and contributes to insulin-regulated gene expression [J]. *Biol Chem*, 2001, 276(11): 8507-8515.
- [13] SCHWEIZER-GROYER G, FALLOT G, CADE-POND F, et al. The cAMP-responsive unit of the human insulin-like growth factor binding protein-1 constitutes a functional insulin-response element [J]. *Ann NY Acad Sci*, 2006, 1091: 296-309.
- [14] OU J T, TANG S Q, SUN D X, et al. Polymorphisms of three neuroendocrine-correlated genes associated with growth and reproductive traits in the chicken [J]. *Poult Sci*, 2009, 88: 722-727.
- [15] 沈华. 黄羽肉鸡 IGF-I 基因多态性与生产性能的关系 [D]. 扬州: 扬州大学, 2006: 6.
- [16] SEO D S, YUN J, KANG W, et al. Association of insulin-like growth factor-1 (IGF-1) gene polymorphism with serum IGF-1 concentration and body weight in Korean Native Ogol chicken [J]. *Asian-Aust J Anim Sci*, 2001, 14(7): 915-921.
- [17] AMILLS M, JIMENEZ N, VILLALBA D, et al. Identification of three single nucleotide polymorphisms in the chicken insulin-like growth factor 1 and 2 genes and their associations with growth and feeding traits [J]. *Poult Sci*, 2003, 82(10): 1486-1493.
- [18] TATSUDA K, FUJINAKA K. Genetic mapping of the QTL affecting body weight in chickens using a F₂ family [J]. *Br Poult Sci*, 2001, 42(3): 333-337.
- [19] MCELROY J P, KIM J J, HARRY D E, et al. Identification of trait loci affecting white meat percentage and other growth and carcass traits in commercial broiler chickens [J]. *Poult Sci*, 2006, 85(4): 593-605.
- [20] PARK H B, JACOBSSON L, WAHLBERG P, et al. QTL analysis of body composition and metabolic traits in an intercross between chicken lines divergently selected for growth [J]. *Physiol Genomics*, 2006, 25(2): 216-223.
- [21] HANRAHAN J P, GREGAN S M, MULAANT P, et al. Mutations in the genes for oocyte-derived growth factors GDF9 and BMP15 are associated with both increased ovulation rate and sterility in Cambridge and Belclare sheep (*Ovis aries*) [J]. *Biol Reprod*, 2004, 70(4): 900-909.
- [22] 储明星, 桑林华, 王金玉, 等. 小尾寒羊高繁殖力候选基因 BMP15 和 GDF9 的研究 [J]. *遗传学报*, 2005, 32(1): 38-45.

(编辑 郭云雁)