

金崇富, 陈长宽, 杨智青, 等. 鸡 *IGF1R*、*IGFBP-3* 基因 SNP 位点之间互作效应分析[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(5): 1099-1104.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.05.024

## 鸡 *IGF1R*、*IGFBP-3* 基因 SNP 位点之间互作效应分析

金崇富, 陈长宽, 杨智青, 时凯, 陈应江  
(江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏 盐城 224002)

**摘要:** 以 *IGF1R*、*IGFBP-3* 基因作为影响鸡生产性能的候选基因, 采用 DNA 测序和 PCR-SSCP 技术分析了单核苷酸多态性(SNP), 并对两基因 SNP 位点之间的互作效应进行相关分析。结果表明, 在 *IGF1R* 和 *IGFBP-3* 基因中分别发现 2 个 SNP 位点(*IGF1R* 基因的 *G26333A* 和 *G26336A*, *IGFBP-3* 基因的 *T160G* 和 *C1087T*), 其中 *IGF1R* 基因 *G26336A* 位点对鸡的生长性状具有显著的影响 ( $P < 0.05$ ); *G26336A* 位点 DD 基因型个体 8 周龄体质量显著高于 CC 基因型 ( $P < 0.05$ ), DD 基因型个体 12 周龄体质量显著高于 CC 和 CD 基因型 ( $P < 0.05$ ); *IGFBP-3* 基因 *C1087T* 位点 GH 基因型个体的开产日龄显著低于 HH 基因型 ( $P < 0.05$ )。 *IGF1R* 基因 *G26336A* 位点与 *IGFBP-3* 基因 *C1087T* 位点之间对 12 周龄体质量有互作效应。可见, *IGF1R* 和 *IGFBP-3* 基因可能是影响鸡生产性状的主效基因。

**关键词:** 鸡; 单核苷酸多态性; *IGF1R* 基因; *IGFBP-3* 基因; 互作效应

**中图分类号:** S831.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)05-1099-06

## Genetic interaction effect between SNPs loci of *IGF1R* and *IGFBP-3* genes in chicken

JIN Chong-fu, CHEN Chang-kuan, YANG Zhi-qing, SHI Kai, CHEN Ying-jiang  
(Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China)

**Abstract:** In this research, *IGF1R* and *IGFBP-3* genes were selected as candidate genes affecting production performance of chicken. PCR-SSCP and DNA sequencing were employed to detect the single nucleotide polymorphisms (SNPs) so as to analyze the genetic interaction effect between SNPs loci. Two mutations (*G26333A* and *G26336A*) of *IGF1R* gene and two mutations (*T160G* and *C1087T*) of *IGFBP-3* gene were found in chicken. *G26336A* in the exonic region of *IGF1R* gene affected growth traits ( $P < 0.05$ ). For locus *G26336A*, chickens with genotype DD showed heavier body weight than those with genotype CC at 8-week age ( $P < 0.05$ ) and than those with genotypes CC and CD at 12-week age ( $P < 0.05$ ). For *C1087T* in the exonic region of *IGFBP-3* gene, chickens with genotype GH had lower age at first egg than those with genotype HH ( $P < 0.05$ ). An interactive effect was detected between mutations *G26336A* and *C1087T* on chick body weight at 12-week age. These results suggest that *IGF1R* and *IGFBP-3* could be the major genes responsible for productive performance in chicken.

**Key words:** chicken; single nucleotide polymorphism (SNP); *IGF1R* gene; *IGFBP-3* gene; interaction effect

收稿日期: 2015-02-27

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[ CX(13)3044 ]; 国家级星火计划项目(2013GA690334)

作者简介: 金崇富(1985-), 男, 江苏建湖人, 硕士, 助理研究员, 从事动物遗传育种与繁殖研究。(Tel) 15189313501; (E-mail) jincf001@sina.com

通讯作者: 陈应江, (Tel) 13705102062; (E-mail) cyj-1111@163.com

胰岛素样生长因子 (Insulin-like growth factor, IGF) 是人体最重要的生长因子之一。IGF 家族由 2 个多肽类生长因子 (IGF1、IGF2)、2 类受体 (IGF1R、IGF2R) 和 7 种结合蛋白 (IGFBP1 ~ IGFBP7) 组成, 它们是动物生长轴上重要的因子, 具有强烈的促生长和分化作用<sup>[1]</sup>。2 类 IGF 受体的结构和功能差异

很大,其中第 1 类 IGF 受体 (IGF1R) 是 IGF 功能的主要介导者。Moe 等<sup>[2]</sup>研究了 *IGF1R* 基因编码区单核苷酸多态性与日本鹌鹑体质量的相关性,发现不同基因型对 10 周龄体质量有极显著的影响。高凤华等<sup>[3]</sup>对东北农业大学肉鸡品系的 *IGF1R* 基因进行遗传多态性分析,发现不同基因型对 5 周龄体质量有显著影响。雷明明等<sup>[4]</sup>研究发现, C17337024G/T 突变位点与生长和屠体性状显著相关,与初生质量显著相关。

IGFBP-3 主要存在于血液中,它对 IGF1 和 IGF2 具有很高的亲和力,是血液中最丰富的 IGFBP 结合形式。血液中 95% 的 IGF1 和 IGF2 都与 IGFBP-3 结合,因此,IGFBP-3 对于 IGF 作用的发挥起着重要作用<sup>[5]</sup>。另外,IGFBP-3 可以增强 IGF1 的效应,能促进 IGF1 在骨骼上的合成代谢效应。胡沈荣等<sup>[6]</sup>对西农萨能奶山羊 *IGFBP-3* 基因进行了遗传多态性分析,发现西农萨能奶山羊 *IGFBP-3* 的 *Xsp-I* 基因座不同基因型间的二胎产羔数有显著差异,且初生质量也存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。刘哲等<sup>[7]</sup>对奶牛 *IGFBP-3* 基因进行了多态性分析,分析结果表明 AA 型 12 月龄体长和体高均极显著高于 AB 型。

数量性状是由许多微效基因或称多基因 (Polygene) 的联合效应控制的,数量性状直接影响畜牧产品的产量及经济效益。如果仅仅从单基因入手进行

分子辅助育种,往往不能达到最终的育种目标。在分析多基因调控的数量性状时,需要同时对多个位点进行分析,这样才能得到基因与性状之间的真实相关性,在利用 DNA 标记进行辅助选择时才可能获得更大的遗传进展<sup>[8]</sup>。本研究以盐城地方草鸡为研究对象,对 *IGF1R*、*IGFBP-3* 基因进行互作效应分析,以期能较全面地研究盐城地方草鸡生产性状的分子遗传机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

从江苏沿海地区农业科学研究所生态养殖基地采集 210 只母鸡血样,同时记录母鸡生长性状 (初生质量及 4、8、12、16 周龄体质量) 和繁殖性状 (开产日龄、开产体质量、开产蛋质量、300 日龄产蛋数)。翅静脉采集血样 1.5 ml,肝素钠抗凝,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  保存。DNA 提取试剂盒 (Omega blood DNA kit) 法提取基因组 DNA。

### 1.2 引物设计

根据 GenBank 中鸡 *IGF1R* 基因 (NC\_006097) 和 *IGFBP-3* 基因 (NC\_006089) 序列,设计 *IGF1R* 基因第 2 外显子引物 IGR2-1 和 IGR2-2,以及 *IGFBP-3* 基因第 1 和 2 外显子引物 IBP1 和 IBP2 (表 1)。引物由上海生物工程有限公司合成。

表 1 引物信息

Table 1 The information of the primers

引物	引物序列 (5'→3')	位置	退火温度 (°C)	长度 (bp)
IBP1	F: AGCAAGGTAATTCTGGTCAA R: TTTGAAGTGTCTCTTAAAC	8 ~ 216 (IGFBP-3 exon1)	61	209
IBP2	F: CATCTTGGGAAAAGTGCTTT R: ATTTTCAAGAATGCTGTGG	1 022 ~ 1 182 (IGFBP-3 exon2)	57	161
IGR2-1	F: AACGAATGGAGAACTGTACG R: AGTCAGTTATGACGGTCAGCTT	26 246 ~ 26 355 (IGF1R exon2)	58	111
IGR2-2	F: AACGAATGGAGAACTGTACG R: ATCGCTGAGGCTTTAAAC	26 246 ~ 26 402 (IGF1R exon2)	62	155

### 1.3 PCR-SSCP 分析

将 3  $\mu\text{l}$  PCR 产物加入 7  $\mu\text{l}$  变性缓冲液中, 98  $^{\circ}\text{C}$  变性 10 min, 然后迅速冰浴 5 min。将变性 PCR 产物点样加入到 10% 聚丙烯酰胺凝胶中, 140 V 电压电泳 12 h。在电泳结束后, 进行银染显色并拍照

记录结果。

### 1.4 *IGF1R*、*IGFBP-3* 基因综合标记

两基因位点间互作用以下模型进行方差分析:  $y_{ijk} = \mu + G_i + G_j + G_{ij} + e_{ijk}$ , 式中,  $y_{ijk}$  为性状测定值,  $\mu$  为群体平均值,  $G_i$ 、 $G_j$  为基因型效应,  $G_{ij}$  为位点  $i$  和

位点  $j$  间的互作效应,  $e$  为随机残差效应。

## 2 结果与分析

### 2.1 *IGF1R*、*IGFBP-3* 基因 SSCP 引物的 PCR 扩增

采用 PCR-SSCP 法分析 IGR2-1、IGR2-2 和 IBP1、IBP2 引物扩增片段。结果显示:IGR2-1 扩增片段有 3 种带型, 定义为 AA、AB 和 BB; IGR2-2 扩增片段有 3 种带型, 定义为 CC、CD 和 DD; IBP1 扩增片段有 3 种带型, 定义为 EE、EF 和 FF; IBP2 扩增

片段有 3 种带型, 定义为 GG、GH 和 HH(图 1)。

### 2.2 *IGF1R*、*IGFBP-3* 基因序列分析结果

测序结果表明, 引物 IGR2-1 的 PCR 产物片段的 BB 型与 AA 型相比在第 26 333 bp 处发生了 G→A 突变, 引物 IGR2-2 的 PCR 产物片段的 DD 型与 CC 型相比在第 26 336 bp 处发生了 G→A 突变, 引物 IBP1 的 PCR 产物片段的 FF 型与 EE 型相比在第 160 bp 处发生了 T→G 突变, 引物 IBP2-1 的 PCR 产物片段的 HH 型与 GG 型相比在第 1 087 bp 处发生了 C→T 突变(图 2)。

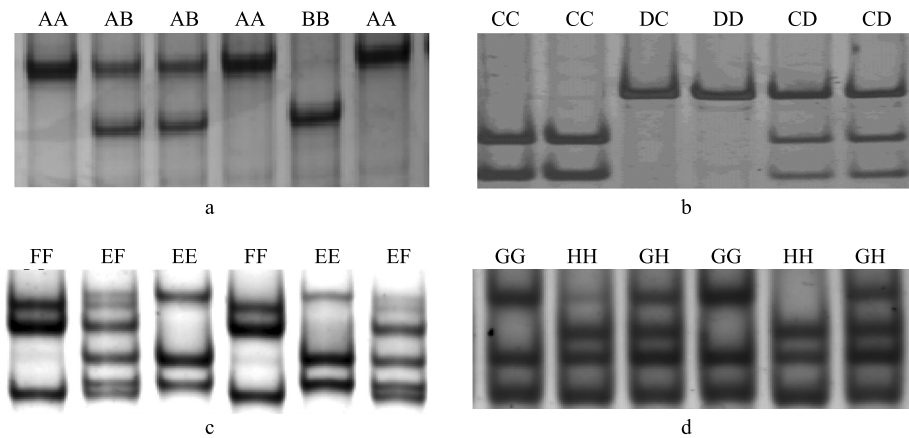


图1 引物 IGR2-1 (a)、IGR2-2 (b)、IBP1 (c) 和 IBP2 (d) 的 SSCP 分析结果

Fig.1 SSCP analysis of PCR product using primers IGR2-1 (a), IGR2-2 (b), IBP1 (c) and IBP2 (d)

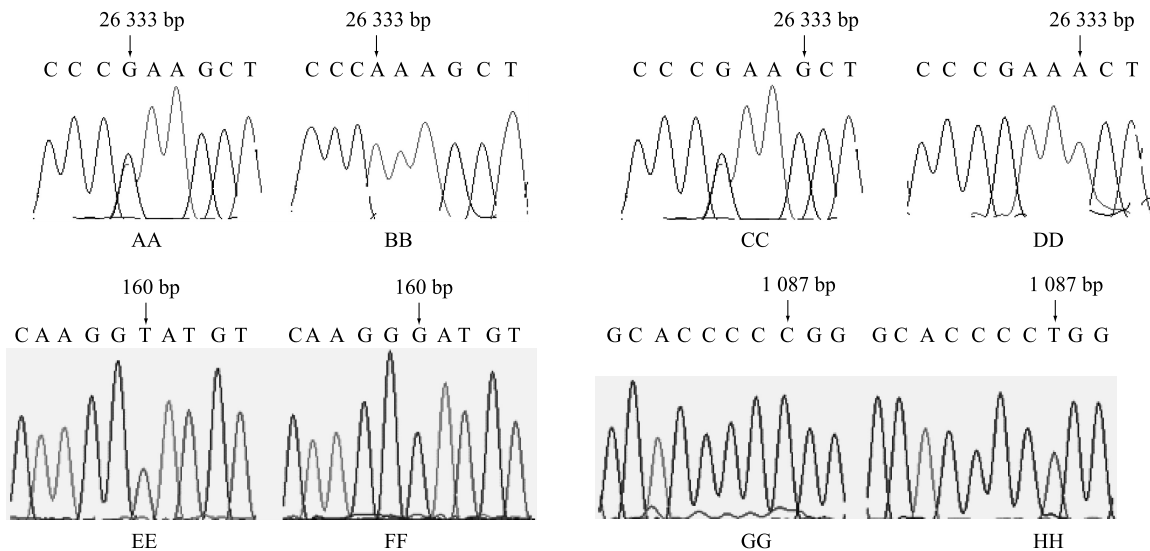


图2 鸡不同基因型 PCR 产物片段的序列比较

Fig.2 Sequence alignment of PCR product segments of different genotypes in chickens

### 2.3 IGF1R、IGFBP-3 基因群体遗传学分析

G26333A 位点 AA 基因型为优势基因型, 基因型频率为 0.745; 等位基因 A 为优势等位基因, 等位基因频率为 0.855。G26336A 位点 CC 基因型为优势基因型, 基因型频率为 0.555; 等位基因 C 为优势等位基因, 等位基因频率为 0.755。T160G 位点 FF 基因型为优势基因型, 基因型频率为 0.495; 等位基

因 F 为优势等位基因, 等位基因频率为 0.703。C1087T 位点 GG 基因型为优势基因型, 基因型频率为 0.415; 等位基因 G 为优势等位基因, 等位基因频率为 0.615(表 2)。

卡方适合性检验结果表明, 群体除了在 C1087T 位点偏离 Hardy-Weinberg 平衡状态外( $P < 0.05$ ), 在其余位点都处于 Hardy-Weinberg 平衡状态。

表 2 IGF1R、IGFBP-3 基因基因型和等位基因频率

Table 2 Genotype and allele frequency of IGF1R and IGFBP-3 genes

位点	等位基因/频率		基因型/频率			$\chi^2$
	A	B	AA	AB	BB	
G26333A	0.855	0.145	0.745	0.220	0.035	2.541
G26336A	0.755	0.245	0.555	0.400	0.045	0.988
T160G	0.297	0.703	0.090	0.415	0.495	0.003
C1087T	0.615	0.385	0.415	0.400	0.185	4.338

$\chi^2_{0.05(df=1)} = 3.841$ ;  $\chi^2_{0.01(df=1)} = 6.635$ 。

### 2.4 IGF1R 基因 G26336 位点和 IGFBP-3 基因 C1087T 位点与生产性能的关联分析

由表 3 可知, DD 基因型个体在 8 周龄时体质量显著高于 CC 基因型( $P < 0.05$ ), DD 基因型个体在 12 周龄时体质量显著高于 CC 和 CD 基因型( $P < 0.05$ )。由表 4 可知, GH 基因型个体的开产日龄显著低于 HH 基因型( $P < 0.05$ )。

表 3 G26336 位点基因型与鸡生产性能的相关性

Table 3 Association of G26336 genotypes with production performance in chickens

性 状	基因型		
	CC (111)	CD(80)	DD(9)
开产日龄(d)	142.03±0.97	138.38±1.14	143.44±3.39
开产体质量(g)	1 572.58±17.88	1 553.70±21.06	1 644.78±62.79
开产蛋质量(g)	32.98±0.47	32.88±0.55	33.33±1.65
300 日龄产蛋数	94.41±2.03	95.95±2.39	95.44±7.12
初生质量(g)	35.76±0.41	35.08±0.49	35.22±1.45
4 周龄体质量(g)	189.88±2.47	191.96±2.91	196.44±8.68
8 周龄体质量(g)	472.28±7.02b	482.08±8.27ab	519.89±24.66a
12 周龄体质量(g)	884.78±11.54b	884.85±13.59b	991.00±40.52a
16 周龄体质量(g)	1 132.05±9.73	1 154.96±11.46	1 134.22±34.17

同行不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

表 4 C1087T 位点基因型与鸡生产性能的相关性

Table 4 Association of C1087T genotypes with production performance in chickens

性 状	基因型		
	GG(83)	GH(80)	HH(37)
开产日龄(d)	141.33±1.12ab	138.80±1.14b	143.03±1.68a
开产体质量(g)	1 558.34±20.76	1 571.36±21.14	1 583.89±31.09
开产蛋质量(g)	33.15±0.54	32.70±0.55	33.08±0.81
300 日龄产蛋数	96.01±2.34	92.86±2.38	97.76±3.50
初生质量(g)	34.68±0.48	35.98±0.48	36.11±0.71
4 周龄体质量(g)	190.46±2.86	192.93±2.91	188.11±4.28
8 周龄体质量(g)	481.76±8.16	481.46±8.31	463.92±12.23
12 周龄体质量(g)	887.25±13.52	899.89±13.77	872.57±20.25
16 周龄体质量(g)	1 132.83±11.23	1 156.66±11.44	1 127.14±16.82

同行不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.5 IGF1R 基因和 IGFBP-3 基因对繁殖性状的互作效应

IGF1R 基因与 IGFBP-3 基因对繁殖性状的互作效应见表 5。由表 5 可知, G26333A × T160G、G26333A × C1087T、G26336A × T160G 和 G26336A × C1087T 对开产日龄、开产体质量、开产蛋质量及 300 日龄产蛋数均无显著影响( $P > 0.05$ )。故 IGF1R 基因与 IGFBP-3 基因对盐城地方草鸡的繁殖性状不存在互作。

表 5 *IGF1R* 基因和 *IGFBP-3* 基因对鸡繁殖性状的互作效应Table 5 Interaction effect of *IGF1R* and *IGFBP-3* genes on reproductive traits in chickens

互作方式	性状	互作效应 ( <i>P</i> )
<i>G26333A</i> × <i>T160G</i>	开产日龄	0.878
	开产体质量	0.671
	开产蛋质量	0.567
	300 日龄产蛋数	0.953
<i>G26333A</i> × <i>C1087T</i>	开产日龄	0.450
	开产体质量	0.472
	开产蛋质量	0.758
	300 日龄产蛋数	0.695
<i>G26336A</i> × <i>T160G</i>	开产日龄	0.875
	开产体质量	0.745
	开产蛋质量	0.958
	300 日龄产蛋数	0.458
<i>G26336A</i> × <i>C1087T</i>	开产日龄	0.758
	开产体质量	0.747
	开产蛋质量	0.791
	300 日龄产蛋数	0.645

## 2.6 *IGF1R* 基因和 *IGFBP-3* 基因对生长性状的互作效应

*IGF1R* 基因和 *IGFBP-3* 基因对生长性状的互作效应见表 6。由表 6 可见, *IGF1R* 基因和 *IGFBP-3* 基因对盐城地方草鸡生长性状存在一定互作, *IGF1R* 基因 *G26336A* 位点与 *IGFBP-3* 基因 *C1087T* 位点对 12 周龄体质量存在互作效应。

## 2.7 *IGF1R* 和 *IGFBP-3* 基因型组合对生产性状的互作效应分析

*G26336A* 与 *C1087T* 位点基因型组合对生长性状的互作效应见表 7。*G26336A* 和 *C1087T* 位点共检测

到 9 种基因型组合。由于 DD/HH 个体数较少(1 只), 不参与多重比较。CC/GG 和 CC/HH 基因型组合个体的开产日龄极显著高于 CD/GH ( $P<0.01$ ), CC/GH 基因型组合个体的初生质量显著高于 CD/GG ( $P<0.05$ ), DD/GG 基因型组合个体的 8 周龄体质量显著高于 CC/HH ( $P<0.05$ ), DD/GG 基因型组合个体的 12 周龄体质量极显著高于 CC/GG、CC/GH、CC/HH、CD/GG、CD/GH 和 CD/HH ( $P<0.01$ )。

表 6 *IGF1R* 基因和 *IGFBP-3* 基因对鸡生长性状的互作效应Table 6 Interaction effect of *IGF1R* and *IGFBP-3* genes on growth traits in chickens

互作方式	性状	互作效应 ( <i>P</i> )
<i>G26333A</i> × <i>T160G</i>	初生质量	0.457
	4 周龄体质量	0.758
	8 周龄体质量	0.854
	12 周龄体质量	0.542
<i>G26333A</i> × <i>C1087T</i>	16 周龄体质量	0.754
	初生质量	0.311
	4 周龄体质量	0.425
	8 周龄体质量	0.412
<i>G26336A</i> × <i>T160G</i>	12 周龄体质量	0.237
	16 周龄体质量	0.748
	初生质量	0.101
	4 周龄体质量	0.412
<i>G26336A</i> × <i>C1087T</i>	8 周龄体质量	0.775
	12 周龄体质量	0.445
	16 周龄体质量	0.725
	初生质量	0.441
<i>G26336A</i> × <i>C1087T</i>	4 周龄体质量	0.745
	8 周龄体质量	0.707
	12 周龄体质量	0.010
	16 周龄体质量	0.712

表 7 *IGF1R* 基因 *G26336A* 位点和 *IGFBP-3* 基因 *C1087T* 位点不同基因型组合与鸡生长性状的相关性Table 7 The relationship between different genotype combinations of *IGF1R* and *IGFBP-3* genes and growth traits in chickens

基因型组合	性状			
	开产日龄(d)	初生质量(g)	8 周龄体质量(g)	12 周龄体质量(g)
CC/GG (43)	143.07±1.55A	34.86±0.66ab	467.84±11.35ab	859.77±18.12B
CC/GH (46)	139.98±1.50AB	36.48±0.64a	484.11±10.97ab	922.07±17.52B
CC/HH (22)	144.27±2.17A	36.00±0.92ab	456.23±15.87b	855.73±25.34B
CD/GG (35)	139.06±1.72AB	34.11±0.73b	491.71±12.58ab	894.54±20.09B
CD/GH (31)	136.36±1.83B	35.58±0.78ab	475.07±13.37ab	865.45±21.34B
CD/HH (14)	141.14±2.72AB	36.36±1.16ab	473.50±19.89ab	903.57±31.76B
DD/GG (5)	142.20±4.55AB	37.00±1.94ab	531.80±33.28a	1 072.60±53.15A
DD/GH (3)	—	32.33±2.50ab	507.00±42.97ab	915.67±68.61AB

基因型组合后括号内数值表示该基因型组合鸡的只数。同列中不同大、小写字母分别表示差异极显著 ( $P<0.01$ ) 和差异显著 ( $P<0.05$ )。



### 3 讨论

在 *IGF1R* 基因 *G26336A* 位点上, DD 基因型个体的 8 周龄体质量显著高于 CC 基因型个体 ( $P < 0.05$ ), 12 周龄体质量显著高于 CC 和 CD 基因型个体 ( $P < 0.05$ ); 从 4、8、12 周龄体质量看, 具有 DD > CD > CC 的趋势; 等位基因 D 是体质量性状的增效基因, 等位基因 C 是体质量性状的减效基因。在 *IGFBP-3* 基因 *C1087T* 位点上, GH 基因型个体的开产日龄显著低于 HH 基因型 ( $P < 0.05$ )。

培育具有综合性能的优良家禽品种已成为现代家禽育种的重要目标。由于家禽许多经济性状是多基因控制的数量性状, 在育种中通过分子标记选择含有多个目标基因的个体, 从中再选出优良的个体, 实现有利基因的聚合, 使品种具有更优良的生产性能。目前, 通过分子标记将多个影响家禽生产性状的基因聚合在一起的研究报道不多。赵秀华<sup>[9]</sup>在京海黄鸡群体中对 *IGFBP-1*、*IGFBP-2* 和 *STAT5* 基因进行了三基因互作效应分析, 结果显示三基因合并效应 > 两基因合并效应 > 单基因效应, 而且组合基因型效应不是单个基因型效应的简单相加, 其效果要优于单个基因型的效应。李国辉等<sup>[10]</sup>以白耳鸡为试验对象, 检测 *GH*、*POU1F1* 和 *PRL* 基因单核苷酸多态性, 分析这 3 个基因的单基因效应与聚合基因型效应。生产上可通过选择影响生产性状的 2 个基因的 SNP, 进行分子标记辅助育种, 这比用单个基因进行选择的风险小。多基因的基因型组合效应不是单基因的基因型效应的简单相加, 而是高于最好的单基因的基因型效应。这提示我们, 在分析多基因调控的数量性状时, 需要同时对多个位点组成的基因型组合进行分析, 这样才能得到基因与性状之间的真实相关性。

本研究 *IGF1R* 基因 *G26336A* 位点与 *IGFBP-3* 基因 *C1087T* 位点基因型组合中, CC/GG 和 CC/HH

个体开产日龄最大; CC/GH 个体初生质量最大; DD/GG 个体 8 周龄体质量最大; DD/GG 个体 12 周龄体质量最大, 均值为  $(1\ 072.60 \pm 53.15)$  g, 极显著地高于其他基因型组合个体。提示 *G26336A* × *C1087T* 基因型组合中剔除 CC/GG 和 CC/HH 型个体可减小开产日龄, 选留 CC/GH 型个体可提高初生质量, 选留 DD/GG 型个体可提高 8 周龄和 12 周龄体质量。

### 参考文献:

- [1] 张 力, 李树浓. 胰岛素样生长因子-1[J]. 国外医学生理、病理科学与临床分册, 1997, 17(2): 174-176.
- [2] MOE H H, SHIMOGIRI T, KAMIHIRAGUMA W, et al. Analysis of polymorphisms in the insulin-like growth factor 1 receptor (*IGF1R*) gene from Japanese quail selected for body weight[J]. *Animal Genet*, 2007, 38(6): 659-61.
- [3] 高风华, 卞立红, 李 辉, 等. 鸡 *IGF1R* 基因多态性与生长和体组成性状的相关性研究[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(1): 77-83.
- [4] 雷明明, 彭 霞, 张细权. 鸡 *IGF1*-型受体基因单核苷酸多态与鸡生长性能的相关分析[C]// 中国畜牧兽医学会. 第十次全国畜禽遗传标记研讨会论文集, 2006: 121-124.
- [5] 高 雪, 徐秀容, 许尚忠. 牛类胰岛素生长因子结合蛋白 3 基因 PCR-SSCP 分析[J]. 农业生物技术学报, 2006, 14(4): 474-477.
- [6] 胡沈荣, 于 娇, 蓝贤勇, 等. 西农萨能奶山羊 *IGFBP-3* 多态与产羔数、体尺性状的关联分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(11): 1-5.
- [7] 刘 哲, 吴建平, 马彦男, 等. 奶牛 *IGFBP-3* 基因部分序列 PCR-SSCP 多态性与产奶量和生长性能的相关性[J]. 农业生物技术学报, 2009, 17(3): 445-450.
- [8] 王金玉, 陈国宏. 数量遗传与动物育种[M]. 南京: 东南大学出版社, 2004.
- [9] 赵秀华. 京海黄鸡 *IGFBP-1*、*IGFBP-2* 和 *STAT5* 基因遗传效应及表达规律的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2012.
- [10] 李国辉, 张学余, 苏一军, 等. 3 个基因 SNPs 及基因聚合对白耳鸡产蛋数的遗传效应[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(4): 661-667.

(责任编辑: 张震林)