

# KDR等6个基因多态性与鸡生长和体组成性状的相关研究

吴宪文, 金鹏程, 王守志, 张 慧, 李 辉\*

(农业部鸡遗传育种重点实验室, 东北农业大学动物科技学院, 哈尔滨 150030)

**摘 要:** 以东北农业大学高、低脂肉鸡双向选择品系第14世代群体(NEAUHLFG14)和AA肉鸡商业随机群体(AA群体)为试验材料, 利用PCR-RFLP对鸡腹脂性状的全基因组关联分析(GWAS)鉴定出6个多态位点进行单核苷酸多态性(SNPs)检测, 分析这些位点的多态性与鸡生长和体组成性状的关系。结果表明, 在NEAUHLFG14中KDR基因的rs14483313位点多态性对腹脂重(AFW)和腹脂率(AFP)有显著影响( $P < 0.05$ ), TUSC3基因的rs13548811位点对鸡后期体重有影响, EXOC1基因的GGaluGA263078位点在两个群体中都对7周龄体重(BW7)有显著影响( $P < 0.05$ )。TUSC3、PPAT、EXOC1和KIAA1211基因的突变位点对NEAUHLFG14极低密度脂蛋白(VLDL)浓度有显著影响( $P < 0.05$ ), 结果显示, 6个基因可能是影响鸡腹脂性状的重要基因, 但多态位点是否为功能性位点仍需进一步验证。

**关键词:** 鸡; 腹脂; SNPs; KDR

中图分类号: S858.31

文献标志码: A

文章编号: 1005-9369(2012)12-0039-06

**Association of six genes including KDR polymorphisms with growth and body composition traits in chicken/WU Xianwen, JIN Pengcheng, WANG Shouzhi, ZHANG Hui, LI Hui(Key Laboratory of Chicken Genetics and Breeding, Ministry of Agriculture, School of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)**

**Abstract:** Six SNPs identified by GWAS of chicken's abdominal fat trait were detected by PCR-RFLP in fourteenth generation population of the chicken divergently selected for abdominal fat content of Northeast Agricultural University (NEAUHLFG14) and Arbor Acres (AA population) commercial random population, and the association between the SNPs and growth, and body composition traits were performed. The results showed that rs14483313 locating in the KDR gene significantly affected the AFW and AFP ( $P < 0.05$ ), and rs13548811 residing in the TUSC3 gene affected the later body weight traits in NEAUHLFG14. GGaluGA263078 in the EXOC1 gene was significantly associated with BW7 in both the NEAUHLFG14 and AA population ( $P < 0.05$ ). In addition, the loci residing in TUSC3, PPAT, EXOC1 and KIAA1211 were significantly associated with VLDL in the NEAUHLFG14 ( $P < 0.05$ ). Based upon the results in the present study, it is suggested that the six genes studied could influence abdominal fat traits in chickens, but whether these loci are causal mutations or not needs to be confirmed further.

**Key words:** chicken; abdominal fat; SNPs; KDR

试验前期通过鸡腹脂性状的全基因组关联分析(GWAS)鉴定出多个与鸡腹脂性状显著相关的多

态性位点, 其中6个位点分别为rs14483313(命名来源于60 K SNP芯片, 下同)位于Ⅲ型酪氨酸激酶

收稿日期: 2012-04-27

基金项目: 国家高技术研究发展计划863项目(2011AA100301; 2010AA10A102); 东北农业大学创新团队发展计划(CXT006)

作者简介: 吴宪文(1986-), 女, 博士研究生, 研究方向为动物遗传育种。E-mail: wuxianwen23@163.com

\*通讯作者: 李辉, 教授, 博士生导师, 研究方向为动物遗传育种。E-mail: lihui@neau.edu.cn

受体(a type III receptor tyrosine kinase, KDR/ Flk I / VEGF-2)上; rs13548811 位于鸡肿瘤候选抑癌基因 3 (Tumor suppressor candidate 3, TUSC3) 上; GGaluGA262999 位于磷酸核糖焦磷酸转氨酶 (Phosphoribosyl pyrophosphate amidotransferase, PPAT) 上; GGaluGA263078 位于胞外复合成分 1 (Exocyst complex component 1, EXOC1) 上; GGaluGA176566 位于 v-myb 鸟类成髓细胞血症病毒致癌基因同系物 2 (v-myb myeloblastosis viral oncogene homolog (avian)-like 2, MYBL2) 上; rs14482748 位于 KIAA 1211 上; 这些位点的多态性与肉鸡高、低腹脂双向选择品系第 11 世代的腹脂重和腹脂率显著相关。

本研究对 6 个多态位点在高、低脂肉鸡双向选择品系第 14 世代群体和 AA 随机群体中进行 SNPs 检测和关联分析, 旨在研究这 6 个基因的多态位点与鸡生长和体组成性状的相关性, 从而为后续开展相关基因的功能研究和寻找可用于肉鸡育种的分子标记奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 鸡群和性状的测定

以东北农业大学动物科技学院选育的高、低脂肉鸡双向选择品系第 14 世代群体 (NEAUHLFG14) 612 个体 (高脂系 320 个体, 低脂系 292 个体) 和 AA 肉鸡商业随机群体 386 个体为试验材料。试验鸡群按常规方法进行饲养管理, 7 周龄时翅静脉采血, EDTA-Na<sub>2</sub> 抗凝, 酚: 氯仿抽提 DNA 之后, TE 溶解, -20 °C 保存。测定 1、3、5、7 周龄体重 (Body weight, BW)、屠体重 (Carcass weight, CW)、腹脂重 (Abdominal fat weight, AFW)、腹脂率 (Abdominal fat percent, AFP) (腹脂重/ 体重)、肝脏重 (Liver weight, LW)、心脏重 (Heart weight, HW)、脾脏重 (Spleen weight, SpW)、睾丸重 (Testicle weight, TeW)、极低密度脂蛋白浓度 (Very low density lipoproteins, VLDL)。

### 1.2 引物设计

结果见图 1。

表 1 引物序列

Table 1 Primer sequences

位点 Loci	引物序列(5'-3') Primer sequences (5'-3') Product	扩增长度(bp) Length
rs14483313(SNP1)	F :TGTGAAAGTGTATCTCAAAGGAA R :AAGCAACCAGGCACCAAA	244
rs13548811(SNP2)	F :AAAACCTCCGCTCCCTC R :CGATAATGCTGTTCACTCAC	602
GGaluGA262999(SNP3)	F :GTTCCAAAAGTATCGCAAAT R :CAGACAGCAGCCAAGGT	392
GGaluGA263078(SNP4)	F :CCTTACTAACAATAGAAAACCT R :AAAACCCAAACCAACCTC	196
GGaluGA176566(SNP5)	F :ATATCTCTGCAACCTGGTGTAC R :ACTCTGTAAAGCACACTGCTG	200
rs14482748(SNP6)	F :CTGTAAGCAAGGCATAA R :TGTGAATAAAGGTGGTT	238

注: F代表正向引物, R代表反向引物。

Note: F= Forward primer, R= Reverse primer.

根据本实验室鸡腹脂性状的全基因组关联分析提供的多态性位点数据和鸡基因组测序结果 (www.genome.ucsc.edu), 使用 Primer 5.0 软件设计 6 对引物用于多态性检测, 引物由北京英骏生物公司合成, 如表 1 所示。

### 1.3 基因分型

根据六个多态位点, 采用 PCR-RFLP 方法对

高、低脂肉鸡双向选择品系第 14 世代群体和 AA 肉鸡商业随机群体个体进行基因型分析。PCR 反应体系 (25  $\mu$ L): 50 ng  $\cdot$   $\mu$ g<sup>-1</sup> 基因组 DNA 1  $\mu$ L、10 $\times$  PCR Buffer 2.5  $\mu$ L、10 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> dNTP 2  $\mu$ L、10  $\mu$ mol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> 上下游引物各 0.5  $\mu$ L、5 U  $\cdot$   $\mu$ L<sup>-1</sup> TaqDNA 聚合酶 0.25  $\mu$ L、去离子水 18.25  $\mu$ L。PCR 反应条件: 预变性条件均为 94 °C, 5 min; 变性条件均为

94 ℃，30 s；延伸条件均为 72 ℃，20 s；终极延伸条件均为 72 ℃，5 min。退火条件、循环数及酶切

条件如表 2 所示。内切酶由 NEB 公司提供，酶切反应体系(20 μL)，按照使用说明进行配置。

表 2 各位点 PCR 及酶切条件

Table 2 Conditions of PCR, PCR-RFLP

位点 Loci	退火条件 Anneal conditions	循环数 Cycle number	内切酶 Enzymes	凝胶电泳条件 Electrophoresis conditions
SNP1	55 ℃ 30 s	30	<i>Tsp</i> I	16%PAGE凝胶(220 V 3 h)
SNP2	60 ℃ 30 s	25	<i>Sna</i> B I	3%琼脂糖凝胶(150 V 30 min)
SNP3	60 ℃ 30 s	26	<i>Bcg</i> I	2%琼脂糖凝胶(150 V 20 min)
SNP4	51 ℃ 30 s	28	<i>Aju</i> I	16%PAGE凝胶(180 V 3 h)
SNP5	63 ℃ 30 s	32	<i>Bsp</i> 1407 I	14% PAGE凝胶(220 V 2 h)
SNP6	53 ℃ 30 s	32	<i>Alu</i> I	14% PAGE凝胶(220 V 2 h)

1.4 统计分析

根据高、低肉鸡腹脂双向选择品系群体的特点，构建基因型效应统计模型①，根据 AA 肉鸡商业随机群体的特点，构建基因型效应统计模型②：

$$Y = \mu + G + L + G * L + F(L) + D(F, L) + BW_7 + e \quad \text{①}$$

$$Y = \mu + G + S + G * S + F + D(F) + BW_7 + e \quad \text{②}$$

其中 Y 为性状观测值，μ 为群体均值，G 为基因型固定效应，L 为品系固定效应，G\*L 为基因型和品系互作效应，F(L) 为品系内的家系效应，D(F, L) 为家系内与品系内母鸡的随机效应，S 为性别固定效应，G\*S 为基因型和性别互作效应，F 为

家系的随机效应，D(F) 为家系内母鸡的随机效应，BW<sub>7</sub> 为 7 周龄体重做为屠体组成性状的校正因子，e 为剩余值效应。

运用统计软件 JMP4.0(SAS 公司, 2000) 进行相关分析；采用 SAS9.1.3 软件对高、低肉鸡腹脂双向选择品系间基因型频率和等位基因频率差异进行 χ<sup>2</sup> 独立性检验。

2 结果与分析

2.1 PCR-RFLP 检测

结果见图 1。

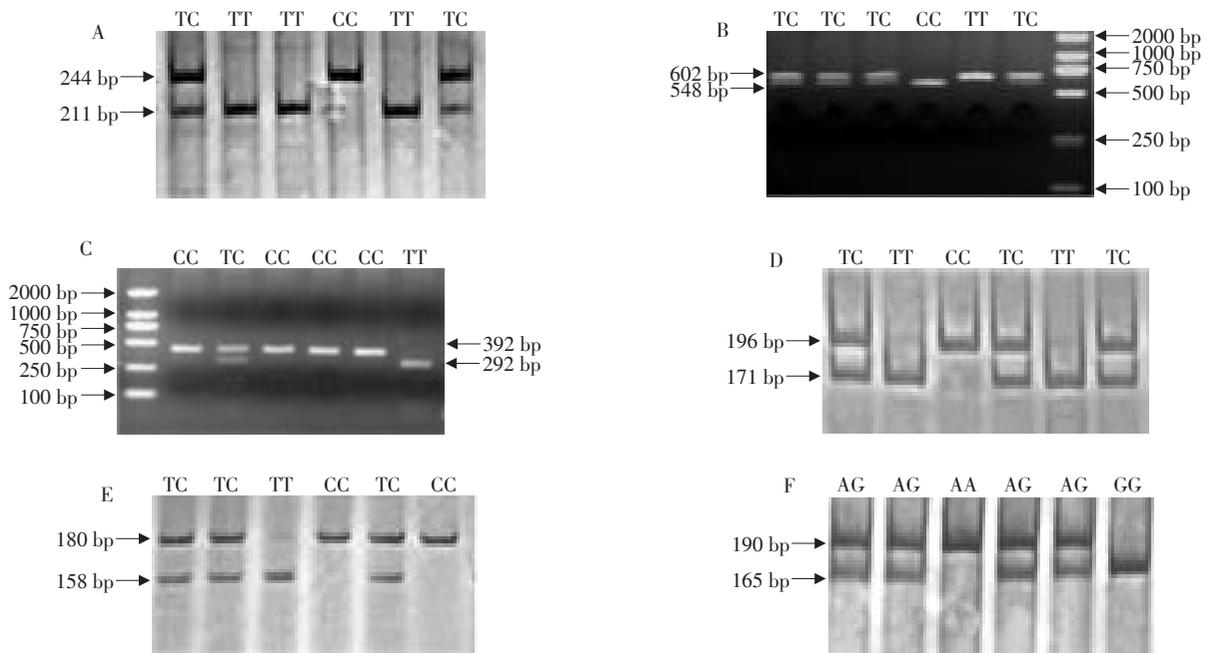


图 1 PCR-RFLP 基因分型

Fig. 1 PCR-RFLP patterns

针对以上六个位点用相应的引物对高、低肉鸡腹脂双向选择第14世代群体和AA肉鸡商业随机群体基因组DNA进行PCR扩增,扩增片段与目的片段大小一致且特异性较好。采用RFLP的方法进行个体基因型分析。PCR产物经过酶切后均产生3种基因型,分型及命名见图1。图1中A-E分别对应为SNP1-6的基因分型图片。

2.2 群体遗传学分析

对六个突变位点在NEAUHLF第14世代中进行群体遗传学分析,检验结果表明基因型频率、等位基因频率分布在高、低腹脂双向选择品系间均

存在极显著差异( $P<0.01$ )。SNP1和SNP3位点TT基因型和T等位基因在低脂系中的频率极显著高于在高脂系中的频率,CC基因型和C等位基因在高脂系中的频率极显著高于在低脂系中的频率。SNP2、SNP4和SNP5位点TT基因型和T等位基因在高脂系中的频率极显著高于在低脂系中的频率,CC基因型和C等位基因在低脂系中的频率极显著高于在高脂系中的频率。SNP6位点AA基因型和A等位基因在高脂系中的频率极显著高于在低脂系中的频率,GG基因型和G等位基因在低脂系中的频率极显著高于在高脂系中的频率,如表3所示。

表3 六个位点不同基因型、等位基因频率在高、低脂系两系间的分析

Table 3 Comparisons of frequencies of genotype and allele in two lines of chicken divergently selected for abdominal fat content

位点 Loci	品系 Strains	基因型频率(个体数) Genotype frequency(numbers of Individual)			$\chi^2$ (P值)	等位基因频率 Allele frequency		$\chi^2$ (P值)
		CC	TC	TT		C	T	
SNP1	低脂	0(0)	0(0)	1(319)	575.92 ( $P<0.01$ )	0	1	840.16 ( $P<0.01$ )
	高脂	0.65(189)	0.32(94)	0.03(9)		0.81	0.19	
SNP2	低脂	0.14(45)	0.42(134)	0.44(140)	159.51 ( $P<0.01$ )	0.35	0.65	159.51 ( $P<0.01$ )
	高脂	0.49(144)	0.44(128)	0.07(20)		0.73	0.27	
SNP3	低脂	0(0)	0(0)	1(319)	549.94 ( $P<0.01$ )	0	1	664.22 ( $P<0.01$ )
	高脂	0.45(130)	0.50(146)	0.05(16)		0.70	0.30	
SNP4	低脂	0.44(141)	0.43(136)	0.13(42)	196.55 ( $P<0.01$ )	0.43	0.57	226.87 ( $P<0.01$ )
	高脂	0.02(7)	0.41(118)	0.57(167)		0.21	0.79	
SNP5	低脂	0.32(101)	0.54(174)	0.14(44)	174.19 ( $P<0.01$ )	0.49	0.41	181.66 ( $P<0.01$ )
	高脂	0.03(10)	0.35(102)	0.62(179)		0.21	0.79	
SNP6	低脂	0.02(5)	0.29(92)	0.69(221)	299.23 ( $P<0.01$ )	0.17	0.83	356.55 ( $P<0.01$ )
	高脂	0.45(131)	0.49(142)	0.06(18)		0.70	0.30	

2.3 6个位点多态性与鸡生长和体组成性状的相关分析

在高、低肉鸡腹脂双向选择品系第14世代群体和AA肉鸡商业随机群体中进行基因型与生长和体组成性状的相关分析,各位点对性状的影响(P值)见表4,基因型效应间的多重比较结果见表5。结果表明SNP1位点的多态性对NEAUHLFG14的AFW、AFP、CW和LW有显著影响( $P<0.05$ ),并且这四种性状的CC和CT基因型个体最小二乘均值

(以下简称为均值)均显著高于TT基因型个体( $P<0.05$ )。

SNP2位点的多态性对NEAUHLFG14的BW<sub>7</sub>、HW和VLDL有显著影响( $P<0.05$ ),BW<sub>7</sub>和VLDL的CC和TC基因型个体均值显著高于TT型个体( $P<0.05$ ),HW的TT和TC型个体均值显著高于TT型个体( $P<0.05$ );该位点的多态性对AA群体的SpW有显著影响( $P<0.05$ ),且CC型个体均值显著高于TC和TT型个体( $P<0.05$ )。

表4 六个多态位点对高、低脂双向选择品系14世代和AA肉鸡商业随机群体生长和体组成性状的影响  
 Table 4 Effects of six polymorphism on growth and body composition traits in NEAUHLFG14 and Arbor Acres (AA) commercial random population

性状 Traits	P值 P value											
	SNP1		SNP2		SNP3		SNP4		SNP5		SNP6	
	G14	AA	G14	AA	G14	AA	G14	AA	G14	AA	G14	AA
腹脂重(g)AFW	0.0149	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
腹脂率(%)AFP	0.0191	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
1周龄体重(g)BW <sub>1</sub>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.0145
3周龄体重(g)BW <sub>3</sub>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.0187	NS	NS
5周龄体重(g)BW <sub>5</sub>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
7周龄体重(g)BW <sub>7</sub>	NS	NS	0.0312	NS	NS	NS	0.0296	0.0259	NS	NS	NS	NS
屠体重(g)CW	0.0442	NS	NS	NS	NS	NS	0.0468	NS	NS	NS	NS	NS
肝脏重(g)LW	0.0445	NS	NS	NS	NS	0.0066	NS	NS	NS	NS	NS	0.0081
心脏重(g)HW	NS	NS	0.0096	NS	NS	NS	0.0163	NS	NS	NS	NS	NS
脾脏重(g)SpW	NS	NS	NS	0.0447	NS	NS	NS	0.0484	0.0018	NS	NS	NS
睾丸重(g)TeW	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
极低密度脂蛋白浓度 VLDL (nmol · L <sup>-1</sup> )	NS	NS	0.0305	NS	<0.0001	NS	0.0002	NS	NS	NS	0.0026	NS

注: NS表示P>0.05。  
 Note: NS denote P>0.05.

表5 高、低脂双向选择品系第14世代中各位点基因型间多重比较

Table 5 Multiple comparisons among least-squares means with different genotypes in NEAUHLFG14

位点 Loci	群体 Generation	性状 Traits	基因型 Genotype			
			CC	TC	TT	
SNP1	G14	AFW(g)	66.67±2.67a	68.53±2.78a	55.09±2.45b	
		AFP(%)	0.03±0.00a	0.03±0.00a	0.03±0.00b	
		CW(g)	2 020.86±11.16a	2 020.96±12.03a	1 969.77±10.18b	
		LW(g)	55.44±1.69a	56.28±1.78a	48.58±1.54b	
SNP2	G14	BW <sub>7</sub> (g)	2 223.66±27.27a	2 195.14±14.14a	2 143.88±19.49b	
		HW(g)	9.81±0.19b	10.42±0.11a	10.36±0.14a	
		VLDL(吸光度)	0.27±0.01a	0.26±0.01a	0.24±0.01b	
SNP3	AA	SpW(g)	3.54±0.12a	3.29±0.10b	3.19±0.15b	
		G14	VLDL(吸光度)	0.17 ±0.02b	0.19±0.02b	0.32±0.02a
			LW(g)	54.70±2.12ab	57.94±0.86a	54.99±0.72b
SNP4	G14	VLDL(吸光度)	0.33±0.02a	0.25±0.01b	0.25±0.01b	
		BW <sub>7</sub> (g)	2 256.11±44.36a	2 192.55±15.43a	2 141.79±21.16b	
		CW(g)	2 063.44±44.56a	1 993.48±15.02ab	1 951.50±20.76b	
	AA	HW(g)	11.18±0.29a	10.31±0.10b	10.31±0.14b	
		BW <sub>7</sub> (g)	2 675.27±27.23b	2 706.07±27.21b	2 842.61±56.72a	
		SpW(g)	3.48±0.11a	3.29±0.11ab	3.01±0.19b	
SNP5	G14	SpW(g)	3.91±0.17a	3.38±0.08b	3.22±0.10b	
	AA	BW <sub>3</sub> (g)	578.57±12.11b	608.43±9.65ab	628.78±13.02a	
SNP6	AA	VLDL(吸光度)	0.25±0.02b	0.25±0.01b	0.30±0.013a	
		BW <sub>1</sub> (g)	119.29±2.03a	113.97±1.42b	114.79±1.82b	
		LW(g)	57.68±1.03a	56.29±0.60a	53.85±0.87b	

注：同行字母不同表示差异显著(P<0.05)。  
 Note: Different letters within a column mean significant difference (P<0.05).

SNP3 位点的多态性对 NEAUHLFG14 的 VLDL 有显著影响( $P<0.05$ ), 且 TT 型个体均值显著高于 TC 和 CC 型个体( $P<0.05$ ); 该位点的多态性对 AA 群体的 LW 有显著影响( $P<0.05$ ), 且 TC 型个体均值显著高于 TT 型个体( $P<0.05$ )。

SNP4 位点多态性对 NEAUHLFG14 的  $BW_7$ 、CW、HW 和 VLDL 有显著影响( $P<0.05$ ), CC 型个体的 VLDL 和 HW 显著高于 TC 和 TT 型个体( $P<0.05$ ), CC 和 TC 基因型个体的  $BW_7$  显著高于 TT 型个体( $P<0.05$ ), CC 型个体的 CW 显著高于 TT 型个体( $P<0.05$ ); 该位点的多态性对 AA 群体的  $BW_7$  和 SpW 有显著影响( $P<0.05$ ), 且 TT 型个体的  $BW_7$  显著高于 TC 和 CC 型个体( $P<0.05$ ), CC 型个体的 SpW 显著高于 TT 型个体( $P<0.05$ )。

SNP5 位点多态性对 NEAUHLFG14 的 SpW 有显著影响( $P<0.05$ ), 且 CC 型个体均值显著高于 TC 和 TT 型个体( $P<0.05$ ); 该位点的多态性对 AA 群体的  $BW_3$  有显著影响( $P<0.05$ ), TT 型个体均值显著高于 CC 型个体( $P<0.05$ )。

SNP6 位点多态性对 NEAUHLFG14 的 VLDL 有显著影响( $P<0.05$ ), 且 GG 型个体均值显著高于 AA 和 AG 型个体( $P<0.05$ ); 该位点的多态性对 AA 群体的  $BW_1$  和 LW 有显著影响( $P<0.05$ ), 且 AA 个体  $BW_1$  显著高于 AG 和 GG 型个体( $P<0.05$ ), AA 和 AG 型个体的 LW 显著高于 GG 型个体( $P<0.05$ )。

### 3 讨论与结论

rs14483313 突变位于 *KDR* 基因上, *KDR* 基因也叫做 *Flk I*、VEGF-2, 血管内皮生长因子 2 (Vascular endothelial growth factor-2, VEGF-2) 是血管内皮生长因子家族成员<sup>[1]</sup>, 它与血管的生成及造血功能有关<sup>[2]</sup>。有研究表明血管生成与脂肪生成在时间和空间上有很大的联系。在时间上关于脂肪组织发育研究指出, 胚胎期血管的生成早于脂肪的生成<sup>[3]</sup>。在空间上新血管生成总是伴随着脂肪细胞的分化, 在这个过程中 VEGF 是关键因子<sup>[4]</sup>。肥胖与骨骼肌毛细血管密度降低有关<sup>[5]</sup>, 抑制血管生成可以减少脂肪聚集<sup>[6-9]</sup>。可以看出血管生成与脂肪生成之间存在密切关系。

本研究结果显示, rs14483313(SNP1) 突变对 AA 肉鸡商业随机群体腹脂性状的影响未达到显著水平。但对高、低脂肉鸡双向选择品系第 14 世代

AFW 和 AFP 都有显著影响( $P<0.05$ ), 这与前期 GWAS 在高、低脂肉鸡双向选择品系第 11 世代所得结果一致。该位点在 NEAUHLFG14 的低脂系中所有个体均为 TT 基因型, 推测 T 等位基因有可能经过前几个世代的选择已固定。从基因型效应来看, TT 基因型个体 AFW、AFP 显著低于 CC 型个体( $P<0.01$ ), 所以, T 等位基因是降低鸡腹脂沉积的等位基因, 在育种中可以尝试选择 TT 基因型个体培育低脂肉鸡品系。

研究发现, rs13548811(SNP2) 突变对高、低脂肉鸡双向选择品系第 14 世代群体后期体重性状有影响, 从 3~7 周龄逐渐增大, 到 3、5 周龄时已接近显著( $P$  值分别为 0.0736, 0.0637, 表 4 中未给出), 7 周龄时达到显著水平( $P<0.05$ )。CC 型个体的 7 周龄体重显著高于 TT 型个体( $P<0.05$ ), CC 基因型和 C 等位基因在低脂系中的频率显著高于在高脂系中的频率, 以此推断 CC 基因型为高、低脂系中体重性状的有利基因型, 可以尝试在育种中通过选择此基因型个体提高鸡的体重性状。

GGaluGA263078(SNP4) 突变对鸡 7 周龄体重有显著影响, 尤其在 NEAUHLFG14 和 AA 群体遗传背景不同的群体中该位点对  $BW_7$  的影响一致( $P<0.05$ ), 因此推测该位点很可能是影响鸡体重性状的致因突变位点, 或与致因突变位点紧密连锁。

本文所研究的 6 个突变位点在高、低脂肉鸡双向选择品系第 11 世代中都与腹脂性状显著相关, 但在 NEAUHLFG14 和 AA 群体中却无一致结果。群体的遗传背景不同是造成群体间相关分析不一致的重要原因之一。高、低脂双向选择品系是一个对腹脂性状经过多世代选择的群体, 随着从第 11 世代到第 14 世代的选择, 该群体基因组位点间连锁不平衡程度发生了变化; 与高、低脂双向选择品系群体相比, AA 随机群体未经过特定性状选择群体, 其遗传背景(基因的等位基因频率、基因位点连锁不平衡程度等)不同的。这时突变位点与影响鸡腹脂性状的致因突变紧密连锁。

在这 6 个突变位点中有 4 个(SNP2、SNP3、SNP4 和 SNP6)都与 NEAUHLFG14 的 VLDL 浓度显著相关( $P<0.05$ )。有研究表明, VLDL 浓度是间接度量鸡体肥度的最好指标, 血浆 VLDL 浓度与腹脂重和腹脂率呈显著的正表型相关, 相关系数为 0.4168 和 0.3576<sup>[10]</sup>, 对血浆 VLDL 浓度的低向选择

会使腹脂沉积减少<sup>[11]</sup>。结果表明, 这些基因可能对鸡的腹部脂肪组织生长和发育发挥重要作用。

综上所述, 这六个基因可能是影响鸡腹脂性状的重要基因, 但本研究中的多态位点是否为功能性位点需进一步验证。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Hu J S, Hastings G A, Cherry S, et al. A novel regulatory function of proteolytically cleaved VEGF-2 for vascular endothelial and smooth muscle cells[J]. *FASEB J*, 1997, 11(6): 498-504.
- [ 2 ] Shalaby F, Ho J, Stanford W L, et al. A requirement for Flk1 in primitive and definitive hematopoiesis and vasculogenesis[J]. *Cell*, 1997, 89(6): 981-990.
- [ 3 ] Neels J G, Thinnis T, Loskutoff D J. Angiogenesis in an *in vivo* model of adipose tissue development[J]. *FASEB J*, 2004, 18(9): 983-985.
- [ 4 ] Nishimura S, Manabe I, Nagasaki M, et al. Adipogenesis in obesity requires close interplay between differentiating adipocytes, stromal cells, and blood vessels[J]. *Diabetes*, 2007, 56(6): 1517-1526.
- [ 5 ] Gavin T P, Stallings H R, Zwetsloot K A, et al. Lower capillary density but no difference in VEGF expression in *obese* vs. lean young skeletal muscle in humans[J]. *J Appl Physiol*, 2005, 98(1): 315-321.
- [ 6 ] Rupnick M A, Panigrahy D, Zhang C Y, et al. Adipose tissue mass can be regulated through the vasculature[J]. *Proc Natl Acad Sci*, 2002, 99(16): 10730-10735.
- [ 7 ] Liu L, M M. Angiogenesis Inhibitors may regulate adiposity[J]. *Nutrition Reviews*, 2003, 61(11): 384.
- [ 8 ] Fukumura D, Ushiyama A, Duda D G, et al. Paracrine regulation of angiogenesis and adipocyte differentiation during *in vivo* adipogenesis[J]. *Circ Res*, 2003, 93(9): 88-97.
- [ 9 ] Kolonin M G, Saha P K, Chan L, et al. Reversal of obesity by targeted ablation of adipose tissue[J]. *Nat Med*, 2004, 10(6): 625-632.
- [ 10 ] 李辉, 龚道清. 肉鸡血浆极低密度脂蛋白浓度与屠体肥度性状的相关研究[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 1997(8): 1-5.
- [ 11 ] 李辉, 王静. 蛋用型鸡血浆极低密度脂蛋白浓度与蛋黄脂肪酸含量的相关研究[J]. *新疆农业科技*, 1996(1): 54-57.