

苏太猪 *Mx1* 基因第 14 外显子多态性及其与繁殖性能的关联分析

吴圣龙¹, 包文斌¹, 鞠慧萍¹, 黄雪根², 华金第², 陈国宏^{1*}

(1. 扬州大学动物科学与技术学院, 扬州 225009; 2. 江苏省苏州市苏太猪育种中心, 苏州 215128)

摘要: 采用 PCR-RFLP 方法对苏太猪 *Mx1* 基因第 14 外显子的多态性进行分析, PCR 产物经 *Hin6 I* 酶切后, 共检测到 3 个等位基因, 6 种基因型。卡方检验结果表明, 苏太猪在 *Mx1* 基因 *Hin6 I* 酶切位点已经达到 Hardy-Weinberg 平衡状态。基因型为 BC 的种母猪第 3 胎总产仔数、产活仔数、初生窝重、断奶仔猪数和断奶窝重均显著高于基因型为 BB 的个体 ($P < 0.05$), 也高于基因型为 AA、AB、AC 和 CC 的个体, 但是差异不显著 ($P > 0.05$)。通过测序在扩增片段中新发现了 3 种类型的碱基突变, 前 2 个分别导致了 Thr 和 Glu 向 Ala 和 Arg 的替换, 最后一个突变不引起氨基酸的变化, 且后两个突变位点为 BB 基因型所特有; 本研究提示 Mx 蛋白 Glu→Arg 的突变位点可能与其抗病毒能力有关。

关键词: 猪; *Mx1* 基因; 繁殖性能

中图分类号: S828.2

文献标识码: A

文章编号: 0336-6964(2007)10-1015-06

Polymorphism of the Exon 14 of *Mx1* Gene and Its Relationship with Reproductive Performance in Sutai Pigs

WU Sheng-long¹, BAO Wen-bin¹, JU Hui-ping¹, HUANG Xue-gen²,
HUA Jin-di², CHEN Guo-hong^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Center of Sutai Pig Breeding, Suzhou 215128, China)

Abstract: Polymorphisms in exon 14 of *Mx1* gene were detected by PCR-RFLP in Sutai pigs. Six genotypes and three alleles were observed when exon 14 of *Mx1* gene was digested by *Hin6 I* restriction enzyme. The results of Chi Square test indicated that the frequencies patterns of exon 14 of *Mx1* gene were fit with Hardy-Weinberg equilibrium in Sutai pigs population. Correlation between genotypes and reproductive performances (total litter size, number born alive, birth litter weight, number weaning piglets and weaning litter weight in the third litter) of Sutai pigs was similarly analyzed. The results indicated that reproductive performances of Sutai pigs with BC genotype were significantly ($P < 0.05$) higher than those with BB, AA, AB, AC and CC genotypes. Three new points mutation were identified by sequencing PCR products, two of which resulted in Thr→Ala and Glu→Arg were missense mutation, and the last was a silence mutation. Glu→Arg point mutation and silence mutation were appeared in the individuals with BB genotype. The results also indicated that the point mutation Glu→Arg may influence the virus resistance of Mx protein in pigs.

Key words: porcine; *Mx1* gene; reproductive performance

Mx (*Myxo-virus resistance*) 基因, 即抗黏液病毒基因, 受 IFN α/β 调节, 抗性和易感性受常染色体上单一显性等位基因 (Mx^+ 或 Mx^-) 控制^[1,2]。人和老鼠的 *Mx1* 的羧基末端存在着突变, Noteborn 等^[3] 人为切断鼠科动物 *Mx1* 基因最后 19 个碱基, 能够导致核蛋白完全不能沉积, 并推断截去的区域包含有核特定区域信号^[4,5]。小鼠的缺失或移码, *Mx* 族都能表现与滤过性病毒的易感性有关, 具体为 *Mx1* 基因与流感病毒有关^[6,7], *Mx2* 基因与水疱性口炎病毒 (VSV) 有关^[8]。Horisberger 等^[9] 研究发现诱导猪细胞的 *Mx* 蛋白可以抑制流感病毒、水疱性口炎病毒 (VSV) 和门戈病毒的生长, Zhang 等^[10] 研究认为感染猪繁殖与呼吸综合征病毒会诱导猪 *Mx1* 的表达。猪是动物和人类间传播流感病毒的重要媒介, 猪 *Mx1* 基因定位于第 13 号染色体上, 包含一个含有 663 个氨基酸碱基的开放式阅读框, 其结构和功能特性与牛、鼠、鸡均具有很高的同源性^[11], 并和人的 *MxA* 基因相似^[12], 因此对猪 *Mx1* 基因进行研究对控制流感病毒的传播具有重要的作用。已有研究表明, 人类 *Mx1* 基因羧基末端附近的 Glu \rightarrow Arg 的替换能够抑制流感病毒的增殖, 但对 VSV 的感染没有抵抗力^[13]。鸡的 *Mx* 蛋白的抗病毒活性受 631 位氨基酸的影响^[14], 即 *Mx1* 基因 cDNA 第 2 032 位核苷酸 G 与 A 之间突变的影响, 当 631 位氨基酸为天冬酰胺时有抗病毒活性, 为丝氨酸时则无抗病毒活性^[15]。但目前人们对猪 *Mx1* 蛋白和基因的功能还了解甚少^[16]。

苏太猪是历经 15 年培育成功的中国瘦肉型猪新品种, 具有生产性能优良、肉质鲜美等优点。本研究利用 PCR-RFLP 方法对苏太猪 *Mx1* 基因第 14 外显子进行多态性分析, 并探讨其与繁殖性能之间的相关性, 可为进一步研究猪 *Mx1* 基因与疾病的相关性提供一定依据, 并为猪抗病育种研究提供新的思路和途径, 同时还可更好地保存和利用苏太猪这一瘦肉型猪种遗传资源奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

苏太猪种母猪 158 头采自苏州市苏太猪育种中心, 每个个体采耳组织块约 1.0 g, 放入 1.5 mL 的 Eppendorf 管置于冰盒中取回实验室, 采用常规的苯酚/氯仿抽提方法提取基因组 DNA, 并将 DNA 样品稀释至 100 ng/ μ L 备用。

1.2 引物设计

根据所获得的猪 *Mx1* 基因序列 (GenBank 登录号为 M65087), 并参照文献 [7] 设计引物。Forward: 5'-TGAAGGAGCGGCTGATGC-3', Reverse: 5'-GGCGGGGCTCATTCAAGT-3', 由上海生工生物工程技术有限公司合成。

1.3 PCR 扩增

PCR 扩增体系 (15 μ L): DNA 模板 (100 ng/ μ L) 1.5 μ L, 10 \times Buffer (含 Mg^{2+}) 1.5 μ L, dNTPs 混合物 (各 2.5 mmol/L) 1 μ L, 引物 (5 pmol/L) 各 1.2 μ L, *Taq* 酶 (5 U/ μ L) 0.12 μ L, 加灭菌蒸馏水补足至 15 μ L。PCR 反应程序为: 94 $^{\circ}$ C 预变性 5 min; 94 $^{\circ}$ C 变性 30 s, 58.8 $^{\circ}$ C 退火 45 s, 72 $^{\circ}$ C 延伸 45 s, 共进行 30 个循环; 然后 72 $^{\circ}$ C 后延伸 8 min; 最后放入 4 $^{\circ}$ C 保存备用。PCR 产物在 1% 琼脂糖凝胶中电泳, 结束后用 UVP 凝胶成像系统分析检测扩增结果。

1.4 RFLP 分析

选用 *Hin6 I* 对 PCR 产物进行消化, 酶切反应总体积为 10 μ L, 其中 PCR 扩增产物 3 μ L, 限制性内切酶 0.2 μ L (10 U/ μ L), 10 \times Buffer 1 μ L, ddH₂O 5.8 μ L, 置 37 $^{\circ}$ C 恒温反应 2 h 后经 8% 的聚丙烯酰胺凝胶电泳, 银染分析。

1.5 多态片段的序列测定

根据 PCR-RFLP 分析结果, 选取不同基因型的纯合子进行序列测定。PCR 产物经电泳鉴定后, 用胶回收试剂盒 (BBI, Canada) 回收目标片段、纯化后, 交由上海生工生物工程技术有限公司 ABI PRISM 377 DNA 自动测序仪完成序列测定。

1.6 繁殖性能的测定及统计分析

基因及基因型频率根据 Hardy-Weinberg 平衡定律进行计算, $p = P + H/2$, $q = Q + H/2$, $\chi^2 = \Sigma d^2/e$, 其中 $d = e - o$ 是期望值与观测值之差, p, q 表示给定位点上的等位基因的频率。测定种母猪第 3 胎次总产仔数、产活仔数、初生窝重、断奶仔猪数和断奶窝重, 利用 SPSS11.5 软件的广义线性模型 (General Linear Model, GLM) 对各性状值与酶切后产生的基因型间的关系进行最小二乘法估计。

2 结果与分析

2.1 PCR 扩增结果

根据 GenBank 上公布的猪 *Mx1* 基因的序列, 本研究扩增的 *Mx1* 基因第 14 外显子片段长度应为

290 bp 左右,PCR 扩增产物经 1% 琼脂糖检测结果见图 1,与预期的扩增片段大小相一致。

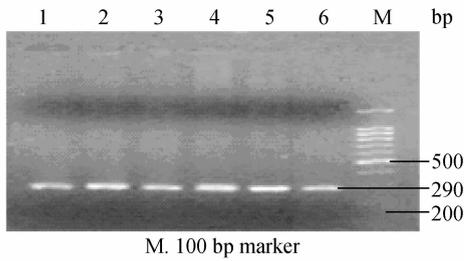


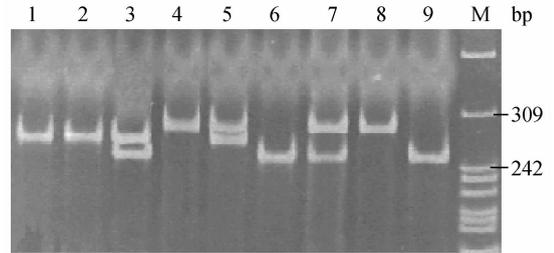
图 1 *Mx1* 基因外显子 14 PCR 产物电泳图谱

Fig. 1 Image of PCR products of the exon 14 of *Mx1* gene

2.2 扩增产物的 PCR-RFLP 分析

扩增产物经限制型内切酶 *Hin6 I* 消化后产生 6 种带型,分别命名为 AA、BB、CC、AB、AC 和 BC。扩增片段存在一个 *Hin6 I* 酶切位点,酶切后产生 35 bp/255 bp 带型(基因型为 AA),其中第 36 bp 处为多态性酶切位点,当此酶切位点因发生 G/T 突变而消失时,扩增片段不能被消化仅产生一个 290 bp 的片段(基因型为 BB),同时 *Mx1* 基因在该扩增片段中存在一个包含有 *Hin6 I* 酶切位点 11 bp 的碱

基缺失,从而使得整个扩增片段比预期的 290 bp 短,且不能被 *Hin6 I* 消化,形成基因型 CC。部分猪种 *Mx1* 基因的 PCR-RFLP 电泳结果见图 2。



6,9. AA;4,8. BB;3. AC;5. BC;1, 2. CC;7. AB

图 2 苏太猪 *Mx1* 基因第 14 外显子 *Hin6I* 酶切结果

Fig. 2 Band patterns of the exon14 of *Mx1* gene digested with *Hin6I* in Sutai pigs

2.3 苏太猪 *Mx1* 基因第 14 外显子基因型及其等位基因频率

利用 PCR-RFLP 方法对 158 个个体进行检测,分型后计算出基因型频率和等位基因频率。由表 1 可以看出,苏太猪共出现 3 种等位基因,共计 6 种基因型,其中 A 为优势等位基因,其频率为 0.576 5。

表 1 苏太猪 *Mx1* 基因第 14 外显子 PCR-RFLP 基因型频率及等位基因频率

Table1 Genotype and allele frequencies of *Mx1* gene exon 14 by PCR-RFLP in Sutai pigs

数量 No.	基因型频率 Genotype frequency						等位基因频率 Allele frequency			χ^2 值 χ^2 value
	AA	BB	CC	AB	AC	BC	A	B	C	
158	0.355(56)	0.025(4)	0.063(10)	0.190(30)	0.253(40)	0.114(18)	0.576 5	0.177 0	0.246 5	1.01 ^{ns}

χ^2 值为对不同基因型分布的 Hardy-Weinberg 平衡检验值;上标 ns 表示没有达到显著水平 ($P > 0.05$)

χ^2 values means the test values of different genotype to Hardy-Weinberg balance; Means with ns in column are no significant difference ($P > 0.05$)

χ^2 适合性检验表明,苏太猪 *Mx1* 基因外显子 14 *Hin6 I* 酶切位点的 χ^2 为 1.01,低于显著水平 ($P > 0.05$),说明苏太猪在 *Mx1* 基因 *Hin6I* 酶切位点已经达到 Hardy-Weinberg 平衡状态。

2.4 纯合基因型的 PCR 产物测序

随机抽取 3 种纯合子基因型个体各 2 个样本进行测序,利用 Align IR 软件将测序结果与 GenBank 序列(GenBank 登录号为 AB164037 和 M65087)进行比对,结果如下:

通过比对发现,在酶切位点处,AA 型个体的序列与 GenBank 中的 2 个序列完全一致,为野生型,BB 型个体出现 G36T 突变,CC 型存在包含有酶切

位点的 11 个碱基缺失。另外,还发现,扩增片段在 1~120 bp 间还存在其他 3 种类型的突变,分别分布于 3 种类型的基因型中(见图 4)。

2.5 *Mx1* 基因外显子 2 多态性与繁殖性能的关联分析

由表 2 可见,基因型为 BC 的种母猪第 3 胎总产仔数、产活仔数、初生窝重、断奶仔猪数和断奶窝重均显著高于基因型为 BB 的个体 ($P < 0.05$),也高于基因型为 AA、AB、AC 和 CC 的个体,但是差异不显著 ($P > 0.05$)。就苏太猪繁殖性能而言,BC 为有利基因型,BC 基因型个体的繁殖性能最高;而 BB 为不利基因型,BB 基因型个体的繁殖性能最低。

AB164037	TGAAGGAGC GGCTGATGCG GCTGACCCAG GCTCGGCGCC GGCTCGCCAA GTTCCCAGGC	60
M65087	TGAAGGAGC GGCTGATGCG GCTGACCCAG GCTCGGCGCC GGCTCGCCAA GTTCCCAGGC	60
AA	TGAAGGAGC GGCTGATGCG GCTGACCCAG GCTCGGCGCC GGCTCGCCAA GTTCCCAGGC	60
BB	TGAAGGAGC GGCTGATGCG GCTGACCCAG GCTCGGCGCC GGCTCGCCAA GTTCCCAGGC	60
CC	TGAAGGAGC GGCTGATGCG GCTGACCCAG GCTCGGCGCC GGCTCGCCAA GTTCCCAGGC	60
AB164037	TGAACCGGAC TCTCCAGGCG GCCCGGGGTC TCCAGGGCAC GTCTCCAGGC AACGAGGACC	120
M65087	TGAACCGGAC TCTCCAGGCG GCCCGGGGTC TCCAGGGCAC GTCTCCAGGC AACGAGGACC	120
AA	TGAACCGGAC TCTCCAGGCG GCCCGGGGTC TCCAGGGCAC GTCTCCAGGC AACGAGGACC	120
BB	TGAACCGGAC TCTCCAGGCG GCCCGGGGTC TCCAGGGCAC GTCTCCAGGC AACGAGGACC	120
CC	TGAACCGGAC TCTCCAGGCG GCCCGGGGTC TCCAGGGCAC GTCTCCAGGC AACGAGGACC	120

图 3 Mx1 基因第 14 外显子部分序列的比对结果(1~120 bp)
Fig. 3 Sequencing comparison analysis of exon14 of Mx1 gene(1-120 bp)

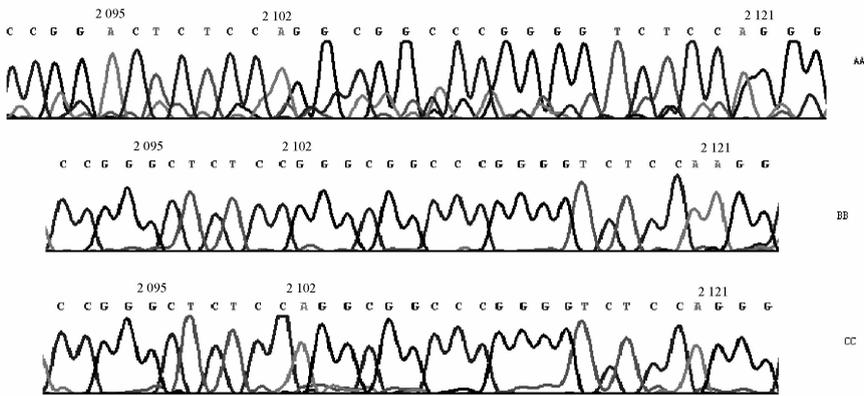


图 4 3 种基因型中的 3 个新突变位点
Fig. 4 Three new mutation points in three genotypes

表 2 苏太猪 Mx1 基因外显子 14 与第 3 胎繁殖性能关系

Table 2 The relationship between exon14 of Mx1 gene and productive performance in the third litter of Sutai pigs

基因型 Genotype	个体数 No.	总产仔数/头 Total litter size	产活仔数/头 Number born alive	初生窝重/kg Birth litter weight	断奶仔猪数/头 Weaning piglets	断奶窝重/kg Weaning litter weight
AA	56	13.11 ± 2.89 ^{ab}	11.54 ± 2.52 ^{ab}	13.36 ± 2.79 ^{ab}	10.04 ± 2.33 ^{ab}	69.82 ± 13.03 ^{ab}
AB	30	12.60 ± 2.69 ^{ab}	11.67 ± 2.09 ^{ab}	12.80 ± 1.78 ^{ab}	10.73 ± 1.98 ^{ab}	72.93 ± 11.40 ^{ab}
AC	36	12.89 ± 3.74 ^{ab}	11.72 ± 3.10 ^{ab}	12.67 ± 3.05 ^{ab}	10.83 ± 2.81 ^{ab}	72.22 ± 18.63 ^{ab}
BB	4	10.50 ± 2.12 ^a	9.00 ± 1.41 ^a	10.00 ± 1.41 ^a	8.50 ± 2.12 ^a	58.00 ± 14.14 ^a
BC	8	15.75 ± 3.10 ^b	13.50 ± 1.29 ^b	15.50 ± 1.73 ^b	11.75 ± 1.71 ^b	86.00 ± 6.27 ^b
CC	6	13.03 ± 4.04 ^{ab}	11.33 ± 2.31 ^{ab}	13.33 ± 2.08 ^{ab}	10.33 ± 2.31 ^{ab}	71.00 ± 12.12 ^{ab}

肩标字母相同为差异不显著(P > 0.05), 字母不同差异显著(P < 0.05)

The same superscripts means not significant difference (P > 0.05), different letter means significant difference (P < 0.05)

3 讨论

本研究采用 PCR-RFLP 方法检测了苏太猪

Mx1 基因第 14 外显子的多态性, 结果检测到 3 种等位基因, 共计 6 种基因型, 比 Takeya 等^[17]对国外猪种的研究结果多了一个 BC 基因型。苏太猪 Mx1

基因第 14 外显子显示的高度多态性可能与其本身的育种途径有关,因为苏太猪同时具有外来猪种杜洛克和地方猪种梅山猪的血统。不同猪种间 *Mx1* 基因型的分布差异,特别是国内地方猪种与外来猪种间基因型频率分布差异以及这种差异与抗病力的关联性分析应是今后研究的重点之一。

χ^2 适合性检验表明,苏太猪在 *Mx1* 基因 *Hin6 I* 酶切位点已经达到 Hardy-Weinberg 平衡状态,这说明长期的人工选择对该猪种 *Mx1* 基因没有造成影响。值得注意的是,苏太猪 *Mx1* 基因外显子 14 上杂合子 BC 基因型个体的繁殖性能最高,而纯合子 BB 基因型个体的繁殖性能最低。说明目前如果仅仅针对苏太猪的纯度提高采取选育措施,可能在一定程度上会影响苏太猪的繁殖性能。今后应该将常规育种技术和分子标记辅助选择相结合培育苏太猪专门化的配套系,对苏太猪进行系统保种和选育,以充分发挥苏太猪的生产潜力。

Atsushi 等^[18]通过对猪 PK(15)和 LLC-PK1 细胞中 *Mx1* 基因的 cDNA 序列进行比较,结果发现从 PK(15)细胞中分离出 *Mx1* 基因 cDNA 编码区的 3'末端同样存在一个 11 bp 的缺失,缺失序列和本研究中完全一致。Takeya 等^[17]通过比较小鼠和人 *Mx1* 基因序列,获得了猪 *Mx1* 基因的内含子和外显子结构,并根据 GenBank 序列(M65087)扩增了猪 *Mx1* 基因第 14 外显子共 586 bp,通过测序发现了 2 种新的突变,即本研究中 BB 型个体第 36 bp 处的 G/T 突变和 11 bp 的缺失,但是其 11 bp 的缺失序列和本研究中的序列不完全一致,这种不同是否与品种或个体的差异有关,还有待今后进一步的研究证实。

本研究通过对扩增产物进行测序时新发现了 3 个位点的突变,前 2 个分别导致了 Thr 和 Glu 向 Ala 和 Arg 的替换,最后一个突变不引起氨基酸的变化,这些替换可能影响该基因的结构功能和表达,并对其抗流感病毒能力具有一定的影响。尤其值得注意的是,3 个位点的突变中后 2 个为 BB 基因型所独有,基因型 BB 是否在其他中国地方猪种中也有分布,这种类型的品种或个体的抗病毒能力如何,值得今后进一步系统和全面的分析研究,以期对猪的抗病育种研究提供更为有效的参考和指导。

Atsushi 等^[18]比较了猪 PK(15)细胞和 LLC-PK1 细胞中 *Mx1* 基因的抗滤过性病原体的能力,并对猪 *Mx1* 基因多态性与 VSV 的抗病性的相关性

进行了分析,认为猪 *Mx1* 基因 C 末端的结构差异对抗 VSV 的能力没有影响。但是各个猪种 *Mx1* 基因的变异及其碱基置换是否会影响其对流感病毒、VSV 或其他病毒的抗病毒能力迄今还没有明确的报道。猪的繁殖性能在第 3 胎次比较稳定,因此第 3 胎次繁殖性能在猪的选育中是非常重要的指标之一,本试验结果表明,基因型为 BC 的种母猪第 3 胎总产仔数、产活仔数、初生窝重、断奶仔猪数和断奶窝重均显著高于基因型为 BB 的个体 ($P < 0.05$), BC 基因型个体的繁殖性能最高;而 BB 为不利基因型, BB 基因型个体的繁殖性能最低。本研究中,有 2 个突变位点为 BB 基因型所特有,其中一个导致了 Mx 蛋白 Glu 向 Arg 的替换。种母猪的抗病力包括抗病毒能力对其繁殖性能具有一定的影响^[19,20],因此本试验的结果提示我们,导致 Mx 蛋白 Glu→Arg 的这个突变位点可能与猪的抗病毒能力有关,今后应该引起充分关注并进行深入的分析研究。

参考文献:

- [1] Lindenmann J, Lane C A, Hobson D. The resistance of A2G mice to orthomyxoviruses [J]. J Immunol, 1963, 90: 942~951.
- [2] Jin H K, Yamashita T, Ochiai K, *et al.* Characterization and expression of the *Mx1* gene in wild mouse species [J]. Biochem Genet, 1998, 36(9-10): 311~322.
- [3] Noteborn M, Arnheiter H, Richter-Mann L, *et al.* Transport of the murine Mx protein into the nucleus is dependent on a basic carboxy-terminal sequence [J]. J Interferon Res, 1987, 7(5): 657~669.
- [4] Kalderon D, Richardson W D, Markham A F, *et al.* Sequence requirements for nuclear location of simian virus 40 large-T antigen [J]. Nature, 1984, 311(5 981): 33~38.
- [5] Lanford R E, Butel J S. Construction and characterization of an SV40 mutant defective in nuclear transport of T antigen [J]. Cell, 1984, 37(3): 801~813.
- [6] Staeheli P, Haller O, Boll W, *et al.* Mx protein: Constitutive expression in 3T3 cells transformed with cloned Mx cDNA confers selective resistance to influenza virus [J]. Cell, 1986, 44(1): 147~158.
- [7] Staeheli P, Grob R, Meier E, *et al.* Influenza virus-susceptible mice carry *Mx* genes with a large deletion or a nonsense mutation [J]. Mol Cell Biol, 1988, 8(10): 4 518~4 523.

- [8] Jin H K, Takada A, Kon Y, *et al.* Identification of the murine *Mx2* gene: Interferon-induced expression of the Mx2 protein from the feral mouse gene confers resistance to vesicular stomatitis virus [J]. *J Virol*, 1999, 73(6): 4 925~4 930.
- [9] Horisberger M A. Virus-specific effects of recombinant porcine interferon- γ and the induction of Mx proteins in pig cells [J]. *J Interferon Res*, 1992, 12(6): 439~444.
- [10] Zhang X, Shin J, Molitor T W, *et al.* Molecular responses of macrophages to porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection [J]. *Virology*, 1999, 262(1): 152~162.
- [11] Thomas A V, Palm M, Broers A D, *et al.* Genomic structure, promoter analysis, and expression of the porcine (*Sus scrofa*) *Mx1* gene [J]. *Immunogenetics*, 2006, 58(5-6): 383~389.
- [12] Rettenberger G, Bruch J, Fries R, *et al.* Assignment of 19 porcine type I loci by somatic cell hybrid analysis detects new regions of conserved synteny between human and pig [J]. *Mamm Genome*, 1996, 7(4): 275~279.
- [13] Zurcher T, Pavlovic J, Staeheli P. Nuclear localization of mouse Mx1 protein is necessary for inhibition of influenza virus [J]. *J Virol*, 1992, 66(8): 5 059~5 066.
- [14] Ko J H, Takada A. Native antiviral specificity of chicken Mx protein depends on amino acid variation at position 631 [J]. *Anim Genet*, 2004, 35(2): 119~122.
- [15] Ko J H, Jin H K, Asano A, *et al.* Polymorphisms and the differential antiviral activity of the chicken *Mx* gene [J]. *J Genome Res*, 2002, 12(4): 595~601.
- [16] Junq K, Chae C. Expression of Mx protein and interferon-alpha in pigs experimentally infected with swine influenza virus [J]. *Vet Pathol*, 2006, 43(2): 161~167.
- [17] Takeya M, Cece S, Emiko N, *et al.* Three types of polymorphisms in exon 14 in porcine *Mx1* gene [J]. *Biochemical Genetics*, 2001, 39(7-8): 251~260.
- [18] Astushi A, Jae H K, Takeya M, *et al.* Polymorphisms and the antiviral property of porcine Mx1 protein [J]. *J Vet Med Sci*, 2002, 64(12): 1 085~1 089.
- [19] 王林云, 刘根桃, 李汝敏. 猪白细胞抗原与产仔性能的关系[J]. *畜牧兽医学报*, 1995, 26(4): 308~312.
- [20] 季海峰, 刘彦, 莫余忠, 等. 猪白细胞抗原和生殖激素水平对产仔性能的影响[J]. *华北农学报*, 2000, 333(2): 82~85.