

## 닭의 산육 및 산란형질과 SNP간의 연관성 분석에 대한 연구현황(총설)

김훈<sup>1</sup> · 최소영<sup>1</sup> · 이지연<sup>1</sup> · 홍영호<sup>2</sup> · 이성진<sup>1\*</sup>  
강원대학교 동물생명공학과<sup>1</sup>, 중앙대학교 동물생명공학과<sup>2</sup>

### Current Status of Study about Association of SNPs on Meat Quantity and Egg Production Traits in Chickens: An Overview

Hun Kim<sup>1</sup>, So-young Choi<sup>1</sup>, Ji-yeon Lee<sup>1</sup>, Yeong Ho Hong<sup>2</sup> and Sung-jin Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Biotechnology, Kangwon National University,

<sup>2</sup>Department of Animal Science and Technology, Chung-Ang University

#### ABSTRACT

Single nucleotide polymorphisms (SNPs), that usually occurs with a modification in single nucleotide among the population of 1000 nucleotides. Such changes in nucleotides have been investigated and been associated by meat scientist for economically important traits and to increase economical profits in stock breeding. Pluralities in the study have correlated SNPs of potential candidate gene with economically important traits in domestic animals have been put forward. In chickens, *INS*, *IGF1*, *IGF1R*, *IGFBP*, *CAPN1*, *CAPN3*, *GHSR*, *FATP1*, *FGFBP1*, *FGFBP2*, apoVIDL-II, PB1, miR-1614-3p, DAAM1, Wnt3A, LRP5, CHP, RHOA, MAPK9, SFRP1, ATGL, PGC-1 $\alpha$ , NPY, GnRHR, PRL, TGF $\beta$ 2, CASR, UCP, ADSL, STAT5b, LRP2 and CTSD genes have been found to have significant effects on body weight, breast muscle weight, carcass weight and egg number. For the similar reasons, SNPs of these genes have been considered useful DNA markers for the improvement economic value of poultry. Although further studies on different breeds of chickens would be required to segregate such dataset for different breeds of chickens.

(Key words: SNP, Chicken, Meat quantity trait, Egg production trait, Candidate gene)

#### I. 서론

국내 양계 산업은 오랜 기간 동안 체계적으로 산업화가 진행되었음에도 불구하고 아직 이렇다 할 국산 종계를 보유하지 못한 실정이다. 더욱이 한국 고유의 재래 닭의 경우 기본적인 유전 정보가 부족하여 이들의 개량 및 유전자원 확보에 어려움을 겪고 있는 실정이다(Lee 등, 2009). 최근 양계 산업도 다른 가축들과 함께 분자유전학과 세포유전학

의 기초 과학을 이용하여 육종에 응용하기 위해 많이 노력되어 지고 있다. 기존의 육종 방법은 경제형질 등의 검정기록을 이용한 전통적인 통계육종학적인 접근방법이 활용되었지만, 현재의 육종에 있어서는 기존의 방식과 함께 분자유전학적 방법을 이용한 육종모델들이 제시되어지고 있다(Shin 등, 2008).

동물의 유전체상에 약 1000개의 염기쌍 중 하나 정도의 빈도로 나타나는 염기의 변이를 단일 염기다형성 또는

\* Corresponding author: Sung-jin Lee, Dept. of Animal Biotechnology, College of Animal Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea. Tel: +82-33-250-8636, E-mail: sjlee@kangwon.ac.kr

SNP(single nucleotide polymorphism)이라고 한다(Bell, 2002; Wang과 Moulton, 2001). 이러한 SNP는 인간 유전체의 경우 약 200~300염기마다 한 개씩 존재 하는 것으로 추정되고 있다(Shin 등, 2008). 또한 닭의 전장 유전체에 해독완료(Hillier 등, 2004) 이후 닭에 존재하는 SNP를 발굴 및 분석하기 위한 협의체가 구성되어(Wong 등, 2004; Wang 등, 2005; ChickVD) 육용계, 산란계, 적색야계, Silkie 종간의 비교분석을 통하여 대규모 발굴과 함께 최근 차세대염기서열분석장치(next generation sequencing; NGS) 플랫폼의 개발로 인하여 SNP 발굴이 더 가속화가 기대되어진다(Davey 등, 2011). 이러한 SNP는 가축에서 기존 육종의 단점을 보완하기 위한 방법으로 사용되며, DNA marker를 이용한 육종 혹은 마커를 이용한 선발(marker-assisted selection, MAS) 통하여 유전능력 평가에 있어서 보다 정확성과 효율성 높이기 위한 다양한 축종의 경제형질에서 연관된 분자 마커의 개발을 위한 연구가 이루어지고 있다(Lee 등, 2004; Oh 등, 2005; Kim 등, 2006; Cheong 등, 2007; Hong 등, 2007; Kong 등, 2007; Cho 등, 2008; Kim 등, 2009; Lee 등, 2009; Fontanesi 등, 2010; Xu 등, 2010; Jang 등, 2011; Hirose 등, 2011).

다양한 방법을 통한 SNP의 발굴을 통하여 확인된 SNP 이용하여 분자유전학적 검증을 통해 이전의 육종의 단점을 보완하기 위한 육종모델이 닭에서도 제시되고 있다. 닭은 고기를 주로 이용하는 육용계와 닭의 달걀을 경제적으로 이용하는 산란계로 나뉘며 육종 개량되고 있다. 육용계에서 경제적으로 주요한 영향을 주는 산육형질인 체중(body weight; BW), 도체중(carass weight; CW), 내장이 제거된 도체중(eviscerated weight; EW), 복강 지방 중량(abdominal fat weight; AFW), 가슴 근육 무게(breast muscle weight; BMW), 날개 무게(wing weight; WW), 넓적다리 무게(thigh weight; TW), 다리 무게(drumstick weight; DW), 넓적다리와 다리 무게(drumstick and thigh weight; DTW)등 과 산란계의 주요한 산란형질인 일당 산란율(Daily percent lay), 달걀개수(egg number), 달걀무게(egg weight), 난괴(egg mass), 난황의 무게 난백의 무게 등의 경제형질과 SNP간의 연관성 분석을 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 전장 유전체에 발굴된 SNP과 주요 경제형질간의 연관관계의 규명이 아직 미흡한 실정이다. 또한, SNP의 연구에 있어서 SNP들 간의 연관성 및 haplotype 등의 연구를 통하여 전장 유전체내의 여러 SNP들과 경제형질간의 연관성 분석이 필요하다.

본 연구현황에서는 현재까지 이루어지고 있는 닭의 SNP와 산육과 산란의 주요한 경제형질간의 연관성 분석 결과

를 종합하고 SNP를 통한 분자 마커 개발에 있어서의 연구 방향에 대해 논의 해보고자 한다.

## II. 본론

### 1. 산육형질

닭은 생산하고자 하는 목적에 따라 육용계와 산란계로 구분되기 때문에 육용계와 산란계에서 주요하게 평가되는 주요한 경제형질에서 차이가 나타난다. 육용계에 있어서 가장 주요한 생산품은 닭의 고기 부분으로 산육능력이 주요한 경제적으로 이득이 되는 형질이라 할 수 있다. 이러한 육용계에 주요한 산육형질로는 체중(body weight; BW), 도체중(carass weight; CW), 내장이 제거된 도체중(eviscerated weight; EW), 복강 지방 중량(abdominal fat weight; AFW), 가슴 근육 무게(breast muscle weight; BMW), 날개 무게(wing weight; WW), 넓적다리 무게(thigh weight; TW), 다리 무게(drumstick weight; DW), 넓적다리와 다리 무게(drumstick and thigh weight; DTW) 등이 주된 경제형질로 평가되고 있다.

Table 1에서는 다양한 산육형질들과 관련된 후보유전자인 INS(insulin), IGF1(insulin-like growth factor 1), IGF1R(insulin-like growth factor 1 receptor), IGFBP2 (insulin-like growth factor-binding protein 2), CAPN1 (calcium-activated neutral protease 1), CAPN3(calcium-activated neutral protease 3), GHSR(growth hormone secretagogue receptor), FATP1(fatty acid transport protein 1 or SLC27A1), FGFBP1(fibroblast growth factor binding protein 1), FGFBP2(fibroblast growth factor binding protein 2), apoVLDL-II(very low density apolipoprotein-II), PB1(Retinoblastoma 1), miR-1614-3p(microRNAs-1614-3p), DAAM1(dishevelled associated activator of morphogenesis 1), Wnt3A(protein Wnt-3a), LRP5(Low-density lipoprotein receptor-related protein 5), CHP (calcium binding protein P22), RHOA(ras homolog gene family, member A ), MAPK9(mitogen-activated protein kinase 9), SFRP1(secreted frizzled-related protein 1), ATGL(adipose triglyceride lipase), PGC-1 $\alpha$ (peroxisome proliferator-activated receptor- $\gamma$  coactivator-1 $\alpha$ )의 SNP들과 다양한 산육관련 형질간의 연관성 연구 현황을 정리하였다.

**Table 1. The association of SNPs and meat quantity traits of candidate gene in chicken**

Gene	SNP	Population	Trait	p-value	Reference
INS	+3737T>C +1549C>T +3971A>G	White Recessive Rock X Xinghua F <sub>2</sub>	AFW	0.0483	Qiu, et al. 2006
			CW	0.0423	
			CW	0.0496	
			EW	0.0475	
IGF1	570A>C	Leghorn X Fayoumi F <sub>2</sub>	BMW	<0.0001	Zhou, et al. 2005
			DW	<0.0001	
IGF1R	17299834A>G	Xinghua X White Recessive Rock F <sub>2</sub>	CW	0.0138	Lei, et al. 2008
			EW	0.0165	
IGFBP2	1196C>A 1032C>T	NEAUHLF X NEAU F <sub>2</sub> Broiler	AFW	<0.05	Leng, et al. 2009
			CW	0.0064	
CAPN1	g.2554T>C	Embrapa F <sub>2</sub>	BMW	0.002	Felicio, et al. 2013
			CW	0.003	
			DTW	0.01	
CAPN3	12814T>G 11818T>A	Meat-type quality chickens in China	BW	0.029	Zhang, et al. 2009
			CW	0.041	
			BMW	0.026	
			TW	0.043	
GHRS	c.739+726T>C	White Recessive Rock X Xinghua F <sub>2</sub>	BMW	<0.05	Fang, et al. 2009
			CW	<0.05	
			EW	<0.05	
FATP1	g.46847A>G g.48195G>A g.49360G>A	Eight meat-type quality chicken populations	TW	<0.05	Wang, et al. 2010
			BW	<0.05	
			CW	<0.05	
			EW	<0.05	
			TW	<0.05	
			BW	<0.05	
FGFBP1	g.2014G>A		EW	0.02	
FGFBP2	g.651G>A	Embrapa Swine X Poultry F <sub>2</sub>	BMW	0.003	Felicio, et al., 2012
			CW	0.01	
			DTW	0.002	
apoVLDL-II	634G>A	Leghorn X Fayoumi F <sub>2</sub>	BMW	0.042	Li, et al. 2005
			DW	0.034	
RB1	g.77260 A>G g.39692 G>A	F <sub>2</sub> individuals from 12 half-sib families	CW	<0.0001	Zhang, et al. 2011a
			CW	0.006	
miR-1614-3p	+5 C>T	Gushi X Chinese native chicken F <sub>2</sub>	WW	0.022	Li, et al. 2013
DAAMI	rs14524076 rs14552691 rs14032420		TW	0.005	
			TW	0.024	
			TW	0.016	
Wnt3A	rs14308076		BMW	0.004	
			CW	<0.0001	
LRP5	rs16471736	Silkie fowls X Cornish broilers F <sub>2</sub>	BMW	0.0014	Lu, et al. 2012a
			CW	0.0029	
CHP	rs14524076		BMW	<0.0001	
			CW	0.0017	
RHOA	rs14032422		BMW	0.004	
MAPK9	rs14066777		BMW	0.006	
SFRP1	rs14066777		WW	0.0004	
ATGL	c.782G>A	White Recessive Rock X Chinese Xinghua F <sub>2</sub>	AFW	<0.05	Nie, et al. 2008
PGC-1α	646G>A	White Leghorn, Dwarf Layer, White Plymouth Rock, Blue Shell, Silkies, and Beijing You	AFW	<0.001	Wu, et al. 2006

AFW=abdominal fat weight, BW=body weight, BMW=breast muscle weight, CW=carcass weight, DTW=drumstick and thigh weight, DW=drumstick weight, EW=eviscerated weight, TW=thigh weight, WW=Wing weight

INS유전자는 칼륨의 항상성에 중요한 역할을 하고 성장 및 신체구성과 같은 동물의 복잡한 특성에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(김 2011). Qiu 등(2006)의 연구에서 White Recessive Rock X Xinghua F<sub>2</sub>의 454수와 INS유전자의 SNP들과의 연관성 분석 결과 +3737T>C SNP에서 AFW(p=0.0483), CW(p=0.0423)와 연관성이 보고되었고 +1549C>T SNP과 CW(p=0.0496), EW(p=0.0475), +3971A>G에서 BMW(p=0.0416)에서 유의적인 차이가 보고되었다. 또한 인슐린과 비슷한 역할을 하는 성장인자인 IGF1, IGF1R, IGFBP2유전자의 SNP들과 산육형질과의 연관성을 확인하기 위한 연구결과 Leghorn X Fayoumi F<sub>2</sub>의 321수를 이용한 연구에서 IGF1유전자의 570A>C SNP에서 AA유전자형이 AC, CC유전자형에 비하여 더 높은 BMW(p<0.0001)와 DW(p<0.0001)가 확인되었으며(Zhou 등, 2005), Lei 등의 연구에서 Xinghua X White Recessive Rock F<sub>2</sub> 이용하여 IGF1R 유전자의 17299834A>G SNP에서 AG유전자형과 GG유전자형을 가진 개체보다 AA유전자형을 가진 개체가 상대적으로 높은 CW(p=0.0138)과 EW(p=0.0165)을 가지는 결과가 보고되었다. Leng 등(2009)의 보고에서 IGFBP2유전자의 1196C>A SNP은 총1011수의 육계를 이용한 실험에서 AA유전자형이 다른 유전자형보다 좀 더 높은 AFW(p<0.05)를 확인하였고, Li 등(2006)의 연구에서 Broiler 1028수를 이용한 연구에서 IGFBP2유전자의 1032C>T SNP과 AFW(p=0.0064), CW(p=0.0018)에서 통계적으로 유의적 차이가 있음을 보고하였다.

CAPN은 cystein protease를 코딩하고 postmortem tenderization시 첫 번째 효소 역할을 하여 Waener Bratzle Shear Force (WBSF) scores를 줄여 고기의 연도에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으며(Geesink 등, 1999; Juszczuk-Kubiak 등, 2004), 또한 Ca<sup>2+</sup>농도 의존적으로 활성화되는 neutral protease calpain에 의한 단백질 분해가 단백질들에 영향을 주어 일반 골격 및 성장에 중요한 영향을 하는 것으로 보고되었다(Balcerzak 등, 1995; Barnoy 등, 1997; Mellegren 등, 1997). Felício 등(2013)의 보고에서 CAPN1유전자의 g.2554T>C SNP이 Embrapa F<sub>2</sub>에서 BMW(p=0.002), CW(p=0.003), DTW(p=0.01)에 유의적인 영향을 주는 것으로 보고되었다. 또한 Zhang 등(2009)의 연구 결과 중국의 상업적 라인과 Huiyang Huxu chicken(HH), Qingyuan Ma chicken(QY), Caoke chicken(CK)과 Mountainous black-bone chicken(MB)의 총 307수의 육용계를 이용한 실험에서 주요한 산육형질인 체중과 CAPN3 유전자의 12814T>G SNP에서 TT유전자형과 GG

유전자형을 가진 개체보다 TG유전자형을 가진 개체가 상대적으로 높은 BW를 보였고(p=0.029) 그 외 CW(p=0.041), BMW(p=0.026), DTW(p=0.043)에서도 유의적인 차이가 보고되었으며, 같은 유전자의 또 다른 SNP인 11818T>A에서는 AA유전자형이 다른 유전자형(AT, TT)보다 높은 BW를 가지는 결과(p=0.025)가 보고되어졌다.

GHSR은 성장과 체내 대사 조절에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2009). 이러한 GHSR유전자의 SNP(c.739+726T>C)과 White Recessive Rock X Xinghua F<sub>2</sub>간의 연관성 분석결과 BMW(p<0.05), CW(p<0.05), EW(p<0.05), TW(p<0.05)와 같은 다양한 산육형질과 유의적인 연관성이 있는 것으로 보고되었다.

FATP1은 지방조직과 골격근에서 많은 나타나는 것으로 알려져 있으며(2006; Hirsch 등, 1998; Pohl 등, 2004; Schaffer 등, 1994), 비만과 연관된 후보유전자로도 알려져 있다(Doege 등). Wang 등(2010)은 이러한 FATP1유전자의 SNP들과 8개의 상업적으로 이용되는 육계라인의 620수에서 연관성을 분석하였고, 그 결과 g.46847A>G AA유전자형이 AG 유전자형 보다 높은 BW(p<0.05), CW(p<0.05)을 확인되었으며 GG유전자형은 나타나지 않았다고 보고되었다. 또한 g.48195G>A SNP과 g.49360G>A SNP에서도 AA유전자형이 다른 유전자형보다 높은 산육형질(p<0.05)이 확인되었고 단지 g.49360G>A SNP의 EW에서만 AA유전자형(1367.06g)과 AG유전자형(1368.62g) 두 유전자형이 비슷한 평균값이 나타났지만 GG유전자형에서 다른 산육형질과 같이 낮은 EW(p<0.05)을 확인할 수 있었다.

Felício 등(2012)의 연구에서 FGFBP1유전자의 g.2014G>A SNP은 EW(p=0.02)와 FGFBP2유전자의 g.651G>A SNP은 BMW, CW, DTW와 8개의 상업적으로 이용되는 육계라인에서 유의적 차이가 보고되었다. 또한 apoVLDL-II유전자의 SNP(634G>A)은 Leghorn X Fayoumi F<sub>2</sub>의 BMW(p=0.042)와 DW(p=0.034)에서 유의적 차이가 보고되었다(Li 등, 2005). Zhang 등(2011a)연구에서는 RB1유전자의 두 개의 SNP(g.77260 A>G, g.39692 G>A)이 육용계의 CW에서 유의적인 차이 보고하였고, Li 등(2013) 연구에서는 miR-1614-3p유전자의 +5 C>T SNP과 Gushi X Chinese native chicken F<sub>2</sub>의 860수에서 연관성을 분석한 결과 WW(p=0.022)에서 연관성을 확인하였고 CT유전자형이 다른 유전자형에 비하여 낮은 WW가 보고되었다.

Li 등(2012a)의 연구에서 DAAM1, Wnt3A, LRP5, CHP, RHOA, MAPK9, SFRP1유전자와 Silkie fowls X Cornish broilers F<sub>2</sub>의 764수의 산육형질간의 연관성 분석결과

DAAM1 유전자의 rs14524076( $p=0.005$ ), rs14552691( $p=0.024$ ), rs14032420( $p=0.016$ )과 TW에서 유의적 차이가 보고되었다. Wnt3A 유전자의 rs14308076과 BMW( $p=0.004$ ), CW( $p<0.0001$ ) 간에 그리고 LRP5 유전자의 rs1671736과 CHP 유전자의 rs14524076에서 BMW와 CW에서 유의적인 상관관계가 확인되었다( $p<0.05$ ). RHOA 유전자와 MAPK9 유전자의 SNP은 BMW와 SFRP1 유전자 WW와 유의적 연관성( $p<0.05$ )이 있는 것으로 나타났다. 그 외에 ATGL 유전자의 c.782G>A(Nie 등, 2008), PGC-1 $\alpha$  유전자의 646G>A에서 AFW과 유의적 차이( $p<0.05$ )가 보고되었다.

## 2. 산란형질

닭의 주요한 경제형질로 육용계에서의 산육형질, 산란계에서는 산란형질로 평가되며, 그와 관련된 후보유전자의 다형성에 대한 연관분석이 활발히 이뤄지고 있다. 본 논문에서는 산란계의 경제능력 판단의 척도로 이용되는 다양한 산란형질과 그와 관련된 후보유전자간의 연관성에 관한 내용을 Table 2에 나타내고 있다.

GnRHR(Gonadotropin-Releasing Hormone Receptor) 유전자는 주로 조류의 생식의 발달 및 기능에 연관되어 있는 것으로 알려져 있다(Bedecarrats 등, 2006). Mazandaran Native Chicken과 GnRHR 유전자 M87298 SNP과 산란수(egg number,  $p<0.05$ )와 난괴(egg mass,  $p<0.05$ )에서 유의적 차이가 보고되었다(Fatemi 등, 2012). PRL(prolactin) 유전자의 경우, 하나의 SNP와 연관성은 보고되어진바 없으나 14952G>A, 14969A>C, 14984G>A SNP을 묶은 haplotype에서 첫 달걀 생성 시 무게( $p<0.01$ )와 300일간 총 달걀개수( $p<0.05$ )에서 17560G>A, 17626T>A haplotype과 2, 4, 6 번째 동안의 산란수( $p<0.01$ )와 300일째 닭의 달걀무게( $p<0.05$ )에서 연관성이 확인되었다(Zhang 등, 2011b). TGF $\beta$ 2(Transforming growth factor  $\beta$ 2) 유전자는 세포증식 및 분화에 주요한 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Rizzino 등, 1989). TGF $\beta$ 2 유전자의 71T>C SNP과 산란수( $p=0.03$ )에서 유의적 차이가 보고되었다(Bennett 등, 2007).

CaSR(Calcium-sensing receptor) 유전자는 세포의 밖에서 칼슘의 항상성을 조절, 부갑상선 호르몬의 분비를 조절 및 비노기에서 칼슘의 흡수를 담당하는 것으로 알려져 있다(David 등, 1999; Hough 등, 2004; Cifuentes 등, 2005; Pidasheva 등, 2005; Yun 등, 2007). 이러한, 체내의 칼슘 농도의 저하는 뇌하수체 분비 기관에서 성장 호르몬의 분

비를 자극하게 되며(Hall 등, 1985) 프로게스테론의 분비의 주요한 역할을 한다(Veldhuis 등, 1982). CaSR 유전자의 963G>T SNP은 시산일령( $p<0.05$ )과 달걀 무게의 평균( $p<0.05$ )에서 연관성 확인되었다(Hong 등, 2007).

UCP(uncoupling protein)는 갈색 지방세포의 미토콘드리아 내막에 존재하며 uncoupling oxygen을 통해서 ATP를 생산하며 세포내의 과잉 에너지를 열로 전환시켜 발산하는 기능을 가지고 있다(Garlid 등, 1996). 지방세포에서 에너지 대사에 주요한 역할을 하게 하는 UCP 유전자의 +1316T>C SNP과 한국 재래닭 집단에서 연관성 분석결과 일당 산란율( $p<0.05$ )에서 유의적인 결과가 보고되었다(Oh 등, 2005).

ADSL(adenylosuccinate lyase)는 푸린뉴클레오티드 생성경로에서 최종단계의 하나로써 아데닐로숙신산의 아스파라긴산 결사슬을 절단하여 푸마르산을 생성에서 촉매 반응에 주요한 효소이다. 푸린대사회로는 골격근에서 암모니아 생성의 주요 경로로 푸린 대사회로의 이상은 뇌기능 장애와 성장 장애에 영향을 미치며, 운동하는 근육 내에서 중요한 기능을 담당하는 것으로 알려져 있다(Lowenstein, 1972; Terjung, 1979; Babij 등, 1983; Banister 등, 1983; Buono 등, 1984; Goodman과 Lowenstein, 1997). Lee 등(2009)의 연구에서 성장과 에너지 대사에 영향을 주는 ADSL 유전자내 염기서열 변이인 15550C>T SNP과 한국 재래닭 88수의 산육형질과의 연관성 분석 결과 시산일령에서 CC 유전자형이 다른 유전자형들에 비하여 시산일령이 느린 것으로 나타났으며, 유의적인 연관성( $p<0.05$ )이 확인되었다. 산란수에 있어서는 CC 유전자형에 비해서 TT 유전자형이 높은 산란수를 보였으며, 유의적 차이( $p<0.05$ )를 보고하였다(Lee 등, 2009).

STAT5b(signal transducer and activator of transcription 5b)는 성장 호르몬, 성장 호르몬 수용체, IGF, 프로락틴 및 인슐린 신호 전달 경로의 주요한 조절인자로서 성장, 생식, 수유, 신진대사에 관여하여 성장 및 수유에 조절하는 주요한 인자인 것으로 알려져 있다(Bachelot와 Binart, 2007; Pilecka 등, 2007; Hennighausen과 Robinson, 2008). 닭에서 STAT5b 유전자의 1591C>T SNP과 산란형질간의 연관성을 분석하기 위해서 236수의 4종(Yellow, Arbor Acre, Youxi, Bian)의 닭에서 연구한 결과 시산일령에서 CC, CT 유전자형보다 TT 유전자형이 시산일령이 느린 것으로 보고되었고, 유의적인 차이( $p<0.05$ )가 확인되었다.

**Table 2. The association of SNPs and egg production traits of candidate gene in chicken**

Gene	SNP	Population	Trait	p-value	Reference
GnRHR	M87298	Mazandaran Native Chicken	Egg number	<0.05	Fatemi, et al. 2012
			Egg mass	<0.05	
PRL	Haplotype (14952G>A, 14969A>C, 14984G>A)	Erlang Mountainous chicken	Body weight at first egg	<0.01	Zhang, et al. 2011b
			Total number of eggs with 300 days of age	<0.05	
	Haplotype (17560G>A, 17626T>A)	Japanese Quail	Egg weight at 300 days of age	<0.05	
			Roduced egg number during 2 <sup>nd</sup> , 4 <sup>th</sup> , 6 <sup>th</sup> and 2-6 <sup>th</sup>	<0.01	
TGFβ2	71T>C	Broiler×LeghornF <sub>2</sub>	Egg number	0.03	Bennett, et al. 2007
CaSR	963G>T	Korea native chicken	The first lay day	<0.05	Hong, et al. 2007
		Leghorn	Mean of egg weight	<0.05	
UCP	+1316T>C	Korea native chicken	The first lay day	<0.05	Oh, et al. 2005
ADSL	15550C>T		The first lay day	<0.05	Lee, et al. 2009
			Mean egg production	<0.05	
STAT5b	1591C>T	Jinghai Yellow chicken	The first lay day	<0.05	Zhao, et al. 2012
LRP2	14347T>C	Dwarf layers	Albumen weight	<0.05	Zhang, et al. 2011c
			Albumen height	<0.05	
			100×albumen ratio	<0.05	
			100×shell ratio	<0.05	
LRP8	1623C>T	Dwarf layers	Egg weight	<0.05	Yao, et al. 2010
			Shell strength	<0.05	
			Shell thickness	<0.05	
			Shell color	<0.05	
			Shape index	<0.05	
			Yolk color	<0.05	
CTSD	2614T>C	Wenshang Luhua chickens, Laiwu black chickens and Jining Bairi chickens	Yolk weight	<0.001	Sheng, et al. 2013
	5274G>T		Yolk weight	<0.001	
			Yolk ratio	<0.05	
			Yolk height	<0.001	

LRLR(low-density lipoprotein receptor)은 지방단백질대사와 합성에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Stolt와 Bock, 2006). 최근 LRP2(low-density lipoprotein receptor-related protein 2)와 LRP8(low-density lipoprotein receptor-related protein 8)의 SNP과 dwarf layers의 산란형질과의 연관성을 확인하기 위한 연구가 이루어졌다(Yao 등, 2010; Zhang 등, 2011c). 그 결과 LRP2유전자의 14347T>C SNP에서 난황 무게, 난황 높이, 달걀 무게에서 유의적인 차이(p<0.05)가 확인되었고, LRP8유전자의 1623C>T SNP에서는 껍질 강도, 껍질 두께, 껍질 색깔, 난형 지수, 난황 색깔에서 유의적 차이(p<0.05)가 보고되었다(Yao 등, 2010).

마지막으로 CTSD(Cathepsin D)는 리보솜 매개 세포 단백질 분해에 중요한 역할을 하는 아스파르트산 펩티다아제로서 세포에 있는 단백질 분해하는 역할을 하는 것으로

알려져 있다(Retzek 등, 1992; Hah 등, 2012; Ribeca 등, 2013). Sheng 등(2013)의 연구에서 CTSD유전자의 2614T>C SNP은 난황 무게에서 CC유전자형이 다른 유전자형에 비하여 낮은 무게가 확인되었으며, 유의적인 차이(p<0.01)를 보고하였다. 또한 5274G>T SNP에서는 TT 유전자형이 다른 유전자형보다 높은 난황의 무게(p<0.01)와 난황의 높이(p<0.01)를 보였으며 난황 비율(p<0.05)은 GT유전자형이 가장 큰 비율을 차지하였으며, 유의적인 결과가 보고되었다.

### III. 결론

국내 양계 산업에서 재래 닭의 경우 연구의 비중이 매우 적을 뿐만 아니라 기본적인 유전정보마저 부족한 형편으

로 국내 재래 닭의 개량에 많은 어려움이 따르고 있다. 최근 분자유전학적 기법을 이용한 새로운 육종 모델의 제시로 다양한 분자유전학적인 검증과 방법을 통하여 과학적인 개량을 위한 노력이 이루어지고 있다.

양계 산업에서는 주요 생산품인 고기와 달걀의 생산성을 높이기 위해서 육용계와 산란계로 나누어 사육된다. 먼저 육용계의 주요한 산육형질들과 연관성이 보고된 후보유전자 INS, IGF1, IGF1R, IGFBP, IGFBP2, CAPN1, CAPN3, GHSR, FATP1, FGFBP1, FGFBP2, apoVLDL-II, PB1, miR-1614-3p, DAAM1, Wnt3A, LRP5, CHP, RHOA, MAPK9, SFRP1, ATGL, PGC-1 $\alpha$  유전자에서 연관성이 보고되었으며 산란계에 주요한 산란형질들과 연관된 후보유전자로 NPY, GnRHR, PRL, TGF $\beta$ 2, CaSR, UCP, ADSL, STAT5b, LRP2, CTSD 유전자에서 연관성이 확인되었다.

이러한 후보유전자의 SNP와 경제형질간의 연관성이 계속 보고되고 있으나 국내 재래닭에서는 CaSR, UCP, ADSL 유전자 등의 적은수의 후보유전자에서만 연관성이 보고되었기 때문에 다른 종의 닭에서 보고된 후보유전자에 대한 국내 재래닭에 적용하여 다양한 후보유전자의 연관성에 대한 연구가 필요하다. 또한 최근 차세대 염기서열 분석 장치 플랫폼을 이용한 새로운 SNP 발굴과 함께 각각의 SNP와 경제형질간의 연관성 분석뿐만 아니라 다수의 SNP와 경제형질간의 연구도 필요할 것이라 사료되며 이를 통한 국내 재래닭의 품종 개량에 도움을 줄 수 있는 육종 마커 개발이 시급한 실정이다.

#### IV. 요약

단일염기 다형성은 염기서열 중 약 1000개마다 하나씩 나타나는 염기의 돌연변이로 알려져 있으며, 이러한 SNP는 가축에서 경제적인 이윤을 증가시킬 목적으로 육종에 이용되고 있다. 다양한 가축에서 주요한 후보유전자의 SNP는 경제적으로 중요한 형질과 연관성을 확인하기 위한 연구가 보고되고 있으며, 닭에서는 INS, IGF1, IGF1R, IGFBP, IGFBP2, CAPN1, CAPN3, GHSR, FATP1, FGFBP1, FGFBP2, apoVLDL-II, PB1, miR-1614-3p, DAAM1, Wnt3A, LRP5, CHP, RHOA, MAPK9, SFRP1, ATGL, PGC-1 $\alpha$ , NPY, GnRHR, PRL, TGF $\beta$ 2, CaSR, UCP, ADSL, STAT5b, LRP2, CTSD 유전자와 경제형질간의 연관성이 보고되었다. 이러한 다양한 후보유전자에서 보고된 SNP들은 닭의 산육 및 산란을 위한 DNA 마커로서 사용가

능 하다고 사료된다. 하지만 이러한 다양한 성과에도 불구하고 선행 연구된 닭의 종 및 개체 수는 턱없이 부족한 실정이다. 그러므로 더 다양한 종과 많은 수의 개체 내에서 후보유전자에 대한 추가연구를 통해 상업적 활용이 가능한 분자표지마커의 개발이 필요하다.

#### 사사

본 연구는 GSP종축사업단 프로젝트(213005-04-1-SB720)에 의해 이루어 졌으며 이에 감사드립니다.

#### V. REFERENCES

- Bachelot, A. and Binart, N. 2007. Reproductive role of prolactin. *Reproduction*. 133:361-369.
- Balcerzak, D., Poussard, S., Brutis, J. J., Flamrani, N., Soriano, M., Cottin, P. and Ducastaing, A. 1995. An antisense oligonucleotide to m-calpain mRNA inhibits myoblast fusion. *J. Cell Sci.* 108:2077-2082.
- Barnoy, S., Glasre, T. and Kosower, N. S. 1997. Calpain and calpastatin in myoblast differentiation and fusion effects of inhibitors. *Biochim. Biophys. Acta* 1358:181-188.
- Bedecarrats, G. Y., Shimizu, M. and Guemene, D. 2006. Gonadotropin releasing hormones and their receptors in avian species. *Poult. Sci.* 43:199-214.
- Bell, J. I. 2002. Single nucleotide polymorphism and disease gene mapping. *Arthritis Research*, Vol. 4, pp. S273-S278.
- Bennett, A. K., Hester, P. Y. and Spurlock, D. M. 2007. Relationships of a transforming growth factor- $\beta$ 2 single nucleotide polymorphism and messenger ribonucleic acid abundance with bone and production traits in chickens. *Poult. Sci.* 86:829-834.
- Cheoung, H. S., Yoon, D., Kim, L. H., Park, B. L., Lee, H. W., Han, C. S., Kim, E. M., Cho, H., Chung, E. R., Cheong, I. and Shin, H. D. 2007. Titin-cap (TCAP) polymorphisms associated with marbling score of beef. *Meat Sci.* 77:257-263.
- Cho, S., Park, T. S., Yoon, D., Cheong, H. S.,

- Namgoong, S., Park, B. L., Lee, H. W., Han, C. S., Kim, E. M., Cheong, I. C., Kim, H. and Shin, H. D. 2008. Identification of genetic polymorphisms in *FABP3* and *FABP4* and putative association with back fat thickness in Korean native cattle. *BMB Rep.* 41:29-34.
9. Cifuentes, M., Albala, C. and Rojas, C. 2005 Calcium-sensing receptor expression in human adipocytes. *Endocrinology.* 146(5):2176-2179.
10. Davey, J. W., Hohenlohe, P. A., Etter, P. D., Boone, J. Q., Catchen, J. M. and Blaxter, M. L. 2011. Genome-wide genetic marker discovery and genotyping using next-generation sequencing. *Nat. Rev. Genet.* 12(7):499-510.
11. David, E. C. C., Reinhold Vieth, Hoang, M. T., Betty, Y. L. W., Geoffrey, N. H. and Laurence, A. R. 2001. Association between total serum calcium and the A986S polymorphism of the calcium-sensing receptor gene. *Mol. Genet. Metab.* 72:168-174.
12. Doege, H. and Stahl, A. 2006. Protein-mediated fatty acid uptake: novel insights from in vivo models. *Physiology (Bethesda).* 21:259-268.
13. Fang, M., Nie, Q., Luo, C., Zhang, D. and Zhang, X. 2009. Associations of GHSR gene polymorphisms with chicken growth and carcass traits. *Mol. Biol. Rep.* 37:423-428.
14. Fatemi, S. A., Mehrabani-Yeganeh, H., Nejati-Javaremi, A. and Nikanfs, Sh. 2012. Association of neuropeptide Y and gonadotrophin-releasing hormone receptor gene SNPs with breeding value for growth and egg production traits in Mazandaran native chickens. *Genet. Mol. Res.* 11(3):2539-2547.
15. Felício, A. M., Boschiero, C., Balieiro, J. C. C., Ledur, M. C., Ferraz, J. B. S., Moura, A. S. A. M. T. and Coutinho, L. L. 2012. Polymorphisms in *FGFBP1* and *FGFBP2* genes associated with carcass and meat quality traits in chickens. *Genet. Mol. Res.* 12(1):208-222.
16. Felício, A. M., Boschiero, C., Balieiro, J. C. C., Ledur, M. C., Ferraz, J. B. S., Michelan Filho T., Moura, A. S. A. M. T. and Coutinho, L. L. 2013. Identification and association of polymorphisms in *CAPN1* and *CAPN3* candidate genes related to performance and meat quality traits in chickens. *Genet. Mol. Res.* 12(1):472-482.
17. Fontanesi, L., Speroni, C., Buttazzoni, L., Scotti, E., Dall'Olio, S., Nanni Costa, L., Davili, R. and Russo, V. 2010. The insulin-like growth factor 2 (*IGF2*) gene intron3-g.3072G>A polymorphism is not the only sus scrofa chromosome 2p mutation affecting meat production and carcass traits in pigs: Evidence from the effects of a cathepsin D (*CTSD*) gene polymorphism. *American Soci. of Anim. Sci.* 88:2235-2245.
18. Geesink, G. H. and Koohmaraie, M. 1999. Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by mu-calpain under postmortem conditions. *J. Anim. Sci.* 77:2685-2692.
19. Hah, Y. S., Noh, H. S., Ha, J. H., Ahn, J. S., Hahm, J. R., Cho, H. Y. and Kim, D. R. 2012. Cathepsin D inhibits oxidative stress-induced cell death via activation of autophagy in cancer cells. *Cancer Lett.* 323:208-214.
20. Hennighausen, L. and Robinson, G. W. 2008. Interpretation of cytokine signaling through the transcription factors *STAT5A* and *STAT5B*. *Genes Dev.* 22:711-721.
21. Hirose, K., Takizawa, T., Fukawa, K., Ito, T., Ueda, M., Hayashi, Y. and Tanaka, K. 2011. Association of an SNP marker in exon 24 of a class 3 phosphoinositide-3-kinase (*PIK3C3*) gene with production traits in Duroc pigs. *J. Anim. Sci.* 82:46-51.
22. Hirsch, D., Stahl, A. and Lodish, H.F. 1998. A family of fatty acid transporters conserved from mycobacterium to man. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 95:8625-8629
23. Hong, Y. S., Oh, J. D., Lee, J. H., Kong, H. S., Choi, C. H., Lee, S. S., Jeon, G. J. and Lee, H. K. 2007. Identification of a SNP in chicken *CaSR* gene and its effect on economic traits Korean. *J. Poult. Sci.* 34(2):151-156.
24. Hough, T. A., Bogani, D., Cheeseman, M. T., Favor, J., Nesbit, M. A., Thakker, R. V. and Lyon, M. F. 2004. Activating calcium-sensing receptor mutation



- in the mouse is associated with cataracts and ectopic calcification. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 14;101 (37):13566-71.
25. Jang, H. C., Kim, S. W., Lim, D. J., Kim, J. Y., Cho, K. H., Kim, M. J., Lee, J. W., Choi, B. H. and Kim, T. H. 2011. Breeding and genetics : Association of single nucleotide polymorphism (SNP) in the PGK 2 Gene with growth traits in pigs. J. Anim. Sci. Tech. 53(1):15-22.
  26. Juszczuk-Kubiak, E., Sakowski, T., Flisikowski, K., Wicinska, K., Oprzadek, J. and Rosochacki, S. J. 2004. Bovine mu-calpain (CAPN1) gene: new SNP within intron 14. J. Appl. Genet. 45:457-460.
  27. Kim, H. J. 2011. Distribution of insulin gene polymorphism in korean native chickens and cornish, rhode island red chickens. M.Sc. Thesis. Hankyong National University, Anseong, Korea.
  28. Kim, M. J., Oh, J. D., Cho, G. H., Lee, J. H., Lee, S. S., Hong, Y. S., Jeon, K. J., Jeon, G. J. and Lee, H. K. 2006. Association between economic traits and candidate gene polymorphism in Korean native pig and Duroc. Korean J. Emb. Trans. 21(4):273-280.
  29. Kim, N. K., Kim, G. S., Jung, Y. S., Moon, H. J., Cho, Y. M. and Yoon, D. H. 2009. Association study between polymorphisms of inositol 1,4,5-triphosphate receptor type 1(IP3R1) gene and carcass traits in Korean cattle (Hanwoo). J. Anim. Sci. Technol. 51(4):289-294.
  30. Kong, H. S., Oh, J. D., Lee, J. H., Yoon, D. H., Choi, Y. H., Cho, B. W., Lee, H. K. and Jeon, G. J. 2007. Association of sequence variations in *DGAT 1* gene with economic traits in Hanwoo (Korean cattle). Asian-Aust. J. Anim. Sci. 20:817-820.
  31. Lee, H. J., Lee, S. H., Cho, Y. M., Yoon, H. B., Jeon, B. K., Oh, S. J., Kwon, M. S. and Yoon, D. H. 2004. Association between the polymorphism on intron 5 of the lipoprotein lipase gene and carcass traits in Hanwoo (Korean cattle). J. Anim. Sci. Technol. 46(6):947-956.
  32. Lee, J. A., Jeon, S. A., Oh, J. D., Park, K. D., Choi, K. D., Jeon, G. J., Lee, H. K. and Kong, H. S. 2009. Identification of novel single nucleotide polymorphisms on ADSL gene using economic traits in Korean native chicken. Korean J. Poult. Sci. 36(3): 207-213.
  33. Lee, S. H. 2009. Role of ghrelin in the control of reproductive endocrine function. Dev. Reprod. 13(4): 207-215.
  34. Leng, L., Wang, S., Li, Z., Wang, Q. and Li, H. 2009. A polymorphism in the 3'-flanking region of insulin-like growth factor binding protein 2 gene associated with abdominal fat in chickens. Poult. Sci. 88:938-942.
  35. Li, H., Deeb, N., Zhou, H., Ashwell, C. M. and Lamont, S. J. 2005. Chicken quantitative trait loci for growth and body composition associated with the very low density apolipoprotein-II gene. Poult. Sci. 84:697-703.
  36. Li, H., Sun, G. R., Tian, Y. D., Han, R. L., Li, G. X. and Kang, X. T. 2013. MicroRNAs-1614-3p gene seed region polymorphisms and association analysis with chicken production traits. J. Appl. Genet. 54:209-213.
  37. Li, Z. H., Li, H., Zhang, H., Wang, S. Z., Wang, Q. G. and Wang, Y. X. 2006. Identification of a single nucleotide polymorphism of the insulin-like growth factor binding protein 2 gene and its association with growth and body composition traits in the chicken. J. Anim. Sci. 84:2902-2906.
  38. Lie, M., Peng, X., Zhou, M., Luo, C., Nie, Q. and Zhang, X. 2008. Polymorphisms of the IGF1R gene and their genetic effects on chicken early growth and carcass traits. BMC Genet. 9(70):doi:10.1186/1471-2156-9-70.
  39. Lu, Y., Chen, S. R., Liu, W. B., Hou, Z. C., Xu, G. Y. and Yang, N. 2012. Polymorphisms in Wnt signaling pathway genes are significantly associated with chicken carcass traits. Poult. Sci. 91(6):1299-1307.
  40. Mellegren, R. L. 1997. Evidence for participation of a calpain- like cysteine protease in cell progression through the late G1 phase. Biochem. Biophys. Res. Commun. 236:555-558.
  41. Nie, Q., Fang, M., Xie, L., Zhou, M., Liang, Z., Luo, Z., Wang, G., Bi, W., Liang, C., Zhang, W. and Zhang, X. 2008. The PIT1 gene polymorphisms were

- associated with chicken growth traits. *BMC Genet.* 9(20):doi:10.1186/1471-2156-9-20.
42. Oh, J. D., Lee, J. H., Hong, Y. S., Lee, S. J., Lee, S. G., Kong, H. S., Sang, B. D., Choi, C. H., Cho, B. W., Jeon, G. J. and Lee, H. K. 2005. The +1316 T/T Genotype in the exon 3 of uncoupling protein gene is associated with daily percent lay in Korean Native Chicken. *Korean J. Poult. Sci.* 32(4):239-244.
43. Pidasheva, S., Canaff, L., Simonds, W. F., Marx, S. J. and Hendy, G. N. 2005. Impaired cotranslational processing of the calcium-sensing receptor due to signal peptide missense mutations in familial hypocalciuric hypercalcemia. *Hum. Mol. Genet.* 15; 14(12):1679-90.
44. Pilecka, I., Whatmore, A., Hooft, van., Huijsduijnen, R., Destenayes, B. and Clayton, P. 2007. Growth hormone signaling: sprouting links between pathways, human genetics and therapeutic options. *Trends Endocrinol. Metab.* 18:12-18.
45. Qiu, F. F., Nie, Q. H., Luo, C. L., Zhang, D. X., Lin, S. M. and Zhang, X. Q. 2006. Association of single nucleotide polymorphisms of the insulin gene with chicken early growth and fat deposition. *Poult. Sci.* 85:980-985
46. Retzek, H., Steyrer, E., Sanders, E. J., Nimpf, J. and Schneider, W. J. 1992. Molecular cloning and functional characterization of chicken cathepsin D, a key enzyme for yolk formation. *DNA Cell Biol.* 11:661-672.
47. Ribeca, C., Bonfatti, V., Cecchinato, A., Albera, A., Maretto F, Gallo, L. and Carnier, P. 2013. Association of polymorphisms in calpain 1, ( $\mu$ /I) large subunit, calpastatin, and cathepsin D genes with meat quality traits in double-musled Piemontese cattle. *Anim. Genet.* 44(2):193-196.
48. Rizzino, A. 1989. in *Growth Factors in Mammalian Development* (Rosenblum, I. Y., and Heyner, S., eds.). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. pp. 113-134.
49. Schaffer, J. E. and Lodish, H. F. 1994. Expression cloning and characterization of a novel adipocyte long chain fatty acid transport protein. *Cell.* 79: 427-436
50. Sheng, Q., Cao, D., Zhou, Y., Lei, Q., Han, H., Li, F., Lu, Y. and Wang, C. 2013. Detection of SNPs in the cathepsin D gene and their association with yolk traits in chickens. *PLOS One.* 8(2):1-4.
51. Shin, H. S., Hong, M. W., Yun, D. W., Won, J. S., Kim, H., Song, Y. H. and Lee, S. J. 2008. Current status of SNP research in Korean cattle. *Ann. Anim. Res. Sci.* 19:1-10.
52. Veldhuis, J. D. and Klase, P. A. 1982. Calcium ions modulate hormonally stimulated progesterone production in isolated ovarian cells. *Biochem. J.* 202:381-386.
53. Wang, Y., Zhu, Q., Zhao, X-L., Yao, Y-G. and Liu, Y-P. 2010. Association of FATP1 gene polymorphisms with chicken carcass traits in Chinese meat-type quality chicken populations. *Mol. Biol. Rep.* 37:3683-3690.
54. Wang Z. and Moulst, J. 2001. SNPs, Protein structure, and disease, *Hum. Mutat.* 17:263-270.
55. Wu, G. Q., Deng, X. M., Li, J. Y., Li, N. and Yang, N. 2006. A potential molecular marker for selection against abdominal fatness in chickens. *Poult. Sci.* 85:1896-1899.
56. Xu, Z. Y., Yang, H., Xiong, Y. Z., Deng, C. Y., Li, F. E., Lei, M. G. and Zuo, B., 2010. Identification of three novel SNPs and association with carcass traits in porcine TNNI1 and TNNI2. *Mol. Biol. Rep.* 37:3609-3613.
57. Yao, J. F., Chen, Z. X., Xu, G. Y., Wang, X. L., Ning, Z. H., Zheng, J. X., Qu, L. J. and Yang, N. 2010. Low-density lipoprotein receptor-related protein 8 gene association with egg traits in dwarf chickens. *Poult. Sci.* 89:883-886.
58. Yun, F. H., Wong, B. Y., Chase, M., Shuen, A. Y., Canaff, L., Thongthai, K., Siminovitch, K., Hendy, G. N. and Cole, D. E. 2007. Genetic variation at the calcium-sensing receptor (CaSR) locus : Implications for clinical molecular diagnostics. *Clin. Biochem.* 40(8):551-61.
59. Zhang, Z. R., Liu, Y. P., Yao, Y. G., Jiang, X. S., Du, H. R. and Zhu, Q. 2009. Identification and association of the single nucleotide polymorphisms in

- calpain3 (CAPN3) gene with carcass traits in chickens. *BMC Genet.* 10(10):doi:10.1186/1471-2156-10-10.
60. Zhang, H., Liu, S. H., Zhang, Q., Zhang, Y. D., Wang, S. Z., Wang, Q. G., Wang, Y. X., Tang, Z. Q. and Li, H. 2011a. Fine-mapping of quantitative trait loci for body weight and bone traits and positional cloning of the RB1 gene in chicken. *J. Anim. Breed. Genet.* 128(5):366-375.
61. Zhang, L., Li, D. Y., Liu, Y. P., Wang, Y., Zhao, X. L. and Zhu Q. 2011b. Genetic effect of the prolactin receptor gene on egg production traits in chickens. *Genetics and molecular research. Genet. Mol. Res.* 11(4):4307-4315
62. Zhang, Y., Hou, Z. C., Chen, Z. X., Zheng, J. X., Chen, S. R., Qu, L. J., Li, J. Y., Xu, G. Y. and Yang, N. 2011c. Low-density lipoprotein receptor-related protein 2 gene is associated with egg-quality traits in dwarf layers. *Poult. Sci.* 90:2718-2722.
63. Zhao, X. H., Wang, J. Y., Zhang, G. X., Wei, Y., Gu, Y. P. and Yu, Y. B. 2012. Single nucleotide polymorphism in the STAT5b gene is associated with body weight and reproductive traits of the Jinghai Yellow chicken. *Mol. Biol. Rep.* 39:4177-4183
64. Zhou, H., Mitchell, A. D., McMurtry, J. P., Ashwell, C. M. and Lamont, S. J. 2005. Insulin-like growth Factor-I gene polymorphism associations with growth, body composition, skeleton integrity, and metabolic traits in chickens. *Poult. Sci.* 84:212-219.
- (투고일: 2013.10.07. 수정일: 2013.12.11. 판정일: 2013.12.12.)