

# 云南地方鸡种的遗传多样性 及其与中国家鸡起源的关系\*

胡文平

( 云南农业大学动物科技学院 , 昆明 650201 )

**摘 要** 云南地方鸡种在生境、形态外貌、细胞遗传和血液蛋白等方面均表现出多样性 ,但 mtDNA 的遗传变异单一。云南地方鸡种有其独特的基因类型 ,由于所处的特殊地理位置和生态条件差异 ,形成了与我国其它鸡种相对独立的鸡种。从血液蛋白、细胞遗传和 mtDNA 等方面进一步证明红色原鸡为家鸡的祖先。云南可能是中国家鸡的起源中心之一。

**关键词** 云南地方鸡种 ,遗传多样性 ,中国家鸡 ,起源

**Genetic diversity of Yunnan local chicken breeds and its relationship with origin of Chinese domestic chicken/HU Wen\_Ping**

**Abstract** The habitat , appearance , karyotype , and blood protein locus of Yunnan local chicken breeds are diverse , but no mtDNA polymorphism exists inferred from restriction endonuclease analysis. Due to different geological locations and ecological condition , Yunnan local chicken breeds have their unique gene types , relatively independent of other Chinese chicken breeds. The results from blood protein , karyotype and mtDNA demonstrate further that *Gallus domesticus* originated from *Gallus gallus*. Yunnan is probably one of the original center of Chinese domestic chicken.

**Key words** Yunnan local chicken breeds , genetic diversity , Chinese domestic chicken , origin

**Author 's address** Faculty of Animal Science and Technology , Yunnan Agricultural University , Kunming 650201

鸡是人类驯化较早的家禽 ,我国又是最早养鸡的国家之一。在长期的生产实践中 ,我国人民选育出众多适应于不同生境条件和饲养条件的家鸡( *Gallus domesticus* )品种。云南由于独特的地理位置、复杂多样的气候和地形地貌 ,再加上交通闭塞、地理隔离以及众多少数民族特有的经济文化活动 ,至今仍栖息着家鸡的近缘祖先——红色原鸡( *G. gallus* , 以下如未注明原鸡或红原鸡 , 均指同一种原鸡 ) ,家鸡品种更是丰富多样。以往有关云南地方鸡种的研究主要集中于形态外貌、生产性能以及选育、杂交利用上<sup>[1 2]</sup>。为探索家畜的起源、进化 ,改善家畜品种的遗传特性 ,防止遗传侵蚀并增加遗传变异 ,对家畜及其野生近缘种遗传多样性研究已成为近年来一个十分重要的领域<sup>[3]</sup>。关于云南地方鸡种的遗传多样性 ,现已从血液蛋白、细胞遗传和 mtDNA 水平等方面进行研究 ,并取得了许多有价值的成果。这对揭示云南地方鸡种遗传多样性现状 ,分析探讨鸡种的起源、品种间的遗传分化以及保护和利用具有十分重要的意义。

## 1 云南地方鸡种生境及形态外貌多样性

茶花鸡 :小型鸡种。分布于云南南部边缘热带雨林、季雨林植被类型及南亚热带植被类型地区 ,海拔一般在 1000 m 以下 ,气候炎热。其外貌特征为 :矮小细致 ,体重轻 ,肌肉结实 ,骨骼

细致,体躯匀称。头部清秀,冠大多呈红色单冠,少数为豆冠,喙黑色,少数黑中带黄色,眼大有神,虹彩为黄色者居多,也有褐色及灰色。耳垂,肉垂红色,皮肤白色者居多,少数浅黄色。脚和喙的颜色相同。羽毛光滑、紧凑,有光泽,公鸡多为赤红色,母鸡羽毛除翼羽、尾羽多数是黑色外,全身是麻褐色,翼羽比一般家鸡长而微下垂。

版纳斗鸡:大型鸡种。分布于西双版纳傣族自治州橄榄坝一带,气候炎热,属典型的热带气候。其外貌特征为:体型高大,结实紧凑,骨骼粗壮,胸宽,胸肌发达。头较小呈半梭形,豆冠,冠、耳叶呈红色。喙短粗呈弧形,黄色或褐色。虹彩呈橘红色,毛色种类较多,主要有纯黑、纯白和绛红三种。皮肤白色,无胫羽、趾羽。

武定鸡:大型鸡种。主产于云南楚雄彝族自治州的武定县和昆明市的禄劝县。产区属滇中红色高原亚区(东部)及滇东岩溶高原湖盆亚区(西部)地貌类型,为亚热带气候。地形复杂,垂直气候带明显,可分为山区和坝区两种生态环境。体型有大、小之分,前者多分布在山区,后者多分布在坝区。其外貌特征为:体形高大,骨骼粗壮,腿粗长,肌肉发达,体躯宽深。头型多为平头、凤头,单冠,红色、直立、前小后大,冠齿为7~9个,喙黑色。虹彩以橘红色最多,黄褐色次之。耳叶、肉垂皆红色。胫与喙的颜色一致。公鸡羽毛多呈赤红色,有光泽;母鸡羽毛除翼羽、尾羽全黑外,全身都为新月形条纹花羽毛。多数有胫羽和趾羽。皮肤白色,部分鸡为乌黑色。

尼西鸡:高原蛋用型地方品种,属于藏鸡的一个类型。分布于青藏高原南延部分的迪庆藏族自治州中甸县,主产区海拔在3000 m左右,为高寒山区,饲养管理粗放。其外貌特征为:体型轻小,体质健实,胸深。头大小适中,颈较细长,平头,单冠色红,公鸡冠大,厚而直立;母鸡冠薄,质细致,柔润光滑。羽毛紧凑,公鸡羽毛多为大红、纯白、黑白花三种;母鸡羽色则较杂,以黑色较多,白色、麻黄色次之,尚有少数其它杂花和灰色等。虹彩呈金黄、桔红色。皮肤白色,少数为乌黑色。

盐津乌骨鸡:主产区盐津县位于滇东北高原,东接四川筠连县、高县,南、西、北三面与本地区的彝良、大关和绥江等县相邻,产区属亚热带气候。其外貌特征为:体型较大,体格坚实,躯体结构匀称。头大小适中、平头,单冠直立,质地细致,冠峰为5~7个。喙长适当,微弯曲。羽毛紧凑,部分鸡外侧有胫羽。羽毛大多数为黑色,皮肤、眼、冠、耳、喙和趾等均为乌黑色。

## 2 云南地方鸡种的遗传多样性

### 2.1 血液蛋白遗传多样性

自60年代以来,国外对不同鸡品种的血液蛋白多态性做了大量的研究。我国对地方鸡种的血液蛋白多态性的研究起步则较晚,至今一直很活跃,并取得了许多有意义的进展。目前,已对云南地方鸡种茶花鸡<sup>[4,5]</sup>、版纳斗鸡<sup>[4,5]</sup>、武定鸡<sup>[4,5]</sup>、尼西鸡<sup>[5]</sup>、盐津乌骨鸡<sup>[6]</sup>和红原鸡<sup>[4]</sup>进行过不同位点数目的血液蛋白多态性研究。结果表明,云南地方鸡种在血浆脂酶(*ES*<sub>1</sub>、*ES*<sub>2</sub>)、红细胞脂酶 *ES*<sub>1</sub>、碱性磷酸酶(*AKP*<sub>1</sub>、*AKP*<sub>2</sub>)、亮氨酸氨基肽酶(*LAP*)、淀粉酶(*AMY*<sub>1</sub>、*AMY*<sub>2</sub>)、磷酸葡萄糖变位酶(*PGM*)、肌酸激酶(*CK*)、运铁蛋白(*TF*)、6-磷酸葡萄糖脱氢酶(*6-PGD*)和肽酶<sub>B</sub>(*PEP*<sub>B</sub>)等位点具有多态性。

据刘坤凡等<sup>[4]</sup>和张廷钦等<sup>[5]</sup>,血浆 *ES*<sub>1</sub> 受3个复等位基因 *ES*<sub>1</sub><sup>A</sup>、*ES*<sub>1</sub><sup>B</sup>、*ES*<sub>1</sub><sup>C</sup> 控制,以 *ES*<sub>1A</sub> 的基因频率为最低。在血浆 *ES*<sub>2</sub> 区域,仅在尼西鸡中检测出多态性。

碱性磷酸酶经活性染色后,在 *AKP*<sub>1</sub> 区域,可检出泳动不同的快慢两型,即F型和S型。所出现的快带(F)和慢带(S)是由同一位点的显性基因 *AKP* 和隐性基因 *aKP* 控制。云南地方

鸡种和原鸡的  $aKP$  频率较高。比  $AKP_1$  区域泳动快的区域为  $AKP_2$  ,由一对等位基因  $AKP_2^a$ 和  $AKP_2^b$  所决定 ,主要以  $AKP_2^a$  基因为优势基因。

$TF$  位点由 3 个等显性基因  $TF^A$ 、 $TF^B$ 、 $TF^C$  所支配 ,以  $TF^B$  基因频率占绝对优势。版纳斗鸡、武定鸡以及原鸡中未检出多态 ,茶花鸡的  $TF^C$  基因频率很小。

$AMY_1$  位点受  $AMY_1^A$  和  $AMY_1^B$  2 个等位基因控制<sup>[7]</sup> ,云南地方鸡种  $AMY_1$  的 AA、BB 型纯合子基因型频率很低 ,AB 型基因型频率很高 ,杂合子显著过量 ,均偏离 Hardy\_Weinberg 平衡 ,与张细钦等<sup>[8]</sup>对我国 10 个地方鸡种  $AMY_1$  多态性的研究结果相似。血浆淀粉酶  $AMY_1^A$  和  $AMY_1^B$  的基因频率大致在 0.5 上下 ,与我国其它的地方鸡种大体相同。

根据武定鸡<sup>[5]</sup>、版纳斗鸡<sup>[5]</sup>、尼西鸡<sup>[5]</sup>和盐津乌骨鸡<sup>[6]</sup> 血液蛋白位点的不同等位基因频率 ,计算出平均杂合度( $H$ ) :武定鸡  $H=0.0675$  ;版纳斗鸡  $H=0.0778$  ;尼西鸡  $H=0.0928$  ;盐津乌骨鸡  $H=0.0586$ 。与外国鸡种白来航、白洛克、白考尼什鸡的平均杂合度  $H=0.0330 \sim 0.0464$ <sup>[9]</sup>比较 ,云南地方鸡种的平均杂合度( $H$ )较高。因此 ,从平均杂合度( $H$ )值可反映出 ,云南地方鸡种的遗传多样性程度较外国鸡种高 ,这可能与云南地方鸡种选育程度低有关。

2.2 细胞遗传多样性

随着细胞遗传学的发展 ,染色体研究已被应用于阐明物种特有的遗传基础 ,并为其起源、进化和鉴别亲缘关系等提供可靠的细胞遗传学证据。禽类染色体研究技术的改进 ,为家鸡和原鸡的起源、进化和亲缘关系提供了进一步识别的细胞遗传学方法。相继对云南原鸡、茶花鸡、武定鸡、版纳斗鸡和尼西鸡的染色体进行研究<sup>[10-12]</sup> ,结果表明 ,4 个地方鸡种和原鸡的染色体数目  $2n=78$  ,性染色体雄性为 ZZ ,雌性为 ZW。对染色体的相对长度、臂比和着丝点指数进行测量、计算 ,并作比较分析发现 ,每对染色体的形态和相对长度很相似 ,1~8 号染色体以及性染色体核型在不同地方品种间及其与原鸡之间存在着一定程度差异(见表 1) ,其余染色体均为端着丝粒染色体(T)。

表 1 4 个云南家鸡地方品种和红色原鸡的核型差异\*

Table 1 The differences in karyotype between four Yunnan local domestic chicken breeds and *G. gallus*

染色体 Chromosomes	茶花鸡 Chahua	版纳斗鸡 Banna game	武定鸡 Wuding	尼西鸡 Nixi	原鸡 <i>G. gallus</i>
1	M	M	M	M	SM
2	SM	M	M	SM	SM
3	T	ST	T	ST	短臂明显可见 <sup>①</sup>
4	ST	ST	ST	M	ST
5	T	ST	T	ST	短臂明显可见 <sup>①</sup>
6	SM	SM	SM	T	ST
7	ST	T	ST	T	短臂明显可见 <sup>①</sup>
8	T	M	T	T	SM
Z	M	M	M	M	M
W	ST	-	-	SM	ST

\*注 :资料引自曾养志等<sup>[10]</sup>和张廷钦等<sup>[12]</sup> Data from Zen Yangzhi et al.<sup>[10]</sup>and Zhang Tingqin et al.<sup>[12]</sup>  
SM :近中部着丝粒染色体 ;SM :Submetacentric chromosomes ;M :中部着丝粒染色体 ;M :Metacentric chromosomes ;ST :近端部着丝粒染色体 ;ST :Subtelocentric chromosomes ;T :端部着丝粒染色体 ;T :Telocentric chromosomes  
① The short arm of chromosome can be seen distinctly

曾养志等<sup>[11]</sup>对云南家鸡(属何种云南地方鸡种,不详)、原鸡的染色体进行G-显带处理,结果显示,1~19号常染色体和性染色体Z均可显出G-带带纹。家鸡和原鸡之间的G-带无明显差异,只是发现家鸡1号和2号染色体着丝粒区均为浅染,而原鸡1号染色体着丝粒区长臂部分浅染,短臂部分则深染。2号染色体整个着丝粒区均深染。

### 2.3 mtDNA 遗传多样性

王文等<sup>[13]</sup>、邹平等<sup>[14]</sup>应用mtDNA RFLP技术分析云南茶花鸡、版纳斗鸡、武定鸡、尼西鸡和原鸡的mtDNA多态性,用于限制性片段长度多态性分析的11种识别六碱基顺序的限制性内切酶是Ava I、BamH I、Bgl I、Dra I、EcoR I、Hpa I、Pvu II、Sac I、Sal I、Sca I和Stu I。所检测的4个地方品种所有个体(66只)均呈现相同的限制性类型,未发现mtDNA多态性。这与Wakana等<sup>[15]</sup>的研究结果相符,表明云南地方鸡种母系起源单一,提示可能拥有一个共同的、较为晚近的野生祖先。Wakana等<sup>[15]</sup>发现采自菲律宾的原鸡与15种家鸡品种均有相同的mtDNA RFLP限制性类型。而在王文等<sup>[13]</sup>的研究中发现,1只来源于云南孟连县的原鸡在Stu I和Sca I两种酶中呈现与家鸡不同的限制性类型。

## 3 中国家鸡的起源

### 3.1 家鸡的起源

原鸡属有4个种,即绿领原鸡(*Gallus varius*)、原鸡(*G. gallus*)、黑尾原鸡(*G. lafayette*)和灰纹原鸡(*G. sonnerati*)。我国境内仅有原鸡1种,即红原鸡,及滇南亚种和海南亚种2个亚种<sup>[16]</sup>。

家鸡的祖先,现今一般都认为是原鸡。来自考古学、形态学和细胞遗传学等方面已有的证据均显示:(1)家鸡在体型、羽色及鸣声等方面与原鸡极相类似,而且原鸡主要分布于中国南部和印度北部(据考古资料,可能还分布更北至中国的中部),这些地区也与人类初期文化发展过程中对野生动物进行驯养活动的地点相近<sup>[16]</sup>;(2)细胞遗传学研究表明,染色体作为生物遗传物质的载体,其数量、形态、结构及分带特征具有种的特性,其核型还能反映物种的进化历史。从动物核型进化的观点,种的分化主要由于染色体结构重组,重组类型包括各种易位、倒位等。Maruyama等<sup>[17]</sup>在分析大量哺乳动物核型的基础上,从理论上推算出染色体进化速率,认为每300万年左右发生一次染色体数目或染色体臂数的变化。禽类的染色体进化速率,较之哺乳动物更为保守<sup>[18]</sup>。家鸡和原鸡的染色体不仅数目相同( $2n=78$ ),而且每对染色体的形态也相似,1~19号常染色体的G-带同源<sup>[11]</sup>。

至于原鸡属中的另外3种原鸡,即绿领原鸡、黑尾原鸡和灰纹原鸡是否也是家鸡的祖先,国外有许多关于家鸡与4种原鸡亲缘关系的试验研究报道。程光潮等<sup>[21]</sup>为此根据这些报道进行过分析讨论,并引用国外学者关于不同来源的红原鸡(泰国、印尼、孟加拉和尼泊尔)和现存其它3种原鸡的蛋白质多态测试资料,藉以比较它们与中国红原鸡和3个地方鸡种(茶花鸡、泰和鸡、寿光鸡)的遗传相似关系。结果表明,家鸡与4种原鸡的亲缘关系从近到远的顺序是:家鸡—红原鸡—灰纹原鸡—黑尾原鸡—绿领原鸡。这依然说明家鸡和红原鸡的遗传关系最为密切。另外3种原鸡对家鸡起源的影响到底能否予以完全否定?如果不能,其影响及贡献的程度和范围如何?尚有待于从细胞、分子水平等方面做进一步研究。

### 3.2 中国家鸡的起源

**3.2.1 已有的证据** 中国的家鸡由印度传入的说法完全是出于误解。无论是从关于史前文化遗址发掘出来的动物遗物,还是从以前广泛分布于我国的原鸡看,家鸡在中国,至少是与印

度同时从原鸡进行驯化<sup>[16,19]</sup>。簿吾成<sup>[20]</sup>根据民族学和考古学研究指出,在距今 8000 ~ 7500 年前的旧石器时代末期至新石器时代早期,居住在黄河中下游的中华民族的祖先东夷人最先将原鸡驯化成家鸡。处在古代东夷人辛勤开发与经营地域内的磁山、北辛和裴李岗(现今的河北武安、河南新郑县和山东滕县)被称为“鸡源”。

3.2.2 来自血液蛋白多态性的证据 根据云南地方鸡种血浆蛋白质和血型的基因频率,计算遗传距离,并各自进行聚类分析,得到完全相同的系统聚类分析结果<sup>[4]</sup>。武定鸡和版纳斗鸡的遗传距离最近,它们首先聚在一起,随后依次与茶花鸡和红原鸡相聚,茶花鸡处于红原鸡和武定鸡、版纳斗鸡的中间过渡状态。聚类结果呈现红原鸡—茶花鸡—武定鸡—版纳斗鸡这样一个亲缘关系阶梯状。红色原鸡与茶花鸡的亲缘关系较近,这与茶花鸡属半野生型家鸡相吻合。茶花鸡由于受自然条件变化和社会经济发展的影响较小,尤其人工选择强度较弱,其原始性状保留较多,但它毕竟是人类长期驯养和选育的产物,同时也具有许多现代家鸡品种的特点。刘坤凡等<sup>[4]</sup>把红原鸡、茶花鸡、武定鸡、版纳斗鸡的血浆蛋白质基因频率与国外学者关于几种原鸡报道的测试资料进行比较发现,血浆脂酶 *ES\_1*、淀粉酶 *AMY\_1* 的基因频率存在较大差异,并且与我国其它鸡种比较也存在一些区别,形成了云南地方鸡种独特的基因类型。聚类分析显示,中国红色原鸡与我国家鸡亲缘关系最近<sup>[21]</sup>。蛋白质研究结果支持中国鸡种有自己独立的血液来源。

3.2.3 云南可能是中国家鸡的起源中心之一 原鸡广泛分布于云南西部、西南部、南部及东南部<sup>[16]</sup>,尽管今天的原鸡与七八千年(人类驯养家鸡的历史)<sup>[20]</sup>前的原鸡相比可能会有所不同,但根据染色体的进化速率<sup>[18]</sup>及 mtDNA 以每百万年 2% 的平均碱基突变速率<sup>[22]</sup>来看,今天家鸡的祖先还是可以在现存的野生种内找到的。从血液蛋白多态性结果,DNA 指纹进一步证明半野生型的茶花鸡为原鸡—现代家鸡进化阶梯的过渡类型<sup>[4,21]</sup>。提示原鸡与我国南方古代的鸡种有着血缘关系,那些现存于云南境内的红色原鸡可能就是当地家鸡的野生祖先。因此,在“鸡源”<sup>[20]</sup>存在的同时,不妨认为我国云南地区可能也是中国家鸡起源中心,中国家鸡由云南境内的野生鸡种经过驯化而成,以后再向北方传播。谢成侠<sup>[19]</sup>对此有过类似的推测。我国家鸡的起源不应只有一个中心,云南境内的红色原鸡在本地先驯化成古代家鸡,然后向北方传播,与从处在古代东夷人辛勤开发与经营地域内的“鸡源”,由北方原鸡先驯化后再向四方扩散的古代家鸡<sup>[20]</sup>相汇融合,经过长期的自然选择和人工选择而形成现今分布于全国各地的家鸡地方品种。

4 结语

云南地方鸡种在生境、形态外貌、细胞遗传和血液蛋白等均表现出多样性,但 mtDNA 的遗传变异单一。染色体核型间虽存在一些区别,但整个染色体差异并不显著,体现了禽类染色体在进化过程中保守的特点。mtDNA 多态性的缺乏提示云南地方鸡种可能拥有一个共同的、较为晚近的野生祖先。红原鸡与云南地方鸡种之间呈现红原鸡—茶花鸡—武定鸡—版纳斗鸡这样一个亲缘关系阶梯状。从血液蛋白、细胞遗传和 mtDNA 等方面进一步证明红原鸡为家鸡的祖先。那些现存于云南境内的红原鸡可能就是当地家鸡的野生祖先。云南可能是中国家鸡的起源中心之一。

云南地方鸡种是经过千百年来自然选择和人工选择而形成能够适应当地生态环境和社会经济条件的地方品种,由于历史上交通闭塞,少数民族社会、经济和文化发展缓慢,这些品种得以保留至今。云南地方鸡种有其独特的基因类型,形成了与我国其它鸡种相对独立的鸡

种,是属于选育程度较低、选择潜力较大的地方品种,具有较高的保护和利用价值。目前,关于云南地方鸡种的多样性,虽在形态学、细胞遗传学和生化遗传学等方面做过一些研究,但尚有待于进一步深入,至于分子水平的遗传多样性研究才刚起步,与国外同类研究相比存在较大差距<sup>[3,23]</sup>。随着生物科学各项重大技术的进步,生物多样性的检测手段日益成熟和多样化,将来应从不同角度和更深层次分析、揭示云南地方鸡种的遗传多样性,据此对其加以认识、保护和可持续利用。

## 参 考 文 献

- 1 黄启昆,王玉嵩,王守信等. 云南省家畜家禽品种志. 昆明:云南科技出版社,1987
- 2 邱祥聘,陈镔,陈育新等. 中国家禽品种志. 上海:上海科学技术出版社,1988
- 3 陈灵芝主编. 中国的生物多样性现状及其保护对策. 北京:科学出版社,1993,99~113
- 4 刘坤凡,程光潮,王力等. 红原鸡与云南地方鸡种的亲缘关系研究. 中国农业科学,1997,30(2):77~80
- 5 张廷钦,邹平,宿兵等. 云南地方鸡种血液蛋白多态性与其遗传关系的研究. 云南畜牧兽医,1997,(3):27~30
- 6 张丽霞,苗永旺,胡文平等. 云南盐津乌鸡血液蛋白及同工酶遗传多态性研究. 云南农业大学学报,1996,11(3):178~183
- 7 邹平,张廷钦,谭德勇等. 云南省三个地方鸡种血液淀粉酶多态性分析. 遗传,1997,19(6):27~29
- 8 张细权,吴显华,周怀军等. 中国地方鸡种血液淀粉酶 Amy<sub>1</sub> 多态性. 遗传,1996,18(3):9~11
- 9 桥口勉,岡本新,西田隆雄. 家畜化と品种分化に关する遗传学的研究. 京都大学灵长类研究所,1984,132~134
- 10 曾养志,何芬奇. 中国原鸡(*Gallus gallus*)的染色体研究. 云南农业大学学报,1986,1(1):81~86
- 11 曾养志. 家鸡(*Gallus domesticus*)和原鸡(*Gallus gallus*)的染色体及G-带带型比较研究. 云南农业大学学报,1987,2(2):57~62
- 12 张廷钦,邹平,林世英等. 云南四个地方鸡种染色体核型比较研究. 云南畜牧兽医,1997,(2):5~7
- 13 王文,兰宏,刘爱华等. 家鸡和原鸡的线粒体DNA多态性比较. 动物学研究,1994,15(4):55~60
- 14 邹平,张廷钦,王文等. 云南几个地方鸡种的mtDNA限制性片段多态性研究. 中国畜牧杂志,1997,33(6):26~27
- 15 Wakana S, Watanabe T, Tomita T. A variant in the restriction endonuclease cleavage pattern of mitochondrial DNA in the domestic fowl, *Gallus gallus domesticus*. *Animal Genetics*, 1986, 17:159~168
- 16 郑作新,谭耀匡,卢汰春等. 中国动物志,鸟纲,第四卷,鸡形目,北京:科学出版社,1978,148~154
- 17 Maruyama Takeo, Hirokami T Imai. Evolutionary rate of the mammalian karyotype. *J. Theor. Biol.*, 1981, 90(1):111~122
- 18 Hakan Tegelstrom, Torbjorn Ebenhard, Hansryttman. Rate of karyotype evolution and speciation in birds. *Hereditas*, 1983, 98:235~239
- 19 谢成侠. 中国鸡种的历史研究. 见:中国畜牧史料集,北京:科学出版社,1986,284~292
- 20 簿吾成. 中国家鸡的起源. 见:中国家畜起源论文集,天则出版社,1993,45~61
- 21 程光潮,刘坤凡,张琦等. 红原鸡与家鸡的亲缘关系研究. 遗传学报,1996,23(2):96~104
- 22 Wesley M Brown, Matthew George J R, Allan C Wilson. Rapid evolution of animal mitochondrial DNA. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1979, 76(4):1967~1971
- 23 邱芳,伏健民,金德敏等. 遗传多样性的分子检测. 生物多样性,1998,6(2):143~150