

# 鸡快慢羽性状遗传学基础分析综合实验探索与实践

张丽, 徐海冬, 冷奇颖, 刘艳芬, 赵志辉, 效梅, 吴江, 张权, 安立龙

广东海洋大学农学院, 湛江 524088

**摘要:** 随着全国“卓越农林人才教育培养计划”的开展, 我校动物科学专业设置了“卓越班”, 以突出培养学生的系统思维和创新创业能力为目标开展了系列教育教学管理和课程改革。为此, 我们以“鸡快、慢羽性状”为实验对象, 设计了“鸡快慢羽性状遗传学基础分析”综合实验, 突出培养学生用理论知识解决生产实践问题的思维和能力。本文重点介绍了该实验作为动物遗传学实验教学案例的实施过程及效果, 首先从鸡的表型观察逐步深入到遗传学基础分析, 利用遗传学理论指导鸡快、慢羽品系培育的育种实践。实验内容涉及伴性遗传规律和性别决定机制等遗传学理论知识, 同时还涉及基因组 DNA 提取、基因扩增、酶切及电泳分析等一系列分子遗传学的技术方法。不仅有利于学生综合分析能力和专业技能的掌握, 还有助于培养学生对动物科学专业的科研兴趣和创新意识。此综合性实验还展现了用遗传学理论指导动物品种培育实践过程, 符合动物科学专业复合应用型人才培养目标的要求, 其中的教学理念和方法可推广应用于其他生物学实验教学。

**关键词:** 动物遗传学; 快慢羽; 综合实验; 动物科学

## A genetics laboratory class to analyze early and late feather traits of chicken

Li Zhang, Haidong Xu, Qiyang Leng, Yanfen Liu, Zhihui Zhao, Mei Xiao, Jiang Wu, Quan Zhang, Lilong An

Agricultural College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

**Abstract:** With the implementation of the “Education and Training Program for Outstanding Agricultural and Forestry Talents” in our country, our university established the “Outstanding Class” for students majoring in the animal science. We also carried out a series of educational management and curriculum reforms to cultivate students’ systematic model of thinking and the ability of technology innovation. In this paper, we designed a comprehensive experiment that focused on analyzing early and late feather genetic traits of chicken. The students initially observed the phenotype of chickens and

收稿日期: 2017-10-23; 修回日期: 2017-12-13

基金项目: 广东海洋大学教学团队建设项目(动物繁殖原理与生物技术), 教育教学改革项目(编号: XJG201333, XJG201770), 《现代动物遗传学》案例库建设(编号: 2017QTLXXM21)和《家畜育种学》精品资源共享课程项目(编号: GDOU2017041303)共同资助[Supported by the Teaching Team Project of Guangdong Ocean University(Animal Reproduction and Biotechnology), Teaching Reform Project (Nos.XJG201333, XJG201770), Construction of Animal Genetics Database (No.2017QTLXXM21) and the High Quality Resources Sharing Course (Animal Breeding) (No.GDOU2017041303)]

作者简介: 张丽, 博士, 副教授, 研究方向: 家禽遗传育种与繁殖。E-mail: zhangli761101@163.com

通讯作者: 安立龙, 博士, 教授, 研究方向: 动物遗传育种与繁殖。E-mail: anlilong@126.com

DOI: 10.16288/j.yczs.17-342

网络出版时间: 2018/1/9 11:00:12

URI: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1913.R.20180109.1100.001.html>

gradually were led into genetics analysis. We introduced the breeding practice, and guided the students to use genetic theories to breed chick strains of early and late feather traits. The experiment is not only based on the sex-linkage theory and sex determination mechanism, but also molecular genetics technologies, such as genomic DNA extraction, amplification, enzyme digestion and electrophoresis. Conducting this experiment can enhance students' comprehensive analysis ability and professional skills, as well as be beneficial to cultivate their scientific research interests and curiosity on animal sciences. Thus, we integrated the genetics theories into animal breeding practice that meet the requirement of comprehensive applied talents of animal science specialty. The teaching ideas and methods described in this paper can be applied to other biological experiment teaching practice.

**Keywords:** animal genetics; early and late feather; comprehensive experiment; animal science

现代遗传学理论和技术发展日新月异<sup>[1]</sup>,而本科生课堂内容尤其是实验课堂内容更新速度较为缓慢。动物科学专业本科生遗传学实验教学多停留在遗传物质的制备和染色体观察等层面,对于生物学现象的遗传机制探究和分析能力培养的综合性实验欠缺。我校动物科学专业的人才培养目标是培养动物科学类“一专多能”的应用型和复合型人才,使学生具备动物遗传育种与繁殖、动物营养与饲料科学、动物生产等方面的知识和技能,能在相关部门和企事业单位从事教学、科研、生产与管理以及技术推广与服务等方面的工作。《动物遗传学》是动物科学专业一门重要的专业基础课,与《家畜育种学》和《动物繁殖学》课程涵盖了动物遗传育种与繁殖专业的基本理论、知识和技能。《动物遗传学》课程涉及的基本理论和知识是学生开展动物遗传资源利用与品种选育、动物繁殖原理与生物技术等工作的基础。2014年我校动物科学专业被纳入到教育部首批“卓越农林人才教育培养计划”。动物科学专业设置了“卓越班”,开展了系列教育教学管理和课程改革,突出培养学生的系统思维和创新创业能力。在此背景下,结合我校动物科学专业“应用型 and 复合型人才培养目标”,我们设计了“把理论知识应用于生产实践”为指导思想的综合实验,从观察鸡羽毛性状差异开始,通过现代遗传学技术分析控制性状的遗传学基础,实现从表型到基因型的分析,同时结合伴性遗传规律探讨培育鸡快慢羽品系的基本思路 and 操作流程,把遗传学理论指导动物品种培育实践过程在同一个案例中体现,突出动物科学专业应用型和复合型人才培育特点。就实施过程而言,首

先通过小范围的单班实验,建立成熟的实验流程、方法和体系,并在全年级推广,尝试将“鸡快慢羽性状遗传学基础分析”综合实验列入动物遗传学实验课。

## 1 “鸡快慢羽性状遗传学基础分析”实验的遗传学理论基础

鸡的快慢羽是一对伴性遗传性状,常被用于初生雏鸡的自别雌雄,简便易行且快速准确,已被国内外家禽业广泛应用<sup>[2]</sup>。因此,首先让学生明确家禽性别遗传方式为ZZ(雄性)和ZW(雌性);其次快慢羽性状的遗传基础是该性状由Z染色体上一对等位基因(Kk)控制,慢羽(K)对快羽(k)为显性。快羽雏鸡主翼羽长于覆主翼羽,慢羽雏鸡翅膀羽毛表现多样化,包括主翼羽和覆主翼羽等长、主翼羽短于覆主翼羽以及只见覆主翼羽,主翼羽还未长出。由于控制该性状的基因位于鸡性染色体,表现为伴性遗传方式,因此家禽生产中常把快慢羽性状用于雏鸡性别鉴定<sup>[3]</sup>。鸡快慢羽性状遗传学基础分析实验涉及动物遗传学的伴性遗传和性别决定机制基本规律,涵盖动物遗传学基本概念和知识点,主要包括:成对性状、表型、基因型、等位基因、纯合子、杂合子和显隐性等。通过该实验课的开设,把理论知识在实验课上以“看得见,摸得着”的形式呈现,促成眼见为实,更容易为学生所理解和掌握,能激发动物科学专业学生用遗传学理论解决动物生产实践问题的创新思维和能力。

## 2 实验方案

### 2.1 学生分组与实验材料

#### 2.1.1 学生分组

每班学生约 30 人,分成 8 个小组。每组 4 人左右,配备 1 套微量移液器。实验所用试剂和缓冲液配制由实验员和研究生助教课前备好,课上实验操作均由学生独立完成。

#### 2.1.2 鸡快慢羽表型性状观察

本实验以贵妃鸡(*Gallus gallus*)快羽与慢羽品系作为研究分析的素材。贵妃鸡出雏当天对实验鸡群佩戴翅号,同时对它们进行快慢羽鉴别,根据雏鸡 1 日龄的羽毛生长速度来记录其对应的快羽和慢羽性状。若主翼羽短于或者等于覆主翼羽的长度,则可判定该雏鸡是慢羽型。相反,若主翼羽长于覆主翼羽,则可判定该雏鸡是快羽型<sup>[4]</sup>。将雏鸡的快慢羽表型性状与相对应的翅号逐一记录下来。

#### 2.1.3 快慢羽鸡毛囊采集

表型性状观察记录结束后,在教师指导下每组学生完成样品的采集,每组采集 2 只快羽和 2 只慢羽鸡羽毛,全班共采集 32 只鸡翅部羽毛(快慢羽各半),用剪刀将羽毛根部(约 3 mm)带有羽髓和毛囊的部位剪下并一一放入 1.5 mL 的离心管中,按组编号立刻放进-20℃冰箱保存。

### 2.2 快慢羽鸡遗传基础(差异)分析

#### 2.2.1 鸡基因组 DNA 的提取与检测

采用广州美基生物科技有限公司生产的动物基因组 DNA 提取试剂盒,在研究生助教指导下全体学生分别提取鸡羽毛根部样品的 DNA 并电泳检测。

#### 2.2.2 快慢羽鸡基因分型分析

快慢羽鉴别引物以及基因型分析引物见表 1,引物序列参照文献<sup>[5,6]</sup>,以提取的总 DNA 为模板,PCR 扩增的反应体系为:ddH<sub>2</sub>O 6.2 μL,2×PCR mix (含 buffer, dNTP 和 *Taq* 酶)7.5 μL,上、中和下游引物

各 0.1 μL, DNA 1 μL, 总体积 15 μL。PCR 反应程序为 94℃预变性 5 min, 35 个循环(94℃变性 30 s, 58℃复性 30 s, 72℃延伸 40 s), 72℃延伸 10 min。配制 1.5% 琼脂糖凝胶,将 PCR 扩增产物电泳后,放在紫外成像仪里面进行检测。

### 2.3 慢羽公鸡纯合子与杂合子酶切分型检测

用 URev21 引物扩增慢羽公鸡基因组 DNA, PCR 扩增的反应体系为: ddH<sub>2</sub>O 6.3 μL, 2×PCR mix (含 buffer、dNTP 和 *Taq* 酶)7.5 μL, 上下游引物各 0.1 μL, DNA 1 μL, 总体积 15 μL。PCR 反应程序为预变性 94℃ 5 min, 32 个循环(94℃变性 1 min, 56℃复性 1.5 min, 72℃延伸 2 min), 72℃延伸 15 min。将 PCR 扩增产物用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳后,放在紫外成像仪里面进行检测。按以下体积配制消化液: 取 10 μL PCR 产物, 加入大连宝生物公司生产的限制性内切酶 *Hae*Ⅲ 0.8 μL, 10×Buffer 2 μL, ddH<sub>2</sub>O 8 μL。一共制成 20.8 μL 的体系消化 4 h。将酶切产物用 1.5% 琼脂糖凝胶电泳后,放在紫外成像仪里面进行检测。

## 3 实验结果与分析

### 3.1 通过观察鸡的羽速学习“相对性状”和“表型”等基本知识

观察出壳当天鸡翅膀羽毛发育情况,通过对比快羽系和慢羽系鸡翅膀羽毛发育速度的差异(图 1),非常直观地认识性状表现型的多样性,明确了快羽与慢羽个体的表型差异,主翼羽均比覆主翼羽长的是快羽型,其余类型为慢羽,慢羽包括 3 种类型:(1)主翼羽和覆主翼羽等长;(2)主翼羽短于覆主翼羽;(3)只见覆主翼羽,主翼羽还未长出。针对这一步的结果,教师应帮助学生回顾理论课的相关内容:(1)遗传定律中“一对相对性状”的概念;(2)表型。

### 3.2 分析鸡快慢羽表型性状的遗传差异

在进行遗传分析之前,教师应帮助学生回顾理

表 1 快慢羽基因分型引物

Table 1 The primers to genotype the early and late feather traits

引物名称	序列(5'→3')	用途	Tm(°C)
PR-F	AATGGTACTACAGAGAAGGTAGGAATATC	双重 PCR 快慢羽分型	58
PR-R	CCTAGAACACTGGACATGGTATGATATCTCAGCC		
PR-in	GGTGTGCACCTGGGTGTAGTGGACA		
URev21-F(PR-F)	AATGGTACTACAGAGAAGGTAGGAATATC	纯合子、杂合子分析	56
URev21-R	GTAAGACTAACACAGTATTCTCGAGT		

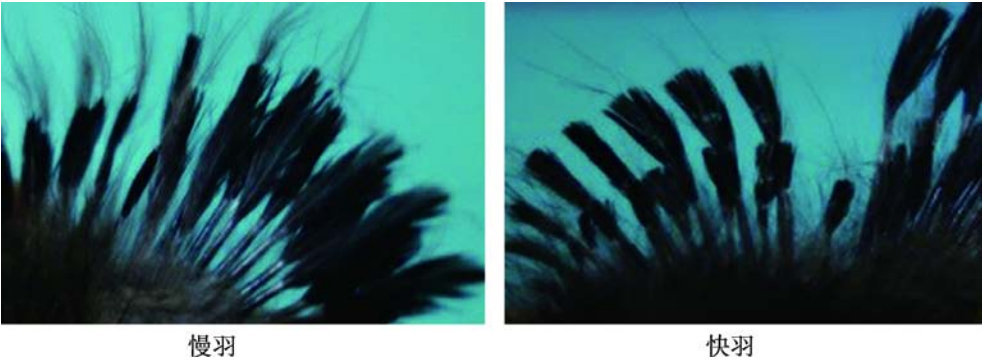


图 1 鸡的羽速表型观察

Fig. 1 Comparison analysis between the early and late feathers

论课的相关内容：(1)性状由基因控制；(2)基因突变(如插入、缺失)的分类；(3)等位基因与基因型等基本概念。然后让学生开展操作和分析。用快慢羽鉴别引物 PR-F、PR-R 和 PR-in 进行 PCR 扩增，通过琼脂糖凝胶电泳检测的结果见图 2。应用上述引物，将鸡的 DNA 模板进行双重 PCR 扩增，当结果只能扩增出一条 396 bp 的条带时，则判定该基因为快羽基因。相反，当扩增出 2 条大小分别为 396 bp 和 341 bp 的条带时，则判断该基因为慢羽基因。本实验的结果表明，在检测的样品中，快慢羽基因型检测结果与表型鉴定的一致率达到 100%。针对这一步

的结果，教师应解释鸡慢羽表型是由于 ev21 序列在鸡基因组 DNA 的插入引起<sup>[7,8]</sup>，表现为伴性遗传方式，因此家禽生产中常把快慢羽性状用于雏鸡性别鉴定。慢羽鸡用该方法检测会出现 2 条带的扩增结果；而快羽没有插入序列，只有 1 条带的扩增结果，由此便形成了快羽和慢羽的遗传差异。

3.3 利用 PCR-RFLP 技术分析慢羽公鸡是纯合子还是杂合子，为选种奠定基础

该步实验前，教师应帮助学生回顾理论课的相关内容：(1)基因酶切分型技术原理；(2)伴性遗传规

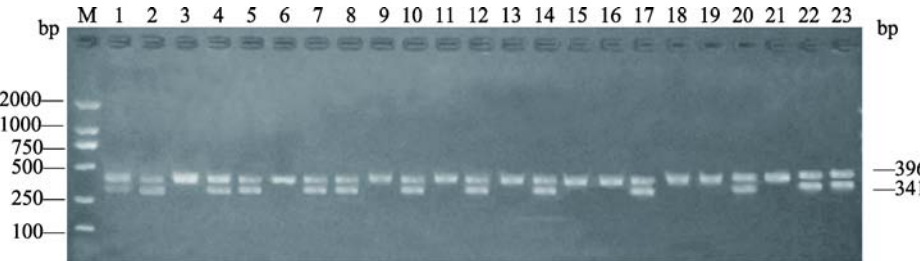


图 2 鸡的快慢羽遗传基础差异分析

Fig. 2 Genetics analysis on the early and late feathers of chicken

M 为 DL 2000 DNA Marker；3、6、9、11、13、15、16、18、19、21 为快羽型；1、2、4、5、7、8、10、12、14、17、20、22、23 为慢羽型。

律；(3)纯合子与杂合子。酶切分型只针对慢羽公鸡个体，区分是纯合子还是杂合子，目的是可以为后续育种挑选纯合子个体。在此设置问题，请同学们思考为什么慢羽母鸡不需要进行纯合子与杂合子鉴别？然后让学生开展操作和分析。用 URev21 引物对毛囊基因组 DNA 进行 PCR 扩增后，通过琼脂糖凝胶电泳检测结果如图 3，电泳图只出现了一条带，PCR 产物为 1450 bp，扩增结果没有出现任何异常，可以继续做酶切反应(PCR-RFLP 分型)。

理论上，酶切结果如果出现 3 条带的为杂合子(分别为 1450 bp、1068 bp 和 382 bp)、只有出现 1 条带(1450 bp)或 2 条带(1068 bp 和 382 bp)的表明在该检测位点为纯合子。本次酶切分型的实验结果见图 4，慢羽公鸡经过 PCR-RFLP 分型后，通过琼脂

糖凝胶电泳检测，发现多数个体 PCR 产物酶切结果为 2 条带(图 4A)，少数个体表现为 1 条带或 3 条带的酶切结果(图 4B)。本实验结果表明检测分析的慢羽鸡样本中存在少数杂合子个体。在实验结束后，教师应依据学生的结果归纳总结本实验开设的实践意义，指出鉴别慢羽纯合子与杂合子个体的在鸡品系培育中的作用，充分让学生体会到遗传学理论与动物育种实践的紧密联系。

### 3.4 依据检测结果绘制鸡快慢羽品系培育的思维导图

教师在此应帮助学生梳理课程相关内容和知识点，比如：在上述检测结果基础上，结合动物遗传繁育中的扩繁、纯繁和选种技术，才能在生产实践

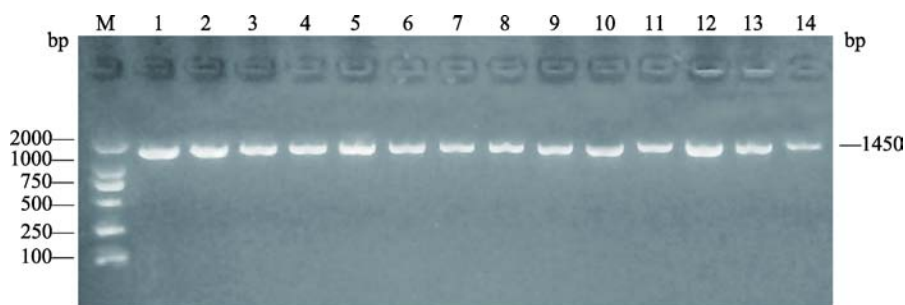


图 3 以 URev21 为引物 PCR 扩增结果

Fig. 3 The PCR results using primers targeting URev21

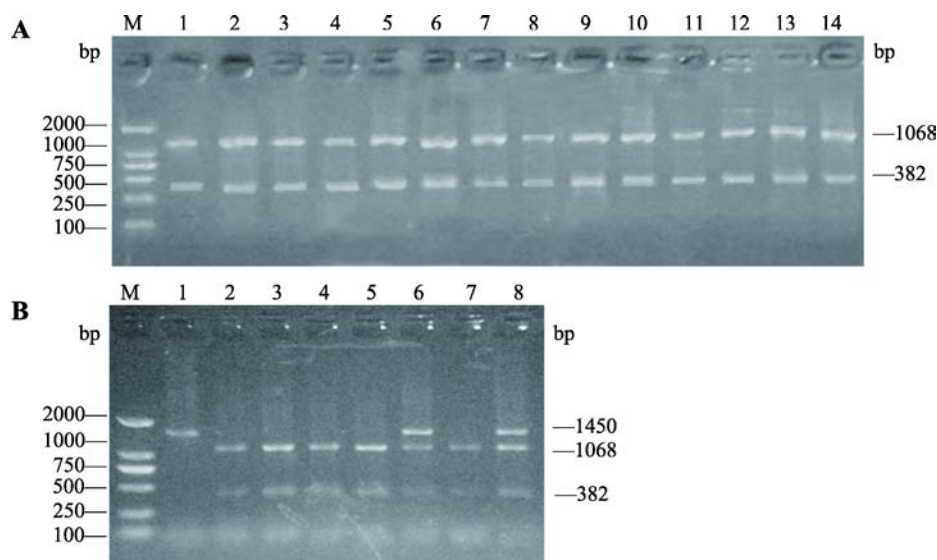


图 4 慢羽公鸡 *Hae* III 酶切分型

Fig. 4 Digestion analysis with *Hae* III on PCR products obtained from the late feather cocks

M 为 DL 2000 DNA Marker；1 条带(B-1)和 2 条带(A1~14，B2~5，B7)的均为纯合子个体，3 条带(B6，B8)的为杂合子个体。

中完成慢羽系鸡的培育工作。具体为: 挑选出慢羽纯合子个体(包括公鸡和母鸡)后通过扩繁来增加慢羽个体的数量, 在获得的后代中进一步观察羽速, 确定是否所有后裔个体均为慢羽, 剔除由于前期误判出现的快羽后裔个体及其亲本, 剩余的慢羽个体开展纯种繁育工作。教师逐步引导学生绘制快羽品系或慢羽品系鸡选育的路线图, 具体如图5所示, 以该图指导鸡快慢羽品系选育工作, 通过该实例, 锻炼学生综合应用动物遗传学理论和技术指导育种实践, 促使学生形成系统思维的工作模式, 充分让学生体会到遗传学理论与育种实践的紧密联系。

## 4 实验改革效果评价及思考

### 4.1 实验对象由模式生物转变为家养动物(畜禽), 体现动物科学专业特点

动物科学专业的遗传学教学应该结合动物科学的生产环节开展实验研究。早期由于畜禽性状遗传机制不清晰, 所以动物科学专业的遗传学实验多以模式生物(果蝇、小鼠)作为实验对象, 而涉及到动物科学实际例子的较少, 涉及遗传机制解析和遗传学规律验证的综合实验少。现代分子生物学和遗传学飞速发展, 动物科学领域的研究成果不断涌现, 家养动物很多性状的遗传基础和机制均已解析, 如家禽方面包括鸡快慢羽、卷羽与片羽、蛋壳颜色、蛋的鱼腥味、矮小与正常体型等。这些均可以列入动物科学专业本科生的遗传学实验教学中。随着学校科研水平的不断提升, 科研平台的不断完善, 无论从实验对象还是实验内容方面, 已经具备以家养动物(畜禽)为对象, 以解析家养动物质量或数量性状遗传规律和机制为目标的实验设计, 充分体现动物

科学专业的特点。使得实验在研究对象、内容和遗传机制解析方面均紧紧围绕动物科学开展, 有助于学生运用专业知识从专业的角度思考问题, 并培养理论知识指导动物生产的理念, 稳定学生专业思想, 建立干一行爱一行的信念。针对我校的实验平台条件(家禽中心、孵化室和遗传育种实验室)和学科特点, 我们选择了鸡快慢羽基因分型实验作为本科生实验教学改革的内容。同时也考虑到快慢羽性状容易观察, 易于引导学生从分析表型开始逐渐深入到基因型的分析。

### 4.2 实验开设结合专业平台条件和学科特色

作为地方农林院校不能一味效仿名校, 必须从自身实际出发, 结合自身的科研特色和优势设计出切实可行的综合性实验<sup>[9]</sup>。广东海洋大学动物科学专业具备中央与地方共建“热带动物遗传育种与繁殖”重点实验室、“广东省特色家禽生态健康养殖科技创新中心”和“家禽育种中心”等学科平台条件。近年来在家禽遗传繁育方面围绕家禽羽毛、耐热、生长发育和繁殖等性状开展研究, 积累了重要的研究技术和方法。把这些科研形成的稳定的技术、方法应用于本科生教学, 有助于提升学生的培养质量, 拓展学生视野, 培养学生探究科学问题和寻求解决方案的能力。为此, 结合我校动物专业现有的实验平台和基础条件, 设置了“鸡快慢羽性状遗传学基础分析综合实验”, 实现从动物表型性状观察开始, 通过现代遗传学技术和方法分析性状形成的遗传学基础, 培养学生思考问题和探索科学本质的精神。

### 4.3 实验课的开设方式

我校实验课的开设有两种方式: (1) 课程内设置的实验课, 即理论课和实验课属于同一门课程;

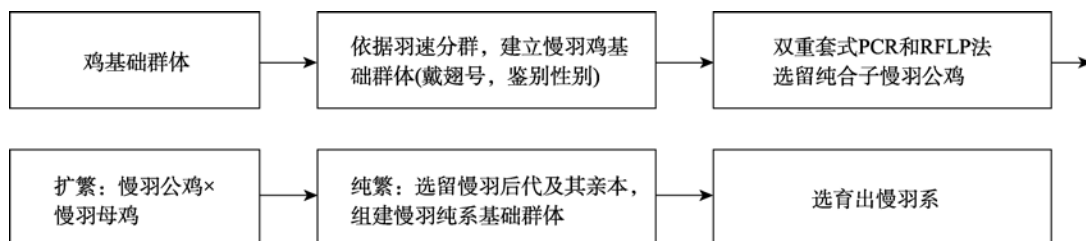


图5 慢羽品系鸡培育思维导图

Fig. 5 The mind map of breeding the late feather chicken

(2)独立实验课,具备独立的课程号码。对于综合实验,本实验涉及鸡表型观察、基因组 DNA 提取、PCR 扩增、电泳、酶切以及数据分析等环节,所需时间较长,因此比较适合以独立实验课的形式开设。本实验涉及的动物遗传学理论知识包括:伴性遗传、性别决定、DNA 复制(体外)、表型与基因型,杂合子与纯合子和等位基因,把这些抽象化的概念利用 PCR 和酶切等遗传学技术手段呈现为可以看得见、摸得着的具体事物,易于被学生接受、理解和掌握。

#### 4.4 综合实验开设的条件探索

本实验的首次尝试是从指导本科生毕业论文实验开始,在教师和研究生指导下由 1 名本科生独立完成从快慢羽表型观察、鸡基因组 DNA 抽提、PCR 扩增到基因分型的完整实验过程,并写出毕业论文的全部内容。通过 1 名学生的工作形成成熟的实验条件(基因扩增和酶切)、确定仪器设备和实验室使用前后衔接顺序关系,之后扩展到在动物科学卓越班小班授课尝试,再推广到动物科学专业全部班级,并在本科生培养方案修订过程中纳入课程的教学大纲,最终形成以家养动物(畜禽)为主要实验对象、具备动物科学专业特色、集动手能力和遗传机理分析为一体的综合实验。高校教师应坚持教学与科研并重,把科学研究中的新进展和新成果及时补充到本科生教学中,及时更新教学内容和案例,拓展学生视野,培养学生探求科学精神和解决科学问题的能力,最终实现动物科学专业应用型和复合型人才培养目标。

#### 参考文献(References):

- [1] Li HW, Wang RJ, Wang ZY, Li XW, Wang ZY, Zhang YJ, Su R, Liu ZH, Li JQ. The research progress of genomic selection in livestock. *Hereditas(Beijing)*, 2017, 39(5): 377–387.  
李宏伟,王瑞军,王志英,李学武,王振宇,张燕军,苏蕊,刘志红,李金泉. 家畜基因组选择研究进展. *遗传*, 2017, 39(5): 377–387. [\[DOI\]](#)
- [2] Wang HZ, Zhao JH, Jia XH. Selection of Rizhao chicken with early and late feathering and the autosexing effect analysis. *China Poult*, 2016, 38(9): 54–56.  
王海洲,赵纪华,贾晓晖. 日照麻鸡快慢羽纯系的选育及自别雌雄效果分析. *中国家禽*, 2016, 38(9): 54–56. [\[DOI\]](#)
- [3] Zhang YL, Wang ZP, Qiu JW, Leng L, Li YM, Cao ZP, Li H. Genetic analyses on blue eggshell, recessive white and feathering rate traits in lindian chicken population. *China Poult*, 2015, 37(17): 5–11.  
张元良,王志鹏,邱家维,冷丽,李玉茂,曹志平,李辉. 林甸鸡绿壳蛋、隐性白、快慢羽性状的遗传基础分析. *中国家禽*, 2015, 37(17): 5–11. [\[DOI\]](#)
- [4] Qiu XP. Study on chicken late feather. In: The Eighth National Symposium on Poultry Science. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1997: 120–122.  
邱祥聘. 鸡的慢羽羽型研究. 见: 第八届全国家禽学术讨论会论文集. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1997: 120–122. [\[DOI\]](#)
- [5] Iraqi F, Smith EJ. Determination of the zygosity of *ev21-k* in late-feathering male white leghorns using the polymerase chain reaction. *Poult Sci*, 1994, 73(7): 939–946. [\[DOI\]](#)
- [6] Han JR. Research on growth factors for feather development and regulation function of *ev21 LTR*[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007.  
韩瑾润. 影响羽毛发育的生长因子及相关 *ev21LTR* 调控的研究[学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2007. [\[DOI\]](#)
- [7] Elferink MG, Vallée AAA, Jungerius AP, Crooijmans RPMA, Groenen MAM. Partial duplication of the *PRLR* and *SPEF2* genes at the late feathering locus in chicken. *BMC Genomics*, 2008, 9: 391. [\[DOI\]](#)
- [8] Zhao JC. Screening of candidate genes of chicken feathering[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016.  
赵计昌. 鸡快慢羽候选基因的筛选[学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2016. [\[DOI\]](#)
- [9] Huang XY, Fan K, Ye YF, Wang B, Wu WR, Lan T. Teaching practice and experiences of verifying the three laws of genetics based on the SSLP marker analysis. *Hereditas(Beijing)*, 2017, 39(9): 856–862.  
黄雪盈,范凯,叶炎芳,汪斌,吴为人,兰涛. 基于 SSLP 分子标记验证遗传学三大定律的教学实践探索与体会. *遗传*, 2017, 39(9): 856–862. [\[DOI\]](#)