

DOI: 10.3724/SP.J.1005.2011.01279

# 数学原理在遗传学教学中的应用与实践

刘军<sup>1</sup>, 罗培高<sup>2</sup>

1. 四川农业大学林学院, 雅安 625014;

2. 四川农业大学植物遗传和育种省级重点实验室, 成都 611130

**摘要:** 遗传学在生命科学中具有举足轻重的作用, 其建立、发展和完善与数学紧密相连。由于遗传学自身具有较强的理论性和实践性, 其内容较为抽象, 导致部分学生缺乏学习兴趣。采用“渗透式”教学的方法, 把遗传学知识和数学思维有机结合, 巧妙应用数学的方法和技巧, 将部分遗传现象进行数学抽象和逻辑推理, 提升学生对遗传学的认识和理解层次, 进一步提高学生的学习和研究能力。

**关键词:** 数学原理; 遗传学教学; 渗透式教学; 数学抽象; 逻辑思维; 专业基础课

## The discussion of the infiltrative model of mathematical knowledge to genetics teaching

LIU Jun<sup>1</sup>, LUO Pei-Gao<sup>2</sup>

1. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China;

2. State Key Laboratory of Plant Breeding and Genetics, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

**Abstract:** Genetics, the core course of biological field, is an importance major-basic course in curriculum of many majors related with biology. Due to strong theoretical and practical as well as abstract of genetics, it is too difficult to study on genetics for many students. At the same time, mathematics is one of the basic courses in curriculum of the major related natural science, which has close relationship with the establishment, development and modification of genetics. In this paper, to establish the intrinsic logistic relationship and construct the integral knowledge network and to help students improving the analytic, comprehensive and logistic abilities, we applied some mathematical infiltrative model genetic knowledge in genetics teaching, which could help students more deeply learn and understand genetic knowledge.

**Keywords:** mathematical theory; genetics teaching; infiltrative teaching; mathematical abstract; logistic idea; major-basic course.

数学是研究各门学科的重要工具, 无论是在自然科学还是在社会科学方面均起着至关重要的作用。著名科学家伽利略认为: “自然的语言就是数学,

要表达自然的运动规律, 应当使用数学和实验数据”<sup>[1]</sup>。21 世纪是生命科学的时代, 而遗传学特别是分子遗传学在生命科学中具主流地位, 它推动了

收稿日期: 2011-01-14; 修回日期: 2011-01-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 30971787), 教育部霍英东高校青年教师基金项目(编号: 111030), 四川省杰出青年科技基金项目(编号: 2010JQ0042)和四川省省级特色专业建设项目资助

作者简介: 刘军, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 树木分类与树木遗传学研究。Tel: 0835-2882457, E-mail: jliu2502@yahoo.com.cn

通讯作者: 罗培高, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 遗传学教学和植物抗病分子细胞遗传研究。E-mail: lpg052000@yahoo.com.cn

网络出版时间: 2011-8-17 14:20:16

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1913.R.20110817.1420.004.html>

和正推动着整个生命科学的迅猛发展。近年来,遗传学教学信息量剧增与其授课学时不断压缩之间的矛盾日趋突出。遗传学教学工作者为解决这一矛盾提出了一些新的教学理念和方法<sup>[2]</sup>,如概念图的应用<sup>[3]</sup>、知识的模块化和网络化<sup>[4,5]</sup>、学科间的渗透式教学<sup>[6]</sup>和PBL教学<sup>[7]</sup>等。但是,如何进一步将遗传学知识用数学语言来描述,如何将遗传学的基本概念进行数学抽象,以及如何运用数学思维来讲授遗传学,是遗传学教师面临的新问题,更是新的挑战。

笔者结合自己的教学实践,谈谈遗传学教学中数学知识和原理的应用,仅供同行参考。

## 1 数学渗透促进遗传学学科的建立与发展

### 1.1 数学思维的成功应用促进遗传学诞生和发展

1865年,孟德尔的豌豆杂交实验论文首次利用数学统计方法,系统地描述了生物性状的遗传现象,从而提出了分离定律和自由组合定律。由于他的结论是基于统计分析方法,推论严谨,逻辑正确<sup>[8]</sup>。由于在那个时代数学方法用于生物研究是极不寻常的,所以,近半个世纪后的1900年,人们才重新发现类似的现象<sup>[9]</sup>,这标志着遗传学学科的正式诞生,同时也是数学介入遗传学的开始。而遗传学早期的研究焦点是遗传物质的化学本质,Levene<sup>[10]</sup>利用磷酸、五碳糖和含氮碱之间的数量关系来有效区别DNA和RNA,同时提出4种核苷酸的数量关系与物种的多样性有关。随后,Chargaff对这4种核苷酸之间的数量关系进行分析,进而提出了著名的Chargaff规则<sup>[11]</sup>,这为Watson和Crick<sup>[12]</sup>提出的DNA双螺旋结构提供了有力的实验数据。最近,Deng基于DNA的双螺旋结构和碱基的组成又建立了DNA复制的数学模型<sup>[13]</sup>,这暗示双螺旋结构可能是数学语言在生命活动规律中的一种表现。由此可见,数学与遗传学的建立和发展密不可分,这可能是数学作为生物类专业学生的基础课程设置的科学依据。

### 1.2 数学思维在教学中应用的展望

兴趣是促进学生主动学习的动力,也是推动学生成才的起点。因此,激发学生主动学习的兴趣是教学中的主要任务。由于遗传学知识复杂、信息量大、理论性和实践性较强,导致学生对该课程缺乏兴趣<sup>[14]</sup>。不同学科间知识点的有机衔接是激发学生

学习兴趣的有效途径之一。当今,生命科学已进入数字化时代,利用数学的思维和方法解析基因在遗传发育中的网络关系已成为研究热点<sup>[15]</sup>。利用数学知识来理解遗传学的概念和原理也成为教学改革的目标和方向<sup>[16~18]</sup>。笔者尝试利用数学中集合的相关思维讲解基因组及其相关概念:首先在黑板上画一个大圆和两个小圆,分别在各个圆中加入写入一些字母或符号;然后把大圆比喻成细胞核,两个小圆比喻成线粒体和叶绿体,而圆中的字母或符号当作基因;最后将大圆中的所有元素构成的集合类比作核基因组,两个圆形成的集合就分别是线粒体基因组和叶绿体基因组。这样就建立了“集合对基因组”和“元素对基因”的类比关系。也可顺便将不同圆中的元素进行调换,进而提出遗传物质水平转移等概念。

在集合论基础上,它利用了运动和变化观点,把变量和变量之间的关系归纳为两集合中元素间的对应(映射)就是函数思想。采用实体材料和函数思想解析基因与性状的关系能取得良好的教学效果:先在讲台摆放一粒小麦种子和一株成熟的小麦植株,对此进行提问式教学,为什么一粒小麦种子生长成与自身外观完全不一样的植株;紧接着将种子和植株勾画成两个集合,其构成的元素分别是所储藏在种子中的遗传信息和小麦植株上所能观察到性状的表现型;随后,将两集合中的元素分别当成自变量和依变量;最后将函数思想的映射关系引入,建立起“基因(自变量)”与“性状(依变量)”、“基因型”与“表现型”以及“基因座”与“单位性状”之间的逻辑联系。在此基础上,进一步利用映射法则来解释一些遗传学概念,如用一对多和多对一来描述一因多效和多因一效以及质量性状和数量性状。

综上,教师灵活数学思维和原理来讲解遗传学的概念,用数学的思维进行抽象,能有效激发学生的学习兴趣,达到事半功倍的效果,提升学生的认识水平和层次。

### 1.3 数学思维向遗传学教学渗透的作用

在遗传学教学过程中借助数学思维来理解遗传现象的本质,拓展学生的学习视野。如前所述集合与基因组和元素与基因之间的联系,映射法则与基因对性状的作用关系,以及排列组合与减数分裂过程中染色体的行为,事件的概率原理与三大遗传定

律的逻辑联系,以及方程和函数思想与功能基因的解析之间的一致性等。适当运用类比、抽象和逻辑推理可以激发学生的积极性,提高学生的自学能力<sup>[19]</sup>。

围绕“染色体理论”的三大遗传定律:分离定律,自由组合定律和连锁互换定律,是遗传学特别是经典遗传学教学体系的主线<sup>[4]</sup>。根据笔者的体会,可以利用概率论原理对其进行数学抽象。具体思路如下:第一,快速回顾一下减数分裂的过程和遗传的染色体理论的基本内容;第二,明确一条染色体上有多个基因,减数分裂过程中传递的是染色体而不是基因以及联会是减数分裂发生的前提条件等知识点<sup>[4,20]</sup>。随后,用数学思维进行逻辑抽象:由于同源染色体的共定向,导致减数分裂的子代细胞只能得到同源染色体中的其中之一,因此一对同源染色体同时进入同一子细胞是一个互斥事件,而每个子细胞获得同源染色体中的一条则是一个必然事件,这就将分离定律抽象为互斥事件;非同源染色体在减数分裂过程的行为可以类比成独立事件,所以两条非同源染色体进入同一细胞的概率可以运用乘法原理来计算;同一染色体上的基因在遗传时有连在一起向后代传递的趋势即连锁遗传现象,该现象是一种关联事件。这样就建立起分离定律对互斥事件,自由组合定律对独立事件,连锁遗传定律对关联事件的逻辑关系。随后,可以进一步描述:完全连锁是两个基因座间发生交换现象的不可能事件;非姐妹染色单体两个区域间发生关键交换的干扰现象也是关联事件,如果完全干扰就是两个区域同时发生交换的互斥事件(此时符合系数为 0),不完全干扰就是关联事件(符合系数不等于 1),无干扰就是独立事件(符合系数等于 1)。这样,用概率事件对遗传定律进行高度的概括,并且概率事件还可从不同的层面和角度对遗传定律的基本内容进行抽象,从而对这些内容进行条理化和逻辑化,升华理性认识。

此外,遗传学教学通常采用网络式和框架式教学来提高学生自主学习的能力,而学生自主学习能力又是培养学生创新能力的关键<sup>[19]</sup>。笔者也曾尝试利用数学函数的英文单词“Function”的一词多义来激发学生对遗传学问题的主动思考和探索:“Function”具有功能和函数的含义,结合前面的分析,基因对性状(即基因的表达模式)是一种函数关系,也是基因功能的展现形式;由此表明不同的基因和性状之

间的函数关系可能存在差异,到此,有同学就会追问具体有哪些关系;紧接着就可回答基因对性状起作用的基本类型如显隐性、不完全显性、共显性、加性和上位性等;还可进一步用线性回归和非线性回归的思想来解释是否存在上位性作用。综上所述,将数学思维和原理向遗传学课堂教学进行渗透,引导学生用数学语言对遗传学基本原理进行概括和抽象,能达到事半功倍的效果。

## 2 数学原理向遗传学渗透式教学的思考

### 2.1 数学渗透是培养创新性复合型人才重要途径

创新是民族进步的灵魂,而人才培养的最高境界就是创新性人才的培养,大学又是创新性人才培养的主要基地。为适应《国家中长期教育改革和发展规划纲要》的新形势,创新性复合型高素质人才培养是高等教育改革的核心,而探索创新型人才培养的新模式是高等教育改革成功与否的关键。当前,自然科学的研究正处于一种数学化趋势,用数学的语言和思维来理解生命活动的本质,更是实现新形势下高等院校人才培养目标的需要。过去,由于学生对学科间知识点的内在联系缺乏认识,没有形成有机的完整的知识体系和骨架,不同课程之间的知识是孤立的、静止的和零散的,这严重制约了学生综合创新能力的提高。数学思维具有高度的概括性和严谨的逻辑性,在帮助学生构建完整的知识体系和寻找不同学科知识点的内在联系等方面具有明显优势。因此,在遗传学教学中进行数学渗透,将遗传学知识与数学知识建立起有机的联系,是创新性复合型人才的重要途径。

### 2.2 数学渗透可以提高教师自身素质

教师的自身素质是影响教学效果最重要的因素之一,而利用学科间的知识、原理及其思维进行渗透式教学是提高教师自身素质的重要手段。渗透式教学要求教师对科学间的知识体系具有整体观和全局观,对相关学科的知识都要有一定的了解和掌握,尤其是它们之间内在的逻辑联系。把数学原理向遗传学教学渗透,促使遗传学教师对遗传学基本概念、理论和定理进行数学抽象,提升教师对遗传学知识的认知水平,刺激并保持教师对教学的激情。这种途径也能有效拓展教师的知识面,实现自我完



善和提高的目的。

### 2.3 数学渗透是多元化的教学手段的结果

合理利用各种教学手段是提高教学效果的重要保障。采用多元化的教学手段,注重授课知识的简约化和系统化,使学生从不同的角度来思考问题和解决问题。由于数学概念具有高度的概括性,其推理又具有严谨的逻辑性,因此利用数学思维来讲解遗传学,将遗传学知识系统化和体系化。同时,数学知识具有丰富的内涵,有许多可供遗传学教学利用的素材,如前面所述的集合和函数等,其知识原理的运用本身就是学科间进行渗透式教学的体现。此外,遗传学教学中常用的案例教学法、PBL 教学法以及学导式和启发式教学法的成功应用离不开数学知识,而数学渗透反过来使这些教学方法更加行之有效。显而易见,数学渗透是多元化教学手段的必然结果。

### 2.4 数学渗透是遗传学学科发展的必然趋势

数学是一种科学思想,也是研究生物学的工具,更是一种研究方法和手段。随着数学知识向遗传学研究中的不同层次和领域进行渗透,使得遗传学产生了许多分支学科如群体遗传学、数量遗传学、数量进化遗传学以及分子数量遗传学和一些交叉学科如生态遗传学、系统生物学以及生物信息学等。而这些学科的发展又反过来促进人们对遗传学现象认识的不断完善和升华,如数量遗传学的研究否定了融合遗传理论,生物信息学的出现为解析基因的功能提供了新的思路和方法,系统生物学已成为功能基因解析的重要手段。又如,利用拓扑学知识来研究遗传学中DNA分子的结构<sup>[21]</sup>和复制<sup>[22]</sup>。由此可见,将包括数学在内的其它学科的知识原理向遗传学教学以及科研进行交叉和融合,是遗传学学科自身发展的必然趋势。

### 参考文献(References):

- [1] 王克迪(译). 自然哲学之数学原理. 北京: 北京大学出版社, 2006. [DOI](#)
- [2] 张羽. 生物教育专业《遗传学》教学改革的探索. 遗传, 2008, 30(2): 246–250. [DOI](#)
- [3] 李雅轩, 张飞雄, 胡英考, 蔡民华, 赵昕. 概念图在遗传学教学中的探索与应用. 遗传, 2010, 32(8): 864–868. [DOI](#)
- [4] 罗培高. 重视经典遗传学知识体系构建和学生自学能力的培养. 遗传, 2010, 32(4): 404–408. [DOI](#)
- [5] 李雅轩, 张飞雄, 赵昕, 蔡民华, 晏月明, 胡英考. 利用网络平台辅助遗传学教学的探索与实践. 遗传, 2010, 32(4): 393–396. [DOI](#)
- [6] 邹平, 罗培高. 化学在农业院校遗传学教学中的渗透与思考. 遗传, 2010, 32(5): 524–528. [DOI](#)
- [7] 黄昀, 刘芳莉, 李春香, 计薇, 陈峰, 傅松滨. PBL教学的体会. 见: 高等院校遗传学教学改革探索. 北京: 化学工业出版社, 2010: 88–90. [DOI](#)
- [8] Dubley B. The mathematical basis of Mendelian genetics. *J Biol Educ*, 6(3): 165–173. [DOI](#)
- [9] Correns CG. Mendels regel über das verhalten der nachkommenschaft der rassenbastarde. *Eer Dt Bot Ges*, 1900, 18: 158–168. [DOI](#)
- [10] Dahm R. Discovering DNA: Friedrich Miescher and the early years of nucleic acid research. *Hum Genet*, 2008, 122(6): 565–581. [DOI](#)
- [11] Chargaff E. The reactivity of iodine cyanide in different organic solvents. *J Am Chem Soc*, 1929, 51(7): 1999–2002. [DOI](#)
- [12] Rapoport S, Division J. Rosalind Franklin: unsung hero of the DNA revolution. *Hist Teach*, 2002, 36(1): 116–128. [DOI](#)
- [13] Deng B. Why is the number of DNA bases 4? *Bull Math Biol*, 2006, 68(3): 727–733. [DOI](#)
- [14] 赵祥强, 陈曹逸. 利用经典文献优化《遗传学》双语教学. 遗传, 2009, 31(4): 434–438. [DOI](#)
- [15] Tomlin CJ, Axelrod JD. Biology by numbers: mathematical modelling in developmental biology. *Nat Rev Genet*, 2007, 8(5): 331–340. [DOI](#)
- [16] Janet A. Enriching the teaching of biology with mathematical concepts. *Am Biol Teach*, 2007, 69(4): 205–209. [DOI](#)
- [17] Robeva R, Laubenbacher R. Mathematical biology education: beyond calculus. *Science*, 2009, 325(5940): 542–543. [DOI](#)
- [18] Šorgo A. Connecting biology and mathematics: first prepare the teachers. *CEB Life Sci Educ*, 2010, 9(3): 196–200. [DOI](#)
- [19] 江海平. 类比推理对培养生物学科人才创新思维的作用. 生物学杂志, 2005, 22(5): 54–56. [DOI](#)
- [20] Luo PG. The pairing center plays a key role in homolog pairing: an explanation for adjacent-2 segregation in inter-change heterozygotes. *Mole Bio Rep*, 2009, 36(5): 857–860. [DOI](#)
- [21] Neuman KC. Single-molecule measurements of DNA topology and topoisomerases. *J Biol Chem*, 2010, 285(25): 15511–15516. [DOI](#)

18967–18971. [DOI](#)

- [22] Rampakakis E, Gkogkas C, Di Paola D, Zannis-Hadjopoulos  
M. Replication initiation and DNA topology: the twisted

life of the origin. *J Cell Biochem*, 2010, 110(1): 35–43.

[DOI](#)