

模拟实验探究“自然选择对种群基因频率的影响”的教学设计

仇双儿, 寇天海, 顾睿冉

北京师范大学未来教育学院, 北京

收稿日期: 2024年1月23日; 录用日期: 2024年2月22日; 发布日期: 2024年2月29日

摘要

本研究通过模拟实验探究了“自然选择对种群基因频率的影响”。教学设计基于人教版高中生物学教材必修2《遗传与进化》第6章第3节的探究活动,以数学模型建构的方法引导学生理解生物演化论的主要观点。教学目标包括理解变异和自然选择在生物适应和进化中的作用,利用数学技术研究基因频率变化,以及提升科学探究能力。教学过程通过模拟实验和情境创设,使学生从分子水平上理解生物进化的实质。

关键词

自然选择, 种群基因频率, 模拟实验, 教学设计, 生物进化

Teaching Design for Exploring the Influence of Natural Selection on Population Gene Frequency through Simulation Experiment

Shuang'er Qiu, Tianhai Kou, Ruiran Gu

College of Education for the Future, Beijing Normal University, Beijing

Received: Jan. 23rd, 2024; accepted: Feb. 22nd, 2024; published: Feb. 29th, 2024

Abstract

This study explores the “influence of natural selection on population gene frequency” through simulation experiments. The teaching design is based on the inquiry activity in Section 3 of Chapter 6 of Biology Compulsory 2: *Heredity and Evolution* in the high school biology textbook published by People's Education Press. It uses mathematical model construction to guide students to under-

stand the main points of biological evolution theory. The teaching objectives include understanding the role of variation and natural selection in biological adaptation and evolution, using mathematical techniques to study changes in gene frequency, and improving scientific inquiry skills. The teaching process, through simulation experiments and situational creation, enables students to understand the essence of biological evolution at the molecular level.

Keywords

Natural Selection, Population Gene Frequency, Simulation Experiment, Teaching Design, Biological Evolution

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

生物学是一门以实验为基础的自然学科，在生物学实验教学活动中，培养学生的动手、动脑和观察自然事物的能力；同时，通过增添一部分探究性实验的内容，还可以进一步提高学生的生物学综合能力。通过开展探究性实验的教学活动，有利于促进学生学习方式的转变，全面提高学生的科学素养和学生综合素质。

自然选择对种群基因频率变化的影响是生物学中的一个重要课题。在生物种群中，由于遗传变异的存在，个体之间会存在差异，这些差异使得某些个体在特定环境中具有更高的生存和繁殖能力[1]。这种适应性差异会导致基因频率的变化，从而影响种群的进化。

自然选择的作用对象是表型，而不是基因。通过对表型的选择，间接的影响基因型和基因，所以等位基因频率的变化来源于表型和基因型频率的变化。群体平均适应性可以看成是一个基因型或者等位基因频率的适应性平面，自然选择可以看做一个无形的“推手”，对群体基因频率进行宏观的调控。

为了探究自然选择对种群基因频率变化的具体影响，教师将引导学生通过模拟自然选择的过程，构建一系列有限资源环境下的模拟实验，评估不同基因型在不同环境选择压力下的生存率，进而分析自然选择对种群基因频率的变化。这些研究为学生深入理解自然选择如何影响物种的进化提供了重要的实证依据。

2. 教材分析及设计思路

本节课选自人教版高中生物学教材必修2《遗传与进化》第6章第3节的探究活动“探究自然选择对种群基因频率变化的影响”。现代生物演化论的主要观点包含三个方面：首先，变异和基因重组提供了演化的基本元素；其次，自然选择推动了种群基因频率的有方向性的转变；最后，隔离被认为是物种产生的关键因素。同时，我们需要理解到生物的演化是一个以种群为中心的过程。鉴于主题复杂，编者将其划分为两大部分：第一部分名为“种群基因组成的变化”；第二部分则命名为“隔离在物种形成中的作用”。其中，第一部分由以下三个子部分组成：“种群及其基因库”“种群基因频率的变动”以及“自然选择对于种群基因频率变动的作用”。本节课的重点则是该小节的第三部分。该教材以英国曼彻斯特地区桦尺蛾的进化为核心，设计了一系列问题，引导学生进行思考和讨论，逐渐构建模型。

为了达到对认识对象的简化和概括性的描述，我们在本节课中使用到了数学模型建构方法和模拟实

验。其中的数学模型建构方法是运用数理逻辑方法和数学语言建构的科学或工程模型，课堂教学中的数学模型建构方法是教师通过引导学生运用数学知识与技能来构建数学模型，以解决实际问题的过程[2]。模拟实验是指通过控制实验条件来模拟真实世界的情况，对某种现象进行人工模拟或人工再现以及根据此类观察结果进行推论的研究方法[3]。本节课的探究活动采用数学模型建构的方法，通过模拟实验，学生模拟天敌捕食，探究自然选择对桦尺蛾种群基因频率的影响。以“模拟在理想状态下种群基因频率的变化→模拟种群处在浅色地衣环境中，自然选择对种群基因频率的影响→模拟当环境被破坏，浅色的地衣死亡，裸露的树皮被熏成黑色后，自然选择对种群基因频率的影响”为主线，在探究过程中培养学生运用建模解决问题的能力，结合实验现象和实验数据，归纳、概括现代进化理论的主要观点，从分子水平上理解生物进化的实质，从本质上解释自然选择对进化的作用[4]。

3. 教学目标

根据课程标准的内容规定、学习目标以及质量要求，并结合培养学生关键能力的需求，我们设立了如下教育目标：

- 1) 经过对桦尺蠖案例的研究，理解在种群中普遍存在的变异是适应和进化的基础，自然选择促使有益的表型累积，从而帮助生物更好地适应环境。
- 2) 通过模拟实验，利用数学技术来研究群体内基因频率的变化，阐述自然选择对进化的影响和本质，并培养运用数学手段解决生物问题的科学探索精神。
- 3) 初次得到的数学公式结果与现实形成认知冲突，尝试对模型修正和检验，进一步提升科学探究能力，总结影响生物进化的因素。

4. 教学过程

4.1. 创设情境，引出对种群基因频率变化的探究

多媒体展示英国曼彻斯特地区的黑白两种颜色的桦尺蛾，桦尺蛾的杂交实验得出结论，桦尺蛾体色由一对等位基因控制，基因 S (黑色)相对于基因 s (浅色)是显性。展示桦尺蛾白天栖息的不同环境即桦树皮的两种状态，未受污染的树上的浅色地衣以及地衣死亡后被工业煤烟熏成黑褐色的裸露树皮的相关照片，教师提出问题：环境未被污染时的浅色的地衣和污染后黑褐色的裸露树皮分别有利于哪种体色的桦尺蛾生存？学生共同讨论出：浅色地衣有利于浅色桦尺蛾隐藏，黑色桦尺蛾易被天敌发现捕食；黑褐色的裸露树皮的环境下情况正好相反。之后讲解并让学生理解生物的性状与环境的适应性，探究自然选择的本质时种群基因频率的变化并通过模拟实验验证。

设计意图：基于课本的探究实例，让学生先理解探究问题所处的环境，基于学生的原有知识进行思考分析，理解自然选择的宏观表现，并引出下面的模拟实验探究。

4.2. 模拟实验，探究本质

准备黑色和白色的围棋棋子大量，黑棋子代表桦尺蛾体色控制基因 S，白棋子代表桦尺蛾体色控制基因 s，将其装入一个不透明的布袋中，代表该区域桦尺蛾种群的种群基因库，每次有放回的取出 40 对棋子代表其繁衍的过程，通过对取出棋子不同的计数处理方式模拟不同环境下的自然选择(即不同环境条件下不同体色个体的生存机会不同)过程，该种群有以下特征 1) 该种群种群数量非常大(实验中的误差一般来源于有限的模拟种群大小)；2) 所有雌雄个体之间都可以自由的交配并且产生后代；3) 种群个体没有迁入以及迁出；4) 种群基因不发生基因突变[5]。我们通过对模拟实验相关数据的不同处理得到的结果来探究自然选择对种群基因频率的影响。

4.2.1. 活动一：模拟在无自然选择的状态下种群基因频率的变化

当不存在自然选择，即不同体色的个体生存的机会均等时，其种群基因频率的变化情况。学生从装有黑棋子和白棋子的把不透明布袋中有放回的随机取出 40 对(可根据可支配时间增减,但不可少于 20 对)棋子，计算其 S 基因和 s 基因的基因频率作为种群的初始基因频率，并根据此频率在布袋中放入总数为 200 的棋子，并重复上述“取出 - 计算基因频率 - 根据频率放入棋子 - 取出”的步骤，并将每次的基因型数和基因频率填入下表 1 中。

Table 1. Gene frequency record sheet of Activity 1

表 1. 活动一基因频率记录表

基因(型)	①个数(频率)	②个数(频率)	③个数(频率)	个数(频率)
SS	8	8	9	.....
Ss	20	22	18	.....
ss	12	10	13	.....
S	0.45	0.475	0.45	.....
s	0.55	0.525	0.55	.....

通过多次循环模拟实验，计算对比 S 基因和 s 基因的基因频率，发现其数值只有小范围的波动(我们的模拟种群并不是无限大，所以存在概率问题)，并不会出现大数值的变化，然后学生可以据此得出理想状态下的种群(无自然选择也是理想状态条件之一)其种群基因频率不发生变化。

设计意图：通过学生亲自完成模拟实验，熟悉后面活动模拟实验的操作流程，通过简单的模拟复习种群基因频率的计算，并了解种群基因频率不变的几个因素，自然也就学会影响种群基因频率的因素，通过实际的体验来拓展学生的思维边界，锻炼思维能力。

4.2.2. 活动二：模拟种群处在浅色地衣环境中，自然选择对种群基因频率的影响

在浅色地衣的环境中，浅色桦尺蛾易于隐藏减少了天敌的捕食，黑色桦尺蛾易被天敌发现捕食，在此类环境中自然选择会对种群基因频率的变化产生什么影响呢？学生基于活动一得到的初始种群基因频率在布袋中放入相应的棋子，为了模拟黑色桦尺蛾易被天敌捕食这一条件，在从布袋中取出棋子时，第奇数次(第 1, 3, 5……次)取出的黑色棋子不计数，直至取出 40 对棋子，计算种群基因频率，并根据此频率在布袋中放入总数为 200 的棋子，并重复上述“取出 - 有条件的计算基因频率 - 根据频率放入棋子 - 取出”的步骤，并将每次的基因型数和基因频率填入下表 2 中。

Table 2. Gene frequency record sheet of Activity 2

表 2. 活动二基因频率记录表

基因(型)	①个数(频率)	②个数(频率)	③个数(频率)	个数(频率)
SS	8	12	7	.....
Ss	20	8	8	.....
ss	12	20	25	.....
S	0.45	0.4	0.275	.....
s	0.55	0.6	0.725	.....

通过多次的模拟实验，我们可以得出在浅色地衣环境中，由于自然选择的影响，种群的基因频率的变化情况，发现其 s 基因的基因频率在增大，而 S 基因的基因频率在减小，而该种基因频率的变化的宏观表现就是浅色桦尺蛾增多，黑色桦尺蛾减少，进而得出自然选择在基因层面的作用便是改变种群的基因频率，种群的演化则是种群基因频率的改变。

设计意图：通过设置相应的规则来模拟某种环境下自然选择的作用，通过直观的、简便的方式观察分析抽象、超宏观的变化，在让学生们更好的理解自然选择、自然演化的本质，理解种群的基因频率的同时，也能够培养学生的生命观念、科学精神等的生物学学科核心素养，养成学生敬畏自然、热爱自然、探索自然的良好品质。

4.2.3. 活动三：模拟当环境被破坏，浅色的地衣死亡，裸露的树皮被熏成黑色后，自然选择对种群基因频率的影响

在环境被污染后，浅色的地衣死亡，裸露的树皮被熏成黑色，黑色桦尺蛾易于隐藏减少了天敌的捕食，浅色桦尺蛾易被天敌发现捕食，如此环境的变化，自然选择又会对种群基因频率的变化产生什么影响呢？基于前两个活动，由学生自行设定计数规则，来模拟浅色桦尺蛾易被天敌捕食这一条件，通过不断迭代的实验，得到相应的基因型数和基因频率填入下表 3 中。

Table 3. Gene frequency record sheet of Activity 3

表 3. 活动三基因频率记录表

基因(型)	①个数(频率)	②个数(频率)	③个数(频率)	个数(频率)
SS	8	20	18	.....
Ss	20	12	17	.....
ss	12	8	5	.....
S	0.45	0.65	0.6625	.....
s	0.55	0.35	0.3375	.....

通过多次的模拟实验，根据学生自行设定的自然选择的规则，我们也能够看到，由于环境被污染，浅色桦尺蛾藏身的浅色地衣死亡，且裸露的树皮被熏成了黑色，浅色桦尺蛾易于被天敌察觉捕食，而黑色的桦尺蛾可以借助黑色的树皮藏身减少被捕食的几率，体现在我们的数据上的便是 s 基因的基因频率在减小，而 S 基因的基因频率在增大。同时我们也可以发现，自然选择的作用最直接的就是通过自然界中的捕食关系去完成，我们就可以得出在自然选择的过程中，生物的表型受到直接的选择，表型的变化导致了基因频率的变化。

设计意图：学生自行设定模拟实验中自然选择的规则，在强化学生的自主意识，也是形成性的检测学生前两个活动的收获情况，通过此实验，从微观和宏观不同的层面去观察分析中去你频率的变化，培养学生的辩证思维以及多角度看待问题的能力。同时也能让学生对保护环境就是保护人类自己有更深层次的认知，变化本就是自然的固有属性，人类导致的变化也是属于自然的变化，对自然是没有影响的，但是人类导致的自然变化却有可能导致人类灭亡，这是学生应该形成的正确的自然观念。

5. 教学反思

教育者应明确向学生提出要求，教导他们科学地观察和记录活动。在科学研究中，建构数学模型是一种有效的方式来解决实际难题和探索客观规律。指导学生建立数学模型有助于培养透过事物现象揭示

本质特性的洞察力和简明紧密的思维品质, 体验从具体到抽象的思维模式转变。也就是说, 学生通过动手建模的过程, 通过提出问题、假设、推理演绎、实验验证、得出结论等环节, 可以有效锻炼科学思维和科学探索能力, 培养创新精神和实践能力。此外, 不同小组之间建模数据可能出现偏差, 教师可引导学生关注在建模过程中需要严谨的态度, 知道实验存在不可避免的误差。学生往往对建模结果更加注重, 但教师需引导学生注意在建模过程中体现出的生物学概念、原理等。

参考文献

- [1] 翁书财. 深度学习视域下高中生物学重要概念教学分析——以“基因频率”为例[J]. 中学生物教学, 2023(27): 13-15.
- [2] 吴静. 数学实验: 让学生在亲历探究过程中学会学习[J]. 江苏教育研究, 2023(24): 84-88.
- [3] 钟金鑫, 邓美英, 樊立立. 基于模型构建的“探究自然选择对种群基因频率变化的影响”的教学设计[J]. 生物学教学, 2020, 45(2): 39-42.
- [4] 黄葳, 王伟庆. “模拟自然选择对种群基因频率的影响”的教学设计[J]. 生物学教学, 2023, 48(12): 35-38.
- [5] 沈小青. “自然选择对种群基因频率变化的影响”的模拟实验[J]. 生物学教学, 2020, 45(1): 46-48.