



# 随机交配问题两种算法差异性的深度分析

厦门大学附属实验中学 福建厦门(363123) 李秀富 何枝芳 梁 军

**摘 要** 解答常染色体两对等位基因随机交配的问题时常使用两种方式,一种方法是配子棋盘法,另一种是用乘法原理。通过例题分析发现在运用乘法原理时需满足两个必备条件,得到的结果才能与配子棋盘法相同。

**关键词** 随机交配;配子棋盘法;乘法原理

**文章编号** 1005-2259(2021)9x-0079-02

随机交配(自由交配)指一个种群中,任何一个个体都能和任何一个异性交配并繁衍后代。在计算两对等位基因随机交配时,学生常用两种方法进行解题:一种是运用配子棋盘法进行计算;一种是运用乘法原理进行计算,即先根据哈迪-温伯格遗传定律计算每对等位基因的基因型频率,再将两对性状的概率相乘。但两种方法所得结果有时相同、有时不同。为何会出现这种现象?笔者查阅文献获悉:当亲本不能产生 4 种配子时,将不会产生 16 种基因型子代,导致两种计算结果不统一<sup>[1]</sup>。如果亲本能产生 4 种配子,这两种方法得出的结果就一定一致吗?

的获取信息、处理信息、知识迁移、逻辑推理及语言表达等方面能力。

## 5.3 解题策略

答题时学生需要,先明确该实验为探究性实验还是验证性实验。若为探究性实验,则其实验结果未知,实验结论要分情况进行推测、分析,答题时需将每种情况都罗列出来。若为验证性实验,实验结果已经确定,实验结论可以依据结果推测得出。

## 5.4 高考真题举例

2010 年全国卷 I 第 31 题。

### 参考文献

- [1] 邵琛. 高考生物遗传实验设计试题归类解析[J]. 生命世界, 2010(1): 88-90.
- [2] Jan H. Van, Driel Nico Verloop. Teacher's Knowledge of Models and Modelling in Science[J]. International Journal

## 1 典例分析

**例 1** 假设等位基因 A、a 和 B、b, 是位于两对同源染色体上的两对等位基因。一个种群中现有 3 种基因型的个体, 各种基因型个体及比例为 AaBb: AAbb: aaBb = 1: 1: 1, 种群中雌雄个体比例为 1: 1。个体间可以随机交配, 则该种群自由交配产生的子代中基因型为 AABB 和 aabb 的个体所占比例是多少?

方法 1: 配子棋盘法。

群体中产生的配子类型及比例分别为: 1/12 AB、5/12 Ab、1/4 aB 和 1/4 ab。群体中雌雄配子随机结合, 利用棋盘法可得子代 AABB 概率为 1/144、aabb

of Science Education, 1999, 21(11): 1141-1153.

- [3] Smit J J Finegold. M. Models in Physics: Perceptions held by final - year Prospective Physical Science Teachers Studying at South African Universities[J]. International Journal of Science Education, 1995(19): 621-634.
- [4] 陆敏刚. 生物实验设计与评价[N]. 中国教育报, 2002-12-04.
- [5] 雷瑞平. 实验设计的基本模式[N]. 学知报, 2011-08-01(106).
- [6] 李树华. 生物实验设计的基本原则[J]. 考试(高中版), 2002(1): 28-29.
- [7] 罗明祝. 应对实验设计题浅谈[N]. 学知报, 2010-06-22(D01).
- [8] 吴耀惠. 谈新课程下高生物实验复习策略: 进行实验分类指导提高复习的针对性和有效性[J]. 生命世界, 2009(10): 105-107. ▲



概率为  $1/16$  (表 1)。

表 1

| 配子        | $1/12 AB$    | $5/12 Ab$ | $1/4 aB$ | $1/4 ab$    |
|-----------|--------------|-----------|----------|-------------|
| $1/12 AB$ | $1/144 AABB$ | —         | —        | —           |
| $5/12 Ab$ | —            | —         | —        | —           |
| $1/4 aB$  | —            | —         | —        | —           |
| $1/4 ab$  | —            | —         | —        | $1/16 aabb$ |

方法 2:乘法原理。

应用遗传平衡定律先分别计算两对等位基因产生后代基因型的概率。对于等位基因 A、a,种群中  $AA:Aa:aa=1:1:1$ ,即 AA 占  $1/3$ ,Aa 占  $1/3$ ,aa 占  $1/3$ ,由此可知 A 基因的频率为  $1/2$ ,a 的基因频率为  $1/2$ ,故子代中,AA 占  $1/4$ ,aa 占  $1/4$ 。分析等位基因 B、b,同理子代中 BB 个体占  $1/9$ ,bb 个体占  $4/9$ 。由乘法原理计算可知,子代中 AABB 的概率是  $1/36$ ,aabb 的概率是  $1/9$ 。

## 2 问题分析

在此种群中,亲本产生的雌雄配子各有 4 种,即 AB、Ab、aB、ab,但是上述两种方法计算的结果不一致,这是为什么呢?

配子棋盘法计算过程中,产生的 aabb 基因型子代,是 ab 两种雌雄配子随机结合产生的,雌雄配子中 ab 概率相等,所以 aabb 基因型的概率是一个可以开平方的数值。而在乘法定理算法中,aabb 基因型的概率是由 aa 基因型概率和 bb 基因型概率相乘得来的,若要与配子棋盘法得到的数值相一致,则 aa 基因型概率和 bb 基因型的概率要相等。根据哈迪—温伯格遗传平衡定律,aa 基因型概率和 bb 基因型概率分别是 a 基因频率的平方和 b 基因频率的平方,所以当种群中 a 与 b(A 与 B)的基因频率相等时,用乘法原理和配子棋盘法得到的子代基因型频率才会相等。按照数学原理分析,a 与 b(A 与 B)在群体中的地位相等,即 a 与 b(A 与 B)基因频率相等时才能用乘法定理,例 1 中 A 与 B 及 a 与 b 的基因频率不相等,在群体中的地位不相等,所以通过两种方法得到的结果不一致。

## 3 举例验证

例 2 纯合黄色圆粒豌豆(AABB)和纯合绿色皱

粒豌豆(aabb)杂交后得到  $F_1$ , $F_1$  再自交得  $F_2$ ,若  $F_2$  中黄色圆粒豌豆个体进行随机交配,所得基因型为 AABB、aabb 子代的概率是多少?

方法 1:配子棋盘法。

$F_2$  黄色圆粒豌豆群体中个体基因型及比例为  $AABB:AABb:AaBB:AaBb=1:2:2:4$ ,产生的配子类型及比例分别为: $4/9 AB$ 、 $2/9 Ab$ 、 $2/9 aB$ 、 $1/9 ab$ 。群体中雌雄配子随机结合,利用棋盘法得到基因型为 AABB 的子代概率为  $16/81$ ,基因型为 aabb 的子代概率为  $1/81$  (表 2)。

表 2

| 配子       | $4/9 AB$     | $2/9 Ab$    | $2/9 aB$    | $1/9 ab$    |
|----------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| $4/9 AB$ | $16/81 AABB$ | $8/81 AABb$ | $8/81 AaBB$ | $4/81 AaBb$ |
| $2/9 Ab$ | $8/81 AABb$  | $4/81 AAbb$ | $4/81 AaBb$ | $2/81 Aabb$ |
| $2/9 aB$ | $8/81 AaBB$  | $4/81 AaBb$ | $4/81 aaBB$ | $2/81 aaBb$ |
| $1/9 ab$ | $4/81 AaBb$  | $2/81 Aabb$ | $2/81 aaBb$ | $1/81 aabb$ |

方法 2:乘法原理。

先分别计算两对等位基因产生后代基因型概率。对于等位基因 A、a,种群中  $AA:Aa=1:3$ ,AA 占  $1/3$ 、Aa 占  $2/3$ ,由此可知 A 基因的频率为  $2/3$ ,a 基因的频率为  $1/3$ ,按照遗传平衡定律进行计算,子代中 AA 占  $4/9$ ,Aa 占  $4/9$ ,aa 占  $1/9$ 。对于等位基因 B、b,种群中  $BB:Bb=1:3$ ,BB 占  $1/3$ 、Bb 占  $2/3$ ,由此可知 B 基因的频率为  $2/3$ ,b 的基因频率为  $1/3$ ,子代中 BB 占  $4/9$ ,Bb 占  $4/9$ ,bb 占  $1/9$ 。子代中根据乘法原理计算可知 AABB 的概率是  $16/81$ ,aabb 个体所占比例为  $1/81$ 。

本题满足两个必备条件: $F_2$  群体中能产生 4 种配子;两对等位基因 A 与 B(a 与 b)的基因频率相等。

## 4 总结

用乘法原理计算时,应满足一定的条件:(1)群体可以产生的雌雄配子各有 4 种,且在雌雄中比例一致(3 对等位基因时应为 8 种,以此类推);(2)种群中 a 与 b(A 与 B)在群体中的地位相等,即 a 与 b(A 与 B)的基因频率相等。若不满足上述条件,盲目的使用乘法定理,只会得出错误答案。因此,在随机交配的情况下,用配子棋盘法计算是最为准确。

### 参考文献

- [1] 孟昭来,赵锦程.涉及两对等位基因自由交配问题的探讨[J].中学生物学,2018,34(2):58-59. △