

TỔNG HỢP KIẾN THỨC VÀ PHƯƠNG PHÁP GIẢI BÀI TẬP LIÊN KẾT GEN - HOÁN VỊ GEN

Liên kết gen và hoán vị gen là hai hiện tượng di truyền quan trọng, giải thích sự di truyền đồng thời của nhiều tính trạng. Việc nắm vững lý thuyết và các dạng bài tập liên quan là chìa khóa để đạt điểm cao trong các kỳ thi.

PHẦN I: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

1. Liên kết gen hoàn toàn

a. Khái niệm: Là hiện tượng các gen không alen cùng nằm trên một nhiễm sắc thể (NST), phân li cùng nhau và tổ hợp cùng nhau trong quá trình giảm phân và thụ tinh.

b. Cơ sở tế bào học: Các gen nằm gần nhau trên cùng một NST, trong quá trình giảm phân, chúng không tách rời mà cùng phân li với NST đó, tạo thành nhóm gen liên kết.

c. Đặc điểm di truyền:

- Các gen di truyền thành từng nhóm.
- Làm hạn chế sự xuất hiện của biến dị tổ hợp, đảm bảo sự di truyền bền vững của các nhóm tính trạng tốt.
- Số nhóm gen liên kết ở mỗi loài thường bằng số NST trong bộ đơn bội (n) của loài đó.

d. Ví dụ minh họa:

Ở ruồi giấm, Morgan thực hiện phép lai:

P (t/c): Thân xám, cánh dài (BV/BV) × Thân đen, cánh cụt (bv/bv)

F1: 100% Thân xám, cánh dài (BV/bv)

Khi cho ruồi đực F1 lai phân tích (lai với ruồi cái thân đen, cánh cụt bv/bv):

P (lai phân tích): ♂ BV/bv × ♀ bv/bv

Giao tử đực F1: BV, bv (tỉ lệ 1:1)

Giao tử cái: bv

Fa: 1 BV/bv : 1 bv/bv (1 Thân xám, cánh dài : 1 Thân đen, cánh cụt)

Nhận xét: Đời con Fa chỉ có 2 tổ hợp kiểu hình giống P, không xuất hiện biến dị tổ hợp (thân xám, cánh cụt và thân đen, cánh dài). Điều này chứng tỏ gen B và V đã di truyền cùng nhau.

2. Hoán vị gen (Liên kết không hoàn toàn)

a. Khái niệm: Là hiện tượng trao đổi chéo giữa các crômatit khác nguồn trong cặp NST kép tương đồng, dẫn đến sự hoán đổi vị trí giữa các gen alen, tạo ra các tổ hợp gen mới.

b. Cơ sở tế bào học: Tại kì đầu của giảm phân I, các NST kép trong cặp tương đồng có thể tiếp hợp và trao đổi các đoạn crômatit cho nhau. Hiện tượng này chỉ xảy ra giữa 2 trong 4 crômatit của cặp NST kép.

c. Tần số hoán vị gen (f):

- **Định nghĩa:** Tần số hoán vị gen thể hiện khoảng cách tương đối giữa các gen trên NST. Khoảng cách càng lớn, tần số hoán vị càng cao.

- **Công thức:**

$$f = (\text{Tổng số cá thể có kiểu hình tái tổ hợp} / \text{Tổng số cá thể thu được ở đời con}) \times 100\%$$

- **Lưu ý:** Tần số hoán vị gen không bao giờ vượt quá 50% ($f \leq 50\%$). Đơn vị đo khoảng cách trên bản đồ gen là centiMorgan (cM), với $1 \text{ cM} = 1\%$ tần số hoán vị.

d. Ví dụ minh họa:

Tiếp tục thí nghiệm của Morgan, khi cho ruồi cái F1 (thân xám, cánh dài BV/bv) lai phân tích với ruồi đực thân đen, cánh cụt (bv/bv):

P (lai phân tích): ♀ BV/bv × ♂ bv/bv

Fa thu được 4 kiểu hình với tỉ lệ:

- 41,5% Thân xám, cánh dài (BV/bv)
- 41,5% Thân đen, cánh cụt (bv/bv)
- 8,5% Thân xám, cánh cụt (Bv/bv)
- 8,5% Thân đen, cánh dài (bV/bv)

Nhận xét: Xuất hiện 2 kiểu hình mới (tái tổ hợp) là Thân xám, cánh cụt và Thân đen, cánh dài. Điều này chứng tỏ đã có hoán vị gen xảy ra ở ruồi cái F1.

Tần số hoán vị gen được tính: $f = (8,5\% + 8,5\%) = 17\%$.

PHẦN II: PHƯƠNG PHÁP GIẢI CÁC DẠNG BÀI TẬP

1. Dạng 1: Xác định tần số hoán vị gen (f)

a. Phương pháp: Dựa vào kết quả của phép lai phân tích hoặc phép lai giữa hai cá thể dị hợp hai cặp gen. Xác định nhóm cá thể có kiểu hình liên kết (chiếm tỉ lệ lớn) và nhóm cá thể có kiểu hình hoán vị (chiếm tỉ lệ nhỏ). Áp dụng công thức tính tần số hoán vị.

b. Ví dụ:

Ví dụ 1: Trong phép lai phân tích một cá thể dị hợp 2 cặp gen, người ta thu được đời con có sự phân li kiểu hình như sau: 400 A-B-, 400 aabb, 100 A-bb, 100 aaB-. Biết gen A trội hoàn toàn so với a, B trội hoàn toàn so với b. Tính tần số hoán vị gen.

Giải:

- Tổng số cá thể thu được: $400 + 400 + 100 + 100 = 1000$.
- Cá thể có kiểu hình A-B- và aabb chiếm tỉ lệ lớn ($400/1000 = 40\%$) là nhóm có kiểu hình liên kết.
- Cá thể có kiểu hình A-bb và aaB- chiếm tỉ lệ nhỏ ($100/1000 = 10\%$) là nhóm có kiểu hình hoán vị (tái tổ hợp).
- Áp dụng công thức:

$$f = (\text{Số cá thể hoán vị} / \text{Tổng số cá thể}) \times 100\% = ((100 + 100) / 1000) \times 100\% = 20\%.$$

2. Dạng 2: Viết sơ đồ lai và xác định kết quả khi biết f

a. Phương pháp:

1. Xác định kiểu gen của P.

2. Từ tần số hoán vị f, xác định tỉ lệ các loại giao tử của cơ thể có hoán vị:

- Nếu kiểu gen dị hợp đều (AB/ab): Giao tử liên kết **$\underline{AB} = \underline{ab} = (1-f)/2$** . Giao tử hoán vị **$\underline{Ab} = \underline{aB} = f/2$** .
- Nếu kiểu gen dị hợp chéo (Ab/aB): Giao tử liên kết **$\underline{Ab} = \underline{aB} = (1-f)/2$** . Giao tử hoán vị **$\underline{AB} = \underline{ab} = f/2$** .

• Lập bảng Punnett để xác định tỉ lệ kiểu gen và kiểu hình ở đời con.

b. Ví dụ:

Ví dụ 1: Cho cơ thể có kiểu gen AB/ab giảm phân với tần số hoán vị gen là 20%. Xác định tỉ lệ các loại giao tử.

Giải:

- Đây là kiểu gen dị hợp đều. $f = 20\% = 0.2$.
- Tỉ lệ giao tử liên kết: **$\underline{AB} = \underline{ab} = (1 - 0.2) / 2 = 0.4 = 40\%$** .
- Tỉ lệ giao tử hoán vị: **$\underline{Ab} = \underline{aB} = 0.2 / 2 = 0.1 = 10\%$** .

Ví dụ 2: Thực hiện phép lai P: ♀ Ab/aB (f=40%) × ♂ ab/ab. Xác định tỉ lệ kiểu hình ở F1.

Giải:

- Cơ thể cái Ab/aB (f=40%) cho các giao tử:

- Giao tử liên kết: $\underline{Ab} = \underline{aB} = (1-0.4)/2 = 0.3$
- Giao tử hoán vị: $\underline{AB} = \underline{ab} = 0.4/2 = 0.2$
- Cơ thể đực ab/ab cho 1 loại giao tử: $\underline{ab}$ (tỉ lệ 1.0)
- Kết hợp giao tử, F1 có tỉ lệ kiểu gen và kiểu hình:
 - 0.3 Ab/ab (Kiểu hình A-bb)
 - 0.3 aB/ab (Kiểu hình aaB-)
 - 0.2 AB/ab (Kiểu hình A-B-)
 - 0.2 ab/ab (Kiểu hình aabb)
- Kết quả tỉ lệ kiểu hình: 20% A-B- : 30% A-bb : 30% aaB- : 20% aabb.

3. Dạng 3: Bài toán ngược - Xác định kiểu gen của P và f từ tỉ lệ đời con

a. Phương pháp:

1. Xét tỉ lệ kiểu hình lặn (aabb) ở đời con của phép lai giữa 2 cá thể dị hợp.
2. **Tỉ lệ kiểu hình (aabb) = (tỉ lệ giao tử $\underline{ab}$) × (tỉ lệ giao tử $\underline{ab}$).** Từ đó suy ra tỉ lệ giao tử $\underline{ab}$.
3. So sánh tỉ lệ giao tử $\underline{ab}$ với 25% (0.25):
 - Nếu tỉ lệ giao tử $\underline{ab} > 25\%$, đây là giao tử liên kết. Kiểu gen của P là dị hợp đều ($\underline{AB}/\underline{ab}$). Tần số hoán vị $f = 2 \times (\text{tỉ lệ giao tử hoán vị}) = 2 \times (0.5 - \text{tỉ lệ giao tử } \underline{ab})$.
 - Nếu tỉ lệ giao tử $\underline{ab} = 25\%$, đây là giao tử hoán vị. Kiểu gen của P là dị hợp chéo ($\underline{Ab}/\underline{aB}$). Tần số hoán vị $f = 2 \times (\text{tỉ lệ giao tử hoán vị}) = 2 \times (\text{tỉ lệ}$

giao tử ab).

b. Ví dụ:

Ví dụ 1: Ở cà chua, gen A quy định quả đỏ, a quy định quả vàng; B quy định quả tròn, b quy định quả bầu dục. Cho hai cây cà chua (P) thuần chủng quả đỏ, tròn và quả vàng, bầu dục giao phấn với nhau được F1. Cho F1 tự thụ phấn, F2 thu được 4 loại kiểu hình, trong đó kiểu hình quả vàng, bầu dục (aabb) chiếm 9%. Xác định kiểu gen của F1 và tần số hoán vị.

Giải:

- P thuần chủng tương phản $\rightarrow$ F1 dị hợp 2 cặp gen: (A,a) và (B,b).
- F2 có tỉ lệ kiểu hình aabb = 9% = 0.09.
- Tỉ lệ aabb = (tỉ lệ giao tử ab) $\times$ (tỉ lệ giao tử ab) = 0.09.
- $\Rightarrow$ Tỉ lệ giao tử ab = $\sqrt{0.09} = 0.3 = 30\%$.
- Vì tỉ lệ giao tử ab = 30% > 25%, nên ab là giao tử liên kết.
- $\Rightarrow$ Kiểu gen của F1 là dị hợp đều: **AB/ab**.
- Tỉ lệ giao tử liên kết $(1-f)/2 = 0.3 \Rightarrow 1-f = 0.6 \Rightarrow f = 0.4 = 40\%$.

4. Dạng 4: Lập bản đồ di truyền

a. Phương pháp:

1. Nguyên tắc: Tần số hoán vị gen tỉ lệ thuận với khoảng cách giữa các gen. Các gen càng xa nhau thì tần số hoán vị càng lớn.

- Để xác định trật tự 3 gen, ta cần biết tần số hoán vị giữa 3 cặp gen (ví dụ: $f(A,B)$, $f(B,C)$, $f(A,C)$).
- Cặp gen có tần số hoán vị lớn nhất sẽ nằm ở hai đầu mút, gen còn lại nằm giữa.
- Kiểm tra tính đúng đắn: **$f(\text{hai gen mút}) \approx f(\text{đoạn 1}) + f(\text{đoạn 2})$** .

b. Ví dụ:

Ví dụ 1: Kết quả phân tích cho thấy tần số hoán vị gen giữa A và B là 18%, giữa B và C là 7%, giữa A và C là 25%. Hãy xác định trật tự các gen trên NST.

Giải:

- Ta có: $f(A,B) = 18\%$; $f(B,C) = 7\%$; $f(A,C) = 25\%$.
- Tần số hoán vị lớn nhất là $f(A,C) = 25\%$. Do đó, A và C nằm ở hai đầu mút, B nằm ở giữa.
- Trật tự các gen là: **A — B — C**.
- Kiểm tra lại: $f(A,C) = f(A,B) + f(B,C) \Rightarrow 25\% = 18\% + 7\%$. Kết quả phù hợp.
- Bản đồ di truyền: Khoảng cách A-B là 18 cM, B-C là 7 cM, A-C là 25 cM.

PHẦN III: BẢNG SO SÁNH VÀ LƯU Ý

Bảng so sánh Liên kết gen hoàn toàn và Hoán vị gen

Tiêu chí	Liên kết gen hoàn toàn	Hoán vị gen (Liên kết không hoàn toàn)
Cơ sở tế bào học	Các gen nằm rất gần nhau trên NST, cùng phân li.	Có sự tiếp hợp và trao đổi chéo giữa các crômatit khác nguồn trong cặp NST tương đồng.
Số loại giao tử (cơ thể dị hợp 2 cặp gen)	2 loại giao tử liên kết.	4 loại giao tử (2 loại liên kết, 2 loại hoán vị).
Tỉ lệ giao tử	2 loại giao tử có tỉ lệ bằng nhau (1:1).	Tỉ lệ 4 loại giao tử không bằng nhau. Giao tử liên kết > giao tử hoán vị.
Kết quả lai phân tích	Cho 2 loại kiểu hình với tỉ lệ 1:1.	Cho 4 loại kiểu hình với tỉ lệ không bằng nhau.
Ý nghĩa	Duy trì sự ổn định của các nhóm tính trạng tốt. Hạn chế biến dị tổ hợp.	Tạo ra nguồn biến dị tổ hợp phong phú, là nguyên liệu cho chọn giống và tiến hóa.

Một số lưu ý quan trọng

- Hoán vị gen chỉ xảy ra ở cơ thể có kiểu gen dị hợp tử về các cặp gen đang xét.
- Tần số hoán vị gen (f) không vượt quá 50%. Nếu tính toán ra $f > 50\%$ thì đây là trường hợp gen phân li độc lập.
- Tần số hoán vị gen có thể khác nhau giữa các loài, giữa giới đực và giới cái (ví dụ ở ruồi giấm, hoán vị gen chỉ xảy ra ở con cái, không xảy ra ở con đực).
- Khi bài toán không cho biết tần số hoán vị, ta phải dựa vào tỉ lệ kiểu hình đời con để tính f .
- Trong phép lai phân tích, tỉ lệ mỗi loại kiểu hình tái tổ hợp (hoán vị) chính bằng $f/2$.