

108 公務人員高等考試三級考試試題

類 科：農業技術
科 目：作物育種學

一、請以圖解說明禾本科穀類作物之雙重受精（double fertilization）過程與無融合生殖（apomixis）現象，請問在雙重受精過程中可能發生那幾類的無融合生殖？並說明無融合生殖方式在育種應用之優點與缺點。（20分）

《考題難易》：★★★★★(最難為5顆★)

《解題關鍵》：需掌握作物無融合生殖機制才能完整作答

【擬答】：

(一)雙重受精（double fertilization）過程與無融合生殖種類：

雙重受精是指一個被子植物母細胞的成功胚囊，通常由七個細胞組成，亦即一個卵細胞、兩個助細胞、三個反足細胞及一個中央細胞，其中中央細胞是雙核的，卵細胞、助細胞及反足細胞則是單核的。當花粉粒落到植物的柱頭上，花粉管會將帶有兩個精細胞的花粉粒送到胚珠內的胚囊，其中一個精細胞會與卵細胞結合形成二倍體的結合子，再藉由有絲分裂發育為胚；另一個精細胞則與中央細胞結合形成三倍體的胚乳核，進一步發育成富含養分的胚乳，以供應胚芽萌發及幼苗生長所需的營養。藉由這樣的過程，植物便能確保種子內的養分儲存組織與胚能同步發育，令種子有更多的生存機會；無融合生殖（apomixis）指的是植物未經受精作用卻產生種子的現象，既非典型的無性生殖，也不是典型的有性生殖，而是一種特殊的生殖方式。我們可以依發育過程的順序與機制將無融合生殖區分為孢子體無融合生殖（sporophytic apomixis）及配子體無融合生殖（gametophytic apomixis）兩大類。其中配子體無融合生殖又可細分為孤雌生殖（parthenogenesis）、二倍體孢子生殖（diplospory）、雄核發育（androgenesis）、半融合生殖（semigamy）及無配子生殖（apogamy）等。

(二)無融合生殖在育種上的優缺點：

由於無融合生殖未經過減數分裂及受精作用而發展成胚，可將母本遺傳特性完整的保留，避免因減數分裂及受精作用，將遺傳特性改變。若能將此特性掌握利用於作物的育種，將具無融合生殖特性植株作為雜交親本，再將具無融合生殖特性之雜交後代固定，即可獲得無融合生殖後代。無融合生殖特性能維持穩定的情況下，良好的性狀容易保存，但其缺點是族群的遺傳歧異度低。

二、一個育種家要導入5個獨立作用的基因，包含2個主效基因（major gene: G1,g2），3個數量性狀基因座（QTLs: Q4,Q5,Q6）到一個優良米質的水稻品種，以改良其抗病性與耐旱性。請繪出育種流程圖，並比較分子輔助回交育種（marker-assisted backcrossing）與基因轉殖（genetic transformation）二個育種方法之過程、效率、結果及可行性（已知詳細基因位置，基因之大小寫代表顯隱性，數字代表該基因所在染色體位置）。（30分）

《考題難易》：★★★★★(最難為5顆★)

《解題關鍵》：需掌握作物育種目標、結合分子輔助回交育種與基因轉殖才能完整作答

【擬答】：

(一) Q4、Q5、Q6、G1 與 g2 之優良水稻植株育種步驟：

1. 抗病性基因的獲得可以採用回交育種法進行育種，輪迴親為優良米質的水稻品種，非輪迴親為含 G1 之水稻品種，進行雜交得 F1，F1 在與輪迴親進行雜交得 BC1，在經過 5-6 次回交後，即可得到含 G1 之優良米質的水稻品種。
2. 將上述品種當輪迴親，非輪迴親為含 g2 之水稻品種，進行雜交得 F1，F1 在與輪迴親進行雜交的 BC1，因 g2 基因為隱性基因，故 BC1 需自交，得到隱性基因同型接合子後(BC1F1)，在與輪迴親進行雜交得 BC2，在經過 5-6 次回交後，即可得到含 G1 與 g2 之優良米質的水稻品種。
3. 耐旱性基因的獲得可以採用雜交育種法進行育種，將 G1 與 g2 之優良米質的水稻品種當母本，含 Q4 之 QTL 水稻品種當父本進行雜交，經譜系選種或混合選種，選拔出含有 Q4、G1 與 g2 之優良水稻植株。
4. 之後，Q5、Q6 之 QTL 獲得可以分別依上述育種方式將 Q5、Q6 分別導入，得到含 Q4、Q5、Q6、G1 與 g2 之優良水稻植株。

(二) Q4、Q5、Q6、G1 與 g2 之優良水稻植株分子輔助回交育種步驟：

1. 因基因在染色體的序列已知，故在輪迴親為優良米質的水稻品種，非輪迴親為含 G1 之水稻品種，進行雜交，所得 F1 進行前景選拔，BC1、BC2、BC3、BC4 進行前景選拔、重組體選拔及背景選拔以加速育種時間。
2. 將上述品種當輪迴親，非輪迴親為含 g2 之水稻品種，進行雜交經前景選拔得 F1，BC1F1、BC2F1、BC3F1 及 BC4F1 進行前景選拔、重組體選拔及背景選拔以加速育種時間。
3. 耐旱性基因的獲得可以採用雜交育種法進行育種，將 G1 與 g2 之優良米質的水稻品種當母本，含 Q4 之 QTL 水稻品種當父本進行雜交，利用 Q4 及 G1 與 g2 已知序列進行 PCR 選拔，快速選拔出含有 Q4、G1 與 g2 之進行篩選優良水稻植株。
4. 之後，Q5、Q6 之 QTL 獲得可以分別依上述育種方式將 Q5、Q6 分別導入及篩選，快速選拔出含 Q4、Q5、Q6、G1 與 g2 之優良水稻植株。

(三) Q4、Q5、Q6、G1 與 g2 之優良水稻植株基因轉殖育種步驟：

1. 將抗性基因 G1,g2 構築至轉殖載體，利用濃桿菌或基因槍方式進行水稻癒傷組織轉殖，約一年可得水稻轉殖株小苗。
2. 由於 OTL DNA 片段太大，無法利用基因轉殖方式將此片段放入水稻基因體中，故可利用上述之 G1,g2 水稻轉殖株當母本，含 Q4 之 QTL 水稻品種當父本進行雜交，利用 Q4 及 G1 與 g2 已知序列進行 PCR 選拔，快速選拔出含有 Q4、G1 與 g2 之進行篩選優良水稻植株。
3. 之後，Q5、Q6 之 QTL 獲得可以分別依上述育種方式將 Q5、Q6 分別導入及篩選，快速選拔出含 Q4、Q5、Q6、G1 與 g2 之優良水稻植株。

三、作物的雜交 (crossing) 方式有許多種類，請問試交 (test cross)、頂交 (top cross)、正反交 (reciprocal cross)、多向雜交 (poly cross) 及全互交 (diallel cross) 等之親本特性或基因型差異為何？並說明目的及結果為何？(25 分)

《考題難易》：★★★(最難為 5 顆★)

《解題關鍵》：需掌握作物育種中雜交的種類與意義才能完整作答

【擬答】：

(一)試交(Test cross)：將欲測知其基因之個體與另一表型為隱性之個體交配稱為試交，這種交配亦稱為檢定交配。

1. 若所得後代中全為顯性個體，可知欲測之個體為同基因型合子。

2. 若所得後代有隱性出現，且顯性：隱性=1：1，可知欲測之個體為異基因型合子。

- (二)頂交法 (top cross)：檢定親(已知之品種係集團，遺傳成份廣泛)與欲檢定的自交系(母本)雜交，比較F1之產量，供育種上選育高產雜交組合之參考。
- (三)正反交 (reciprocal cross)：兩個雜交親本相互作為母本和父本的雜交。如以 $A(\text{♀}) \times B(\text{♂})$ 為正交，則 $B(\text{♀}) \times A(\text{♂})$ 為反交。正交與反交是相對而言的，不是絕對的。如果決定有關性狀的基因位於核染色體上，則正、反交的遺傳效果一樣；如果決定有關性狀的基因在細胞質中，則正、反交的遺傳效果可能有差別。因此，可以通過正、反交來檢驗細胞質遺傳等現象。
- (四)多交法 (poly cross)：檢定親的混合花粉與欲檢定營養系(多年生營養繁殖作物，不必自交)雜交，比較雜種優劣。
- (五)全互交 (diallel cross)：數個自交系做所有組合的雜交，探討個別自交系之一般組合力，及雜交組合之特定組合力及雜種優勢，供育種上選育優良親本及高產雜交組合之參考。

四、臺灣的水稻可於一期作、二期作栽培，現已知許多的水稻品種其米質特性與環境逆境(如耐旱)之耐受性表現，在二個期作間呈顯著差異。請從外表型(P)、基因型(G)、環境(E)等因子，以育種家之公式 $P = G + E + G \times E$ 說明其可能原因？育種家未來要如何改良育種的操作以為因應，方能育成米質優良，且更適合環境逆境之品種。(25分)

《考題難易》：★★★(最難為5顆★)

《解題關鍵》：需掌握作物育種中外表型(P)、基因型(G)、環境(E)等因子之意義才能完整作答

【擬答】：

(一)水稻一期作、二期作之差異：

育種過程中影響作物外表型的主要因子包括基因、環境、和基因與環境的交感效應，其中基因型效應，除了透過試驗設計的方法可以估計得到之外，隨著現代分子生物學的發展，在遺傳物質定序完成後，透過分子標記的使用，進行分子輔助育種(Marker assisted selection, MAS)，不僅是質的性狀可以了解是受到位於哪些染色體上的哪些基因調控，數量性狀也可以不僅了解是由哪幾個基因調控，甚至影響的量有多大也能估算，因此在分子生物學的輔助之下，基因型效應對育種家來

說逐漸從不可觀測變成可觀測，可以更精確的估計。育種家透過各種方法，試著組合最佳的基因型，使作物擁有更好的外表性狀；環境效應則除了非生物因子(如土壤、氣候等)和生物因子(病蟲害)影響之外，影響環境效應的因子相當多且估計不易。在一般的試驗設計之下，對於不是主要評估因子時，盡量控制在相同處理的狀況，並且透過重複試驗區塊數與擴大試驗田區來降低環境效應，並將環境效應視為試驗機差。；基因與環境的交感效應，又較環境效應來的複雜，雖然在統計上可以透過 biplot 方法估計交感效應，但在一般的育種目標設定當中，希望該品種與環境的交感效應低，選出在各個環境皆表現相對優良的高產品種，目前的多數商業品種都在這樣的目標設定下選育出來。

綜上，相同品種水稻(基因型一樣)於一期作、二期作栽培其米質特性與環境逆境呈現不一樣結果，主因是環境與基因與環境的交感效應所造成，水稻一期作與二期作因環境中氣候因子的不同影響了基因的表達，進而影響了外表型的表現。

(二)育種家未來育種操作：

未來在育種的過程中，對基因型的增進，透過選拔優良性狀或增加優良性狀頻度，淘汰或降低不良性狀頻度，使選拔後的品系或族群比選拔前擁有更佳的表现。選拔增進透過選拔強度與遺傳變方的多寡和遺傳率來估算，一般來說，在育種時次序分別為：

1. 估計該性狀的遺傳變方與遺傳率、

2. 設定選拔強度、

3. 估計選拔增進。若該性狀的遺傳率高，則可在較早世代使用譜系法進行育種，縮短育種年限；而遺傳率較低的狀況下，則在較晚世代使用混合法進行育種較為有效。但在估計該性狀的遺傳變方與廣義遺傳率時，受到環境效應和基因與環境的交感效應所影響，當環境效應所佔總外表變方的比例越大時，廣義遺傳率便會降低。使選拔增進降低，選拔較為無效；而一旦環境與基因的交感效應存在時，不僅是選拔效率降低，甚至會影響選拔的方向，例如對光敏感的水稻在日本可以使作物在即將入冬之前完成充實獲得較高的產量與品質，但是在台灣種植就會發生過於早熟生長期太短而收穫不佳。但是因為環境相當多樣化且基因與環境的交感效應普遍存在，若能有效增進此部份的影響，具有較專一適應性的品種，即可創造具有比一般商業品種具有更優良表現的品種。