

생물 기출문제 분류 (46회/2009년~59회/2022년, 최근14년), #2/2

	대단원	기출 횟수	중단원	기출 횟수	소단원	세부 분류	기출 횟수	46회	47회	48회	49회	50회	51회	52회	53회	54회	55회	56회	57회	58회	59회					
								09년	10년	11년	12년	13년	14년	15년	16년	17년	18년	19년	20년	21년	22년					
G	인체 생리학	29 (21%)	0. 인체 일반	13	Category 8	인체생리학 기본	1									26 (결합조직)										
						소화계	3	24 (쓸개즙)								25 (지방의 소화)	25 (지방의 소화)									
						순환계	5		25 (레오글로빈)	28 (심장박동)	22 (심장박동)											26 (순환 및 호흡)		23 (순환계 : 동맥/정맥/모세혈관)		
						호흡계	1		22 (호흡)																	
						배설계	1													22 (네프런)						
						생식계	2			24 (남성 생식기)	26 (난자형성)															
							발생																			
							02 물질대사와 건강																			
							01 자극의 전달	신경계	2														25 (활동전위)			
						02 근육 수축의 원리																				
						03 신경계																		24 (교감 신경계)		
							04 항상성 유지 (내분비계)	내분비계	7			21 (호르몬)	21 (인슐린/당뇨병)	27 (아드레날린)	23 (수용체) 24 (티록신)				22 (1형 당뇨병)			24 (티록신/그레이브스병 + IgG)				
					01 질병과 병원체	질병	3					24 (조류독감) 26 (O157)														
					02 우리 몸의 받아 작용 (면역계)	면역계	4		25 (면역세포)						23 (항체의 종류)						29 (프리온)					
					2. 방어작용		7														29 (적응면역)					
																					24 (항체의 종류/IgM)					
H	생물의 진화	15 (11%)	1. 생명의 기원과 다양성	6	Category 9	01 생명의 기원																				
					Category 10	02 생물의 분류	1																28 (계통수 분석)			
			2. 생물의 진화	9	Category 11	03 생물의 다양성	5						23 (고세균)	30 (동물 계통수)			30 (고세균)	22 (고세균)					29 (식물의 분류)			
		Category 11			01 진화의 증거																					
					02 진화의 원리와 종분화		9	25 (하디와인버그)			24 (자연선택)	30 (인류의 진화)				24 (자연선택) 26 (진화생태 일반) 27 (유전적부동/ 병목효과)	24 (유전적 부동)			21 (하디와인버그)		30 (유전적 부동)				
I	생태계와 상호작용	14 (10%)	1. 생태계의 구성과 기능	13	Category 12	01 생물과 환경의 상호 작용	2								29 (작용/반작용)	30 (작용/반작용/ 상호작용)										
						02 개체군	1		29 (연령피라미드 등)																	
						03 군집	5			28 (군집생태학)	30 (군집생태학)	29 (군집생태학)						29 (개체군/군집)							28 (우점식물)	
						04 에너지 흐름과 물질순환	5	30 (먹이그물)	27 (먹이그물)																	23 (질소순환)
						01 생물 다양성의 중요성	1		29 (종다양도 등)																	
							02 생물 다양성 보전																			
J	시사성 테마	11 (8%)	시사성 테마	11	Category 13	시사성 테마	11		22 (세포사멸)			22 (마이크로 RNA) 25 (마이크로 어레이)		23 (고세균) 24 (조류독감) 26 (O157) 25 (siRNA)			30 (고세균)			22 (고세균) 29 (프리온)		29 (RT-PCR/코로나)				

J [시사성 테마]에 포함되는 문제는 11문제이며, 위쪽의 분류테이블에도 중복기재 되어 있음. 질병 관련 문제는 3문제, 생명 공학 관련 문제는 5문제, 분류학의 핫이슈(주로 고세균) 관련 문제는 3문제임.

질병관련 문제는 14년-24(조류독감), 14년-26(O157), 19년-29(프리온). 생명 공학 관련 문제는 10년-22(세포사멸), 12년-22(마이크로RNA), 14년-25(siRNA), 12년-25(마이크로어레이), 21년-29(RT-PCR/코로나). 분류학의 핫이슈 관련 문제는 14년-23(고세균), 18년-30(고세균), 19년-22(고세균).

2022년 59회 변리사 시험 1차 생물 기출문제 해설 - A형 기준 -

2022 김 민

총 평

	테마		테마
21	" 포화지방 "	26	" 세균의 세포벽 "
22	" 광호흡 : C ₄ 식물 "	27	" PCR 프라이머(Primer) "
23	" 최종전자수용체 "	28	" 노던블롯 (Northern Blot) "
24	" 항체의 종류 : IgM "	29	" 식물의 분류 "
25	" 세균의 특성 "	30	" 유전적 부동 "

1. 문항별 접근

59회 생물은 기존 기출문제들을 충실히 공부하신 수험생 입장에서 판단한다면, 7~8문제는 익숙하고 쉽고 빠르게 풀 수 있는 문제이며, 2문제는 쉽지 않은 문제였을 것으로 보입니다.

21. " 포화지방", 23. "최종전자수용체", 24. "항체의 종류 : IgM", 25. "세균의 특성", 27. "PCR 프라이머(Primer)", 28. "노던블롯(Northern Blot)", 30. "유전적 부동"의 7문제는 기출문제에 익숙하신 분들은 짧은 풀이시간에 쉽게 정답에 접근했을 것으로 추정됩니다.

그 중에서 27. "PCR 프라이머(Primer)" 문제와 28. "노던블롯(Northern Blot)"의 2문제는 익숙하지 않은 문제일 수 있습니다. 하지만 27. "PCR 프라이머(Primer)"는 전사(Transcription)의 방향이 5'→3'이라는 기본적인 내용이라는 걸 떠올리고 차분히 풀이하면 쉬운 문제입니다. 28. "노던블롯(Northern Blot)"은 익숙하지 않을 수 있지만 서던블롯(Southern Blot) 문제가 2011년에 이미 기출되었기 때문에, 노던블롯은 RNA 분석 기법이고 서던블롯은 DNA 분석 기법이라는 간단한 차이점을 아시는 분들은 쉽게 대응했을 것으로 판단됩니다.

26. "세균의 세포벽"은 일부 지문이 상당히 난이도가 있었다고 보입니다. 다만 최근 2년간 '세균'에 대한 문제들이 집중적으로 출제되는 이상경향을 미리 아셨던 분들은 쉽게 대비하셨을 것 같습니다. 23년 변시를 준비하시는 분들은 '세균'에 대한 준비를 철저히 하실 것을 당부 드립니다.

22. "광호흡 : C₄ 식물"은 기존에 출제되지 않았던 문제입니다. 23년 이후부터는 광호흡에 대한 방어적인 대비를 해야 할 것 같습니다.

29. "식물의 분류"는 전공 생물학 시험에서는 출제될 수 있는 난이도의 문제이지만, 변시에서는 오랫동안 식물에 대한 문제가 출제되지 않았기 때문에 어려운 문제였을 것 같습니다.

2. 영역별 접근

세포생물학 영역에서는 25. "세균의 특성", 26. "세균의 세포벽"이 출제되었으며, 세포막 관련해서 21. "포화지방"이

출제되었습니다. 세균에 관련된 문제가 20년 2문제, 21년 1문제, 22년 2문제가 출제되어 3년간 5문제가 집중적으로 출제되었습니다. 아주 이례적인 출제 경향입니다.

세포호흡과 광합성 영역입니다. 세포호흡이 약 6년간 계속 미출제되었습니다. 광합성 대신 광호흡이 출제되었고, 세포호흡 및 광합성 공통으로 23. "최종전자수용체"가 출제되었습니다. 세포호흡과 광합성은 연간 약 1.5문제가 출제되어 왔는데 기존과 유사한 출제빈도를 나타냅니다.

세포분열과 유전학 영역입니다. 연간 2문제가 출제된 경우가 많은데 올해에는 출제되지 않았습니다.

유전자 복제와 발현 영역입니다. 올해 출제되지 않았습니다. 연간 1문제~4문제 출제되던 영역인데 최근 4년간은 출제 빈도가 아주 낮습니다.

생명 공학 기술(분자생물학)영역입니다. 연간 0.5문제 출제되어 왔는데, 올해는 2문제가 출제되었습니다. 27. "PCR 프라이머"와 28. "노던 블롯(Northern Blot)"입니다.

인체생리학 영역입니다. 일반적으로 연간 2문제 출제되어 왔는데 올해는 24. "항체의 종류/IgM" 1문제만 출제되었습니다.

진화와 분류 영역입니다. 연간 1~2문제 출제되었는데 올해는 2문제가 출제되었습니다. 29. "식물의 분류"와 30. "유전적 부동"입니다. '유전적 부동'은 최근 14년간 기출에서 3문제가 출제되었습니다. 학습량은 많지 않은데 출제 선호도가 아주 높은 테마가 되었습니다.

생태계 영역입니다. 올해는 생태계에서는 출제되지 않았습니다. 생태계는 2009년 ~ 2016까지에는 쉬운 문제가 연간 1~2문제 출제되어 왔습니다. 이후 2019, 2020년에는 지역적인 문제가 1개 출제되고, '질소순환' 문제가 2개 출제되었습니다. 생태계 영역은 대부분 쉬운 이론들 뿐이기 때문에, 질소순환은 그리 어렵지는 않지만 생태계 영역에서 가장 까다로운 테마입니다. 정리하면 생태계에서는 과거에 쉬운 문제들이 계속 출제되었기 때문에, 최근에는 출제하지 않거나 까다로운 테마를 찾아서 출제하는 경향을 보이고 있습니다. 이러한 경향성에 맞추어 대비하시기 바랍니다.

시사성 테마 영역입니다. 올해는 시사성을 갖는 문제는 출제되지 않았습니다.

3. 출제 경향의 특성 요약

59회 번시1차 생물 출제의 중요한 특성을 4가지로 요약하면 다음과 같습니다.

- (1) 출제 영역의 편향성
- (2) 일부 지문의 기존 기출문제 수준의 반복
- (3) '세균'에 대한 집중적인 출제
- (4) 기존 미출제영역에 대한 출제

(1) 출제 영역의 편향성

생물학 전체에서 고르게 출제되었다기 보다는 일부 영역에만 집중되어 출제되었습니다. 세균 2문제, 세포막 관련 포화지방 1문제, 광합성(광호흡) 1문제, 광합성과 세포호흡의 비교 1문제, 생명 공학 기술 2문제, 인체 생리학 1문제, 진화 및 분류 2문제가 출제되었습니다.

앞에서도 언급되었듯이 기존에 출제 빈도가 높은 세포호흡, 세포분열, 유전학, 유전자 복제와 발현, 생태계 등에서는 아예 출제가 되지 않았습니다. 2021년 이전 기출보다 출제 영역의 편향성이 큰 편입니다.

(2) 일부 지문의 기존 기출문제 수준의 반복

21. "포화지방", 23. "최종전자수용체", 24. "항체의 종류 : IgM", 25. "세균의 특성", 27. "PCR

프라이머(Primer)", 28. "노던블롯(Northern Blot)", 30. "유전적 부동" 의 7문제는 항상 출제되던 영역에서 출제되었습니다. 기출을 중심으로 생물학의 기본적인 이론에 충실하게 준비한 분들에게는 익숙한 지문이 많았을 것입니다. 문제 지문의 난이도도 특별히 높은 경우가 거의 없어 보입니다.

(3) '세균'에 대한 집중적인 출제

앞에서도 언급되었듯이 최근 3년간 5개의 '세균' 관련 문제가 집중적으로 출제되었습니다. 2020년은 25. "세균의 플라스미드", 30. "세균의 세포벽", 2021년은 30. "세균의 특성", 2022년은 25. "세균의 특성", 26. "세균의 세포벽"입니다. 2019년 이전은 거의 10년이상 세균에 대한 독립 문항이 출제된 적이 없습니다. 최근의 출제경향은 아주 특이한 경향이므로 꼭 기억하시기 바랍니다.

대응하는 방법은 이 5개의 문제보다 약간만 높은 수준까지 공부하는 정도가 현실적일 것 같습니다. 이 5개의 문제에 세균학(또는 미생물학)에서 공부하는 세균의 기초 핵심 이론이 비교적 고르게 출제가 되었습니다. 우선적으로 이 기출문제들을 확실히 이해하는 것이 좋겠습니다.

(4) 기존 미출제영역에 대한 출제

22. "광호흡/C₄식물"과 29. "식물의 분류"는 십수년간 출제되지 않은 테마가 출제되었습니다.

참고로서 2020년과 2021년에는 미출제영역에서 출제된 문제가 없었습니다. 항상 출제가 되던 영역에서만 출제가 되었습니다. 이 시기에는 기본에 충실하게 생물을 공부하신 분들은 비전공자라도 만점을 맞을 가능성이 꽤 높았다는 의미입니다.

2019년에서 특이한 문제는 3문제라고 볼 수 있습니다. 19년-27. "점돌연변이", 19년-29. "프리온", 19년-28. "우점식물"입니다. 돌연변이는 오랫동안 출제되지 않았으나, 2018년에 기초적인 돌연변이 이론이 출제되었기 때문에 2019년 "점돌연변이"의 출제는 예상이 가능했습니다. "프리온"은 광우병 사태(2008년경) 관련된 시사성 테마라고도 할 수 있지만 기본서에도 많이 포함되기 때문에 기본적으로 학습해야 하는 테마입니다. 반면에 "우점식물"은 생물학에서도 상당히 지엽적인 문제라서 출제를 예상하기 쉽지 않았습니다.

정리하면 생물학의 기본적인 내용에 충실하게 준비한 경우, 생물학 비전공자가 최대를 얻을 수 있는 점수는, 2019년에는 9개, 2020년과 2021년에는 10개, 2022년에는 8~9개 정도로 판단됩니다.

2020년과 2021년에 응시생의 생물 평균 점수가 다소 높아졌을 수 있기 때문에 2022년에는 기존의 미출제영역에서 출제하려는 노력을 하셨을 것 같다는 추측을 해 볼 수 있습니다.

답 안

NO.	답안								
21	3	22	5	23	2	24	1	25	1
26	4	27	1	28	3	29	4	30	5

21. “ 포화지방 ” 답안 : ③번

21. 포화지방에 관한 설명으로 옳은 것은 ?

- ① 주로 식물의 종자에 존재한다.
- ② 트랜스지방(trans fat)은 포화지방이다.
- ③ 포화지방은 불포화지방보다 녹는점이 높다.
- ④ 포화지방산은 탄소와 탄소 사이에 이중결합이 있다.
- ⑤ 포화지방산은 펩티드결합으로 글리세롤에 연결되어 있다.

<< 문제 해설 >>

① 주로 식물의 종자에 존재한다. (X)

주로 식물의 종자에 존재하는 지방은 (포화지방이 아닌) 불포화지방이다.

불포화지방은 생선(어류)의 지방이나 식물성 지방에 많이 존재한다.

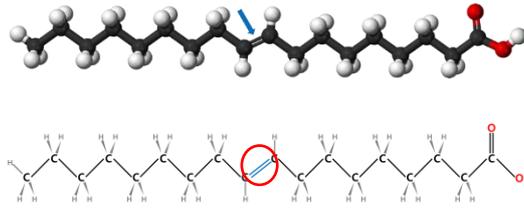
포화지방은 주로 동물성 지방에 많이 존재한다. 소고기의 기름 성분이 주로 포화지방으로 구성되며, 우유 중의 지방을 가공하여 만들어진 버터도 포화지방으로 구성된다.

② 트랜스지방(trans fat)은 포화지방이다. (X)

트랜스지방(Trans Fat)은 불포화지방이다.

불포화지방은 결합된 지방산의 탄소 사슬에 일반적으로 2중 결합이 존재한다. 2중 결합은 1개가 존재할 수도 있고 여러 개가 존재할 수도 있다. 이 2중 결합은 트랜스(Trans) 형태일 수도 있고 시스(Cis) 형태일 수도 있는데, 자연계에 존재하는 불포화지방은 시스(Cis) 형태의 불포화지방이다.

식품가공 기술이 발전하면서 일반적으로 저렴한 식물성 지방 등의 불포화지방으로부터 고가의 포화지방을 생산하기 위해 화학적인 수소첨가 가공에 의한 제품들이 생산되고 판매되었다. 그러나, 이 가공과정에서 일부의 시스-불포화지방이 트랜스-불포화지방으로 전환되었으며, 판매된 제품들에 반응부산물로 존재하였다. 연구결과 트랜스-불포화지방이 인체에 유해한 것으로 파악이 되어 이후 트랜스-불포화지방은 전세계 시장에서 퇴출되었다.



트랜스지방산의 구조 (직선형) (from Wikipedia)

트랜스-불포화지방에 포함되는 트랜스-불포화지방산은 2중 결합을 갖고 있지만, 전체적인 분자의 형태는 포화지방산과 유사한 직선형이다.

③ 포화지방은 불포화지방보다 녹는점이 높다. (O)

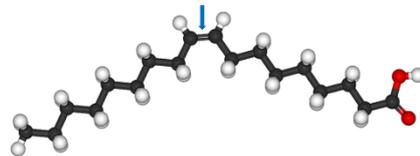
포화지방은 불포화지방보다 녹는점이 높다.

포화지방인 소고기 기름, 버터 등은 일반적으로 녹는점이 상온보다 높기 때문에 상온에서 고체로 존재한다. 불포화지방인 올리브유 등은 녹는점이 상온보다 낮기 때문에 상온에서 액체로 존재한다.

포화지방산 3개와 글리세롤 1개가 결합하여 생성되는 지방(중성지방)이 포화지방이다. 포화지방을 구성하는 포화지방산은 직선형 구조를 갖는다. 포화지방산만을 포함한 포화지방은 형태가 상대적으로 규칙적이다. 따라서, 포화지방 분자들 간의 결합이 용이하기 때문에(Packing이 잘 된다) 온도가 높아져도 쉽게 떨어지지 않는다. 불포화지방에 비해 상대적으로 녹는점이 높다.



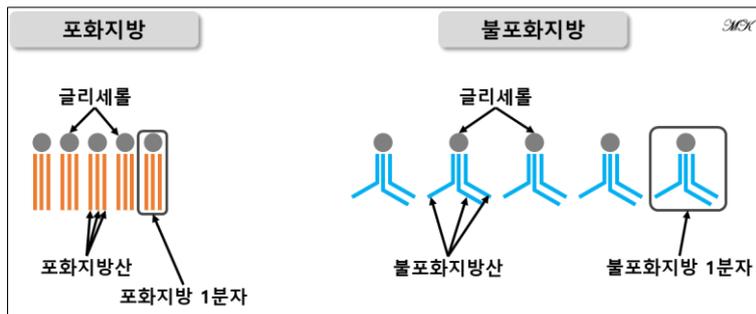
포화지방산의 구조 (직선형) (from Wikipedia)



불포화지방산의 예시 (굽은형, 시스-이중결합 포함) (from Wikipedia)

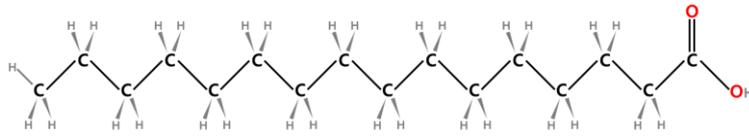
반면에 불포화지방산 3개와 글리세롤이 결합하여 불포화지방이 만들어진다. 불포화지방을 구성하는 불포화지방산은 시스 형태의 2중결합을 포함하는데, 이에 의해 굽은(꺾인) 형태의 구조를 갖는다. 이렇게 구성된 불포화지방은 형태가 포화지방에 비해 불규칙하다. 따라서 불포화지방 분자들 간의 결합이 잘 되지 않는다.(Packing이 잘 되지 않는다.) 이 분자들은 온도가 높아지면 쉽게 분리가 되므로 포화지방에 비해 녹는점이 낮다.

<< 포화지방 vs 불포화지방 >>



④ 포화지방산은 탄소와 탄소 사이에 이중결합이 있다. (X)

포화지방산은 탄소와 탄소 사이에 단일결합만 존재한다. 이중결합이 포함되어 있지 않다.



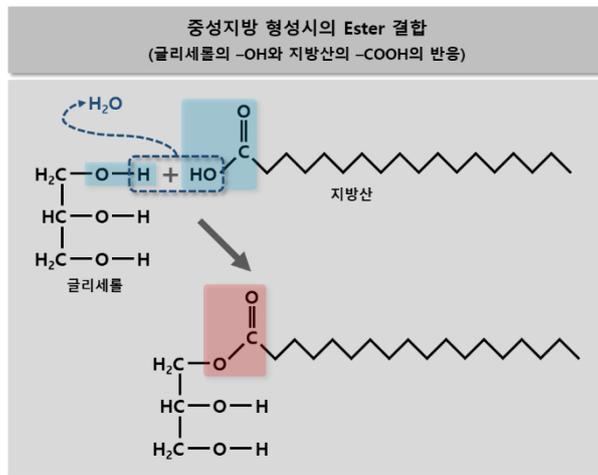
포화지방산의 구조

‘포화’지방산의 ‘포화’는 지방산 내의 탄소 사슬에 수소(H) 원자가 모두 결합하여 ‘포화’되었음을 의미한다. 탄소(C) 원자는 원자가 전자(최외각 전자)가 4개로서 주변의 원자들과 4개의 단일 결합을 생성할 수 있다. 지방산에서 탄소 원자는 탄소 원자 또는 수소 원자와 결합하게 된다. 탄소 사슬에서는 탄소 원자의 개수에 따라 최대로 결합할 수 수소 원자의 개수가 정해지게 된다. 예시로서 탄소 원자가 4개인 경우 수소 원자는 최대 10개 결합할 수 있다(C₄H₁₀). 이렇게 최대수의 수소 원자가 결합되어 있는 경우가 ‘포화’ 상태이다.

수소 원자가 부족한 경우(불포화 상태)인 경우 탄소 원자는 옆의 탄소 원자와 2중 결합을 형성하게 된다. 이렇게 형성된 지방산이 불포화지방산이다.

⑤ 포화지방산은 펩티드결합으로 글리세롤에 연결되어 있다. (X)

(포화지방산이든 불포화지방산이든) 지방산은 에스터(에스테르, Ester) 결합에 의해 글리세롤과 연결되어 지방(중성지방, TriGlyceride)를 구성한다. 펩티드(Peptide) 결합은 아미노산과 아미노산 간의 결합방식이다.



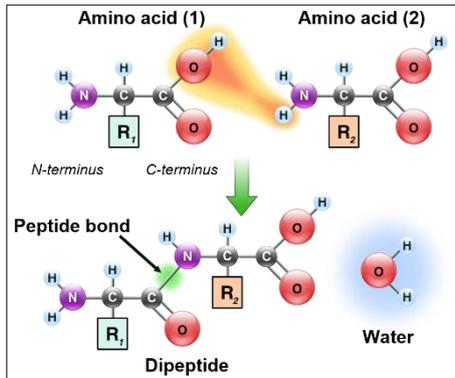
에스터(Ester) 결합에 의한 중성지방의 생성 과정

지방산 3 개 분자와 글리세롤(Glycerol) 1 개 분자가 결합하여 중성 지방을 구성한다. 중성 지방은 다른 이름은 트리글리세라이드(TriGlyceride)인데, Glycerol 에 3 개(Tri)의 지방산이 결합되어 있음을 의미한다.

글리세롤은 3 개의 탄소에 각각 -OH 기(알콜기)를 갖고 있다. 지방산은 탄소 사슬의 마지막 탄소가 -COOH 기(카르복시기)이다. 글리세롤과 지방산 이 2 가지 물질이 결합할 때, 글리세롤의 -OH 기에서 H⁺(수소)가 분리되어 나가고, 지방산의 -COOH 기에서 OH⁻가 분리되어 나간 상태로 결합하게 된다. 결합 부위는 -COO-의 구조를

갖게 되는데 이러한 결합 구조의 명칭이 에스터 결합이다. 분리된 H⁺와 OH⁻는 결합하여 H₂O(물)이 된다. 따라서 에스터 결합은 탈수반응이다.

위의 그림에는 1개의 지방산과 글리세롤이 결합하는 모습이 나타나 있다. 위의 그림에 2개의 지방산이 추가적으로 글리세롤과 결합하면 중성지방(TriGlyceride)가 완성된다.



펩타이드(Peptide) 결합에 의한 아미노산 간의 결합

펩타이드(Peptide) 결합은 아미노산과 아미노산 간의 결합 방식이다.

아미노산은 중심 탄소에 카르복시기(-COOH), 아민기(-NH₂), 수소(-H), 잔기(Residue, Side Chain)가 결합되어 있다. 위의 그림에서와 같이 1번 아미노산의 -COOH에서 OH가 분리되고, 2번 아미노산의 -NH₂에서 H가 분리되어 두 아미노산이 결합한다. 최종적으로 결합부위는 -CO-NH-의 형태를 갖고, 이 결합 방식이 펩타이드 결합이다. 역시 분리된 H⁺와 OH⁻는 결합하여 H₂O(물)이 되므로 펩타이드 결합 역시 탈수반응의 일종이다.

수 개의 아미노산들이 펩타이드 결합에 의해 이어지면 올리고펩타이드(OligoPeptide)라고 한다. 수 많은 아미노산들이 결합하면 폴리펩타이드(PolyPeptide)라고 한다.

단백질은 엄밀하게는 폴리펩타이드와는 다른 개념이다. 번역(Translation) 직후의 폴리펩타이드가 단백질 접힘(Protein Folding)과 추가적인 가공 공정을 거쳐 활성을 갖게 되면 단백질로 불리게 된다.

22. " 광호흡 : C₄ 식물 " 답안 : ⑤번

22. C₄ 식물에 관한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은 ?

< 보 기 >

- ㄱ. 옥수수는 C₄ 식물에 속한다.
- ㄴ. 캘빈 회로는 유관속초세포에서 일어난다.
- ㄷ. 대기 중에 있는 CO₂는 엽육세포에서 고정된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

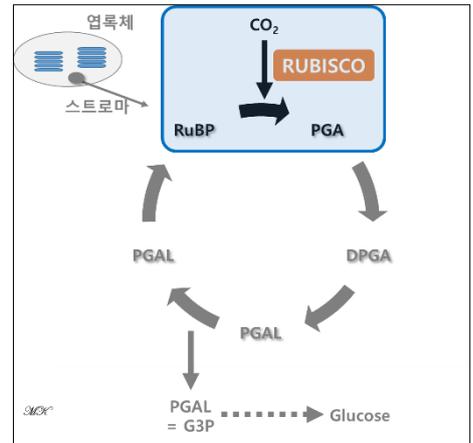
<< 기본 이론 >>

1. 광호흡

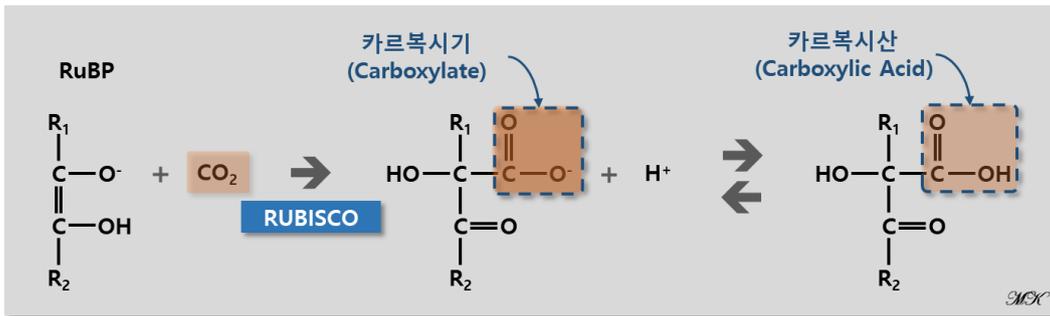
광합성 암반응의 캘빈회로의 시작은 CO₂가 RUBISCO 효소에 의해 RuBP와 결합하면서 유기물질로 고정되는 반응이다.

RUBISCO는 '~~ Carboxylase/Oxygenase'의 약자인데, 여기서 Carboxylase는 RUBISCO가 CO₂를 결합시키는 능력이 있음을 의미한다. CO₂가 유기물질에 결합하면 카르복시기(Carboxylate)가 될 수 있기 때문이다. 이 카르복시기는 쉽게 카르복시산(Carboxylic Acid)으로 전환이 된다(아래 그림 참조). 또한 Oxygenase는 O₂(Oxygen)를 결합시키는 능력도 있음을 의미한다.

엽록체에서 광합성이 계속 진행되면, CO₂는 소모되고 광합성의 부산물인 O₂는 생성되어, O₂의 농도는 높아지고 CO₂는 희박해지는 상황이 발생할 수 있다. 특히 잎의 기공이 닫혀 있는 경우 이러한 상황이 발생하게 된다. RUBISCO는 O₂에 대한 친화력보다 CO₂에 대한 친화력이 더 높기 때문에, 일반적인 상황에서는 RuBP에 CO₂를 결합시킨다. 하지만, CO₂의 농도가 아주 낮은 상황에서는 RUBISCO가 RuBP에 O₂를 결합시키기 시작한다.



<< RUBISCO에 의한 CO₂의 결합과 Carboxylate(카르복시기) 및 Carboxylic Acid(카르복시산)의 생성 >>



RuBP에 O₂가 결합하게 되면 불필요한 물질이 생성이 된다. 이 물질은 분해되어 PGA와 인산글리콜산이라는 물질이 된다. 인산글리콜산은 엽록체에서 배출되어 퍼옥시좀과 미토콘드리아에서 분해되어 최종적으로 CO₂가 된다.

이 전체 과정은 빛의 존재 하에서 O₂를 소모하고, CO₂를 배출하기 때문에 '광호흡'으로 불리며, 식물에게는 바람직하지 않은 물질대사 과정이다.

RuBP : Ribulose-BisPhosphate, 리불로스 이인산, Ribulose-1,5-BisPhosphate

RUBISCO (Ribulose-BisPhosphate Carboxylase/Oxygenase)

: 광합성 암반응의 캘빈회로에서 RuBP(Ribulose-BisPhosphate)에 CO₂를 결합시키는 효소이다. 즉 캘빈회로에서 처음 CO₂를 고정시켜 유기물질로 전환시키는 효소이다.

고정

: 'CO₂가 고정된다'에서의 '고정'의 의미는 '유기물질이 유기물질에 결합되어 유기물질의 일부가 된다'라고 생각하면 된다. 대기 중에 존재하는 CO₂는 생물들이 포집하여 대사물질로 이용하기 쉽지 않다. 하지만 식물은 대기 중의 CO₂를 유기물질에 결합시켜 유기물질의 일부로 이용할 수 있는 능력이 있다(광합성). 다른 생물들은 이를 이어받아 대사물질로 이용할 수 있다.

2. 광호흡 방지 방식에 따른 식물의 분류 : C₃ 식물, C₄ 식물, CAM 식물

식물의 잎에는 공기가 출입할 수 있는 기공이 존재한다. 온도가 높고 건조한 지역에 서식하는 식물의 경우 낮에 기공이 열려 있으면 수분이 계속적으로 손실된다. 이러한 식물의 경우 수분손실을 방지하기 위해 낮에 기공을 닫은 상태로 광합성을 지속하게 되면 잎 내부의 CO₂의 농도는 아주 낮아지고 O₂의 농도는 증가하여 광호흡이 일어나게 된다. 따라서 이런 지역의 식물들은 광호흡을 방지하기 위해 진화의 과정에서 일반적인 광합성과는 다른 광합성 방식을 이용하게 되었다. 이러한 식물들이 C₄ 식물, CAM 식물이다. 광호흡 방지 방식이 없는 일반 식물은 C₃ 식물이다.

즉 식물은 광호흡을 방지하는가 및 그 방지 방식에 따라 C₃ 식물, C₄ 식물, CAM 식물 3가지로 분류할 수 있다.

C₃ 식물에는 벼, 밀, 콩 등이 포함된다. C₃ 식물은 광호흡을 방지하는 특별한 방식을 갖고 있지 않은 일반적인 식물이다. 'C₃'라는 명칭이 부여된 이유는 이 식물의 광합성 암반응의 캘빈회로에서 CO₂가 고정되어 생성되는 최초의 물질이 3개의 탄소를 갖는 C₃ 화합물이기 때문이다. 이 화합물이 PGA이다. PGA의 G가 Glycerol을 의미하는데, Glycerol은 C₃ 화합물이다.

PGA : **Phospho**Glyceric **A**cid (인산글리세르산)

C₄ 식물은 옥수수과 사탕수수를 포함한다. C₄ 식물은 CO₂를 고정하는 세포와 캘빈회로가 진행되는 세포가 다른 세포로서 분리되어 있다. 이에 의해 광호흡을 방지한다. C₄ 식물은 CO₂가 고정되어 생성되는 최초의 물질이 4개의 탄소를 갖는 C₄ 화합물이기 때문에 이렇게 명명되었다. 이 C₄ 화합물은 옥살초산(옥살아세트산)이다.

CAM 식물에는 파인애플, 선인장 및 알로에 같은 다육식물이 포함된다. CAM 식물에서는 동일한 세포에서 CO₂의 고정과 캘빈회로가 진행된다. 다만 CO₂의 고정은 낮에 이루어지고, 캘빈회로는 밤에 진행된다. 2가지 과정의 진행 시간을 분리하는 방식에 의해 광호흡을 방지한다. CAM 식물도 CO₂ 고정의 최초 생성물은 C₄ 화합물인 옥살초산이다.

3. C₄ 식물

C₄ 식물은 기온이 높고 건조한 지역에서 서식하면서 광호흡을 방지하기 위한 진화가 이루어졌다.

이런 지역에서는 태양광을 얻을 수 있는 낮에 식물이 잎의 기공을 열고 광합성을 하게 되면 많은 양의 수분을 잃게 된다. 따라서 낮에 기공을 일부만 열고 광합성을 하게 되는데 그래도 잎 내부의 CO₂의 농도가 낮아지면 광호흡이 일어나게 된다.

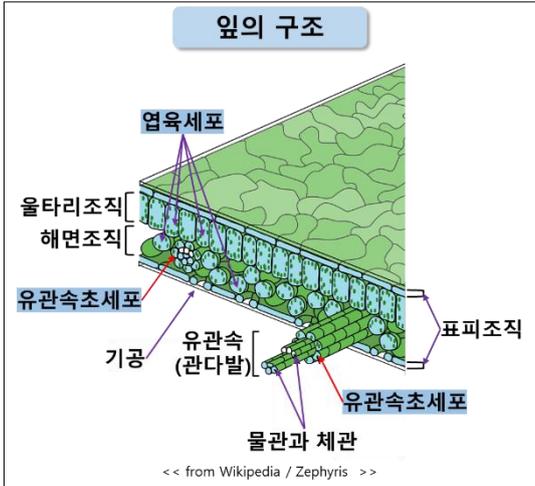
C₄ 식물은 이를 방지하기 위해 CO₂의 고정과 캘빈회로의 장소가 분리되어 있다. CO₂의 고정은 엽육세포에서 이루어지고, 캘빈회로는 유관속초세포에서 진행된다.

엽육세포 : 엽육(잎의 살, leaf body)을 이루는 세포들이다. 태양광을 많이 받는 위쪽의 엽육세포들은 치밀한 조직을 이루어 율타리조직을 형성한다. 태양광을 약하게 받는 아래쪽의 엽육세포들은 밀도가 낮은 해면조직을 이룬다.

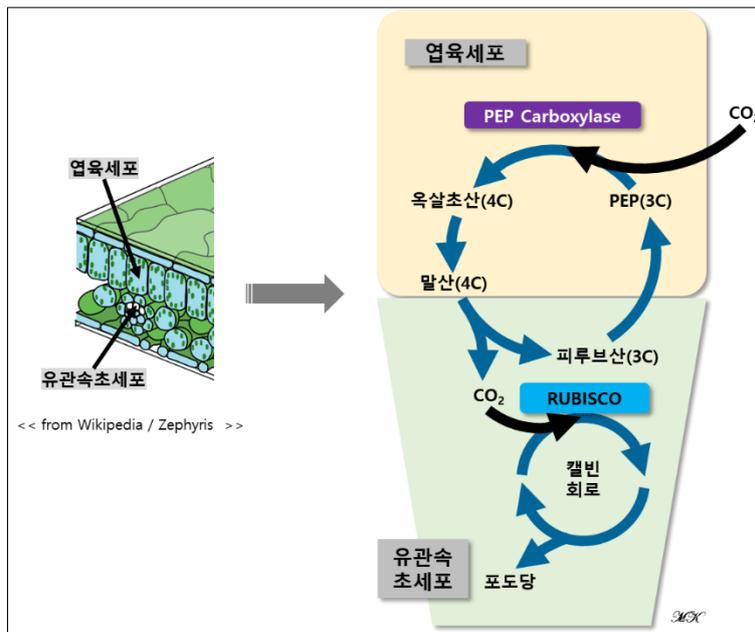
유관속(관다발) : 물과 무기염류를 이동시키는 물관과, 광합성에 의해 합성된 영양물질을 이동시키는 체관들이 같이 배열되어 다발을 이룬 것이 유관속 즉 관다발이다. '유관속'의 '속(束)'은 '결속'에서와 같이 묶음을 의미한다. 체관과 물관을 둘러싸는 세포들도 유관속에 포함된다.

초세포 : 초세포의 '초'는 특정 대상을 보호하는 껍데기라는 의미를 갖는 한자(칼집 초)이다.

유관속초세포(관다발초세포) : 물관과 체관을 둘러싸서 보호하는 초세포이다.



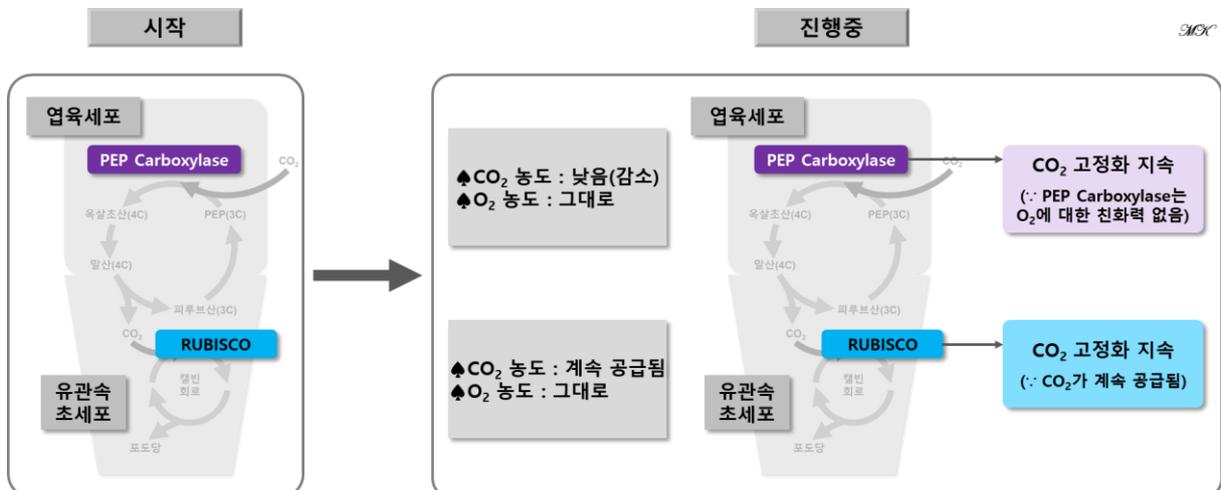
<< C₄ 경로(Pathway) >>



C₄ 식물은 낮에 기공을 일부만 연 상태에서 광합성을 진행한다. CO₂의 고정은 엽육세포에서 이루어지는데 C₃ 식물과는 다르게 CO₂의 고정에 관여하는 효소는 PEP Carboxylase이다(C₃ 식물은 RUBISCO가 CO₂를 고정시킨다). PEP Carboxylase는 PEP(3C)에 CO₂(1C)를 결합시켜 옥살초산(4C)을 생성한다. 옥살초산은 말산(4C)으로 전환되어 유관속초세포(관다발초세포)로 이동한다. 유관속초세포에서는 캘빈회로가 진행된다. 엽육세포에서 이동해온 CO₂를 RUBISCO가 RuBP에 결합시킴으로써 캘빈회로가 진행되고 최종적으로 포도당이 생성된다.

- # PEP : 피루브산의 유도체(변형체), PhosphoEnol Pyruvate (C3 화합물)
- # PEP Carboxylase : PEP에 CO₂를 결합시키는 효소이다. RUBISCO 처럼 PEP Carboxylase도 CO₂를 결합시키기 때문에 Carboxylase라는 이름을 갖고 있다. 그러나 PEP Carboxylase는 RUBISCO와는 다르게 O₂에 대한 친화력이 없어서, PEP에 O₂를 결합시키지 않는다.
- # 옥살초산 : 옥살아세트산, Oxaloacetate (C4 화합물)
- # 말산 : Malate (C4 화합물)
- # 피루브산 : Pyruvate (C3 화합물)

<< C₄ 식물의 광호흡 방지 방식 >>

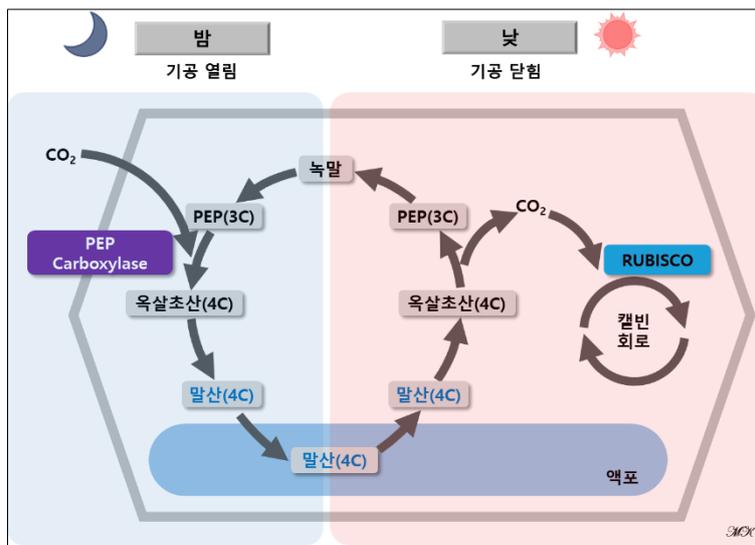


위의 그림은, C₄ 식물에서 낮에 광합성이 진행될 때의 상황을 나타낸다. 기공이 일부만 열려 있기 때문에 광합성이 진행되면 엽육세포내의 CO₂ 농도는 낮아지고, 따라서 O₂에 대한 CO₂의 상대적인 비율이 낮아지게 된다. 그러나, O₂가 CO₂ 대신 고정되지 않는다. PEP Carboxylase 는 RUBISCO 와는 달리 O₂에 대한 친화력이 없기 때문이다.

유관속초세포에서는 엽육세포로부터 CO₂가 공급되기 때문에 CO₂ 농도를 유지할 수 있다. 따라서 광합성이 진행되어도 O₂에 대한 CO₂의 비율이 낮아지지 않는다. CO₂가 존재하면 RUBISCO는 (O₂가 아닌) CO₂를 RuBP에 결합시켜 정상적인 캘빈회로 진행이 가능하다. 이런 방식에 의해 C₄ 식물은 광호흡을 방지한다.

4. CAM 식물

<< CAM 경로(Pathway) >>



CAM 식물도 광호흡 방지 방식을 갖고 있지만, C₄ 식물과는 다르게 CO₂의 고정과 캘빈회로의 수행이 동일한 세포 내부에서 이루어진다.

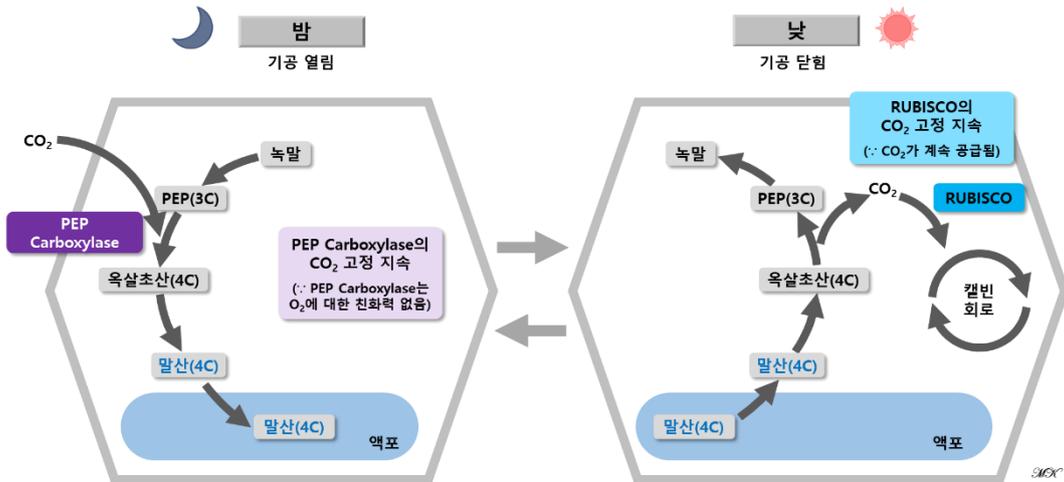
CAM 식물에 속하는 파인애플, 선인장, 알로에 등은 사막과 같은 건조한 지역에서도 서식한다. CAM 식물은 낮에는 기공을 열 수 없기 때문에 밤에 기공을 열고 CO₂를 고정한다. CO₂고정은 PEP Carboxylase가 수행한다. 밤이 되면 녹말을 PEP(3C)로 변환시키고 PEP Carboxylase가 CO₂(1C)를 PEP에 결합시켜 옥살초산을 생성한다. 옥살초산은 말산(C4)으로 변환되어 액포에 저장된다.

CAM 식물은 낮이 되면 기공을 닫고, 액포에 저장되어 있는 말산으로부터 CO₂를 공급받아 캘빈회로를 진행시킨다. 액포의 말산(C4)은 옥살초산(C4)으로 변환되고, 다시 PEP(3C)로 변환되면서 CO₂를 배출한다. PEP은 녹말로 변환된다. 배출된 CO₂를 RUBISCO가 RuBP에 결합시키면서 캘빈회로가 진행된다.

CAM : **C**rassulacean **A**cid **M**etabolism 의 약자이다. Crassulacean은 다육식물의 일종이다. 다육식물은 사막 등 건조한 날씨의 지역에서 살아남기 위해, 땅 위의 줄기나 잎에 많은 양의 수분을 저장하고 있는 식물을 말한다. 선인장이 대표적인 다육식물이다. CAM 식물의 광호흡 방지 방식이 Crassulacean에 속하는 식물에서 처음 발견되었다.

CAM의 Acid Metabolism : CAM 식물의 광호흡 방지를 위한 물질대사에는 PEP, 옥살초산, 말산 등이 등장하는데 모두 산(Acid)이다. 따라서 Acid Metabolism은 중간물질로 산(Acid)들이 포함되어 있는 물질대사(Metabolism)를 의미한다.

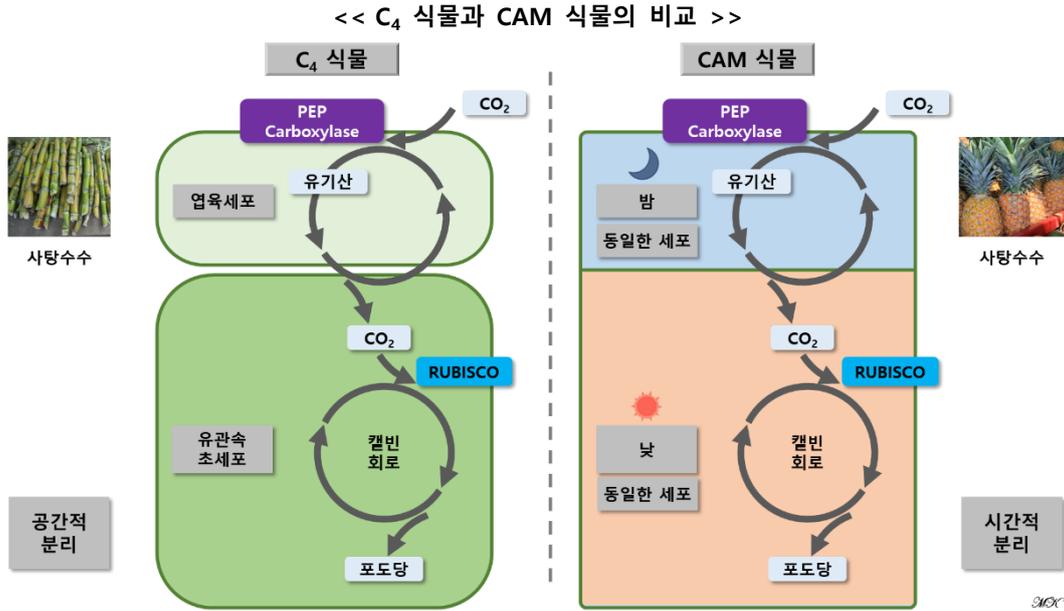
<< CAM 식물의 광호흡 방지 방식 >>



CAM 식물이 광호흡을 방지하는 방식은 PEP Carboxylase 에 의한 CO₂의 고정과 RUBISCO 가 관여하는 캘빈회로의 진행을 밤과 낮의 시간으로 분리하기 때문에 가능하다 (위의 그림 참조). 밤에는 RUBISCO 가 작용하지 않고 PEP Carboxylase 가 작용하여 CO₂ 를 고정하는데, 기공을 열 수 있기 때문에 CO₂ 의 농도를 계속 유지할 수 있다. 또한 PEP Carboxylase 가 O₂ 에 대한 친화력이 없기 때문에 광호흡이 일어나지 않는다.

낮에는 RUBISCO 가 관여하여 캘빈회로가 진행된다. 기공이 닫혀 있지만, 액포에 저장된 말산으로부터 CO₂ 를 공급받는 동안은 CO₂ 의 농도를 유지할 수 있기 때문에 RUBISCO 가 O₂ 를 결합시키지 않고 정상적인 캘빈회로 진행이 가능하다.

5. C₄ 식물과 CAM 식물의 비교



C₄ 식물과 CAM 식물 모두 CO₂가 캘빈회로에 도입되기 전에 먼저 C₄ 유기산 회로(경로)에 도입된다는 공통점을 갖고 있다. 차이점은 C₄ 식물은 CO₂ 고정과 캘빈회로의 공간적 분리가 이루어진다는 점, CAM 식물은 시간적 분리가 이루어진다는 점이다.

주의할 점은 C₃, C₄, CAM 식물 모두 최종적으로는 캘빈회로를 사용하여 CO₂로부터 포도당을 생산한다는 점이다.

<< C₃ 식물 / C₄ 식물 / CAM 식물의 비교, 정리 >>

	C ₃ 식물	C ₄ 식물	CAM 식물
식물	벼, 밀, 콩	옥수수, 사탕수수	파인애플, 선인장, 알로에 (다육식물)
광호흡 방지	X	O	O
광호흡 방지 방식	-	< 공간의 분리 > CO ₂ 고정 : 엽육세포 캘빈회로 : 유관속초세포	< 시간의 분리 > CO ₂ 고정 : 밤 캘빈회로 : 낮
최초 CO ₂ 고정 효소	RUBISCO	PEP Carboxylase	PEP Carboxylase
최초 CO ₂ 고정의 최초 산물	PGA (3C)	옥살초산 (4C)	옥살초산 (4C)
캘빈 회로의 효소	RUBISCO	RUBISCO	RUBISCO
기공이 열리는 시기	낮	낮 (일부만 열림)	밤
특이사항			CO ₂ 의 저장 : 액포의 말산

<< 문제 해설 >>

22. C₄ 식물에 관한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은 ?

ㄱ. 옥수수는 C₄ 식물에 속한다. (O)

C₃ 식물에는 벼, 밀, 콩이 포함된다. C₄ 식물에는 옥수수, 사탕수수가 포함된다. CAM 식물에는 파인애플, 선인장, 알로에(다육식물)가 포함된다.

ㄴ. 캘빈 회로는 유관속초세포에서 일어난다. (O)

C₄ 식물의 경우 CO₂의 고정은 엽육세포에서 PEP Carboxylase에 의해 일어난다. RUBISCO가 작용하는 캘빈회로는 유관속초세포(관다발초세포)에서 진행된다. CO₂의 고정과 캘빈회로의 2개의 과정이 공간적으로 분리되어 있다.

PEP Carboxylase는 O₂에 대한 친화력이 없다. 따라서 엽육세포의 CO₂의 농도가 낮아져도 PEP Carboxylase는 O₂를 결합시키지 않는다. 유관속초세포 내부에는 엽육세포로부터 CO₂가 공급되기 때문에 RUBISCO가 정상적으로 CO₂를 RuBP에 결합시키고, 캘빈 회로가 진행된다.

ㄷ. 대기 중에 있는 CO₂는 엽육세포에서 고정된다. (O)

C₄ 식물의 경우 낮에 기공을 일부만 열어 식물의 잎 내부의 수분의 증발을 최소화하고 CO₂가 대기로부터 잎으로 조금씩 유입될 수 있도록 한다. 유입된 CO₂의 고정은 잎의 엽육세포에서 PEP Carboxylase에 의해 일어난다.

23. " 최종 전자수용체 " 답안 : ②번

23. (가)는 미토콘드리아의 산화적 인산화 과정에서 작용하는 전자전달 사슬의 최종 전자 수용체이고, (나)는 광합성의 명반응에서 작용하는 전자전달 사슬의 최종 전자 수용체이다. (가)와 (나)로 옳은 것은 ?

- ① (가) O₂ - (나) NADPH ② (가) O₂ - (나) NADP⁺
- ③ (가) H₂O - (나) NADPH ④ (가) H₂O - (나) NADP⁺
- ⑤ (가) H₂O - (나) NADH

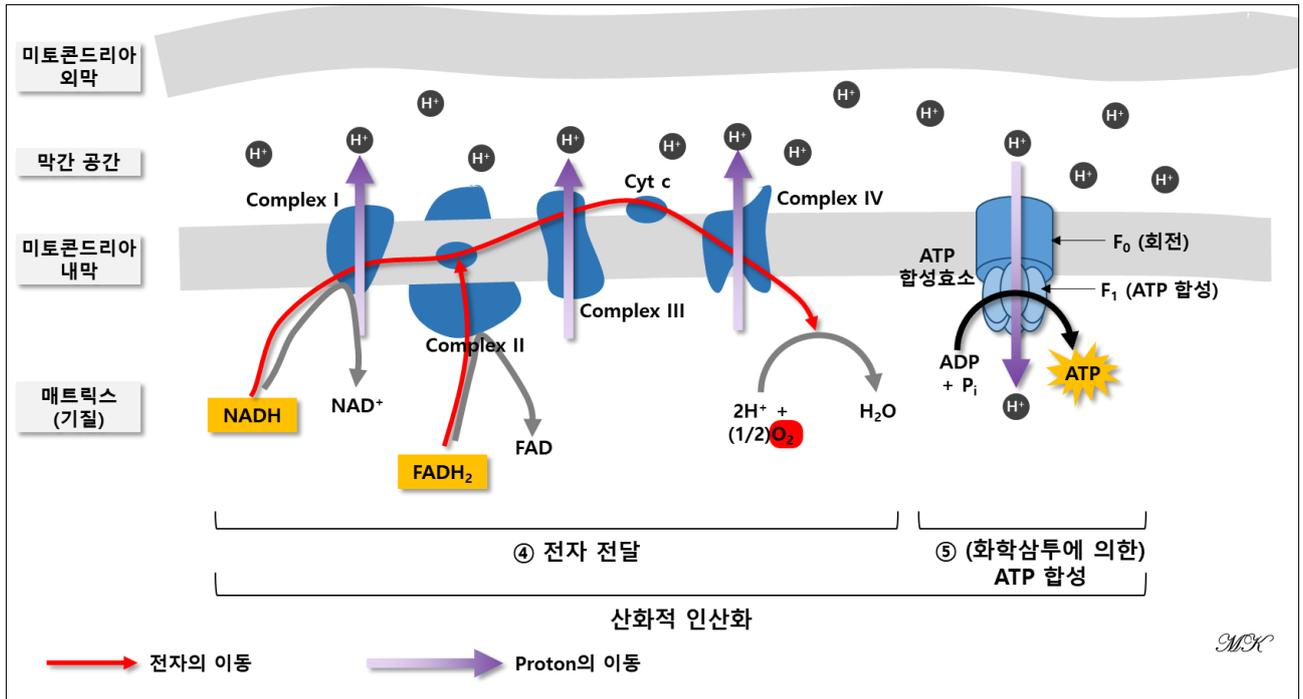
<< 문제 해설 >>

A. 세포호흡 중 산화적 인산화 과정의 최종 전자 수용체 : O₂(산소)

산화적 인산화의 전자전달 단계에서 최종 전자 수용체는 O₂(산소)이다. 또한 최초 전자 공여체는 NADH 와 FADH₂ 이다.

세포호흡은 5 단계로 구분된다. (1) 해당과정, (2) 아세틸-CoA 생성, (3) 크렘스 회로(TCA 회로, 시트르산 회로), (4) 전자전달, (5) ATP 합성이 그 것이다. 미토콘드리아에서 일어나는 산화적 인산화 과정에는 (4) 전자전달과 (5) ATP 합성이 해당된다.

<< 산화적 인산화 : ④단계 전자전달 및 ⑤단계 (화학삼투에 의한) ATP 합성 >>



위의 그림에서와 같이, 산화적 인산화에 포함되는 전자 전달 단계에서 최초 전자 공여체는 NADH 및 FADH₂ 이고, 최종 전자 수여체는 O₂ 이다.

NADH는 고에너지 전자를 Complex 1에 전달한다. 이 전자는 Complex 2, 3, 4를 거쳐 O₂에 전달된다. 전자를 받은 O₂는 주위의 H⁺와 결합하여 H₂O가 된다. 주의할 점은 H₂O는 최종 전자 수여체인 O₂가 변형된 부산물일 뿐이고, H₂O가 최종 전자 수여체가 아니라는 점이다.

(H₂O 는 일반적인 환경에서는 전자를 받을 수 없다. 어떤 물질이 전자를 받게 되면 수소 이온이 같이 결합하게 되는데, H₂O 의 경우 전자와 결합하게 되면 결합의 결과로서 H₃O 또는 H₄O 등으로 변형되어야 한다. 실제 이러한 반응은 일어나지 않는다는 것을 기억하면 된다.)

Complex 2 를 제외한 Complex 1, 3, 4 는 Proton Pump 인데, 전자가 전달되는 과정에서 전자로부터 일부 에너지를 받아서 Proton(수소 이온)을 매트릭스(기질)에서 미토콘드리아의 막간 공간으로 이동시킨다. 이렇게 형성된 Proton 농도 기울기에 의해 ATP 가 합성된다.

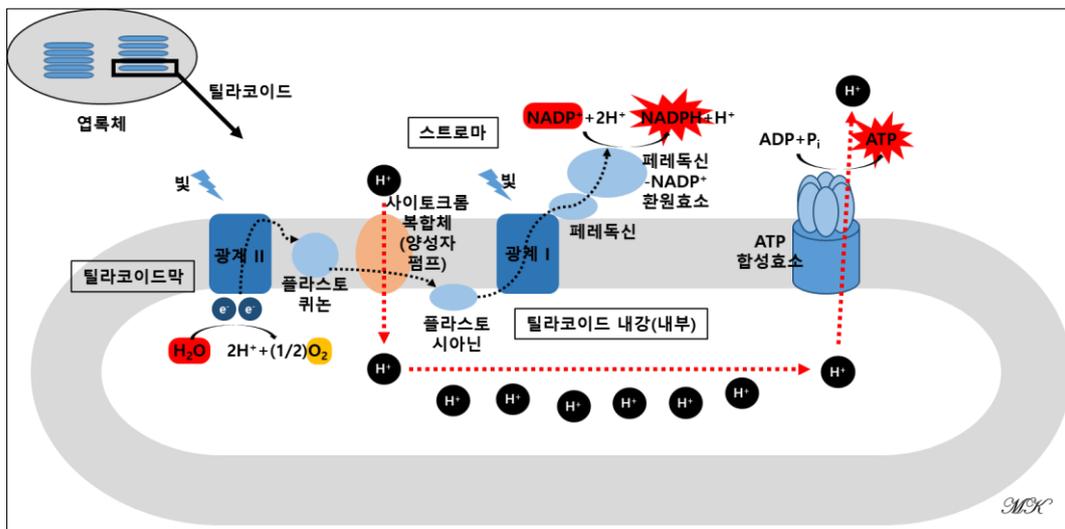
FADH₂ 는 고에너지 전자를 Complex 2 에 전달한다. 이 전자는 Complex 3, 4 를 거쳐 O₂ 에 전달된다. 이 전자 전달에 의해 역시 Proton 농도 기울기가 생성되고, ATP 가 합성된다.

B. 광합성 중 명반응의 최종 전자 수용체 : NADP⁺

광합성 명반응의 전자전달계의 최종 전자 수용체는 NADP⁺이다.

광합성은 명반응(광의존성 반응)과 암반응(광독립성 반응)으로 구성된다. 명반응은 전달전달 단계와 ATP 합성 단계로 구성된다. 암반응은 캘빈회로와 이후 포도당 합성 과정으로 구성된다. 명반응에서는 비순환적 광인산화(비순환적 전자흐름)가 진행될 수도 있고, 순환적 광인산화(순환적 전자흐름)가 진행될 수도 있다. 명반응에서 비순환적 광인산화가 진행되는 경우 전자전달의 최종 전자 수용체가 NADP⁺이다.

<< 광합성 명반응의 비순환적 광인산화(비순환적 전자흐름) >>



비순환적 광인산화에서는 H₂O(물)를 광분해하여 전자를 생성한다. 따라서 최초 전자 공여체는 H₂O 이다. 생성된 전자는 광계 2, 플라스토퀴논, 사이토크롬 복합체, 플라스토시아닌, 광계 1, 페레독신, NADP⁺-환원효소를 거쳐 최종적으로 NADP⁺에 전달된다. 전자를 받은 NADP⁺는 수소 이온과 결합하여 NADPH 로 전환된다. 역시 주의할 점은 NADPH 는 최종 전자 수여체가 아니라는 점이다.

(NADPH 역시 H₂O 와 마찬가지로 전자를 받을 수 없다. NADPH 가 전자를 수용하면, 수소 이온과 결합하여 NADPH₂ 또는 NADPH₃ 등이 생성되어야 하는데 이러한 반응은 일어나지 않는다.)

전자 전달과정에서 광계 1, 광계 2 는 빛에너지를 포집하여 전자에 에너지를 더해 주어 전자의 에너지를 높여주는 역할을 한다. 사이토크롬 복합체는 전자로부터 일부 에너지를 받아서 Proton Pump 로 작용하고, Proton 을 틸라코이드 내강으로 이동시킨다. 이렇게 형성된 Proton 농도 기울기에 의해 ATP 가 합성된다.

C. 결론 : 답은 '㉠ (가) O₂ - (나) NADPH' 이다.

별도 내용으로서, 지문에 포함된 H₂O와 NADPH는 전자 수용체가 될 수 없다. 이유는 앞의 설명과 같다.

NADH도 같은 이유로 전자 수용체가 될 수 없다. NADH는 FADH₂와 함께 세포호흡의 전자전달 단계에서 최초 전자 공여체의 역할을 한다.

주의할 점은 NAD⁺와 NADH는 세포호흡에 관련된 물질이며, 광합성에서는 NADP⁺와 NADPH가 관련된 물질이라는 점이다.

	세포호흡	광합성
전자전달계의 위치	미토콘드리아의 내막	엽록체의 틸라코이드막
최초 전자 공여체	NADH, FADH ₂	H ₂ O
최종 전자 수여체	O ₂	NADP ⁺

24. “ 항체의 종류 : IgM ” 답안 : ①번

24. IgM에 관한 설명으로 옳은 것 만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은 ?

< 보 기 >

- ㄱ. 1차 면역반응에서 B세포로부터 처음 배출되는 항체이다.
- ㄴ. 눈물과 호흡기 점막 같은 외분비액에 존재하며 국소방어에 기여한다.
- ㄷ. 알레르기 반응에 관여한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

<< 문제 해설 >>

ㄱ. 1차 면역반응에서 B세포로부터 처음 배출되는 항체이다. (O)

IgM은 후천성 면역반응의 1차 면역반응에서 B세포로부터 처음 배출되는 항체이다.

항체에는 M, D, A, G, E의 5가지 종류(Class, 급)의 항체가 존재한다. 이 각각이 IgM, IgD, IgA, IgG, IgE이다. B세포는 초기에는 M, D Class의 항체를 생산한다.

이 B세포가 항원에 노출되면 Class Switching(클래스 전환, 급 전환)이 일어나고 이후 이 B세포는 A, G, E Class의 항체를 생산하게 된다. Class Switching 이후의 단계에서, 침입한 병원체(바이러스, 세균 등)을 제거하는 데 중요한 역할을 하는 항체는 G Class 항체(IgG)이다. IgA는 외분비액에서 방어를 담당하며, IgE는 알레르기 반응에 관여한다.

M, D → A, G, E

ㄴ. 눈물과 호흡기 점막 같은 외분비액에 존재하며 국소방어에 기여한다. (X)

(IgM이 아닌) IgA는 눈물과 호흡기 점막 같은 외분비액에 존재하며 국소방어에 기여한다.

IgA는 2량체(Dimer)로 분비되는 유일한 종류의 항체이다.

ㄷ. 알레르기 반응에 관여한다. (X)

(IgM 이 아닌) IgE 가 알레르기 반응에 관여한다.

IgE 는 생체내에 항원이 침입하여 Class Switching 이 일어난 후에 생산된다. 생산된 IgE 는 비만세포 등의 표면에 부착된다. 이후 동일한 항원이 생체에 재침입하게 되면 IgE 가 비만세포를 자극하고 이에 비만세포가 히스타민을 분비하여 알레르기 반응이 일어난다.

25. " 세균의 특성 " 답안 : ①번

25. 대장균의 유전자 발현에 관한 설명으로 옳지 않은 것은 ?

- ① RNA 중합효소 I, II, III이 세포질에 존재한다.
- ② 70S 리보솜이 세포질에서 단백질을 합성한다.
- ③ DNA 복제과정에서 에너지가 사용된다.
- ④ 오페론 구조를 통해 전사가 조절된다.
- ⑤ 단백질 합성의 개시 아미노산은 포밀메티오닌이다.

<< 문제 해설 >>

① RNA 중합효소 I, II, III이 세포질에 존재한다. (X)

대장균은 세균(박테리아, Bacteria)이며, 원핵세포이다. 세균은 1종류의 RNA 중합효소만을 갖는다.

진핵생물의 진핵세포는 복수개의 RNA 중합효소를 갖는다. 진핵세포의 RNA 중합효소 I, II, III는 각각 rRNA, mRNA, tRNA를 합성한다.

고세균은 원핵세포이지만, 복수개의 RNA 중합효소를 갖는다.

② 70S 리보솜이 세포질에서 단백질을 합성한다. (O)

대장균을 포함하는 세균은 70S 리보솜을 갖고, 이 리보솜은 세포질에서 mRNA와 결합하여 단백질을 합성한다.

진핵세포는 80S 리보솜을 갖는다.

고세균은 70S 리보솜을 갖는다. 다만 고세균의 70S 리보솜과 세균의 70S 리보솜은 침강계수는 서로 동일하지만 리보솜의 구조와 특성이 다르기 때문에 서로 다른 리보솜이다.

70S : S는 침강계수이다. Svedberg의 약자이다. 세포를 파쇄하여 세포소기관들을 용출시킨 후 원심분리를 하게 되면 세포내의 세포소기관들과 물질들은 질량과 밀도에 따라 침강정도가 다르기 때문에 서로 분리된다. 침강계수가 높은 물질은 원심분리 결과 더 많이 침강하는 물질을 의미한다. 즉, 80S의 물질은 70S의 물질보다 더 많이 침강한다.

③ DNA 복제과정에서 에너지가 사용된다. (O)

세균의 DNA 복제과정에서 에너지가 사용된다.

세균, 진핵세포, 고세균 모두 DNA 복제과정에서 에너지가 사용된다. DNA 복제는 세포의 생명활동 중 규모가 아주 큰 활동이다. 다시 말하면 DNA 복제는 세포의 DNA 전체가 2배가 되는 거대한 규모의 과정이다. Helicase, Topoisomerase(회전효소, 위상이성질화효소), SSBP(Single Strand Binding Protein), Primase, DNA Polymerase, DNA Ligase 등의 많은 효소들이 협업을 통해 작용해야 하는 과정이다. 많은 양의 에너지가 사용될 수 밖에 없다. 예시로서 Helicase가 이중 가닥 DNA를 풀어서 단일 가닥을 만들 때도 ATP의 에너지를 사용한다. Topoisomerase의 일부도 ATP의 에너지를 사용한다.

④ 오페론 구조를 통해 전사가 조절된다. (O)

세균의 경우 오페론 구조를 통해 전사가 조절된다.

오페론 구조에서는 하나의 프로모터에 의해 관련 유전자들이 동시에 조절이 된다. 즉 복수의 유전자들이 동시에 전사가 되거나, 동시에 전사가 억제된다.

진핵세포의 경우 오페론이 없으며 훨씬 더 정교하고 복잡한 전사조절 및 번역조절 방식들을 가지고 있다.

⑤ 단백질 합성의 개시 아미노산은 포밀메티오닌이다. (O)

세균에서 단백질 합성의 개시 아미노산은 포밀메티오닌(fMet, formyl-Methionine)이다.

진핵세포와 고세균의 개시 아미노산은 메티오닌(Met, Methionine)이다.

26. " 세균의 세포벽 " 답안 : ④번

26. 세균의 세포벽에 관한 설명으로 옳지 않은 것은 ?

- ① 그람음성균의 지질다당체의 지질 성분은 동물에 독성을 나타낸다.
- ② 페니실린은 펩티도글리칸의 교차연결 형성을 저해한다.
- ③ 곰팡이의 세포벽과 조성이 다르다.
- ④ 분자 이동의 주된 선택적 장벽이다.
- ⑤ 세균의 형태를 유지한다.

<< 문제 해설 >>

① 그람음성균의 지질다당체의 지질 성분은 동물에 독성을 나타낸다. (O)

그람음성균의 지질다당체의 지질 성분은 동물에 독성을 나타낸다.

세균은 그람음성균과 그람양성균으로 구분된다. 그람(Gram) 염색약은 펩티도글리칸(PeptidoGlycan)으로 이루어진 세균의 세포벽을 염색시킨다. 그람음성균은 펩티도글리칸의 층이 얇기 때문에 약하게 염색이 된다. 따라서 그람음성균으로 불린다. 그람양성균은 펩티도글리칸의 층이 두껍기 때문에 진하게 염색이 된다.

그람음성균은 2개의 세포막을 갖고 있다. 안쪽 세포막(Inner Membrane)과 바깥쪽 세포막(Outer Membrane)이 그것이다. 펩티도글리칸층으로 구성된 세포벽은 2개의 세포막 사이에 존재한다. 바깥쪽 세포막에는 지질다당체(LPS, LipoPolySaccharide)가 결합되어 있다. 그람음성균이 동물을 감염시켜 생체내에 침입한 경우, 이 지질다당체는 동물에 강한 독성을 나타낸다. 이 지질다당체가 혈액으로 유입되는 경우 패혈증으로 사망하는 경우도 있다.

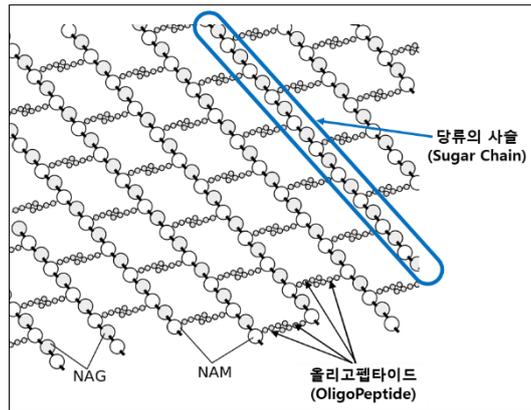
그람양성균은 1개의 세포막과 그 바깥쪽에 두꺼운 펩티도글리칸층으로 구성된 세포벽을 가지고 있다.

LPS (LipoPolySaccharide, 지질다당체) : Lipo- : Lipid, Saccharide : 당을 의미함

② 페니실린은 펩티도글리칸의 교차연결 형성을 저해한다. (O)

페니실린은 세균의 세포벽의 성분인 펩티도글리칸의 교차연결(Cross-Link) 형성을 저해하여, 세균의 세포벽 형성을 방해하고 세균의 증식을 억제하는 항생제(항박테리아제)이다.

<< 펩티도글리칸(PeptidoGlycan)의 구조 (from Wikipedia/Mouagip) >>



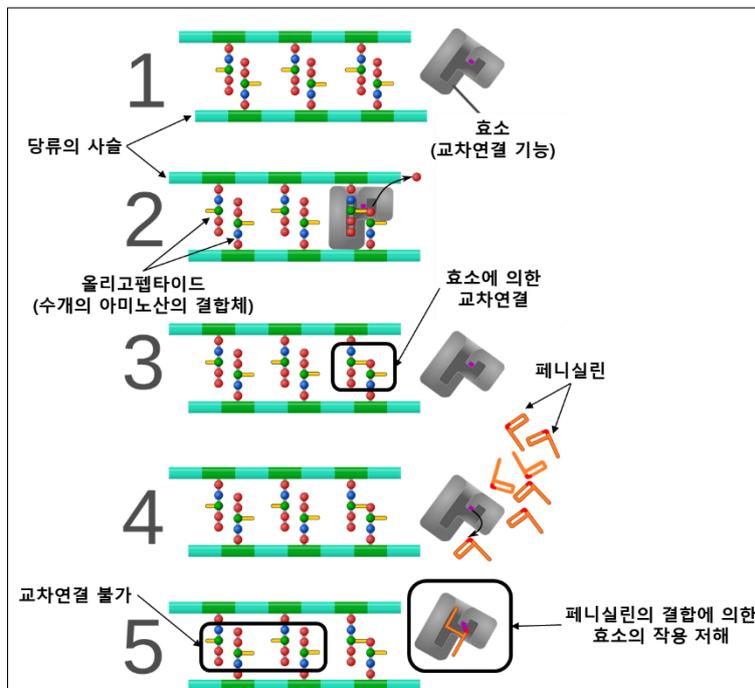
세균의 세포벽은 여러층의 펩티도글리칸으로 이루어져 있다. 펩티도글리칸의 구조는 위의 그림과 같이 그물망(Mesh) 형태로 되어있다. 펩티도글리칸은 당류(NAG와 NAM)로 이루어진 사슬이 평행하게 배열되고, 그 사이를 일정한 간격으로 올리고펩타이드가 연결하는 형태로 이루어진다. 당류의 사슬은 포도당(Glucose)이 각각 변형된 당인 NAG와 NAM이 교대로 배열하여 이루어진다.

당류의 사슬을 연결하는 올리고펩타이드는 실제로는 4~5개의 아미노산으로 구성된 아미노산 사슬 한 쌍이 결합하여 이루어진다. 당류의 사슬에 포함된 NAM에는 4~5개의 아미노산이 결합하는데, 이 아미노산 사슬은 옆의 NAM에서 이어진 아미노산 사슬과 교차연결(Cross-Link)을 형성하여 펩티도글리칸의 구조가 최종적으로 완성된다.

펩티도글리칸(PeptidoGlycan) : Peptido-는 수개의 아미노산이 결합된 OligoPeptide(올리고펩타이드)를 의미하며, Glycan은 당류를 의미한다.

올리고펩타이드(OligoPeptide) : 수 개의 아미노산들이 결합되어 이루어진 펩타이드를 의미한다. 일반적으로 2개 ~ 20개의 아미노산들로 구성된다.

<< 페니실린에 의한 교차연결 효소의 저해 작용 (from Wikipedia / Mcstrother) >>



페니실린은 이 교차연결의 형성을 저해한다. 이 교차연결은 세균이 가지고 있는 특정효소에 의해 이루어지는데,

페니실린은 이 효소에 결합하여 효소의 작용을 저해한다. 페니실린이 처리된 세균은 교차연결이 제대로 되지 않은 펩티도글리칸을 합성하게 되어 불안정한 세포벽을 갖게 된다. 이 불안정한 세포벽은 물리적 강도가 약하기 때문에 삼투압에 의해 세균의 세포질과 세포막이 팽창하는 경우 세균의 구조를 지지하지 못한다. 즉 삼투압이 작용하는 경우 세균이 터져서 죽게 된다.

③ 곰팡이의 세포벽과 조성이 다르다. (○)

세균의 세포벽은 펩티도글리칸으로 구성되고, 3역6계 중 균계에 포함되는 곰팡이의 세포벽은 키틴질로 구성된다. 균계의 생물들은 키틴질로 구성된 세포벽을 갖는다.

④ 분자 이동의 주된 선택적 장벽이다. (X)

분자 이동의 주된 선택적 장벽은 (세포벽이 아닌) 세포막이다.

세포막은 세포 내외부로의 물질의 출입을 엄격하게 관리한다. 세포막을 구성하는 인지질 이중층은 극성이 없는 작은 분자들만 통과할 수 있다(ex. O_2 , CO_2 등). 크기가 크거나 극성이 있는 분자들은 인지질 이중층을 자유롭게 통과할 수 없다. 인지질 이중층에 결합되어 있는 막단백질 중 일부는 필요에 따라 특정 물질(분자)들만 선택적으로 통과시킨다. 또한 세포에게 필요한 특정 방향으로만 통과시킨다. 막단백질 중 통로 단백질, 운반 단백질 등이 이에 해당된다.

반면에 세포벽은 세포에게 물리적, 기계적 지지력을 부여하는 역할을 한다. 세포벽은 물질의 출입에 대해서는 전투과성이라서 많은 물질을 선택성 없이 통과시킨다.

⑤ 세균의 형태를 유지한다. (○)

세포벽은 세균의 형태를 유지하게 하는 기능을 갖는다.

27. “ PCR 프라이머(Primer) ” **답안 : ①번**

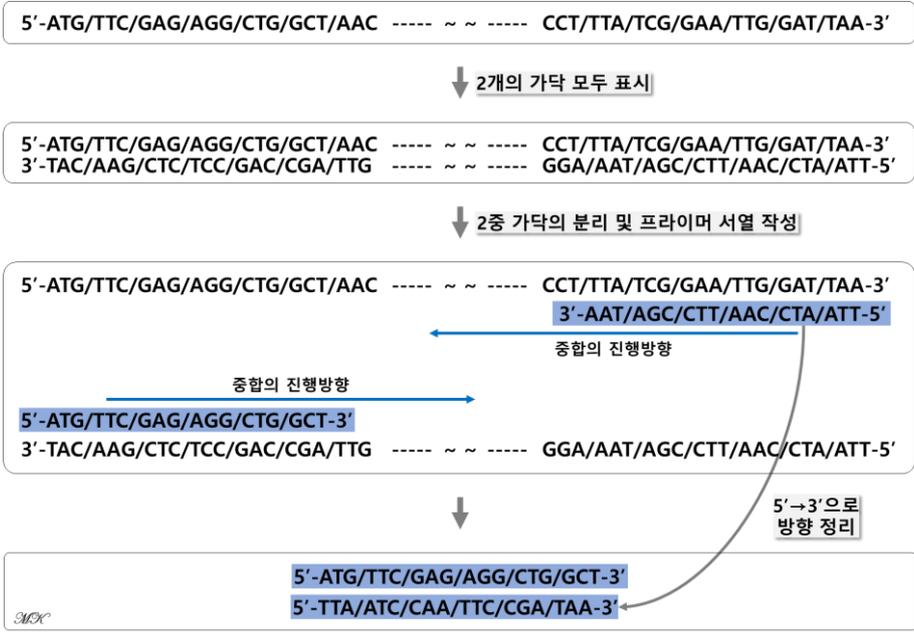
27. 다음 염기서열로 이루어진 DNA 단편을 PCR로 증폭하고자 한다. 한 쌍의 프라이머 서열로 옳은 것은 ? (단, 주형 DNA는 한 가닥만 표시한다.)

5'-ATGTTTCGAGAGGCTGGCTAAC----- ~ ~ -----CCTTTATCGGAATTGGATTAA-3'

- ① 5'-ATGTTTCGAGAGGCTGGCT-3'
5'-TTAATCCAATTCCGATAA-3'
- ② 5'-ATGTTTCGAGAGGCTGGCT-3'
5'-GGAAATAGCCTTAACCTA-3'
- ③ 5'-ATGTTTCGAGAGGCTGGCT-3'
5'-CCTTTATCGGAATTGGAT-3'
- ④ 5'-TACAAGCTCTCCGACCGA-3'
5'-GGAAATAGCCTTAACCTA-3'
- ⑤ 5'-TACAAGCTCTCCGACCGA-3'
5'-CCTTTATCGGAATTGGAT-3'

<< 문제 해설 >>

<< 프라이머 서열 확인 >>



위의 그림에서와 같은 방법으로 프라이머 서열을 확인한다.

참고로 실전에서 이러한 문제를 풀 때 주의해야 하는 점은 다음과 같다.

- 1) 코돈과 같이 3 개의 염기마다 Slash(/)를 표시하는 것이 식별이 쉽고 실수를 감소시킬 수 있다.
- 2) 이중 가닥의 DNA 는 역평행이다. 한쪽 가닥이 5'→ 3'이면, 다른 가닥은 3'→5'이다.

3) 프라이머(Primer)는 중합이 시작되는 지점이다. 중합이 끝나는 다른 쪽의 서열을 선택하지 않는다. DNA 중합의 진행방향을 확인하여 서열을 찾는다.

4) DNA 와 RNA 의 서열은 일반적으로 5'→3'의 순서로 최종 표기한다. 필요한 문제 풀이 단계마다 5'→3'으로 방향을 정리해야 한다.

5) 프라이머가 18-Mer 로 길지만, 18 개의 염기를 다 표시하지 않아도 풀리는 경우도 많다. 이 문제에서는 앞쪽의 6-Mer 정도만 확인해도 정확한 답을 찾을 수 있다.

28. “ 노던 블롯 (Northern Blot) ” 답안 : ③번

28. 전기영동을 이용한 노던블롯(Northern blot) 실험에 관한 설명으로 옳은 것 만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은 ?

< 보 기 >

- ㄱ. RNA 길이에 관한 상대적 정보를 나타낸다.
- ㄴ. 발현된 RNA양의 증감에 대해 알 수 있다.
- ㄷ. 단백질의 구조를 확인할 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

<< 기본 이론 >>

1. 블롯(Blot) 기법

블롯 기법은 DNA, RNA, 단백질을 분석하는 기법이다.

기법	분석 대상 시료	탐침의 구성 성분	발명자
서던 블롯(Southern Blot)	DNA	DNA, RNA	Edwin Southern
노던 블롯(Northern Blot)	RNA	DNA, RNA	-
웨스턴 블롯(Western Blot)	단백질	항체	-

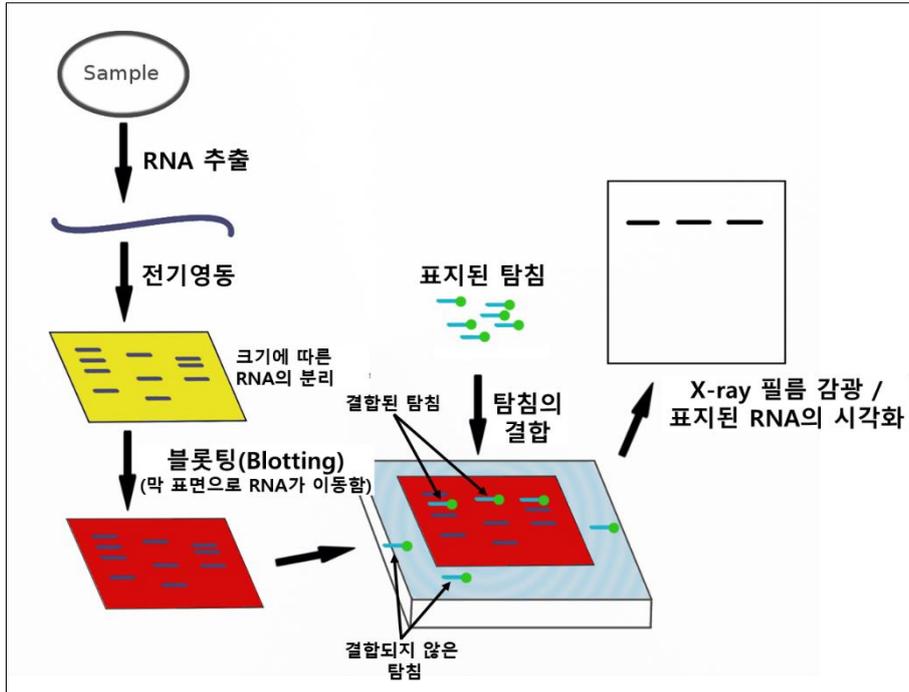
DNA 를 분석하는 서던 블롯은 영국의 생물학자인 Edwin Southern 이 발명하였고, 그의 이름을 따서 명명되었다. RNA 를 분석하는 노던 블롯과 단백질을 분석하는 웨스턴 블롯은 명칭의 통일성을 위해 이와 같이 명명되었다.

블롯 기법들은 공통적으로 시료를 전기영동하는 단계, 전개된 시료를 전기영동 젤 내부로부터 필터 막 표면으로 이동시키는 블롯팅(Blotting) 단계, 이를 탐침과 결합(Hybridization)시키는 단계, 형광 또는 방사선물질들을 이용해 시각화하는 단계를 포함한다.

블롯(Blot) : 사전적인 의미는 티슈가 물을 빨아들이는 현상 등을 의미한다. 블롯 기법에서 ‘블롯’은 시료를 전기영동 젤에서 필터 막 표면으로 이동시킬 때, 마른 종이나 마른 티슈 등이 물을 빨아들이는 현상(모세관 현상)을 이용하여 이동시키기 때문으로 이해하면 된다.

2. 노던 블롯(Northern Blot)

<< 노던 블랏 (Northern Blot) (from Wikipedia/Ilewiszoosmiornicach) >>



노던 블랏(Northern Blot)은 RNA 시료를 분석하는 분석 기법이다.

노던 블랏의 과정은 다음과 같다.

- (1) RNA 시료를 전기영동하여 사이즈별로 분리한다.
- (2) 사이즈별로 분리된 RNA 시료를 블로팅(Blotting)에 의해 막(Membrane)의 표면으로 이동시킨다.
(전기영동 직후의 RNA는 젤 내부에 존재한다. 젤 내부에서는 탐침과의 결합이 어렵기 때문에 막의 표면으로 이동시키는 과정이 필요하며, 이런 과정이 Blotting이다.)
- (3) 표적 RNA와 상보적으로 결합할 수 있는 탐침을 결합시킨다.
- (4) 탐침의 형광을 탐지하거나 X-레이 필름에 감광하여 탐침과 결합된 표적 RNA의 위치를 확인한다.

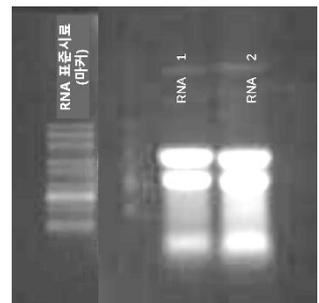
탐침 : 노던 블랏의 경우 단일 가닥의 DNA 또는 RNA를 사용한다. 또한 일반적으로 이 탐침에는 형광물질이나 방사선물질이 부착되어 있다.

<< 문제 해설 >>

ㄱ. RNA 길이에 관한 상대적 정보를 나타낸다. (O)

노던 블랏에 의해 표적 RNA의 길이(크기)에 관한 상대적 정보를 알아낼 수 있다.

RNA 시료를 전기영동하게 되면 길이(크기)에 따라 분리가 된다. 전기영동시에는 길이를 정확히 알고 있는 표준시료(마커)를 같이 전개한다. 이 표준시료의 전개 거리와 표적 RNA의 전개 거리를 비교하면 표적 RNA의 길이를 대략적으로 판단할 수 있다.



RNA 표준시료(마커, 사이즈 마커, RNA Ladder) : 길이를 정확히 알고 있는 RNA 절편들이 포함되어 있는 표준시료이다. 다양한 길이 범위의 제품들이 상용화되어 있다. 예시로서, 2,700base(염기)의 표적 RNA를 분석하기 위해서는 500base, 1,000base, 1,500base, 2,000base, 2,500base, 3,000base, 4,000base, 5,000base, 6,000base, 9,000base의 RNA를 포함하는 표준시료 제품 등을 구입하여 같이 전기영동하면 된다. 이 경우 표적 RNA는 2,500base와 3,000base 사이에 위치하게 된다.

ㄴ. 발현된 RNA양의 증감에 대해 알 수 있다. (O)

노던 블롯에 의해 표적 RNA의 양을 알 수 있기 때문에 발현된 RNA양의 증가에 대한 파악이 가능하다.

노던 블롯 결과 나타난 RNA 밴드(Band)의 두께와 진하기에 의해 RNA의 양을 파악할 수 있다. 두껍고 진한 밴드일수록 RNA의 양이 많다. 또한 RNA 표준시료는 RNA의 양이 제품에 표시되어 있다. RNA 표준시료와 표적 RNA의 밴드를 비교하여 표적 RNA의 양을 추정할 수 있다.

이를 이용하여 표적 RNA의 발현량의 증감을 알 수 있다.

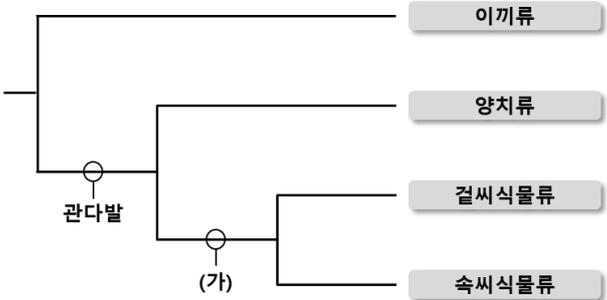
ㄷ. 단백질의 구조를 확인할 수 있다. (X)

노던 블롯은 단백질의 구조를 분석하는 것과는 전혀 관계없는 연구 기법이다.

단백질의 구조는 X-Ray 결정학(X-Ray Crystallography), NMR, 전자현미경(EM) 등을 이용하여 연구할 수 있다.

29. “ 식물의 분류 ” 답안 : ④번

29. 그림은 파생 형질을 포함하는 식물 계통수의 일부를 나타낸 것이다. (가)는 ‘꽃’과 ‘종자’ 중 하나이다. 이에 관한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은 ?



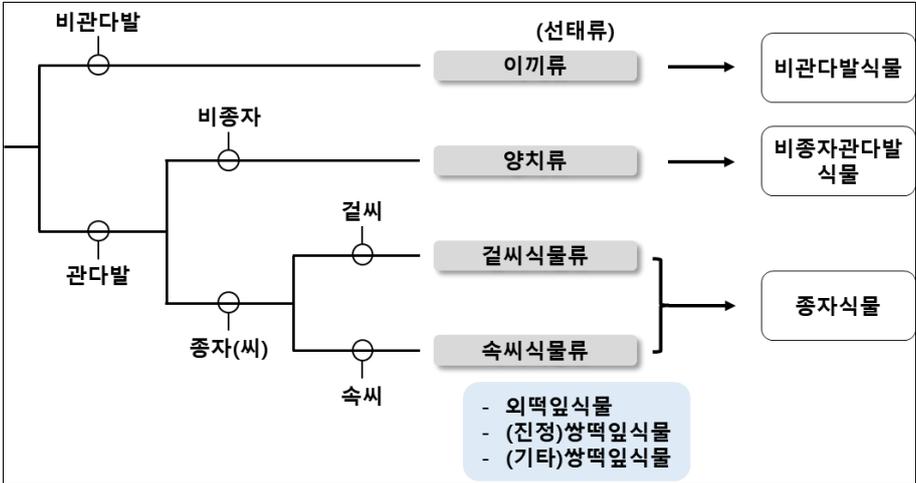
< 보 기 >

- ㄱ. (가)는 ‘꽃’이다.
- ㄴ. 겉씨식물류의 생활사에서 세대 교번이 일어난다.
- ㄷ. 중복 수정은 속씨식물류의 특징이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

<< 문제 해설 >>

<< 식물의 분류(계통수) >>



ㄱ. (가)는 ‘꽃’이다. (X)

(가)는 종자(씨)이다.

이끼류(선태류)와 양치류는 포자에 의해 번식한다.

겉씨식물류와 속씨식물류가 종자(씨)를 갖는다. 종자는 배(배아, Embryo)와 배에 영양을 공급하는 부분 그리고 종피의 3가지 요소로 구성된다. 겉씨식물의 종자는 주로 솔방울 표면에 노출되어 존재한다. 속씨식물의 종자(씨)는 초기에는 씨방 속에 존재하다가, 나중에는 씨방이 성숙해서 이루어진 열매 속에 존재하게 된다.

‘꽃’은 속씨식물류만의 형질이다. 속씨식물류는 다른 말로 꽃을 피우는 식물이라는 의미의 현화식물류로 불린다.

비교로서, 겉씨식물류는 대부분 풍매화(바람에 의해 꽃가루가 이동하여 수분이 일어나는 식물)이다. 따라서 화려한 꽃이 없고 생식기관으로 솔방울을 갖는다. 속씨식물류는 (풍매화도 일부 포함되지만) 벌, 나비 같은 곤충이나 동물들을 수분매개자로 이용하여 수분을 한다. 바람보다는 수분매개자의 이용이 수분의 확률을 높여 줄 수 있기 때문이다. 속씨식물류는 이런 수분매개자를 유인하기 위해 화려한 색깔, 강한 향기, 영양물질인 꿀 등을 갖는 꽃을 피운다. 꽃은 속씨식물의 유성생식을 위해 특수하게 진화된 생식기관이다.

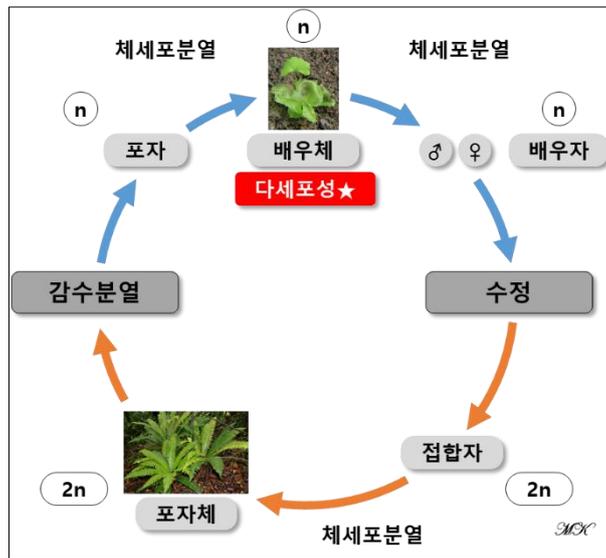
현화식물(顯花-): 꽃을 피우는(꽃이 나타나는) 식물 / 顯(나타나다 현), 花(꽃 화)

수분(受粉): 종자식물에서 수술에서 형성된 화분(꽃가루)이 암술머리에 옮겨 붙는 과정이 수분이다.

/ 受(받을 수), 粉(가루 분, 여기서는 화분, 꽃가루를 의미함)

ㄴ. 겉씨식물류의 생활사에서 세대 교번이 일어난다. (O)

<< 세대 교번 (Alternation of Generation) >>



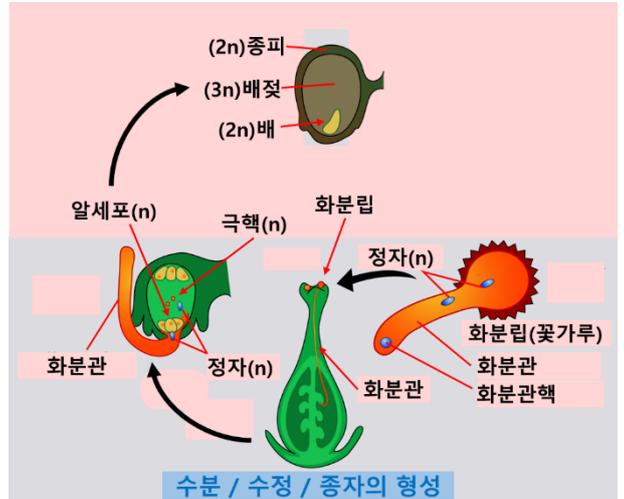
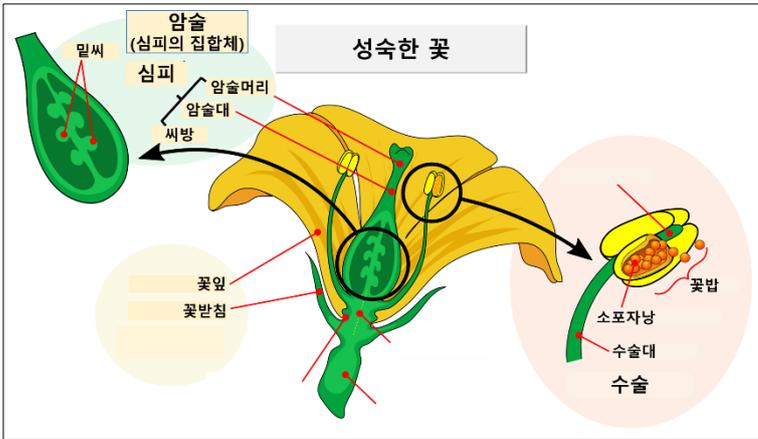
세대 교번(Alternation of Generation)은 모든 식물과 일부 조류가 갖는 특성이다. 즉, 3역6계 중 진핵생물역 식물계의 식물 모두는 세대 교번이 일어난다, 진핵생물역 원생생물계의 조류 중 일부에서 세대 교번이 일어난다. 식물계에 포함되는 겉씨식물류는 당연히 세대 교번이 일어난다.

세대교번에서는 포자를 형성하는 능력이 있는 포자체와 배우자를 형성하는 능력이 있는 배우체(배우자체) 2가지가 모두 다세포성 생물체로서 교대로 세대를 구성한다. 즉, 포자체 세대(2n, 배수체)는 배우체 세대를 만들고, 배우체 세대(n, 반수체)는 포자체 세대를 만드는 과정이 교대로 반복된다.

식물계에 포함되는 이끼류(선태류), 양치류, 겉씨식물류, 속씨식물류는 모두 생활사에서 세대 교번이 일어난다. 하지만, 진화의 과정에서 이 4가지 식물류의 세대 교번은 각각 다른 특성을 갖는다. 진화가 많이 진행된 속씨식물류에서는 배우체 세대가 상대적으로 축소되고, 포자체 세대가 우점하는 생활사를 갖는다.

㉔. 중복 수정은 속씨식물류의 특징이다. (O)

<< 꽃의 구조 (from Wikipedia/Mariana Ruiz LadyofHats) >>



<< 수분 / 수정 / 종자의 형성 (from Wikipedia/LadyofHats Mariana Ruiz) >>

중복 수정은 식물계에서도 속씨식물류만 갖는 특성이다.

속씨식물의 경우, 수분이 일어나서 화분(화분립, 꽃가루)이 암술머리에 부착되면, 화분내의 화분관핵이 암술대 내부에 화분관을 형성하면서 이동하고 2 개의 정자가 이를 따라간다. 화분관이 길어져서 암술의 밑씨의 암배우체에 연결되면 2 개의 정자가 극핵과 알세포가 존재하는 암배우체 내부로 들어간다. 2 개의 정자 중 1 개는 알세포를 수정시키고 후에 배(Embryo)(2n)가 된다. 다른 1 개의 정자는 2 개의 극핵을 수정시키고 후에 배젖(3n)이 된다. 배젖은 전분(녹말)과 영양물질 등을 저장하고 있다가 발아(종자에서 싹이 트는 현상) 시에 배(Embryo)에 영양을 공급한다. 속씨식물의 종자(씨)는 배와 배젖 그리고 이들을 보호하는 종피(종자의 껍질)로 구성된다.

속씨식물의 경우, 1 개의 정자가 알세포를 수정시키고, 다른 1 개의 정자는 2 개의 극핵을 수정시키는 현상이 거의 동시에 일어나기 때문에 이를 중복수정이라고 하며 속씨식물류만의 특성이다.

30. “ 유전적 부동 ” 답안 : ㉠번

30. 유전적 부동에 관한 설명으로 옳은 것 만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은 ?

< 보 기 >

- ㄱ. 병목 효과는 유전적 부동의 한 유형이다.
- ㄴ. 유전적 부동은 대립유전자 빈도를 임의로 변화시킬 수 있다.
- ㄷ. 유전적 부동은 크기가 큰 집단보다 작은 집단에서 대립유전자 빈도를 크게 변경시킬 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

<< 문제 해설 >>

ㄱ. 병목 효과는 유전적 부동의 한 유형이다. (O)

유전적 부동에는 병목 효과와 창시자 효과가 포함된다.

ㄴ. 유전적 부동은 대립유전자 빈도를 임의로 변화시킬 수 있다. (O)

유전적 부동의 중요한 특징 중 하나는 우연한 사건에 의해 생물종 집단의 대립유전자 빈도 변화가 진행되기 때문에, 대립유전자 빈도가 어떻게 변화할지를 예측할 수 없다는 것이다. 즉, 대립유전자 빈도 변화가 임의로 일어나게 된다는 것이다.

유전적 부동의 한 유형인 병목현상이 발생하면, 산불, 홍수, 인간의 남획 등 우연한 사건에 의해 생물종 집단의 개체수가 급감하게 된다. 이후 이 집단은 개체수가 증가하여도 초기의 모집단과는 대립유전자 빈도가 많이 다를 수밖에 없다. 또한 이 대립유전자 빈도의 변화의 양상을 예측할 수도 없으며 일반적으로 모집단보다 새로운 집단의 유전적 다양성은 감소한다.

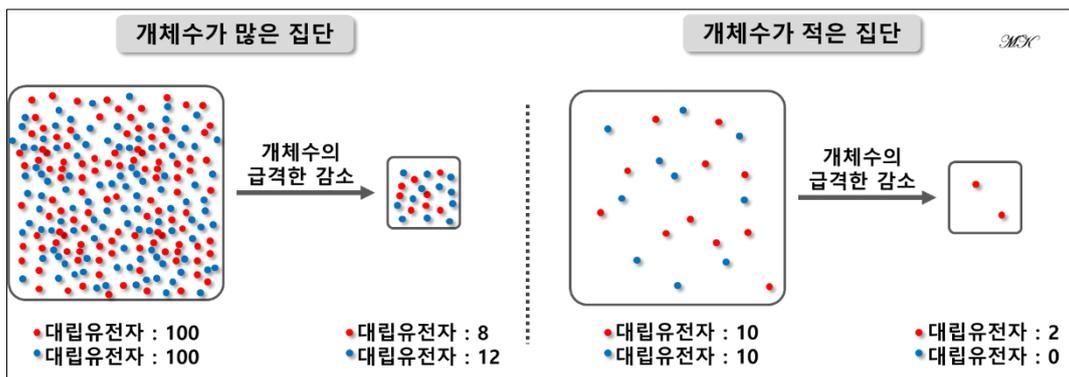
창시자 효과의 경우도 모집단의 일부 개체만 다른 지역으로 이동하여 창시자가 되는데, 이 새로운 집단의 개체수가 증가하여도 모집단과 동일한 대립유전자 빈도를 가질 수는 없다.

ㄷ. 유전적 부동은 크기가 큰 집단보다 작은 집단에서 대립유전자 빈도를 크게 변경시킬 수 있다. (O)

유전적 부동은 크기가 큰 집단보다 작은 집단에서 대립유전자 빈도를 크게 변경시킬 수 있다.

병목효과를 예시로 들면 다음 그림과 같다.

<< 집단의 크기에 따른 병목 효과의 비교 >>



Summary

<< 문항별 >>

	테마	난이도	풀이 시간	문제 유형	특징
21	“ 포화지방 ”	중	0.5분	일반형	T
22	“ 광호흡 : C ₄ 식물 ”	중	0.5분	합답형	T
23	“ 최종전자수용체 ”	하	0.5분	일반형	T
24	“ 항체의 종류 : IgM ”	하	0.5분	합답형	T
25	“ 세균의 특성 ”	하	0.5분	일반형	T
26	“ 세균의 세포벽 ”	중	0.5분	일반형	T
27	“ PCR 프라이머(Primer) ”	중	1분	일반형	T
28	“ 노던블롯 (Northern Blot) ”	중	0.5분	합답형	T
29	“ 식물의 분류 ”	상	1분	합답형	NT
30	“ 유전적 부동 ”	하	0.5분	합답형	T

특징 : T (Typical, 전형적인 문제), NT (Not Typical, 비전형적인 문제)

<< 전체 통계 >>

난이도	상 : 1문제, 중 : 5문제, 하 : 4문제
풀이시간	1분 : 2문제, 0.5분 : 8문제 / 총 6분
문제유형	합답형 : 5문제, 일반형 : 5문제, 계산형 : 없음
특징	전형적인 문제(T) : 9문제, 비전형적인 문제(NT) : 1문제 시사성 테마 관련 : 없음

“ The End ”