

2026학년도 수시 면접·구술고사

생명과학 기출

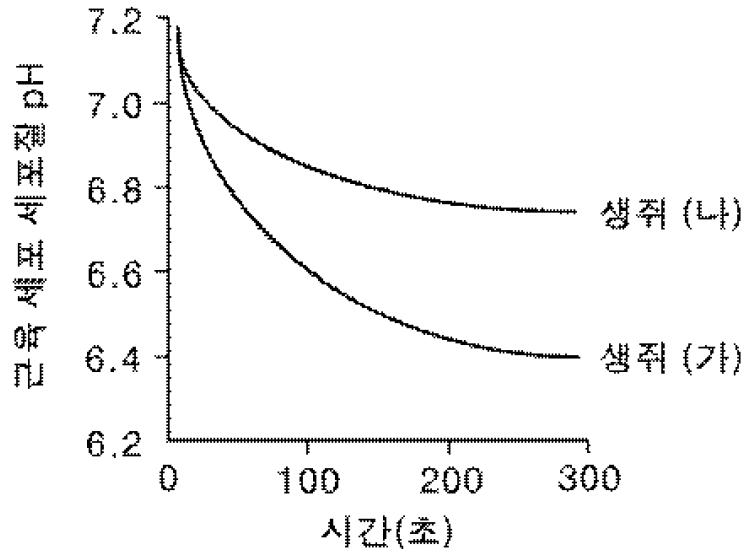
문항 · 채점 기준 · 예시 답안

한국과학기술원 (KAIST)

문제 1. 세포호흡과 젖산 발효, 산화적 인산화

문항 및 제시문

카이스트 연구원 녀죽이는 생쥐 (가)와 생쥐 (나)에게 동일한 고강도 운동을 시키면서 운동 시간에 따른 근육 세포의 세포질 pH 변화를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.



(1) 고강도 운동이 근육 세포 세포질의 pH를 위 실험 결과와 같이 변화시키는 이유를 설명하시오. (1점)

이 실험 결과를 보고 녀죽이는 근육 세포 세포질의 pH 변화가 미토콘드리아의 ATP 생성에 미치는 영향을 알고 싶었다. 이를 위해, 운동 전과 위 고강도 운동 직후 생쥐 (가)의 근육 세포 미토콘드리아 기질 pH와 막 사이 공간 pH 및 미토콘드리아 단위 시간당 ATP 생성량을 측정하였다. 실험 결과는 아래 표와 같다.

생쥐 (가)	운동 전	운동 후
기질 pH	7.8	7.9
막 사이 공간 pH	7.0	㉠
ATP 생성량 (상댓값)	1	㉡

(2) 운동 후 생쥐 (가)의 미토콘드리아 막 사이 공간 pH ㉠과 ATP 생성량 ㉡이 운동 전에 비하여 어떻게 될지를 예측하고, 그 이유를 설명하시오. (2점)

(3) 생쥐 (가)와 생쥐 (나)의 고강도 운동 수행 능력을 비교하고 그 근거를 설명하시오. (2점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	피루브산이 젖산으로 전환(발효)되는 원인을 정확하게 설명하고, 젖산이 축적되는 과정에서 세포질 pH가 낮아짐을 설명한다.	1점
(2)	운동 전에 비해 ⑦이 낮아지고, ④이 증가함을 정확히 답하고, 산화적 인산화를 구체적으로 설명한다. 운동 후 막 사이 공간의 pH가 낮아져 H ⁺ 의 농도 기울기가 증가하기 때문에 ATP 생성이 증가함을 설명한다.	2점
(3)	고강도 운동 시 생쥐 (나)가 생쥐 (가)에 비하여 젖산 발효 의존도가 낮음을 이해하고, 생쥐 (나)의 고강도 운동 수행 능력이 더 좋다고 판단한 근거를 구체적이고 논리적으로 설명한다.	2점

예시 답안

(1) 고강도의 운동을 하면 근육의 산소 요구량이 증가하여 상대적으로 산소가 부족한 상태가 된다. 따라서, 해당과정을 통해 생성된 피루브산이 산소가 필요한 미토콘드리아의 전자전달계로 들어가기 어려워지고, 대신 젖산으로 전환(발효)되어 세포질 내에 축적되는 과정에서 세포질 pH가 낮아진다.

(2) 운동 전에는 미토콘드리아 내막에 있는 전자전달계가 작동하면서 기질의 H^+ 이 막 사이 공간으로 이동하여 축적된다. 따라서 기질보다 막 사이 공간이 낮은 pH를 가진다. ATP는 내막을 경계로 형성된 H^+ 의 농도 기울기를 이용하여 생성된다(산화적 인산화). 고강도 운동으로 세포질의 pH가 낮아지면 증가한 H^+ 이 미토콘드리아 외막을 통과하여 막 사이 공간에 축적되어서 막 사이 공간의 pH가 더욱 낮아진다(㉠이 운동 전에 비하여 낮아짐). 따라서, 내막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 더 커지고 ATP 생성이 더 잘 이루어진다(㉡이 운동 전에 비하여 증가함).

(3) 고강도 운동 시 생쥐 (나)의 근육 세포 세포질 pH는 생쥐 (가)에 비해 덜 낮아진다. 이는 생쥐 (나)에서 젖산 발효가 덜 일어나고 있음을 의미한다. 즉, 생쥐 (나)의 고강도 운동 수행 능력이 생쥐 (가)에 비해 뛰어나다. 가능한 이유로 다음과 같은 것이 있다.

1. 생쥐 (나)는 생쥐 (가)에 비해 폐를 통한 산소 공급과 미토콘드리아의 산화적 인산화가 더 활발하기 때문에 고강도 운동 시에도 산소를 이용한 미토콘드리아의 ATP 생성이 더 잘 일어난다.
2. 고강도 운동 시 생쥐 (가)와 생쥐 (나)의 미토콘드리아의 ATP 생성량이 비슷해도, 이 ATP를 이용한 근수축이 생쥐 (나)에서 더 효율적으로 일어난다.

문제 2. 원핵생물의 전사 조절과 오페론

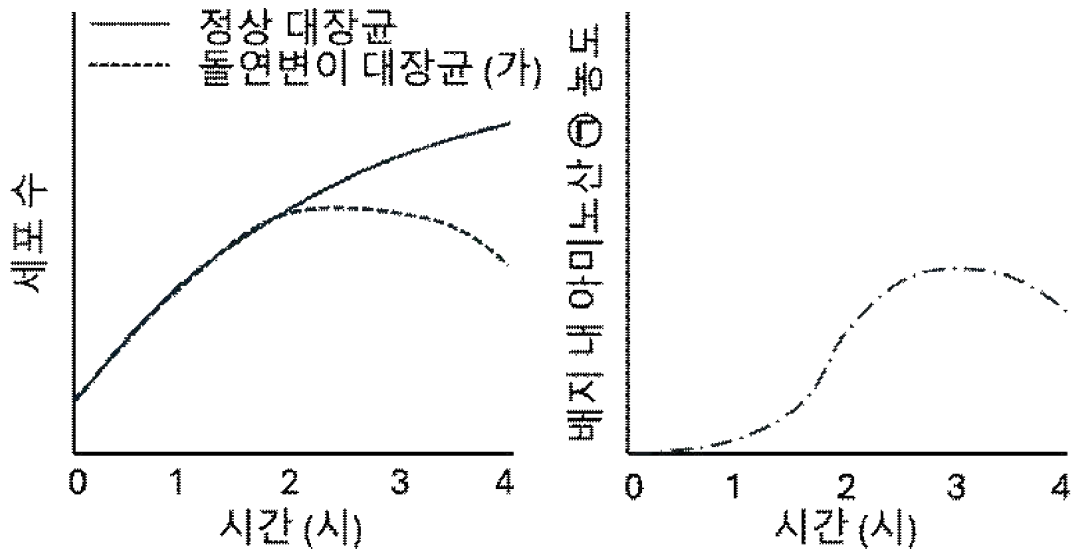
문항 및 제시문

대장균과 같은 원핵생물에서는 기능적으로 연관된 여러 효소들의 유전자가 특정 DNA 부위에 모여 있으며, 이 유전자들의 전사가 단일 프로모터를 통해 한꺼번에 조절되는 오페론을 가지고 있다. 다음은 정상(야생형) 대장균에서 아미노산 ㉠의 생합성에 필수적인 두 효소 유전자 X, Y와 작동부위 O, 프로모터 P를 포함하고 있는 오페론과, 작동부위 O에 결합하여 오페론의 전사를 조절하는 유전자 W의 모식도이다. 유전자 돌연변이로 인하여 오페론이 정상적으로 작동하지 않는 돌연변이 대장균 (가)의 유전형도 함께 표시하였다. 단, [+]는 정상 유전형, [-]는 기능이 상실된 돌연변이 유전형을 의미한다.

정상 대장균 : $-W[+] - P[+] - O[+] - X[+] - Y[+] -$
 돌연변이 대장균 (가) : $-W[-] - P[+] - O[+] - X[+] - Y[+] -$

(1) 정상 대장균과 돌연변이 대장균 (가)를 아미노산 ㉠이 없는 배지에서 배양하였더니 두 대장균 모두 아미노산 ㉠을 자체적으로 합성하였다. 하지만 아미노산 ㉠이 첨가된 배지에서 배양하였더니 정상 대장균의 경우 아미노산 ㉠의 합성을 멈추었으나, 돌연변이 대장균 (가)는 계속해서 아미노산 ㉠을 합성하였다. 배지 내 아미노산 ㉠의 존재 유무에 따라 유전자 W가 해당 오페론을 어떻게 조절하는지 설명하고, 가능한 작용 모델을 제시하시오. 단, 본문에서 언급되지 않은 다른 유전자의 개입은 없다고 가정한다. (1점)

(2) 정상 대장균과 돌연변이 대장균 (가)를 같은 비율로 배양 용기에 섞은 후, 시간 경과에 따라 배지 내 두 대장균의 세포 수와 아미노산 ㉠의 농도를 측정하였더니 아래 그래프와 같았다. 아미노산 ㉠의 합성을 조절하는 오페론 기능을 근거로 두 대장균의 세포 수 변화를 설명할 수 있는 가설을 제시하시오. (1점)



(3) 돌연변이 대장균 (나)는 아래와 같은 유전자 돌연변이로 인해 아미노산 ㉠을 합성할 수 없다. 해당 돌연변이체에 외래 플라스미드를 도입함으로써 아미노산 ㉠의 생합성이 유도될 수 있는 형질전환 대장균을 제작하고자 한다. 표시된 유전형의 외래 플라스미드 (A) 또는 (B)를 돌연변이 대장균 (나)에 각각 도입한 후, 배지 내 아미노산 ㉠의 유무에 따른 대장균의 아미노산 ㉠ 합성 여부를 각각 예측하고 그 이유를 설명하시오. (3점)

돌연변이 대장균 (나) : $-W[-] - P[+] - O[-] - X[+] - Y[-] -$
 외래 플라스미드 (A) : $-W[+] - P[+] - O[+] - X[-] - Y[+] -$
 외래 플라스미드 (B) : $-W[+] - P[+] - O[-] - X[-] - Y[+] -$

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	오페론의 작동원리를 설명하고, 이를 뒷받침하는 한 가지 가설을 논리적으로 제시한다.	1점
(2)	배지 내 아미노산 ㉠의 농도가 낮을 때 두 대장균의 오페론 발현과 생장이 비슷한 이유를 설명하고, 이를 통해 유도된 아미노산 ㉠의 생합성에 따라 배지 내 아미노산 ㉠이 높아졌을 경우 두 대장균의 오페론 발현 차이에 의해 정상 대장균이 생장에 더 유리해질 수 있다는 것을 설명한다.	1점
(3)	각 유전형에서 아미노산 ㉠의 생합성을 모두 정확히 예측하고, 각 예측을 논리적으로 정확히 설명한다.	3점

예시 답안

(1) 아미노산 ㉠이 없는 환경에서는 유전자 W가 없더라도 오페론에 의한 아미노산 생합성 유전자 X, Y가 정상적으로 발현된다. 즉, 아미노산 ㉠이 없을 경우에는 유전자 W가 오페론 작용에 영향을 주지 못한다. 아미노산 ㉠이 존재할 경우에만 유전자 W는 해당 오페론의 작용을 억제한다. 이를 설명하는 여러 가지 가설을 제시할 수 있다.

1. 아미노산 ㉠과 조절 단백질 W가 결합할 경우에만 오페론의 유전자 발현을 억제할 수 있다.
2. 조절 단백질 W가 작동부위 O에 결합하는데 아미노산 ㉠을 필요로 한다.
3. 조절 단백질 W는 아미노산 ㉠과 상관없이 작동부위 O에 결합하지만 아미노산 ㉠에 의해 조절 단백질 W의 전사 억제 기능이 활성화된다.

(2) 배양 초기에는 배지 내 아미노산 ㉠의 농도가 매우 낮기 때문에 정상 대장균과 돌연변이 대장균 (가) 모두 아미노산 ㉠의 생합성에 필요한 효소 유전자 X, Y를 발현하며, 시간이 지남에 따라 아미노산 ㉠이 배지 내에 축적된다. 따라서 두 균주 사이의 생장에 차이가 나타나지 않는다.

배지 내 아미노산 ㉠이 충분한 상황이 되면 (2시간 경과시) 정상 대장균은 해당 오페론을 억제함으로써 여분의 자원과 에너지를 다른 생리작용에 활용할 수 있다. 하지만 돌연변이 대장균 (가)는 해당 오페론 발현이 억제되지 않아 아미노산 ㉠이 충분함에도 불구하고 효소 유전자 발현과 아미노산 ㉠의 합성이 지속된다. 이처럼 불필요한 유전자 발현 및 물질 생산으로 인해 돌연변이 대장균 (가)의 성장 속도는 정상 대장균보다 상대적으로 느려지게 되고, 결국 정상 대장균과의 경쟁에서 밀려 돌연변이 대장균 (가)의 개체수가 감소한다. 이 조건에서는 정상 대장균이 아미노산 ㉠의 소비자, 돌연변이 대장균 (가)는 아미노산 ㉠의 생산자로 작용하기 때문에 개체수의 비율 변화로 인해 배지 내 아미노산 ㉠의 농도도 점차 감소하게 된다.

(3) 각 유전형에서 배지 내 아미노산 ㉠의 유무에 따른 생합성 여부는 다음과 같다.

유전형	아미노산 ㉠이 없을 때	아미노산 ㉠이 있을 때
돌연변이 대장균 (나) + 외래 플라스미드 (A)	생합성 O 아미노산 ㉠이 없을 경우 오페론 유전자의 발현은 유전자 W나 작동부위 O에 영향을 받지 않는다. 따라서 정상 유전자 X는 돌연변이 유전체로부터 발현되며, 정상 유전자 Y는 플라스미드에서 발현되어 아미노산 ㉠ 생합성이 일어난다.	생합성 X 돌연변이 작동부위 O를 가지고 있는 대장균 오페론에서는 정상 유전자 X가 계속해서 발현된다. 하지만 플라스미드에서 발현되는 정상 단백질 W가 아미노산 ㉠과 결합하여 정상 작동부위 O를 가지고 있는 플라스미드 오페론 유전자 Y의 발현을 억제한다. 따라서 유전자 Y의 결핍으로 인해 아미노산 ㉠ 생합성이 일어나지 않는다.
돌연변이 대장균 (나) + 외래 플라스미드 (B)	생합성 O 아미노산 ㉠이 없을 경우 오페론 유전자의 발현은 유전자 W나 작동부위 O에 영향을 받지 않는다. 따라서 정상 유전자 X는 돌연변이 유전체로부터 발현되며, 정상 유전자 Y는 플라스미드에서 발현되어 아미노산 ㉠ 생합성이 일어난다.	생합성 O 플라스미드에서 발현되는 정상 단백질 W가 아미노산 ㉠과 결합하여 정상 작동부위 O를 가지고 있는 오페론을 저해할 수 있으나, 해당 조합에서는 정상적인 작동부위 O를 가지고 있는 오페론이 없으므로 정상 유전자 X는 돌연변이 유전체로부터 계속 발현되고 정상 유전자 Y는 플라스미드 오페론에서 계속 발현되어 아미노산 ㉠ 생합성이 일어난다.