

2024학년도 수시 면접·구술고사

생명과학 기출

문항 · 채점 기준 · 예시 답안

한국과학기술원 (KAIST)

문제 1. 유전자와 단백질, 코돈, 효소의 기질특이성

문항 및 제시문

DNA를 구성하는 염기는 4종류이고 단백질을 구성하는 아미노산은 20종류이다. mRNA의 연속된 염기 3개로 이루어진 코돈이 번역 과정을 통해 하나의 아미노산을 지정하여 단백질을 만든다. tRNA 중간에는 코돈과 결합하는 안티코돈이 있고 tRNA의 말단에는 코돈과 짝을 이루는 아미노산이 결합한다. tRNA와 아미노산의 결합은 아미노아실 tRNA 합성효소에 의해서 일어난다.

(1) 왜 2개의 염기가 하나의 아미노산을 지정하지 않고 3개의 염기가 하나의 아미노산을 지정하는 형태로 생명체가 진화한 것인지 설명하시오. (1점)

(2) 3개의 염기가 어떤 아미노산을 지정하는지 실험을 진행했다. 대장균에서 DNA와 mRNA를 제외하고 단백질 합성에 필요한 모든 물질을 추출하여 여러 작은 병에 동일하게 나누어 담았다. 그리고 인공적으로 합성한 mRNA를 각 병에 넣고 합성되는 단백질을 추출하여 단일 아미노산으로 분해시킨 뒤 그 종류를 조사했다. 이 실험 결과를 바탕으로 트레오닌을 지정하는 코돈을 찾으시오.

A병에 넣은 mRNA: 5'-CAACAACAACAACAACAACAA-3'

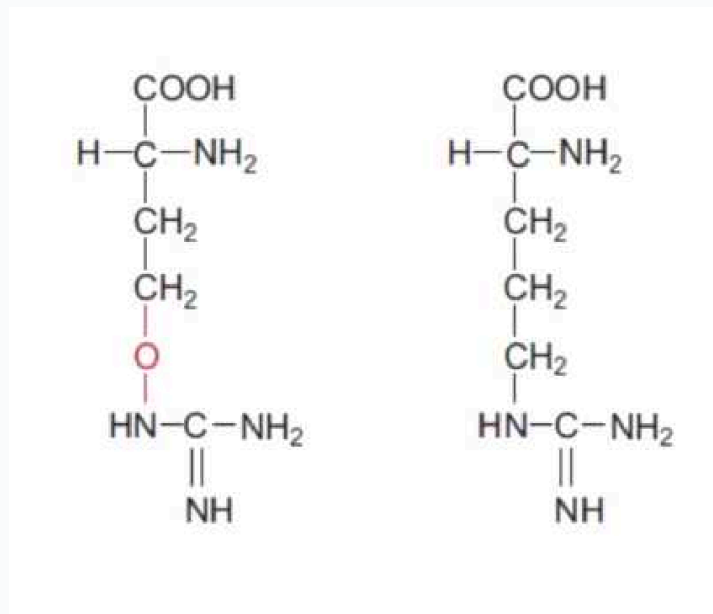
B병에 넣은 mRNA: 5'-ACAUACAUACAUACAUACAU-3'

A병에서 추출한 아미노산: 아스파라진, 글루타민, 트레오닌

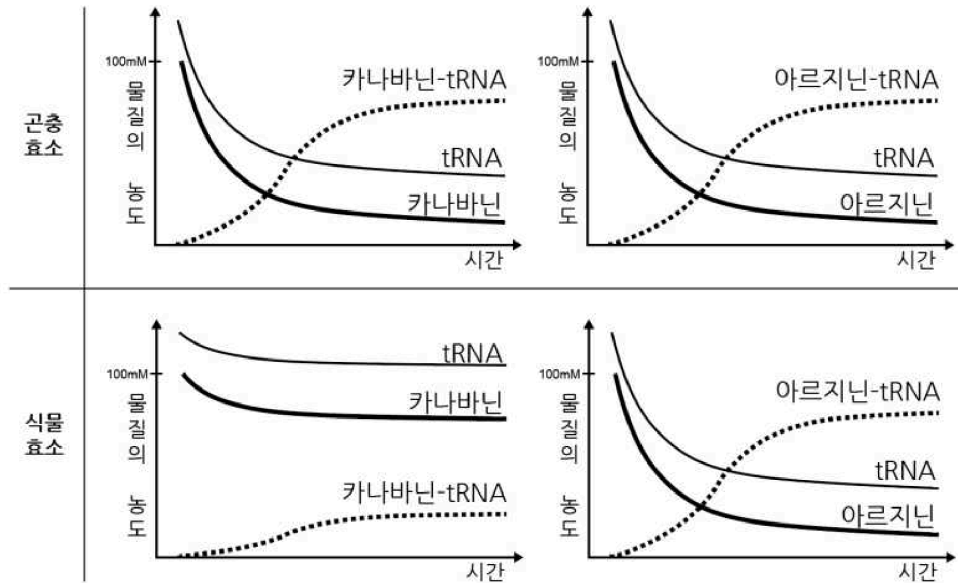
B병에서 추출한 아미노산: 트레오닌, 타이로신, 아이소류신, 히스티딘 (2점)

어떤 식물은 카나바닌이라고 불리는 독성 물질을 만든다. 이 물질은 필수 아미노산인 아르지닌과 매우 유사하게 생겼는데 이 식물만 먹은 곤충은 결국 죽게 된다.

아래 그림은 카나바닌(왼쪽)과 아르지닌(오른쪽)의 화학 구조이다.



아래 그림은 tRNA와 아르지닌을 결합하는 아미노아실 tRNA 합성 효소를 곤충과 식물에서 각각 분리하여 병에 넣고 시간에 따른 물질의 농도 변화를 나타낸 것이다.



(3) 카나바닌을 먹은 곤충은 죽게 되지만 그 독성 물질을 만들어내는 식물은 정상적인 성장을 하는 이유를 그림에 근거하여 설명하시오. (2점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	20개의 아미노산을 지정하기 위해 뉴클레오타이드 2개 조합($4 \times 4 = 16$ 종류)으로는 부족하고 3개 조합($4 \times 4 \times 4 = 64$ 종류)이 필요함을 설명한다.	1점
(2)	A병과 B병 mRNA의 해독틀(reading frame)에서 가능한 코돈 서열을 모두 나열하고, 양쪽에 공통적으로 존재하는 코돈 ACA가 트레오닌을 지정함을 정확히 답한다. 부분점수 없음.	2점
(3)	(1) 곤충의 아미노아실 tRNA 합성효소는 카나바닌을 기질로 이용하여 카나바닌-tRNA를 만들어 비정상 단백질이 합성되어 곤충이 죽는다. (2) 식물의 아미노아실 tRNA 합성효소는 기질 특이성이 높아 카나바닌과 결합한 tRNA를 거의 합성하지 않고 정상 기질인 아르지닌만을 이용하므로 식물은 정상 성장한다.	2점

예시 답안

(1) 뉴클레오타이드는 4종류이고 아미노산은 20종류이다. 뉴클레오타이드 2개씩 짝을 지으면 최대 $4 \times 4 = 16$ 종류의 조합밖에 되지 않아 20종류의 아미노산을 모두 지정할 수 없다. 뉴클레오타이드를 3개씩 짝을 지으면 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 종류의 조합이 가능하여 20종류의 아미노산을 지정하기에 충분하다. 따라서 3개의 염기가 하나의 아미노산을 지정하는 방향으로 생명체가 진화하였다.

(2) A병에 넣은 mRNA에서 가능한 코돈의 서열(해독틀)은 다음 세 가지이다.

- CAA-CAA-CAA... (글루타민)
- AAC-AAC-AAC... (아스파라진)
- ACA-ACA-ACA... (트레오닌)

B병에 넣은 mRNA에서 가능한 코돈의 서열은 다음 네 가지이다.

- ACA-UAC-AUA-CAU-ACA... (트레오닌, 타이로신, 아이소류신, 히스티딘)
- CAU-ACA-UAC-AUA-CAU... (히스티딘, 트레오닌, 타이로신, 아이소류신)
- AUA-CAU-ACA-UAC-AUA... (아이소류신, 히스티딘, 트레오닌, 타이로신)
- UAC-AUA-CAU-ACA-UAC... (타이로신, 아이소류신, 히스티딘, 트레오닌)

A병과 B병 양쪽에 공통으로 존재하는 코돈은 ACA 하나뿐이다. 따라서 트레오닌을 지정하는 코돈은 ACA이다.

(3) 곤충의 아미노아실 tRNA 합성효소는 기질 특이성이 낮아, 아르지닌과 구조가 유사한 카나바닌을 기질로 인식하여 카나바닌이 결합된 tRNA(카나바닌-tRNA)를 만든다. 그 결과 번역 과정에서 카나바닌이 아르지닌 대신 단백질에 삽입되어 비정상적인 단백질이 합성되고 곤충은 죽게 된다.

반면 식물의 아미노아실 tRNA 합성효소는 기질 특이성이 매우 높아 카나바닌을 기질로 거의 인식하지 않으며, 정상 기질인 아르지닌에 결합된 tRNA만을 효율적으로 합성한다. 따라서 식물은 카나바닌을 합성하더라도 자신의 단백질 합성에 영향을 받지 않고 정상적으로 성장할 수 있다.

문제 2. 에너지 대사, 티록신 항상성, 자가면역질환

문항 및 제시문

다음 표는 서로 다른 유전자 변형 생쥐 1, 2, 3의 하루 평균 에너지 소비량과 에너지 섭취량을 나타낸 것이다.

(단위: kcal)	생쥐 1	생쥐 2	생쥐 3
기초 대사량	19.1	8.7	21
활동 대사량	8.1	5.2	17.9
기타 에너지 소비량	2.4	2.3	2.5
에너지 섭취량	24.5	24.2	24.3

- (1) 다른 생쥐들과는 달리 생쥐 2는 관찰 기간 6개월 동안 체중이 지속적으로 증가하였고 심각한 비만을 나타내었다. 그 원인은 무엇인지 설명하시오. (1점)
- (2) 생쥐 2를 대상으로 체내 호르몬 수치를 모두 분석하였으며, 정상 생쥐와 비교하였을 때 생쥐 2의 티록신과 갑상샘 자극 호르몬(TSH) 농도 수치의 불균형이 발견되었다. 단, 생쥐 2의 뇌 기능은 정상 생쥐와 큰 차이를 보이지 않았다. 정상 생쥐와 비교할 때 생쥐 2의 티록신과 갑상샘 자극 호르몬(TSH)의 농도 변화를 예측하고 이유를 설명하시오. (2점)

생쥐 2의 비만 원인을 이해하기 위해 부모세대와 자식세대에 걸쳐 유전자 돌연변이를 분석한 결과, 비만 조절과 직접적으로 관련된 어떠한 유전자들의 돌연변이도 발견되지 않았다. 이에 생쥐 2의 비만 발생 원인을 분석하는 다양한 연구를 수행해 다음과 같은 결과들을 확보하였다.

결과1. 생쥐 2의 갑상샘 조직을 정밀하게 분석한 결과, 갑상샘 조직의 크기가 줄어들어 있었으며 구조적으로도 심각한 손상이 관찰되었다.

결과2. 생쥐 2의 피부세포를 역분화시켜 유도 만능 줄기세포를 제작한 후 갑상샘 세포로 분화를 유도한 경우, 갑상샘으로의 분화가 정상적으로 이루어졌으며 티록신 합성과 분비 능력 모두 정상임을 발견하였다.

결과3. 생쥐 2의 혈액으로부터 혈장만을 분리하여 정상 생쥐의 혈액 내에 지속적으로 주입하였다. 6개월이 지나 생쥐 2의 혈장이 주입된 생쥐들에서 결과1에서 발견된 갑상샘 위축 및 손상이 나타나고 체중의 증가가 동반되었다.

- (3) 위의 결과를 바탕으로, 생쥐 2에서 비만이 발생한 원인을 종합적으로 예측하고 근거를 설명하시오. (2점)

채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	생쥐 2는 다른 생쥐들에 비해 에너지 섭취량 대비 에너지 소비량(기초 대사량+활동 대사량+기타 소비량)의 합이 낮아 에너지 불균형으로 체중이 증가함을 설명한다.	1점
(2)	티록신은 감소, TSH는 증가함을 정확히 예측하고, 티록신이 기초·활동 대사량을 높이는 호르몬이므로 그 저하가 대사 감소의 원인이며, TSH는 티록신 분비 촉진 역할을 하기에 음성 피드백에 의해 증가함을 설명한다. 부분점수 없음.	2점
(3)	결과2로부터 갑상샘 자체의 유전적 문제가 없음을 도출하고, 결과3으로부터 혈장 내 어떤 물질이 갑상샘 손상을 유발함을 도출한다. 혈장 내 갑상샘 공격 항체(자가면역 반응)가 갑상샘의 구조 손상과 티록신 분비 저하를 일으켜 비만이 유발됨을 설명한다. 항체를 명시하지 않아도 개념이 맞으면 정답으로 인정한다.	2점

예시 답안

(1) 생쥐 2의 하루 에너지 소비량 합계는 기초 대사량(8.7) + 활동 대사량(5.2) + 기타 에너지 소비량(2.3) = 16.2 kcal이다. 이는 에너지 섭취량(24.2 kcal)보다 8.0 kcal 낮아 에너지 잉여가 발생하므로 체중이 지속적으로 증가하여 비만이 나타났다.

(2) 생쥐 2의 경우, 티록신 농도는 정상 생쥐보다 감소하고, 갑상샘 자극 호르몬(TSH) 농도는 증가한다.

티록신은 기초 대사량과 활동 대사량을 높이는 역할을 하는 호르몬이다. 생쥐 2에서 기초 대사량과 활동 대사량이 현저히 낮은 것은 티록신 농도가 낮음을 의미한다. TSH는 뇌하수체 전엽에서 분비되어 갑상샘을 자극하여 티록신 분비를 촉진하는 호르몬이다. 혈중 티록신 농도가 감소하면 음성 피드백에 의해 뇌하수체 전엽에서 TSH 분비가 촉진되어 TSH 농도가 증가하게 된다.

(3) 결과2에서 생쥐 2의 피부세포로 만든 유도 만능 줄기세포에서 분화된 갑상샘 세포가 정상적인 티록신 합성·분비 능력을 가지므로, 갑상샘 자체의 유전적 이상은 없다.

결과3에서 생쥐 2의 혈장을 지속적으로 주입받은 정상 생쥐에서도 갑상샘 위축·손상 및 체중 증가가 나타났으므로, 생쥐 2의 혈장 내에 갑상샘을 손상시키는 어떤 물질이 존재한다고 판단된다.

종합하면, 생쥐 2의 혈장에는 자신의 갑상샘 세포를 표적으로 하는 자가항체가 존재하여 자가면역 반응을 일으켜 갑상샘 조직을 손상시키고 기능을 저하시킨다. 이로 인해 티록신 분비가 감소하여 기초 대사량과 활동 대사량이 낮아지고, 결과적으로 에너지 소비량이 섭취량보다 낮아져 비만이 발생하였다.