

2016학년도 수시모집

과학인재 논술시험
문제 해설지 - 생명과학



과학인재 논술시험 문제 해설지 (생명과학)

■ 출제의도 및 해설

생명과학 과학인재 논술시험에서는 고등학교 교육과정 생명과학 I의 “항상성과 몸의 조절” 생명과학 II의 “진화의 원리”, “유전자와 형질발현” 단원에서 나오는 호르몬에 의한 항상성 조절 원리, 돌연변이의 개념, DNA의 복제 과정, 유전자의 발현, 그리고 생물체 진화의 개념에 대한 이해도를 평가하고자 하였다.

[문제 1] 고등학교 교육과정 “생명과학 II”의 “유전자와 생명공학” 단원은 “유전자와 형질 발현”에 대하여 기술하고 있다. DNA는 유전 정보를 가지고 있고 다음 세대로 유전 정보를 전달하는 핵심 분자이므로 DNA 구조와 복제는 많은 과학자들의 관심의 초점이 되었다. DNA가 유전 정보로서 다음 세대로 전달될 때, 중요한 과정 중의 하나가 DNA 복제이다. 본 문제에서는 DNA의 2중 나선 분자 구조와 복제 과정을 정확히 이해하고 논리적으로 기술할 수 있는지를 평가하고자 하였다.

[문제 2] 고등학교 교육과정 “생명과학 I”의 “항상성과 몸의 조절” 단원은 호르몬의 작동 원리에 대하여 기술하고 있다. 호르몬은 내분비샘에서 생성되고 혈액으로 분비되어 특정 세포의 수용체에 결합하여 작용하게 되면서 외부 및 내부 환경의 변화에 대해 체내 상태를 일정하게 유지하려는 항상성 조절에 기여하게 된다. 본 문제에서는 대표적인 호르몬인 갑상샘 호르몬과 혈당조절에 관여하는 호르몬인 인슐린과 글루카곤의 작동 원리를 정확히 이해하고 논리적으로 기술할 수 있는지를 평가하고자 하였다.

[문제 3] 고등학교 교육과정 “생명과학 II”의 “진화의 원리”와 “유전자와 형질 발현” 단원은 돌연변이가 어떻게 진화의 원동력이 되는지 그리고 유전자 단위에서 돌연변이는 DNA 염기서열의 변화를 통해 단백질 기능의 변화가 유도됨을 다루고 있다. 즉 돌연변이를 포함한 특정형질을 가지고 있는 개체가 자연선택에 의해 다른 개체보다 선호되면서 선택된다는 사실에 기초하여 항생제 저항성을 나타내는 돌연변이는 항생제에 노출되면서 유도되는 것이 아니라 기존 돌연변이가 선택됨을 이해하고 있는지를 평가하고자 하였다. 이를 통해 진화적 관점에서 돌연변이의 생물학적 의의를 논리적으로 기술할 수 있는지를 평가하고자 하였다. 또한 비틀과 테이텀이 제시한 1유전자 1효소설과 유전자 단위에서의 돌연변이가 단백질 기능 및 발현과 어떻게 연관되는지를 정확히 이해하고 논리적으로 기술할 수 있는지를 평가하고자 하였다.

[문제 4] 본 문제는 고등학교 교육과정 “생명과학 II”의 “유전자의 형질 발현” 개념을 정확히 이해하고 있는지 평가하고자 하였다. 예를 들어 진핵 세포는 전사 과정 중 원핵 세포에는 없는 mRNA 가공이라는 복잡한 단계를 거쳐 만들어진 최종 mRNA를 단백질로 번역되는 암호로 제공한다. 이는 원핵생물과 진핵생물의 유전자 구조적 차이에 기인한 것으로 이에 대한 개념을 이해하는지를 평가하고자 하였다. 또한 단일 가닥의 mRNA가 주형으로 사용되고, 3개의 염기로 이루어진 코돈이 하나의 아미노산을 지정하는 단백질 합성 과정을 정확히 이해하고 논리적으로 기술할 수 있는지를 평가하고자 하였다.

과학인재 논술시험 문제 해설지 (생명과학)

■ 채점기준

[문제 1]

[1-i]

- “ γ 은 A이다. 그런데 2중 나선 DNA인 (a)와 (b)에서 $(\gamma+\lambda)/(\kappa+\rho)$ 이 1이 아니므로 λ 은 T이고, κ 과 ρ 은 각각 C와 G 중 하나이다.” 라고 기술
- “각 DNA를 구성하는 염기의 비율은
(a)의 경우 A이 40%, T이 40%, C이 10%, G이 10%이고,
(b)의 경우 A이 25%, T이 25%, C이 25%, G이 25%이고,
(c)의 경우 A이 10%, T이 10%, C이 40%, G이 40%이다.” 라고 기술
- “구아닌(G)의 비율이 높은 2중 가닥 DNA부터 순서대로 나열하면 (c) > (b) > (a) 이다.” 라고 기술

[1-ii]

- “DNA는 복제 원점에서 양 방향으로 진행 되므로, 복제 진행 방향이 주형 가닥의 3'→5' 방향일 때 선도 가닥은 5'→3' 방향으로 합성되고, 복제 진행 방향이 주형 가닥의 5'→3' 방향일 때 지연 가닥은 5'→3' 방향으로 합성된다.” 라고 기술
- “A와 D는 선도 가닥이고 B와 C는 지연 가닥이다.” 라고 기술

[1-iii]

- “DNA 중합 효소는 뉴클레오타이드의 3' 말단에만 뉴클레오타이드를 첨가할 수 있기 때문에 미리 만들어진 단일 가닥의 RNA 프라이머가 필요하다.” 라고 기술
- “RNA의 구성 요소인 UTP가 존재하지 않아 RNA 프라이머가 만들어지지 않을 것이다. 따라서 DNA 복제가 시작되지 않는다.” 라고 기술

[문제 2]

[2-i]

- “요오드를 전혀 섭취하지 않는 사람의 경우 혈액내에 갑상샘 호르몬이 만들어지지 않는다. 이를 항상성 조절 관점에서 보면 갑상샘 호르몬이 없는 것으로 인식되어 갑상샘 호르몬을 만들기 위해 시상하부와 뇌하수체 전엽에서는 TRH와 TSH를 지속적으로 만들고 이는 계속하여 갑상샘을 자극하게 된다”고 기술
- “시상하부와 뇌하수체 전엽에서 만들어지 TRH와 TSH를 언급하지 않고 갑상선 호르몬이 없음으로 인해 음성 되먹임 억제 기작이 없어지고 이로 인해 갑상선 세포가 지속적으로 자극을 받게 된다”고만 기술하면 부분점수 인정.

[2-ii]

- “1번 실험의 결과에서 보듯이 정상 생쥐와 돌연변이 생쥐의 식사 후 혈당량과 인슐린 양, 그리고

과학인재 논술시험 문제 해설지 (생명과학)

글루카곤의 양은 동일하다. 이러한 결과는 돌연변이 생쥐의 경우 인슐린에 의한 혈당량성 조절에는 문제가 없음을 알 수 있다. 즉 인슐린에 의한 혈당량 조절에 관여하는 유전자들에 돌연변이가 일어나지 않음을 알 수 있다”고 기술

- “2번 실험은 돌연변이 생쥐의 운동 후 인슐린과 글루카곤의 양은 정상 생쥐와 동일함을 보여주고 있다. 이러한 사실은 글루카곤 유전자에 대한 돌연변이 생쥐가 아님을 알 수 있다. 제시문에 근거하였을 때 호르몬은 호르몬을 받아들일 수 있는 수용체에 작용한다고 하였기 때문에 돌연변이 생쥐는 글루카곤을 인식하는 글루카곤 수용체가 잘못되어 글리코젠을 포도당으로 전환하지 못하여 2번과 같은 결과를 나타내었을 것”이라고 기술

[2-iii]

- “형질 전환 생쥐의 경우 인슐린 호르몬은 결합할 수 있으나 세포질 안쪽 부위가 없기 때문에 인슐린의 활성을 세포내로 전달하지 못하여 혈액내의 포도당을 글리코젠으로 전환하지 못할 것으로 예측할 수 있다”고 기술
- “먹이를 준 시점에서부터 4시간까지 혈액내의 혈당량은 정상 생쥐에 비해 돌연변이 생쥐에서 높은 수준을 유지할 것”이라고 기술
- “인슐린 호르몬은 형질전환 생쥐에서 정상적으로 존재한다. 정상 생쥐의 인슐린 양은 먹이 섭취 후 급격히 증가한 후 점차 감소되어 4시간 후 정상 수준의 인슐린 양을 나타내는 반면 형질 전환 생쥐는 정상생쥐에 비해 혈당량이 높기 때문에 인슐린 양이 정상생쥐에 비해 상대적으로 높은 수준을 유지할 것”이라고 기술

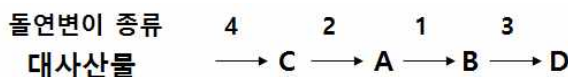
[문제 3]

[3-i]

- “가설 1의 경우 동일한 대장균의 배양액 20개에 동일한 시간 동안 항생제를 노출시켰기 때문에 20개의 배지에서 동일한 숫자의 항생제 저항성 대장균이 나타난다”라고 기술
- “가설 2의 경우 20개의 배양액 중에서 이미 항생제 저항성을 나타내는 돌연변이가 무작위적으로 존재할 것이므로 항생제에 저항하는 대장균의 숫자는 20개의 배지에서 서로 다르게 무작위적으로 나타난다”고 기술
- “기존의 돌연변이가 당시의 환경에 의해 선호되면서 자연 선택됨으로서 진화 과정에서 중요한 역할을 한다고 설명되고 있으므로 가설 2가 진화를 설명하는 데 적합하다”고 기술

[3-ii]

- “중간 대사물의 순서 C → A → B → D”를 기술
- “돌연변이 2번은 C→A로의 대사과정, 돌연변이 1번은 A→B로의 대사과정 돌연변이 3번은 B→D로의 대사과정에 관여한다. 돌연변이 4번의 경우 A, B, C를 각각 넣어도 자라는 것을 보아 C를 만드는 이전 단계에 관여하는 돌연변이임을 알 수 있다.”라고 기술



과학인재 논술시험 문제 해설지 (생명과학)

[3-iii]

- “1번 돌연변이의 경우 정상 유전자의 106번 아미노산을 지정하는 페닐알라닌 코돈을 구성하는 염기 중 하나 혹은 두개가 소실되었거나 혹은 페닐알라닌 코돈을 구성하는 염기에 새로운 염기 하나 혹은 두 개가 첨가됨으로서 단백질 번역과정에서 3개씩 읽어가는 코돈의 변화가 106번부터 달라지고 108번 위치에 종결코돈이 나온 돌연변이”라고 기술
- “2번 돌연변이의 경우 단백질 아미노산의 서열은 완전히 동일함에도 불구하고 단백질 발현이 이루어지지 않을 것을 보아 유전자를 구성하는 프로모터 부위에 돌연변이가 일어나서 mRNA 자체가 만들어지지 않는 돌연변이”라고 기술

[문제 4]

[4-i]

- “첫 번째 합성 mRNA에서 나올 수 있는 코돈의 종류는 AUA와 UAU이다. 따라서 이들 중 하나는 아이소류신을 지정하고 나머지 하나는 타이로신을 지정한다. 두 번째 합성 mRNA에서 나올 수 있는 코돈의 종류는 UAA, AAU, AUA이다. UAA는 종결 코돈이므로 아미노산을 지정하지 못한다. 따라서 AAU와 AUA중 하나는 아스파라진을 지정하고 나머지 하나는 아이소류신을 지정한다. 세 번째 합성 mRNA에서 나올 수 있는 코돈의 종류는 AUA, UAA, AAU이다. UAA는 종결 코돈이므로 아미노산을 지정하지 못한다. 따라서 AAU와 AUA중 하나는 아스파라진을 지정하고 나머지 하나는 아이소류신을 지정한다. 따라서 3 개의 합성 mRNA에서 모두 생성될 수 있는 코돈은 AUA이므로 AUA는 아이소류신을 지정하는 코돈이다.” 라고 기술
- “AUA는 아이소류신을 지정하는 코돈
AAU는 아스파라진을 지정하는 코돈
UAU는 타이로신을 지정하는 코돈이다.” 라고 기술. 각 부분 점수 인정

[4-ii]

- “인간의 염색체로부터 추출한 베타-글로빈 유전자는 인터론 부분을 포함하고 있다.” 라고 기술
- “원핵 세포인 대장균은 인터론을 제거하는 mRNA 가공 기능을 보유하고 있지 않다.” 라고 기술
- “베타-글로빈 유전자를 포함한 재조합 DNA를 대장균에서 발현 시키면, 제거되지 않은 인터론 부분도 단백질 합성의 주형으로 사용되어 베타-글로빈과 다른 단백질이 만들어 진다.” 라고 기술

[4-iii]

- “합성된 mRNA와 인슐린 유전자의 mRNA사이의 상보적 결합이 일어나 2중 가닥의 mRNA가 형성된다.” 라고 기술
- “2중 가닥의 mRNA는 리보솜에 의한 단백질 번역 과정에 주형으로 사용될 수 없다. 따라서 인슐린 단백질의 합성이 억제된다.” 라고 기술

과학인재 논술시험 문제 해설지 (생명과학)

■ 모범답안

[문제 1]

[1-i] γ 은 A이다. 그런데 2중 나선 DNA인 (가)와 (다)에서 $(\gamma + \iota) / (\kappa + \rho)$ 이 1이 아니므로 ι 은 T이고, κ 과 ρ 은 각각 C와 G 중 하나이다. 따라서 각 DNA를 구성하는 염기의 비율은 (가)의 경우 A이 40%, T이 40%, C이 10%, G이 10%이고, (나)의 경우 A이 25%, T이 25%, C이 25%, G이 25%이고, (다)의 경우 A이 10%, T이 10%, C이 40%, G이 40%이다. 따라서 구아닌(G)의 비율이 높은 2중 가닥 DNA부터 순서대로 나열하면 (다) > (나) > (가) 이다.

[1-ii] 복제 진행 방향이 주형 가닥의 3'→5' 방향일 때 선도 가닥은 5'→3' 방향으로 합성되고, 복제 진행 방향이 주형 가닥의 5'→3' 방향일 때 지연 가닥은 5'→3' 방향으로 합성된다. DNA는 복제 원점에서 양 방향으로 진행 되므로, A와 D는 선도 가닥이고 B와 C는 지연 가닥이다.

[1-iii] DNA 중합 효소는 뉴클레오타이드의 3' 말단에만 뉴클레오타이드를 첨가할 수 있기 때문에 미리 만들어진 단일 가닥의 RNA 프라이머가 필요하다. 하지만 DNA 복제 시작 직전에 일시적으로 UTP 합성이 저해 되면 RNA의 구성 요소인 UTP가 존재하지 않아 RNA 프라이머가 만들어지지 않을 것이다. 따라서 DNA 복제가 시작되지 않는다.

[문제 2]

[2-i] 갑상샘 호르몬의 분비는 시상하부에서 분비하는 호르몬인 TRH에 의해 뇌하수체 전엽이 자극되면 뇌하수체 전엽에서 TSH 호르몬이 분비되고 이 TSH는 갑상샘을 자극하여 갑상샘 호르몬을 분비하게 된다. 갑상샘 호르몬이 혈액 내에 충분하다면 갑상샘 호르몬은 시상하부와 뇌하수체 전엽에 음성 되먹임 억제 작용을 통하여 TRH와 TSH의 분비를 억제하게 된다. 본 문제에서는 요오드를 전혀 섭취하지 않기 때문에 이 사람의 혈액 내에 갑상샘 호르몬이 만들어지지 않는다. 이를 항상성 조절 관점에서 보면 갑상샘 호르몬이 없는 것으로 인식되어 갑상샘 호르몬을 만들기 위해 시상하부와 뇌하수체 전엽에서는 TRH와 TSH를 지속적으로 만들고 이는 계속하여 갑상샘을 자극하게 한다. 이로 인해 갑상샘의 내분비 세포는 갑상샘 호르몬을 만들기 위해 지속적으로 분열되거나 커지게 된다. 즉 음성 되먹임 억제 기작이 없어짐으로 인해 갑상선 세포가 지속적으로 자극을 받게 된다.

[2-ii] 식사 후 소장에서 포도당이 흡수되어 혈당량이 올라가고 혈당량이 증가하면 인슐린 분비되면서 혈당내의 포도당을 글리코젠으로 전환하여 저장하게 된다. 1번 실험의 결과에서 보듯이 정상 생쥐와 돌연변이 생쥐의 식사 후 혈당량과 인슐린 양 그리고 글루카곤의 양은 동일한 것으로 보아 돌연변이 생쥐의 경우 인슐린에 의한 항상성 조절에는 문제가 없음을 알 수 있다. 즉 인슐린에 의한 혈당량 조절에 관여하는 유전자들에 돌연변이가 일어나지 않음을 알 수 있다. 2번 실험에서 보듯이 돌연변이 생쥐의 운동 후 인슐린과 글루카곤의 양은 정상 생쥐와 동일하다는 사실에서 돌연변이 생쥐는 글루카곤 유전자에 대한 돌연변이 생쥐가 아님을 알 수 있다. 글루카곤은 운동 후 낮아진 혈당량을 보충하기 위해 분비되어 간에 저장되어 있던 글리코젠을 포도당으로 전환하게 한다. 글루카곤의 양이 정상임에도 불구하고 돌연변이 생쥐에서 혈액내 포도당 양이 매우 낮다는 사실은 글루카곤 호르몬의 활성이 나타나지 않아 글리코젠을 포도당으로 전환하지 못한 것이라 예측할 수 있다. 따라

과학인재 논술시험 문제 해설지 (생명과학)

서 호르몬은 호르몬을 받아들일 수 있는 수용체에 작용한다는 제시문에 근거하였을 때 돌연변이 생쥐는 글루카곤을 인식하는 글루카곤 수용체가 잘못되어 글리코겐을 포도당으로 전환하지 못하여 2번과 같은 결과를 나타내었을 것이라고 예측할 수 있다.

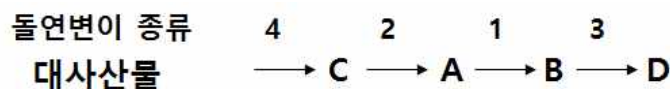
[2-iii] 형질전환 생쥐의 경우 인슐린 호르몬은 결합할 수 있으나 세포질 안쪽 부위가 없기 때문에 인슐린의 활성을 세포내로 전달하지 못하여 혈액내의 포도당을 글리코겐으로 전환하지 못할 것으로 예측할 수 있다. 따라서 먹이를 준 시점에서부터 4시간까지 혈액내의 혈당량은 정상생쥐에 비해 높은 수준을 유지할 것이다. 그러나 인슐린 호르몬은 형질전환 생쥐에서 정상적으로 존재한다. 정상생쥐의 인슐린 양은 먹이 섭취 후 급격히 증가한 후 점차 감소되어 4시간 후 정상 수준의 인슐린 양을 나타내는 반면 형질 전환 생쥐는 정상생쥐에 비해 혈당량이 높기 때문에 인슐린 양이 정상생쥐에 비해 상대적으로 높은 수준을 유지할 것이다.

[문제 3]

[3-i] 진화적 관점에서 돌연변이는 돌연변이를 유발하는 원인 물질에 노출되어서 유도되는 것이 아니라 기존에 존재하는 특정 돌연변이가 자연선택에 의해 선택되면서 진화의 중요한 요인이 된다. 가설 1의 경우 항생제에 저항성을 나타내는 돌연변이가 항생제에 노출된 후 나타난다고 한다면 동일한 대장균의 배양액 20개에 동일한 시간 동안 항생제를 노출시켰기 때문에 20개의 배지에서 동일한 숫자의 항생제 저항성 대장균이 나타날 것으로 예측할 수 있다. 이에 비해 가설 2의 경우 항생제에 저항성을 나타내는 돌연변이는 항생제에 노출되기 전에 이미 존재한다면 20개의 배양액 중에서 이미 항생제 저항성을 나타내는 돌연변이가 무작위적으로 존재할 것이므로 항생제에 저항하는 대장균의 숫자는 20개의 배지에서 서로 다르게 무작위적으로 나타날 것이다.

실제 현대 생물학에서는 기존의 돌연변이가 당시의 환경에 의해 선호되면서 선택됨으로서 진화 과정에서 중요한 역할을 한다고 설명되고 있으므로 가설 2가 진화를 설명하는 데 적합하다.

[3-ii] 비들과 테이텀의 1유전자 1효소설은 하나의 유전자가 하나의 효소를 지정함을 효소 유전자가 잘못된 돌연변이 영양요구주를 이용하여 설명하고 있다. 먼저 돌연변이 2번의 경우 중간 대사물인 C를 첨가하였을 때 자라지 못하므로 C에서 A 혹은 C에서 B로 가는 대사과정이 고장나 있음을 알 수 있다. 돌연변이 1번의 경우 A와 C를 첨가하였을 때 자라지 못하므로 A에서 B 혹은 C에서 B로 가는 대사과정이 잘못 되어 있음을 알 수 있다. 이에 비해 돌연변이 3은 중간 대사물이 어느 것을 넣어도 자라지 못하므로 최종 산물 D를 만드는 대사과정이 잘못되 있음을 알 수 있다. 이를 종합하면 C→A→B→D 과정을 거쳐서 대사과정이 일어나고 돌연변이 2번은 C→A로의 대사과정, 돌연변이 1번은 A→B로의 대사과정 돌연변이 3번은 B→D로의 대사과정에 관여함을 알 수 있다. 돌연변이 4번의 경우 A, B, C를 각각 넣어도 자라는 것을 보아 C를 만드는 이전 단계에 관여하는 돌연변이임을 알 수 있다. 이를 종합하면 다음과 같이 표현할 수 있다.



[3-iii] 1번 돌연변이의 경우 정상 유전자의 아미노산과 비교하였을 때 106번부터 다른 아미노산이

과학인재 논술시험 문제 해설지 (생명과학)

나오면서 108번 아미노산이 들어갈 자리에 종결코돈이 생기면서 단백질 합성이 멈춰 버린 돌연변이임을 제시하고 있다. 이는 정상 유전자의 106번 아미노산을 지정하는 페닐알라닌 코돈을 구성하는 염기 중 하나 혹은 두개가 소실되었거나 혹은 페닐알라닌 코돈을 구성하는 염기에 새로운 염기 하나 혹은 두 개가 첨가됨으로서 단백질 번역과정에서 3개씩 읽어가는 코돈의 변화가 106번부터 달라진 돌연변이임을 예측할 수 있다. 이에 비해 2번 돌연변이의 경우 단백질 아미노산의 서열은 완전히 동일함에도 불구하고 단백질 발현이 이루어지지 않을 것을 보아 유전자를 구성하는 프로모터 부위에 돌연변이가 일어나서 mRNA 자체가 만들어지지 않은 돌연변이일 것이라고 예측할 수 있다.

[문제 4]

[4-i] 첫 번째 합성 mRNA에서 나올 수 있는 코돈의 종류는 AUA와 UAU이다. 따라서 이들 중 하나는 아이소류신을 지정하고 나머지 하나는 타이로신을 지정한다. 두 번째 합성 mRNA에서 나올 수 있는 코돈의 종류는 UAA, AAU, AUA이다. UAA는 종결 코돈이므로 아미노산을 지정하지 못한다. 따라서 AAU와 AUA중 하나는 아스파라진을 지정하고 나머지 하나는 아이소류신을 지정한다. 세 번째 합성 mRNA에서 나올 수 있는 코돈의 종류는 AUA, UAA, AAU이다. UAA는 종결 코돈이므로 아미노산을 지정하지 못한다. 따라서 AAU와 AUA중 하나는 아스파라진을 지정하고 나머지 하나는 아이소류신을 지정한다. 따라서 3 개의 합성 mRNA에서 모두 생성될 수 있는 코돈은 AUA이므로 AUA는 아이소류신을 지정하는 코돈이다. 그리고 첫 번째와 두 번째 합성 mRNA의 결과로부터 AAU가 아스파라진을 지정하고 UAU가 타이로신 지정하는 코돈임을 알 수 있다.

[4-ii] 인간의 염색체로부터 추출한 베타-글로빈 유전자는 인트론 부분을 포함하고 있다. 원핵 세포인 대장균은 인트론을 제거하는 mRNA 가공 기능을 보유하고 있지 않다. 따라서 베타-글로빈 유전자를 포함한 재조합 DNA를 대장균에서 발현 시키면, 제거되지 않은 인트론 부분도 단백질 합성의 주형으로 사용되어 베타-글로빈과 다른 단백질이 만들어 진다.

[4-iii] 합성된 mRNA는 동물 세포내에서 생성된 인슐린 유전자의 mRNA와 상보적인 염기 서열을 가진다. 따라서 합성된 mRNA와 인슐린 유전자의 mRNA사이의 상보적 결합이 일어나 2중 가닥의 mRNA가 형성된다. 2중 가닥의 mRNA는 리보솜에 의한 단백질 번역 과정에 주형으로 사용될 수 없다. 따라서 인슐린 단백질의 합성이 억제된다.