

탄수화물은 사람을 비롯한 동물이 생존하는 데 필수적인 에너지원이다. 탄수화물은 섬유소와 비섬유소로 구분된다. 사람은 체내에서 합성한 효소를 이용하여 곡류의 녹말과 같은 비섬유소를 포도당으로 분해하고 이를 소장에서 흡수하여 에너지원으로 이용한다. 반면, 사람은 풀이나 채소의 주성분인 셀룰로스나 같은 섬유소를 포도당으로 분해하는 효소를 합성하지 못하므로, 섬유소를 소장에서 이용하지 못한다. ㉠ 소, 양, 사슴과 같은 반추 동물도 섬유소를 분해하는 효소를 합성하지 못하는 것은 마찬가지이지만, 비섬유소와 섬유소를 모두 에너지원으로 이용하여 살아간다.

- 탄수화물을 섬유소와 비섬유소로 구분하고 있다. 사람은 비섬유소는 포도당으로 분해할 수 있지만 섬유소는 포도당으로 분해할 수 있는 효소가 없으므로 사용하지 못한다.
- 그러나 반추 동물은 섬유소를 포도당으로 분해하는 효소를 합성하지 못함에도 불구하고 섬유소를 에너지원으로 이용하여 살아간다. 대체 뭐가 특별하길래 사람은 안되는걸 반추동물은 할 수 있는걸까? 이런 문제제기를 하며 전진하자.

COMMENT

셀룰로스든 녹말이든 중요하지 않다. 그냥 “아 셀룰로스가 섬유소구나~” 정도만 이해하고 넘어가자. 문제에서 물어보면 그때 찾지 뭐~

위(胃)가 넷으로 나누어진 반추 동물의 첫째 위인 반추위에는 여러 종류의 미생물이 서식하고 있다. 반추 동물의 반추위에는 산소가 없는데, 이 환경에서 왕성하게 성장하는 반추위 미생물들은 다양한 생리적 특성을 가지고 있다. 그중 ㉡ 피브로박터속시노젠(F)은 섬유소를 분해하는 대표적인 미생물이다. 식물체에서 셀룰로스는 그것을 둘러싼 다른 물질과 복잡하게 얽혀있는데, F가 가진 효소 복합체는 이 구조를 끊어 셀룰로스를 노출시킨 후 이를 포도당으로 분해한다. F는 이 포도당을 자신의 세포 내에서 대사 과정을 거쳐 에너지원으로 이용하여 생존을 유지하고 개체 수를 늘림으로써 성장한다. 이런 대사 과정에서 아세트산, 숙신산 등이 대사산물로 발생하고 이를 자신의 세포 외부로 배출한다. 반추위에서 미생물들이 생성한 아세트산은 반추 동물의 세포로 직접 흡수되어 생존에 필요한 에너지를 생성하는 데 주로 이용되고 체지방을 합성하는 데에도 쓰인다. 한편 반추위에서 숙신산은 프로피온산을 대사산물로 생성하는 다른 미생물의 에너지원으로 빠르게 소진된다. 이 과정에서 생성된 프로피온산은 반추 동물이 간(肝)에서 포도당을 합성하는 대사 과정에서 주요 재료로 이용된다.

-앞서 반추 동물이 어떻게 섬유소를 분해하는 효소를 합성하지 못함에도 불구하고 섬유소를 에너지원으로 활용하는지 궁금증을 가지고 내려왔다. 여기서 그 방법을 소개하는데, F가 섬유소를 분해해준다. 아까 섬유소를 분해 못한다고 하지 않았냐고? 섬유소를 분해하는 효소를 합성하지 못하지만, 섬유소를 분해하는 미생물은 만들어지는 것이다.

-F는 셀룰로스 주변의 결합을 끊어 셀룰로스를 노출시킨 후 셀룰로스를 포도당으로 분해한다. 그리고 그 포도당을 자신의 세포 내에서 대사과정을 통해 에너지원으로 사용한다. 동물의 에너지원으로 직접 사용되는 것이 아니고 자기 스스로를 성장시키는데 사용한다.

-이때 만들어지는 대사산물은 두 종류이다. 아세트산은 세포의 에너지원으로 직접 이용되기도 하고 체지방을 합성하기도 한다.

-한편 숙신산은 프로피온산을 대사산물로 생성하는 다른 미생물의 에너지원으로 사용된다. 프로피온산이 포도당을 합성하는 과정에서 사용되므로, 바로 에너지로 사용되는 아세트산과 달리 숙신산은 숙신산→프로피온산→포도당의 과정을 거쳐 사용되므로 절차가 좀 더 복잡하다.

COMMENT

1. ‘한편’ ‘반면’ 이런 접속사에 주목하자. 주로 예외를 제시하거나 대비되는 개념을 제시하는 경우가 많은데, 무조건 문제로 물어본다. 특히 예외는 평가원이 정말 좋아하는 출제 포인트 중 하나인데, 정답 선지가 아니더라도 문제의 선지로는 무조건 나온다. 개념에다가 동그라미 치지 말고 이런 접속사나 한번씩 체크해두고 넘어가자.
2. 앞에서 무슨 궁금증을 가지고 여기까지 내려왔는지 생각해보자. 반추동물 너 섬유소 어떻게 써먹을건데? 이 질문에 대한 답을 찾아가면서 읽으면 목표의식이 명확해진다.

반추위에는 비섬유소인 녹말을 분해하는 ⑤ 스트렙토코쿠스보비스(S)도 서식한다. 이 미생물은 반추 동물이 섭취한 녹말을 포도당으로 분해하고, 이 포도당을 자신의 세포 내에서 대사 과정을 통해 자신에게 필요한 에너지원으로 이용한다. 이때 S는 자신의 세포 내의 산성도에 따라 세포 외부로 배출하는 대사산물이 달라진다. 산성도를 알려 주는 수소 이온 농도 지수(pH)가 7.0 정도로 중성이고 성장 속도가 느린 경우에는 아세트산, 에탄올 등이 대사산물로 배출된다. 반면 산성도가 높아져 pH가 6.0 이하로 떨어지거나 녹말의 양이 충분하여 성장 속도가 빠를 때는 젖산이 대사산물로 배출된다. 반추위에서 젖산은 반추 동물의 세포로 직접 흡수되어 반추 동물에게 필요한 에너지를 생성하는 데 이용되거나 아세트산 또는 프로피온산을 대사산물로 배출하는 다른 미생물의 에너지원으로 이용된다.

-이번엔 비섬유소다. 앞서 섬유소의 이용 방법에 대해 궁금증을 가지고 내려왔는데, 이제는 비섬유소를 어떻게 사용하는지에 대한 내용이 제시될 모양이다.

-S의 특이한 점은 세포 내의 산성도에 따라 배출되는 대사산물이 달라진다는 것이다. 앞서 F는 산성도와 관계없이 아세트산과 숙신산 등을 배출했다면 S는 중성이고 성장 속도가 느릴 때는 아세트산과 에탄올 등을, pH 6.0 이하의 산성이거나 녹말의 양이 많아서 성장 속도가 빠를 때는 젖산을 대사산물로 배출한다.

-젖산은 좀 주목할만한 포인트가 있다. 앞서 아세트산은 직접 에너지원으로 사용됐고 숙신산은 다른 미생물의 에너지원으로 이용됐는데, 젖산은 두가지 기능을 모두 한다. 직접 에너지원으로 사용되기도 하고, 다른 미생물의 에너지원으로도 이용되는 것이다. 역시 특이한 케이스이므로 주목해서 읽어야 한다.

COMMENT

녹말의 양이 많아지면 S의 성장 속도가 빨라지는건 당연하다. S는 비섬유소를 포도당으로 분해하고 이 포도당을 자신의 성장에 사용하는데 비섬유소인 녹말이 많아지면 분해되는 포도당의 양도 늘어날 것이고 당연히 성장 속도도 빨라질 것이다. 이 문장을 비례/반비례로 처리하는 순간 골치아파진다. 조금만 더 생각하면 당연하게 넘길 수 있는 내용이니 이해하고 넘어가자.

그런데 S의 과도한 생장이 반추 동물에게 악영향을 끼치는 경우가 있다. 반추 동물이 짧은 시간에 과도한 양의 비섬유소를 섭취하면 S의 개체 수가 급격히 늘고 과도한 양의 젖산이 배출되어 반추위의 산성도가 높아진다. 이에 따라 산성의 환경에서 왕성히 성장하며 항상 젖산을 대사산물로 배출하는 © 락토바실러스루미니스(L)와 같은 젖산 생성 미생물들의 생장이 증가하며 다량의 젖산을 배출하기 시작한다. F를 비롯한 섬유소 분해 미생물들은 자신의 세포 내부의 pH를 중성으로 일정하게 유지하려는 특성이 있는데, 젖산 농도의 증가로 자신의 세포 외부의 pH가 낮아지면 자신의 세포 내의 항상성을 유지하기 위해 에너지를 사용하므로 생장이 감소한다. 만일 자신의 세포 외부의 pH가 5.8 이하로 떨어지면 에너지가 소진되어 생장을 멈추고 사멸하는 단계로 접어든다. 이와 달리 S와 L은 상대적으로 산성에 견디는 정도가 강해 자신의 세포 외부의 pH가 5.5 정도까지 떨어지더라도 이에 맞춰 자신의 세포 내부의 pH를 낮출 수 있어 자신의 에너지를 세포 내부의 pH를 유지하는 데 거의 사용하지 않고 생장을 지속하는 데 사용한다. 그러나 S도 자신의 세포 외부의 pH가 그 이하로 더 떨어지면 생장을 멈추고 사멸하는 단계로 접어들고, 산성에 더 강한 L을 비롯한 젖산 생성 미생물들이 반추위 미생물의 많은 부분을 차지하게 된다. 그렇게 되면 반추위의 pH가 5.0 이하가 되는 급성 반추위 산성증이 발병한다.

- 비섬유소를 너무 많이 섭취하면 (앞서 이해했던대로) S가 과도하게 성장해서 무언가 문제가 생긴다(뭐든지 과하면 안좋다. 過猶不及(과유불급)). 성장속도가 빠를 때는 젖산이 대사산물로 배출되는데, 이 젖산은 반추위의 산성도를 높인다.
- L은 산성의 환경에서 왕성하게 성장하는 미생물이다. L은 항상 젖산을 대사산물로 배출하는데, 이 젖산은 반추위의 산성도를 높이고(즉 pH 농도가 낮아지고) L은 더 왕성하게 성장하게 된다. 일종의 악순환인 셈이다.
- F는 자신의 세포 내부를 중성으로 유지하고 싶어 하는데, 주변이 산성이라면 농도를 중성으로 맞추기 위해 추가적인 에너지를 사용해야 할 것이다. F가 쓸 수 있는 에너지는 한정되어 있는데 그 에너지를 중성 유지에 다 써버리니 성장하는데 쓸 에너지가 부족하게 된다. 그러니까 점점 산성도가 높아질수록 F는 사멸하게 되는 것이다.
- L도 같은 원리로 사멸하게 된다. L은 pH 6.0에서도 대사산물을 배출하므로 조금 더 산성에 강하다고 볼 수 있는데, 이 L도 pH 5.5 이하에서는 사멸하게 된다.
- 결국 S만 살아남게 되는데, S는 항상 젖산을 대사산물로 배출하는 미생물이므로 반추위는 젖산으로 가득차게 될 것이다. 젖산이 많아질수록 산성도가 올라가므로 (pH 농도가 낮아지므로) 산성도가 너무 높아서 (pH 농도가 너무 낮아서) 생기는 병인 ‘급성 반추위 산성증’이 발병하게 된다.

COMMENT

pH 농도 몇부터 F가 사멸하고 L이 사멸하고 이게 중요한게 아니다. 평가원은 숫자 바뀔 정도로 장난치지 않는다. ‘L이 F보다 더 잘 버틴다’ 정도로 이해하고 넘어가자.

33. 윗글을 읽고 알 수 있는 내용으로 가장 적절한 것은?

- ① 섬유소는 사람의 소장에서 포도당의 공급원으로 사용된다.
→사람은 섬유소를 포도당으로 분해하는 효소를 합성하지 못하므로 섬유소를 에너지원으로 사용하지 못한다.
- ② 반추 동물의 세포에서 합성한 효소는 셀룰로스를 분해한다.
→셀룰로스를 분해하는 것은 반추 동물의 반추위에서 생성된 반추위 미생물이다.
- ③ 반추위 미생물은 산소가 없는 환경에서 생장을 멈추고 사멸한다.
→반추위 미생물은 산소가 없는 반추위에서 성장한다.
- ④ 반추 동물의 과도한 섬유소 섭취는 급성 반추위 산성증을 유발한다.
→녹말 등의 과도한 비섬유소 섭취가 급성 반추위 산성증을 유발한다. 지문을 제대로 이해했다면 금방 제낄 수 있는 선지인데, S가 비섬유소를 분해하는 미생물이고 'S의 과도한 성장→젖산의 분비로 인한 산성도 증가→L의 성장→젖산 분비가 더 활성화됨'의 매커니즘을 이해했다면 어딘가 이상함을 느끼고 제낄 수 있었다.
- ⑤ 피브로박터 속시노젠(F)은 자신의 세포 내에서 포도당을 에너지원으로 이용하여 성장한다.
→F는 셀룰로스와 주변의 연결 구조를 끊고 셀룰로스를 포도당으로 분해해 자신의 에너지원으로 이용하여 성장한다.

34. 윗글로 볼 때, ㉠~㉢에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

㉠피브로박터속시노젠(F) ㉡스트렙토코쿠스보비스(S) ㉢락토바실러스루미니스(L)

- ① ㉠와 ㉡는 모두 급성 반추위 산성증에 걸린 반추 동물의 반추위에서는 성장하지 못하겠군.
→S가 F보다는 조금 더 잘 버티긴 하지만 S 역시 pH 5.5 이하의 환경에서는 사멸한다. 급성 반추위 산성증에 걸린 반추 동물의 반추위의 pH 농도는 5.0 이하이다.
- ② ㉠와 ㉡는 모두 반추위에서 반추 동물의 체지방을 합성하는 물질을 생성할 수 있겠군.
→F와 S 모두 체지방을 합성하는 물질인 아세트산을 생성할 수 있다. 다만 F는 산성도에 관계없이 아세트산을 생성하는데 반해 S는 중성 정도일 때 아세트산을 대사산물로 배출한다.
- ③ 반추위의 pH가 6.0일 때, ㉠는 ㉢보다 자신의 세포 내의 산성도를 유지하는 데 더 많은 에너지를 쓰겠군.
→L은 산성일 때 더 왕성하게 성장하므로 산성도를 유지하는 데 많은 에너지를 쓰지 않는다. 반면 F는 중성을 유지하려는 성질(=항상성)이 있으므로 자신의 세포 내의 산성도를 중성으로 유지하는 데 더 많은 에너지를 사용한다.
- ④ ㉡와 ㉢는 모두 반추위의 산성도에 따라 다양한 종류의 대사산물을 배출하겠군.
→S는 반추위의 산성도에 따라 중성일 때 아세트산과 프로피온산을, 산성일 때 젖산을 배출한다. 한편 L은 반추위의 산성도와 관계없이 항상 젖산을 대사산물로 배출한다.
- ⑤ 반추위에서 녹말의 양과 ㉡의 생장이 증가할수록, ㉠의 생장은 감소하고 ㉢의 생장은 증가하겠군.
→녹말, 즉 비섬유소의 양이 증가하고 S의 생장이 증가하면 반추위의 산성도는 증가(pH 농도는 감소)한다. 반추위의 산성도가 높아지면 F는 못견디고 사멸하는 단계로 접어들고, L의 생장은 증가한다.

35. 윗글을 바탕으로 ㉠이 가능한 이유를 진술한다고 할 때, <보기>의 ㉡, ㉢에 들어갈 말로 가장 적절한 것은? [3점]

반추 동물이 섭취한 섬유소와 비섬유소는 반추위에서 (㉡), 이를 이용하여 성장하는 (㉢) 은 반추 동물의 에너지원으로 이용되기 때문이다.

- ① ㉡ : 반추위 미생물의 에너지원이 되고
 ㉢ : 반추위 미생물이 대사 과정을 통해 생성한 대사산물
- ② ㉡ : 반추위 미생물의 에너지원이 되고
 ㉢ : 반추위 미생물이 대사 과정을 통해 생성한 포도당
- ③ ㉡ : 반추위 미생물에 의해 합성된 포도당이 되고
 ㉢ : 반추 동물이 대사 과정을 통해 생성한 포도당
- ④ ㉡ : 반추위 미생물에 의해 합성된 포도당이 되고
 ㉢ : 반추위 미생물이 대사 과정을 통해 생성한 대사산물
- ⑤ ㉡ : 반추위 미생물에 의해 합성된 포도당이 되고
 ㉢ : 반추위 미생물이 대사 과정을 통해 생성한 포도당

COMMENT

이런 문제는 앞서 지문을 이해한 내용을 바탕으로 주관식으로 푼다. 일단 빈칸에 뭐가 들어가야 할지 생각해보고, 그 내용에 가장 가까운 내용을 정답으로 고른다.

→반추 동물이 섭취한 섬유소와 비섬유소는 반추위에서 반추위 미생물이 포도당으로 분해해서 그들 스스로의 에너지원으로 사용하여 성장하고, 이 반추위 미생물이 대사과정을 통해 생성한 아세트산, 젖산 등의 대사산물은 반추 동물의 에너지원으로 이용된다.

→반추위 미생물은 포도당을 합성하지 않는다. 섬유소와 비섬유소를 포도당으로 '분해'하는 역할을 한다.

36. 윗글로 볼 때, 반추위 미생물에서 배출되는 숙신산 과 젖산 에 대한 설명으로 적절하지 않은 것은?

- ① 숙신산이 많이 배출될수록 반추 동물의 간에서 합성되는 포도당의 양도 늘어난다.
 →숙신산은 간에서 포도당을 합성하는데 재료로 이용되는 프로피온산을 대사산물로 생성한다. 따라서 숙신산이 많이 배출될수록 생성되는 프로피온산의 양이 늘어나고 간에서 합성되는 포도당의 양도 늘어난다.
- ② 젖산은 반추 동물의 세포로 직접 흡수되어 반추 동물의 에너지원으로 이용될 수 있다.
 →앞서 잡았던 내용이다.
- ③ 숙신산과 젖산은 반추위가 산성일 때보다 중성일 때 더 많이 배출된다.
 →숙신산은 F 내부 농도가 중성일 때 성장에 에너지를 더 많이 분배할 수 있으므로 많이 배출된다. 한편 젖산은 반추위가 산성일 때 더 많이 배출된다(그게 문제였다).
- ④ 숙신산과 젖산은 반추위 미생물의 세포 내에서 대사 과정을 거쳐 생성된다.
 →35번 문제에서도 언급된 내용이다.
- ⑤ 숙신산과 젖산은 프로피온산을 대사산물로 배출하는 다른 미생물의 에너지원으로 이용되기도 한다.
 →숙신산은 그게 메인 기능이었고, 젖산의 특이점은 직접 사용되기도 하고 다른 미생물의 에

너지원으로 활용되기도 한다는 점이였다.