پاسخ‌های تحلیلی به پرسش‌های المپیاد زیست‌شناسی

امیرحسین زارع مهذبیه

دارندهٔ مدال طلای المپیاد زیست‌شناسی کشوری ۱۳۹۶

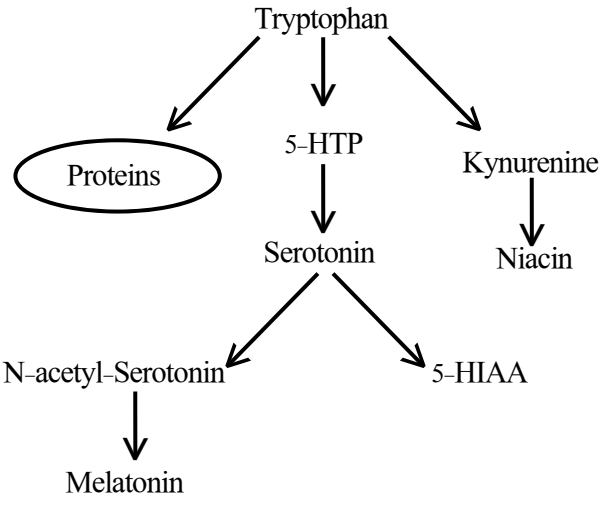
دانشجوی دانشگاه علوم پزشکی تهران

اشاره

در شمارهٔ پیشین تعدادی از پرسش‌های نظری نخستین مرحلهٔ المپیاد زیست‌شناسی کشور در سال‌های گذشته، همراه با پاسخ‌های تحلیلی آن‌ها را منتشر کردیم. بنا به درخواست گروهی از مخاطبان محترم در این شماره نیز نمونه‌هایی از این پرسش‌ها را که در آزمون مرحلهٔ نخست المپیاد زیست‌شناسی کشور مطرح شده‌اند، همراه با پاسخ‌های تشریحی و تحلیل آن‌ها می‌آوریم.

سؤال ۱

شکل زیر مسیر متابولیسم تریپتوفان را در مغز نشان می‌دهد. تریپتوفان که یکی از آمینواسیدهای ضروری است، برای جذب در دستگاه گوارش با سایر آمینواسیدها رقابت می‌کند. از طرفی درمان اصلی افسردگی استفاده از داروهای مهارکنندهٔ بازجذب سروتونین در سیناپس است. کدام گزینه تمامی گزاره‌های صحیح را در بر دارد؟



I. با افزایش سن و کاهش توانایی جذب آمینواسیدها، ریسک افسردگی کمتر می‌شود.

II. با توجه به اینکه 5-HTP نسبت به تریپتوفان از سد خونی-مغزی راحت‌تر عبور می‌کند، دوز بالاتری از آن برای جلوگیری از افسردگی لازم است.

III. مصرف تریپتوفان با معدهٔ خالی به افزایش جذب آن کمک می‌کند.

IV. این مسیر از فرضیهٔ ارتباط چرخهٔ خواب با افسردگی حمایت می‌کند.

V. تریپتوفان به‌عنوان پیش‌ساز کوآنزیم مصرف می‌شود.

۱) III,IV ۲) I,II,III ۳) I,III ۴) II,V ۵) III,IV,V

تحلیل سؤال ۱

بیش از صد میلیارد سلول عصبی(نورون) در مغز انسان وجود دارد و تعداد ارتباط‌های بین نورون‌ها در محل سیناپس‌ها چندین برابر بیشتر از این عدد است. چند نوع سلول همراه[1] نیز در مغز وجود دارد که با هدف حمایت و محافظت از نورون‌ها در اعمالی چون ساخت غلاف میلین، بیگانه‌خواری، تنظیم محیط شیمیایی و ایجاد سد خونی-مغزی نقش دارند. انتقال پیام عصبی در این شبکهٔ پیچیده، در محل سیناپس بین نورون‌ها رخ می‌دهد. این ارتباط اغلب از نوع

شیمیایی است و به واسطهٔ انتقال‌دهنده‌های عصبی[۲] ، انجام می‌شود. با تحریک نورون پیش‌سیناپسی، انتقال‌دهنده‌های عصبی ویژه از پایانهٔ آن آزاد و در فضای سیناپسی منتشر می‌شود؛ سپس با اتصال به گیرنده‌های غشایی نورون پس‌سیناپسی باعث ایجاد تغییراتی در آن سلول می‌شوند. انتقال‌دهنده‌های عصبی مختلف می‌توانند آثار تحریکی یا مهاری روی نورون پس‌سیناپسی داشته باشند.

تعدادی از انتقال‌دهنده‌های عصبی از پیش‌ساز آمینواسید ساخته می‌شوند. به‌عنوان مثال اپی‌نفرین، نوراپی‌نفرین و دوپامین از آمینواسید تیروزین ساخته می‌شوند. آمینواسید تریپتوفان نیز سه مسیر متابولیک اصلی در مغز دارد که در این پرسش بررسی شده است.

در مسیر اول، تریپتوفان مانند آمینواسیدهای دیگر در روند ترجمه، وارد ساختار پروتئین‌ها می‌شود. از آنجا که جذب آن در رقابت با آمینواسیدهای دیگر رخ می‌دهد، مصرف تریپتوفان با معدهٔ خالی به افزایش جذب آن کمک می‌کند.

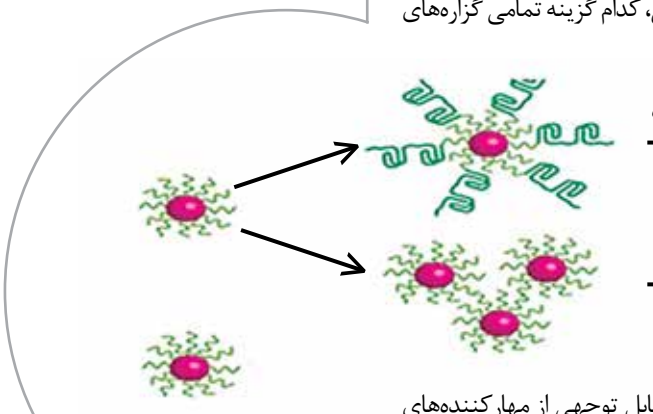
در مسیر دوم، تریپتوفان به 5-htp[۳] و سپس به سروتونین تبدیل می‌شود. سروتونین که به‌عنوان عامل مهمی در افسردگی شناخته شده، هدف یک گروه از داروهای ضد افسردگی قرار گرفته است؛ این داروها با نام SSRI[۴] ، با مهار بازجذب سروتونین از سیناپس به نورون پیش‌سیناپسی، باعث افزایش غلظت مؤثر آن در سیناپس می‌شود و علائم افسردگی را کاهش می‌دهد. با افزایش سن و کاهش توانایی جذب آمینواسیدها، مقدار سروتونین کاهش می‌یابد و خطر ابتلا به افسردگی افزایش می‌یابد. همچنین، از آنجا که عبور 5-htp از سد خونی مغزی نسبت به تریپتوفان بیشتر است، برای ساخت مقدار یکسان سروتونین، به دوز کمتری از آن نیاز است.

سروتونین می‌تواند در ادامه به ملاتونین تبدیل شود. ملاتونین که از غدهٔ پینه‌آل ترشح می‌شود، مسئول تنظیم چرخهٔ خواب و بیداری است. بنابراین، در صورتی که افسردگی ناشی از تغییرات متابولیسم سروتونین در مغز باشد، می‌تواند تغییرات در چرخهٔ خواب را نیز به همراه داشته باشد.

در مسیر سوم، تریپتوفان به نیاسین یا ویتامین B_3 تبدیل می‌شود. نیاسین در ساختار کوآنزیم‌های NADP و NADPH وجود دارد که به‌عنوان ناقل الکترون در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی درون سلول عمل می‌کنند. در نتیجه گزینه ۵ پاسخ این پرسش است.

سؤال ۲

شکل زیر یک بیوسنسور (زیست‌حس‌گر) مبتنی بر رنگ‌سنجی را نشان می‌دهد که برای تشخیص سرطان بر پایهٔ عملکرد آنزیم تلومراز به‌کار می‌رود. در آزمایشی، سوبسترای اولیگونوگلئوتیدی تلومراز، به سطح نانوذرات طلا با رنگ قرمز (اندازهٔ ۳۰ نانومتر) متصل شده و سپس این کمپلکس، به مدت ۶۰ دقیقه در حضور مخلوطی از دئوکسی ریبونوکلئوتید تری‌فسفات (dNTPs) و آنزیم تلومراز قرار گرفت. قابل توجه است که نانوذرات طلا در حضور نمک، تجمع می‌یابند و به آبی تغییر رنگ می‌دهند. در مورد این روش رنگ سنجی، کدام گزینه تمامی گزاره‌های صحیح را در بر دارد؟



نانوذرات طلای اتصال یافته به سوبسترای تلومراز

I. در حضور مقدار قابل توجهی از مهارکننده‌های تلومراز، نانوذرات طلا به شکل مونومر باقی می‌مانند و تغییر رنگ محلول از قرمز به آبی رخ می‌دهد.

II. در حضور لیزر سلول‌های متاستازی سرطانی، تجمع نانوذرات کاهش می‌یابد و تغییر رنگی مشاهده نمی‌شود.

III. در حضور لیزر سلول‌های لایهٔ زاینده (germline)، تجمع نانوذرات افزایش می‌یابد و تغییر رنگ محلول از قرمز به آبی مشاهده می‌شود.

IV. در حضور مقادیر قابل توجه آنزیم تلومراز، اشباع‌شدن غلظت نمک تغییری در رنگ محلول ایجاد نمی‌کند.

۱) I,II ۲) II,IV ۳) I,III ۴) III,IV ۵) I,IV

تحلیل سؤال ۲

سلول‌های موجودات زنده طیف وسیعی از ترکیبات را شناسایی می‌کنند و به آن پاسخ می‌دهند. هر آنزیم به یک پیش‌مادهٔ اختصاصی، هر گیرندهٔ سطح سلول به یک محرک ویژه و هر عامل رونویسی به یک توالی نوکلئیک اسیدی خاص متصل می‌شود. با بهره‌گیری از این ویژگی، می‌توان اجزای زیستی

را به هدف تشخیص ترکیبات مختلف به‌کار گرفت. این حسگرهای زیستی، وجود ترکیب مورد نظر را در محیط تشخیص می‌دهند و سیگنال قابل سنجش تولید می‌کنند. در این پرسش عملکرد یک حسگر زیستی، که برای تشخیص آنزیم تلومراز طراحی شده، مورد بررسی قرار گرفته است. آنزیم تلومراز، مسئول تولید نواحی انتهایی کروموزوم است که تلومر نام دارند، این نواحی که از تکرار یک توالی چند نوکلئوتیدی ساخته شده‌اند، نقش مهمی در چرخهٔ سلولی ایفا می‌کنند.

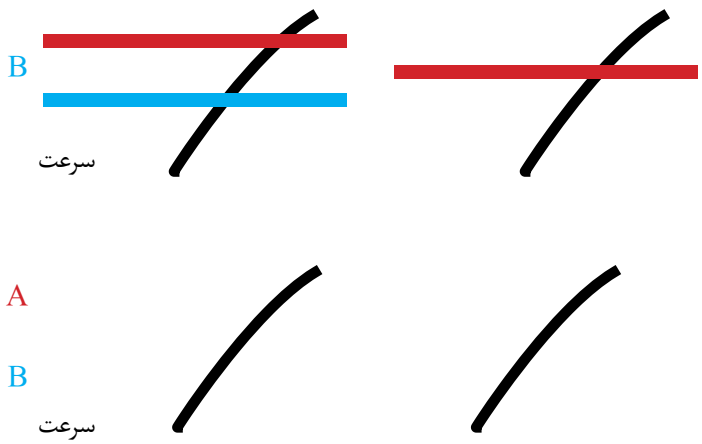
در روند همانندسازی DNA دورشته‌ای خطی، یکی از دورشته -رشتهٔ پیرو- در خلاف جهت حرکت چنگال همانندسازی و در قطعات کوتاه و متعدد به نام قطعات اوکازاکی ساخته می‌شود. آنزیم‌های پلی‌مراز DNA، که این قطعات را می‌سازند، برای همانندسازی به یک توالی الگو نیاز دارند. به همین علت همانندسازی چند نوکلئوتید واقع در انتهای کروموزوم امکان‌ناپذیر است. در هر چرخهٔ سلولی انتهای کروموزوم کوتاه شده و اطلاعات آن ناحیه به سلول‌های نسل بعد منتقل نمی‌شود. از بین رفتن این نواحی، در صورتی که حاوی ژن یا توالی‌های مهم دیگر باشد، به مرگ سلول می‌انجامد. آنزیم تلومراز که در ساختار خود حاوی ریبونوکلئوتید است، بدون نیاز به توالی الگو، به انتهای کروموزوم متصل می‌شود و ناحیهٔ تلومر را به آن اضافه می‌کند. بنابراین، تلومرها از انتهای کروموزوم محافظت می‌کنند.

در حالت طبیعی، تلومراز تنها در سلول‌های لایهٔ زایا که گامت‌ها را می‌سازند، فعال است و در سلول‌های پیکری (somatic) فعالیتی ندارد. به همین دلیل نواحی تلومر در طی زندگی فرد کوتاه شده و هنگام تولید گامت‌ها دوباره ساخته می‌شود. این فرایند یکی از عواملی است که تعداد تقسیم‌های ممکن را برای هر سلول محدود کرده و باعث پیری سلولی می‌شود. فعالیت نابه‌جای آنزیم تلومراز در سلول‌های سرطانی نیز مشاهده می‌شود و تقسیم سلولی نامحدود و مهارنشده، ویژگی بارز سلول‌های سرطانی، به همین علت است.

در حسگر مورد بررسی، توالی‌های نوکلئوتیدی متصل به نانوذرات طلا توسط تلومراز شناسایی می‌شوند. در غیاب تلومراز، نانوذرات طلا می‌توانند به هم نزدیک شوند و با اضافه شدن نمک به محیط، تجمع پیدا کنند که با تغییر رنگ محلول از قرمز به آبی قابل تشخیص است. در حضور تلومراز، این آنزیم به توالی‌های متصل به نانوذرات متصل می‌شود و با افزودن نوکلئوتید طول آن‌ها را افزایش می‌دهد. در این حالت، به علت ممانعت فضایی و دافعه حاصل از بار منفی DNA، نانوذرات طلا در فاصله بیشتری نسبت به هم قرار می‌گیرند و بعد از افزودن نمک به محیط قادر به تجمع نیستند. در نتیجه محلول به رنگ قرمز باقی می‌ماند و تغییر رنگی مشاهده نمی‌شود. با انجام این آزمایش روی عصارهٔ سلول‌های مختلف، می‌توان وجود فعالیت تلومراز را تشخیص و سلول‌های لایهٔ زایا و سلول‌های سرطانی را از دیگر سلول‌های تمایز داد. با توجه به سازوکار عمل این حسگر، پاسخ این پرسش گزینهٔ ۲ است.

سؤال ۳

در پرندگان، نیروی مورد نیاز برای پرواز در سرعت‌های متفاوت به یک اندازه نیست. تحقیقات نشان داده است که این مقدار در سرعت‌های متوسط کمینه است. چهار نمودار مربوط به گونه‌های متفاوت پرنده را مشاهده می‌کنید که نیروی مورد نیاز برای پرواز را نسبت به سرعت پرواز (میزان مسافت طی شده در واحد زمان) نشان می‌دهد. خط A حداکثر مقدار نیرویی است که پرنده می‌تواند در یک حرکت انفجاری ایجاد کند و خط B مقدار نیرویی است که پرنده توان حفظ آن را دارد. هر کدام از این نمودارها مربوط به کدام‌یک از پرنده‌های وصف شده است؟



I. پرنده‌ای که برای اوج گرفتن مدت زمانی روی زمین می‌دود، سپس می‌پرد و اوج می‌گیرد.

II. پرنده‌ای که می‌تواند بدون حرکت رو به جلو درجا ارتفاع خود را حفظ کند.

III. پرنده‌ای که تنها در حضور جریان باد مداوم می‌تواند نیروی مورد نیاز برای پرواز را تامین کند.
IV. پرنده‌ای که با بال زدن درجا اوج می‌گیرد و برای حفظ ارتفاع نیاز به حرکت رو به جلو دارد.

گزینه	4	3	2	1
(۱	III	IV	I	II
(۲	IV	III	II	I
(۳	IV	III	I	II
(۴	I	II	III	IV
(۵	III	I	II	IV

تحلیل سؤال ۳

پرواز از پیچیده‌ترین روش‌های حرکت در جانداران و توانایی بسیار مفیدی برای پرندگان است. تکامل پرواز به وسیلهٔ «بال زدن» نزدیک به تمام جنبه‌های زیست‌شناختی پرندگان را دستخوش تغییر کرده است. از پَرهای سطح بدن گرفته تا ساختار متخلخل استخوان‌ها و دستگاه تنفسی ویژه شامل کیسه‌های هوایی و جریان هوای یک‌طرفه. ویژگی‌های فیزیکی پرواز مورد مطالعات بسیاری بوده است.

در این نمودارها نیروی لازم برای پرواز در سرعت‌های مختلف رسم شده است. شکل کلی این تابع برای هر چهار گونه یکسان است و ویژگی‌های اصلی پرواز را نشان می‌دهد؛ سرعت حرکت پرنده‌ای که در حال سکون قرار دارد برابر با صفر است و برای شروع پرواز و اوج گرفتن نیروی زیادی مصرف می‌کند. با افزایش سرعت و رسیدن به نقاط میانی نمودار، نیروی لازم برای حفظ حرکت رو به جلو کاهش می‌یابد و در نقطهٔ خاصی به کمترین مقدار می‌رسد. پس از این نقطه، برای افزایش بیشتر سرعت و حفظ حرکت در سرعت‌های بالا نیروی بیشتری مورد نیاز است.

خطوط افقی رسم شده در نمودار ویژگی‌های منحصر به هر گونه را نشان می‌دهد که ناشی از تفاوت‌های فیزیولوژیک این گونه‌هاست. تقاطع خط A با محور عمودی حداکثر میزان نیرویی را نشان می‌دهد که پرنده می‌تواند در یک حرکت انفجاری تولید کند؛ اما حفظ این مقدار نیرو در طی زمان منجر به تخلیهٔ ذخایر انرژی پرنده می‌شود. تقاطع خط B با محور عمودی میزان نیرویی را نشان می‌دهد که پرنده می‌تواند در مدت زمان طولانی‌تری حفظ کند.

نمودار ۱ مربوط به گونهٔ *Columba livia* یا کبوتر است. طول بدن این پرنده به‌طور میانگین ۳۳ سانتی‌متر و میزان نیرویی که در یک حرکت انفجاری تولید می‌کند، از مقدار نیروی لازم برای پرواز در سرعت صفر بیشتر است. به همین علت می‌تواند بدون حرکت رو به جلو اوج بگیرد و با افزایش سرعت، پرواز را در سرعت‌های متوسط حفظ کند.

نمودار ۲ مربوط به یکی از اعضای خانوادهٔ Trochilidae یا پرندهٔ شهدخوار است که با میانگین طول بدن ۱۰ سانتی‌متر از کوچک‌ترین پرنده‌ها به شمار می‌رود. بال زدن این پرنده به اندازه‌ای سریع است که بال‌ها هنگام پرواز قابل مشاهده نیست. این نمودار نشان می‌دهد که این پرنده قادر است نیروی مورد نیاز برای پرواز در سرعت صفر را نیز در زمان طولانی حفظ کند. به این معنی که می‌تواند بدون حرکت رو به جلو، در یک نقطه در هوا بماند.

نمودار ۳ پرواز *Gyps africanus* یا کرکس پشت سفید آفریقایی را نشان می‌دهد که از کرکس‌های دنیای قدیم و متعلق به سردهٔ دژکاک است. میانگین طول بدن این پرنده به ۸۸ سانتی‌متر می‌رسد و حداکثر میزان نیرویی که در حرکت انفجاری تولید می‌کند برای پرواز در سرعت صفر کافی نیست. به همین علت برای اوج گرفتن مدتی روی زمین می‌دود، سرعت خود را افزایش می‌دهد و سپس اوج می‌گیرد.

نمودار ۴ مربوط به *Gymnogyps californianus* یا رُخ‌کرکس کالیفرنیا، از کرکس‌های دنیای جدید، است که با میانگین طول بدن ۱۲۵ سانتی‌متر به‌عنوان بزرگ‌ترین گونهٔ پرندگان آمریکای شمالی شناخته شده است. به علت اندازهٔ بزرگ بدن، قادر به حفظ نیروی لازم برای پرواز در هیچ سرعتی نیست. این پرنده که به ندرت بال‌های خود را به هم می‌زند، از صخره‌های مرتفع می‌پرد و تنها در حضور جریان باد می‌تواند پرواز کند.

پی‌نوشت‌ها

1. neuroglia
2. neurotransmitter
3. 5-Hydroxytryptophan
4. Selective serotonin reuptake inhibitor