



پیام رسانه‌ی سلولی: اصول و مکانیسم‌ها

تألیف:

وندل لیم

بروس مایر

تونی پائسون

ترجمه:

دکتر سمیه رئیسی

فروغ طاهری

سرشناسه:	لیم، وندل Lim, Wendell
عنوان و نام پدیدآور:	پیام‌رسانی سلولی: اصول و مکانیسم‌ها/ تالیف وندل لیم، بروس مایر، تونی پائوسون؛ ترجمه سمیه رئیسی، فروغ طاهری؛ ویراستار ادبی امین بنی‌طالبی‌دهکردی.
مشخصات نشر:	شهر کرد: دانشگاه شهر کرد، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری:	۷۹۸ ص.
شابک:	۹۷۸-۹۶۴-۷۶۶۵۸۳-۴
وضعیت فهرست‌نویسی:	فجیا
یادداشت:	عنوان اصلی: Cell signaling: principles and mechanisms.
موضوع:	یاخته‌ها -- اثر متقابل
موضوع:	Cell interaction
موضوع:	یاخته‌ها -- انتقال ماده وراثتی
موضوع:	Cellular signal transduction
شناسه اثر:	مایر، بروس
شناسه افزوده:	Mayer, Bruce
شناسه افزوده:	پروین، تیم، ۱۹۵۲-م.
شناسه افزوده:	Pawson, ۱۹۵۲-
شناسه افزوده:	ری، سمیه، ۱۳۶۳-مترجم
شناسه افزوده:	طاهری، فروغ، مترجم
شناسه افزوده:	شاه شهر کرد
رده‌بندی کنگره:	QH۴۱۲
رده‌بندی دیویی:	۵۷۱/۷۴
شماره کتاب‌شناسی ملی:	۶۱۱۹۶۹۳



انتشارات دانشگاه شهرکرد

نام کتاب:	پیام‌رسانی سلولی: اصول و مکانیسم‌ها
تألیف:	وندل لیم، بروس مایر، تونی پائوسون
ترجمه:	سمیه رئیسی، فروغ طاهری
ویراستار ادبی:	امین بنی‌طالبی‌دهکردی
ناشر:	دانشگاه شهرکرد
امور فنی و اجرایی:	فاطمه قانی
چاپ اول:	زمستان ۱۳۹۸
تیراژ:	۵۰۰ نسخه
قطع:	وزیری
چاپ:	گاندی
قیمت:	۱۸۰۰۰۰ ریال
شابک:	۹۷۸-۹۶۴-۷۶۶۵-۸۳-۴

کلیه حقوق این اثر برای نویسندگان و دانشگاه شهرکرد محفوظ است.
نشانی: چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، بلوار رهبر، انتشارات دانشگاه شهرکرد، صندوق پستی ۱۱۵.

پیش درآمد

توانایی احساس محیط اطراف و واکنش نسبت به آن یکی از بنیادی‌ترین ویژگی‌های مشترک در میان همه جانداران زنده است. جانداران تک‌سلولی توانایی آن را دارند که به جستجوی مواد خوراکی بروند، از مواد سمی دور شوند و شکل، بیان ژن‌ها و سوخت‌وساز خود را بسته به شرایط محیط تغییر دهند. به‌ویژه جانوران و گیاهان پرسلولی حتی برهم‌کنش‌های نامحسوس‌تر و پیچیده‌تری میان سلول‌ها و محیط بیرون نیاز دارند. هر سلول به تنهایی توانایی درک حسی و ادغام متادیر بسیار زیادی از اطلاعات را دارد و از آنها برای تصمیم‌گیری دربارهٔ این که آیا باید رشد کند، سیم‌بندی، مهاجرت کند، شکل مشخصی را به خود بگیرد یا حتی بمیرد استفاده می‌کند. یک جاندار پسند سارلی بدون این تصمیم‌ها نه می‌تواند رشد کند و نه می‌تواند یکپارچگی خود به عنوان یک موجود زنده مسجّم را حفظ کند. به هر جایی که نگاه کنیم، پیام‌رسانی سلولی را در آن می‌بینیم.

رشتهٔ پیام‌رسانی سلولی (یا چنان که معمولاً نام می‌شود «هدایت سیگنال») در تاریخچهٔ کوتاه خودش اغلب با توجه به دیدگاه فردی و عیقات فیزیولوژیکی از بالا به پایین تدریس می‌شده است؛ برای نمونه شناخت این که یک سارل چگونه به یک نوع مشخص از هورمون‌ها مانند insulin یا epinephrine پاسخ می‌دهد. با این حال این روش هر روز نامناسب‌تر می‌شود، زیرا ما در تلاش بودیم تا درک کنیم و توضیح دهیم که چگونه هزاران پروتئین مربوط به پیام‌رسانی چگونه در شبکه‌های بسیار گسترده و به‌هم‌پیوسته با یکدیگر برهم‌کنش می‌کنند. خوشبختانه، اکنون به خوبی می‌بینیم که فرایندهای گوناگون پیام‌رسانی معمولاً به وسیلهٔ مجموعهٔ بسیار مشابهی از اجزای مولکولی انجام می‌شوند که به نوبهٔ خود معمولاً به هم پیوسته و الگوهای شبکه‌ای یکسانی با هم برهم‌کنش دارند. اکنون می‌توانیم دیدگاهی را در نظر بگیریم که بیشتر از پایین به بالا است و واحدهای سازندهٔ سلسله مراتب پیام‌رسانی وجود دارد که اغلب با روش‌های کلیشه‌ای برای رسیدن به رده‌های مشخصی از رفتارهای سلولی به کار می‌روند. طرح عمومی این کتاب به این صورت است که بهترین راه برای شناخت پیام‌رسانی سلولی با تمرکز بر اصول مشترک طراحی، اجزای سازنده و منطقی است که همهٔ کار پیام‌رسانی را به پیش می‌برند.

ما این کتاب را با پذیرش این دیدگاه نوین از پایین به بالا دربارهٔ پیام‌رسانی سلولی نوشته‌ایم و بر اصول و سازوکارهایی تمرکز داشته‌ایم که بنیاد بسیاری و شاید همهٔ فرایندهای پیام‌رسانی سلولی

هستند. بنابراین بیشتر بر اشتراک یا سازوکارهای بنیادی تمرکز داریم تا گوناگونی مثال‌های مشخص. همچنان‌که به دورهٔ پس از ژنوم‌شناسی وارد می‌شویم، پژوهش‌ها نیز از کشف مولکول‌های خاص در پیام‌رسانی دور می‌شوند و به سوی شناخت چگونگی انجام رفتارهای تنظیمی نامحسوس و پیچیدهٔ سلولی می‌رود. درک این‌که مولکول‌های ساده چگونه به‌طور ویژه با یکدیگر برهم‌کنش انجام می‌دهند تا سامانه‌ای با ویژگی‌های پاسخ‌های تازه را بسازند و همچنین شناخت چگونگی تکامل یافتن چنین رفتارهای واکنش تا این حد گوناگون تا حدود زیادی در قالب دانش پیام‌رسانی سلولی قرار دارد. پیام‌رسانی زمینه‌ای از دانش است که درک ما به صورت فزاینده در آن رشد می‌کند و دیدگاه‌های ما به‌طور مداوم در حال دگرگونی هستند. درحالی‌که دانش و دگرگونی‌های سریع در این رشته موجب می‌شود نوشتن یک کتاب درسی دربارهٔ آن با چالش روبه‌رو باشد، ولی ما به ویژه در یک دورهٔ هیجان‌انگیز به سر می‌بریم و تلاش می‌کنیم تا چهارچوب مفهومی اصول مولکولی اصلی را مطرح کنیم که در این زمینه نوظهور از دانش به وجود آمده‌اند.

به خاطر سپردن جزئیات “چه کسی چه کاری را در چه زمانی برای چه کسی انجام داد” برای تعدادی از مسیرهای پیام‌رسانی مشخص به یژه زمانی که بیشتر مسیرها با عبارت‌های مخفف سه‌حرفی که مانند هم هستند شناخته می‌شوند مانند یک دستور کار برای گیج کردن ما باشد. ما امیدوار هستیم که دانشجویان با تمرکز بر الگوها و مفهومی‌های مشترک که بنیاد همهٔ مسیرهای پیام‌رسانی را می‌سازند بهتر بتوانند دریایی و دوطرفهٔ اصلی سامانه را ببینند و توانایی آن را داشته باشند که این شناخت را برای هر مسئلهٔ مربوط به پیام‌رسانی که با آن روبه‌رو می‌شوند به کار ببرند. این کار به‌ویژه در زمانهٔ ما اهمیت دارد که اطلاعات به سرعت فراوان است و جزئیات بسیار زیادی به صورت آماده با فشردن چند کلید در دسترس قرار دارند. ما امیدوار هستیم که این کتاب بتواند اصول ژرف‌تر موضوع که نمی‌توانند به صورت فشرده در سال‌های [Wikipedia](https://www.wikipedia.org/) ارائه شوند را به خوانندگان منتقل نماید.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	فصل اول - مقدمه‌ای بر پیام‌رسانی سلولی
۲.....	۱-۱- پیام‌رسانی سلولی چیست؟
۲.....	۱-۲- همه سلول‌ها این توانایی را دارند که به محیط اطراف خود واکنش نشان دهند
۵.....	۱-۳- سلول‌ها باید بازه گسترده‌ای از سیگنال‌ها را دریافت کنند و به آنها پاسخ دهند
۸.....	۱-۴- سیستم‌های پیام‌رسانی باید چند مشکل عمومی را حل کنند
۱۰.....	۱-۵- نشر کاسی پیام‌رسانی در فرایندهای زیستی
۱۱.....	۱-۶- مگرایی کارهای پژوهشی در بسیاری از زمینه‌های متفاوت به‌منظور کشف سازوکارهای زیربنایی پیام‌رسانی
۱۴.....	۱-۷- با وجود تنوع مسیرها سازوکارهای پیام‌رسانی، اشتراکات بنیادی نیز پیدا شده است
۱۷.....	۱-۸- پیام‌رسانی باید چنین مقیاس زمانی و مکانی انجام شود
۲۱.....	۱-۹- جریان‌های مولکولی در پردازش اطلاعات
۲۱.....	۱-۱۰- اطلاعات با استفاده از تغییر در پروتئین‌ها منتقل می‌شوند
۲۴.....	۱-۱۱- تعداد محدودی از روش‌ها برای تغییر حالت پروتئین وجود دارد
۲۷.....	۱-۱۲- بیشتر دگرگونی‌های حالت، شامل تغییر همزمان در چندین نوع مختلف از حامل‌های اطلاعات هستند
۳۰.....	۱-۱۳- ارتباط گره‌های پیام‌رسانی با مسیرها و شبکه‌ها
۳۱.....	۱-۱۴- جابه‌جایی اطلاعات از طریق ارتباط میان موارد تغییر حالت
۳۲.....	۱-۱۵- ارتباط چندین تغییر حالت با یکدیگر برای ایجاد مسیرها و شبکه‌های پیام‌رسانی
۳۳.....	۱-۱۶- ساختار سلسله‌مراتبی در سیستم‌های پردازش اطلاعات سلولی
۳۶.....	خلاصه
۳۶.....	پرسش‌ها
۳۸.....	منابع
۳۹.....	فصل دوم - اصول و سازوکارهای برهم‌کنش پروتئین‌ها
۴۰.....	۲-۱- ویژگی‌های برهم‌کنش‌های پروتئین-پروتئین
۴۱.....	۲-۲- تغییر در شرایط پیوند پروتئین‌ها هم به‌صورت مستقیم و هم غیرمستقیم بر کارایی آنها اثر می‌گذارد
۴۴.....	۲-۳- پیوند پروتئین‌ها ممکن است به‌وسیله سطوح برهم‌کنشی گسترده یا به‌وسیله پپتیدهای خطی کوتاه تحت تأثیر قرار بگیرد
۴۸.....	۲-۴- تمایل و اختصاصی بودن یک برهم‌کنش، احتمال رخ دادن آن در سلول را تعیین می‌کنند

۵-۲- قدرت یک برهم کنش پیوندی به وسیله ثابت جدایی (K_d) تعیین می شود.....	۵۱
۶-۲- ثابت جدایی با انرژی پیوند برهم کنش ارتباط دارد.....	۵۴
۷-۲- ثابت جدایی همچنین با آهنگ پیوند و آهنگ جدایی ارتباط دارد.....	۵۷
۸-۲- برهم کنش های پروتئینی در محتوای سلولی و مولکولی.....	۶۰
۹-۲- ثابت جدایی ظاهری می تواند به شدت تحت تأثیر محیط موضعی سلول ها و دیگر شریک های پیوند قرار بگیرد.....	۶۱
۱۰-۲- میزان ایده آل تمایل و اختصاصی بودن به کارکرد زیست شناختی و چگالی لیگاند ها بستگی دارد.....	۶۳
۱۱-۲- تمایل اختصاصی بودن برهم کنش می تواند به طور مستقل از هم تنظیم شوند.....	۶۸
۱۲-۲- توانایی همکار شامل پیوند جفتی با چندین لیگاند نیز می شود.....	۷۲
۱۳-۲- سازوکارها گوناگون مولکولی که اساس توانایی همکاری را تشکیل می دهند.....	۷۴
۱۴-۲- پیوند در حالت همکار پیدایندگی های کارکردی گوناگونی دارد.....	۷۵
۱۵-۲- ساختارهای پروتئینی از نظر پایداری و هم گونی با یکدیگر تفاوت دارند.....	۷۸
خلاصه.....	۸۰
پرسش ها.....	۸۰
منابع.....	۸۳
فصل سوم- آنزیم های پیام رسانی و تنظیم آلوستریک آنها.....	۸۵
۱-۳- اصول کاتالیز آنزیمی.....	۸۷
۲-۳- آنزیم ها دارای چند ویژگی هستند که موجب کارایی آنها برای ماندن سیگنال در سلول می شوند.....	۸۸
۳-۳- آنزیم ها از سازوکارهای گوناگونی برای افزایش میزان واکنش های شیمیایی بهره می برند.....	۹۰
۴-۳- آنزیم ها می توانند واکنش ها را با استفاده از جفت شدگی انرژی در یک جهت پیش ببرند.....	۹۳
۵-۳- تغییرات آلوستریک در ساختار فضایی.....	۹۵
۶-۳- انعطاف پذیری ساختار فضایی پروتئین ها امکان کنترل آلوستریک را فراهم می آورد.....	۹۵
۷-۳- پروتئین های پیام رسانی از گروه های گوناگون بازآرایی در ساختار فضایی خود استفاده می کنند.....	۹۸
۸-۳- پیوند پروتئین با فسفات به عنوان یک سازوکار تنظیم.....	۱۰۰
۹-۳- فسفریلاسیون می تواند به عنوان یک نشانه تنظیمی به کار رود.....	۱۰۰
۱۰-۳- پیوند با فسفات می تواند موجب ایجاد ساختار پروتئینی یا اختلال در آن گردد.....	۱۰۲
۱۱-۳- کینازهای پروتئین.....	۱۰۶

۱۳-۳- حلقه فعال سازی و مارپیچ C ابزارهای مولکولی حفاظت شده ای هستند که فعالیت کیناز را با استفاده از ساختار فضایی کنترل می کنند.....	۱۰۸
۱۴-۳- فعالیت کیناز گیرنده انسولین از راه پیوند حلقه فعال سازی با فسفات کنترل می شود.....	۱۱۱
۱۵-۳- پیوند با فسفات در محدوده وسیعی از تنظیمات ساختار فضایی خانواده کینازهای Src دخالت دارد.....	۱۱۳
۱۶-۳- چندین برهم کنش پیوندی وجود دارند که حالت اختصاصی بودن هدف را برای پروتئین کیناز تنظیم می کنند.....	۱۱۵
۱۷-۳- کینازهای پروتئین می توانند به ۹ خانواده تقسیم شوند.....	۱۱۹
۱۸-۳- پروتئین فسفات.....	۱۲۰
۱۹-۳- متالوانزها با سواز، فسفاتازهای سرین/ترئونین عمل می کنند.....	۱۲۲
۲۰-۳- بیشتر تیروزین فسفاتازها از دنباله کاتالیزوری سیستمین استفاده می کنند.....	۱۲۶
۲۱-۳- فسفاتازهای تیروزین به وسیله دامین های تعدیل کننده تنظیم می شوند؛ در حالی که فسفاتازهای سرین/ترئونین اغلب با واحدهای فرعی همراه می شوند.....	۱۳۰
۲۲-۳- پیام رسانی پروتئین G.....	۱۳۲
۲۳-۳- پروتئین های G سوئیچ های ساختار..... هستند که به وسیله دو آنزیم مخالف یکدیگر کنترل می شوند.....	۱۳۲
۲۴-۳- حضور GTP-۲ فسفات، ساختار منطقه های I و II، سوئیچ پروتئین G تعیین می کند.....	۱۳۴
۲۵-۳- دو دسته اصلی پروتئین G برای پیام رسانی وجود دارند.....	۱۳۶
۲۶-۳- خانواده های فرعی G پروتئین های کوچک کارکردهای زیست شیمیایی مختلفی را تنظیم می کنند.....	۱۳۷
۲۷-۳- بسیاری از گیرنده های بالادستی به طور مشترک به یک مجموعه کوچک از پروتئین های G هتروتریمری می رسند.....	۱۳۹
۲۸-۳- آنزیم های تنظیمی برای پیام رسانی پروتئین های G.....	۱۴۳
۲۹-۳- "گیرنده های جفت شده با پروتئین G" برای پروتئین های G هتروتریمری به عنوان GEF عمل می کنند.....	۱۴۳
۳۰-۳- دامین های مشخصی در GEF و GAP ها خانواده های پروتئین G کوچک را تنظیم می کنند.....	۱۴۵
۳۱-۳- GEF ها با تغییر شکل فرورفتگی پیوند نوکلئوتید به عنوان کاتالیزور برای فرایند تبادل GDP/GTP عمل می کنند.....	۱۴۹
۳۲-۳- GAP ها دستگاه مربوط به کاتالیزوری را برای هیدرولیز مرتب می کنند.....	۱۵۱
۳۳-۳- پروتئین های تنظیم کننده پیام رسانی پروتئین های G (RGS) برای پروتئین های G هتروتریمری به عنوان GAP عمل می کنند.....	۱۵۳

۳-۳۴- سازوکارهای دیگری نیز برای تنظیم دقیق کار پروتئین های G به کار می روند.....	۱۵۳
۳-۳۵- آبشارهای آنزیمی پیام رسانی.....	۱۵۵
۳-۳۶- آبشار سه بخشی MAP کیناز یک واحد پیام رسانی را در موجودات یوکاریوت می سازد.....	۱۵۵
۳-۳۷- پروتئین های داربست معمولاً آبشارهای MAPK را سازمان دهی می کنند.....	۱۵۹
۳-۳۸- فعالیت پروتئین G همچنین می تواند به وسیله آبشارهای پیام رسانی تنظیم شود.....	۱۶۲
خلاصه.....	۱۶۵
پرسش ها.....	۱۶۶
منابع.....	۱۶۸
فصل چهارم- تغییرات پس از ترجمه در پیام رسانی.....	۱۷۳
۴-۱- علت تنظیمات پس از ترجمه.....	۱۷۴
۴-۲- پروتئین ها می توانند با روده شدن گروه های کاربردی ساده به صورت کووالانسی دچار تغییر شوند.....	۱۷۴
۴-۳- ساختار پروتئین ها می تواند با اضافه شدن گروه قندی، لیپیدها و حتی پروتئین های دیگر به صورت کووالانسی تغییر کند.....	۱۷۷
۴-۴- تغییرات پس از ترجمه می توانند ساختار، مرکز مکانی و پایداری پروتئین را دگرگون کنند.....	۱۸۰
۴-۵- دستگاه کنترل پس از ترجمه است. عنوان بخش از سیستم های "نویسنده/پاک کننده/خواننده" کار می کند.....	۱۸۴
۴-۶- تغییرات پس از ترجمه امکان پیام رسانی بسیار سریع و جابه جایی اطلاعات مکانی را فراهم می آورند.....	۱۸۵
۴-۷- برهم کنش دوجانبه میان تغییرات پس از ترجمه.....	۱۸۷
۴-۸- یک تغییر پس از ترجمه می تواند انجام تغییرات دیگر را تقویت یا از آنها جلوگیری کند.....	۱۸۸
۴-۹- شدت p53 به وسیله گونه های زیادی از تغییرات پس از ترجمه تنظیم می شود.....	۱۹۲
۴-۱۰- مقدار و فعالیت p53 به وسیله فرایندهای پیوند با یوبیکوئیتین و استیلانزیم تنظیم می شوند.....	۱۹۴
۴-۱۱- تغییرات دیگری که فعالیت p53 را به طور دقیق تر تنظیم می کنند.....	۱۹۵
۴-۱۲- پیوند پروتئین با فسفات.....	۱۹۶
۴-۱۳- پیوند با فسفر اغلب با برهم کنش های پروتئینی همراه است.....	۱۹۷
۴-۱۴- کینازها و فسفاتازها از نظر اختصاصی بودن برای هدف های خود با هم تفاوت دارند.....	۲۰۱
۴-۱۵- پیوند پروتئین ها با چندین فسفات می تواند در نتیجه سازوکارهای مختلفی رخ دهد.....	۲۰۳
۴-۱۶- هیستیدین و دیگر اسید آمینه ها می توانند با فسفات پیوند یابند؛ به ویژه در بدن موجودات پروکاریوت.....	۲۰۵

۱۷-۴	سیستم‌های دویخشی و پیوند هیستیدین با فسفات در یوکاریوت‌ها نیز وجود دارد.....	۲۰۸
۱۸-۴	افزوده شدن یوبیکوئیتین و پروتئین‌های مربوطه.....	۲۱۰
۱۹-۴	آنزیم‌های تخصصی در افزودن یا برداشتن یوبیکوئیتین دخالت دارند.....	۲۱۰
۲۰-۴	لیگازهای E3 یوبیکوئیتین تعیین می‌کنند که کدام پروتئین‌ها با یوبیکوئیتین پیوند یابند.....	۲۱۳
۲۱-۴	دمین‌های پیوند با یوبیکوئیتین، سیگنال‌های تغییر داده‌شده به‌وسیله یوبیکوئیتین را در قالب فعالیت‌های گوناگون سلولی می‌خوانند.....	۲۱۵
۲۲-۴	پیوند میستون با استیل و متیل.....	۲۱۹
۲۱-۴	مختار کروماتین به‌وسیله تغییرات پس از ترجمه هیستون‌ها و پروتئین‌های مربوط به آنها تنظیم می‌شود.....	۲۱۹
۲۴-۴	دو سیستم نشانه‌گذاری/پاک‌کننده/خواننده بر پایه پیوند پروتئین با متیل و استیل وجود دارند.....	۲۲۲
۲۵-۴	تغییر کروماتین به‌وسیله پویا انجام می‌شود و منجر به برهم‌کنش‌های بسیار هماهنگی می‌شود.....	۲۲۵
	خلاصه.....	۲۲۹
	پرسش‌ها.....	۲۲۹
	منابع.....	۲۳۱
۲۳۵	فصل پنجم - تمرکز درون سلولی مولکول‌های پیام‌رسان	
۱-۵	مکان‌یابی به‌عنوان یک روش معمول در پیام‌رسان.....	۲۳۶
۲-۵	تغییر در مکان اجزا در درون سلول می‌تواند موجب به‌دست‌آوردن اطلاعات شود.....	۲۳۷
۳-۵	موقعیت مکانی در درون سلول می‌تواند به‌وسیله بسیاری از سایر ابزارها تنظیم شود.....	۲۴۰
۴-۵	کنترل مکان‌یابی در هسته.....	۲۴۱
۵-۵	موتیف‌های کوتاه و تعدیل‌کننده فرایند ورود و خروج از هسته را هدایت می‌کنند.....	۲۴۱
۶-۵	جابه‌جایی هسته‌ای به‌وسیله پروتئین‌های ناقل و پروتئین G به نام Ran کنترل می‌شود.....	۲۴۲
۷-۵	پیوند فاکتور رونویسی Pho4 با فسفات ورود و خروج مواد از هسته را تنظیم می‌کند.....	۲۴۴
۸-۵	ورود STAT‌ها به هسته به‌وسیله پیوند با فسفات و تغییر ساختار فضایی مولکول تنظیم می‌شود.....	۲۴۷
۹-۵	موقعیت مکانی کینازهای MAP به‌وسیله همراه شدن با شریک‌های پیوندی در هسته و سیتوزول کنترل می‌شود.....	۲۴۸
۱۰-۵	مکان‌یابی Notch در درون هسته به‌وسیله فرایند پروتئولیز تنظیم می‌شود.....	۲۵۰
۱۱-۵	کنترل موقعیت مکانی در غشا.....	۲۵۲

۱۲-۵- پروتئین‌ها می‌توانند در دو طرف غشا گسترش یابند، یا آنکه در کنار غشا و متصل به آن باشند	۲۵۲
۱۴-۵- دمین‌های تعدیل‌کننده مربوط به پیوند با لیپیدها برای تنظیم پیوند پروتئین‌ها با غشا اهمیت دارند	۲۵۷
۱۵-۵- برخی از پروتئین‌های تغییر یافته به وسیله لیپیدها می‌توانند به صورت برگشت‌پذیر با غشاها پیوند یابند	۲۵۹
۱۶-۵- یکی از فرایندهای رایج در پیام‌رسانی، شامل فعال شدن پروتئین اجرایی جفت‌شدگی و فراخوانی آن در غشا می‌باشد	۲۶۱
۱۷-۵- یک سیناز به نام Akt به وسیله فراخوانی در غشا و پیوند با فسفات تنظیم می‌شود	۲۶۳
۱۸-۵- تنظیم پیام‌رسانی به وسیله نقل و انتقالات غشائی	۲۶۴
۲۰-۵- به درون کشر شدن رنده‌ها می‌تواند در فرایندهای انتقال سیگنال دخالت کند	۲۶۷
۲۱-۵- خروجی سیگنال TCR سازوکار اندوسیتوز گیرنده‌ها بستگی دارد	۲۶۹
۲۲-۵- پیام‌رسانی رو به غشا ایجاد آبر در فاصله زیاد از جایگاه پیوند لیگاند را ممکن می‌سازد	۲۷۰
۲۳-۵- ایزوفرم‌های Ras در سلول‌ها مشخص در درون سلول دارای سیگنال‌های خروجی متفاوتی هستند	۲۷۱
خلاصه	۲۷۵
پرسش‌ها	۲۷۵
منابع	۲۷۶
فصل ششم - پیام‌رسان‌های ثانویه: واسطه‌های کوچک پیام‌رسانی	۲۷۹
۱-۶- ویژگی‌های مولکول‌های کوچک واسطه پیام‌رسانی	۲۸۰
۲-۶- واسطه‌های کوچک پیام‌رسانی به وسیله تعادل میان میزان تولید و نابودی آنها کنترل می‌شوند	۲۸۰
۳-۶- واسطه‌های کوچک پیام‌رسانی اثرهای خود را به وسیله پیوند فنی با مولکول‌های اجرایی پایین‌دستی ایجاد می‌کنند	۲۸۳
۴-۶- واسطه‌های کوچک پیام‌رسانی می‌توانند موجب انتقال سریع، با فاصله و تقویت سیگنال شوند	۲۸۴
۵-۶- واسطه‌های کوچک پیام‌رسانی می‌توانند الگوهای زمانی و فضایی پیچیده‌ای را ایجاد کنند	۲۸۶
۶-۶- انواع گوناگون واسطه‌های کوچک پیام‌رسانی	۲۸۸
۷-۶- واسطه‌های کوچک پیام‌رسانی دارای محدوده وسیعی از ویژگی‌های فیزیکی هستند	۲۹۰
۸-۶- نوکلئوتیدهای حلقوی cAMP و cGMP به وسیله آنزیم‌های سیکلاز ساخته می‌شوند و به وسیله آنزیم‌های فسفودیاستراز از بین برده می‌شوند	۲۹۱