

# اصول سیتوژنتیک

تألیف

دکتر علی ایزدی دربندی  
عضو هیأت علمی دانشگاه تهران

دکتر ابراهیم ترکتاز  
دکتر فاطمه امینی



شماره مسلسل ۹۶۲۸

شماره انتشار ۳۳۴۵

### انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: ایزدی دربندی، علی.
عنوان و نام پدیدآور	: اصول سیتوژنتیک / تألیف علی ایزدی دربندی، ابراهیم ترکناز، فاطمه امینی.
وضعیت ویراست	: ویراست ۲
مشخصات نشر	: تهران : دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۲۳۷ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ ۳۳۴۵
شابک	: 978-964-03-6419-2
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا.
یادداشت	: چاپ سوم (ویراست جدید)
موضوع	: یاخسته‌شناسی ژنتیک.
موضوع	: Cytogenetics
شناسه افزوده	: ترکناز، ابراهیم، ۱۳۶۷ -
شناسه افزوده	: امینی، فاطمه
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات.
رده‌بندی کنگره	: QH۴۳۰ ۱۳۹۸
رده‌بندی دیویی	: ۵۷۲/۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۸۲۲۷۸۶

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود.  
(این کتاب با کاغذ حمایتی به چاپ رسیده است.)



عنوان: اصول سیتوژنتیک  
تألیف: دکتر علی ایزدی دربندی - دکتر ابراهیم ترکناز - دکتر فاطمه امینی  
نوبت چاپ: سوم (ویراست جدید)  
تاریخ انتشار: ۱۳۹۸  
شمارگان: ۲۰۰ نسخه  
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران  
چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

بها: ۲۸۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران  
پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir  
پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲



## فهرست مطالب

پیشگفتار .....	ز
فصل اول - ماهیت ماده ژنتیکی .....	۱
مقدمه .....	۱
انتخاب نوکلئوتیدهای زیستی طی تکامل .....	۳
RNA به عنوان ماده ژنتیکی .....	۴
اشکال فضایی و فعالیت‌های مختلف RNA .....	۵
انواع RNA .....	۶
ساختمان DNA .....	۶
عوامل پایدارکننده DNA .....	۸
انواع DNA دو رشته‌ای .....	۹
ساختار پالیندرم .....	۱۲
شکل‌های D,C و E در ملکول DNA دو رشته‌ای .....	۱۲
DNA سه رشته‌ای یا H-DNA .....	۱۲
چهاررشته‌ای (I-DNA یا G-DNA) .....	۱۳
خصوصیات کلی توالی‌های ژنومی .....	۱۴
توالی‌های تک‌نسخه‌ای .....	۱۴
توالی‌های با تکرار متوسط .....	۱۵
توالی تکراری کوتاه متفرق یا SINE .....	۱۵
توالی تکراری بلند متفرق LINE .....	۱۵
توالی‌های با تکرار زیاد .....	۱۶
خانواده ژنی .....	۱۷
خانواده ژنی هموگلوبین .....	۱۷
برخی بیماری‌های مربوط به هموگلوبین .....	۱۸
بتاتالاسمی .....	۱۹

۲۱.....	<b>فصل دوم - ژنوم و همانندسازی</b>
۲۱.....	ژنوم موجودات مختلف
۲۱.....	ژنوم ویروس ها
۲۲.....	ژنوم پروکاریوت ها
۲۲.....	ژنوم میتوکندری و کلرو پلاست
۲۴.....	DNA کلروپلاست
۲۵.....	همانندسازی در باکتریوفاژهای DNA دار
۲۶.....	همانندسازی در باکتریوفاژ QX174
۲۷.....	همانندسازی باکتریوفاژ لامبدا
۲۸.....	همانندسازی در پروکاریوت ها
۳۱.....	همانندسازی DNA در یوکاریوت ها
۳۴.....	آنتیبیوتیک های مؤثر روی همانندسازی DNA
۳۵.....	همانندسازی DNA در میتوکندری و کلروپلاست
۳۷.....	<b>فصل سوم - از DNA دو رشته ای تا کروموزوم و اجزای آن</b>
۳۷.....	سازمان نوکلئوزومی DNA
۳۹.....	شکل ظاهری کروموزوم
۴۱.....	سانترومر
۴۲.....	سانترومر پراکنده
۴۲.....	ساختمان ملکولی سانترومر
۴۳.....	تقسیم بندی کروموزوم ها
۴۴.....	کینتوکور
۴۵.....	تلومر
۴۷.....	فرورفتگی ثانویه
۵۱.....	<b>فصل چهارم - انواع مختلف کروموزوم و چگونگی عمل آنها</b>
۵۱.....	کروموزوم B
۵۲.....	تنوع در تعداد و اثرات کروموزوم های B
۵۵.....	ایزو کروموزوم
۵۶.....	کروموزوم اقماری

فهرست □ ج

۵۶.....	کروموزوم‌های جنسی
۵۷.....	کروموزوم جنسی Y در انسان
۵۹.....	کروموزوم جنسی X در پستانداران
۶۱.....	کروموزوم لمپ بر اشیا بطری‌شوی
۶۳.....	کروموزوم پلانتینا غولپیکر
۶۶.....	کروموزوم‌های غدد بزاقی مگس سرکه
۶۸.....	کروموزوم فیلادلفیا
۶۸.....	ایزو کروموزوم‌های کاذب
۶۹.....	کروموزوم‌های دو سانترومری
۷۰.....	کروموزوم‌های چند سانترومری
۷۰.....	کروموزوم‌های هولوسانتریک

۷۳.....	فصل پنجم - نواربندی کروموزوم و تعیین کاریوتیپ
۷۳.....	نواربندی یا باندینگ کروموزومی
۷۳.....	نواربندی G
۷۴.....	نواربندی C
۷۵.....	باندینگ Q
۷۶.....	نواربندی معکوس یا باندینگ R
۷۶.....	کاریوتیپ
۷۸.....	کاریوتیپ و کروموزوم‌های B
۷۸.....	مراحل مطالعه کاریوتیپ در گیاهان
۸۰.....	۱- شاخص‌های کروموزومی
۸۱.....	۲- شاخص‌های کاریوتیپی
۸۲.....	تقارن کاریوتیپی
۸۲.....	روش‌های تشخیص تقارن کاریوتیپی
۸۵.....	دستورالعمل مشاهده مراحل تقسیم میوز در گیاهان

۸۹.....	فصل ششم - بررسی ملکولی لینکاژ و کراسینگ‌آور
۸۹.....	مقدمه
۸۹.....	انواع لینکاژ

## ح □ اصول سیتوژنتیک

۹۱.....	کراسینگ‌آور و میزان نوترکیبی
۹۲.....	آرایش ژن‌ها در لینکاژ
۹۳.....	عوامل مؤثر بر وقوع کراسینگ‌آور
۹۳.....	جنسیت
۹۳.....	حرارت
۹۳.....	آنتی بیوتیک‌ها
۹۳.....	ژن‌ها
۹۴.....	فاصله ژن‌ها از سانترومر
۹۴.....	ارتباط میان کیاسما و کراسینگ‌آور
۹۴.....	تئوری دو صفحه‌ای
۹۵.....	تئوری یک صفحه‌ای
۹۵.....	نقد و بررسی نظریه تئوری یک صفحه‌ای
۹۵.....	نحوه وقوع کراسینگ‌آور
۹۷.....	سازوکار مولکولی کراسینگ‌آور
۹۸.....	کراسینگ‌آور نابرابر
۱۰۰.....	کراسینگ‌آور مضاعف
۱۰۱.....	تداخل در کراسینگ‌آور
۱۰۲.....	آزمایش اشتراک در اثبات وقوع کراسینگ‌آور
۱۰۳.....	کراسینگ‌آور میتوزی
۱۰۴.....	ترسیم نقشه ژنتیکی

۱۰۷.....	فصل هفتم - بررسی ملکولی جهش‌های کروموزومی و تاثیرات سیتوژنتیکی آنها
۱۰۷.....	جهش‌های کروموزومی
۱۰۷.....	حذف
۱۱۰.....	مضاعف‌شدگی
۱۱۱.....	جاب‌جایی
۱۱۵.....	واژگونی یا وارونگی
۱۱۶.....	وارونگی پاراسانتريک
۱۱۶.....	وارونگی پری سانتريک
۱۱۷.....	تغییرات عددی کروموزوم‌ها

## فهرست □ خ

یوپلوئیدی .....	۱۱۹
مونوپلوئیدی و هاپلوئیدی .....	۱۱۹
پلیپلوئیدی .....	۱۲۰
تری پلوئیدی .....	۱۲۱
تهیه تریپلوئیدها .....	۱۲۲
تتراپلوئیدی .....	۱۲۲
آلویپلوئید و نحوه تولید آزمایشگاهی آن .....	۱۲۴
آنیوپلوئیدی .....	۱۲۴
آنیوپلوئیدها .....	۱۲۵
نولی زومی .....	۱۲۵
مونوزومی .....	۱۲۵
تریزومی .....	۱۲۶
سیتولوژی تریزومی .....	۱۲۷
تترازومی .....	۱۲۸
عدم تفرق کروموزومی در میوز I .....	۱۳۰
عدم تفرق کروموزومی در میتوز .....	۱۳۱
روش تهیه مونوزومیکها .....	۱۳۱
نولی زومیکها .....	۱۳۲
تریزومی و تریزومی مضاعف .....	۱۳۲
تقسیم میوز در تریزومیها .....	۱۳۲
انواع تریزومی .....	۱۳۳
تلوتریزومیک .....	۱۳۴
آکروتیزومیک .....	۱۳۴
تریزومی جبرانی .....	۱۳۴
تترازومیکها .....	۱۳۴
دیزومیکها .....	۱۳۵
ناهنجاریهای حاصل از تغییرات کروموزومی در انسان .....	۱۳۵
سندرم داون .....	۱۳۵
سندرم ادواردز .....	۱۳۵
سندرم پاتائو .....	۱۳۶

## د □ اصول سیتوژنتیک

۱۳۶.....	سندرم ترنر
۱۳۶.....	سندرم کلاین فلتر
۱۳۶.....	کاریوتایپ Y مضاعف
۱۳۶.....	تریزومی X

۱۳۷.....	فصل هشتم - تنوع سوماکلونال و دو رگه سازی بین گونه ای
۱۳۷.....	تنوع سوماکلونال
۱۳۷.....	دورگه سازی سوماتیکی
۱۳۹.....	مزایای دورگه سازی سوماتیکی
۱۳۹.....	محدودیت های دورگه سازی سوماتیکی
۱۴۰.....	دورگه سای جنسی بین گونه ای
۱۴۰.....	انواع دورگ گیری بین گونه ای
۱۴۶.....	آلوپلوئیدهای مصنوعی
۱۴۶.....	نتایج فنوتیپی پلی پلوئیدی
۱۴۷.....	خصوصیات آلوپلوئیدها

۱۴۹.....	فصل نهم - بررسی ملکولی تقسیم سلولی و کنترل چرخه سلول
۱۴۹.....	تقسیم میتوز
۱۴۹.....	مراحل تقسیم میتوز
۱۴۹.....	پروفاز
۱۵۰.....	متافاز
۱۵۰.....	آنافاز
۱۵۱.....	تلوفاز
۱۵۲.....	سیتوکینز
۱۵۳.....	تقسیم میوز
۱۵۳.....	مراحل تقسیم میوز
۱۵۳.....	پروفاز I
۱۵۴.....	لپتونما
۱۵۴.....	زیگونما
۱۵۵.....	پاکی نما



۱۵۷.....	دیپلونما
۱۵۷.....	دیاکینز
۱۵۷.....	متافاز I
۱۵۷.....	آنافاز I
۱۵۸.....	تلوفاز I
۱۵۸.....	سیتوکینز
۱۵۹.....	اینترکینز
۱۵۹.....	تقسیم دوم میوز
۱۵۹.....	میوز II
۱۵۹.....	پروفاز میوز II
۱۵۹.....	متافاز II
۱۵۹.....	آنافاز II
۱۶۰.....	تلوفاز II
۱۶۰.....	سیتوکینز
۱۶۱.....	کنترل چرخه سلولی
۱۶۱.....	فرضیه نقاط اساسی کنترل
۱۶۲.....	MPF یا فاکتور پیش برنده بلوغ
۱۶۴.....	ناهنجاری‌های کروموزومی در طی تقسیم سلولی
۱۶۴.....	آسیناپسیس و دسیناپسیس
۱۶۴.....	علل وقوع آسیناپسیس و دسیناپسیس
۱۶۷.....	<b>فصل دهم - روش فیش در نقشه‌یابی ژنوم</b>
۱۶۷.....	اساس مشاهده میکروسکوپی یک نمونه فلورسنت
۱۶۹.....	کروموزوم‌های مناسب جهت اجرای فیش
۱۷۱.....	روش fiber-FISH
۱۷۲.....	ترکیب مولکولی پویا (DMC)
۱۷۳.....	فیش و حفظ ساختار سه بعدی هسته
۱۷۳.....	کاوشگر
۱۷۵.....	کاوشگرهای به کار رفته در فیش
۱۷۸.....	روش‌های نشاندار کردن DNA

۱۷۹.....	روش شکاف-ترجمه
۱۸۰.....	نشاندار کردن به روش آغازگر تصادفی
۱۸۰.....	روش نشاندار کردن انتهایی
۱۸۱.....	روش PCR
۱۸۱.....	روش های مبتنی بر FISH
۱۸۱.....	فیش چند رنگ (M-FISH)
۱۸۲.....	تغییر رنگ در مراحل تهیه کاربوتیپ (CcK)
۱۸۳.....	فیش مکان های سانترومری (CM-FISH)
۱۸۴.....	فیش مکان های تلومری (TM-FISH)
۱۸۵.....	هیبریداسیون ژنومی تطبیقی (CGH)
۱۸۶.....	کاربوتیپ طیفی (SKY)
۱۸۶.....	فیش سه رنگ
۱۸۷.....	روش گیش (GISH)
۱۸۸.....	کاربردهای روش فیش و گیش
۱۸۸.....	مطالعه هیبریدهای بین گونه ای
۱۹۰.....	مطالعه کاربوتیپ براساس فیش
۱۹۲.....	مطالعه و شناسایی روابط تاکسونامیکی
۱۹۳.....	مطالعه و بررسی کروموزوم های مهندسی شده و گیاهان تراریخت
۱۹۴.....	شناسایی توالی های حفظ شده
۱۹۵.....	توالی یابی همسانه به همسانه نقشه های فیزیکی
۱۹۶.....	مرتبط نمودن نشانگرهای ملکولی و علامت های دورگه سازی
۱۹۸.....	مطالعه رفتار کروموزوم ها در هسته و در طی مراحل تقسیم سلولی
۲۰۳.....	منابع
۲۰۷.....	واژه نامه

## پیشگفتار

سپاس خداوند یکتا را که به ما توفیق عطا کرد تا بتوانیم با تدوین کتاب "اصول سیتوژنتیک" بخشی از نیازهای علمی مشتاقان علم و دانش، دانشجویان عزیز و محققان ارزشمند کشور اسلامی را در زمینه سیتوژنتیک با رویکردی نوین برآورد نماییم. موضوعات این کتاب بر اساس سرفصل‌های مصوب شورای عالی برنامه ریزی دروس دانشگاهی برای درس سیتوژنتیک می‌باشد. تجربه تدریس همزمان و تحقیق در زمینه زیست‌شناسی مولکولی، ژنتیک و سیتوژنتیک در دانشگاه تهران، موجب گردید تا این مقوله تدوین گردد که می‌تواند به عنوان منبع درسی قابل استناد برای دانشجویان رشته‌های کشاورزی و منابع طبیعی، زیست‌شناسی و پزشکی در دوره‌های کارشناسی تا تحصیلات تکمیلی باشد. اصول کلی بیان شده در این کتاب به نحوی است که دانشجویان و محققان عزیز بتوانند به صورت سهل و آسان از آن استفاده نمایند. در فصل اول این کتاب پاره‌ای به معرفی اصول علم سیتوژنتیک و ماهیت ماده ژنتیکی پرداخته شده است تا آشنایی اجمالی با مباحث بعدی فراهم گردد. همانندسازی ژنوم در سطوح مختلف زیستی در فصل دوم، تشریح شده است. در فصل‌های سوم و چهارم به فرایند بسته‌بندی ماده وراثتی و انواع مختلف کروموزوم در موجودات زنده پرداخته شده است. فصل پنجم درباره الگوهای نوآر بندی کروموزوم و شاخص‌های کروموزومی و کاریوتیپی می‌باشد. بررسی مولکولی کراسینگ آور و اثرات جهش‌های بزرگ سیتوژنتیکی بر موجودات و روند تکامل در فصل‌های شش و هفت به تفصیل آورده شده است. در فصل هشتم تلاش شده است تا مختصری در مورد تنوع سوماکلونال و اثرات سیتوژنتیکی آنها بحث گردد و در ادامه چگونگی دورگه‌سازی درون گونه‌ای و بین گونه‌ای و نتایج آنها در روند تکامل و ریخت‌زایی موجودات، مطالعه شده است. در فصل نهم نیز، سعی گردیده است تا شرح کاملی از چرخه سلولی، مراحل، کنترل و تنظیم آن ارایه شود. بر اساس پیشنهادهای خوانندگان محترم بر آن شدیم فصل دیگری را در چاپ جدید با عنوان "روش فیش در نقشه‌یابی ژنوم" به کتاب اضافه نماییم که موجب پاسخ به نیازهای جدید در موضوع سیتوژنتیک مولکولی باشد. در با توجه به سرعت پیشرفت‌های علمی در زمینه ژنتیک و زیست‌شناسی، نمی‌توان مجموعه کاملی را فراهم آورد و بدون شک این کتاب نیز نمی‌تواند بدون نقص باشد. امید است اساتید محترم، دانشجویان عزیز و محققان گرامی ما را از نظرات و پیشنهادات ارزشمند خود بهره‌مند سازند تا به رفع نقایص آن اقدام گردد.

## مؤلفین