

第2章 遗传的细胞学和分子基础

第1节 核酸是遗传物质

第2节 染色体

第3节 细胞分裂和分裂周期

第4节 配子的形成和受精

第5节 生活周期

第1节 核酸是遗传物质

- 一、 DNA是遗传物质的间接证据
- 二、 DNA是遗传物质的直接证据
 - 1、 细菌转化试验
 - 2、 噬菌体侵染与繁殖试验
 - 3、 烟草花叶病毒感染和繁殖实验

一、*DNA是遗传物质的间接证据*

- DNA含量的恒定性；
- DNA代谢的稳定性；
- 存在的普遍性；
- 基因突变与紫外线诱变波长的关系。



1、细菌转化试验

●肺炎双球菌

光滑型（S型）：SI、SII、SIII 有毒性

粗糙型（R型）：RI、RII、RIII 无毒性

●由于菌株间含有不同的多糖和蛋白质，感染动物以后诱导生成的抗体不同，区分为SI、SII、SIII等；R型由S型突变而来，相应为RI、RII、RIII等。

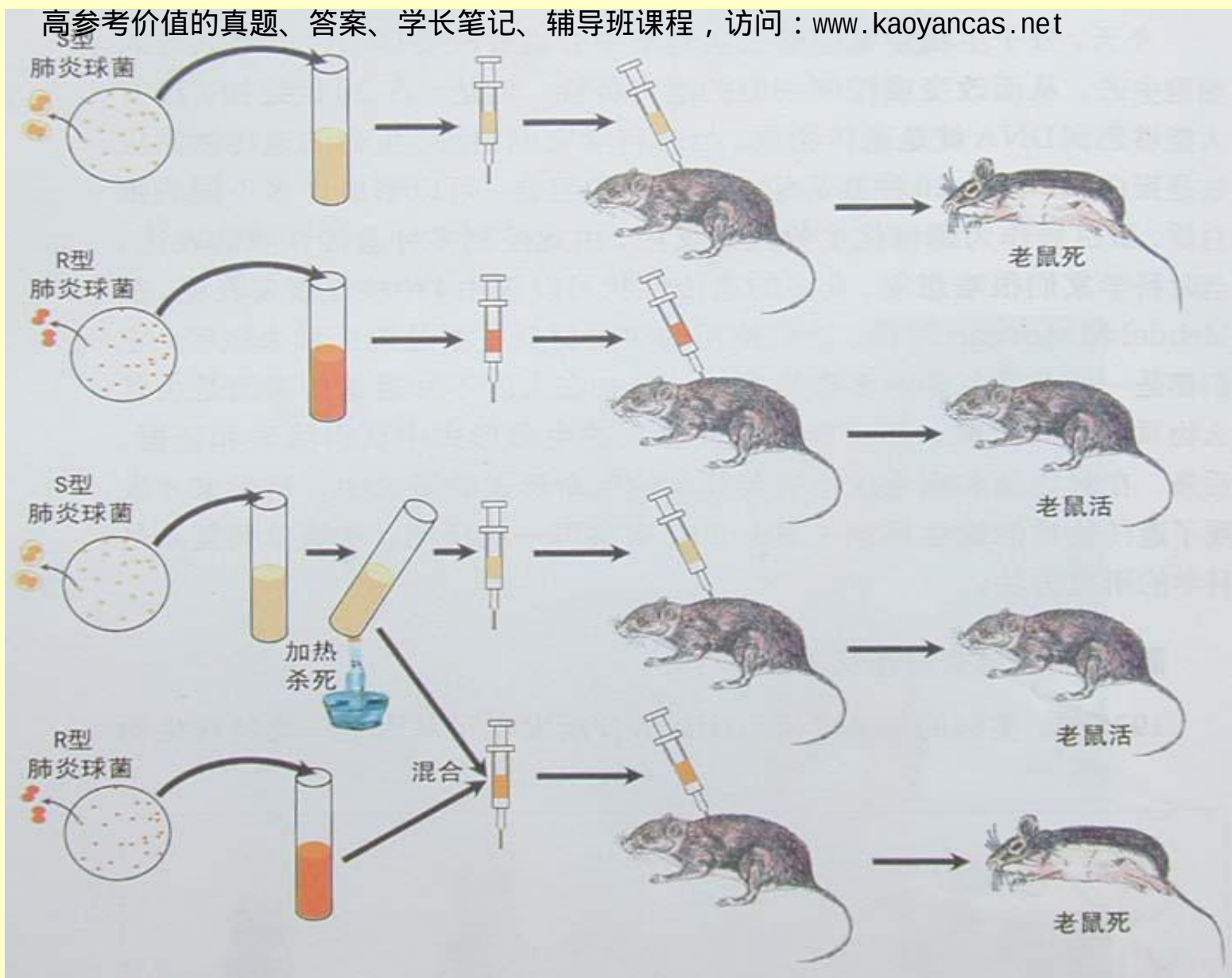
1928年Griffith实验：

SIII型

RII型

SIII型

**SIII +
RII**



1、细菌转化试验

1944年，Avery重复了上述试验。

把**SIII型**的**DNA**，**Pr**，荚膜提取物分别加入**RII型**培养基，结果只有**DNA**使少量**RII型**转化为**SIII型**，并能稳定的遗传下去。说明引起转化的物质是**DNA**。

上述工作是遗传学和生物化学发展的一个里程碑。

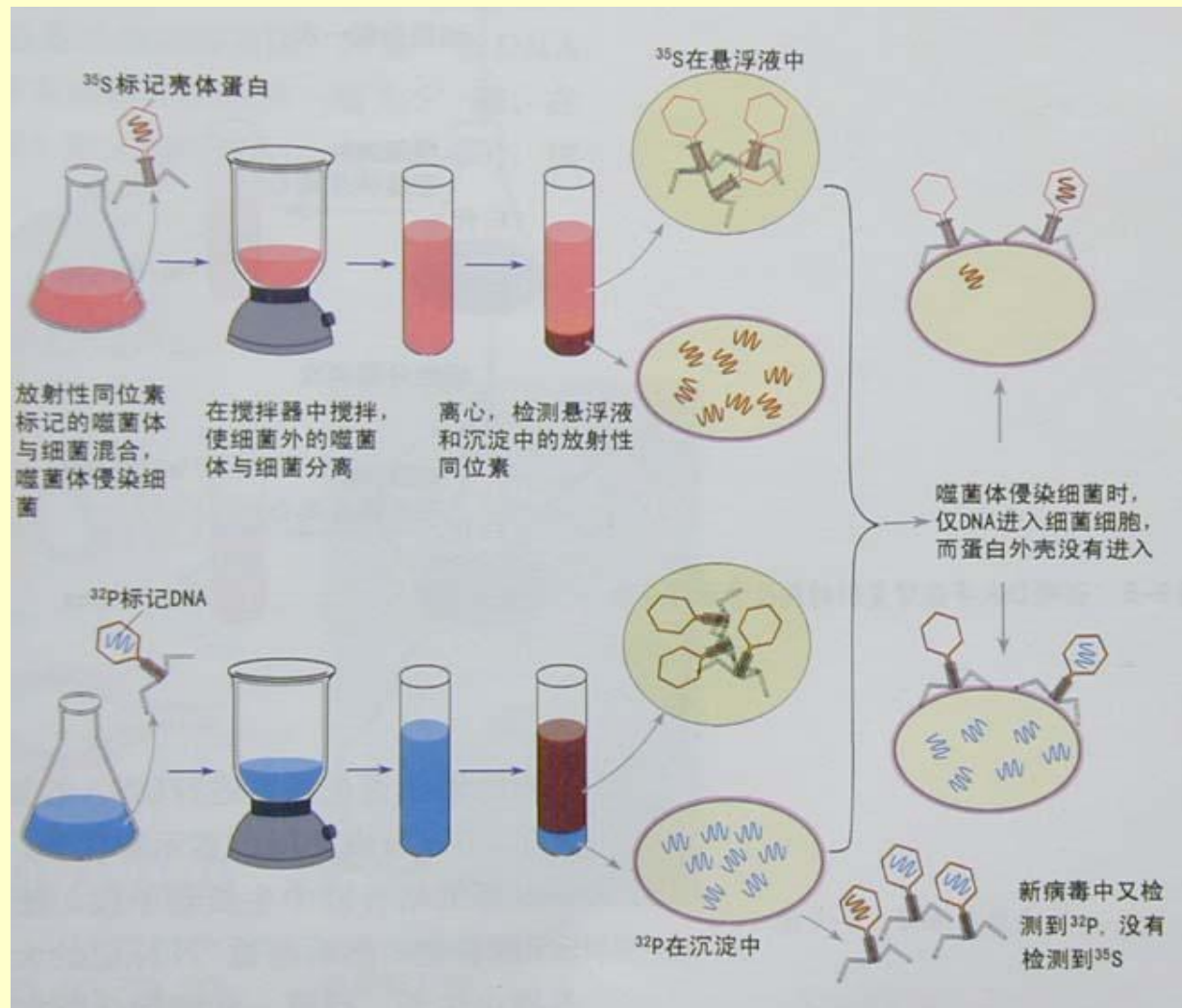
2、噬菌体侵染大肠杆菌实验

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

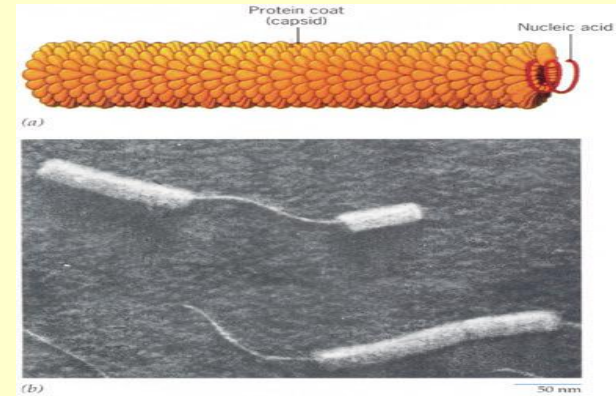
1952年Hershey
等用放射性同
位素标记

★ ^{32}P 标记T2
噬菌体的 DNA
(DNA中无S)

★ ^{35}S 标记T2
噬菌体的 Pr
(Pr中无P)



3、烟草花叶病毒 (TMV) 感染实验



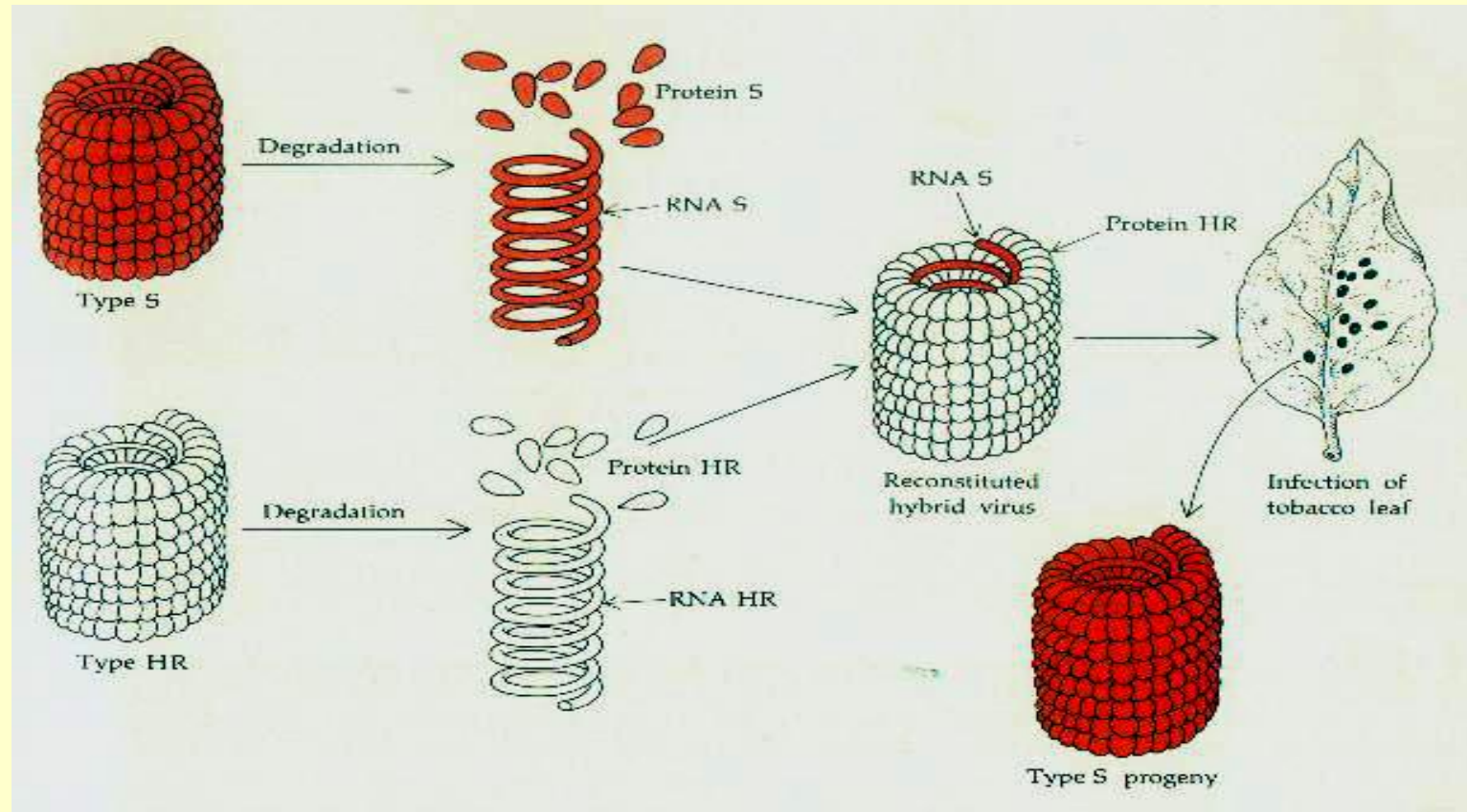
(a)



(b)

3、烟草花叶病毒 (TMV) 感染实验

Frankel-Conrat, Singer (1956) 试验



第2节 染色体

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

◆生物的遗传 子代与亲代相似

- ★雌雄配子起到桥梁作用
- ★含父本和母本的染色体
- ★染色体携带亲本的遗传信息



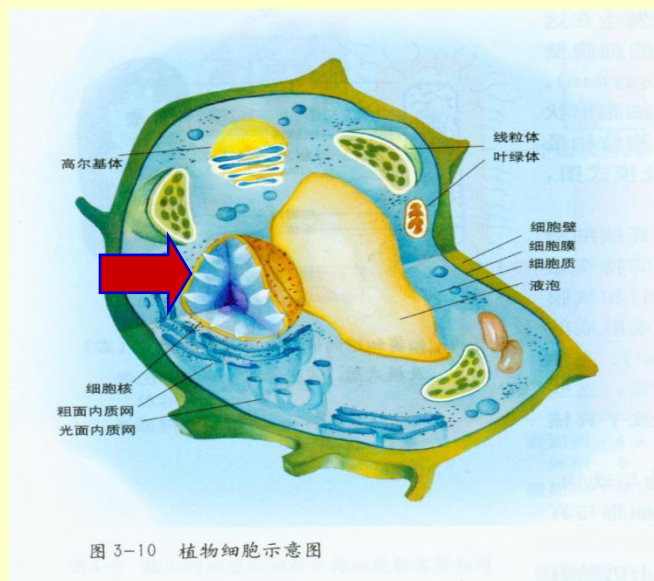
◆因此，了解染色体对于深入认识遗传规律具有重要意义

第2节 染色体

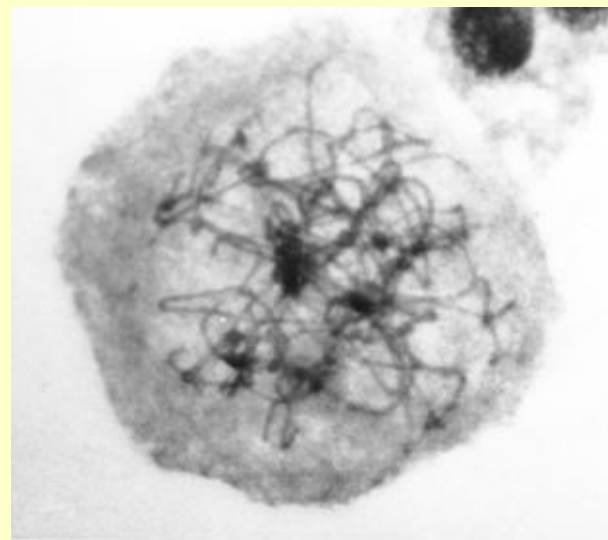
- 一、染色体的形态结构
- 二、染色体的分子结构
- 三、染色体的数目和大小
- 四、特化染色体



一、染色体的形态结构



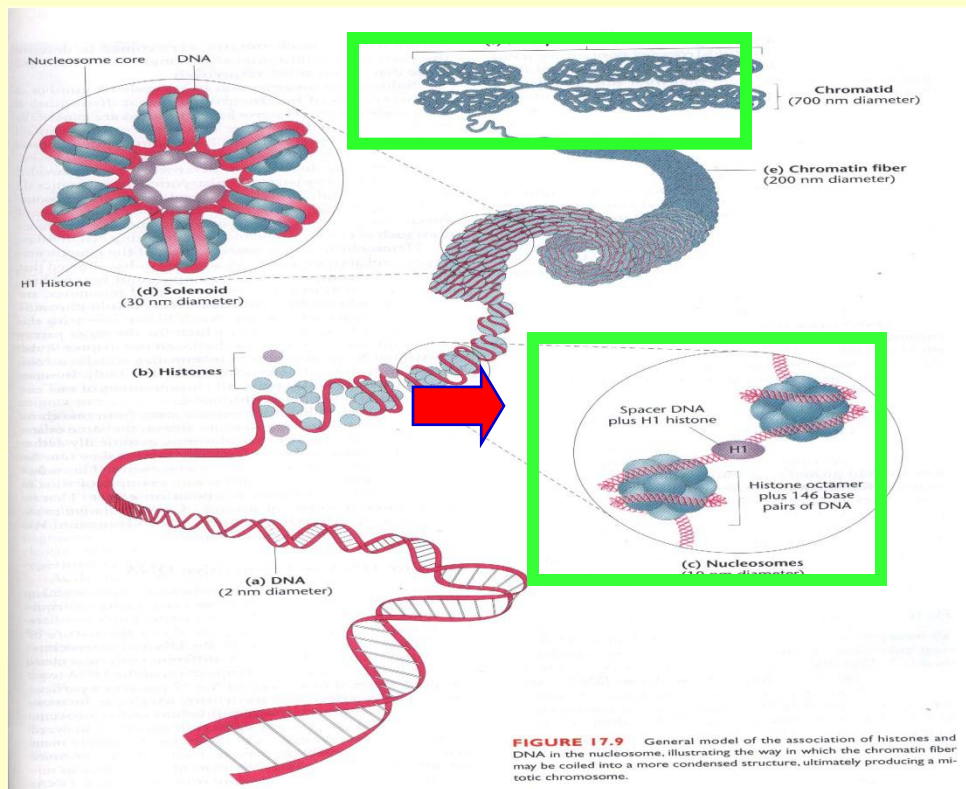
● 细胞分裂间期，能被碱性染料染色的纤细网状物——染色质；



● 分裂期，染色质逐步成为有明显形态和结构的染色体。

一、染色体的形态结构

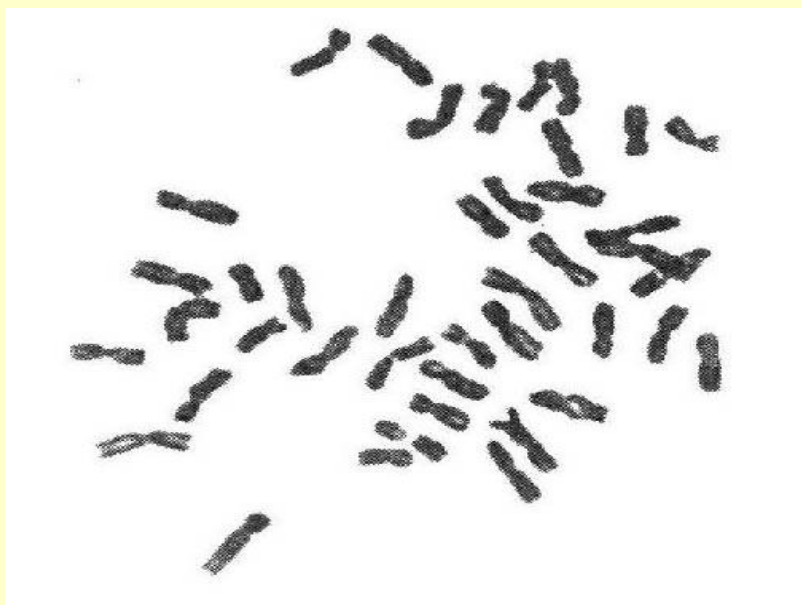
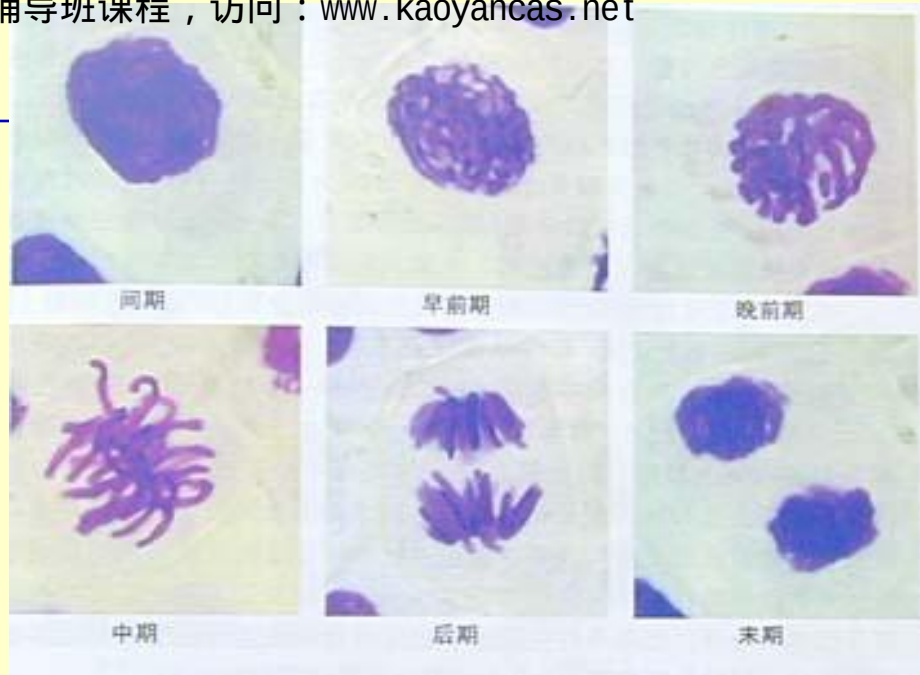
●真核生物染色体是以**DNA与碱性蛋白质结合**的形式存在。



●原核生物染色体是以**DNA裸露**的形式存在。

一、染色体的形态结构

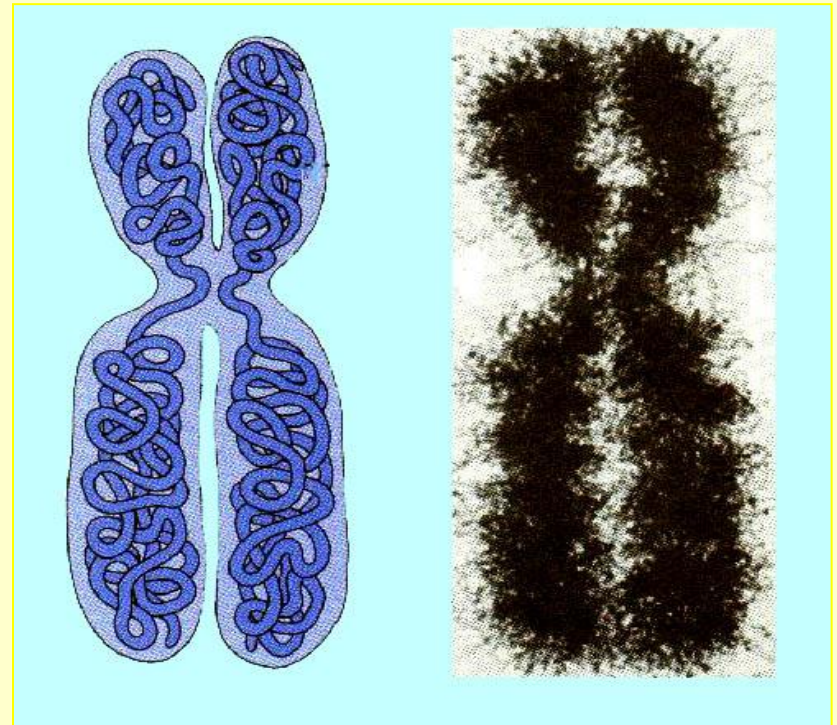
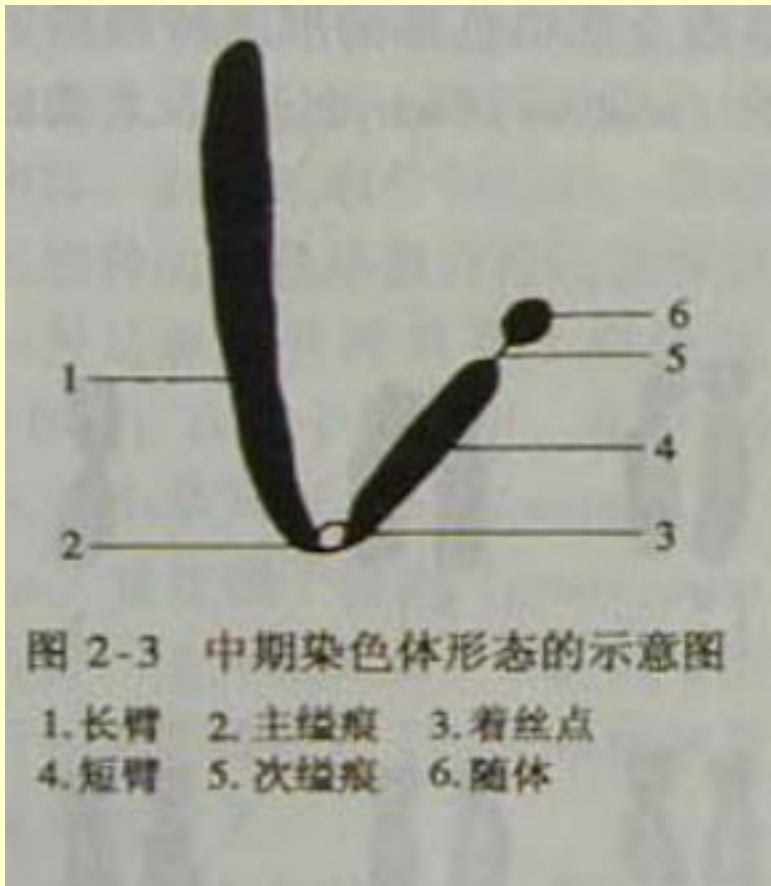
❖ 染色体的形态结构与数目在细胞分裂过程中有一系列规律性变化。



❖ 识别染色体的形态特征的最佳时期是细胞**有丝分裂中期和早后期**。这时染色体收缩程度最大，形态最稳定，并且分散排列、易于计数。

一、染色体的形态结构

主缢痕 臂 次缢痕 随体

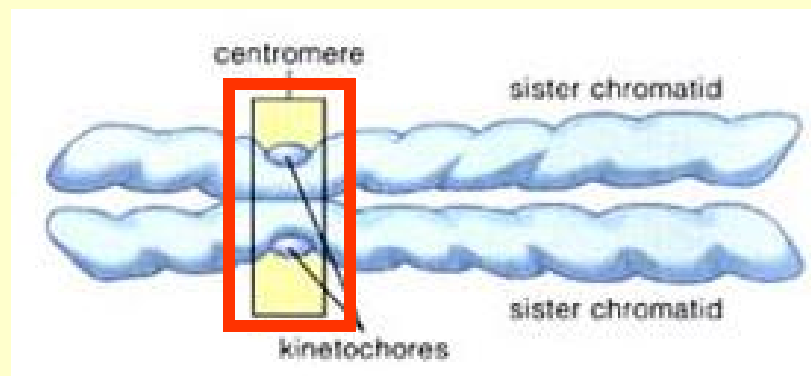
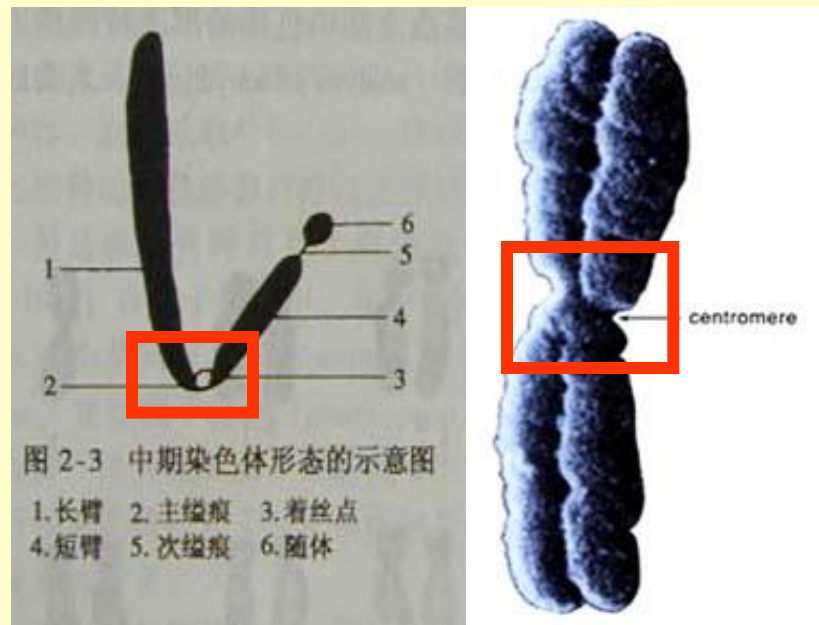


染色单体 染色质线

● **着丝粒**不会被染料染色，所以在光学显微镜下表现为染色体上一缢缩部位，所以又称为**主缢痕**。

● **着丝粒**：一种盘状结构，2条染色单体连接的部位。

● **着丝点**：主缢痕处的一种内部结构，纺锤丝接触的部位。



各染色体着丝粒的位置相对稳定，因而根据着丝粒的位置将染色体分为：

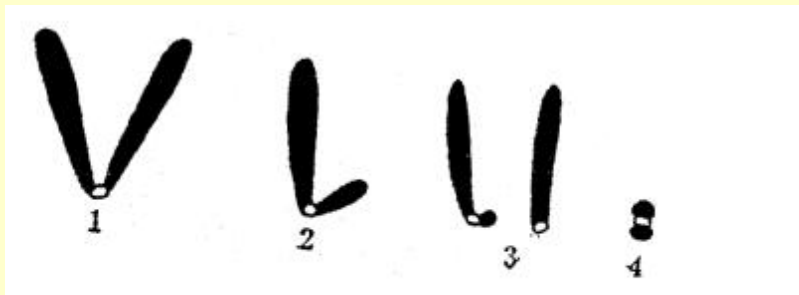
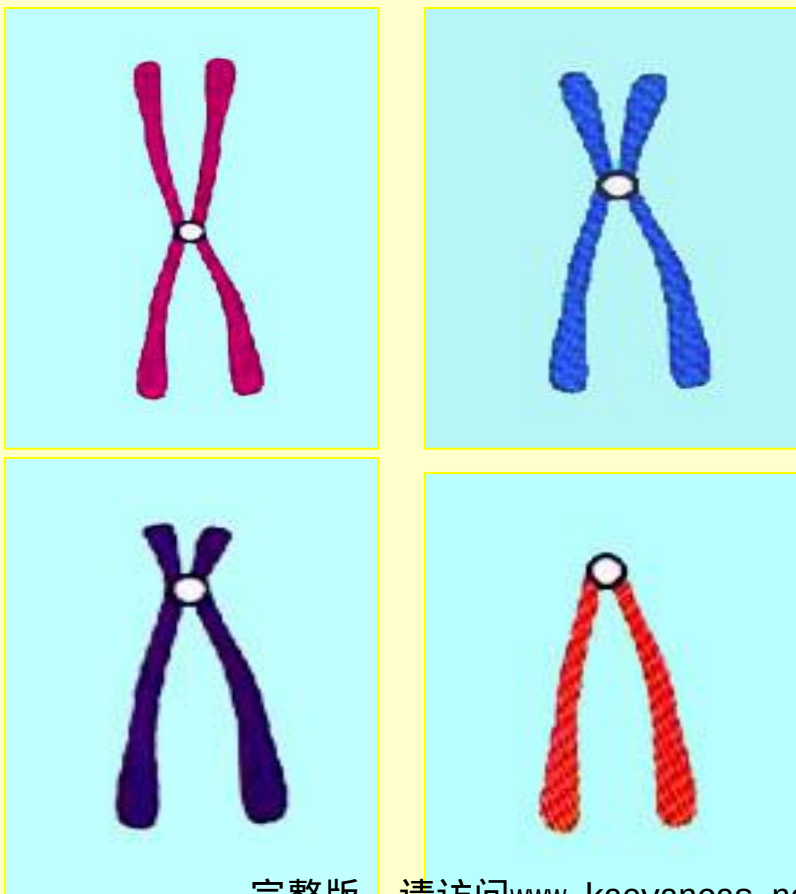


图 2-4 后期染色体的形态

1. V形染色体 2. L形染色体 3. 棒状染色体 4. 粒状染色体



- 中间着丝粒染色体
- 近中着丝粒染色体
- 近端着丝粒染色体
- 端着丝粒染色体
- 粒状染色体

染色体的形态类型

染色体类型	符号	臂比 ^①	着丝粒指数 ^②	后期形态
中间着丝粒染色体	M	1.00— 1.67	0.500— 0.375	V
近中着丝粒染色体	SM	1.68— 3.00	0.374— 0.250	L
近端着丝粒染色体	ST	3.01— 7.00	0.249— 0.125	I
顶端着丝粒染色体	T	7.01— ∞	0.124— 0.000	I

注：①臂比：长臂长度/短臂长度；②短臂长度/染色体总长度

2 次缢痕(secondary constriction)与随体 (satellite)

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

- **次缢痕**: 通常在染色体短臂上。次缢痕的末端的圆形或略长形的突出体，称为**随体**
- 次缢痕在细胞分裂时紧密地与核仁相联系。与核仁的形成有关——**核仁组织中心(nucleolus organizer)**。

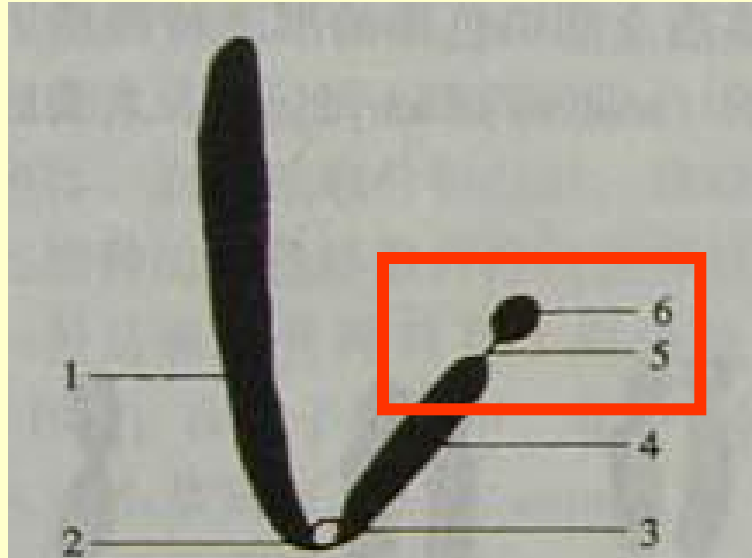


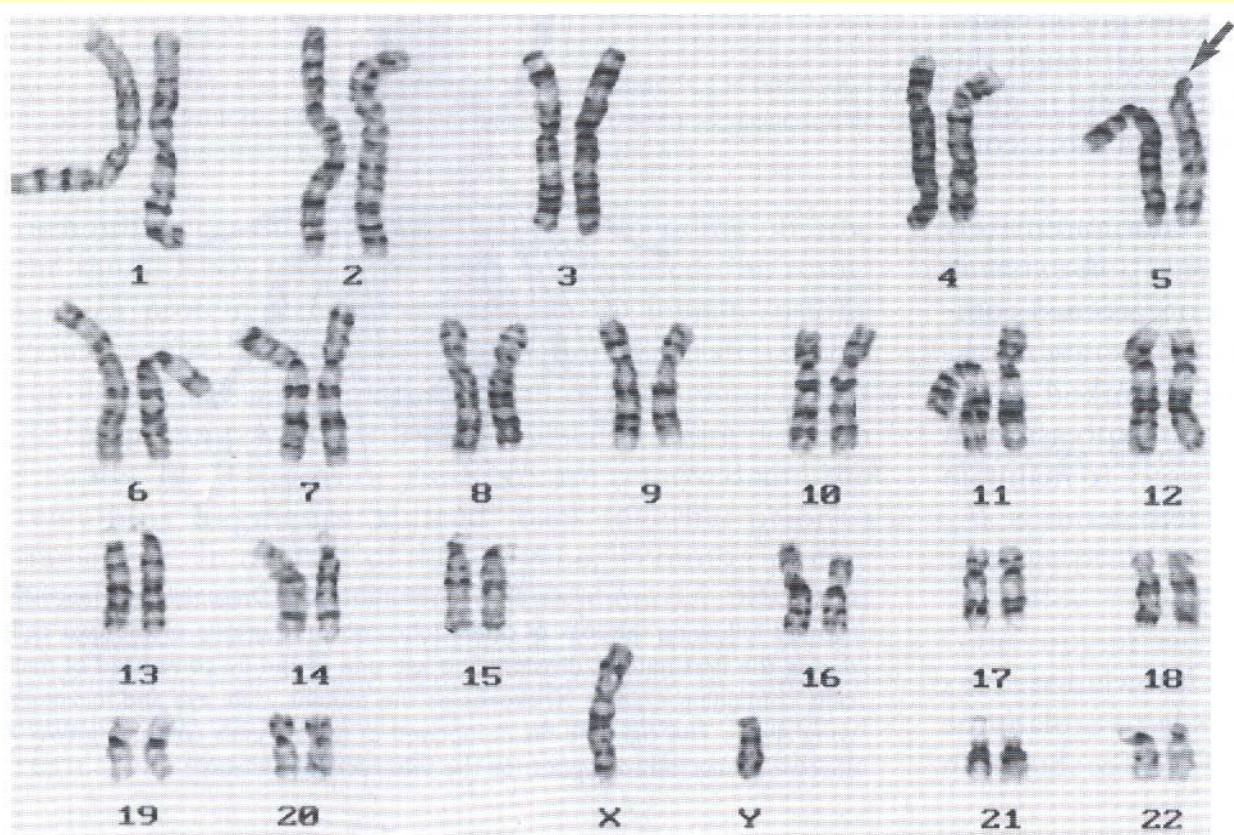
图 2-3 中期染色体形态的示意图

- 1. 长臂 2. 主缢痕 3. 着丝点
- 4. 短臂 5. 次缢痕 6. 随体

- 次缢痕、随体的**位置、大小**也相对恒定——染色体识别的标志。

- **不是所有染色体都有次缢痕**: 玉米, 6; 小麦, 1B, 6B; 人类, 13, 14, 15, 21, 22

●染色是染料分子与染色质线中DNA分子结合，使染色质线在光学显微镜下呈一定的颜色。



●DNA链螺旋化程度不同，一定区域内结合染料分子的数量不同，染色深浅也将有所不同。

通常根据间期染色反应，染色质分为异染色质和常染色质。

● 异染色质(heterochromatin)：在细胞间期染色质线中，染色很深的区段。

● 常染色质(euchromatin)：染色质线中染色很浅的区段。

常染色质和异染色质比较

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

结构差异:两者结构上连续，化学性质没有差异，只是核酸螺旋化程度(密度)不同。异染色质在间期仍然高度螺旋化状态，紧密卷缩，染色很深；常染色质区处于松散状态，染色质密度较低，染色较浅。这种同一染色体染色深浅不同的现象称为异固缩(heteropycnosis)

功能差异:遗传信息的表达(转录)主要在间期进行，并需要染色质局部解螺旋态。

● **常染色质**间期活跃表达，带有重要的遗传信息。

● **异染色质**在遗传功能上是惰性的，一般不编码蛋白质，主要起维持染色体结构完整性的作用。

组成性异染色质与兼性异染色质

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程 访问: www.kaoyancas.net

组成性(constitutive).

- 构成染色体的特殊区域, 如着丝点;
- 在所有组织、细胞中均表现异固缩;
- 只与染色体结构有关, 一般不表达;



兼性(facultative).

- 可存在于染色体的任何部位;
 - 在一些组织中正常表达, 在其它组织中完全不表达; 携带组织特异性表达的遗传信息
- 如哺乳动物的X染色体。其中一条X染色体表现为异染色质; 另一条X染色体表现为常染色质。

4 端粒

端体/端粒(telomere)：端粒是染色体臂末端的特化部分。端粒在染色体中没有明显的外部形态特征，但往往表现对碱性染料着色较深。

对染色体DNA分子末端起封闭、保护作用；

- 防止DNA酶酶切；
- 防止发生DNA分子间融合；
- 保持DNA复制过程中的完整性。



二、染色体的分子结构

化学组成

(1) DNA：约占30%，每条染色体一个双链DNA分子。是遗传信息的载体

(2) 蛋白质：

组蛋白(histone)：呈碱性，结构稳定；与DNA结合形成并维持染色质结构；

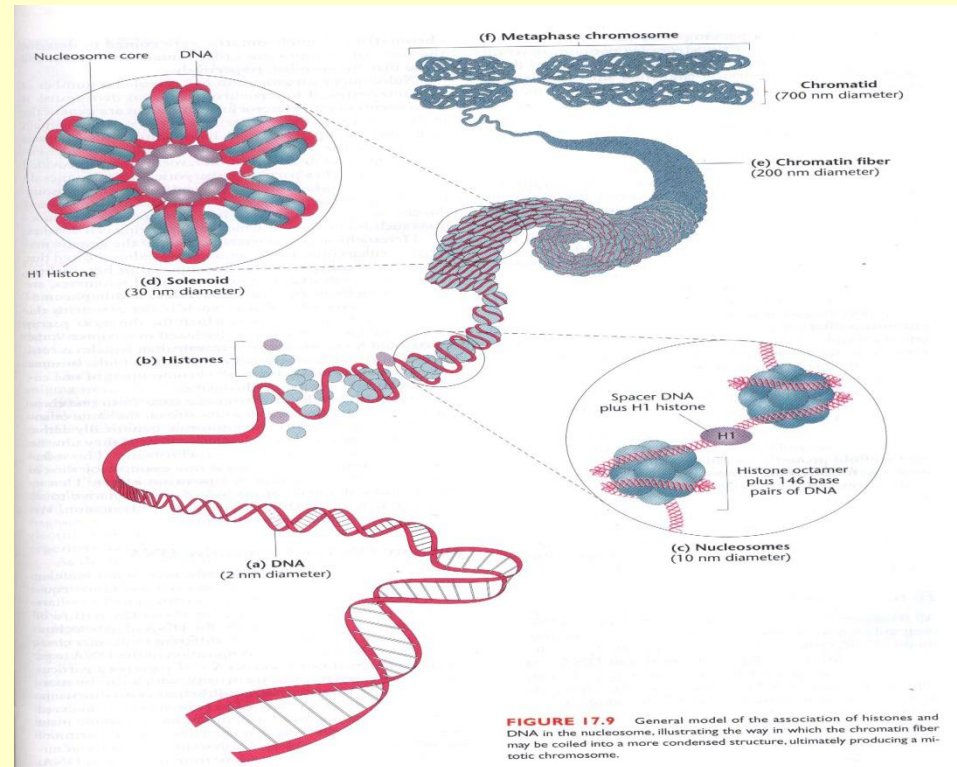
非组蛋白：呈酸性，种类和含量不稳定；作用还不清楚，可能与基因表达的调控有关。

(3) 可能存在少量的RNA

二、染色体的分子结构

贝克等(Bak AL, 1977)：染色体四级结构模型理论能够在一定程度上解释染色质状态转化的过程

- 核小体+连接丝
- 螺旋体(solenoid)
- 超螺旋体
- 染色体



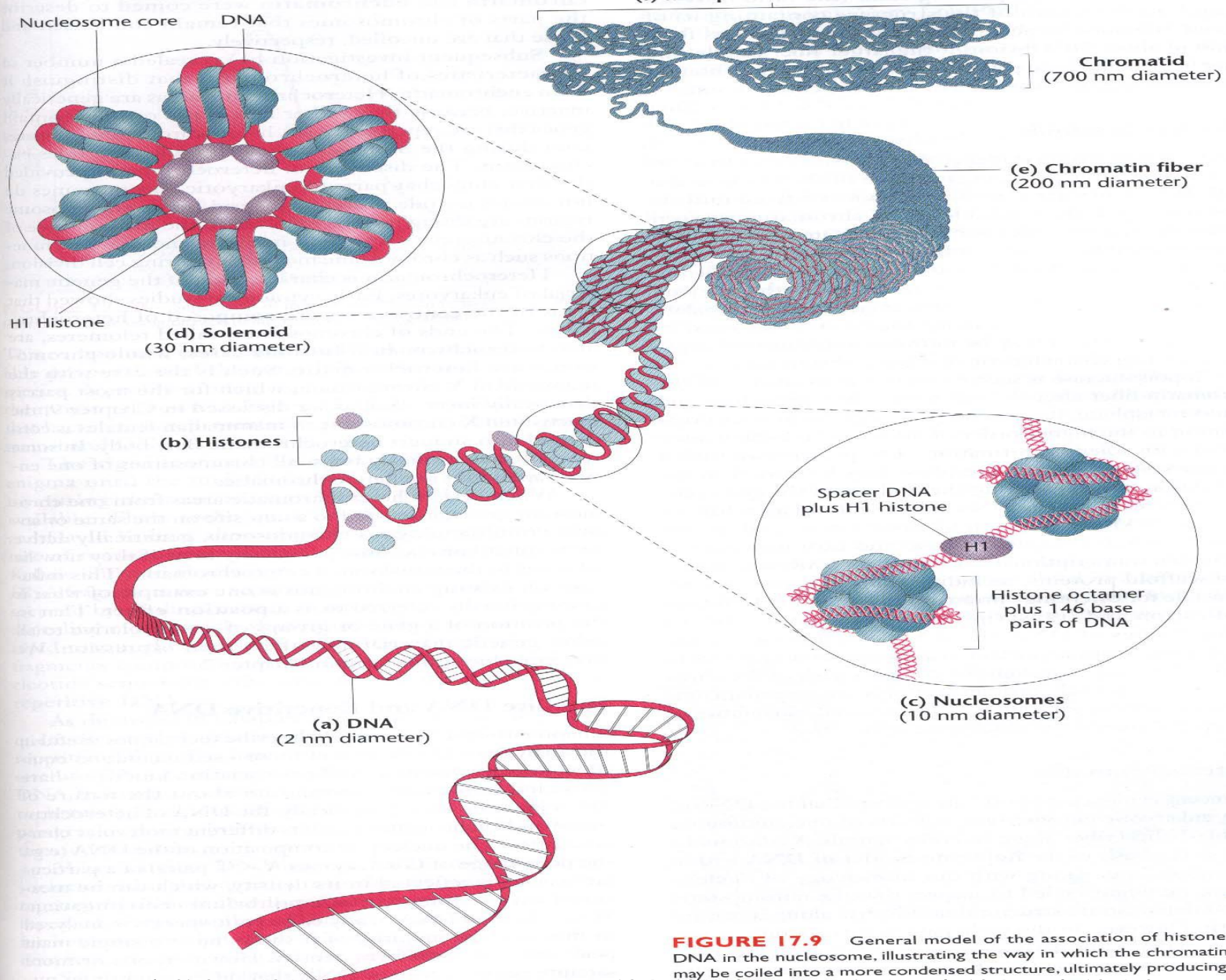
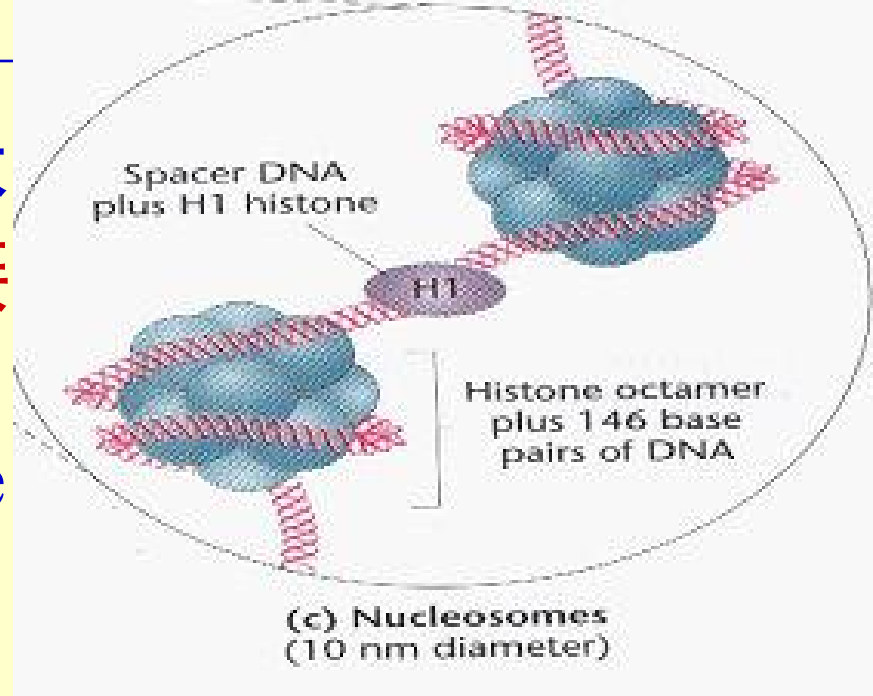


FIGURE 17.9 General model of the association of histones and DNA in the nucleosome, illustrating the way in which the chromatin fiber may be coiled into a more condensed structure, ultimately producing a mi-

二、染色体的分子结构

串珠模型：染色质的基本结构单位是核小体、连接丝(linker)。约180-200个核苷酸对(碱基对, bp-base pair)。



核小体(nucleosome), 又称组体(v-body)(约11nm)。

● **组蛋白：** H_2A 、 H_2B 、 H_3 、 H_4 四种组蛋白各两分子的八聚体，直径约10nm。

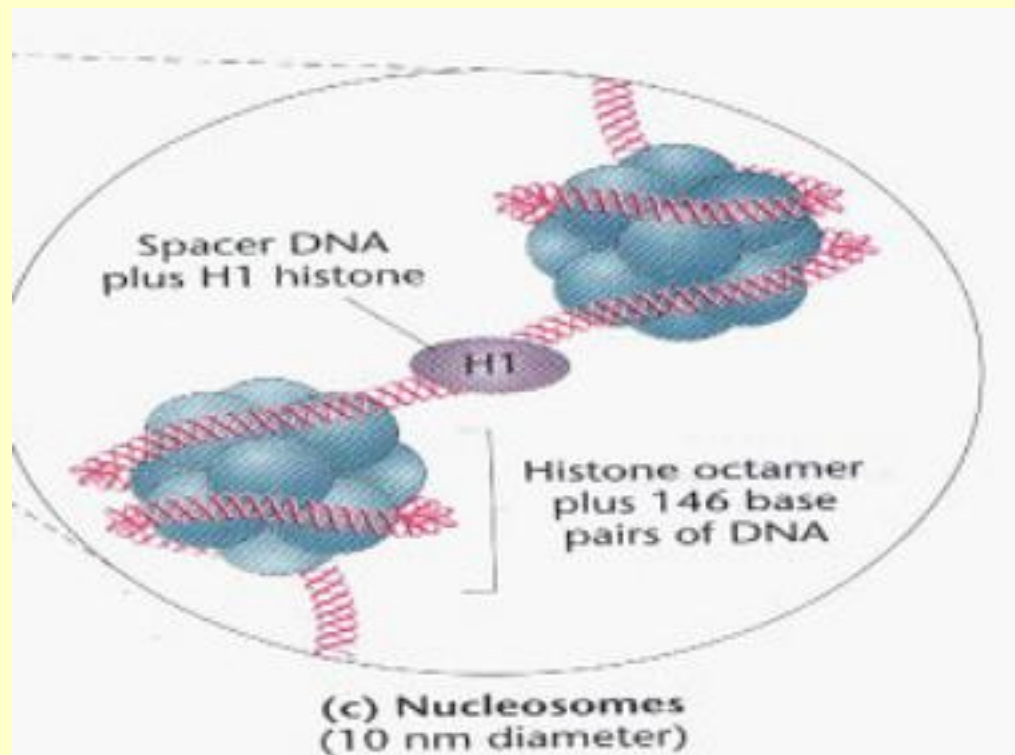
二、

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

染色体的分子结构

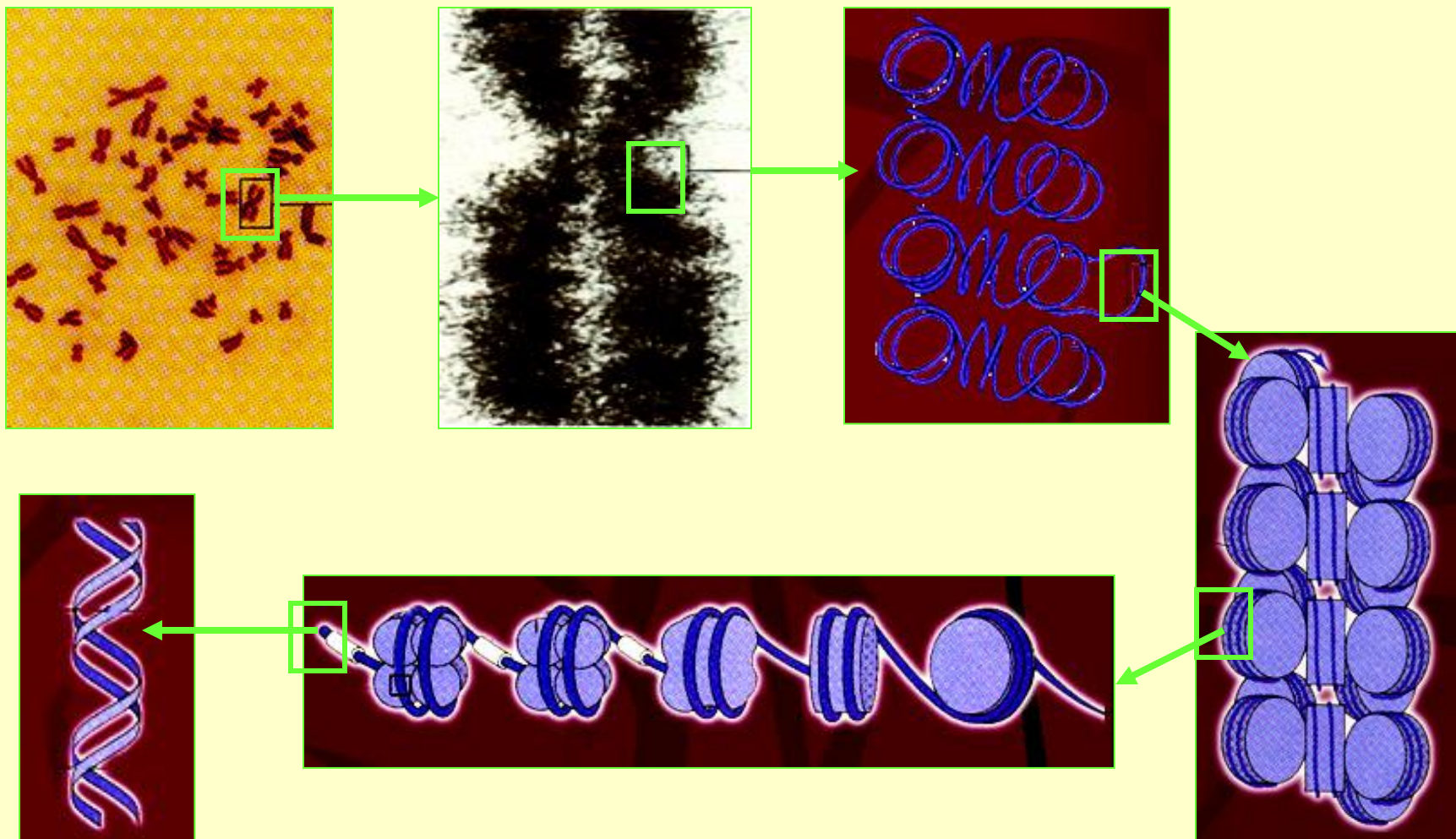
● **DNA链**：DNA双螺旋链盘绕于组蛋白八聚体表面1.75圈，约合146bp.

连接丝是长50~60bp的DNA，与组蛋白H1结合。



二、染色体的分子结构

富参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程 访问: www.kaoyancas.net

染色体形成过程中长度与宽度的变化

				宽度增加	长度压缩
第一级	DNA	↔	核小体	5倍	7倍
第二级	核小体	↔	螺旋体	3倍	6倍
第三级	螺旋体	↔	超螺旋体	13倍	40倍
第四级	超螺旋体	↔	染色体	2.5-5倍	5倍
				500-1000倍	8400倍 (8000-10000)

三、染色体的数目和大小

❖ 染色体数目是生物物种的特征，相对恒定；体细胞中染色体成对存在($2n$)，而配子中染色体数目是体细胞中的一半(n)。

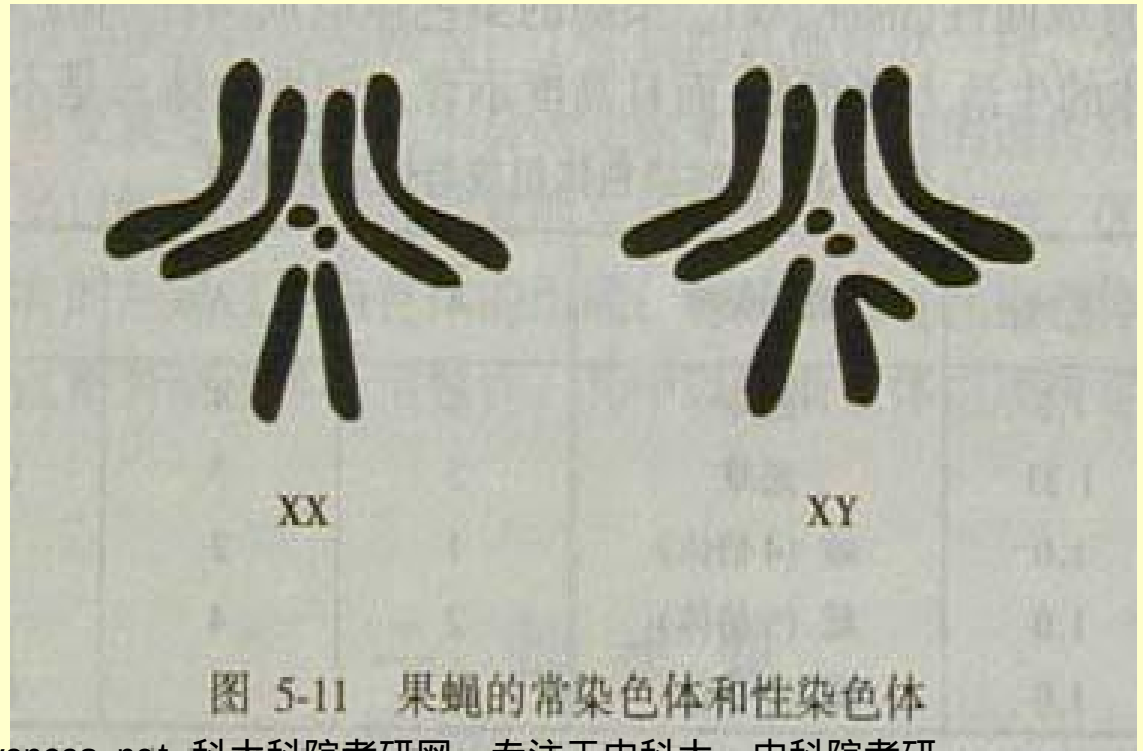
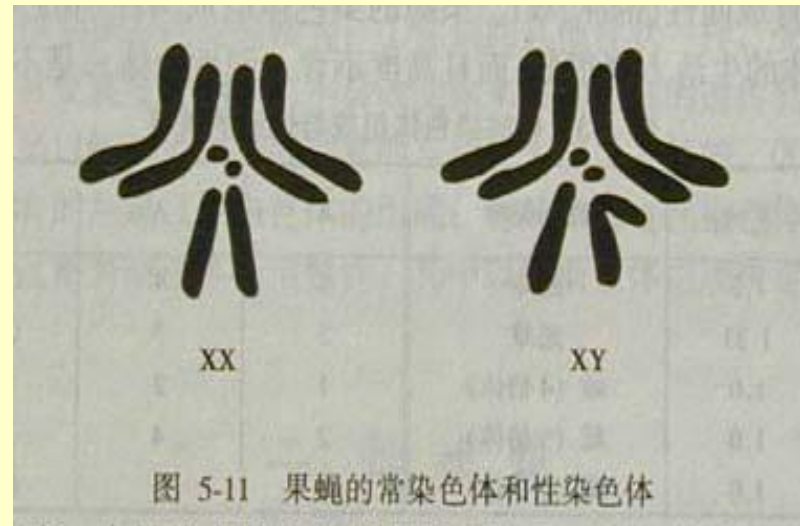


图 5-11 果蝇的常染色体和性染色体

三、染色体的数目和大小

➤体细胞中形态结构相同、遗传功能相似的一对染色体称为**同源染色体(homologous chromosome)**。两条同源染色体分别来自生物双亲。

➤形态结构上有所不同的染色体间互称为**非同源染色体(non-homologous chromosome)**。



三、染色体的数目和大小

◆ 黑麦体细胞中具有14条染色体($2n=14$), 即7对同源染色体; 配子中则有7条染色体($n=7$), 这7条染色体间就互称为非同源染色体。

马蛔虫, $2n=2$; 瓶儿小草属, $2n=800—1200$

表2-3、一些生物的染色体数目

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net			
物种名称	染色体数目 (2n)	物种名称	染色体数目 (2n)
水稻 <i>Oryza sativa</i>	24	西瓜 <i>Citrullus vulgaris</i>	22
小麦属 <i>Triticum</i>		黄瓜 <i>Cucumis sativus</i>	14
一粒小麦 <i>T. monococcum</i>	14	南瓜 <i>Cucurbita pepo</i>	40
二粒小麦 <i>T. dicoccum</i>	28	萝卜 <i>Raphanus sativus</i>	18
普通小麦 <i>T. aestivum</i>	42	番茄 <i>Lycopersicum esculentum</i>	24
大麦 <i>Hordeum sativum</i>	14	洋葱 <i>Allium cepa</i>	16
玉米 <i>Zea mays</i>	20	甜橙 <i>Citrus sinensis</i>	18, 36
高粱 <i>Sorghum vulgare</i>	20	苹果 <i>Malus pumila</i>	34
黑麦 <i>Secale cereale</i>	14	桃 <i>Prunus persica</i>	16
燕麦 <i>Avena sativa</i>	42	巴梨 <i>Pyrus communis</i>	34
粟 <i>Setaria italica</i>	18	松 <i>Pinus spp.</i>	24
大豆 <i>Glycine max</i>	40	白杨 <i>Populus alba</i>	38
蚕豆 <i>Vicia faba</i>	12	茶 <i>Thea sinensis</i>	30
豌豆 <i>Pisum sativum</i>	14	桑 <i>Morus alba</i>	14
花生 <i>Arachis hypogaea</i>	40	家蚕 <i>Bombyx mori</i>	56
马铃薯栽培种 <i>Solanum tuberosum</i>	48	果蝇 <i>Drosophila melanogaster</i>	8
甘薯 <i>Ipomoea batatas</i>	90	蜜蜂 <i>Apis mellifera</i>	32
甘蔗 <i>Saccharum officinarum</i>	80, 126	小白鼠 <i>Mus musculus</i>	40
糖用甜菜 <i>Beta vulgaris</i>	18	大鼠 <i>Rattus norvegicus</i>	42
烟草 <i>Nicotiana tabacum</i>	48	鸡 <i>Gallus domesticus</i>	78
芸薹属 <i>Brassica</i>		猪 <i>Sus scrofa</i>	38
白菜型油菜 <i>B. campestris</i>	20	黄牛 <i>Bos taurus</i>	60
芥菜型油菜 <i>B. juncea</i>	36	马 <i>Equus caballus</i>	64
甘蓝型油菜 <i>B. napus</i>	38	猕猴 <i>Macaca mulatta</i>	42
棉属 <i>Gossypium</i>		人 <i>Homo sapiens</i>	46
亚洲棉 <i>G. arboreum</i>	26		
陆地棉 <i>G. hirsutum</i>	52		
圆果种黄麻 <i>Corchorus capsularis</i>	14	链孢霉 <i>Neurospora crassa</i>	n = 7
大麻 <i>Cannabis sativa</i>	20	青霉菌 <i>Penicillium spp.</i>	n = 4
拟南芥 <i>Arabidopsis thaliana</i>	10	Chlamydomonas reinhardtii	n = 16

三、染色体的数目和大小

◆染色体数目一般与物种进化程度没有关系；但对鉴别亲缘关系有重要意义。

如小麦属： $2n=14$ ， 28 ， 42 。其近缘属也是7的倍数关系。



三、染色体的数目和大小

不同物种间染色体的大小差异很大，长度的变幅为(0.2-50 μm)，宽度的变幅为(0.2-2.0 μm)。

同一物种不同染色体宽度大致相同，其染色体大小主要对长度而言。



*染色体组型分析

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

➤每一生物的染色体数目、大小及其形态特征都是特异的，这种特定的染色体组成称为**染色体组型或核型（karyotype）**。

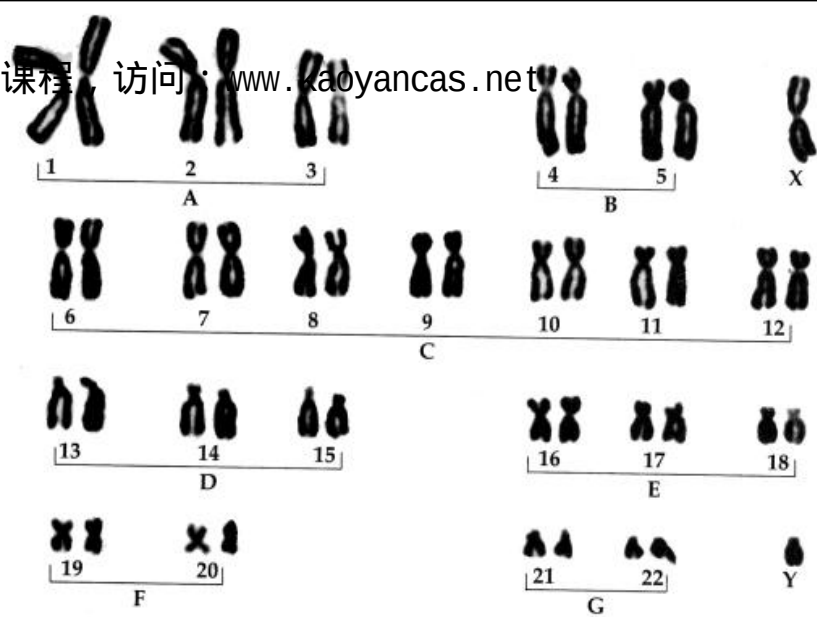


图 2—图 2-5 男性染色体核型 (引自 Russell, 2000)

➤按照染色体的数目、大小和着丝粒位置、臂比、次缢痕、随体等形态特征，对生物核内的染色体进行配对、分组、归类、编号、进行分析的过程称为**染色体组型分析或核型分析（karyotype analysis）**。

*染色体组型分析

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

● **染色体带形分析**：通过一系列特殊的处理，使得螺旋化程度和收缩方式不同的染色体区段发生不同的反应，再经过染色，使其呈现不同程度的染色区段。而这些处理和染色方法就称为**染色体分带、显带(chromosome banding) 或 染色体分染**。

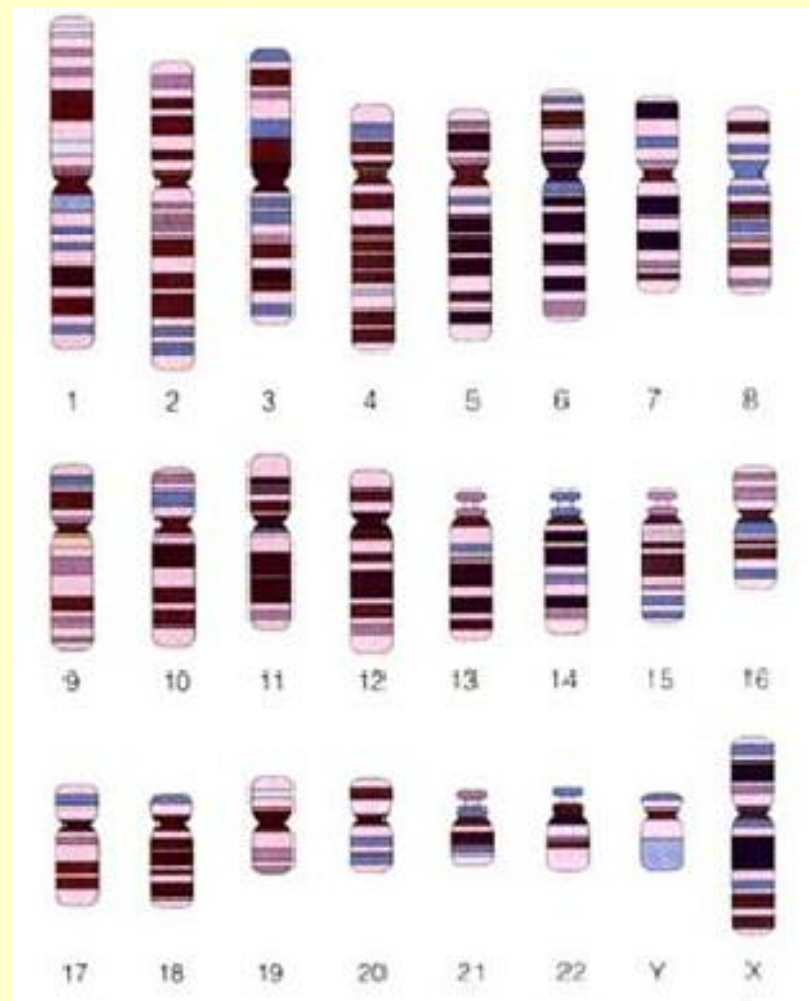
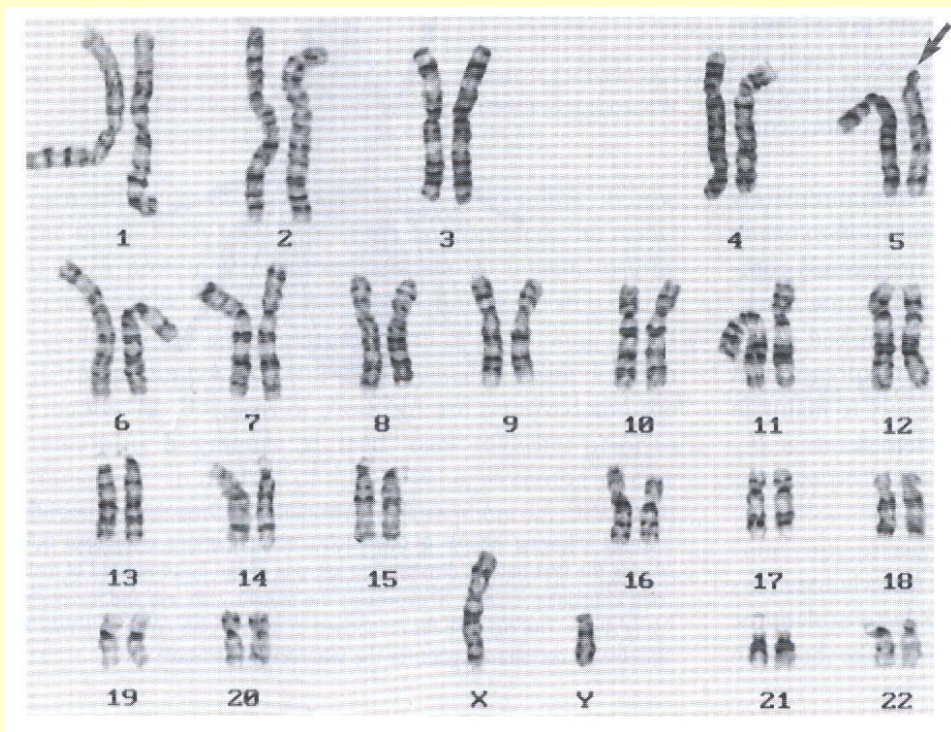


图 6-2 黑麦($2n = 14$) 染色体 Giemsa C-带 (HSG 法)

*染色体组型分析

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

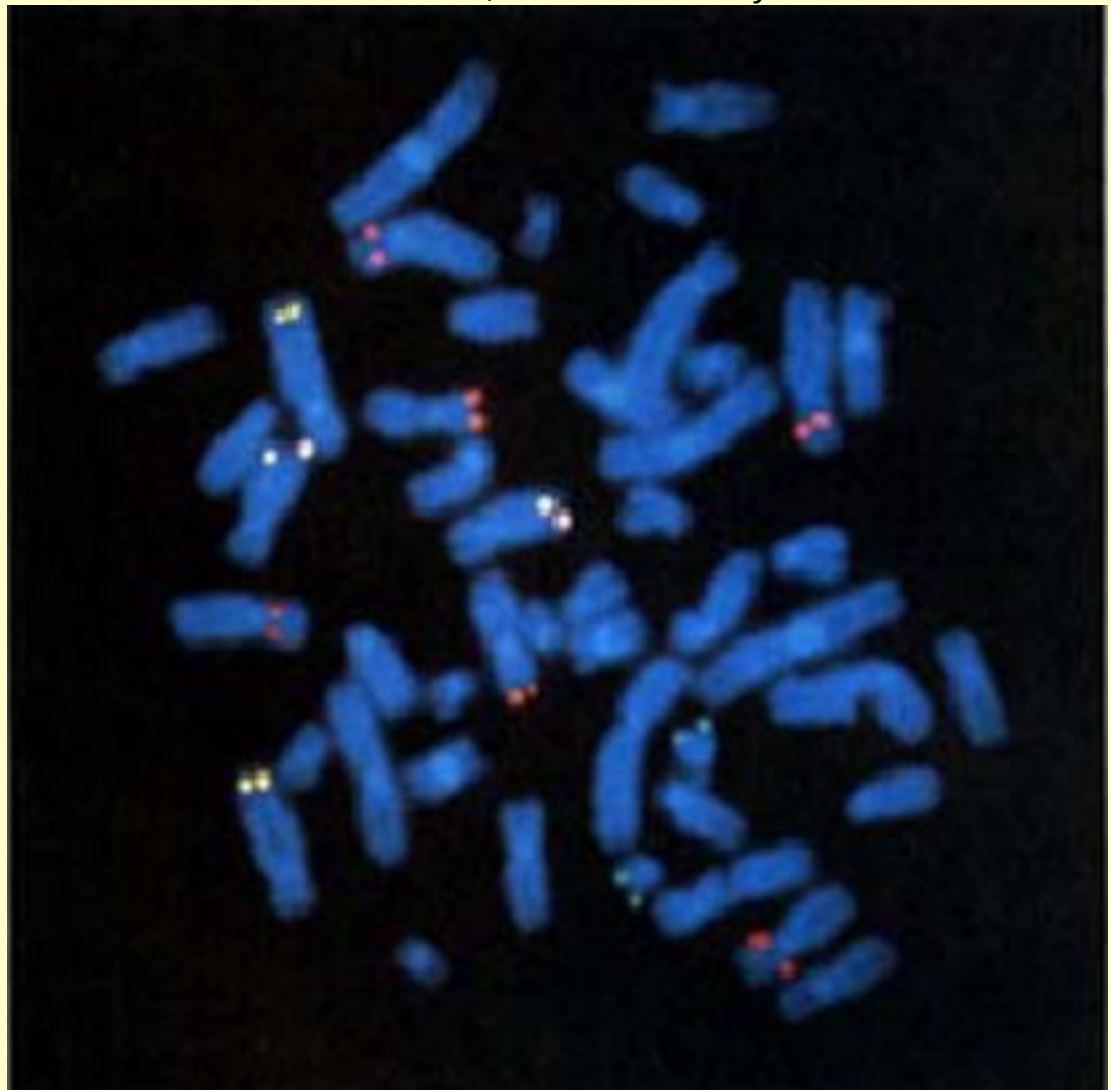
男性分带——G—带



模式图

完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

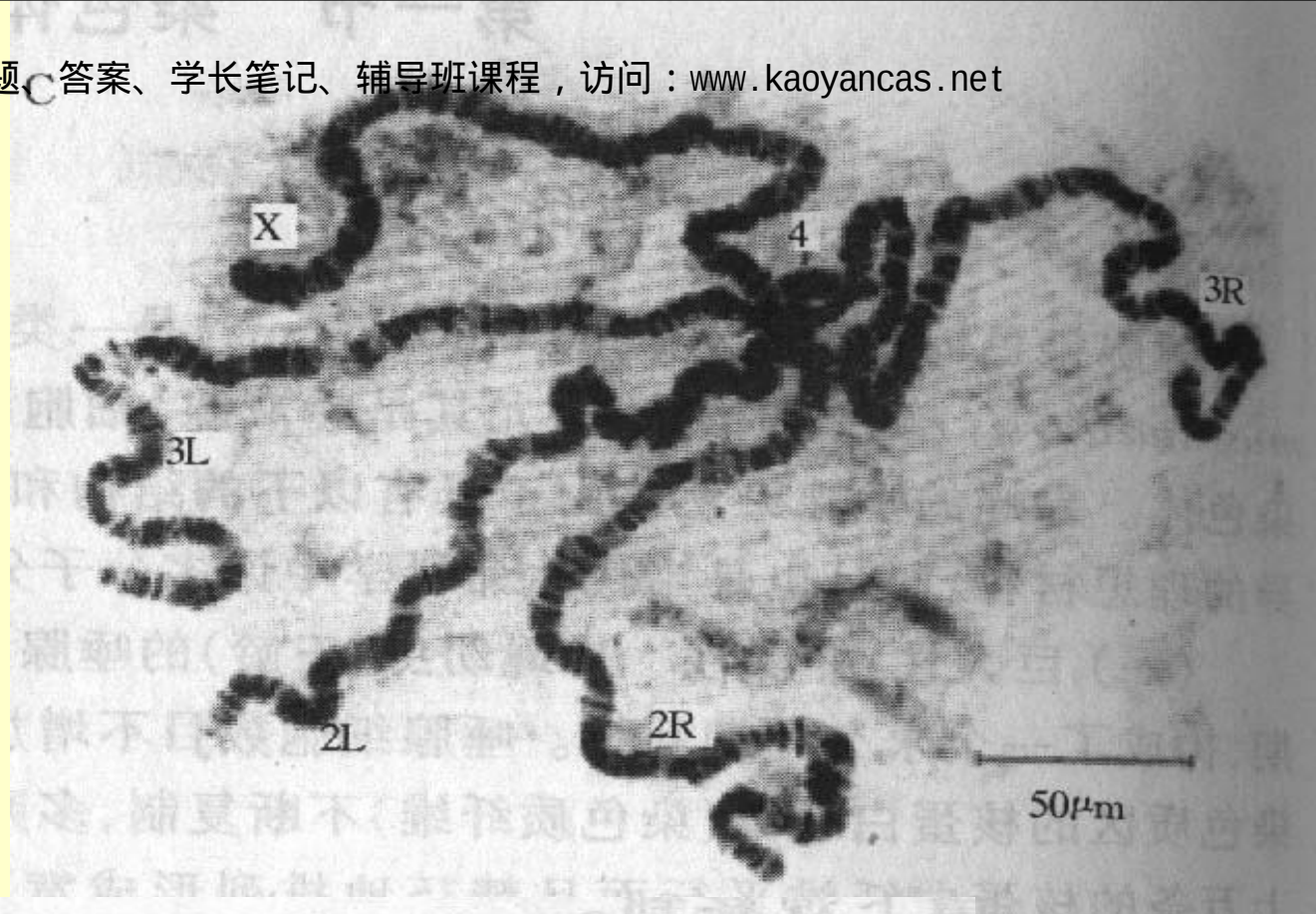
原位杂交



四、特化染色体——多线染色体

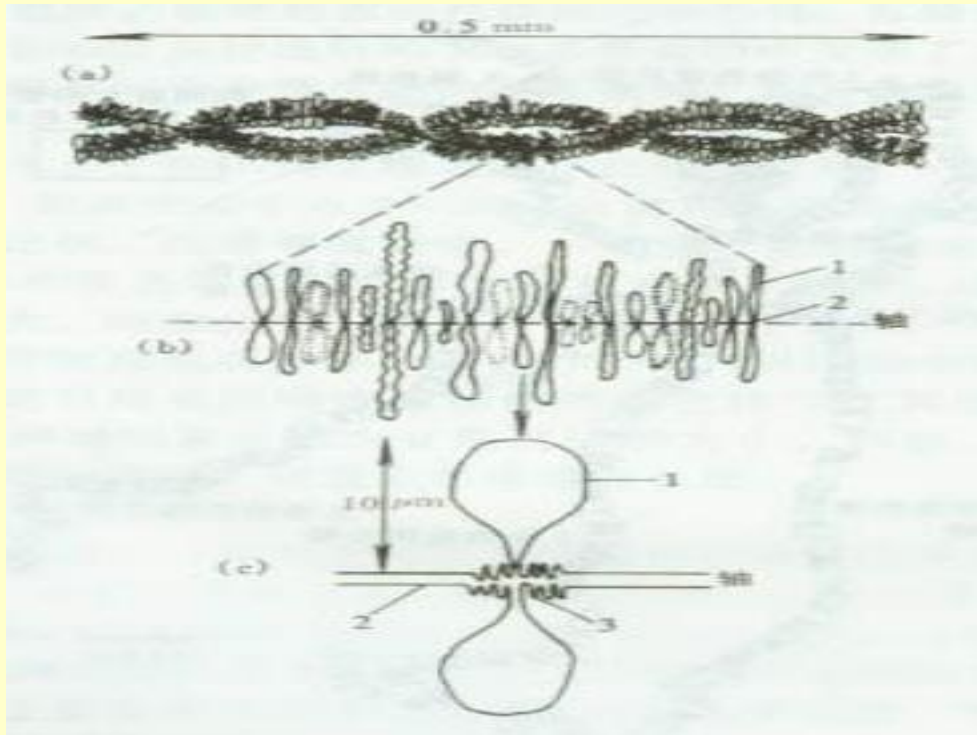
● 双翅目昆虫(摇蚊、果蝇)的幼虫唾液腺、肠、马氏管等的细胞中存在巨大染色体(giant chromosome)，也叫多线染色体。

● 多线染色体产生于内源有丝分裂：染色单体在间期正常进行复制，但未发生着丝粒分裂和染色单体分离，染色单体数目成倍增长。例如在果蝇中唾腺染色体经10~11次内源有丝分裂可形成1024、2048条染色质线的多线染色体。



四、特化染色体——灯刷染色体

● 一些动物的初级卵细胞双线期、果蝇属的精细胞的Y染色体、植物花粉细胞的终变期。



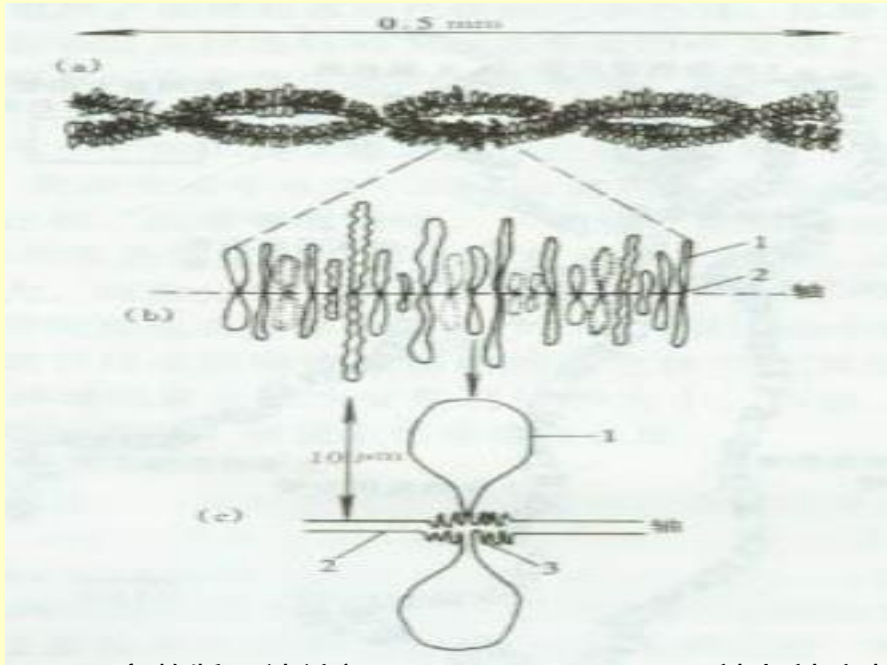
配对的灯刷染色体；

单条染色体区域；

染色体小区。

四、特化染色体——灯刷染色体

● 是一对同源染色体，这对同源染色体之间由一个或多个交叉的联系起来。螺旋化的染色质构成灯刷染色体的柱状主体。毛状突起是由于部分染色质没有螺旋化，或者螺旋化的程度较低。



配对的灯刷染色体;

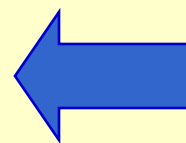
单条染色体区域;

染色体小区.

四、特化染色体——B染色体

●许多生物除了具有一定数目的形态、结构稳定的常染色体（A染色体）外，还有一些额外染色体。称为B染色体、副染色体、超数染色体或附加染色体。

●额外染色体的数目在生物世代间及个体间都存在很大差异，并且很不稳定，在生物世代间传递规律也与常染色体不同。



❖ 生物的繁殖以细胞分裂为基础；对多细胞生物而言，其生长发育也通过细胞分裂实现。

❖ 体细胞分裂的方式可以分为：

- 一、 无丝分裂 (amitosis)；
- 二、 有丝分裂 (mitosis)；
- 三、 减数分裂 (meiosis)

一、无丝分裂

- ❖ 无丝分裂的分裂过程较简单快速，整个分裂过程中不出现纺锤体。
- ❖ 以前人们认为无丝分裂只在衰老细胞和病态组织中，但近年研究发现高等生物的许多正常组织(如：植物的薄型组织、木质部细胞、绒毡层细胞和胚乳细胞)，也常发生无丝分裂。

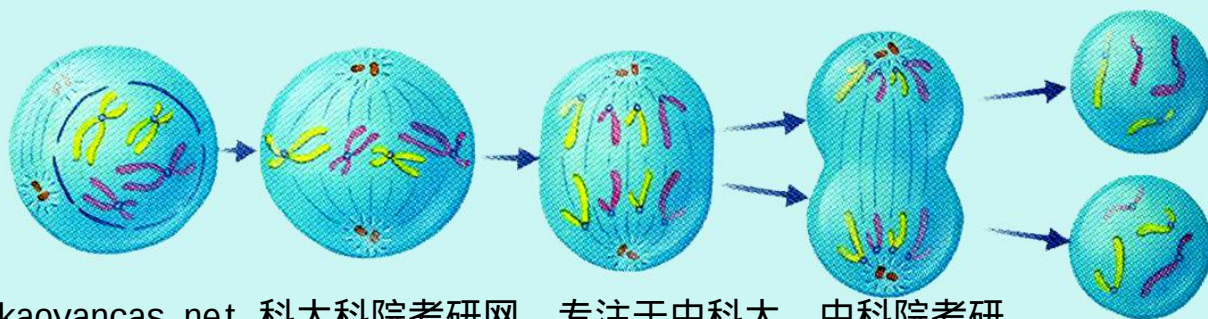
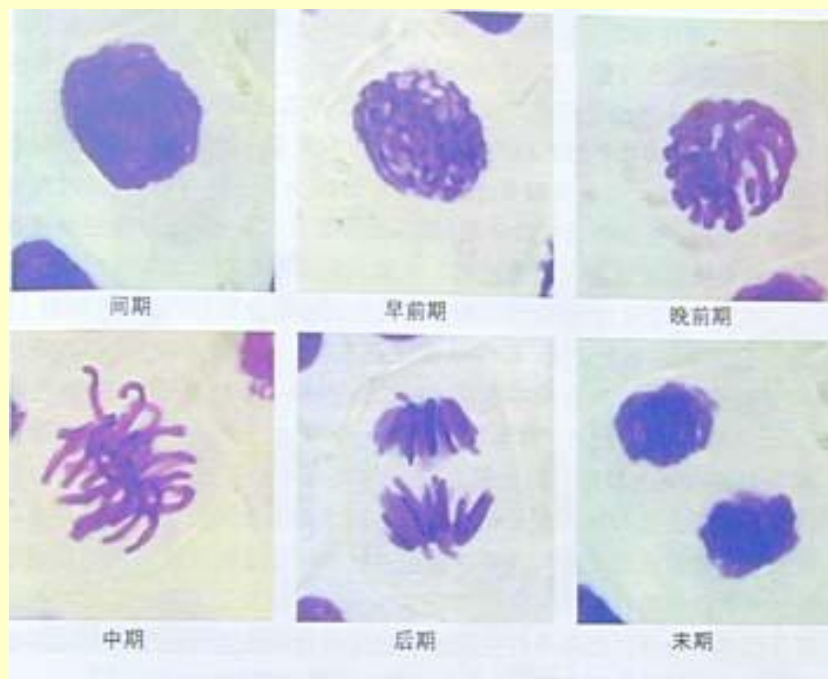
二、有丝分裂

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

有丝分裂的过程

有丝分裂包括两个紧密相连的过程：**核分裂**、**细胞质分裂**。通常有丝分裂主要是指核分裂。

有丝分裂过程可分为五个时期，即：间期、前期、中期、后期、末期

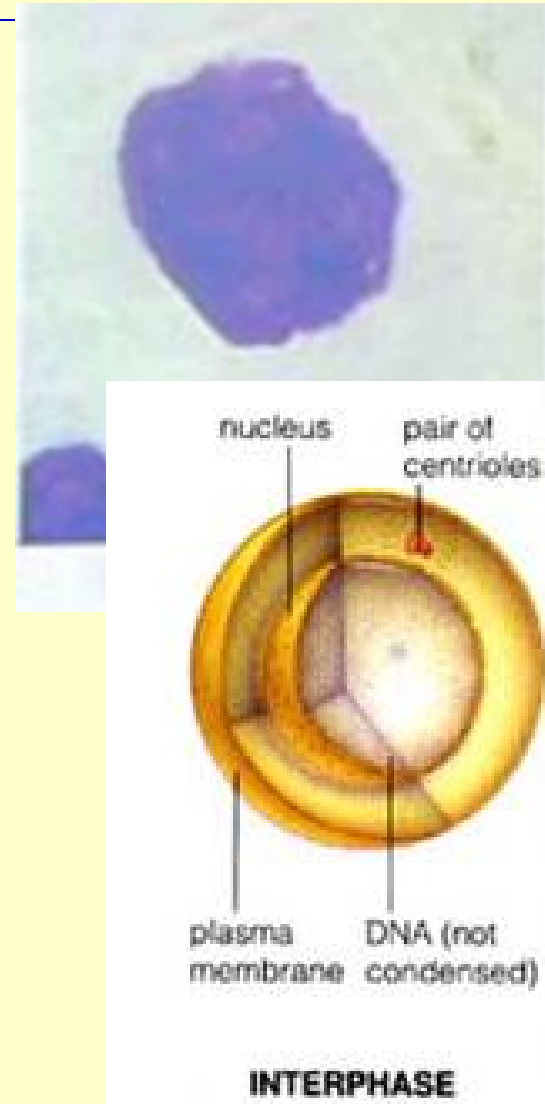


完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

1 有丝分裂过程——间期(*interphase*)

指细胞上一次分裂结束到下一次分裂开始之前的时期。

- ★ 染色质解螺旋、松散分布在细胞质中，核仁染色深。
- ★ 在光学显微镜下细胞状态不发生变化。
- ★ 事实上细胞处于生理、生化反应高度活跃的阶段，其呼吸和合成代谢都非常旺盛。



1 有丝分裂过程——间期(*interphase*)

为细胞分裂奠定物质和能量

基础：DNA的复制

组蛋白的合成

能量准备

其它物质的合成

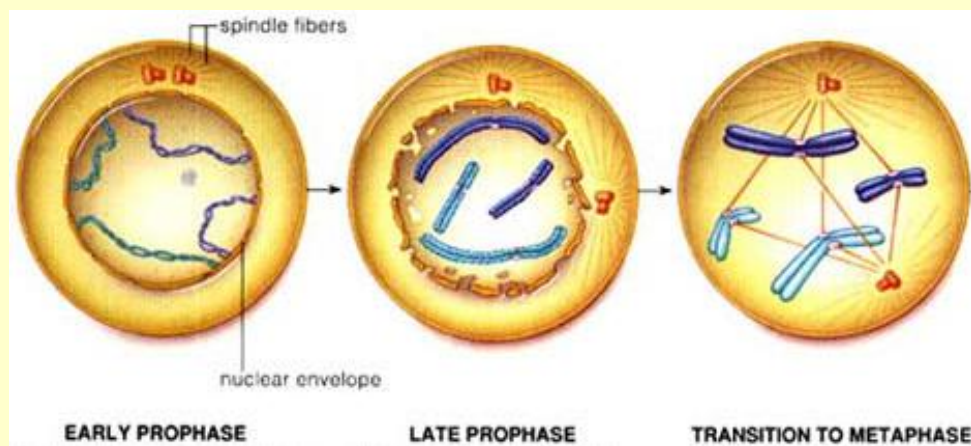
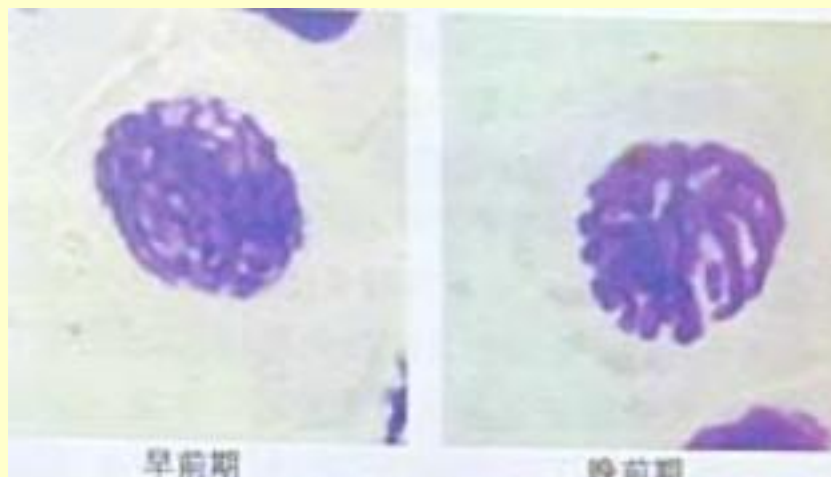
DNA合成是间期最重要的准备，根据DNA合成的特点，将间期分为：合成前期(G_1)、合成期(S)、合成后期(G_2)。

G1期：细胞体积迅速增大；物质合成迅速，为染色体的复制做准备。

G2期：细胞体积增大；蛋白质和RNA合成活跃，细胞分裂所需的高能化合物主要在此期合成。

当染色体呈可见的细线时标志着细胞分裂开始，进入细胞分裂前期。

- 每个染色体两条染色单体开始螺旋化、卷曲；
- 着丝粒尚未复制分裂，因而螺旋、卷曲逐渐可见的两条染色单体同一个着丝粒联结；
- 核仁、核膜逐渐解体，前期结束时核仁消失。



1 有丝分裂过程——中期 (metaphase)

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程 访问：www.kaoyancas.net

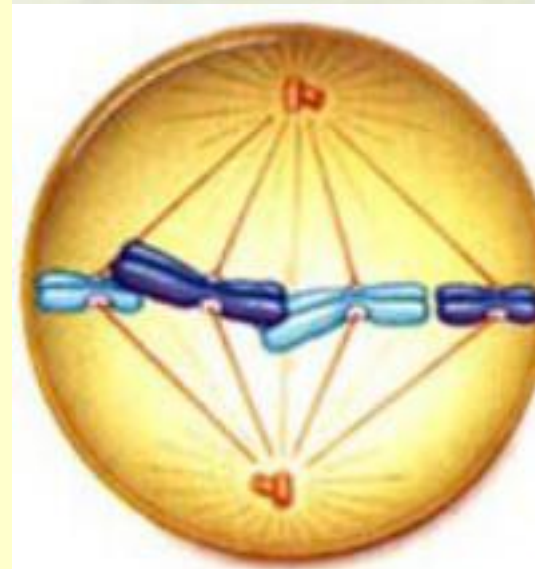
标志：核仁、核膜消失

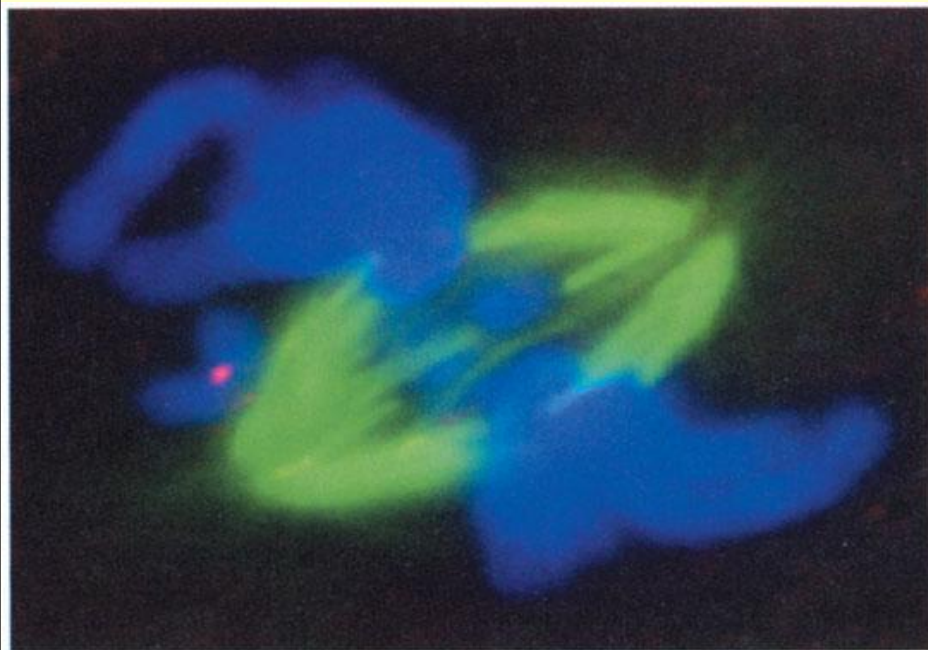
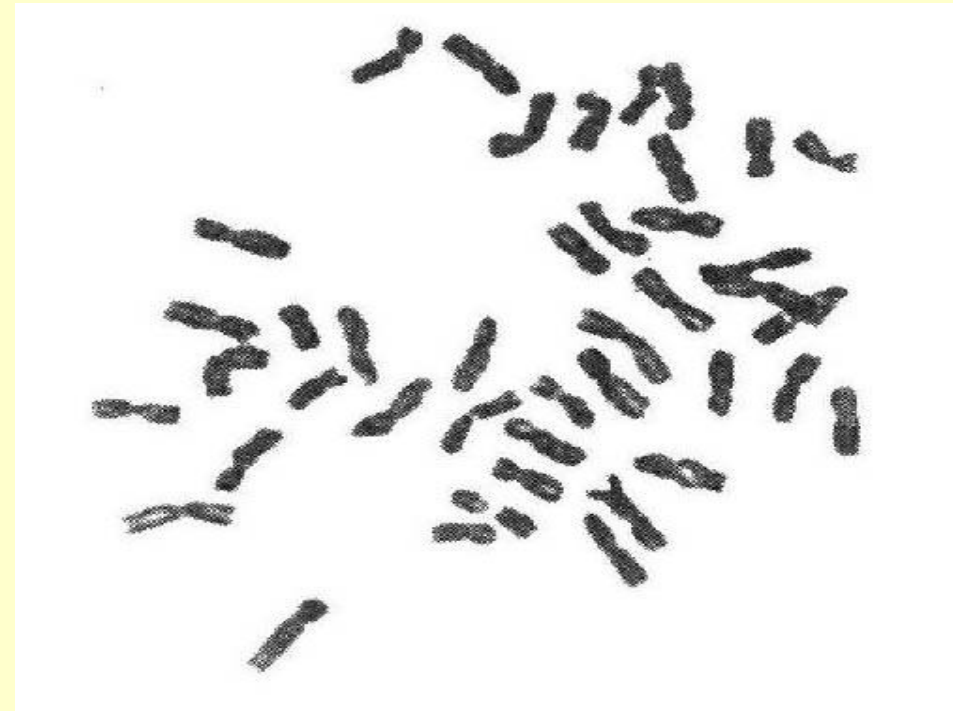
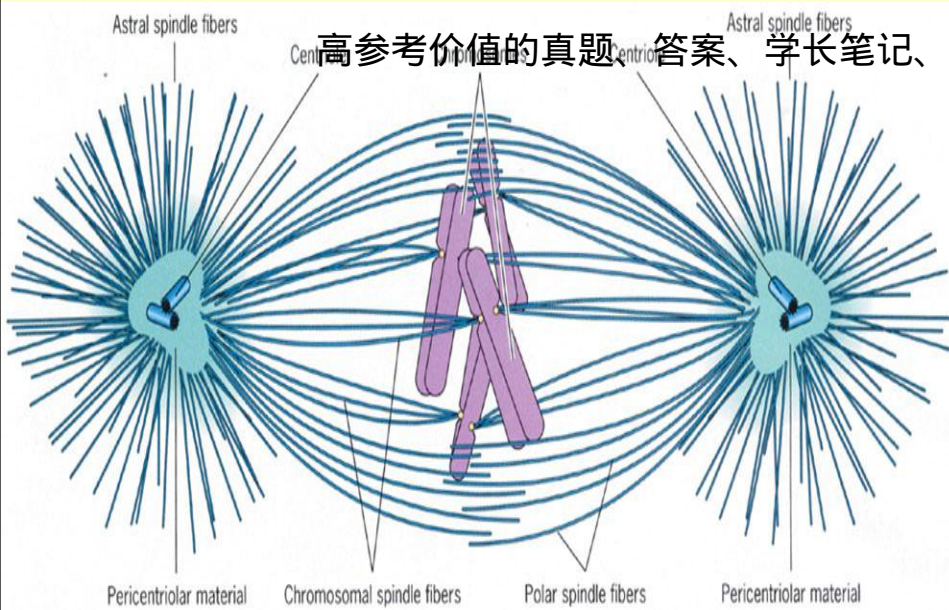
- 染色单体进一步螺旋、收缩直至呈最短、最粗的状态；

- 纺锤丝形成一个三维的结构，称为纺锤体 (spindle)；

- 纺锤丝与染色体的着丝点附着，并牵引染色体，使其着丝粒均匀分成在垂直于两极的一个平面上 (赤道板或赤道面) 染色体臂自由分布在赤道面的两侧。

- 染色体形态稳定，排列均匀，是研究染色体形态和数目的最佳时期。





1 有丝分裂过程——后期(anaphase)

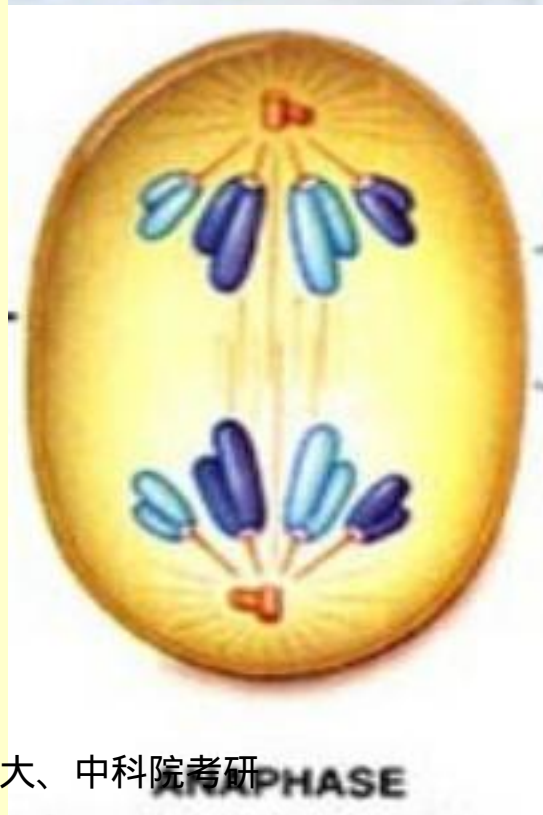
❖ 后期就是从着丝粒分裂到染色单体到达两极的过程。

❖ 特征：

● 由于纺锤丝的牵引作用，着丝粒发生分裂；

● 每条染色体的两条染色单体，分别由纺锤丝拉向两极；

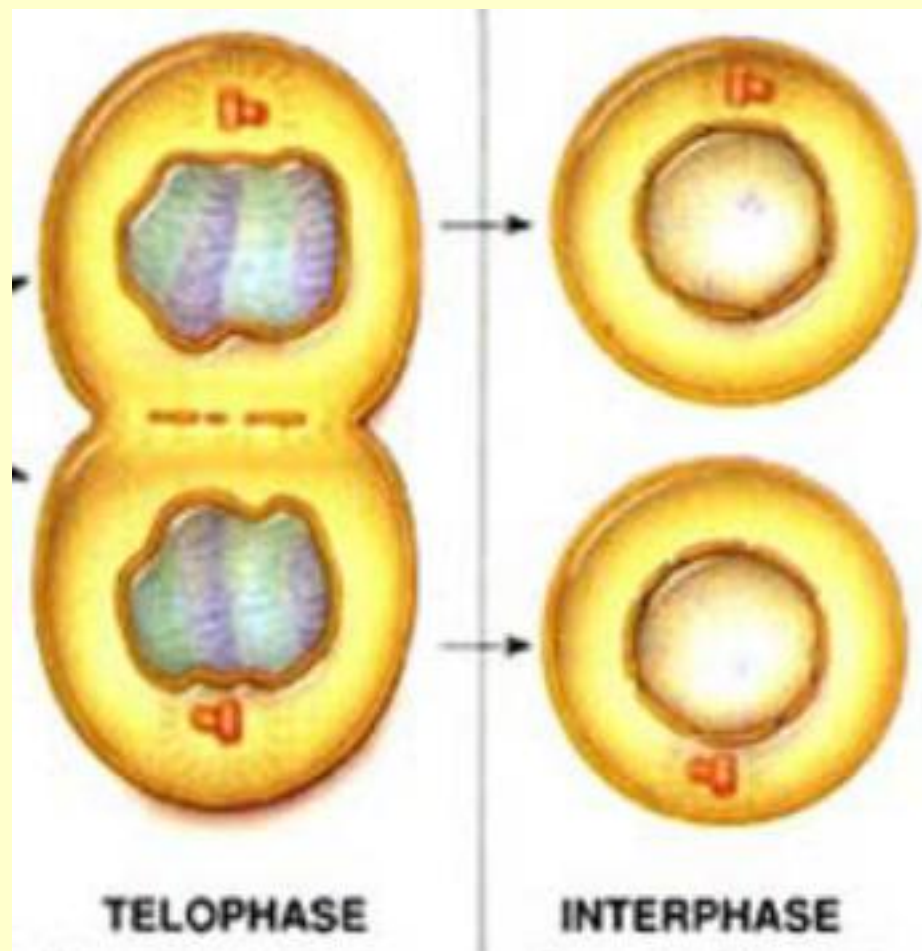
● 两极都具有相同的染色(单)体数。



1 有丝分裂过程——末期(*telophase*)

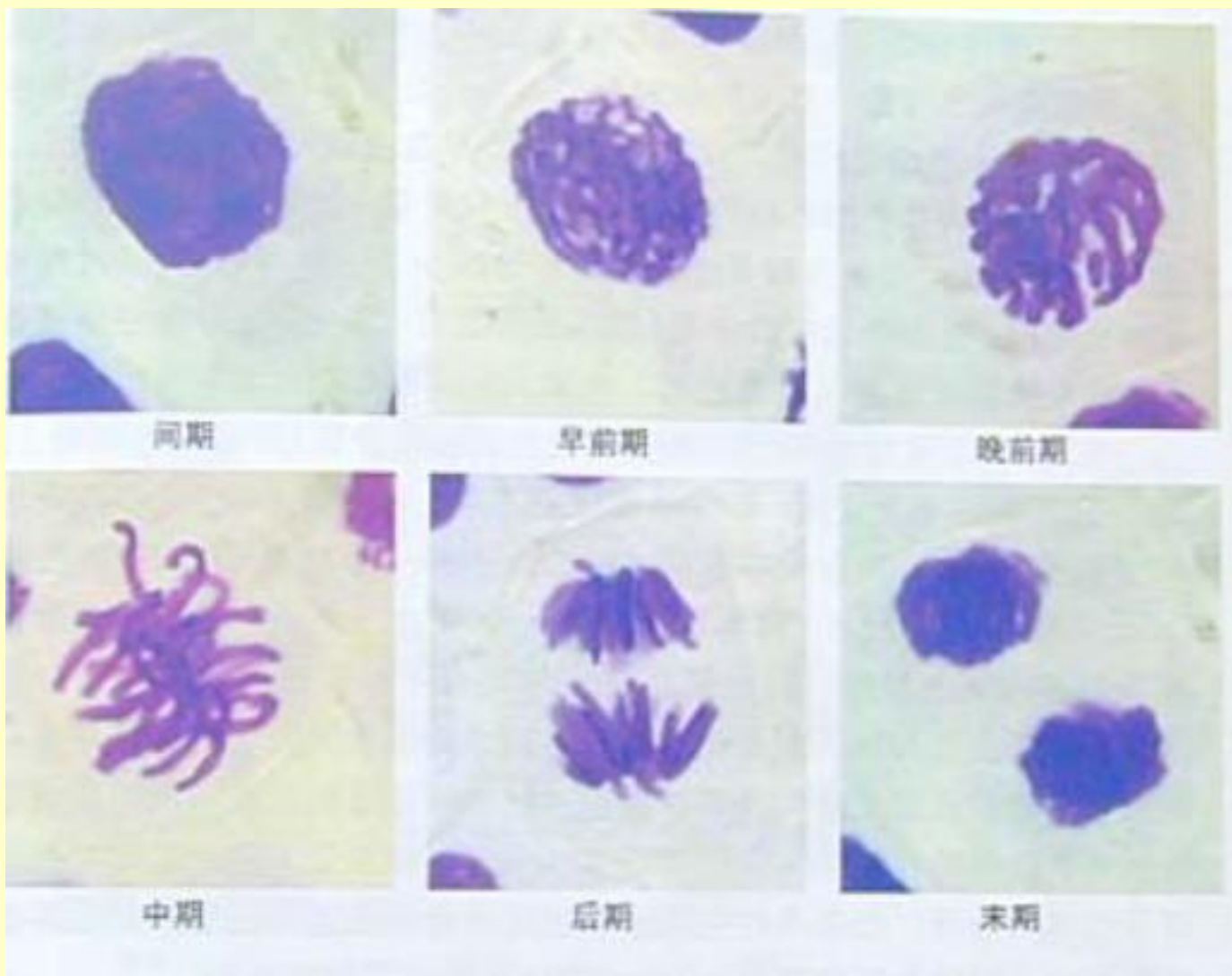
染色体到达两极后

- 核膜、核仁重建；
- 染色体解螺旋化，呈松散状态；
- 细胞质分裂，细胞板形成。



有丝分裂过程示意图

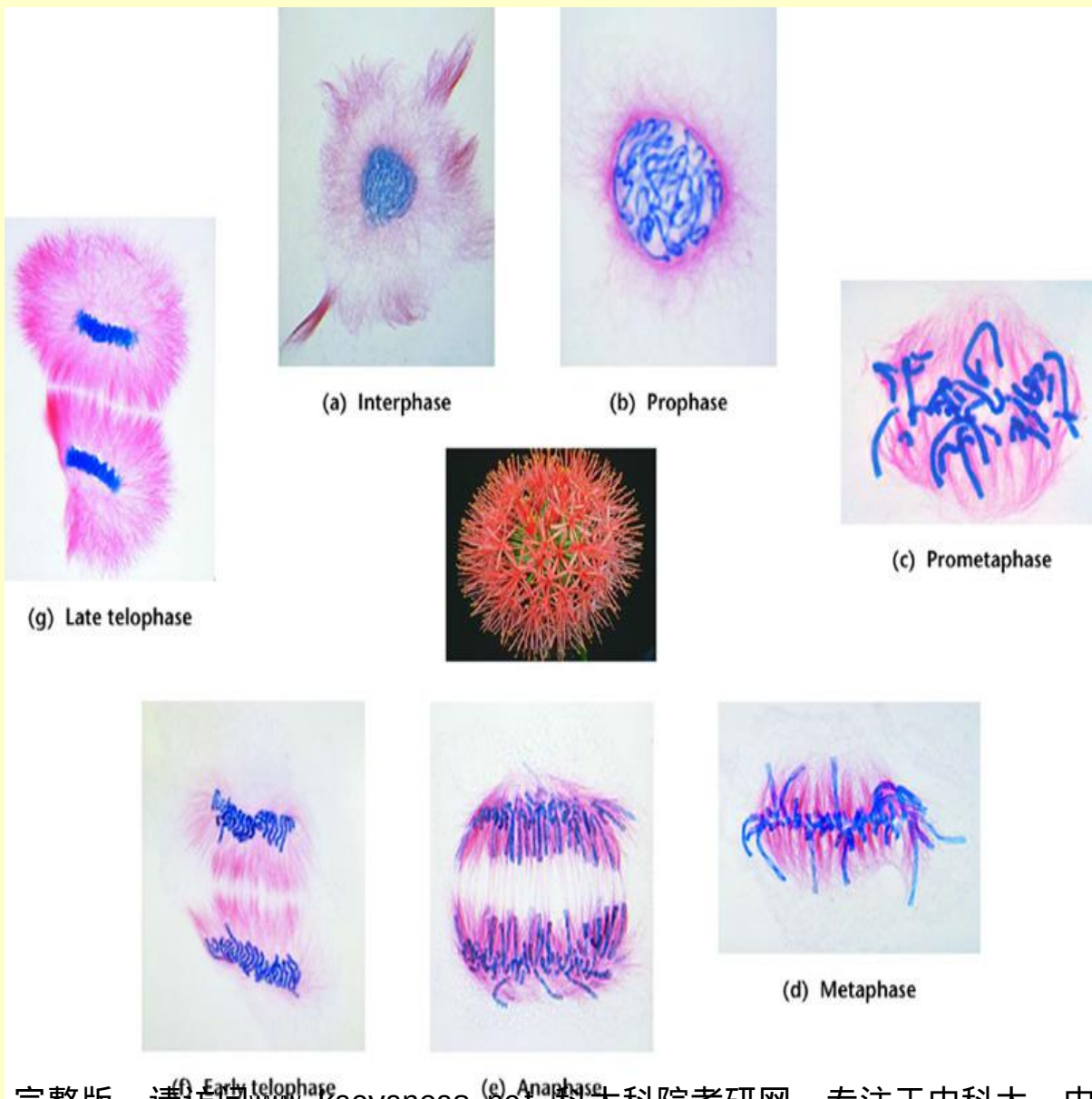
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net



完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

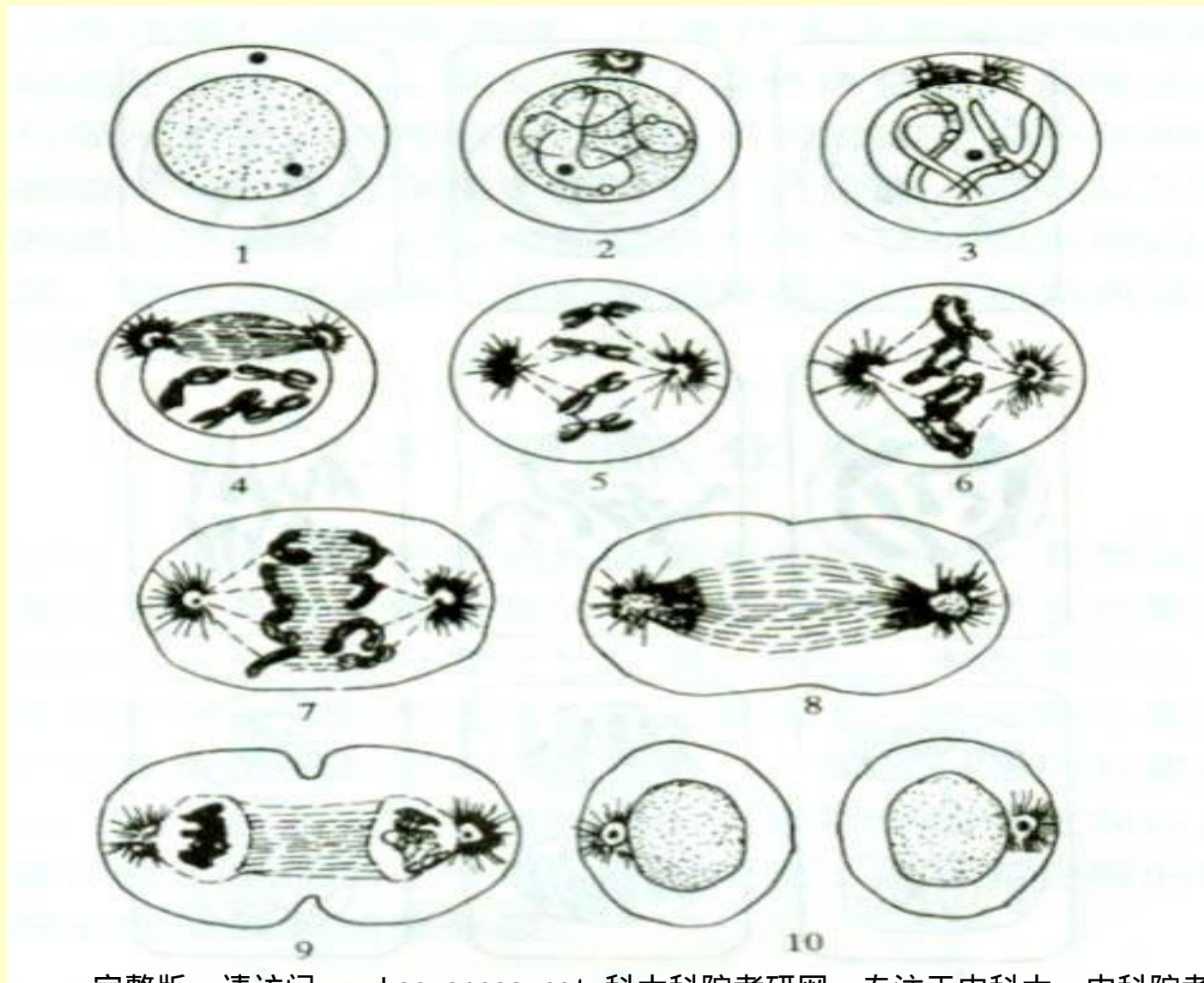
有丝分裂过程示意图

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

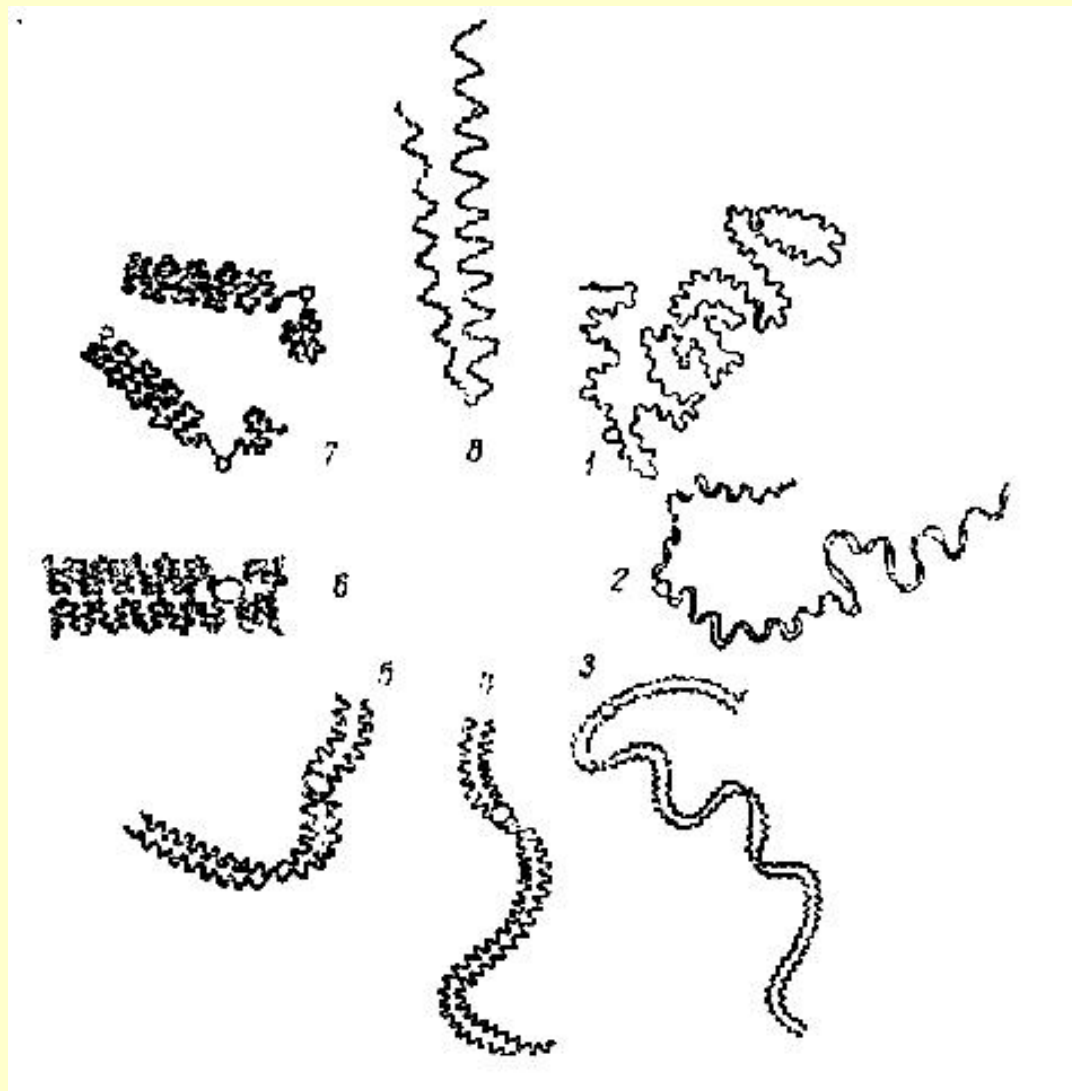


完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

动物细胞有丝分裂的模式图



染色体的形态变化周期



2 有丝分裂的遗传学意义

➤ 可从两个方面来理解：

- 核内染色体准确复制、分裂，为两个子细胞的遗传组成与母细胞完全一样打下基础；
- 染色体复制产生的两条姊妹染色单体分别分配到两个子细胞中，子细胞与母细胞具有相同的染色体数目和组成。

2 有丝分裂的遗传学意义

- 通过有丝分裂维持了生物个体的正常生长和发育(组织及细胞间遗传组成的一致性)；
- 保证了物种的连续性和稳定性(单细胞生物及无性繁殖生物个体间及世代间的遗传组成的一致性)。

3 有丝分裂的异常现象 内源有丝分裂

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

- **多核细胞 (multinucleate cell, polykaryocyte):** 染色体复制和核分裂正常进行，不发生细胞质分裂，形成具有多个游离细胞核的多核细胞。单子叶植物胚乳形成早期。
- **核内有丝分裂(endomitosis):** 染色体正常复制、着丝粒正常分裂，核、质不分裂。每条染色体复制、分裂产生的两条染色体包含在同一个细胞核内。核内染色体数目成倍增加。花药绒毡层细胞。
- **多线染色体(polytene chromosome):** 染色体正常复制，整个细胞经常性处于间期状态，不发生着丝粒分裂，不进行核、质分裂。复制一次，染色体的染色质线成倍增加，并由一个着丝粒结合在一起的。

3 有丝分裂的异常现象——多次有丝分裂

- 多次有丝分裂现象往往发生在减数分裂的产物四分孢子的进一步分裂过程中。
- 不经过染色体的复制，细胞核和细胞质连续发生多次分裂，这个过程中染色体随机分配到子细胞中；
- 子细胞的染色体数目极不完整，还会出现只有一条染色体，甚至没有染色体的小细胞。

3 有丝分裂的异常现象——体细胞联会

●通常情况下，有丝分裂过程中各条染色体在细胞内通常是随机分布，同源染色体之间在空间分布上互不影响。

●但是，人们也在一些动植物的体细胞有丝分裂中观察到一些非随机分布现象，其同源染色体在空间分布上有相互靠近的倾向，甚至，会出现同源染色体紧密、平行配对的现象。

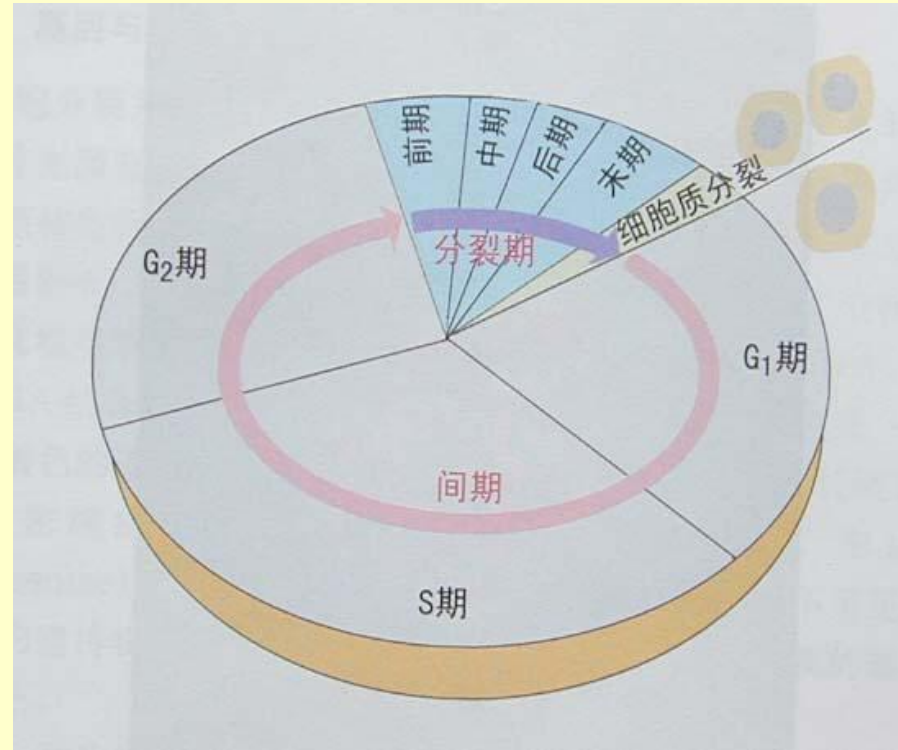
4 细胞周期(cell cycle)

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

● 一次细胞分裂结束后到下一次细胞分裂结束所经历的过程称为细胞周期(cell cycle)。

● 通常，有丝分裂期在整个细胞周期中所占的时间很短的。

● 在分生组织中细胞分裂的间期和分裂期是周期性交替进行的。



●细胞分裂周期的调控关键在间期。间期设有两个关键控制位点：一个是 G_1/S ，控制从 G_1 期进入S期；另一个是 G_2/M ，控制从 G_2 进入M期。控制点由**细胞周期蛋白** (cyclin protein) 及依赖于周期蛋白的**激酶** (CDK) 共同调控。

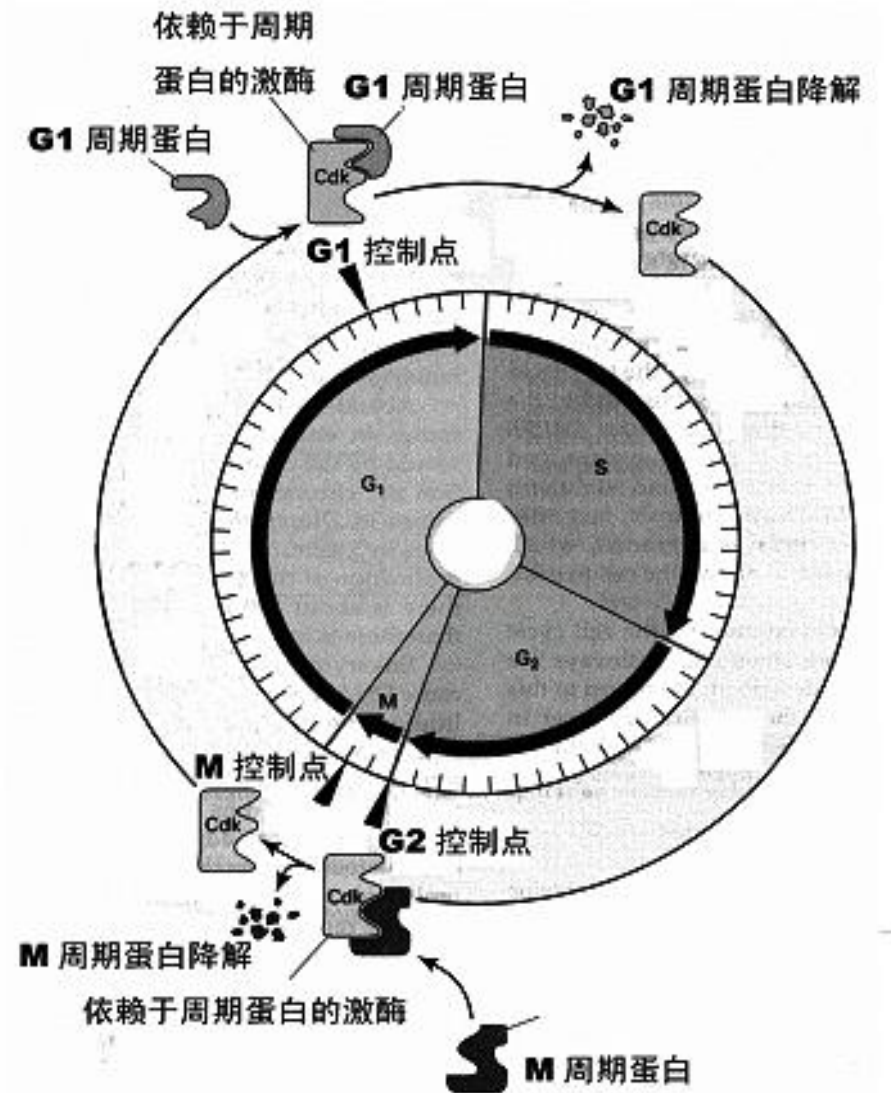


图 2-7 细胞周期的遗传控制 (引自 Russell, 2000)

● 减数分裂是性母细胞成熟时，配子形成过程中所发生的一种特殊的有丝分裂，又称成熟分裂(maturation division)。其结果是产生染色体数目减半的性细胞，所以称为减数分裂。

减数分裂的特殊性表现在：

- 具有一定的时间性和空间性：生物个体性成熟后，动物性腺和植物造孢组织细胞中进行。
- 连续进行两次分裂：遗传物质经过一次复制，连续两次分裂，导致染色体数目的减半。
- 同源染色体在第一次分裂前期(前期I，PI)相互配对(paring)，也称为联会(synapsis)；并且在同源染色体间发生片段的交换。

1 减数分裂的过程

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

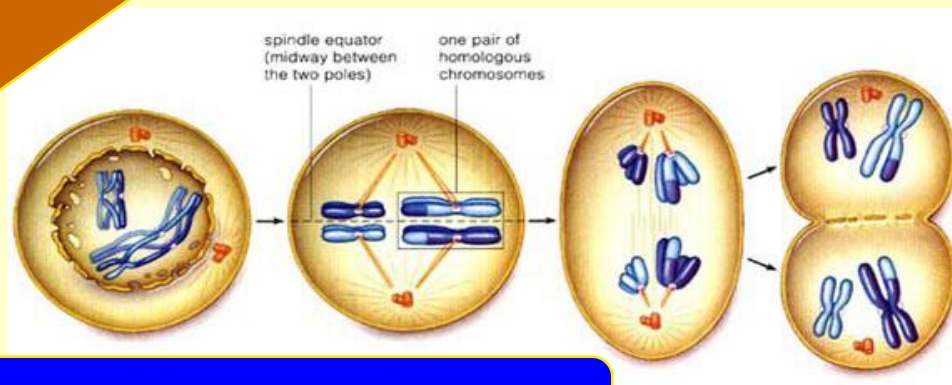
(1) 间期(前间期,
preinterphase)

(2) 减数第一分裂
(meiosis I)

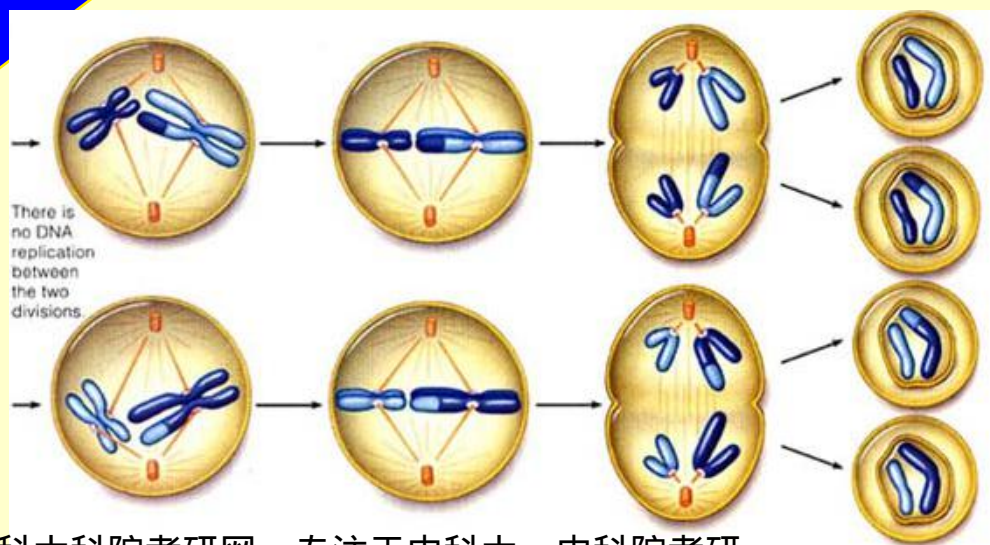
(3) 中间期
(interkinesis)

(4) 减数第二分裂
(meiosis II)

前期I 中期I 后期I 末期I



前期II 中期II 后期II 末期II



1 减数分裂的过程——间期(interphase)

●性母细胞进入减数分裂前的间期称为前减数分裂间期，也称为前间期。

●这一时期是为性细胞进入减数分裂作准备。其准备的内容包括：

染色体复制；

有丝分裂向减数分裂转化。

特征：

●持续时间比有丝分裂间期长，特别是合成期较长；

●合成期间往往仅有约99.7%的DNA完成合成，而其余的0.3%在偶线期合成。

1 减数分裂的过程——前期I (prophase I, PI)

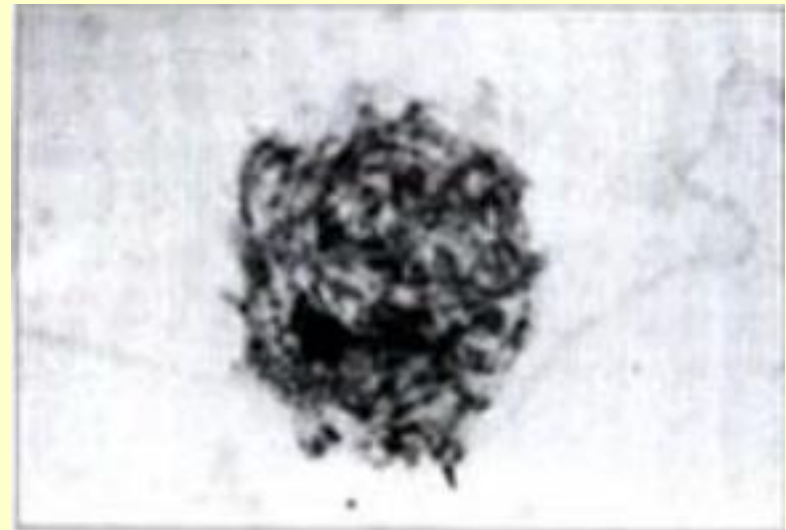
●这一时期细胞内变化复杂，所经历的时间较长，细胞核比有丝分裂前期核要大些。

●根据核内变化特征，可进一步分为五个时期：

- (1). 细线期(leptotene, PI_1).
- (2). 偶线期(zygotene, PI_2).
- (3). 粗线期(pachytene, PI_3).
- (4). 双线期(diplotene, PI_4).
- (5). 终变期(diakinesis, PI_5).

1 减数分裂的过程——细线期(*leptonene*, PI_1)

- 染色体开始螺旋收缩，在光学显微镜下呈细长线状；
- 这时每个染色体含有两染色单体，由着丝点连接，但在光学显微镜下还不能分辨染色单体。

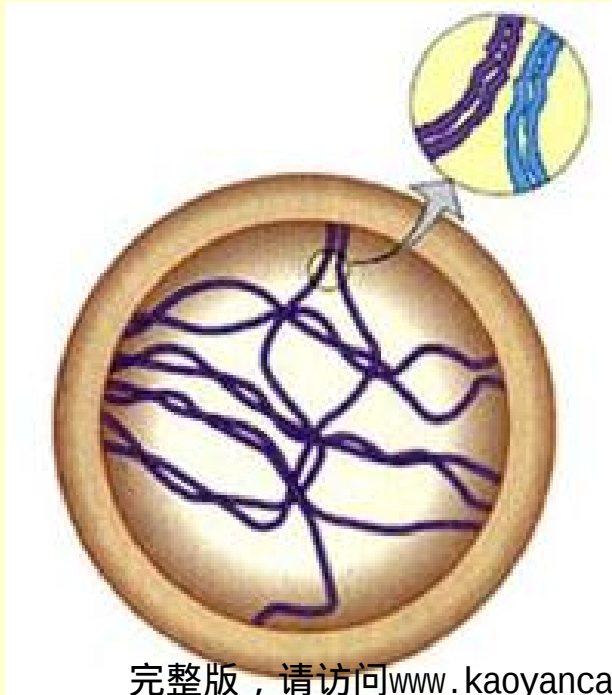


a Leptonema. Chromosomes condense and begin to pair, but do not synapse.

1 减数分裂的过程——偶线期(zygotene, PI_2)

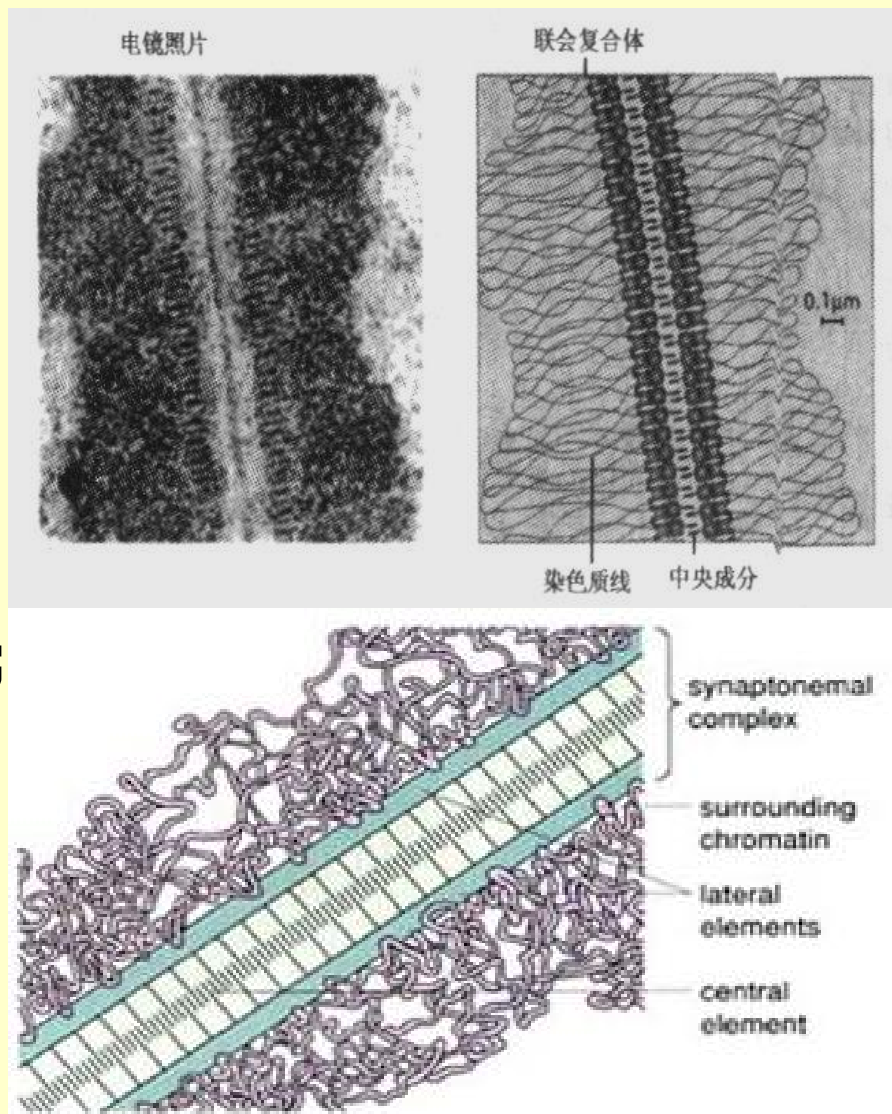
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

- 同源染色体的对应部位相互开始紧密并列，逐渐沿纵向配对在一起，称为**联会(synapsis)**。
- 细胞内 $2n$ 条染色体可配对形成 n 对染色体。配对的两条同源染色体称为**二价体(bivalent)**。
- 细胞内二价体(n)的数目就是同源染色体的对数。



两条同源染色体在联会时形成一种特殊的结构——联会复合体，其构成如图所示：

- 两条同源染色体的主要部分(染色质DNA)分布在联会复合体的外侧；
- 中间部分(中央成分, central element)以蛋白质为主，也包含部分DNA（称为横丝）。

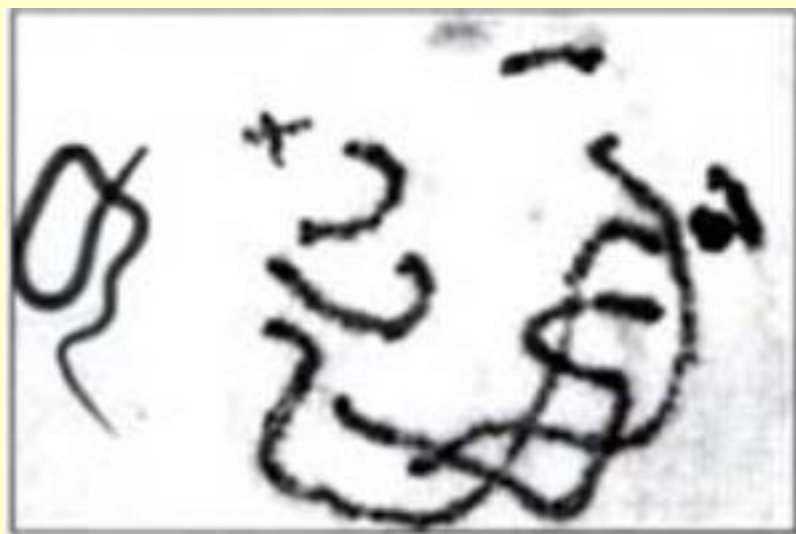


1 减数分裂的过程——粗线期(pachytene, PI_3)

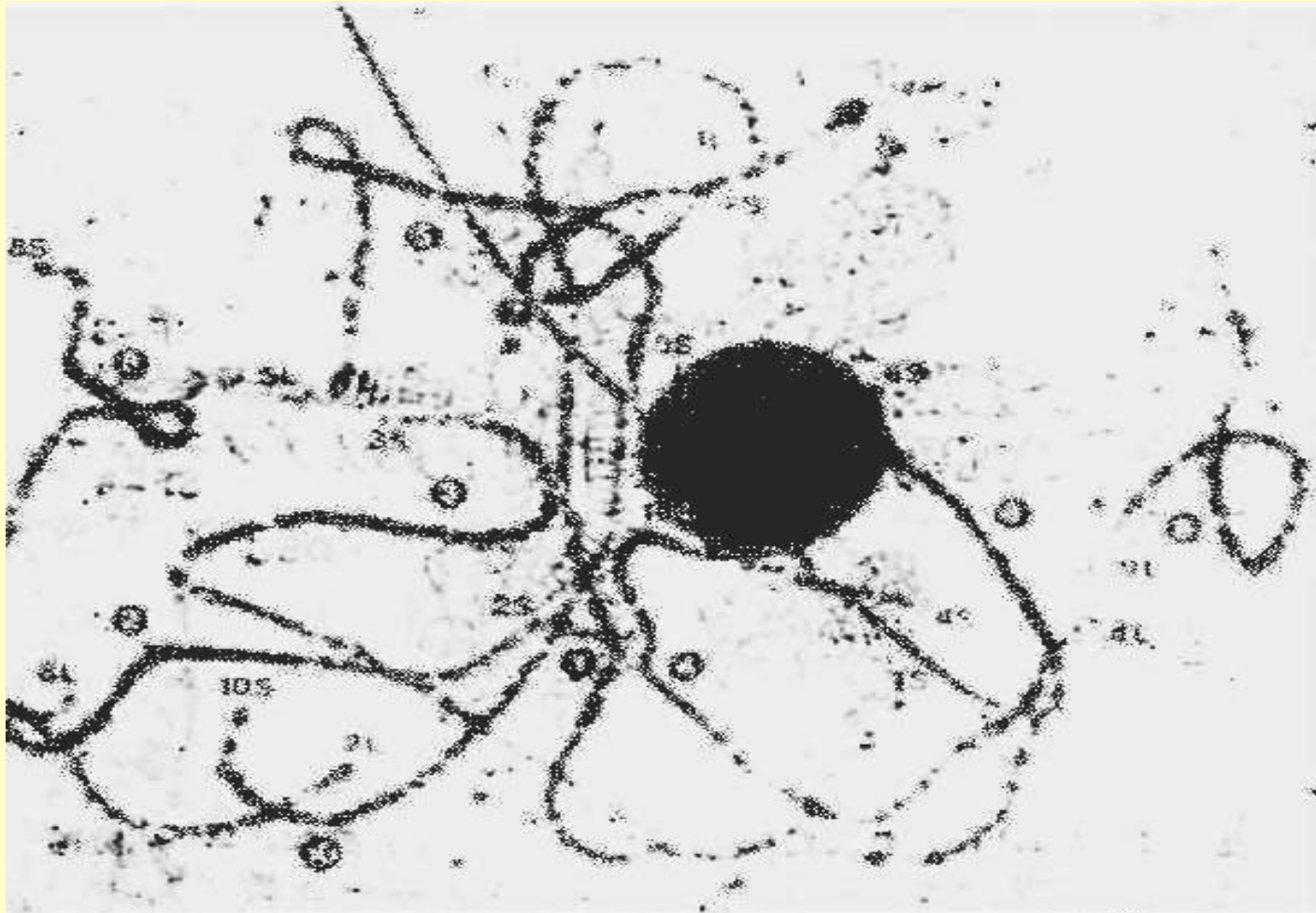
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问 www.kaoyancas.net

二价体逐渐缩短加粗，二价体具有四条染色单体，又称**四合体或四联体(tetrad)**；联会复合体的结构完全形成；

- 姊妹染色单体与非姊妹染色单体；
- 非姊妹染色单体间交换，导致同源染色体发生**片段交换(exchange)**、同源染色体间发生遗传物质**重组(recombination)**。



粗线期细胞形态图

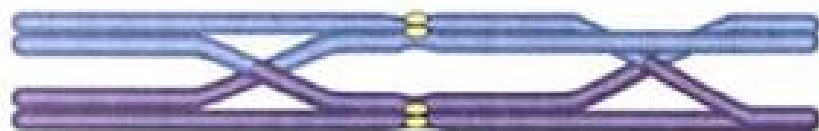


玉米小孢子母细胞减数分裂粗线期，显示 10 个二价体。
6 号染色体的 NOR 与核仁相连

非姊妹染色单体片段交换



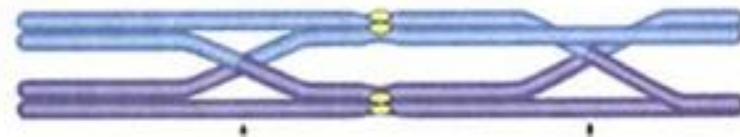
a Nonsister chromatids in paired homologous chromosomes come into contact with one another.



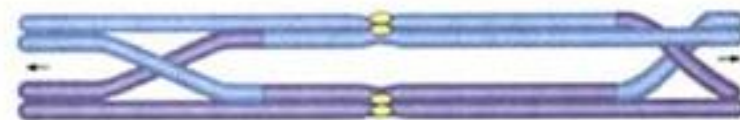
b The nonsister chromatids exchange segments.



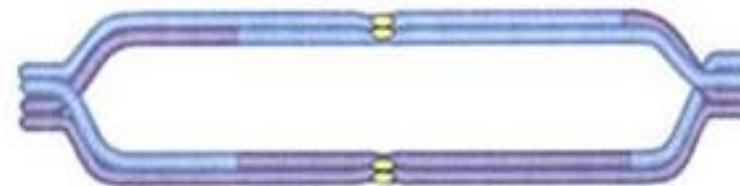
c The resulting chromosomes are a hybrid patchwork of maternal and paternal segments.



a Chiasmata form at the points of crossing over.

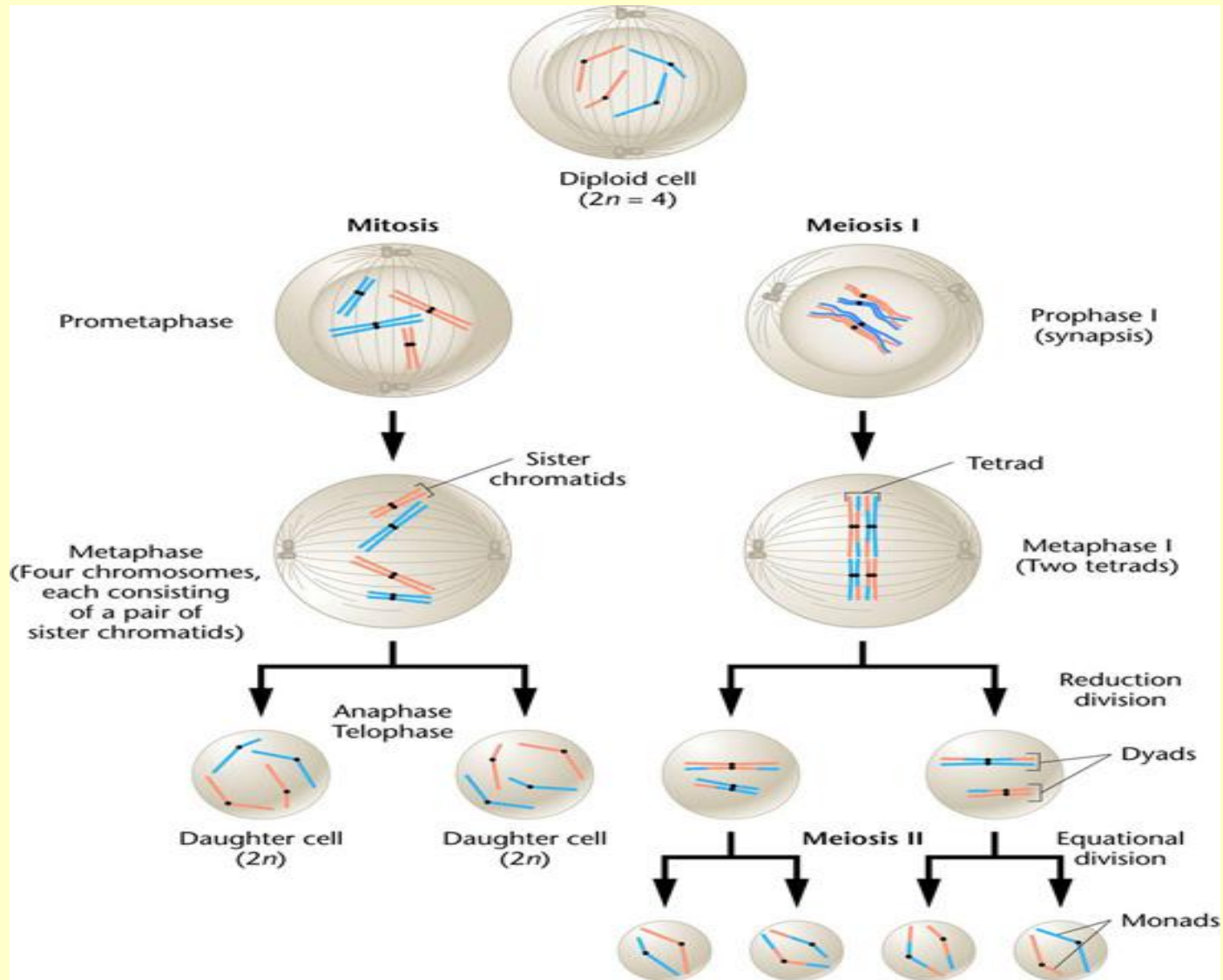


b The chiasmata migrate away from the centromere.



c The chiasmata terminalize at the telomeres and keep the homologous chromosomes paired.

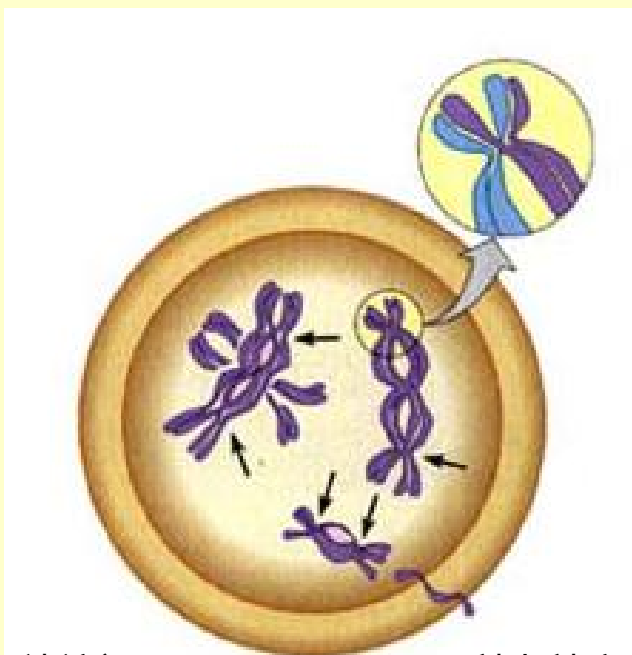
非姊妹染色单体片断交换



1 减数分裂的过程——双线期(diplotene, PI_4)

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

- 染色体继续缩短变粗；
- 非姊妹染色单体之间由于螺旋卷缩而相互排斥，同源染色体局部开始分开；
- 非姊妹染色单体间的交换部位仍由横丝连接，因而同源染色体间仍由一至二个交叉(chiasmata)联结。

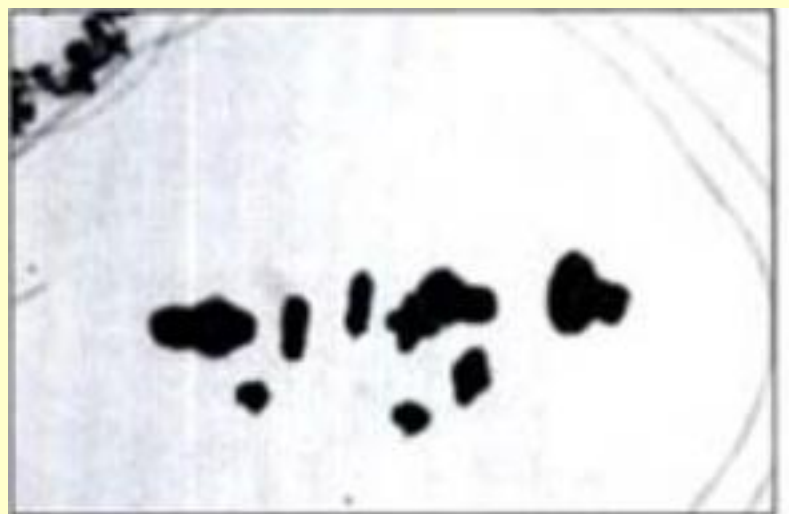


d Diplotenema. Sister chromatids and chiasmata become visible with light microscopy. The arrows point to chiasmata.

1 减数分裂的过程——终变期(*diakinesis*, *PI₅*)

高参考价值的真题答案、学长笔记、辅导班课程，访问 www.kaoyancas.net

- 染色体进一步浓缩，缩短变粗；
- 同源染色体间排斥力更大，交叉向二价体两端移动，逐渐接近于末端，该过程称为**交叉端化**(*terminalization*)。
- 二价体在核内分散分布，因而常用以鉴定染色体数目，二价体数目就是同源染色体的对数。



完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

Diakinesis: Chromosomes condense, and chiasmata terminalize.

染色体交叉动态变化

Figure 1.15
During diakinesis the
chiasmata appear to move
toward the ends of the
bivalents.

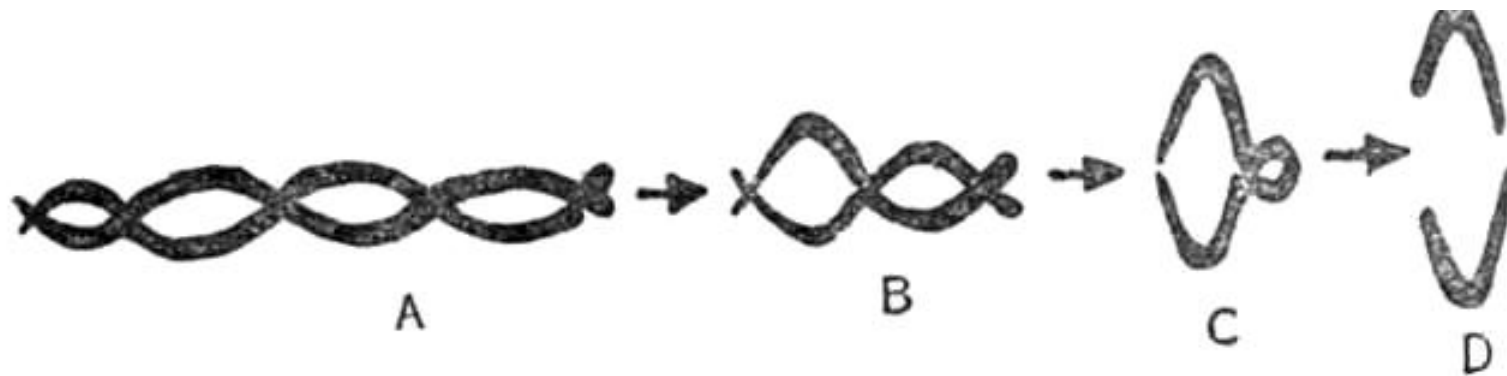
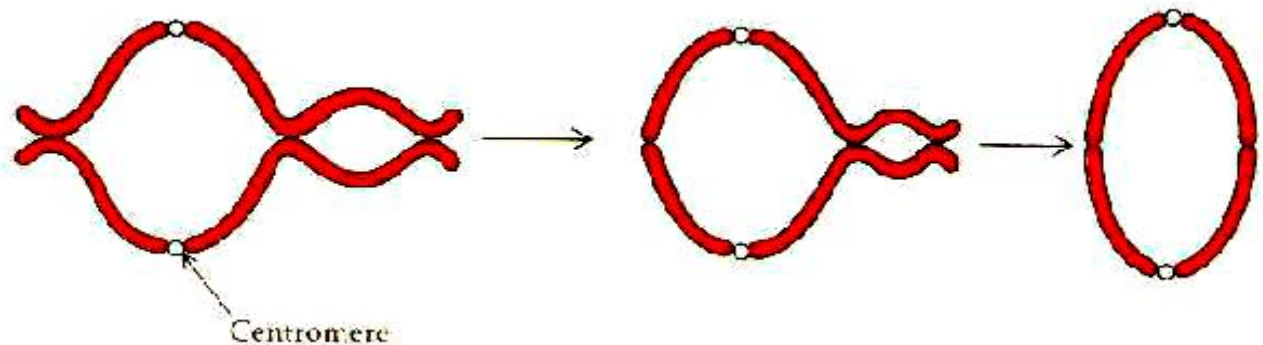
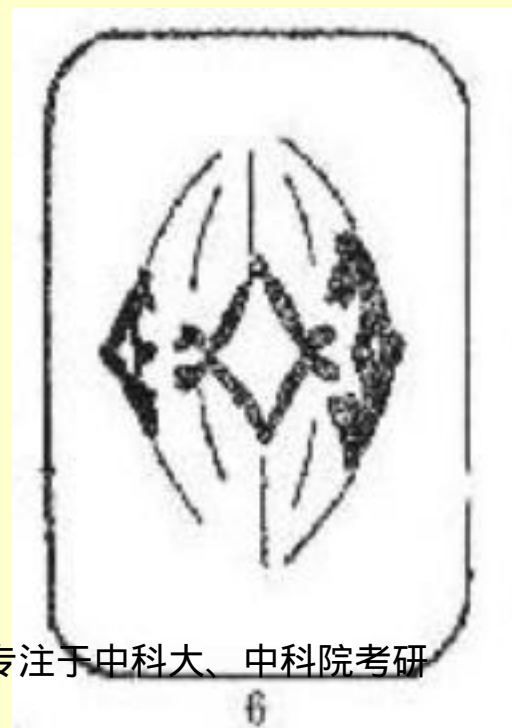
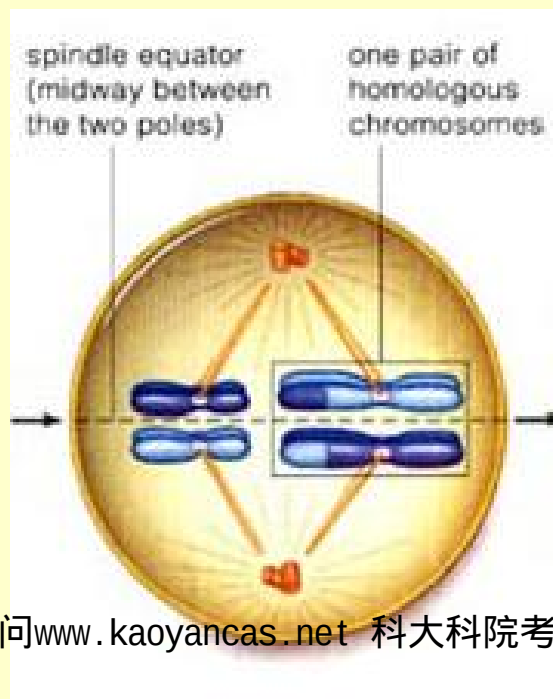


图 1-2 减数分裂中染色体交叉动态变化(引自 Sinha, 1980)。
(A, 双线期; B, 终变期; C, 中期; D, 后期。)

1 减数分裂的过程——中期I (metaphase I, MI)

高参考价值的真题答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

- 核仁和核膜消失，纺锤体形成，纺锤丝附着在着丝点上并将二价体拉向赤道板位置。
- 二价体的两同源染色体分布在赤道板的两侧，同源染色体的着丝点分别朝向两极，赤道板位置上是同源染色体相连交叉部分(已经端化)。

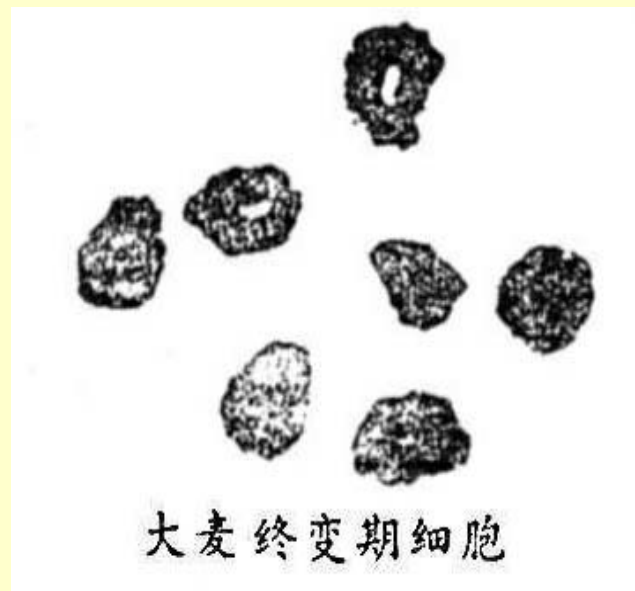


1 减数分裂的过程——中期 I (metaphase I, MI)

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

●在二价体趋向赤道板的过程中，两条同源染色体的排列方向（着丝粒取向）是随机的。

●从纺锤体的极面观察， n 个二价体分散排在赤道板的附近，因而这也是可用于鉴定染色体数目的重要时期之一。



大麦终变期细胞



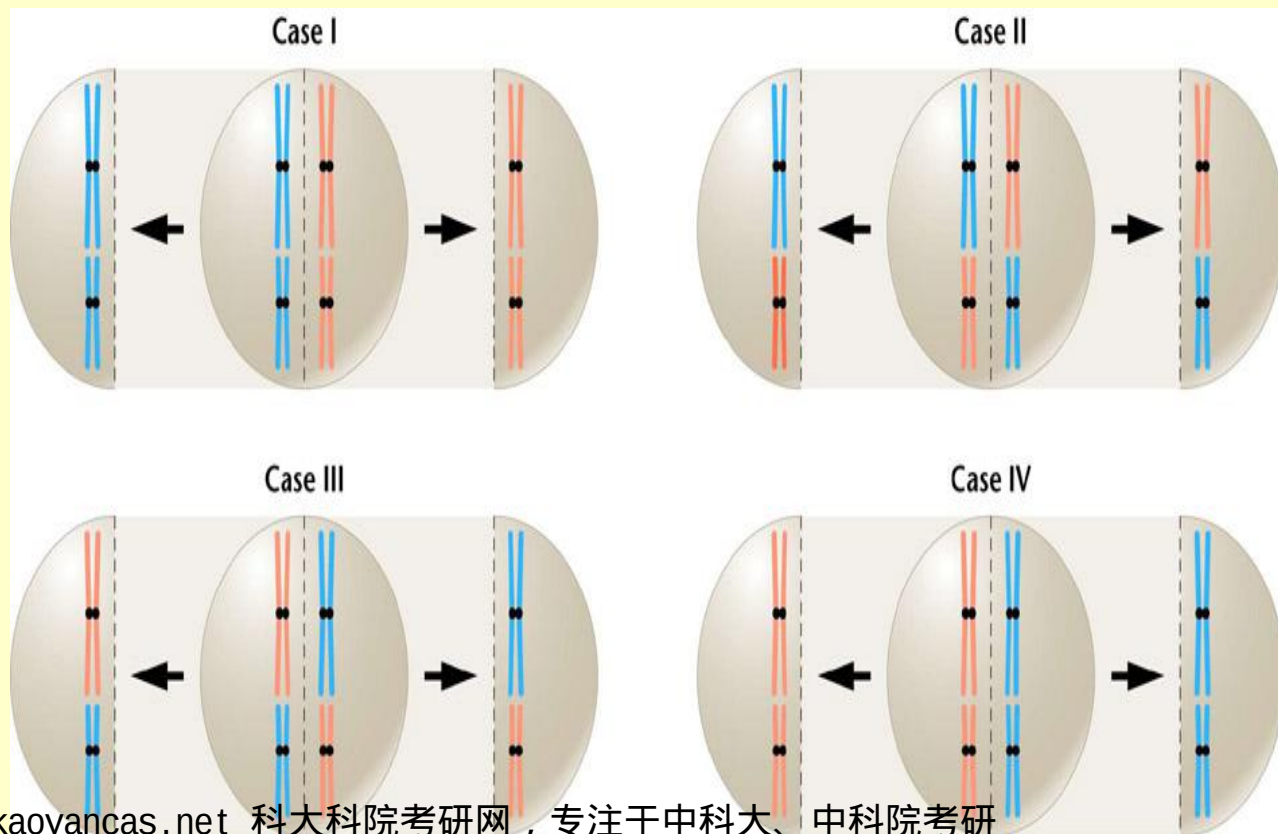
大麦中期 I

中期 I 二价体的随机取向

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

- 如果某生物有两对同源染色体：AA'和BB'，产生的性细胞具有AA'中的一条和BB'中的一条。
- 非同源染色体在性细胞中可能有 $2^2=4$ 种组合（配子）。

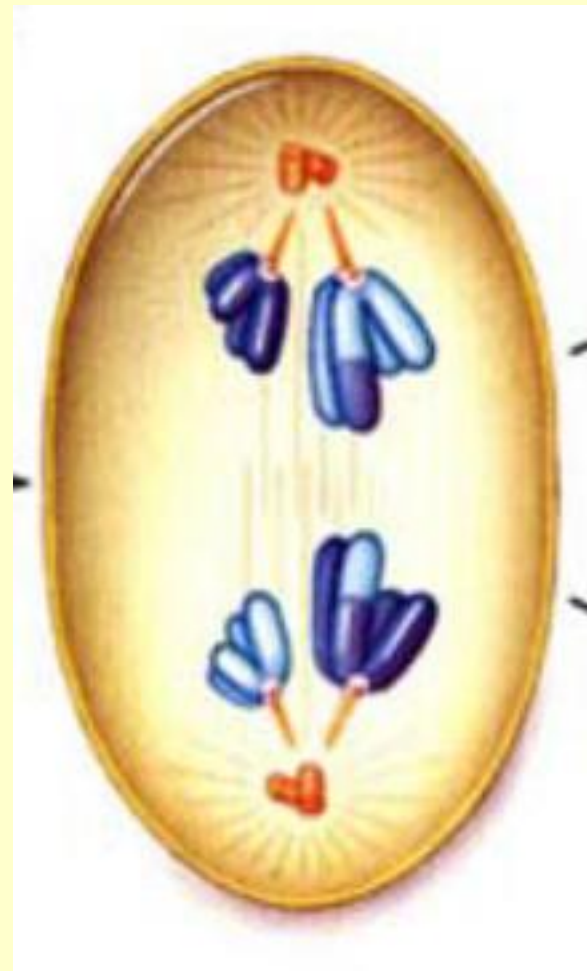
2^n



1 减数分裂的过程 后期I(anaphase I, AI)

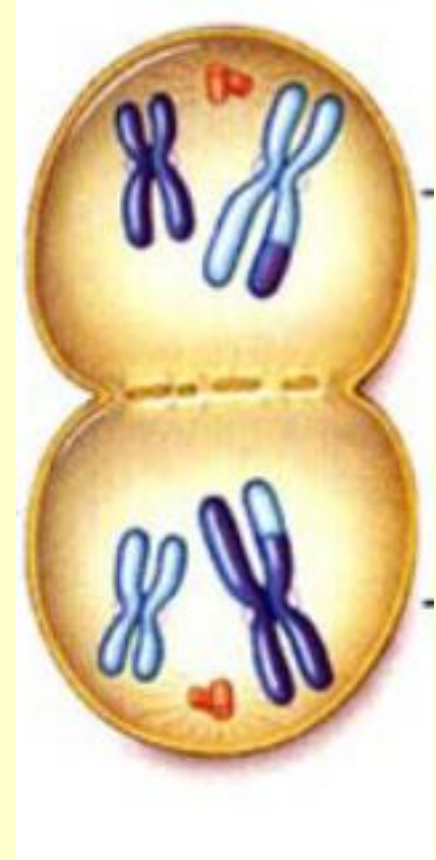
高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

- 纺锤丝牵引染色体向两极运动，一对同源染色体分别移向两极。
- 每极具有一对同源染色体中的一条(共有 n 条染色体)，使得子细胞中染色体数目从 $2n$ 减半到 n 。
- 此过程并不进行着丝粒分裂，没有发生染色单体分离；每条染色体都仍然具有两个染色单体。



1 减数分裂的过程——末期I(*telophase I, TI*)

- 染色体到达两极之后，松散、伸长、变细(但通常并不完全解螺旋)；
- 核仁、核膜逐渐形成(核分裂完成)，产生两个子核。
- 细胞质也随之分裂，两个子细胞形成，称为二分体(dyad)。



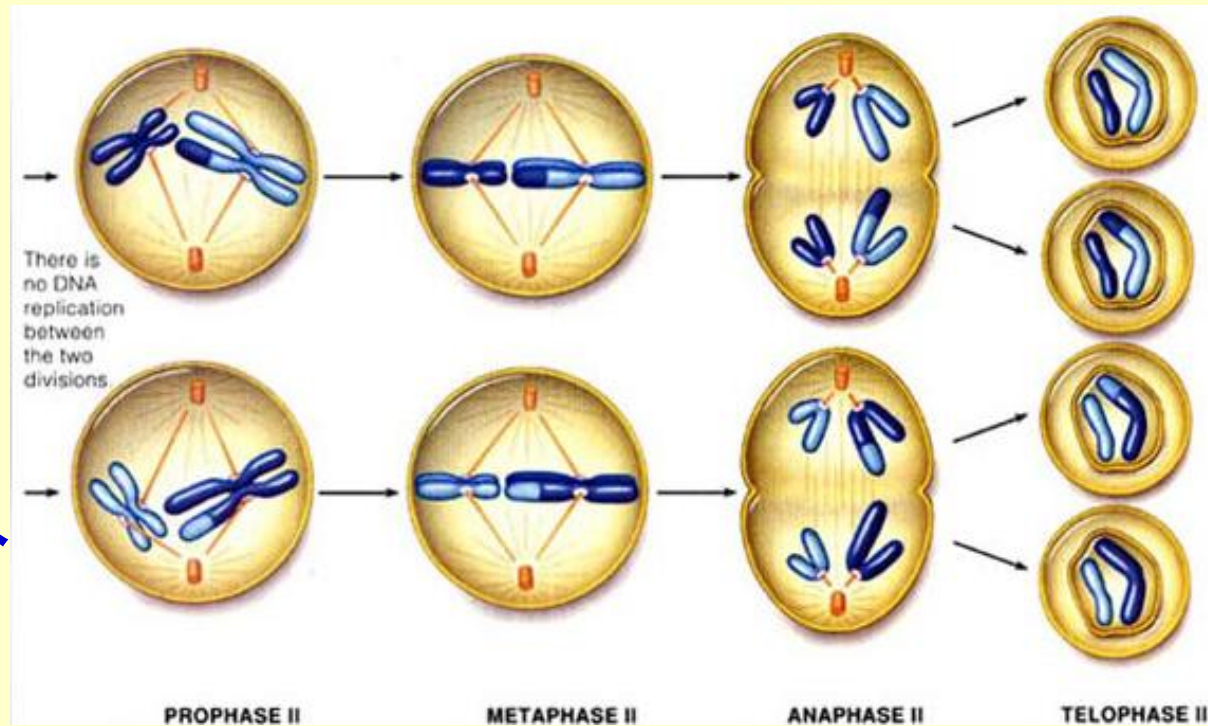
1 减数分裂的过程——中间期(*interkinesis*)

中间期是减数分裂的两次分裂之间的一个间歇。此时期与有丝分裂的间期相比有显著不同：

- 时间很短暂。在许多动物之中，甚至没有明显的停顿和间歇存在。
- 不进行DNA复制，中间期前后细胞中DNA的含量也没有变化。
- 染色体的螺旋化程度较高。

1 减数分裂的过程——减数第二分裂(meiosis II)

减数第二分裂是第一分裂所产生的两个子细胞继续进行同步分裂，与有丝分裂没有实质区别，仍可分为前、中、后、末四个时期：





间期



前期I



中期I



后期I



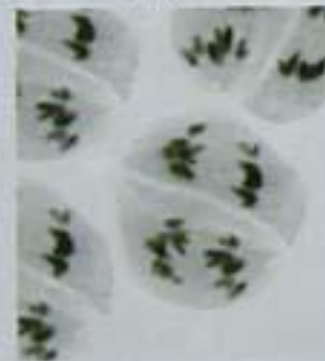
末期I



前期II



中期II

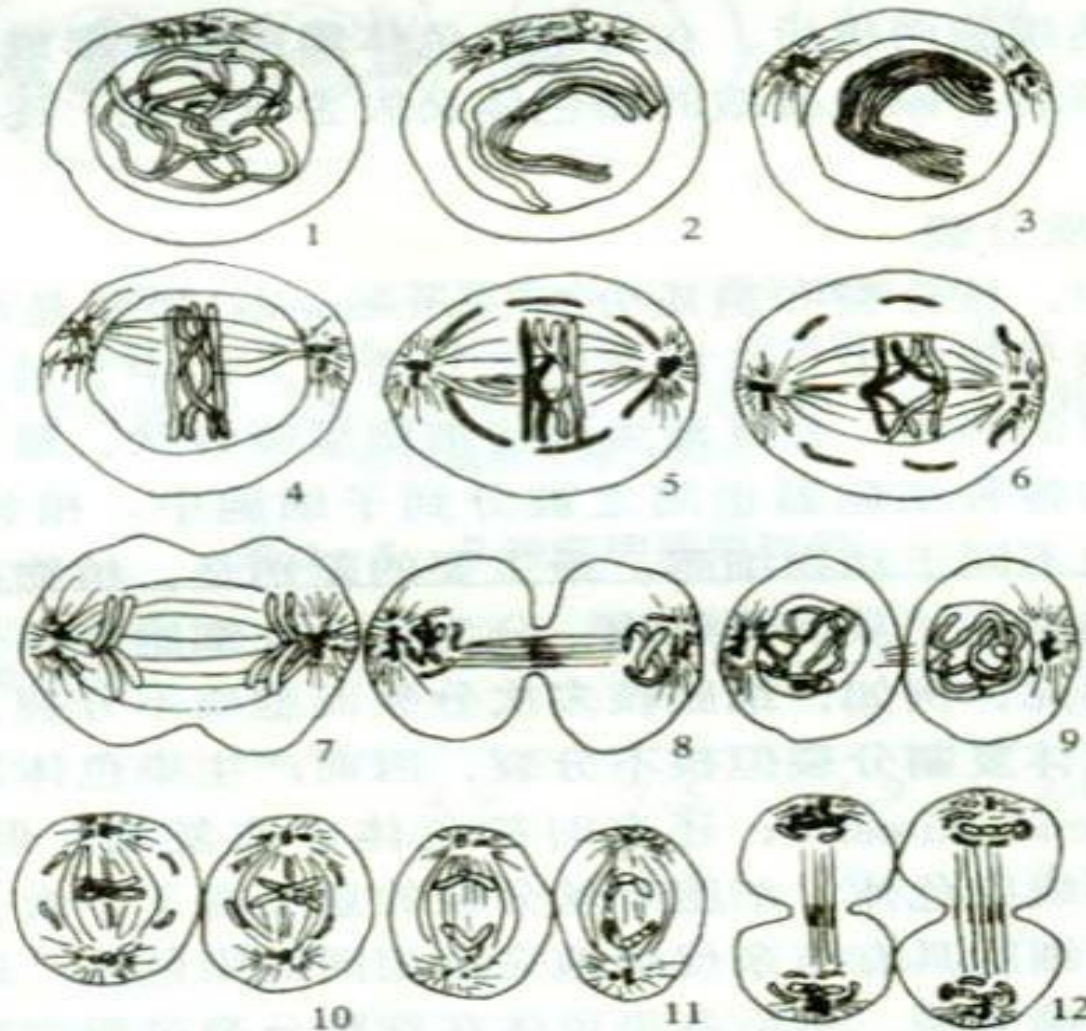


后期II



末期II

动物细胞减数分裂的模式图

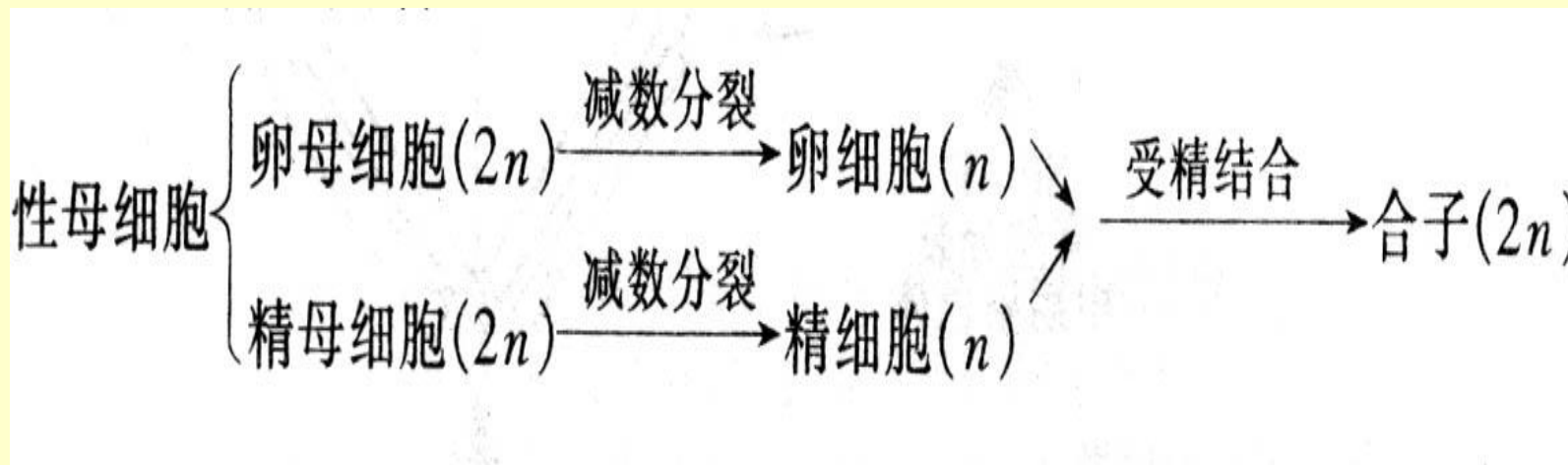


2 减数分裂的遗传学意义

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

(1) 保证了亲代与子代之间染色体数目的恒定性。

- 双亲性母细胞($2n$)经过减数分裂产生性细胞(n)，实现了染色体数目的减半；
- 雌雄性细胞融合产生的合子(及其后代个体)就具有该物种固有的染色体数目($2n$)，保持了物种的相对稳定。



2 减数分裂的遗传学意义

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

(2) 为生物的变异提供了重要的物质基础。

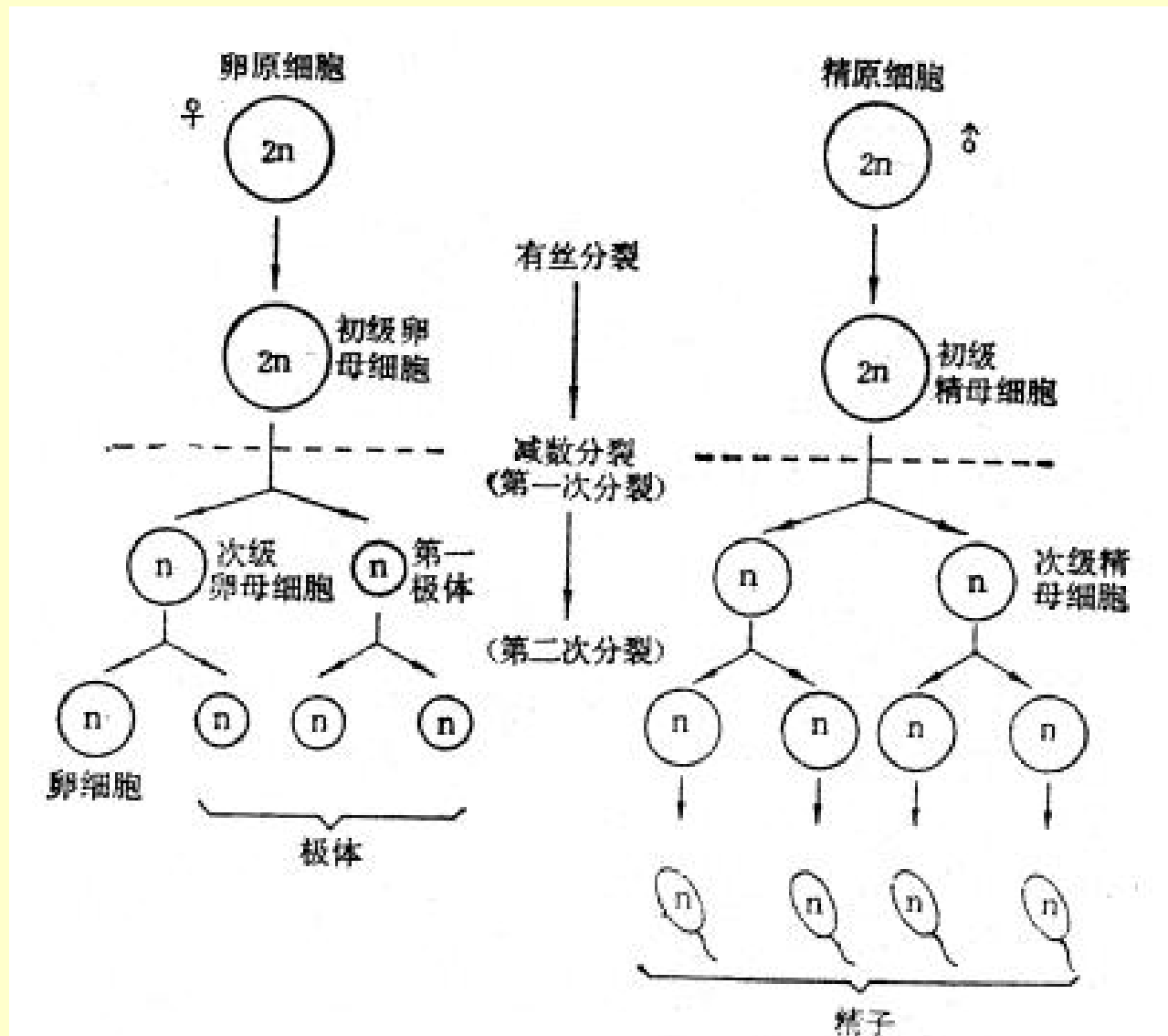
● 中期 I，二价体的两个成员的排列方向是随机的，后期 I 两条同源染色体随机分向两极，所产生的性细胞有 2^n 种非同源染色体的组合形式(染色体重组，recombination of chromosome)，是独立分配规律的基础。

● 非姊妹染色单体间的交换，导致同源染色体间的片段交换(exchange of segment)，为生物变异提供更为重要的物质基础(染色体片断重组，recombination of segment)。这是连锁遗传规律的基础。

第4节 配子的形成和受精

- 一、雌雄配子的形成
- 二、受精
- 三、直感现象
- 四、无融合生殖

一、雌雄配子的形成——动物



一、雌雄配子的形成——植物

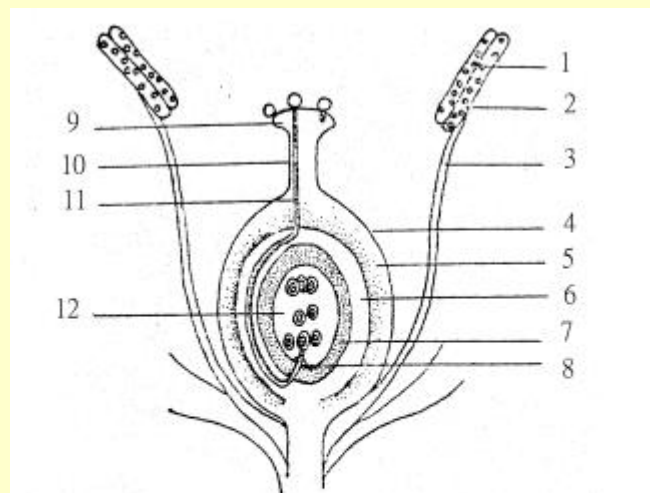
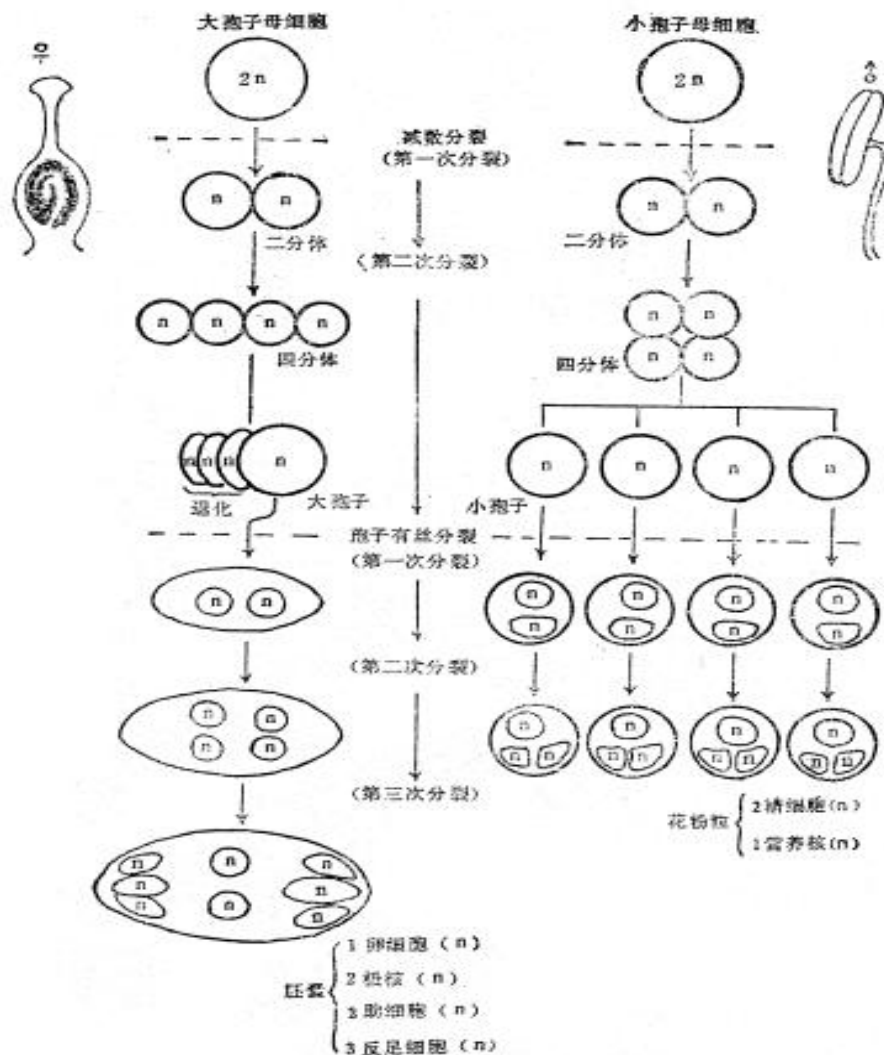


图 2-12 植物的雌蕊和雄蕊

- 1.花粉粒 2.花药 3.花丝 4.子房 5.子房壁
6.珠被 7.珠心 8.珠孔 9.柱头 10.花柱
11.花粉管 12.胚囊

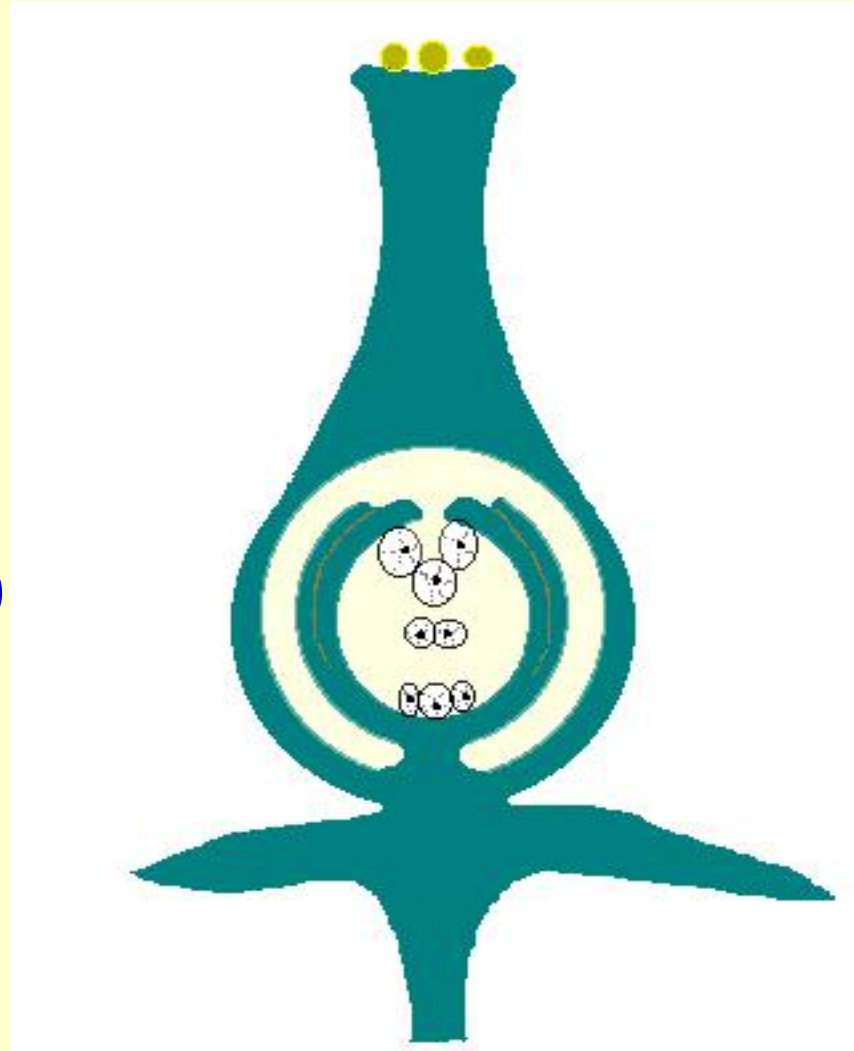


被子植物的受精过程称为双受精(double fertilization)。

● 花粉管内两个精核进入胚囊；

● 其中一个精核(n)与卵细胞(n)受精结合形成合子(2n)将来发育成胚；

● 另一个精核(n)与两个极核(n+n)受精结合为胚乳核(3n)，将来发育成胚乳。



高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问 www.kaoyancas.net

被子植物种子、果实各部分的遗传来源

	染色体数	前体	来源
胚	$2n$	合子	受精产物
胚乳	$3n$	胚乳核	受精产物
种皮	$2n$	珠被	母本组织
果皮	$2n$	子房壁	母本组织

- 直感现象指由于花粉作用而引起种子、果实的特征、特性表现差异的现象，也就是说不同遗传组成的花粉可以导致种子、果实表现不同的特征(部分表现父本的性状特征)。

三、直感现象

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

●直感现象可以分为两类：

胚乳直感(xenia)，也称为花粉直感：胚乳的部分性状直接表现与父本一致。胚乳直感的直接原因就是双受精，胚乳中的 n 条染色体来自父本。在一些胚乳发达的单子叶植物常出现胚乳直感现象，如玉米。

果实直感(metaxenia)：由于花粉的影响而使种皮或果皮等来源于母本的组织表现出父本的某些性状。例如棉籽的纤维特征(种皮细胞延伸形成)等。果实直感与双受精过程无关，而是由于胚对种皮、果皮发育过程中产生了生理、生化水平上的影响。

●无融合生殖是不经过两性细胞融合，但是由性器官产生后代的生殖行为。

●是有性生殖的一种特殊方式或变态。但是，无融合生殖过程中所表现的遗传变异特征更接近于无性生殖。

●无融合生殖最早是在植物中发现的，但是这一现象在动物界、高等植物界(藻类和蕨类植物)都存在，并在植物界更为普遍。

➤单倍配子体无融合生殖

孤雌生殖（卵细胞）

孤雄生殖（精细胞）

无配子生殖（助、反足细胞）

➤二倍配子体无融合生殖($2n$)

➤不定胚($2n$)

➤单性结实

生活周期的概念：

●指生物个体发育的全过程，也称为生活史。从合子到个体成熟和死亡所经历的一系列发育阶段。

●大多数有性生殖生物的生活周期都是有性世代和无性世代交替，也称世代交替 (alternation of generations)。

一、低等植物的生活周期

- 配子体(n)世代=单倍体世代=无性世代；
- 孢子体($2n$)世代=二倍体世代=有性世代；
- 单倍配子体无性世代与二倍孢子体有性世代交替。

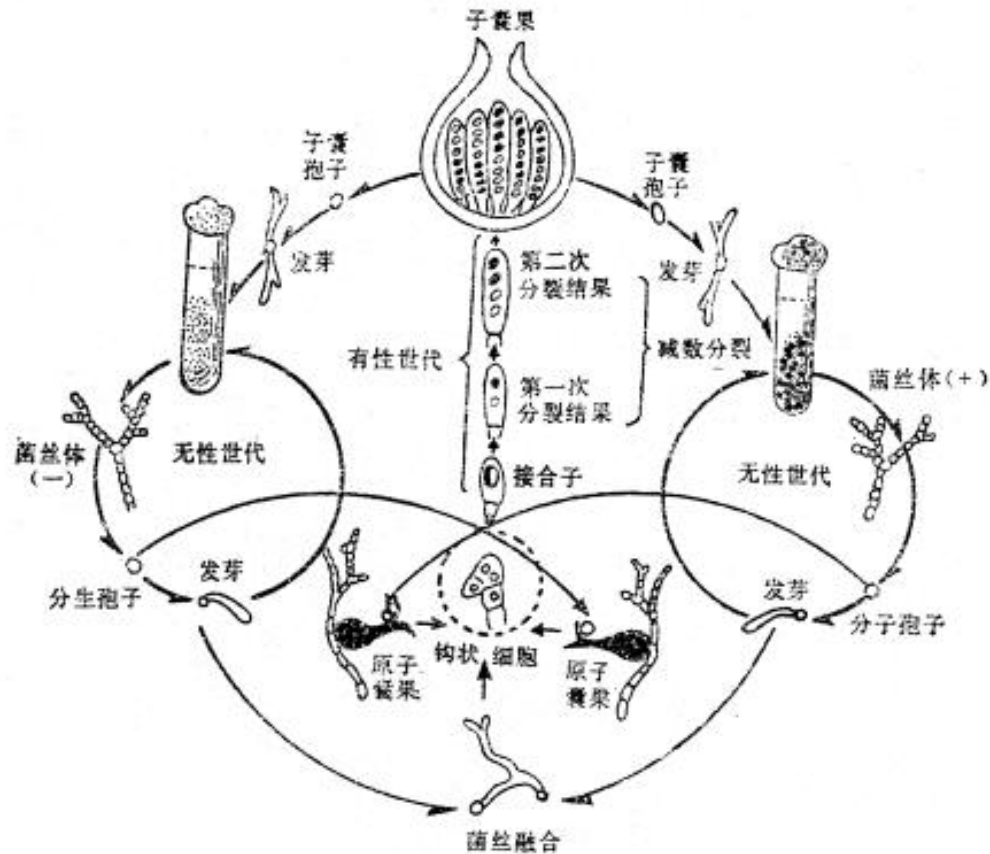


图 2-14 红色面包霉的生活周期

孢子体世代是寄生于配子体世代之上

二、高等植物的生活周期

- 孢子体(sporophyte, $2n$), 孢子体世代=二倍体世代=无性世代;
- 配子体(gametophyte, n), 配子体世代=单倍体世代=有性世代;
- 二倍孢子体无性世代与单倍配子体有性世代交替。

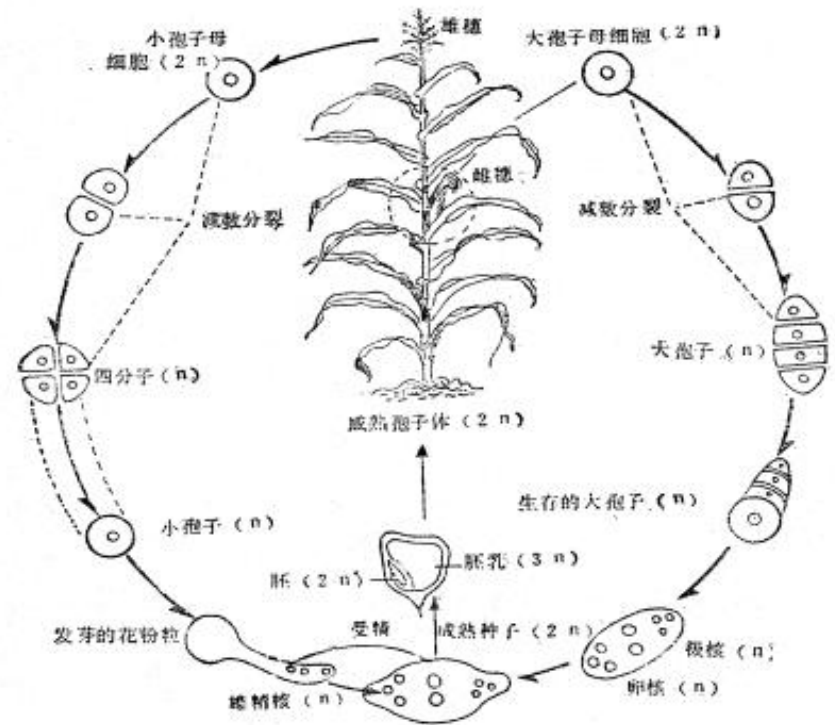


图 2-15 玉米的生活周期

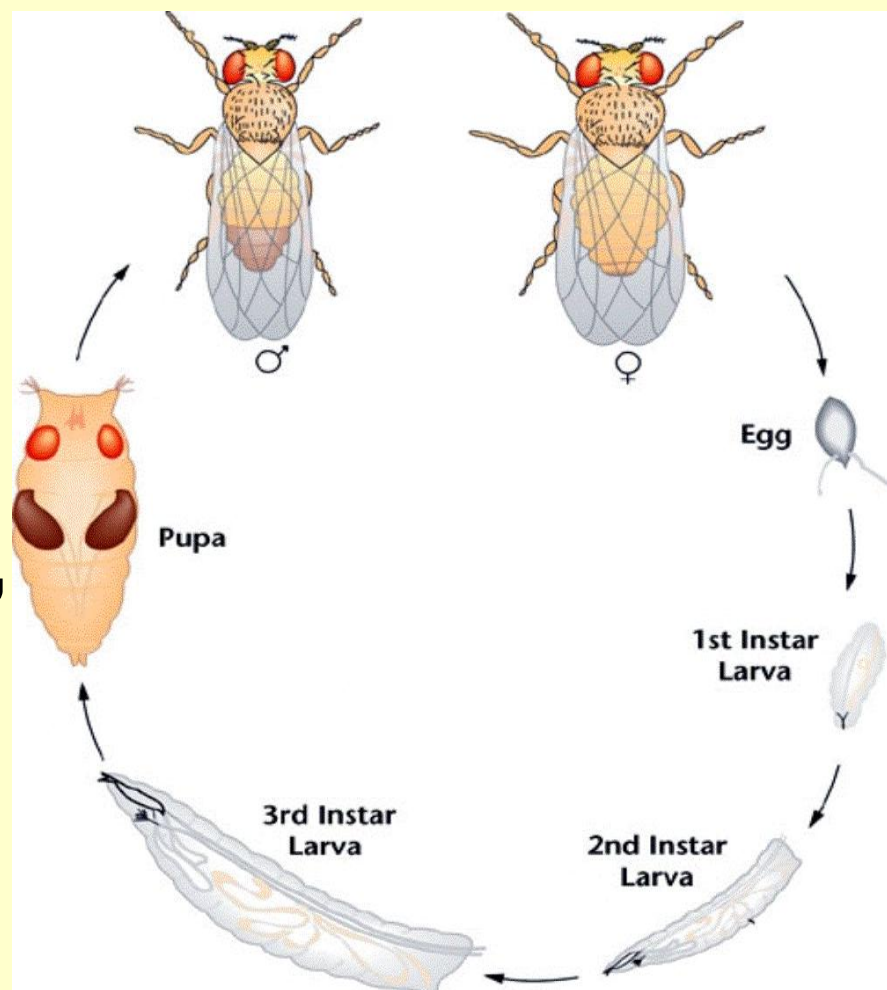
配子体世代是寄生于孢子体世代之上的。

三、高等动物的生活周期

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

总体上与高等植物是相似的，也是二倍孢子体无性世代与单倍配子体有性世代交替。仅在具体过程和发育上有一些差别。

●果蝇生活周期短(在25 °C, 约12天),繁殖率高,饲养方便,变异类型丰富,染色体数目少($2n=8$),有利于观察研究。



配子体世代是寄生于孢子体世代之上

本章重点

- 1 染色体的形态结构
- 2 染色体的分子结构
- 3 减数分裂

作业：

p31: 1、3、4、6、8、9、10

p62: 1