

9.1 染色体组及其整倍性

9.1.1 染色体组及染色体基数的概念

- ❖ **染色体组**（genome）：遗传学上把二倍体生物一个正常配子中所含的全部染色体称为一个染色体组。
- ❖ **染色体基数**：每个染色体组所包含的染色体数目称为**染色体基数**，用“**x**”表示。

9.1.2 染色体组的基本特征

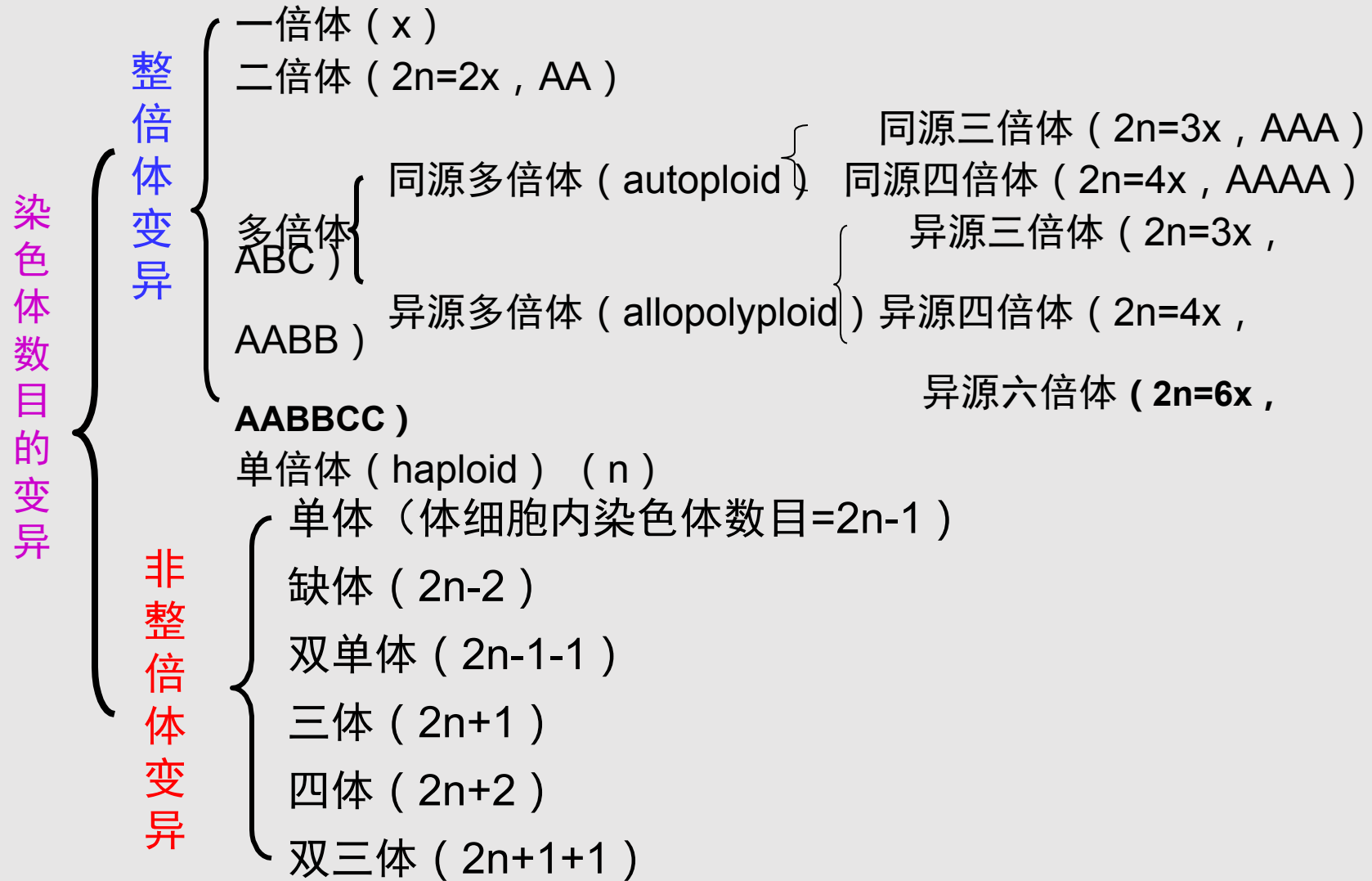
- ❖ 每个染色体组中各个染色体具有不同的形态、结构和连锁基因，构成一个完整而协调的体系，任何一个成员或其组成部分的缺少对生物都是有害的（生活力降低、配子不育或性状变异）
- ❖ 不同属的生物往往具有独特的染色体基数，同属不同种的生物其染色体基数很多是相同的。如茄属 $x=12$ ，棉属 $x=13$ ，小麦属 $x=7$ 等。葱属（ $x=7, 8, 9$ ）、芸苔属（ $x=8, 9, 10$ ）等则不同。

9.1.3 $2n$ 、 n 、 x 的含义

- ❖ $2n$ ：表示生物正常个体体细胞内的染色体数。
- ❖ n ：表示生物正常个体产生的配子的染色体数。
- ❖ x ：表示染色体基数。



9.2 染色体数目变异的类型



整倍体变异

1. 整倍体 (euploid) ——指体细胞中的**染色体数成完整的染色体组**的个体。

2. 整倍体变异 ——指在正常染色体数 ($2n=2x$) 的基础上, 体细胞中染色体的数目**以染色体组 (x) 为基数成倍数性增加或减少**的现象。

3. 整倍体变异的类型

①一倍体 ($2n=x$)：指体细胞中含有一个染色体组的生物个体。

②二倍体 ($2n=2x$)：指体细胞中含有两个染色体组的生物个体。

③多倍体 ($2n=mx$, m 为 ≥ 3 的整数)：指体细胞中含有三个或三个以上染色体组的生物个体。

④单倍体 (n)：体细胞中的染色体组与正常个体配子中的染色体组相同的生物个体叫单倍体。

多倍体的类型—据染色体组的种类

➤ ① 同源多倍体

✓ 同源三倍体

✓ 同源四倍体

✓ 同源五倍体等

➤ ② 异源多倍体

✓ 异源四倍体

✓ 异源六倍体

✓ 异源八倍体等

➤ ③ 同源异源多倍体

（含不同染色体组，其中一种有3个或3个以上）

✓ 同源异源四倍体

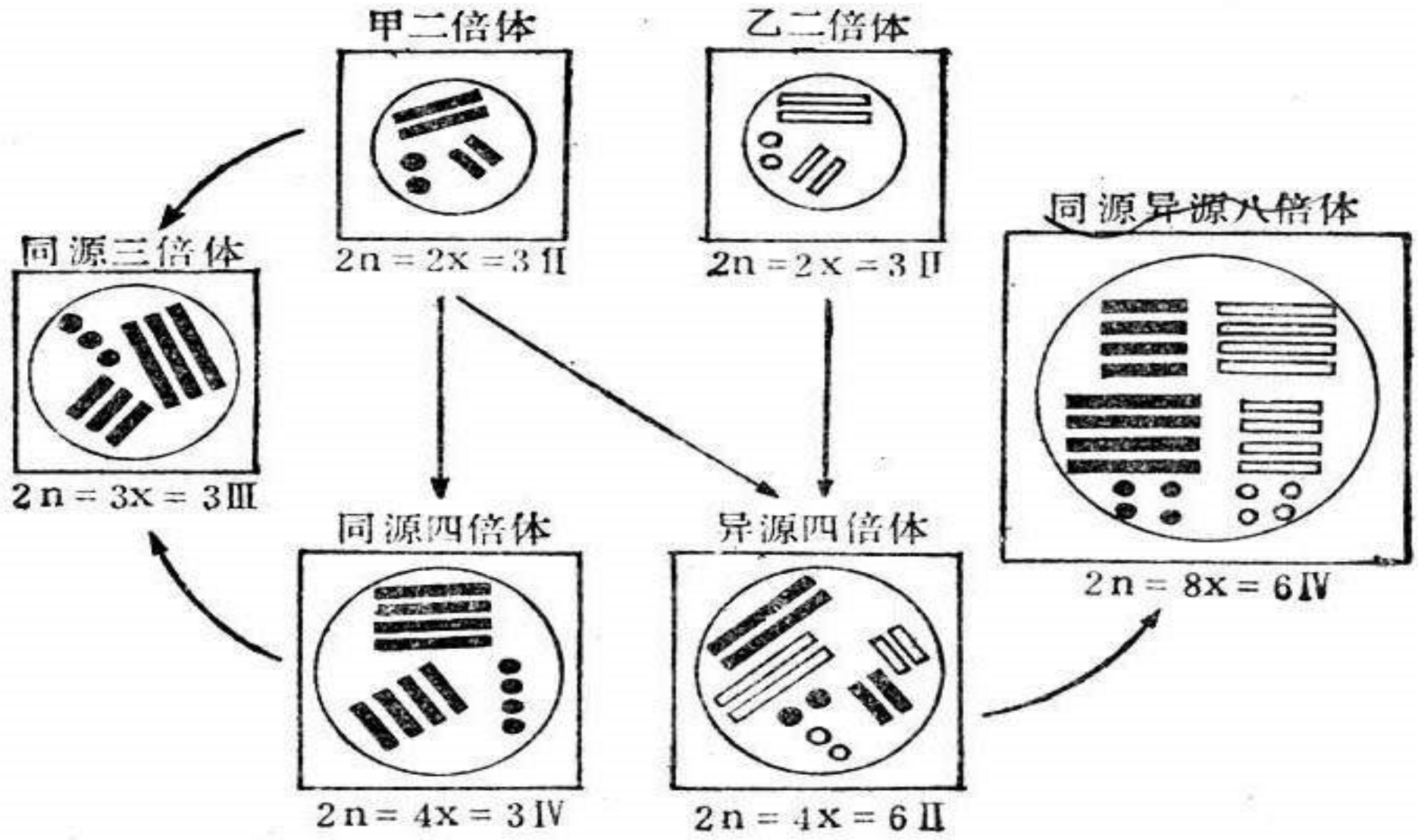
✓ 同源异源五倍体

✓ 同源异源六倍体

➤ ④ 节段异源多倍体

（异源多倍体的染色体组之间具有较高同源性）

多倍体的形成及染色体组构成示意图



多倍体染色体组的组合示意图

非整倍性变异

❖ 1. 非整倍体 (aneuploid) ——指体细胞中的染色体数比正常个体染色体数 ($2n$) 增加或减少1条至数条的个体，包括超二倍体和亚二倍体。

❖ 2. 非整倍体变异——在正常染色体数 ($2n$) 的基础上，体细胞中的染色体数目增加或减少1条至数条的现象。

❖ 3. 类型

✓ 三体 (trisomic) : $2n+1$

✓ 单体 (monosomic) : $2n-1$

✓ 双三体 (double trisomic) :
 $2n+1+1$

✓ 双单体 (double monosomic) :
 $2n-1-1$

非整倍体的形

非整倍体往往导致遗传上的不平衡，对生物体是不利的，非整倍体的出现是由于前几代有丝分裂或减数分裂过程中染色体分裂不正常所致。当不正常分裂发生在性细胞中，若某对同源染色体都到了一极，而另一极却没有该同源染色体的成员，于是就形成 $n+1$ 和 $n-1$ 两种配子。

- 若 $n+1$ 的配子和正常的配子 n 结合，则发育成 $2n+1$ 的生物个体；
- 若 $n-1$ 的配子和正常的配子 n 结合，则发育成 $2n-1$ 的生物个体；
- 若两个相同的 $n+1$ 的配子结合，则发育成 $2n+2$ 的生物个体；
- 若两个不同的 $n+1$ 的配子结合，则发育成 $2n+1+1$ 的生物个体；

整倍体和非整倍体的染色体组(x)及其染色体的变异类型

| 染色体数目的变异 | | 染色体组(x) 及其染色体 | 合子染色体数(2n)及其组成 | | | 联会 | | |
|------------------|-----|--|--|---|--|---|---|---|
| | | | 染色体组数 | 染色体组类别 | 染色体 | | | |
| 整 倍 体 | 二倍体 | A = a ₁ a ₂ a ₃ | 2x | AA | a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃ | 3 II | | |
| | | B = b ₁ b ₂ b ₃ | 2x | BB | b ₁ b ₁ b ₂ b ₂ b ₃ b ₃ | 3 II | | |
| | | E = e ₁ e ₂ e ₃ | 2x | EE | e ₁ e ₁ e ₂ e ₂ e ₃ e ₃ | 3 II | | |
| | 同源 | 三倍体 | A = a ₁ a ₂ a ₃ | 3x | AAA | a ₁ a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃ a ₃ | 3 III | |
| | | 四倍体 | 同上 | 4x | AAAA | a ₁ a ₁ a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃ a ₃ a ₃ | 3 IV | |
| | 异源 | 四倍体 | A = a ₁ a ₂ a ₃ | 4x | AABB | (a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃) (b ₁ b ₁ b ₂ b ₂ b ₃ b ₃) | 6 II | |
| | | | B = b ₁ b ₂ b ₃ | | | | | |
| | | 六倍体 | A = a ₁ a ₂ a ₃ | 6x | AABREE | a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃ | b ₁ b ₁ b ₂ b ₂ b ₃ b ₃ | e ₁ e ₁ e ₂ e ₂ e ₃ e ₃ |
| | 三倍体 | 同上 | 3x | | | | | |
| 非 整 倍 体 | 单倍体 | A = a ₁ a ₂ a ₃ | 2n - 1 | AAH(B - 1b ₁) | (a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃) (b ₁ b ₁ b ₂ b ₂ b ₃) | 5 II + I | | |
| | | B = b ₁ b ₂ b ₃ | | | | | | |
| | | 同上 | | | | | 2n - 2 | AA(B - 1b ₂)(B - 1b ₃) |
| | 双单体 | 同上 | 2n - 1 - 1 | AAB(B - 1b ₂ - 1b ₃) | (a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃) (b ₁ b ₁ b ₂ b ₂) | 4 II + 2 I | | |
| | 超倍体 | 三体 | A = a ₁ a ₂ a ₃ | 2n + 1 | A(A + 1a ₁) | a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃ | 2 II + III | |
| | | 四体 | 同上 | 2n + 2 | A(A + 2a ₁) | a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃ a ₁ a ₁ | 2 II + IV | |
| 双三体 | | 同上 | 2n + 1 + 1 | A(A + 1a ₁ + 1a ₂) | a ₁ a ₁ a ₂ a ₂ a ₃ a ₃ a ₁ a ₂ | II + 2 III | | |



9.3 整倍体变异

9.3.1 一倍体与单倍体

9.3.2 同源多倍体

9.3.3 异源多倍体

9.3.4 多倍体的形成途径及应用



9.3.1 一倍体与单倍体

体一倍体与单倍体的概念

- **一倍体 (x)** : 是指体细胞内只含一个染色体组的生物个体，如雄蜜蜂、雄蚁等。
- 蜜蜂的蜂王和工蜂的体细胞中有32条染色体，而雄蜂的体细胞中只有16条染色体。这是因为蜂王和工蜂是由受精卵发育而成的，它们的体细胞中含有2个染色体组，32条染色体，而雄蜂是由**未受精卵**发育而成的，它的体细胞中含有1个染色体组，16条染色体，通过一种特殊的减数分裂产生精子。
- **单倍体 (n)** : 是指体细胞内所含染色体数目与正常个体配子中染色体数目相同的个体。

单倍体与一倍体是两个不同的概念，单倍体可能是一倍体（单元单倍体），也可能是二倍体或多倍体（多元单倍体）。

如：普通小麦是异源六倍体（ $2n=6x=AABBDD=42$ ），其单倍体为三倍体（ $n=3x=ABD=21$ ）；

甘蓝型油菜是异源四倍体（ $2n=4x=AACC=38$ ），其单倍体含两个染色体组为异源二倍体（ $n=2x=AC=19$ ）。

❖ 单倍体的形态及遗传表现

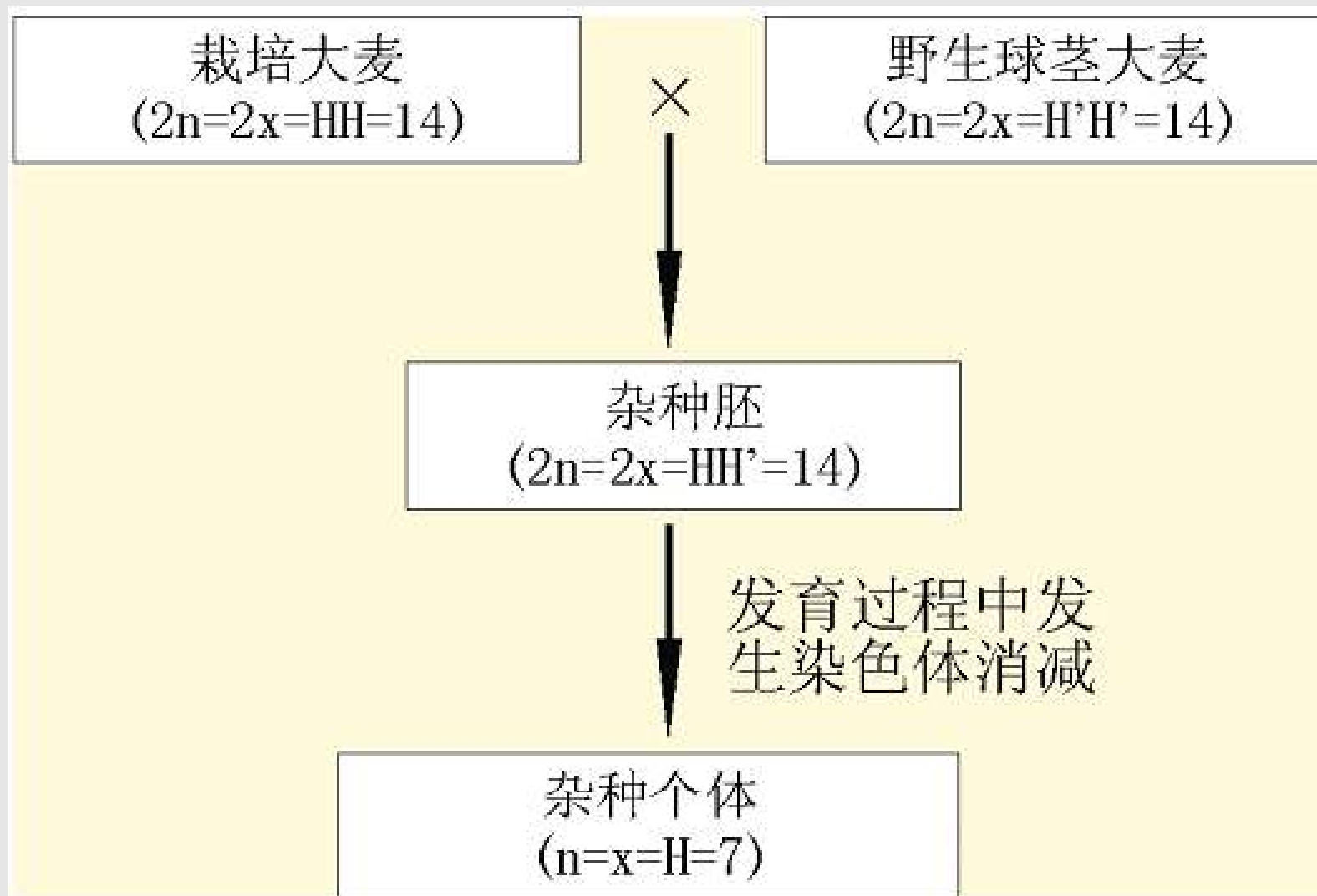
- **显著小型化**。与双倍体相比，高等生物单倍体的细胞、组织、器官和整个植株均较正常个体弱小。除此而外，单倍体也会产生新的性状。
- **高度不育**。单倍体结实率极低。原因是染色体在减数分裂时不能正常联会和分离，从而使形成的配子高度不育，这也是鉴别单倍体的重要标志。

❖ 单倍体形成的原因

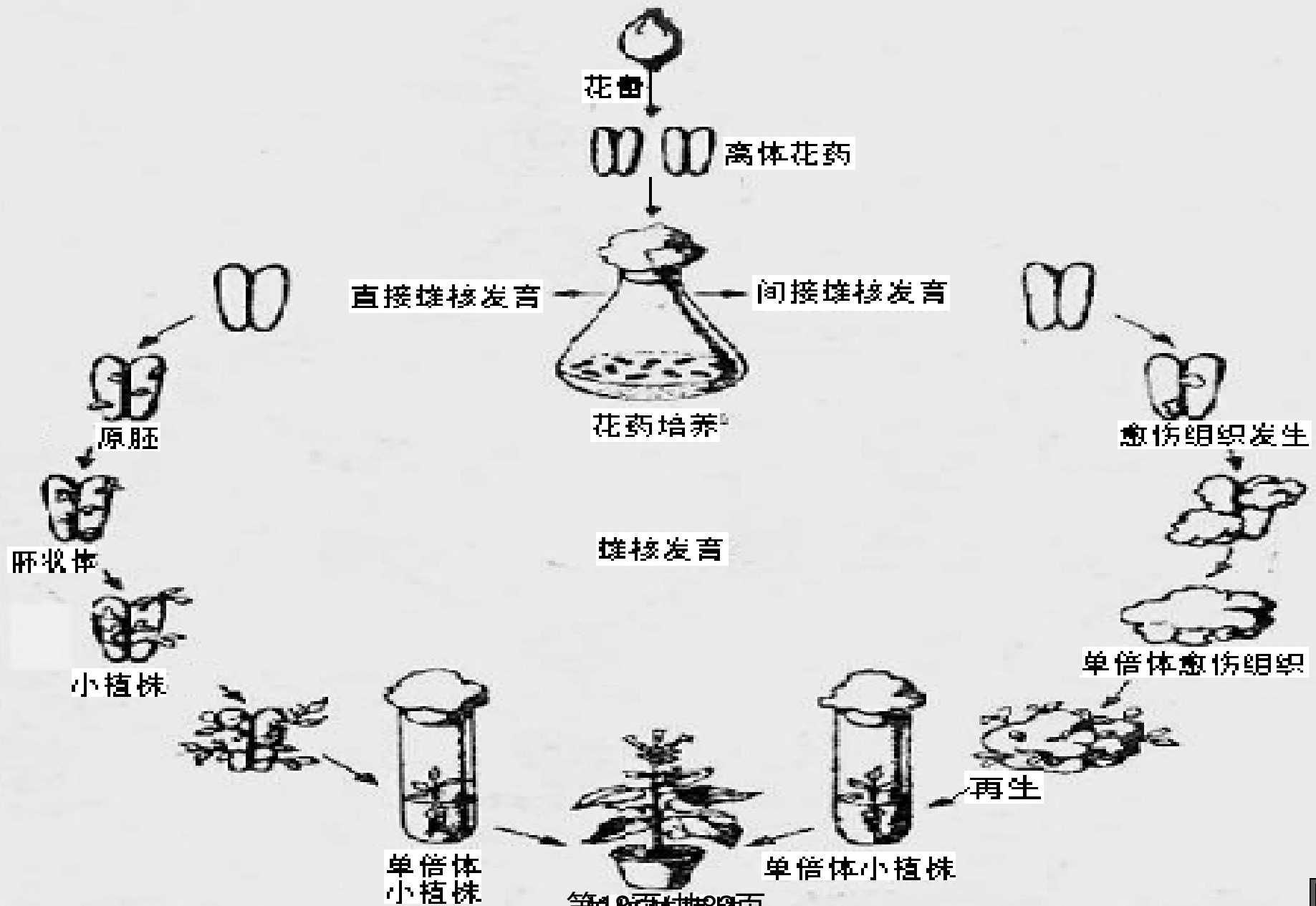
- **生物自发产生**。原因是生殖过程不正常，如孤雌生殖或孤雄生殖。**多数单倍体是孤雌生殖的结果**。如番茄、棉花、小麦、油菜、家鼠、蝶螈等动植物中均发现有**单倍体**存在。高等动植物中自发出现单倍体的频率极低，如玉米出现单倍体的频率仅有0.0005%。
- **人工创造单倍体**。通过诱变、**花药培养**等可直接获得单倍体。**植物花药的培养是产生单倍体最成功的技术之一**，即在小孢子有丝分裂时取出花药，在培养基上即可培养成植株。



染色体消减获得单倍体大麦



花药培养获得单倍



❖ 单倍体的应用

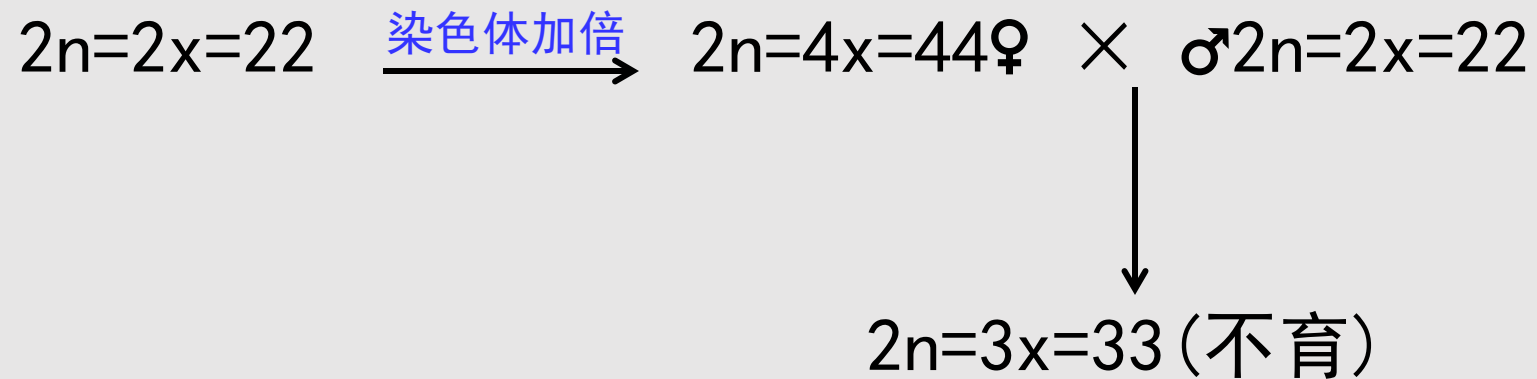
- 培育完全纯合的品系，缩短育种进程。
- 用于研究基因的性质及其作用。
- 分析染色体组之间的同源性。



9.3.2 同源多倍体

❖ 同源多倍体的概念：多倍体中增加的染色体组来源于同一物种的生物叫同源多倍体。

如：无籽西瓜就是同源三倍体



❖ 同源多倍体的特征

➤ 形态特征：表现大型性

随染色体组数的增加，同源多倍体的细胞、细胞核、营养器官、生殖器官等多数有增大的趋势，表现为叶片肥厚、宽大、长，茎秆粗壮，花、花粉粒、果实、种子、气孔等器官组织较大，产量较二倍体高。

➤ 生理生化代谢的改变：表现基因的剂量效应

同源多倍体的生化反应与代谢活动加强，许多性状的表现更强。如：大麦同源四倍体籽粒蛋白质含量比二倍体原种增加10-12%；玉米同源四倍体

❖ 同源多倍体的特征

➤ 生殖特征：成熟期延迟、生育期延长；配子育性降低甚至完全不育。

➤ 特殊表型变异：基因间平衡与相互作用关系破坏而表现一些异常的性状。

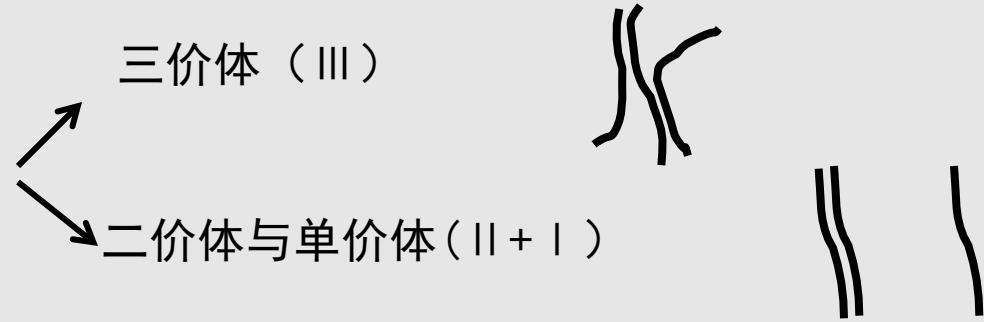
如：西葫芦的果形变异，二倍体（梨形）→四倍体（扁圆形）；

➤ 影响性别发育：如果蝇为XY型动物，二倍体果蝇中，XY为雄性；三倍体果蝇中，XXY为中间性。

❖ 同源多倍体减数分裂的染色体行为

➤ 同源三倍体

同源组三条染色体联会



后期 I 同源组染色体的分离:

III → 产生2/1不平衡分离;

II+I → 产生2/1分离 (单价体随机进入一个子细胞)
→ 产生1/1 (单价体丢失)

同源三倍体染色体的联会与分离

| 联会形式 | 偶线期形象 | 双线期形象 | 终变期或中期 I | 后期 I 分离 |
|--------|-------|-------|----------|--------------------|
| III | | | | 2/1 |
| II + I | | | | 2/1或1/1 (单价体丢失) |

同源三倍体每个同源组的三个染色体的联会和分离

❖ 同源多倍体减数分裂的染色体行为

➤ 同源四倍体染色体的联会和分离：

| 染色体联会形式 | 后期I同源组染色体的分离 |
|------------|---------------------|
| IV | 2/2, 3/1 |
| III + I | 2/2, 3/1 (2/1) |
| II + II | 2/2 |
| II + I + I | 2/2, 3/1 (2/1, 1/1) |

分离结果与遗传效应：

配子的染色体组成不平衡；个体育性明显降低。

同源四倍体染色体的联会与分离

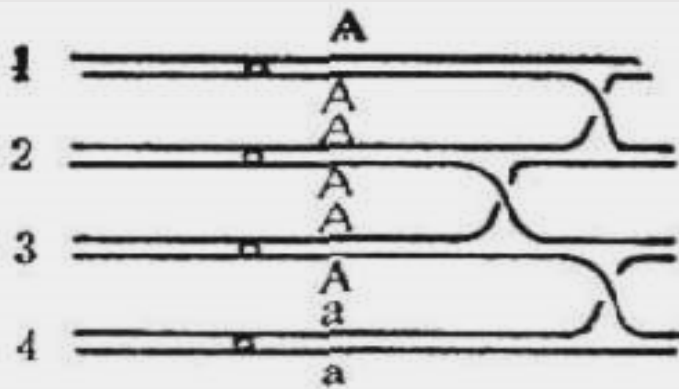
| 前期联会 | 偶线期形象 | 双线期形象 | 终变期形象 | 后期I分离 |
|------------|-------|-------|-------|-------------------------------------|
| IV | | | | 2/2 或 3/1 |
| III + I | | | | 2/2 或 3/1 或 (2/1) |
| II + II | | | | 2/2 |
| II + I + I | | | | 2/2 或 3/1 (或2/1) (或1/1) |

同源四倍体每个同源组染色体的联会和分离

❖ 同源多倍体的基因分离规律

多倍体的基因型

| 倍性水平 | 基 因 型 | | | | |
|-------|-------|------|------|------|------|
| 二 倍 体 | aa | Aa | AA | | |
| 三 倍 体 | aaa | Aaa | AAa | AAA | |
| 四 倍 体 | aaaa | Aaaa | AAaa | AAAa | AAAA |
| | 零式 | 单式 | 复式 | 三式 | 四式 |



| 后期 I 的分離 | 二分体基因型 | | 配子基因型 | | | |
|-------------|--------|----|-----------------|----|----|----|
| | 之一 | 之二 | 之一 | 之二 | 之三 | 之四 |
| 1, 2 / 3, 4 | | | AA | AA | Aa | Aa |
| 1, 3 / 2, 4 | | | AA | AA | Aa | Aa |
| 1, 4 / 2, 3 | | | Aa | Aa | AA | AA |
| 配子基因型及其比例 | | | AA : Aa = 1 : 1 | | | |

三式 (AA Aa) 同源四倍体的染色体随机分离

同源四倍体某位点的等位基因的染色体随机分离

| 同源四倍体 杂合基因型 | 配 子 | | | | 自交子代基因型和比例 | | | | | 自交子代表现型 | | |
|----------------|-------|----|----|--------------|----------------|------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|---------|---|------|
| | 种类和比例 | | | 纯合隐性 配子的% | | | | | | 种类和比例 | | a% |
| | AA | Aa | aa | | A ⁴ | A ³ a | A ² a ² | Aa ³ | a ⁴ | A | a | |
| | | | | | | | | | | | | |
| AAAa | 1 | 1 | | 0 | 1 | 2 | 1 | | | 全部 | | 0 |
| AAaa | 1 | 4 | 1 | 16.7 | 1 | 8 | 18 | 8 | 1 | 35 | 1 | 2.8 |
| Aaaa | | 1 | 1 | 50.0 | | | 1 | 2 | 1 | 8 | 1 | 25.0 |

9.3.3 异源多倍体

- ❖ 异源多倍体的概念
- ❖ 偶倍数异源多倍体
- ❖ 奇倍数异源多倍体
- ❖ 同源异源多倍体
- ❖ 节段异源多倍体



❖ 异源多倍体的概念

- 体细胞中含有两个或两个以上不同类型染色体组的多倍体称为异源多倍体。
- 偶倍数的异源多倍体：指体细胞中染色体组为偶数的个体。如AABBCC、AABBDDFF、AAEEFFGGLL等。
- 奇倍数的异源多倍体：体细胞中染色体组为奇数的个体。如：AACCD

➤ 异源多倍体存在的广泛性

异源多倍体是广泛存在的。

被子植物纲中有30-35%是异源多倍体；禾本科植物有70%是异源多倍体，如：小麦、燕麦、甘蔗等；其它农作物；烟草、甘蓝型油菜、棉花等也是异源多倍体。

自然界中能正常繁殖的异源多倍体物种几乎都是偶倍数。因为细胞内的染色体组成对存在，同源染色体能正常配对形成二价体，并分配到配子中去，因而其遗传表现与二倍体相似。



❖ 偶倍数的异源多倍体

➤ 偶倍数异源多倍体的形成及证明(人工合成)

如 普通烟草 (*Nicotiana tabacum*) 的形成

普通小麦 (*Triticum aestivum*) 的形成

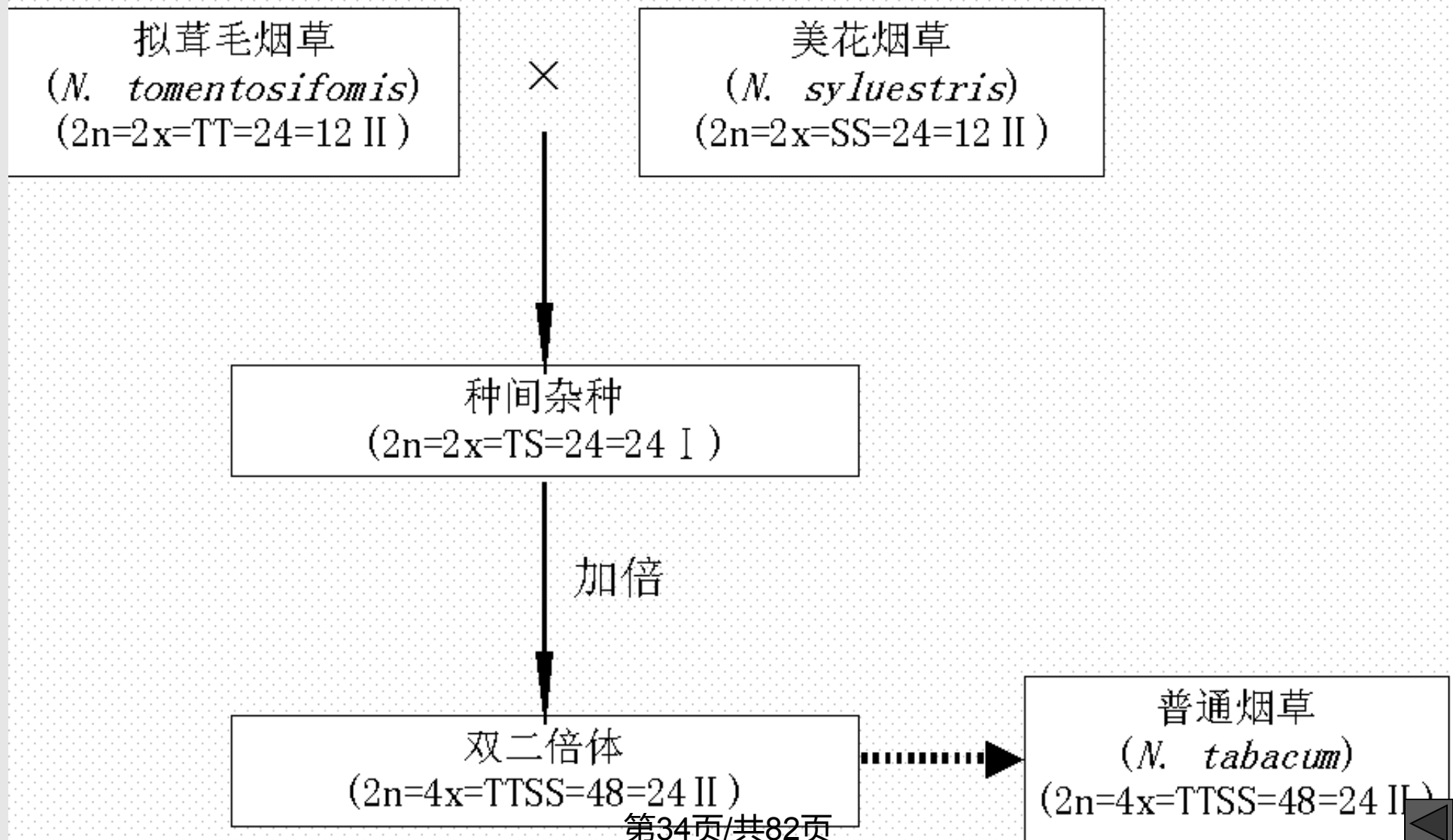
➤ 染色体组的染色体基数

偶倍数的异源多倍体是二倍体物种的双二倍体，因此其染色体数是其亲本物种染色体数之和。两亲本物种的染色体组的基数可能相同如：普通烟草 ($x=12$)、普通小麦 ($x=7$)；也可能不同，如芸苔属各物种的染色体基数。



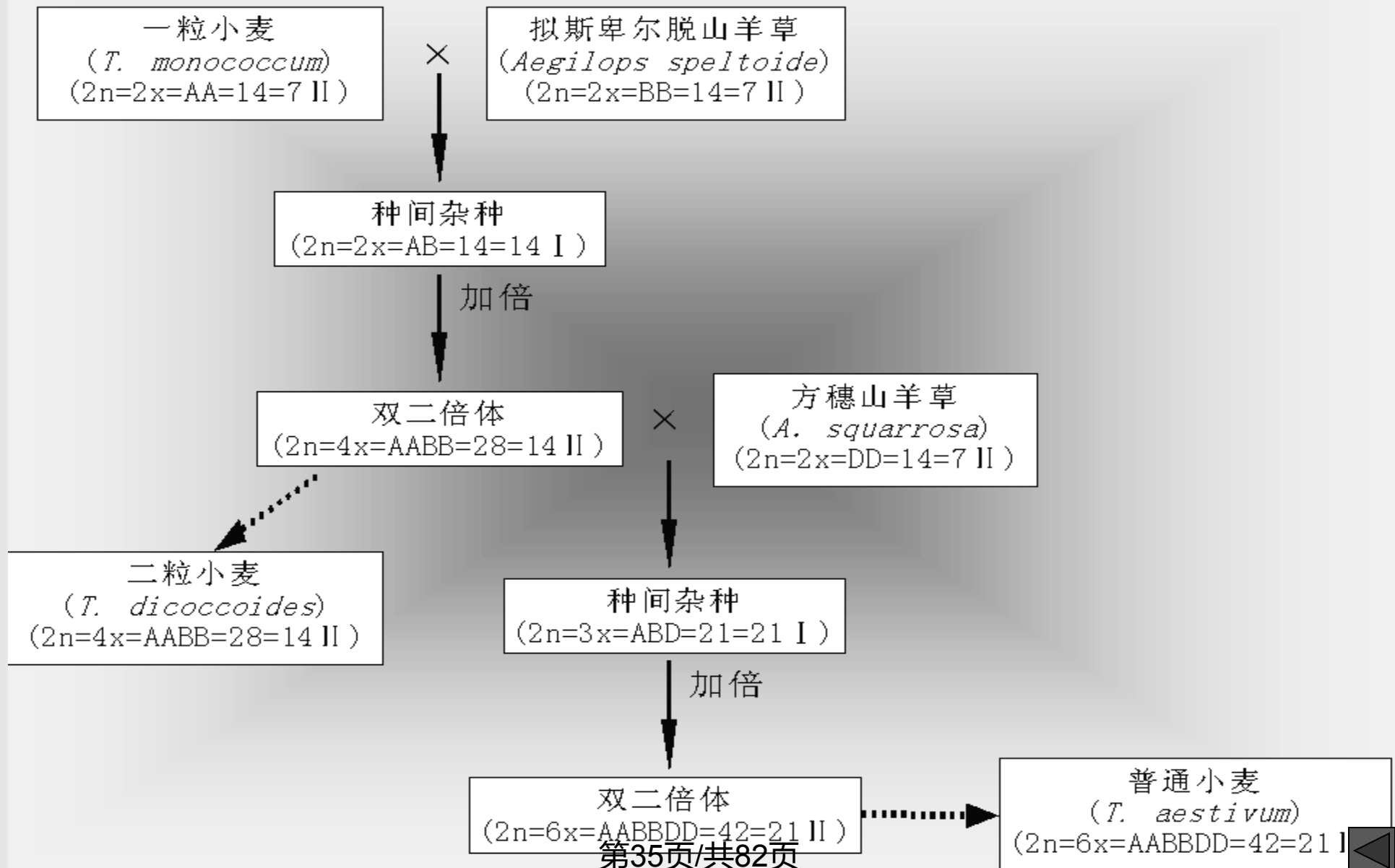
普通烟草 (*Nicotiana tabacum*) 的起源

烟草属 (*Nicotiana*, $x=12$)

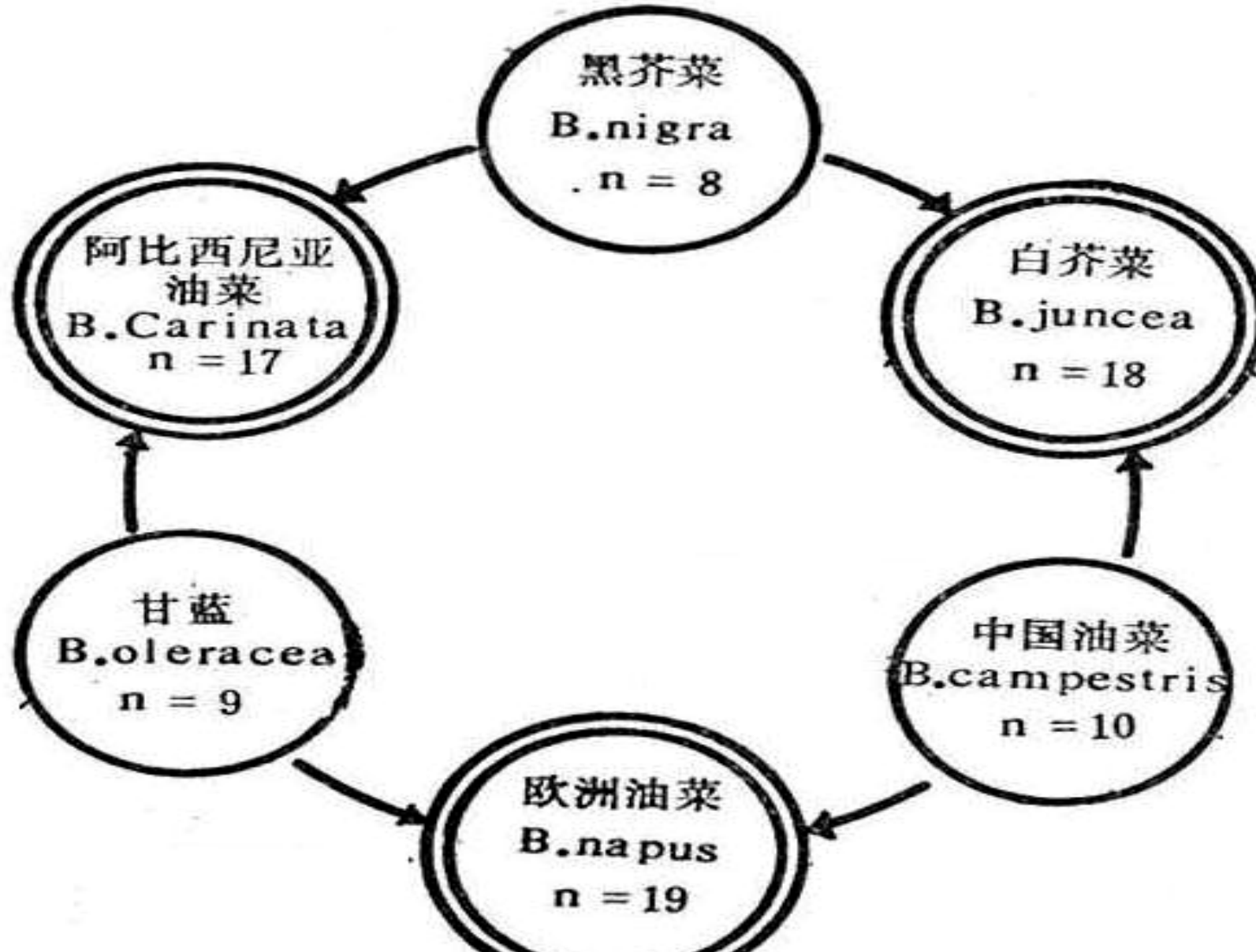


普通小麦 (*Triticum aestivum*) 的起源

小麦属 (*Triticum*, $x=7$)



芸苔属 (*Brassica*) 各物种的关系



❖ 奇倍数的异源多倍体

➤ 奇倍数异源多倍体的产生及其特征

- ✓ 由偶倍数异源多倍体种间杂交而形成。
- ✓ 奇倍数异源多倍体在联会配对时形成众多的单价体，染色体分离紊乱，配子中染色体组成不平衡，因而很难产生正常可育的配子。

➤ 倍半二倍体 (sesquidiploid) 的形成与用途

体细胞中含有一个偶倍数异源多倍体的全套染色体和另一个异源染色体组的生物个体叫倍半二倍体。
常作为染色体替换的中间材料。



异源五倍体小麦的形成之一

普通小麦
($2n=6x=AABBDD=42=21 \text{ II}$)

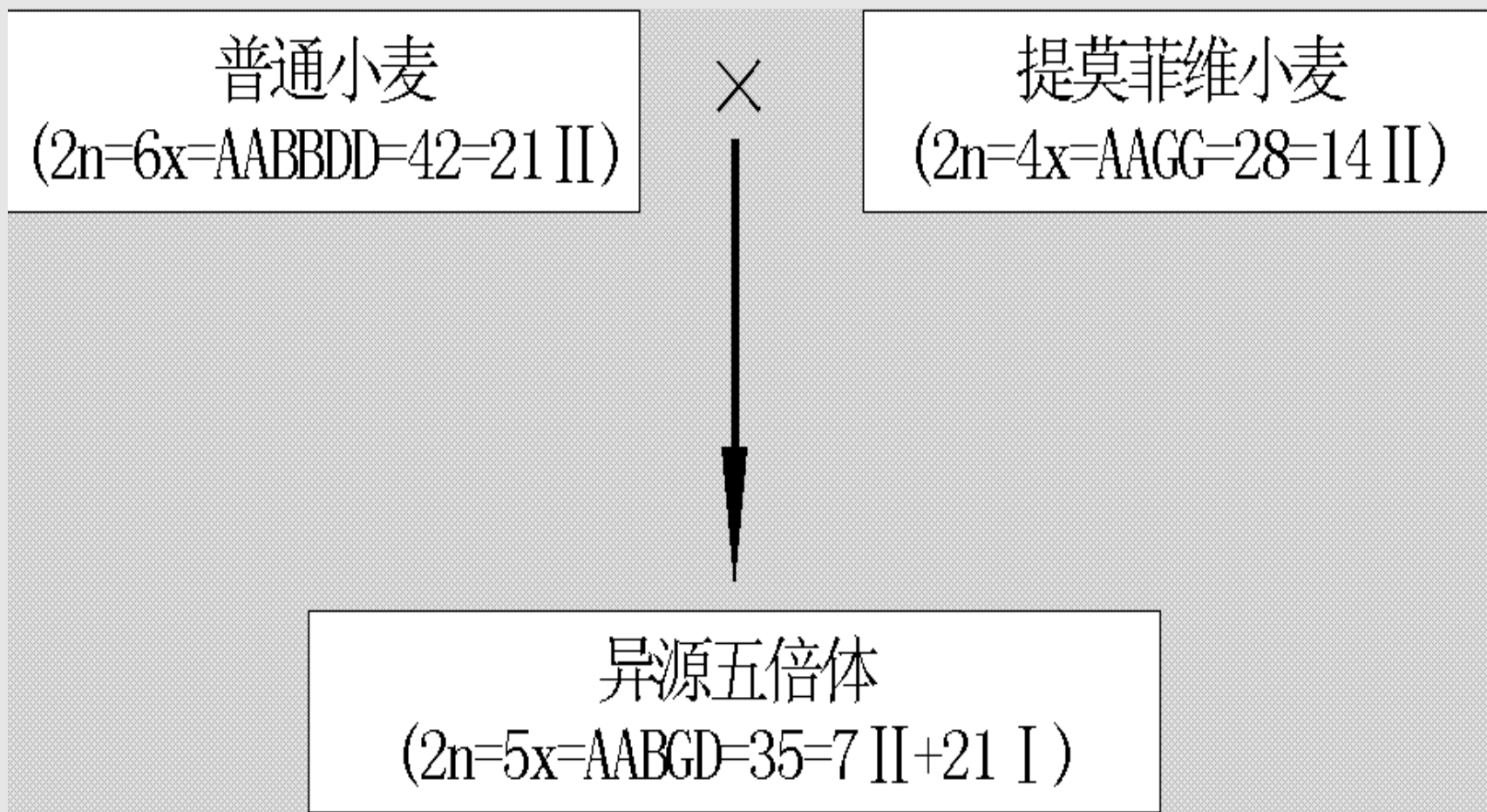
×

圆锥小麦
($2n=4x=AABB=28=14 \text{ II}$)

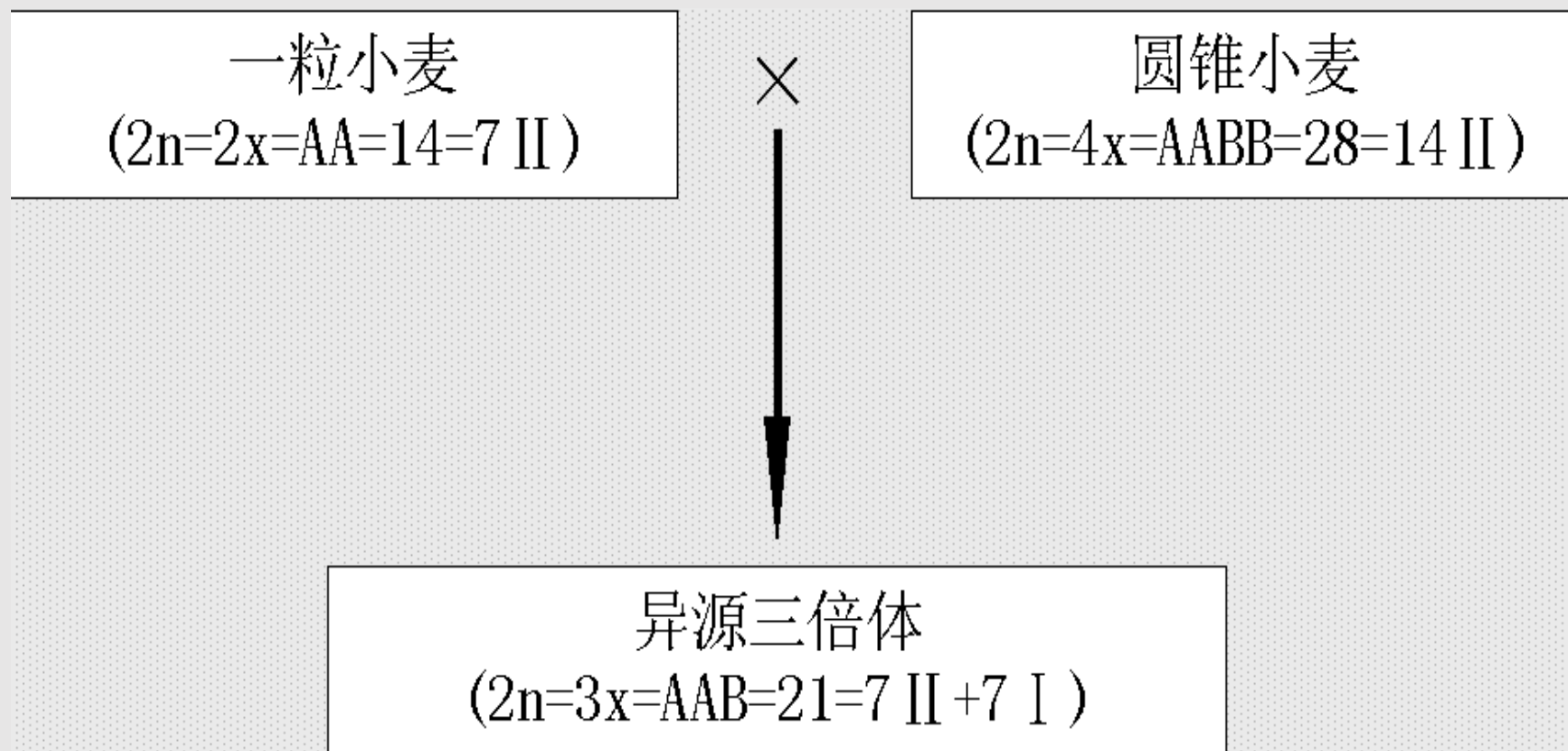


异源五倍体
($2n=5x=AABBD=35=14 \text{ II} + 7 \text{ I}$)

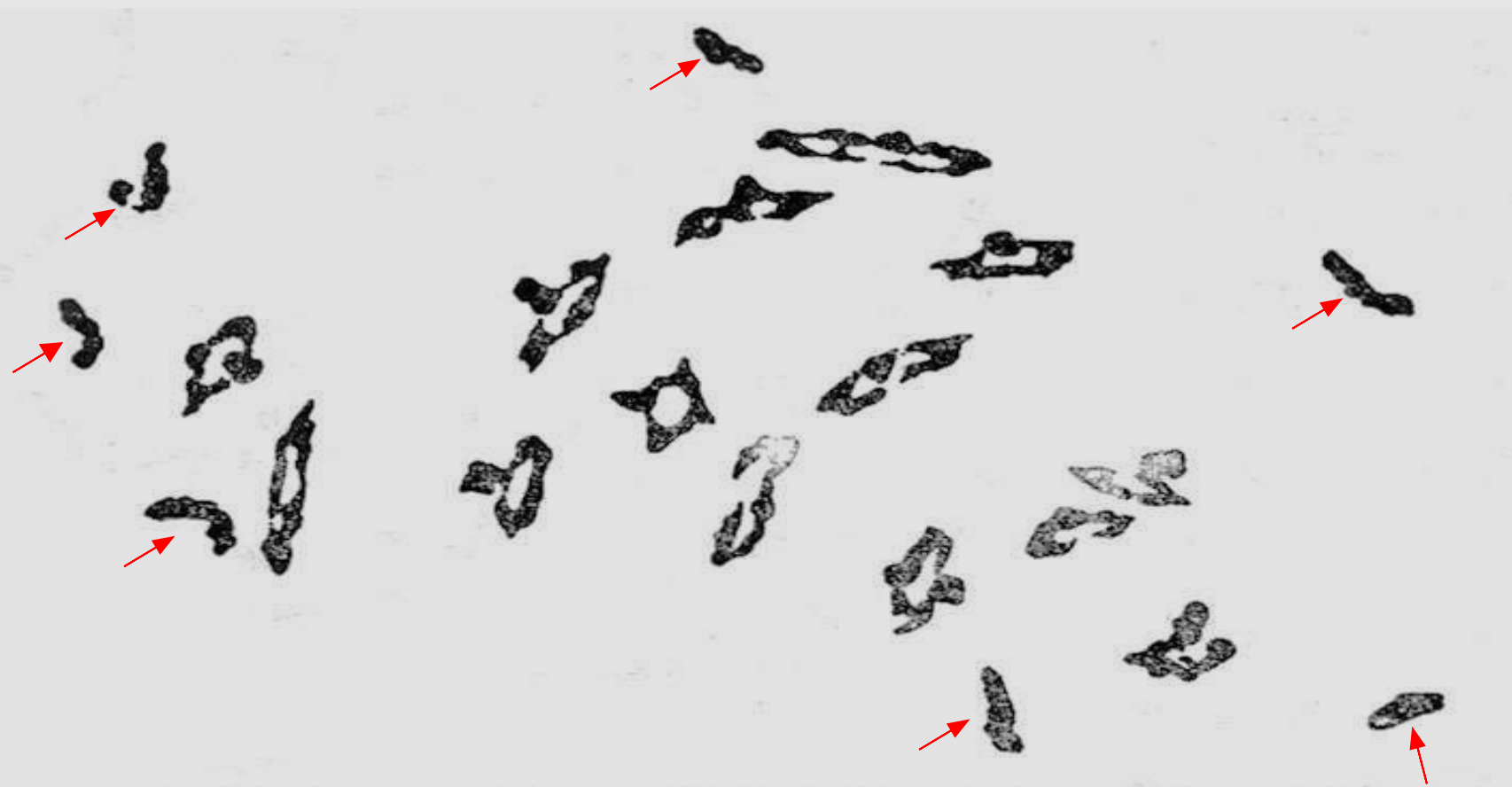
异源五倍体小麦的形成之二



异源三倍体小麦的形成



异源五倍体小麦的联会



普通小麦和硬粒小麦杂交形成的异源五倍体小麦减数分裂中期 I 的联会情况

$$(2n=5x=AABBBD=14_{II}+7_{I})$$



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/208070050113007006>