

Meioza

Necesitatea este mai presus de orice lege oricare ar fi acea lege. Acest fapt caracterizeaza diviziunea meiotica ce e un proces care, impreuna cu fecundatia asigura inmultirea sexuata a fiintelor, supravietuirea speciilor si variabilitatea ereditara.

Pana la meioza, fiintele vii se inmulteau si supravietuiau prin diviziunea directa-amitoza si ulterior prin mitoza.

Aparitia sexualitatii a insemnat imbogatirea sanselor de supravietuire prin mostenirea zestrei ereditare de la doi parinti de sexe diferite. Sexualitatea ca mod reproducere presupune fecundatia, unirea a doua celule provenite de la cei doi parinti si formarea celulei ou (zigotul) sau celula initiala a unui nou organism. Din generatie in generatie daca s-ar fi recurs la acest proces sexual succesiv s-ar fi marit enorm numar cromozomilor si ar fi devenit absolut imposibila mitoza ordonata a celulelor rezultate din zigot. Asadar s-a impus obligatoriu meioza-ca mijloc de reducere la jumatate a numarului de cromozomi care, se dubleaza iarasi prin fecundatie. Fecundatia si meioza sunt contrare prin consecinte si pastreaza in sirul generatiilor de fiinte vii numar constant de cromozomi al speciei necesar legii supreme a supravietuirii, a vietii.

Meioza asigura organismelor purtatoare o viata cu doua etape sau faze nucleare: faza diploida (diplofaza) si faza haploida (haplofaza) chiar daca una din aceste etape sau faze se reduce la un moment reprezentat de o celula.

Este adevarat ca se observa exceptii ne semnificative cand in prima diplofaza, invelisul nuclear nu se destrama, si fara fus de diviziune se produce o dublare sau multiplicare a setului dublu de cromozomi (poliploidie nucleara) prin endomitoza si se asigura rostul fiziologic al unor celule care trebuie sa aiba un metabolism selectiv –exemplu celulele tapet din peretele sacilor cu polen din flori. Oamenii de stiinta cunosc faptul ca substanta numita colchicina opreste agregarea proteinei numita tubulina si se destrama fusul de diviziune, se opreste diviziunea celulara si obtinem poliploidie nucleara in laborator.

Meioza este o diviziune celulara cariochinetica derivata din mitoza deoarece are foarte multe asemanari cu aceasta dar niciodata, meioza nu are loc in celulele somatice ci in celulele organelor reproducatoare: asexuate numite sporangi sau sexuate numite gametangi.

Presupunem ca a avut loc fecundatia, s-a format celula ou-zigotul si urmeaza mitozele succesive ale acestuia care insemna pentru fiecare celula o viata mai mica numita ciclu mitotic cu 4 etape programate strict genetic: G1-etapa presintetica, S-etapa de sinteza, G2-etapa postsintetica si M-diviziunea mitotica propriuzisa. Celulele ce rezulta treptat din mitoze succesive incepand de la zigot vor urmatoarele destine: 1) celule care intra iar in mitoze parcurgand repetat ciclul mitotic si care la plante alcatuiesc meristemele necesare cresterii, 2) celule care se diferentiaza si formeaza tesuturi adulte sau definitive; unele vor inceta pentru totdeauna sa se mai divida si se vor darui total functiilor pentru care s-au diferentiat extrem exemplul celulele vaselor liberiene-tuburi ciuruite de la plantele superioare, celulele nervoase la om dupa varsta de doi ani, globulele rosii din sange, celulele musculare etc.; altele se diferentiaza dar isi pot recapata potentialul de diviziune mitotica (remeristemizare) si intra iar in diviziune exemplu:sporii, kistii etc.. Toate aceste celule care si-au incetat total sau partial diviziunea, intra intr-o perioada de viata a ciclului mitotic numita si repaos reproductiv G0. S-a demonstrat ca pentru

iesirea din repausul G₀-celulele au nevoie de anumite conditii: Azi toate celulele atat timp cat sunt vii si stau in repausul neproliferativ G₀, pot incepe in anumite conditii sa reia un nou ciclu mitotic trecand in etapa G₁ sau direct in etapa G₂ lucru observat la celulele ce se divid cand incepe inoltirea semintelor, 3) celule destinate sa se incadreze intr-o destinatie aparte numita linie germinala si care o alta viata celulara decat ciclu mitotic, numita ciclu meiotic-ce are G₁ etapa presintetica, S-etapa de sinteza, G₂-etapa postsintetica si doua diviziuni mitotice succesive: meioza I (primara, reductionala, heterotipica, atipica) si meioza II (secundara, ecvationala, homotipica, de maturatie); intre ele fiind o interfaza foarte scurta uneori ele derulanduse una dupa alta si terminand cu formarea a patru celule haploide (n). Aceasta a treia categorie de celule trec deci de la ciclul mitotic de viata la ciclul meiotic suportand diviziunea meiotica.

Exista deosebiri semnificative intre mitoză și meioză cu toate multele asemanari dintre ele. In primul rand mitoză este reproducerea și înmulțirea asexuată care la organismele unicelulare eucariote generează uniformitate și produce populații celulare imense numite clone provenite dintr-o singură celulă. La organismele eucariote pluricelulare mitoză asigură creșterea și dezvoltarea, înlocuirea permanentă a celulelor rănite, vlaguite, moarte și formare de structuri utile înmulțirii vegetative. Pe măsura ce trăiește, crește, se dezvoltă și se maturizează, ritmul mitozelor scade, chiar că e programată ereditar îmbătrânirea și moartea celulară. Pe tot parcursul vieții mitoză ca etapă a ciclului mitotic asigură păstrarea constantă a numărului de cromozomi caracteristici speciei generând uniformitate genetică. Meioza și ciclul meiotic generează însă variabilitate ereditară prin recombinări genetice intracromozomiale (crossing-over) și recombinări genetice intercromozomiale care împreună cu fecundatia alimentează constant șansele de supraviețuire a ființelor vii și speciilor.

Din această schemă generală a meiozei remarcăm că celulele haploide rezultate din meioza I au cantitate de ADN-2C ca și meiocitele din care provin și care sunt diploide (2n), pe când cele patru celule haploide rezultate din meioza II au cantitate de ADN-1C. Aceste patru celule haploide (tetrada) se vor diferenția devenind spori sau gameti după tipul meiocitelor care le-au dat naștere și după locul de desfășurare al meiozei: în sporangi se formează sporii prin meioza intermediară sporala iar în gametangi și alte organe de reproducere sexuată se formează gametii masculini și feminini prin meioza finală gametică.

Cu toată finalitatea lor contrară meioza și fecundatia se completează reciproc asigurând constantă numărului de cromozomi caracteristici speciilor pe parcursul generațiilor succesive de indivizi și de aemenea asigură adaptarea speciilor și supraviețuirea lor în condițiile schimbătoare ale mediului deoarece atât meioza cât și fecundatia sunt izvor de variabilitate ereditară (biodiversitate). Ființele consumă o mare cantitate de energie pentru meioza cât și pentru fecundatie.

Se observă din schemă că prin fecundatie se refacă starea diploidă caracteristică viitoarelor celule somatice cât și zigotului rezultat, în timp ce meioza e diametral opusă fecundatiei prin generarea stării haploide caracteristică celulelor reproducătoare asexuate (spori) sau sexuate (gametii).

Sporii și gametii provin din meioza dar se deosebesc prin:

- 1) sporii pot germina direct și dau prin mitoză haploidă un nou individ aflat în haplofază; gametii de regulă nu pot germina cu rare excepții cum e cazul ovulului

nefecundat de la albina care prin mitoze haploide produce pe mascul sau trantor- fenomenul e numit partenogeneză.

- 2) sporii nu se unesc între cu toate că au diferențiere sexuală sau potențialitate sexuală diferită. Aceasta arată că însușirea sexualității este totuși deosebită de reproducerea sexuată propriu-zisă. Gametii însă au potențialități sexuale diferite (masculi și femeli) și soarta lor este obligatorie pentru a se uni la fecundatie- esența reproducerii sexuate.

INTERFAZA I-este acea etapă a ciclului meiotic cu care începe meioza. Spre deosebire de interfaza care precede mitoză, replicarea ADN din cromozomi nu se termină nici în etapa S-sau etapă de sinteză și nici în G₂-sau etapă postsintetică. Aceasta sinteză de ADN cromozomial va continua în meioza I și aume în profaza I care este cea mai complexă și cea mai importantă fază a meiozei, este o profază mult mai lungă decât cea a mitozei și în bună măsură acest fapt se datorează și replicatției ADN care începe în Interfaza I și se va continua în profaza I a meiozei I. Totuși din schema generală a meiozei am considerat convențional meiocita- diploidă 2n, cu o cantitate de ADN 2C adică cromozomii ei și-ar produce cromatida pereche identică.

În leptoten cromozomii sunt ca niște fire, sunt replicați (4C)-cantitatea de ADN și au niște mici ghemulete pe traseul lor fiind deci moniliformi.

În zigoton cromozomii încep să se scurteze și să se îngroașe printr-un proces de spiralizare. Cromozomii omologi se dispun în perechi așezându-se unul de celălalt pe toată lungimea lor printr-o rețea de natură proteică numită sinapsa cromozomală sau complex sinaptonemal. Sinapsa cromozomală se produce între cromozomul omolog de origine maternă și cel omolog de origine paternă, alipirea omologilor se face cu mare exactitate (centromer la centromer, gena la gena).

Pachitenul este o etapă de durată mare. Cromozomii se scurtează și se îngroașă cu 1/4 sau 1/6 față de cromozomii leptotenici.

Cromozomii omologi se cuplează stabil și complet prezentând fiecare câte două cromatide surori. Un cromozom omolog dintr-o pereche este de origine maternă iar perechea sa este de origine paternă. Aceiași situație se găsește la toate perechile de cromozomi omologi așezați prin sinapse. Perechile de cromozomi omologi prezintă vizibil câte 4 cromatide în total și de aceea bivalentii se mai numesc și tetradecromozomale. Cromatidele nesurori din vecinătatea sinapsei se încrucisează făcând niște puncte de unire numite chiazme în care se produce schimbul reciproc de gene între cromatidele nesurori ale bivalentului sau tetradei cromozomiale. Se observă încă membrana nucleară și nucleolul.

În diploten apare o respingere între cromozomul omolog matern și cromozomul omolog patern care cu ajutorul sinapsei cromozomale formează fiecare bivalent sau tetradacromozomală.

Această respingere este un fenomen opus celui care în zigoten a produs alipirea cromozomilor omologi (centromer la centromer, gena la gena) cu ajutorul sinapsei cromozomale sau complexului sinaptonemal. Respingerea aceasta se observă printr-un început de dezorganizare a sinapsei cromozomale. Totuși sunt vizibile chiasmele sau încrucisările dintre cromatidele nesurori ale cromozomilor omologi ce formează bivalentii. Numele de chiazma provine de la aspectul lor asemănător literei grecești “chi” sau “chiasmata” χ . Chiasmele sunt locurile

unde se produce crossing-over. Urmărind schema desfășurării pachitenului și diplotenului putem să ne facem o idee asupra crossing-overului.

Astfel la bivalentul din stânga sunt două chiasme (una între genele A și B și cealaltă între genele B și C deci este ilustrat un crossing-over dublu). La bivalentul din dreapta este figurată o singură chiasma și anume între genele D și E deci ar fi un crossing-over simplu. Genele sunt segmente ale ADN-ului cromatidelor din cromozomi ce conțin informația ereditară necesară manifestării, păstrării și transmiterii la descendenți a anumitor caractere ereditare. Pentru fiecare caracter ereditar există câte două gene cromozomiale situate în cromozomii omologi în aceleași poziții numite loci. Adesea cele două gene pentru un caracter ereditar pot fi: dominantă, notată cu literă mare (majusculă A, B, C, D, E) și recesivă, notată cu literă mică (a pentru A, b pentru B, c pentru C, d pentru D, e pentru E). Organismele cu ambele gene dominante (AA, BB, CC, DD, EE) pentru un caracter sau cu ambele gene recesive pentru același caracter (aa, bb, cc, dd, ee), sunt pure genetic sau homozigote iar cele cu gena dominantă și gena recesivă pereche (Aa, Bb, etc) pentru unul sau altul dintre caractere sunt impuse genetic sau heterozigote.

Schematic consecințele crossing-overului ilustrat în pachiten și diploten se vor vedea treptat până la alcătuirea genetică a celulelor haploide (n) 1C/ADN care sfârșesc meioza II și ulterior impun diversitatea ereditară a organismelor-biodiversitatea.

Crossing-overul (fiziologic normal) ca schimb fizic de segmente cromatidice egale între cromozomii omologi se exprimă în fenotip (adică în caractere ereditare manifestabile ale organismului) numai dacă structura organismului este dublu heterozigotă. Dacă această structură este homozigotă, crossing-overul se poate realiza la nivel cromozomal dar nu se exprimă în fenotip. Explicarea fenomenului de crossing-over se admite acceptând următoarele: 1) genele sunt dispuse linear în lungul cromozomului, 2) punctele de contact între cromatidele cromozomilor omologi se realizează între locusii genelor respective, 3) crossing-overul este simetric adică schimbul se realizează din ambele părți, 4) crossing-overul se face după ce s-a făcut înainte sinapsa cromozomală. Un efect al crossing-overului este obținerea de gameti (n) de tip recombinat cu probabilități diferite date de cele impuse de legile ereditării.

În metafaza I cromozomii bivalenți se orientează cu centromerii spre ecuatorul fusului de diviziune exact ca și cromozomii univalenți-monovalenți în mitoză. Centromerii se dispun pe filamentele fusului de diviziune orientându-se fiecare spre câte un pol al fusului de diviziune. Acum nu se trece de la starea diploidă la cea tetraploidă ci doar se separă-segregă cromozomii omologi din bivalenți.

Separarea sau segregarea cromozomilor omologi din bivalenți se face independent la fiecare bivalent față de celălalt sau ceilalți bivalenți.

Acest fenomen se numește segregarea independentă a cromozomilor omologi în meioza sau recombinare intercromozomială și este alături de crossing-over o sursă majoră de variabilitate ereditară (biodiversitate a organismelor). La o meiocită intrată în meioza și având $2n=4$ cromozomi-adică 2 perechi cromozomi omologi, dacă plasăm pe fiecare pereche de cromozomi omologi câte o pereche de gene în stare heterozigotă, adică A, a și B, b; urmărind în metafaza I a meiozei I

toate variantele de segregare sau separare independenta a cromozomilor omologi obtinem 4 variante de celule haploide (n)(1C/ADN), din care 4 variante pot fi gameti sau celule reproducatoare masculine si 4 variante sunt gameti sau celule reproducatoare feminine. Deci un organism impur genetic-dublu heterozigot AaBb (de sex feminin sau masculin) va produce prin segregarea independenta a cromozomilor omologi 4 variante de gameti masculini (AB, Ab, aB, ab) si feminini (AB, Ab, aB, ab).

Uniti pe baza de probabilitate acesti 4 tipuri de gameti masculini si 4 tipuri de gameti feminini vor produce la fecundatie, zigoti $2n$ -diploizi si respectiv organisme cu 16 variante genotipice ($4 \times 4 = 16$) si respectiv 4 tipuri de descendentii dupa fenotipul manifestat (AB, Ab, aB, ab). In metafaza I nu se separa cromatidele surori si monovalentii din bivalenti sunt dicromatidici .

ANAFAZA I Acum din fiecare bivalent sau tetrada cromozomala rezulta doi cromozomi univalenti care au cate doua cromatide fiecare si sunt unul de origine materna si altul de origine paterna .Separarea celor doi cromozomi e completa si se face independent de separarile (segregarile) cromozomilor omologi de la ceilalti bivalenti. Se face atunci un fel de rasucire (invartire), deplasare si apoi separare numita expresiv "dansul cromozomilor". Deplasarea cromozomilor se face cu centromerii alunecand pe fibrele cinetice ale fusului de diviziune consumand energie eliberata din consumul de ATP (adenozintrifosfat).

Cromozomii se indreapta spre polii fusului de diviziune iar partile de fibra cinetica ramasa in urma se depolimerizeaza. In anafaza zona ecuatoriala a fusului de diviziune devine mai clara si se vad clar fibrele scheletice nechetocorale ale fusului. Cand cromozomii au ajuns la polii fusului de diviziune s-a sfarsit anafaza I si incepe telofaza I. Migrarea cromozomilor se face cu viteza constanta.

In telofaza I cromozomii bicromatidici ajung la polii fusului de diviziune devin invizibili prin decondensare, se reface membrana nucleara, se dezorganizeaza fusul de diviziune si paralel are loc fragmentarea citoplasmei prin formarea fragmoplastului.

Interfaza II ori este foarte scurta ori in unele cazuri lipseste. In aceasta etapa, cromozomii fiind dicromatidici (2C/ADN) chiar daca cele doua celule ale diadei au n cromozomi si sunt haploide, nu se va face replicarea ADN ca la ciclul mitotic. Dupa interfaza II cele doua celule haploide ale diadei intra in meioza II-secundara, homotipica, ecvationala sau de maturatie care se deruleaza dupa tipul unei mitoze obisnuite doar cu 2 deosebiri: 1) impartirea ficarui cromozom in cromatide a prexistat in meioza I si se mosteneste direct in meioza II pe cand in cazul mitozei aceasta impartire s-a produs in cursul interfazei recente, 2) cromatidele cromozomilor in meioza II sunt recombinat genetic prin crossing-over spre deosebire de cele mitotice.

Dupa pozitia meiozei in ciclul de viata al organismelor avem trei tipuri de meioza:

1) Meioza terminala gametica-observata la animale si unele organisme vegetale (Diatomee, Fucacee, Sifonale) si unele Oomicete.

Animalele produc la meioza meiogameti-masculi-spermatozoizi si meiogameti femeli-ovule. Acestia sunt celule reproducatoare sexuate si singuerele celule haploide ale corpului.

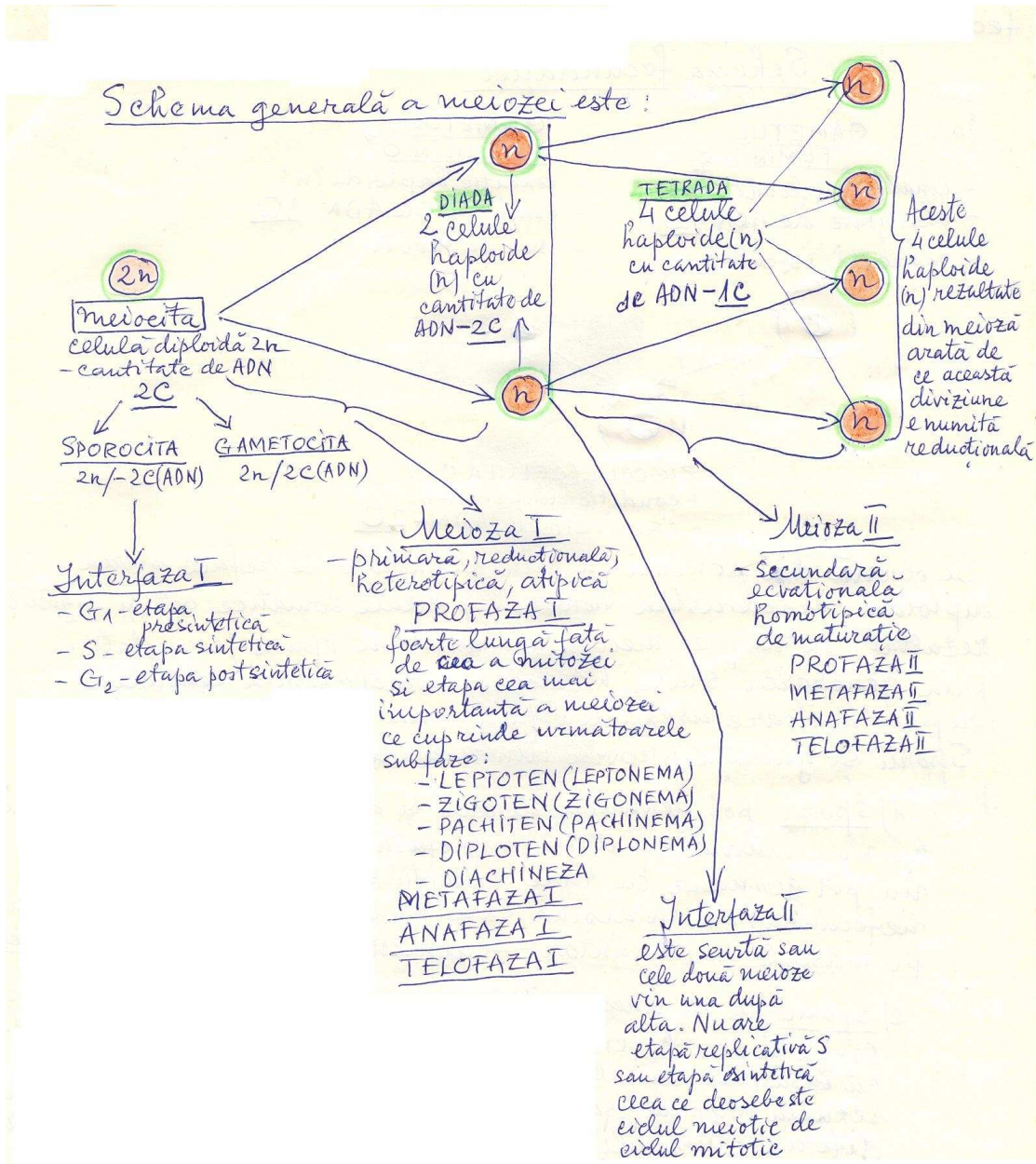
2) Majoritatea plantelor si multe organisme vegetale ca algele si ciupercile au meioza intermediara sporala cu o viata ce parcurge doua faze celulare: diplofaza si haplofaza. Acesta meioza produce celule reproducatoare axexuate (n) numite spori care spre deosebire de gameti se pot divide mitotic haploid si ulterior vor forma gametii (celule reproducatoare sexuate n) ce participa la fecundatie.

3) Meioza zigotica initiala se observa la organisme vegetale (Volvocale, Ulothrix, Charophyta, Zigomicete) si consta in meioza zigotului-2n, dupa ce acesta a rezultat prin fecundatie la sfarsitul unei faze de viata haploide care ocupa toata viata organismului.

La meioza zigotica nu exista decat o singura posibilitate pentru recombinarea genelor ce se reunesc la contopirea gametilor, la meioza intermediara si la cea gametica se pot realiza numeroase recombinari in urma unei singure fecundatii.

La plante meioza sporala intermediara este de fapt o sporogeneza respectiv microsporogeneza producatoare de microspori cu potentialitate sexuala masculina si macrosporogeneza producatoare de macrospor. La animale meioza finala gametica este si ea o spermatogoneza ce conduce la producerea de spermatozoizi si o ovogeneza ce duce la producerea de ovule-gameti feminini. Gametii sunt celule reproducatoare sexuate ce nu se mai divid ci participa la fecundatie pe cand sporii (microsporii si macrosporii, sunt tot haploizi (n) ca si gametii) dar se pot divide mitotic haploid dand o haplofaza pe parcursul careia se formeaza gametii. Sporii sunt celule reproducatoare asexuate.

DESENE PRACTICE



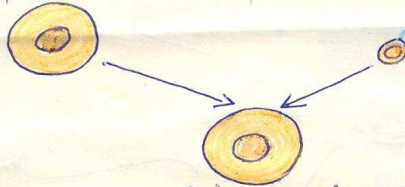
Schema fecundatiei

GAMETUL FEMININ ♀

- conditie haploida (n)
- cantitate de ADN 1c
- mare si imobil

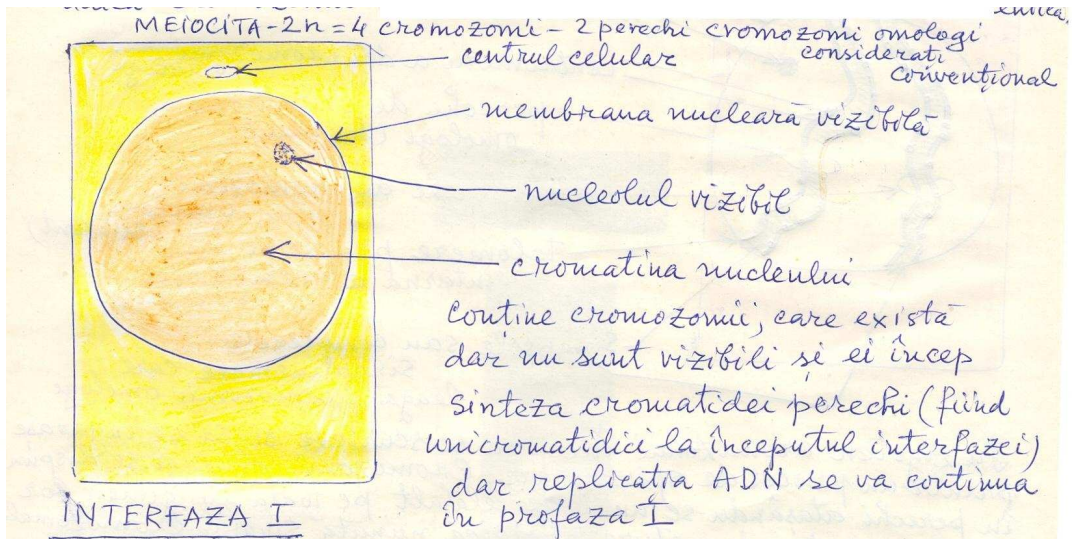
GAMETUL MASCULIN ♂

- conditie haploida (n)
- cantitate de ADN 1c
- mic si mobil



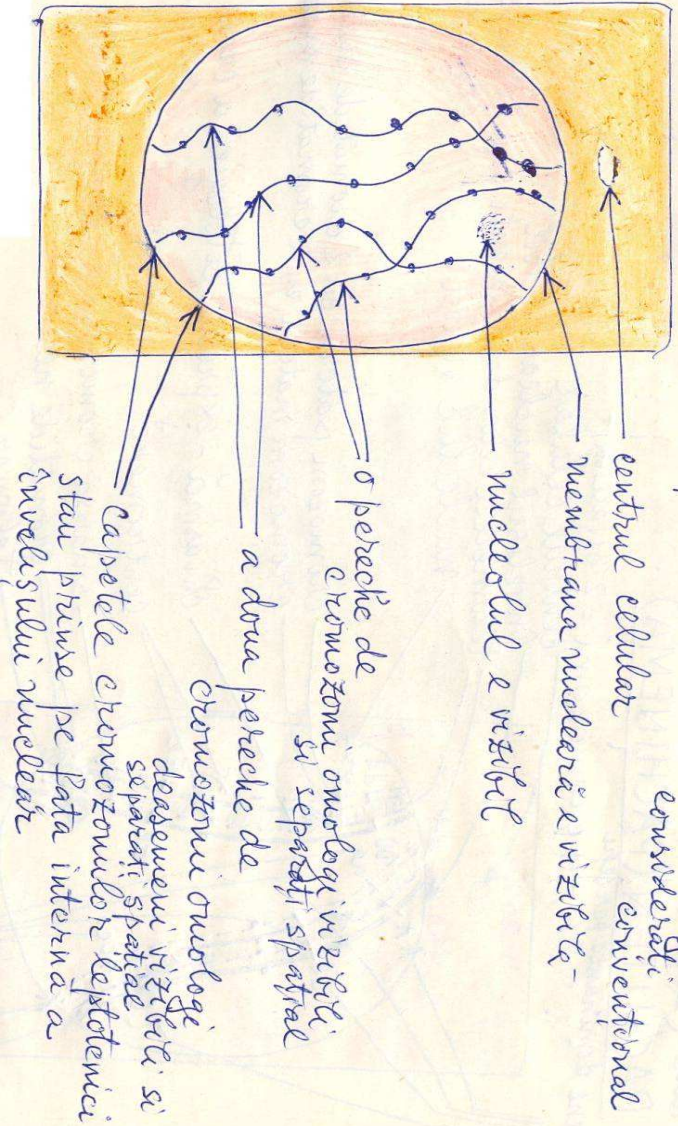
ZIGOTUL (CELULA-OU)

- conditie diploida ($2n$)
- cantitate de ADN - 2C



PROFAZA I
LEPTOTEN (LEPTONEMA)

$2n = 4$ cromozomi - 2 perechi cromozomi omologi



considerați
convențional

centrul celular

membrana nucleară & vizibilă

nucleolul & vizibil

o pereche de

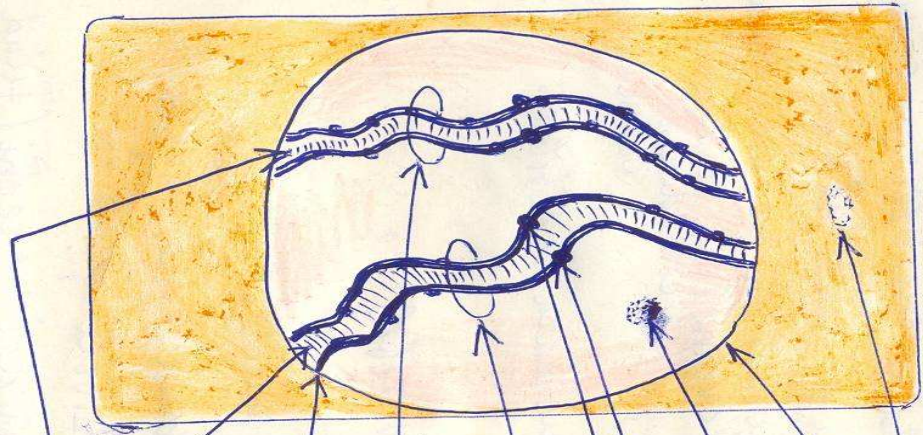
cromozomi omologi în zigot
și separați spațial

a doua pereche de

cromozomi omologi
deosemeni în zigot și
separați spațial
Capetele cromozomilor se joacă
în stau printr-o față internă a
învelișului nuclear

ZIGOTEN (ZIGONEMA)

$2n = 4$ Cromozomi = 2 bivalenti



centrul celular

membrana nucleară vizibilă

nucleolul vizibil

centromeri a doi cromozomi omologi

o pereche de cromozomi omologi (bivalent)

alta pereche de cromozomi omologi

telomere prinsi pe fața internă a membranei nucleare

Sinapsa sau complexele sinaptilemale care leaga cromozomii omologi