

6. Genetický význam mitózy a meiózy

Dobrý den. V této přednášce se zaměříme na genetický význam mitózy a meiózy. Přednáška je součástí modulu 1, genetika zvířat. Vytvoření této prezentace bylo podpořeno grantem ERASMUS + KA2 v rámci projektu ISAGREED, Inovace obsahu a struktury studijních programů v oblasti managementu živočišných genetických a potravinových zdrojů s využitím digitalizace.

Gregor Mendel byl první kdo rozpoznal, že děje související s jeho elementy během tvorby gamet, úzce souvisí s dědičností. O chromozomech ve své době nic nevěděl, jejich existence byla popsána až ke konci jeho života Flemmingem. Že dědičnost Mendelových elementů souvisí s chováním chromozomů během buněčného dělení byla prokázána až po roce 1900. Ve 20. a 30. letech 20. století byla formulována chromozomální teorie dědičnosti. Propojení Mendelových diskrétních jednotek – elementů s jejich umístěním na lokusech na chromozomech se stalo nedílnou součástí představ vědců o dědičnosti na počátku 20. století.

Pro lepší představu si ukážeme, jak se chovají a co se děje s chromozomy během buněčného cyklu. Diploidní organismy mají vždy dvě kopie stejného chromozomu – jeden jsme zdělili od matky a druhý od otce. Tvoří homologický chromozomální pár. Buňka, která normálně roste, probíhá v ní metabolismus, má v každém chromozomu jednu molekulu DNA a je tvořena jednou chromatidou. Na obrázku vlevo máme na chromozomálním páru umístěn gen, v kterém je heterozygotní, Aa. Jakmile se buňka rozhodne, že se bude dělit, vstoupí do S fáze (syntetické fáze), kde dojde z genetického hlediska k replikaci DNA a tzv. duplikaci chromozomů. Nemění se však počet chromozomů, ale v rámci každého chromozomu se objeví dvě chromatidy, které jsou spojené a tvoří jeden chromozom. Tyto chromatidy jsou identické, nesou stejnou genetickou informaci a nazývají se sesterské. Vidíme je na obrázku vpravo. Takovéto dvouchromatidové chromozomy vstupují přes G2 fázi do buněčného dělení, ať už mitózy nebo meiózy. A toto je zásadní pro pochopení souvislosti dědičnosti genů, které jsou umístěny na chromozomech, a chováním chromozomů během následujícího dělení.

Na tomto schématu to máme zjednodušeně zobrazeno. V G0 a G1 fázi jsou chromozomy jednochromatidové. Každý chromozom je tvořen jednou DNA. Celkový obsah DNA je roven $2c$ (c jako content) a počet chromozomů je $2n$ (diploidní stav). Obsah DNA je totéž, jako kdybychom řekli počet chromatid. V S fázi a G2 fázi po replikaci DNA, zůstává počet chromozomů stejný, tedy $2n$, ale množství DNA a tím pádem i počet chromatid je $4c$. A tyto dvouchromatidové chromozomy následně vstupují do buněčného dělení – mitózy nebo meiózy.

Jaký je genetický pohled na chování chromozomů během mitózy? Budeme sledovat dva chromozomální páry, kdy jedinec je dihybrid Aa Bb. Každý gen je na jiném chromozomálním páru – na zelených chromozomech je gen A na červených je gen B. Ve výchozí buňce v G1 fázi vidíme tedy stav $2n$ a $2c$ (v našem případě celkově 4 chromozomy a 4 chromatidy), protože chromozomy jsou jednochromatidové. Po duplikaci chromozomů, tedy replikaci DNA, vznikají dvouchromatidové chromozomy a máme pak stav $2n$ a $4c$ (máme 4 chromozomy, ale 8 chromatid). Tato buňka pak vstoupí do dělení mitózou. Mitóza je tvořena 4 fázemi. V profázi se chromozomy zkracují, protože se kondenzují a zahušťují, aby vznikla kompaktní hmota, která je viditelná v optickém mikroskopu. V metafázi se chromozomy postaví do ekvatoriální roviny a napojí se mikrotubuly dělicího vřeténka z obou stran pólů buňky. Pořád máme stav $4c$,

2n. Protože jsou mikrotubuly dělicího vřeténka napojeny z obou pólů na centromeru každého 1 konkrétnímu chromozomu, dochází v anafázi k oddělení čili segregaci chromatid původního chromozomu a vzniká situace, kdy se nám z jednoho chromozomu vytvoří dva chromozomy ale jen s jednou chromatidou. Čili k jednomu pólu buňky jde situace 2c a 2n a k druhému pólu také 2c a 2n. Po telofázi a cytokinezi můžeme vidět dvě nové buňky, které jsou geneticky naprosto identické vůči sobě i vůči výchozí mateřské buňce. Tím že rovnoměrně segregují chromatidy, dochází k přesné reprodukci genetické informace z jedné generace buněk do druhé. To je hlavní význam mitózy. Takto se dělí naše somatické buňky.

Meióza je tvořena dvěma samostatnými děleními. Před první miózou dochází k replikaci DNA v S fázi. Čili opět ze stavu 2n a 2c se vytvoří buňka 2n a 4c. A tato buňka vstupuje meiózy I. Meióza I je geneticky nejdůležitější, protože tady dochází k hlavním procesům, které souvisí s Mendelovými principy dědičnosti. V profázi I dochází jako v mitóze ke kondenzaci chromozomů. Hlavní rozdíl mezi mitózou a meiózou I je, že páry homologických chromozomů jsou u sebe a tvoří bivalenty (2 chromozomy u sebe), nebo tetrády (4 chromatidy u sebe). A protože jsou blízko u sebe, může dojít ke crossing overu. Tento děj bude prezentován v přednášce o vazbě genů. Důležité je, že jsou u sebe a takové potom v době metafáze řadí v ekvatoriální rovině buňky. Když sledujeme dva páry homologických chromozomů, jsou pak dva možné způsoby jejich uspořádání, a to s pravděpodobností 50 na 50 %. V situaci buď v pravé nebo v levé buňce se v napojí mikrotubuly dělicího vřeténka ALE pouze ke každému chromozomu jen z jedné strany. To je další zásadní rozdíl mezi mitózou a meiózou. V našem případě v metafázi I můžou vznikat dvě kombinace uspořádání párů chromozomů. Buď jedna nebo druhá. Tento stav vysvětluje Mendelův princip volné kombinovatelnosti, kterou Mendel pozoroval v F2 generaci u dihybridního křížení. Dále buď buňka vpravo nebo vlevo potom vstoupí do další fáze meiózy I, do anafáze I. Zde dochází k segregaci, ale z důvodu napojení mikrotubulů dělicího vřeténka z každého pólu buňky jen k jednomu chromozomu z páru, dochází k segregaci celých chromozomů. V důsledku toho vznikají na konci meiózy I haploidní buňky 1n a 2c, protože segregovaly celé dvouchromatidové chromozomy. Tento proces zase vysvětluje Mendelův princip segregace, který objevil při analýze monohybridního křížení. Tyto buňky ještě nejsou zralé gamety, a proto ještě musí vstoupit do meiózy II.

Haploidní buňky 1n 2c vzniklé meiózou I se přes profázi II dostanou do metafáze II, kde se opět chromozomy sestaví do ekvatoriální roviny. Natáhnou se mikrotubuly dělicího vřeténka z obou 2 stran ke každému chromozomu. V anafázi II, zase dochází k segregaci, tentokrát sesterských chromatid. Tento proces je stejný jako u mitózy. Segregací chromatid v anafázi II získáme na konci meiózy II z každé buňky dvě nové buňky, které jsou stále haploidní 1n, ale každý chromozom nese jenom 1 DNA v jedné chromatidě čili jsou 1c. To je finální produkt. Haploidní buňky 1n 1c, které když se při oplození spojí do zygoty, tak má 2n 2c počty chromozomů a DNA. Jaký je tedy genetický význam meiózy? Meióza slouží k redukci genetické informace na polovinu, aby při pohlavním rozmnožování vznikali potomci stejní jako rodiče z hlediska množství genetického materiálu. Navíc v důsledku volné kombinovatelnosti chromozomálních párů v metafázi I vznikají různorodé gamety z hlediska kombinování mezi různými geny. Protože ty dva geny jsou na různých chromozomálních párech, tak se mohou volně kombinovat a nezávisle na sobě segregovat během anafáze I. Proto vzniká variabilita v gametách a v našem případě, když vstupují do meiózy tisíce buněk dihybrida Aa Bb, vznikají 4 typy gamet AB, Ab, aB a ab v poměru 1 ku 1 ku 1 ku 1.

Když si shrneme oba typy dělení, téma genetický význam mitózy a meiózy. Tak při mitóze je dědičnost o přenosu genetické informace z 1 diploidní buňky do 2 nových diploidních buněk, ale tak, že jsou geneticky identické. Týká se to zejména somatických buněk mnohobuněčných organismů. Naproti tomu genetický význam meiózy je ten, že v důsledku volné kombinovatelnosti a segregace vznikají neidentické haploidní buňky, gamety, které mají velkou genetickou variabilitu.

A děkuji vám za pozornost.