

Kiegészítések a genetikához

A génműködés szabályozása

A baktériumok génműködés-szabályozásának egyik példája a már tanul *laktóz-operon*.

A különböző felépítésű- és működésű *testi sejtjeink azonos genetikai információt hordoznak*, mert minden testi sejtünk a megtermékenyített zigótából mitózisokkal jött létre. Ezért lehetséges a klónozás. Minden gén megvan tehát az összes testi sejtünkben, de *nem aktív mindig mindegyik*. A *gén* aktivitása azt jelenti, hogy az adott DNS szakaszból mRNS átírat készül, majd az mRNS fehérje szintézisét vezérli.

A soksejtű élőlények különböző szöveteiben levő sejtek felépítése és működése eltérő. Ez úgy valósul meg, hogy más-más (enzim)fehérjék termelődnek a sejtben, mert más-más gének aktívak, mindegyik sejt a funkciójának megfelelő fehérjét állítja elő. Például a gyomormirigysejt többek között pepszinogént termel, az izomsejtünk aktint, miozint állít elő.

A gének megnyilvánulását a hormonális állapot is befolyásolja. Például a növekedési hormon befolyásolja a csont- és izomfehérjék termelését (gének aktivitásán keresztül).

Daganat (tumor): sejtek kóros osztódása.

Szövettani vizsgálattal dönthető el, hogy jó- vagy rosszindulatú daganat a sejtburjánzás.

A jóindulatú daganat: sejtjei a kiindulási szövetnek megfelelő felépítésűek és működésűek; a környező szövetektől élesen, sima felülettel határolódik el.

A rosszindulatú daganat: sejtjei szabálytalanok, a kiindulási szövetből és egymástól is eltérnek; az ép szövetektől nem különül el, azokra ráterjed (beszűrődik); gyakran áttéteket képez.

Áttét (metasztázis): a daganat sejtjei a vér- és nyirokkeringéssel a nyirokcsomókba vagy más szervekbe jutnak, és ott megtelepedve újabb daganatok kiindulási pontjaivá válnak.

A korai felismerés jelentősége: A beteg felépülésének esélyeit minden esetben jelentősen javítja, ha a lehető legkorábban orvoshoz fordul problémájával. Ebben nagyon sokat jelentenek a rendszeresen végzett önvizsgálatok, ill. a szűrések. Még fokozottabban vonatkozik ez azokra, akik családjában előfordult már a rák valamilyen fajtája.

Bőrrákra utaló jelek: nem gyógyuló seb vagy fekély; nedvező, hámló, vagy gyorsan változó anyajegy; különösen figyelni kell, ha a bőrelváltozás szabálytalan körvonalú, nem egyenletes színű, gyorsan növekszik. (Gyakorlott szakorvos tudja eldönteni, hogy rákos elváltozás történt-e.)

Emlőrákra utaló jelek: csomó vagy göb az emlőben, illetve a hónaljban; a mell formája megváltozik; a mellbimbóból véres váladék távozik vagy tartósan visszahúzódik; az emlő bőre megváltozik. (Az emlőrák többnyire fájdalomtalan. Tanácsos havonta – menstruáció idején – önvizsgálatot végezni, illetve részt venni az orvosi szűrővizsgálatokon.)

Hererákra utaló jelek: kicsiny, rendszerint fájdalomtalan csomó megjelenése a herében; a here megnagyobbodása; fájdalom a herében, herezacskóban, alhasban; here hormontermelésének zavarára utaló emlőnövekedés. A korai felismeréshez fontos a herék rendszeres önvizsgálata, amely fürdés, zuhanyzás után végezhető, amikor a here izomzata laza.

Prostatarákra utaló jel, ha vizeleti panasz 2 hétnél tovább fennáll: a vizelet nehezen indul vagy elakad; gyenge vizeletsugár; gyakori vizelet, különösen éjjel; fájdalmas, égető érzés vizeletkor. (Hasonló tüneteket eredményezhet az idős emberekben igen gyakran kialakuló dűlmirigy-tútergés, valamint a prosztatata fertőzőes gyulladása, vagy prosztatákövek jelenléte is. Ezek elkülönítése urológiai kivizsgálást tesz szükségessé.)

Méhnyakrákra utaló jelek: együttlét utáni vérezgetés, alhasi fájdalom; legfontosabb a rendszeres, évente végzett nőgyógyászati szűrővizsgálat! (18. évtől, illetve a nemi élet megkezdésétől évente kell végezni a vizsgálatot. Különösen veszélyeztetettek, akik gyakran változtatják partnereiket. A korán felfedezett méhnyakrák túlélési aránya 100%!)

(Egyéb rákra utalhat: makacs köhögés, rekedtség; állandó nyelési nehézség; a széklet változásai. Csakúgy, mint más testi rendellenesség esetén, az előbbi tünetek jelentkezésekor is orvoshoz kell fordulni.)

Valószínűség: valamely esemény bekövetkezésének esélye.

Gyakoriság: egy populációban valamely allél vagy genotípus előfordulásának aránya.

Mendel genetikai vizsgálatait borsókkal végezte. Az uniformitás, a hasadás, a független öröklődés és a reciprocitás törvényében foglalhatók össze következtetései.

Mendel következtetései, törvényei nem érvényesek korlátlanul az élőlények öröklődésénél. Nem érvényesek ezek kapcsolt öröklődésnél, sejtmagon kívüli öröklődésnél, az ivari kromoszómákon öröklődő jellegeknél és a letális allél jelenlétének.

Kapcsolt öröklődésnél nem érvényes a független öröklődés törvénye. (Mendel külön kromoszómákon található borsógének öröklődését vizsgálta.)

Sejtmagon kívüli öröklődés (extranukleáris, citoplazmás öröklődés) a mitokondriumban és a növényi színtestben levő gének öröklődését jelenti. Ezek a sejtszervecskék csak a petesejt útján adódnak az utódokba. Így itt nem érvényes a reciprocitás mendeli törvénye, mely szerint a tulajdonság öröklődésénél lényegtelen, hogy melyik ivarú utód örökíti azt.

A legtöbb tulajdonság öröklődése csak génkölsönhatások segítségével magyarázható.

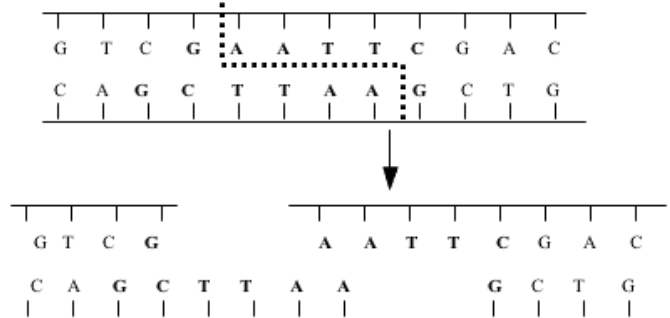
A **klón** két vagy több genetikailag azonos egyed. Például az indával szaporodó növények sarjai. Egy fejlődő embrió sejteinek szétválasztásával létrehozott genetikailag azonos egyedek. A növények vegetatív szaporodása (például a dugványozás) tulajdonképpen klónozás. Ma már emlősöket is tudnak klónozni: petesejt magját eltávolítják, helyére egy testi sejt magját ültetik. Az utód a testi sejtet adó állattal azonos genetikai állományú (klón) lesz.

Baktériumok felhasználása emberi fehérje előállítására

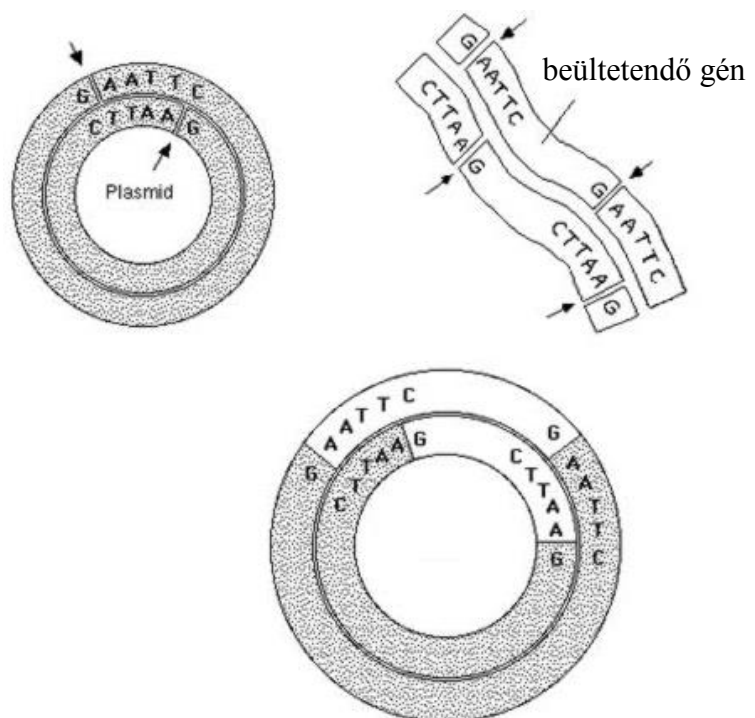
Ez génszűrés (genetikai technológia) segítségével történhet.

Baktériumokból olyan enzimeket állítottak elő, amelyek meghatározott báziskombinációknál hasítják a DNS-t, úgy hogy rövid egyszálú részek is maradnak, ún. „ragadós végek”.

((Ezek a restrikciós endonukleáz enzimek.))



A beültetendő emberi gén melletti DNS szakaszt a fenti enzimmel hasították. A baktériumban levő kis kör alakú DNS-t (plazmid) ugyanezen enzimmel hasították. Így összeilleszkedő „ragadós végek” keletkeztek, ezek összekapcsolódásakor enzimek egyesítették a DNS láncokat. Így emberi gént építettek plazmidba. A plazmidot visszajuttatva a baktériumba, emberi fehérjét termelt a baktérium. Azért lehetséges ez, mert az emberben és a baktériumban is az egyes bázishármasok ugyanazokat az aminosavakat kódolják. (A genetikai kód univerzális.)



Néhány példa a genetikai technológia alkalmazására

Genetikai technológia (génebesztet) segítségével egy gént másik fajba át lehet vinni, vagy módosított gént lehet beültetni, így **genetikailag módosított** (manipulált) **organizmus** (szervezet) jön létre: GMO.

GMO-baktériumok ma már tetszés szerint előállíthatók. Emberi géneket juttattak baktériumokba, ma már sok gyógyászatiilag fontos fehérjét így állítanak elő. Inzulint, növekedési hormont, interferont stb. termeltetnek így olcsón, megbízhatóan, nagy mennyiségben. (Korábban inzulint marhahasnyálmirigyből, növekedési hormont holttestek agyalapi mirigyéből vontak ki.)

Több ma használt vakcina (pl. a hepatitis B elleni) kizárólag génebeszteti eljárással készül.

Mosóporok enzimeit mikroorganizmusokkal termeltetik.

Több transzgenikus (idegen fajból származó gént tartalmazó) növény van már kereskedelmi forgalomban és mezőgazdasági termelésben főleg az USA-ban. Ma az USA szója-, kukorica- és gyapottermésének döntő hányada GMO-növény, azaz egyes gyomirtó szereknek vagy bizonyos fontos rovarkártevőknek ellenálló fajta, amelyekbe ezeket a tulajdonságokat génebeszteti technikával vitték be.

Beültetnek a növénybe olyan gént, ami ellenállóvá teszi egy növényvédő szerrel szemben. A termelő elveti ezt a növényt, majd a növényvédő szerrel kezeli a területet, így a GMO-növényen kívül minden más növény (gyom) elpusztul. Együtt adják el a növényvédőszer-rezisztens GMO-növényt és a növényvédő szert.

GMO-állat gyakorlatilag még nincs a világ mezőgazdaságában (2015-ben engedélyezték az USA-ban gyorsabban növekvő GMO lazac tenyésztését). Kísérletek folynak, hogy a vérékenység egyik típusának kezeléséhez szükséges fehérjét, amelynek baktériumban való termeltetése nem megoldható, kecske vagy juh tejében lehessen termelni. Ez azt jelenti, hogy néhány kecskével a Föld összes ilyen betegének ellátása megoldható lenne.

Géntechnológia melletti érvek, álláspontok

A fent leírt alkalmazások haszna, eredményei mind a géntechnológia (génebesztet) melletti érveként szolgál: sikeres gyógyítás; olcsóbb mezőgazdasági termelés; kozmetikumok; vegyszerek gazdaságos előállítása.

Bizonyos anyagok génebeszteti előállítására lehetővé teszi, hogy a természetesnél előnyösebb tulajdonságú (például a szervezetben gyorsabban vagy éppen lassabban lebomló) változatokat lehessen tervezni és előállítani.

A tudományos kutatást is szolgálja a génebesztet. Az emberi immunrendszer géneinek átültetésével állíthatók elő olyan egerek, amelyek alkalmas modellek például az AIDS-ellenes gyógyszerek vizsgálatára.

A génebesztetileg módosított baktériumok segítik a környezetvédelmet is. GMO-baktériumokkal lehet megtisztítani kőolajat és kőolajszármazékokat a kénvegyületektől.

A GMOk ellenzői alapvető problémának tartják, hogy az élőlények genetikai állományát megváltoztatják a tudósok, illetve, hogy más fajú egyedből visznek át géneket. Ezt sokan tiltandónak tartják, függetlenül a hatásvizsgálatoktól. Azonban a természetben sem állandó az élőlények DNS-e: Ha két élőlény nagyon szoros kapcsolatba kerül egymással, pl. a baktérium (a mitokondrium őse) bejutott a nagyméretű eukarióta sejtbe, vagy egyes élősködők bejutnak valamely élőlénybe, akkor a két faj között géntáadás történik a természetben! (A mitokondrium őseként szolgáló baktérium géneinek nagy része beépült az eukarióta sejt magjába.) A hagyományos növénynevelésnél nem egy vagy két gén kerül át egyik fajtából a másikba, hanem akár több száz gén jut át ellenőrizetlenül, és ezeket az új fajtákat nem vizsgálják szigorúan, hiszen nem GMO! Tehát a GMO élőlények előállításánál hasonló változások történnek, mint amilyenek a természetben, vagy növénynevelésnél is előfordulnak, csak a GMO létrehozásánál célzottan történik néhány gén változtatása, és sokkal alaposabban vizsgálják utólag a GMO élőlény lehetséges veszélyeit.

Géntechnológia elleni érvek, álláspontok

Mivel a kutatási költségek nagyok, a bevezetést megelőző hatásvizsgálatot gyakran nem végzik el. Ezért a genetikailag átalakított organizmusok szabadon bocsátása esetén az ökológiai következmények még nem világosak.

Az ipari-mezőgazdasági hasznosítás nem zárt rendszerű, így az organizmusok könnyen kiszabadulhatnak a természeti környezetbe és kiszoríthatnak más, őshonos fajokat, így csökkentve a biodiverzitást.

Ma már alapvetően csak néhány haszonnövény-faját termesztünk, míg az igazi fenntartható mezőgazdaságban sok különböző növényt termesztünk, mivel ez a legjobb védekezés a kártevőkkel, vírusokkal és időjárás változásokkal szemben. A hagyományos fajták sokkal egészségesebbek és finomabbak is, mint a nagy hozammal bíró modernebbek, amiket a mezőgazdasági-vegyipari cégek terjesztnek.

Az emberrel közvetlen érintkezésbe lépő génmanipulált organizmusok egészséget érintő hatásairól kutatások hiányában nem sokat tudhatunk, így alkalmazásuk eddig nem ismert következményekkel járhat az egészségre.

(A Nagy-Britanniában dolgozó magyar **Pusztai Árpád** kutatócsoportjával transzgénikus burgonya emlősökre gyakorolt hatását vizsgálta. A burgonyába olyan hóvirággént juttattak, ami rovarok számára mérgező, így az ellenáll a rovarkártevőknek. A kísérletsorozat azt mutatta, hogy ez a burgonya károsítja a patkányokat. Amikor Pusztai ezt az eredményt 1998-ban nyilvánosságra hozta, azt is hozzátette, hogy amikor a génmódosított élelmiszerek forgalmazását engedélyezik, nem vizsgálják azok biztonságát kellően, így az embereket használják kísérleti nyúlként. Pusztai kísérletsorozatát sokan bírálják, mert túl kevés állattal kísérletezett, így nem juthatott megalapozott eredményre.)

Ha egy mezőgazdasági termék garantáltan génmanipuláció-mentes, az a termék jobban eladható Európában. A biotermékek jóval értékesebbek a tömegtermékeknél, márpedig génmanipulált növény nem kaphat bio minősítést. (Még a génkezelt fajtákat előállító nagyvállalatok is "GMO-mentes" felirattal jelölik meg a saját hagyományos termékeiket.) Magyarország a kontinens egyik legnagyobb vetőmag-előállítója. Elemi gazdasági érdeke hazánknak a génkezelt haszonnövények távoltartása a magyar termőterületektől, különben jelentősen csökkenhet az értékes hazai vetőmagok eladása.

A rezisztens növényfajták előállítása nem jelent végleges megoldást. Ha egy növénybe olyan gént ültettek amely valamely rovarkártevő számára mérgező fehérjét termel, az állat várhatóan kb. 10 év alatt ellenállóvá válik ezzel a méreggel szemben. (Mutációval olyan enzimje jöhet létre, majd terjed el a populációban, amelyik lebontja azt a mérget.) Így az egész genetikai beavatkozás hosszabb távon értelmetlen.

A transzgénikus növényekkel igazoltan csak néhány százalékkal nőttek a terméshozamok, sokan úgy gondolják, hogy ez nem éri meg, tekintettel a nem kellően tisztázott esetleges hosszú távú veszélyekre.

A genetikai tanácsadás

(Érettségi köv.: *Lássa a genetikai tanácsadás lehetőségeit, alkosson véleményt szerepéről.*)

Ide fordulhatnak tanácsért a gyermekvállalásra készülő párok. Azoknak érdemes felkeresni a tanácsadót, akiknek korábban született gyermeke öröklődő betegségben, fejlődési rendellenességben szenved, és újabb gyermeket akarnak; a gyermeket vállalóknak vagy közeli családtagjuknak örökletes baja van; vagy ha a nő már nem fiatal. A genetikai tanácsadás során részletes családvizsgálatot készítenek: családfakészítést, elemzést végeznek. Anyagcsere vizsgálatokkal próbálják felderíteni a szülők genotípusát. A betegség ismerete, valamint népesség- és területstatisztikai adatok alapján valószínűség számítással megállapítják a kockázat fokát. Azt azonban, hogy milyen kockázatot vállalnak, a leendő szülőknek kell eldönteni. Törvényeink ugyanis csak a legközelebbi rokonok házasságát tiltják.

Ma már egyre több lehetőség van a magzati diagnosztika alkalmazására: a magzatvízben levő sejtek vizsgálatával derítik fel a gyermek nemét, illetve esetleg az öröklődő betegséget. Ma már ezt minden olyan esetben javasolják, amikor felmerül a kromoszóma-rendellenesség gyanúja, vagy fennáll nemhez kapcsolt súlyos betegség veszélye. X kromoszómán öröklődő

betegség esetén a leánygyermek csak nagyon ritkán betegszik meg, általában csak hordozó lesz. Ilyenkor csak fiú magzat esetén megfontolandó a művi terhesség-megszakítás. (Lásd még a Down-kórról tanultakat is!)

Ha egy recesszív betegséget okozó allél tekintetében mindkét szülő heterozigóta, 25% a beteg gyermek születésének valószínűsége. Ilyen pároknak nem javasolták a gyermekvállalást, ha súlyos, gyógyíthatatlan ártalomról volt szó. Ma viszont, amennyiben magzati diagnosztizálásra van lehetőség az adott betegségnél, a fogantatás után lehet dönteni a terhesség megszakításáról, ha ténylegesen betegnek bizonyult a gyermek.

Rendkívüli felelősséget vállal az is aki a tanácsot adja, és az is, aki kapja, mert még a kilátástalannak tűnő helyzetben is lehetséges egészséges gyermek születése, és elfogadható kockázat mellett is születhet beteg gyermek.

(Érettségi köv: *Lásd a biológiai alkalmasság (fitness) és az emberi élet értéke közti különbséget.*)
Fitness (rátermettség): az egyed azon képessége, hogy génjeit milyen mértékben örökíti át a következő nemzedékre. A sikeres szaporodás az egyed életképességének és termékenységének függvénye.

Az emberi élet értéke nem mérhető ilyen evolúciobiológiai fogalmakkal. Minden emberi életet értéknek tekintünk. Senki nem gondolkozik azon, hogy valakinek az életét értékesnek minősítsük-e, aki a társadalom hasznos tagja, de valamilyen okból nem lehet gyermeke.

A Humán Genom Program célja az ember teljes genetikai információtartalmának leolvasása, azaz a 3 milliárd nukleotid hosszúságú teljes emberi DNS nukleotidsorrendjének megállapítása volt.

(Ez a kutatás 1990-től folyt az USA-ban, lényegében az emberi genom teljes nukleotid sorrendjét megállapították 2003-ra. Több – különböző rasszokhoz tartozó – emberből származó kevert mintával dolgoztak.)

A kapott óriási adathalmaz A C G T nukleotidok sorrendjét jelenti. Meg vannak a „betűk” de ettől még nem „értjük a szöveget”. Sok génnek ma sem tudják a pontos helyét. Amelyeknek tudják a helyét, azok többségének sem tudják a feladatát. Az kiderült, hogy 30-40 ezerre becsülhető az emberi gének száma (korábban százezernek gondolták). A humán genomnak csak 2%-át teszik ki a gének, a többi DNS szerepéről csak feltételezések vannak.

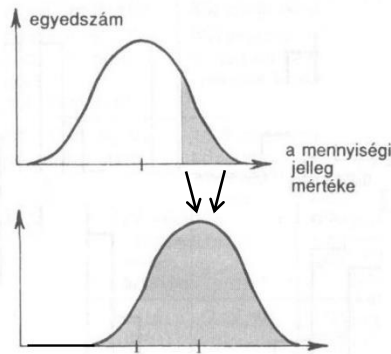
(Az ember és a csimpánz örökítőanyaga között 98%, ember és egér között 90% az egyezés, de még a banánnal is 40%-ban azonosak génjeink. Két ember között átlagosan minden ezredik nukleotidban van egy különbség, azaz az emberiség egyes egyedei között alig több mint egy ezrelék a különbség, és e különbség mintegy tizenöt százaléka különböző fajták – például a fehérek és feketék – közti különbség, nyolcvanöt százaléka pedig a fajtán belüli, egyedek közti különbség.)

A Humán Genom Program eredményei később sok fontos gyakorlati alkalmazáshoz nyújtanak alapot: A mainál többféle genetikai betegséget lehet majd diagnosztizálni a DNS vizsgálatával. Ma egy jól bevált gyógyszer esetében is vannak olyanok, akikre nem hat, vagy akiknél káros mellékhatásokat okoz. Ennek sok esetben genetikai eltérés az oka. A távolabbi jövőben DNS-teszttel meg lehet majd állapítani, hogy melyik gyógyszer lesz megfelelő a vizsgált személynek. (Jelenleg – 2017-ben – 1000 dollárért meg lehet határozni egy ember teljes DNS állományának bázissorrendjét, hamarosan eléri a 100 dolláros határt.)

A mennyiségi öröklődés és a házasítás kapcsolata

A házasításnál a legjobb mennyiségű adottságú (pl. több tejet, tojást adó) fajtákat igyekeznek létrehozni. Ha ez a kiváló adottság a géneknek köszönhető (nem csupán a gondos tartás eredménye), akkor a jó adottságú egyedek tovább szaporítva, a következő nemzedékek átlaga növekszik.

(Ez irányító szelekció.)



A mennyiségi öröklődés és a hibrid vetőmagvak előállításának kapcsolata

A növénynemesítők (és az állattenyésztők) arra törekednek, hogy homozigóta utódokat hozzanak létre, mert ezekben biztosan megvan a kedvező tulajdonság allélja. Növényeknél önbeporzással, állatoknál rokonpárosítással lehet ezt elérni. Ezt beltenyésztésnek nevezzük. Viszont néhány más kedvezőtlen recesszív jellegre is homozigóta lesz az egyed. Ez a betenyésztett egyedek leromlását eredményezi. ((Ezért tiltják közeli rokonok házasságát.))

Két különböző beltenyésztett csoport tagjait egymással keresztezik, olyan egyedeket, amelyek más-más kedvezőtlen recesszív allélok tekintetében homozigóták. Az utódok kiváló adottságúak lesznek. Egy nagyon egyszerű példa erre. szülők: AABbCc x AAbbCC

utódok: AABbCc (Az utód

ebben a példában már mindegyik tulajdonság domináns – kedvező – alléljával rendelkezik.)

Így állítják elő a hibrid vetőmagvakat, amelyeknél az utódok mennyiségi jellegek tekintetében kiválóbb adottságúak, mint a szülők. Ezt nevezik heterózishatásnak (heterozigóták az utódok). Különösen a kukoricatermesztésben fontosak a hibrid vetőmagvak.

Hogyha ezeket a hibrideket egymás között keresztezik, akkor a populáció ismét normál eloszlást mutat, csak kevés kiváló adottságú egyed lesz, ezért kell a hibrid vetőmagvakat mindig újra előállítani.

Miért jelent a házasítás genetikai beavatkozást?

A házasítás során a tenyésztő számára kedvező adottságú egyedeket szaporítják, így módosulnak az allélgyakoriságok, sőt elveszhetnek egyes allélok, amelyek a vad populációban jelen voltak. Hogyha pedig mutációval keletkezik a tenyésztőnek kedvező allél, akkor azt elterjeszti a populációban.

Tehát a házasítás során módosulnak az allélgyakoriságok.

A házasított állatok: - szelídebbek,
- kisebb az agyméretük,
- gyengébbek az ösztöneik,
- rövidebb a szaporodási ciklusuk.

Módszerek az öröklött- és környezeti hatások szétválasztására

A) Ikerkutatás

Az egyetétű ikrek örökítőanyaga megegyezik, a kétetétű ikrek egy időben született testvérek. Az ikrek vizsgálata segít megválaszolni, hogy mekkora az öröklődés, illetve a környezet szerepe egy-egy tulajdonság kialakulásánál.

Különösen értékes az olyan egyetétű ikrek megfigyelése, akik külön családban, sőt külön kultúrában, egymástól távol nőttek fel. Hogyha valamelyik tulajdonságban ők nagymértékű megegyezést mutatnak, akkor az öröklődés a döntő, hogyha közöttük komolyabb eltérés van valamely tulajdonságnál, akkor azon tulajdonság kialakításánál a környezet hatása a fontosabb.

(Az örökbefogadás-kutatások esetében viszont pont fordítva, a gének eltérőek, míg a családi környezet azonos.)

B) Modifikáció

Modifikáció: környezeti hatásra bekövetkező fenotípusváltozás, ami nem öröklődik tovább. (Rendszerint a mennyiségi tulajdonságoknál figyelhető meg.) Például a testépítők izomgyarapodása, a szoláriumozók barnulása, a magas hegységekben élők vörösvérsejtszám növekedése.

Kísérlet: Fiala gyermekláncfűvet tóosztással szétválasztottak (függetlenül kettévágták), az egyik példányt alföldön ültették el, a másikat hegységben. A hegységben elültetett növény alacsonyabb lett, holott genetikailag azonos a két példány! A fenotípusváltozást a környezet okozta, tehát ez modifikáció.

A modifikáció kizárása

Egy hegység különböző magasságú helyein eltérő nagyságúra nőttek az ugyanazon fajú növény egyedek, a magasabb helyen kisebb termetűek élnek. Kérdés, hogy modifikáció okozza az eltéréseket, vagy genetikai különbségek? Ez csak vizsgálattal dönthető el. A különböző magasságú élőhelyekről begyűjtött példányokat ugyanazon kísérleti telepen ültették el. A nagyobb tengerszint feletti magasságról származók utódai alacsonyabbak lettek (az azonos környezet ellenére), tehát nem modifikáció, hanem genetikai eltérés (az evolúció során kialakult adaptáció) eredményezte az eltéréseket.

Hasonlóan lehet eldönteni, hogy a több ezer méter magas helyeken élő emberek vörösvérsejtszáma miért nagyobb (hiszen lehet az ok környezeti, vagy genetikai is): Néhány hónapra leköltözik pár ember, mások pedig az alföldről felköltöznek. Kiderült, hogy mindkét csoport vörösvérsejtszáma a környezetében élőkéhez válik hasonlatossá, tehát modifikáció okozza az eltérést.

Sejtmagon kívüli öröklés (extranukleáris öröklődés)

Eukariótákban a sejt örökítőanyaga döntően a sejtmagban található. Azonban a mitokondriumoknak és a növények szintestjeinek is van saját gyűrű alakú DNS-ük, ezt nevezzük sejtmagon kívüli örökítőanyagnak.

Megtermékenyítéskor az állatok hímvarsejtjeinek mitokondriumai nem jutnak be a petesejtbe, a pollen nem tartalmaz szintestet, így mindkét sejtalkotó DNS-e csak a petesejttel, anyai ágon öröklődik.

Zöld és csíkos levelű kukoricát kereszteztek. A kísérlet eredménye azonban teljesen eltérő lett attól függően, hogy melyik egyed szolgáltatta a pollent.

Hogyha a petesejtet adó növény volt zöld levelű, és a pollen csíkos levelűtől származott, akkor minden utód zöld levelű lett, hiszen csupa hibátlan szintest jutott az utódokba.

Amikor viszont a pollen a zöld levelű szülőegyedtől származott, és a csíkos levelű kukorica petesejtjei termékenyültek meg, akkor háromféle utód keletkezett: zöld, csíkos levelű, és fehér (albínó). Attól függött az utód fenotípusa, hogy csak normál szintestek voltak a petesejtben (→zöld levelű utód), vagy csak klorofill termelésre alkalmatlan szintestek (→fehér utód). Amikor pedig normál és rendellenes szintestek is voltak a petesejtben, akkor csíkos levelű utód keletkezett.