

HALHATATLANSÁG A BIOLÓGIÁBAN

A HALÁL a legmindennapibb jelenségek közé tartozik, és közönségesen azt tartjuk, hogy előbb vagy utóbb minden élőlénynek el kell pusztulnia. Pusztán csak az emberiség naponta több mint 100.000 tagjával áldozik a halálnak. Érthető ezek alapján, hogy már ősidők óta minden élőlényt halandónak tartunk. Annál grandiózusabb, hogy az emberi értelem megteremtette a halhatatlanság gondolatát. De olyan nagyszerűnek, olyan kiváltságosnak tűnt fel a halhatatlanság, hogy hajdanában csak az isteni lényeknek tulajdonította. A görög istenek nagyon emberiek, emberi módra szeretnek és szeretkeznek, emberi módra gyűlölnék és harcolnak, istenné teszi azonban őket halhatatlan testük.

De még a mitológiák sem merészkedtek oaáig, hogy a földi élőlények közt keressenek testi halhatatlanságot. Ez az eleinte vakmerőnek látszó gondolat egy biológusban született meg a múlt század nyolcvanas éveinek elején. Weismann foglalkozott ekkor a halál biológiai meghatározásával, és arra az eredményre jutott, hogy a halál természettudományi kritériuma a hulla, ahol hiányzik, nem beszélhetünk halálról sem. Ez valóban nagyon egyszerűnek és pontosnak látszik. Ha azonban elfogadjuk igaznak, akkor egy sereg élőlényt bizonyos tekintetben halhatatlannak kell minősítenünk.

Weismann korában nagyon divatban voltak az egysejtű élőlények. Hírnevüket ugyan kétségtelenül a baktériumoknak és más betegségkókozó szervezeteknek köszönhették, de a szakemberek még sok más egysejtűt ismertek és ismernek, közöttük szép és különös alakokat is, amelyekről annakidején mint a vízcsepp csodavilágáról írtak. Az egysejtűek közönségesen oszlással szaporodnak, elérnek bizonyos nagyságot, azután két sejtre oszlanak szét és mindkét fióksejt önálló életet kezd, majd újra oszlással szaporodik. A sejtoszlás folyamán a sejt egész anyaga átjut a fióksejtbe, ami azt jelenti, hogy hulla nem keletkezik. Ebből Weismann a fentiek alapján azt következtette, hogy az egysejtűek tulajdonképpen halhatatlanok. Erőszak természetesen az egysejtűt is elpusztíthatja, vagyis az egysejtűek halhatatlansága nem feltétlen, de annyi mindenesetre jogosultnak látszik, hogy az egysejtűeknek feltételes halhatatlanságot tulajdonítsunk.

Weismann elméleti biológus volt, a biológiában azonban a feltevések helyességét a kísérlet dönti el. Megindultak tehát a kísérletek annak eldöntésére, vajjon az egysejtűek valóban feltételes halhatatlanok-e? E kísérletek aránylag egyszerűek voltak. Csak azt kellett megállapítani, tarthatók-e

az egysejtűek, vagy, mint tudományosan nevezik, protisták, tenyészetek olyan kedvező körülmények közt, hogy oszlásuk bizonyos időközökben korlátlanul megismétlődik.

Eleinte úgy látszott, hogy Weismann tétele nem állja ki a próbát. Pl. Maupas több ázalékállatkával végzett kísérleteket és azt találta, hogy 100—300 sejtoszlás után e protisták táplálkozása akadozni kezd, eltöprelnek, elnyomorodnak, végül minden látható külső ok nélkül elhalnak. Mások hasonló eredményre jutottak. Calkins ezt az elnyomorodást depressziós állapotnak nevezte el. Szerencsére a biológus nem elégszik meg szavakkal, a depresszióba sem nyugodtak bele a kutatók, hanem okát, magyarázatát keresték. Végül Woodruff, amerikai kutató leleplezte, hogy a depressziós állapotot a tenyészet vizének fokozatosan nagyobbodó szennyeződése okozza.

Az ázalékállatkák természetesen épúgy választanak ki anyagcsere-hulladékot, mint minden szervezet, ez idő folyamán felgyülemlik a tenyészet vizében vagy a táptalajban, végül valósággal megmérgezi a szervezeteket. Woodruff éppen ezért időről-időre friss tápoldatba helyezte át tenyészeteit és sikerült elérnie, hogy Weismann tételét a támadókkal szemben igazolhatta. Kísérletével világhírűvé vált egysejtűje egy papucsállatka, a *Paramecium caudatum* volt, amelyet egy akváriumból halászott ki és amelynek éveken át 8000 nemzedékét tenyésztette és figyelte. A kellő időközökben friss tápoldatba áthelyezett papucsállatka semmi nyomát sem mutatta degenerációnak vagy depressziós állapotnak, szabályos időközökben újra és újra osztódott. Woodruff kísérleteit Hartmann egy ostoros moszattal, *Belar* a napállatkával ismételte meg, előbbi 6000 nemzedék, utóbbi 10 évi tenyészet után sem mutatta nyomát depressziós állapotnak.

E kísérletek eredményei alapján kétségtelen, hogy az egysejtűek kedvező körülmények közt sejtoszlással korlátlanul hosszú ideig hullaképződés nélkül szaporodhatnak, tehát Weismann tétele értelmében feltételesen halhatatlanok. Csak az a kérdés, vajjon helyes-e ezt a jelenséget halhatatlanságnak nevezni. Sokan kétségbe vonják ezt. Közönségesen u. i. a halhatatlanság fogalma elválaszthatatlan az egyedtől, halhatatlanság csak egyedi halhatatlanság lehet. Márpedig mikor az egysejtű ketté oszlik, az anyasejt egyedisége véget ér akkor is, ha teste nem pusztul el hullává, hanem egész szerves anyagtömege átjut a két fióksejtbe, amelyekben közvetlenül tovább él.

Weismann korában annyira az érdeklődés előterében állott a származástan, annyira eltöprelt az egyed jelentősége, hogy elfogadhatónak látszott a halhatatlanságot hulla nélkül szaporodó nemzedéksorok kapcsolatában keresni és megtalálni. Korunkban azonban más szempontok uralkodnak a biológiában, érthető tehát, hogy egyesek kifogásolják az elnevezést, többek közt Hartmann is. Hartmann nevét azért kell külön is kiemelnünk, mert gondolatát nyomban követte a kísérlet, amely hivatva volt eldönteni, lehet-e feltételes halhatatlanságot az egysejtűek körében az egyedre is alkalmazni.

Már előbbi kísérletek azt mutatták, hogy az egysejtűek sejtosztódását el lehet nyomni, pl. egyes moszatokét a tápoldat sűrítésével és ilyen esetben az egyed növekedése túlhaladja a rendes méreteket, óriássejtek keletkeznek. Ezek azonban bizonyos idő múlva többé nem tarthatók életben, elhalnak. Hartmann ebből azt a következtetést vonta le, hogy az egysejtűek is öregednek, mikor testnagyságuk növekedik és bizonyos értelemben telítődnek az anyagcsere salakjaival, mint a tenyészet tápoldatai. Ezen a helyzeten segít a sejt kettéoszlása.

Kísérleti állata az egyszerűségénél fogva a múlt században világhíressé lett amöba volt, amely a tudományban az *Amoeba proteus* nevet viseli folyton változó alakú csupasz protoplazmateste alapján. Ez a protista állat kedvező körülmények közt a tenyészetben minden másodnap ketté oszlik.

Oszlás után a fiatal fióksejtek kicsinyek, majd óráról-óra mindaddig növekednek, amíg el nem érik a kritikus nagyságot és vele azt a kort, amikor ketté oszlanak. Hartmann más módon gátolta meg az amóbát a szaporodásban, mint fentebb ismertettük. Annyit vágott le bizonyos időközökben az amóba testéből, amennyire becsülhető a közben elért testgyarapodás. A mikrotechnika újabb haladása lehetővé tette ezeket a rendkívül finom amputációkat. Az így amputált amóbák nem oszlottak ketté hosszú idő múlva sem. Pl. október 14-től február 21-ig tartó kísérletben, amikor az ellenőrző tenyészetek amóbái a 130 nap alatt 65-ször osztódtak, az amputált amóbák változatlanul megtartották egyediségüket és testnagyságukat és 65-szörös kort értek el.

Hartmann ezzel bebizonyította, hogy az egysejtűek nemcsak Weismann tétele értelmében tekintendők feltételesen halhatatlannak, nemcsak sejtosztódással szaporodó nemzedéksoraik feltételes halhatatlanságúak, hanem egyedeik is. Ez az egyedi feltételes halhatatlanság azonban másként értelmezendő, mint amiben Weismann kereste a halhatatlanság kritériumát, t. i. a hulla hiányában. Az amóbáról leamputált plazmadarabkák természetesen elpusztultak, hullává lettek. A halhatatlanság tehát nem okvetlenül jár hullatlansággal.

Weismann és Hartmann tételei és az ismertett kísérletek határozottan mutatják, hogy van bizonyos testi halhatatlanság a földi élőlények körében, az egysejtűek, a legegyszerűbb élőlények, a sejtosztódásuk révén is elérhetik a halhatatlanságot, testnagyságuk vagyis növekedésük korlátozása révén is. Hogy a testnagyság korlátozása nem okvetlenül csak amputációval végezhető, később kísérletek igazolták, amelyek az amóba etetésének korlátozásával érték el a célt. Bár mind a nemzedéksorok feltételes halhatatlansága, mind az egyed feltételes halhatatlansága csak tudományos műhelyben, kedvező tenyészetben érhető el, mégis alapvető jelentőségű a biológiában, amint az alábbiakból nyomban kiderül.

Megismervén ezekben az egysejtűek feltételes halhatatlanságát, felmerül az a kérdés, vajjon nyomozható-e ez a probléma tovább a többsejtűek és soksejtűek, vagyis a közönségesen ismert növények, állatok és az emberiség körében? A soksejtűek sejtjei két csoportba választhatók szét, a szaporodás szolgálatában álló csírasejtekre és az egyed életjelenségeinek szolgálatában álló testsejtekre, amelyek összessége a test, tudományos nevén szórna. Az egysejtűek egyetlen sejtje végeredményben egyszerre csírasejt és szórna, a soksejtűekben a kétféle sejtcsoport élesen különbözik egymástól. Problémánk tekintetében azzal, hogy a csírasejtek épügy feltételesen halhatatlanok, mint az egysejtűek, *vi* gysis egész testtömegük beleolvad a következő sejt-nemzedékbe, ellenben a testsejtek idővel elvesztik osztódó képességüket, és végül elhalnak, a szórna mindenestől hullává lesz.

Weismann ebbe úgy illesztette be a feltételes halhatatlanság tételét, hogy szembeszállt azzal a közkeletű felfogással, amely szerint a csírasejtek a halandó szórna termékei és a csírasejtek folytonosságának tételét szegezte vele szembe. Szerinte az egysejtűek módjára halhatatlan csírasejtek mindig közvetlenül az előbbi nemzedék csírasejtjeitől származnak bizonyos közbeiktatott sejtek közvetítésével, amelyek összességét csírapályának nevezte el.

A soksejtű élőlény tehát mindjárt egyénfejlődése kezdetén kétféle összetevőre oszlik, a csírapályára és a testre. Ezen az alapon úgy kell felfognunk a soksejtűek nemzedéksorait, hogy a csírapályák közvetlenül kapcsolódó folyama vagy törzse a halhatatlan élet, az egyed ennek kis és korlátozott, halandó hajtása.

A csírasejtek feltételes halhatatlanságának és folytonosságának tétele eleinte épügy ellenzőkre talált, mint az egysejtűek feltételes halhatatlansá-

gának tana. De a pontosabb vizsgálatok épúgy megerősítették helyességét, mint láttuk az egysejtűek feltételes halhatatlanságának esetében. A csírapálya nemcsak elméleti megkülönböztetés maradt, hanem a fejlődéstani és sejttani vizsgálatok hamarosan lehetővé tették felismerését és szakszerű elkülönítését. Az állatokban könnyebb felismerni a csírapályát, sőt néha már a megtermékenyített pete első osztódása után az egyik sejt a csírapálya kezdetének, a másik a leendő szórna kezdetének tekintendő. A növények körében többnyire nehezebb a csírapálya felismerése, mert a növényi testben többnyire mindig vannak osztódó sejtek, de azért a növények körében is megkülönböztethető a csírapálya a szomatikus sejtektől.

Ezzel azonban még nem mérítettük ki a halhatatlanság problémáját a soksejtű szervezetek körében. Weismann alapvető tételének felállítását követően is tovább fejlődött ez a kutatási irány. Az újabb vizsgálatok eredményeit abban foglalhatjuk össze, hogy az az éles ellentét, amelyet Weismann éppen a halhatatlanság alapján emelt egysejtűek és soksejtűek közt, több tekintetben áthidalható lett, de tegyük mindjárt hozzá, nem ellentétben Weismann tétéleivel, hanem éppen ezek szellemében.

Kevésbé fontos, sőt Hartmann amóba-kísérlete óta inkább csak másodrendű a jelentősége, hogy ma már a hullaképződést nem tartjuk a soksejtűekre korlátozható jelenségre, hanem tudjuk, hogy egyes egysejtűek testrészei is hullává változhatnak mindenféle erőszak nélkül, a természetes sejtosztódás folyamán, vagy más változás közben. A pusztán ivartalanul és főként sejtosztódással szaporodó baktériumok és kékoszatok legeszményibb képviselői a halhatatlan egysejtűeknek, mégis a baktériumok ú. n. belsőspóráinak képződésekor a sejt külső része hullává lesz. Más egysejtűek szaporodásában még gyakoribb a szerves hulladék képződése, ezért Hertwig joggal állította, hogy a fiziológiai halál már az egysejtűek körében megjelenik, mielőtt részlet-halál. Az egysejtűek közt is vannak tehát olyan szervezetek, amelyek plazma-részei szórának tekintendők, mert fiziológiailag halandók. Ma határozottan a halál, vagyis a szórna törzsfejlődéséről beszélhetünk, azt mondhatjuk, hogy a fiziológiai halál bizonyos kezdetleges módon mutatkozik az egysejtűek körében és éppen úgy fejlődik a soksejtűek körében, mint minden más életjelenség, amint ezt alább még bővebben megismerjük.

Emberileg mindenesetre érdekesebb, hogy a soksejtűek feltételes halhatatlansága valamivel előnyösebb megvilágításba került az újabb kutatások segítségével. Mind az egyedek, mind a sejtnemzedéksorok halhatatlansága elérhető bizonyos tekintetben a soksejtűek körében a csírapályán kívül is.

Lássuk előbb az egyedek feltételes halhatatlanságát. Hartmann amóba-kísérlete után sokmagvú ázalékállatkával, egy sztentorral és egy soksejtű örvényféreggel eredményesen ismételte meg amputációs életmeghosszabbításait. E vizsgálatok alapján az a vélemény alakult ki, hogy a feltételes halhatatlanság titka az anyagcsere egyensúlya, vagyis az asszimiláció és a disszimiláció olyan egyenlege, amely a növekedést lehetetlenné teszi. A táplálék pontos szabályozásával Goetsch elérte, hogy pl. a zöld édesvízi hidra nem szaporodhatott bimbózással, aminek következtében a rendesnél sokkal hosszabb ideig életben maradt. E kísérletek eredményei világosan mutatják, hogy a szómasejtek halandósága is viszonylagos és bennük is van valami nyoma a feltételes halhatatlanságnak.

Még sikeresebb eredménnyel végződtek a szövettanyésztési kísérletek. A múlt század folyamán többen próbálkoztak azzal a feladattal, hogy a soksejtű állatok szómasejtjeit, kis szövetdarabkáit valamiképpen a szervezetten kívül épúgy életben tartásuk, mint az egysejtűek tenyésztését, pl. a baktérium-tenyészteteket. A feladatot végül Carrel oldotta meg 1912-ben. Tudományo-

san ezeket a szövettényészeteket explantációnak nevezzük. Az explantált sejtsoportot, szövettarabkát vérplazmába helyezük, amely egyrészt táplálékot nyújt a sejteknek, másrészt megalvadó fibrinje támasztékul szolgál olyan sejteknek, amelyek a szövettényészetben támasztékra szorulnak. A vérplazmában bizonyos ideig élnek az explantált állati sejtsoportok, némi növekedést is elérnek, de idővel elpusztulnak. Ahhoz, hogy fennmaradjanak és sejtenként osztódjanak, még két feltétel teljesítése szükséges, a sejtzapordást intéző hatóanyagokat tartalmazó embriónedvre van szükségük és időközönként kivágandók a régi tápközegből és friss közegbe helyezendők, aminek a sebzési indukció tekintetében is jelentősége van.

Ilyenmódon tenyésztett szövettarabkák sejtjei visszakapják osztódóképességüket, amelyet a szervezetben már elvesztettek és korlátlanul életben tarthatók, vagyis épúgy feltételeesen halhatatlanok, mint az egysejtűek. Carrel azt írja: „A legegyszerűbb mód, hogy a szövetek halálát megakadályozzuk, kivenni őket a testből, kis részekre vagy töredékekre szétvágni és megfelelő közegbe ágyazni.“ A halhatatlanság tehát nem költözik el véglegesen a testsejtekből sem, bennük lappang a halálig. Sőt még az egyed halála után is kis ideig, mert még friss emberi hullákból explantált szövettarabkák is eredményesen tovább tenyészthetők. Azok után, hogy az állati és emberi test sejtjeinek feltételes halhatatlanságát sikerült kimutatni, legkevésbé sem lephet meg, hogy hasonló eredménnyel növényi szövet- és sejttenyészeteket is sikerült létrehozni.

Ezzel tulajdonképpen befejezettnek látszik feladatunk, a halhatatlanság biológiai értelmezését bemutattuk. Ámde mégsem válhatunk meg addig ettől a témától, amíg végül meg nem felelünk arra a kérdésre, amelyet a biológiai halhatatlanság ismerete okvetlenül kelt mindnyájunkban: miképpen került a biológiailag halhatatlan sejtekből álló szervezetbe a fiziológiai halál? Másszóval: hogy fér össze egymással a halhatatlanság biológiája a halál biológiájával?

Weismann a maga korának spekulációs természetfilozófiájából merítette a feleletet erre a kérdésre. Az életkorról szóló munkájában ezt írja: „Nem hiszem, hogy az élettartam azért korlátozódott bizonyos mértékre, mert természetere szerint nem lehetne korlátlan, hanem mert az egyén korlátlan élettartama céltalan fényűzés lenne.“ Korunkban ilyen elmékedések üresnek tetszenek a biológiában. A feleletet a szövettényésztési eredmények alapján másfelé keressük. A szövettényészetben a soksejtű szervezet szerveinek munkafelosztása szerint alkalmazkodott, differenciálódott sejtek bizonyos mértékig elvesztik differenciáltságukat, kezdetlegesebb állapotba térnek vissza, amelyhez tartozik, hogy visszakapják osztódási képességüket. Ebből azt kell következtetnünk, hogy a szervezetben idővel azért mennek tönkre, a szervezet azért hal el, mert a szomatikus sejtek elvesztik osztódási képességüket és egyoldalúlag alkalmazkodnak a szövetekben és szervekben a különleges feladatokhoz.

A fiziológiai sejtihalál ezek szerint közvetlenül az okozza, hogy az egyoldalúlag alkalmazkodott sejtben felülkerekedik a disszimiláció, ennek következtében bomlástermékek halmozódnak fel benne, amelyek idővel megbénítják, végül megsemmisítik. E felfogás alapjait találták meg az előregedett agysejtek ú. n. öregségi pigmentjében, a levelek szövettsejtjeiben kimutatott, meszekrétnak nevezett olajcseppekben stb. Közismert, hogy a korral a szervetlen anyagok mennyisége mind nagyobb és nagyobb, nemcsak a csontok meszesednek el, hanem az előregedett növénylevelek is. Ezzel kapcsolatban a sejtek száma is megcsökken a szervekben. Pl. egy 17 éves agg kutya kisagyának kérgében körülbelül harmadát találták a rendes sejtszámnak.

E kérdés vizsgálatában alapvető jelentőségűek a szervtenyészetek. Tudjuk, hogy a különböző állatok különböző szervei a szervezetből elkülönítve nagyon különböző ideig életképesek, pl. a békaszív sokkal tovább él, mint a melegvérű állatok szíve. Egyes gépi szerkezetekkel sikerült a továbbélésre szánt szerv oxigén-, tápanyag- és hatóanyagszükségletét biztosítani és ilyen módon elérni, hogy aránylag kényes állati szervek is bizonyos ideig eléljenek. Ugyanezt elérték növényi szervekkel is, pl. levágott gyökércsúcsokkal stb. Az eredményekből a növényi szövet- és szervtenyésztés megalapítójának, Whitének egy kísérletét emeljük ki. White a szövettenyésztésben megállapított feltételes sejthalhatatlanság alapján foglalkozni kezdett a gyökér növekedésének kérdésével abban a tekintetben, vajjon ez a szervtenyésztésben korlátolt vagy korlátlan. Erre a célra paradicsomgyökércsúcsokat kezdett tenyészteni, amelyek hosszú gyökérré növekedtek, majd e gyökerekről levágta a csúcsokat, amelyek újra gyökérré növekedtek és végül kiderült, hogy a paradicsom gyökércsúcsa feltételesen halhatatlannak tekintendő, mert növekedése a tenyésztésben korlátlan. White kísérlete után az várt eldöntésre, vajjon általánosítható-e ez a tétel. Kiderült, hogy nem. Pl. a kukorica gyökércsúcsa nem halhatatlan, a kukoricagyökércsúcsok néhány menet után befejezik növekedésüket.

Nyilvánvaló mindezek alapján, hogy a halál biológiai problémája sokkal bonyolultabb és sokkal mélyebben székel a szervezetben, hogysen azok a tünetek megmagyaráznák, amelyekről fentebb megemlékeztünk. Csak legújában a halálos fajták felfedezésével jutottunk el oda, hogy megtudjuk, milyen mélyen székel a szervezetben a halál, hogy mit jelent igazi biológiai értelmében a sejtosztódás korlátozása a szomatikus testben, a sejtek korlátozása a soksejtű szervezetben.

Halálos fajtáknak azokat nevezzük, amelyek öröklési szerelvényükben, génállományokban magukkal hozzák az elkerülhetetlen korai halált. Morgan muslicatenyészeteiben 1912-ben Rawls Elizabeth három olyan mutációt állapított meg, amelyek nőtényeitől származó utódok közt mindig éppen feleannyi volt a hímek száma, mint amennyinek lennie kellett volna. Ebből Morgan azt következtette, hogy e mutációk valamely végzetes tulajdonságot kaptak, amely az utódok egy részének kifejlődését megakadályozza. A muslicakísérletekben bemutatkozott a halál a maga biológiai alapjaiban. A halálos mutáció természetesen nem lehet más, mint halálos, ahogy tudományosan nevezzük, letális gén. A gén vagy génállomány olyan megváltozása, amely megakadályozza az egyed kifejlődését, mielőtt még megkezdhetné önálló életét.

A halálos fajták tanulmányozása kiderítette, hogy egyes halálos gének még az embrionális fejlődés közben kifejtik hatásukat, aminek az az eredménye, hogy az egyed bizonyos fejlődési fokon elpusztul. Más halálos gének csak a már önálló életét megkezdett fiatal szervezet pusztulását okozzák, ezeket szubletálisaknak nevezzük. Végül vannak olyan gének is, amelyek nem okoznak halált, hanem csak kisebb vagy nagyobb gátlásokat, rendellenességeket, amelyeket tudományosan anormogenezeknek nevezünk. A halálos gén néha egymagában kifejtheti hatását, máskor csak a párban egyesülő letális génkombináció halálos, ha azonban a génpárban az egyik ellenlábás gén vitális, a dominancia dönti el, érvényesül-e és milyen mértékben a halálos gén hatása.

A halálos fajtákhoz tartozik pl. a Cuénot-féle sárga egér, amelynek domináns helyzetbe kerülő halálos génje már blasztula korában az anyaméhben elpusztítja az egérmagzatot. Igen érdekesek a farkatlan vagy helyesebben csonkafarkú állatok, pl. egér, macska, kutya stb. Ezekről sokáig azt hitték, hogy e tulajdonságukat a folytonos visszavágás következtében szerez-

ték. Kiderült azonban, hogy letális gén akadályozza meg a test hátsó felének kifejlődését. Ha az utód mindkét szülőtől e letális gént örökli, fejlődés közben elpusztul, ha azonban csak egy szülőtől örökli ezt a gént, akkor farkatlan vagy csonkafarkú lesz. A muslica mutációi közt harminc hordoz magában halálos gént, amelyek mindegyike halált okoz, ha párosával kerül össze. Növényekben szubletális génre vezethető vissza az öröklődő sárgaság, amely a növény elnyomódását, majd pusztulását okozza, ami egyszersmind arra is példa, hogy miképpen kell értelmezni a letális gén hatását. A halálos fajták és gének tanulmányozására kiválóan alkalmasak a keresztezések és a szöveti transzplantációk.

A halálos fajták és gének ismerete vezet el a halál általános és helyes biológiai értelmezéséhez. A korán elhaló halálos fajták nem kivétel, hanem csak szélsőséges eset, amelytől közvetlen kapcsolat vezet a rendes élet korlátaihoz. Miként a halálos fajták korai halála fajtatulajdonság, azonképpen a fajra jellemző életkorok és halálok faji tulajdonságok.

Abban a tekintetben, hogy a szervezetekben a halál miképpen szab korlátot a halhatatlanságnak, három módot különböztethetünk meg. Legfeltűnőbb és leginkább katasztrofális az egyszerűtermő növények és a nász után vagy peterakás után nyomban elpusztuló állatok halála. A búza magot érlel és elhal, az agáve hazájában 10 évig, nálunk évtizedekig zöldéi, azután virágozik, termést érlel és elhal. Mintha egyenesen a termésérlelés okozná halálát. Az állatok közt a kérészek rejtett előkészítő élet után rajzanak és néhány óráig tartó nász után tömegesen hullanak el. Hogy e szervezetek kifejlett alakjai milyen mértékben hordozzák magukban a halált, arra legérdekesebb példák egyes kerekférgek és növénytetvek, amelyek kifejlett alakjai szervezetüknél fogva nem vehetnek fel táplálékot.

Más szervezetek többször virágoznak vagy szaporodnak, ezek idővel előregednek és fokozatosan hálnak el. A halhatatlanságot ezekben fokozatosan győzi le a halál. Az állatokban is a végső percekig lappang a sejthalhatatlanság, sőt egyesek testében osztódásra képes sejtekből álló képződményeket találunk. Az élő növények és a fát pedig tenyészkúpjaikban egész életük folyamán olyan sejteket őriznek, amelyekből évről-évre új hajtásokat hoznak létre. Ezen alapszik, hogy egyes fajok szerencsés példányai mérhetetlen, többszáz, sőt több ezer éves kort érnek. Nyilvánvaló, hogy a fák és élő növények a sejtnevezédek ősi feltételes halhatatlanságát őrzik testükben és érthető, hogy időről-időre újra megvitatjuk a növénytanban azt a kérdést, vajjon a fák halhatatlanok-e. Talán helyesebb e kérdést úgy feltenni, vajjon vannak-e halhatatlan fák, mert sok fafaj aránylag rövidéletű, viszont a több ezer évet megért fák átlagos életkora teljesen ismeretlen. S ha a paradicsom gyökércsúcsa tenyészetben halhatatlan, egyes fák is lehetnek halhatatlanok. E fák halhatatlanságáról azonban aligha mondhatunk valaha is végleges ítéletet, mert az emberi élet rövid hozzá.

Mindenesetre a halhatatlanság az élet alapja, amelyet a halál így vagy úgy korlátozhat, de mai biológiai ismereteink szerint kétségtelen, hogy minden élőlényben benne lakozik és nem elképzelhetetlenek többé olyan soksejtű szervezetek sem, amelyekben uralkodik a halálon.