

Hogyan viszonyulunk az újgenerációs genomszerkesztéshez

Varga Máté

ELTE TTK Genetikai Tanszék
mvarga@ttk.elte.hu



Kevés technológia jutott olyan rohamos gyorsasággal az alapkutatótól a nagyon is alkalmazottig, mint az újgenerációs genomszerkesztés. Ma már alig találunk olyan területét a biológiának, amit ne forradalmasított volna ez az új metodológia. Az új lehetőségek azonban új etikai kérdéseket is felvetettek, így az a sajátos helyzet állt elő, hogy a biotechnológia, az orvosbiológia sőt, a konzervációbiológia is egyszerre küzd a genomszerkesztés térnyerésével felmerülő kérdésekkel.

Az európai közvélemény (így a hazai is) a biotechnológia korábbi forradalma, a rekombináns DNS megjelenése után elérhetővé váló metodológiákkal szemben mindmáig gyanakvó, szkeptikus maradt, de hogy miképpen viszonyul az újgenerációs, célzott genomszerkesztéshez tulajdonképpen még nem ismert. Épp ezért a nyár folyamán egy részletes internetes felmérést végeztünk a CriticalBiomass blogban (1), amelynek eredményeit foglalnám össze röviden itt (2).

A kérdőívre közel 1900 válasz jött össze, amiből bár nyilván ez csak online felmérés, a maga sokfajta hátrányával - valamennyire azért ki lehet már érdekes trendeket olvasni. Főleg mivel az egyelőre referenciaként használható, tavaly tavasszal a *Cell Stem Cell* hasábjain közölt "Twitter-es" nemzetközi" felmérés (3), illetve a Pew Research nyáron ki-jött, témában részben idevágó, amerikai anyaga (4) sem annak semmivel sem részletesebb és alaposabb képet.

Az eredmények rövid összefoglalója:

- a genomszerkesztés megítélése itthon nagyjából a nemzetközi trendeket követi;
- a megítélés leginkább az életkor és az iskolázottság függvényében változik;
- az, hogy kinek milyen valódi ismeretei vannak a biotechnológiáról nagyban befolyásolja az új technológia megítélését;
- általánosságban is elmondható, hogy az emberek jobban megbíznak a genomszerkesztésben, mint a klasszikus génmódosításban;
- egy abszolút többség támogatja a genomszerkesztés alkalmazását a biotechnológiában és a gyógyászatban (ha az nem jár idegen gének bevitelével);
- de az esztétikai célú beavatkozásokat kifejezetten ellenzi a közvélemény;
- az ún. "gene-drive"-ok betegségeket terjesztő fajok esetében inkább támogatottak, ökológiailag invazív élőlények és gazdasági kártevők esetében pedig nem.

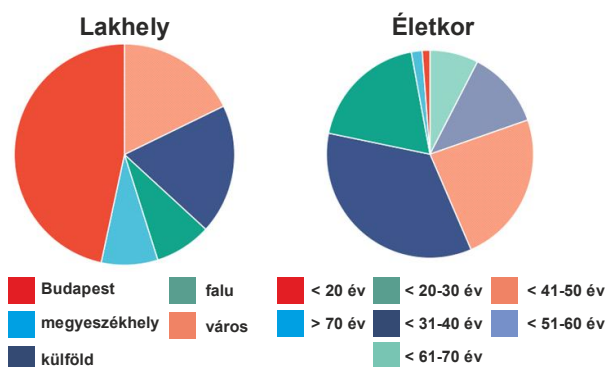
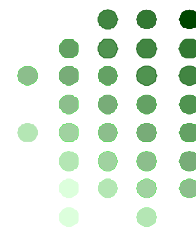
Rögtön az elején érdemes pár demográfiai adattal kezdeni, ami egy fontos rész, ha esetleg arra próbálna valaki általánosítani, hogy országosan mennyire reprezentatív a felmérés. Nem igazán az, ezt biztosra mondhatjuk: a kitöltők többsége fővárosi, egyetemi végzettségű, középkorú férfi, vagyis az adatokat részben ennek a függvényében kell értelmezni (1. ábra). Mivel a kitöltők között mindössze 11-en jelöltek be általános iskolás végzettséget, az egyszerűség kedvéért ezeket együtt kezeltem a "középkorú végzettség" adatokkal, vagyis ezek a továbbiakban "középkorú végzettség vagy kevesebb"-ként értelmezendők.

1. http://criticalbiomass.blog.hu/2016/07/12/es_ti_mit_gondoltok_a_genomszerkesztesrol

2. A kérdőív adatsora 2016. július 29-én lett lezárva. A csv fájl a nyers adatokkal letölthető a <http://tinyurl.com/jct8wr8> címről.

3. McCaughey T, Sanfilippo PG, Gooden GE, Budden DM, Fan L, *et al.* (2016) A Global Social Media Survey of Attitudes to Human Genome Editing. *Cell Stem Cell* 18(5): 569-572.

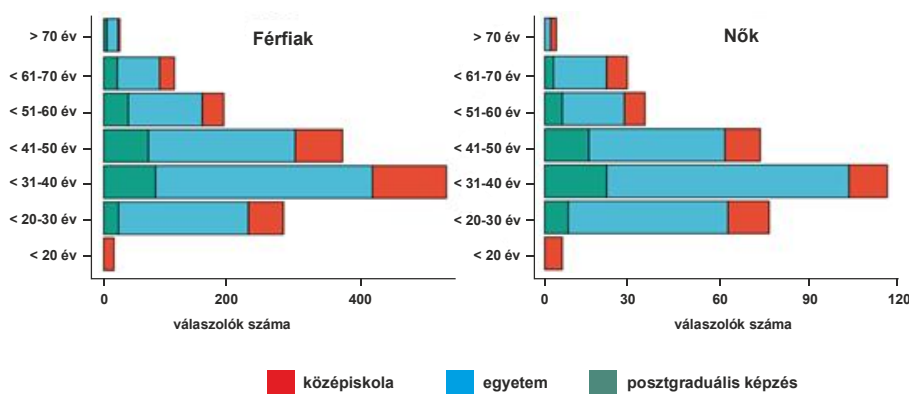
4. <http://www.pewinternet.org/2016/07/26/u-s-public-opinion-on-the-future-use-of-gene-editing>



1. ábra: A felmérés kitöltőinek demográfiai elemzése. A kitöltők többsége fővárosi (46,6%) vagy megyeszékhelyen (19%), illetve kisebb városban lakó (17,8%). A maradék kb. fele-fele arányban falusi vagy külföldön él. A kitöltők több mint fele (kb. 59%) a 31-50 éves kategóriába esik. A 20-30 év közötti, illetve az 51 feletti korosztály kb. 19-19%-al képviseltette magát.

Nagyon feltűnő, hogy sokkal kevesebb nő töltötte ki a kérdőívet (mindössze 18,3%-a az összes kitöltőnek nő), ugyan-

akkor alapvetően az ő koreloszlásuk és végzettségük megegyező a férfiakéval (2. ábra).



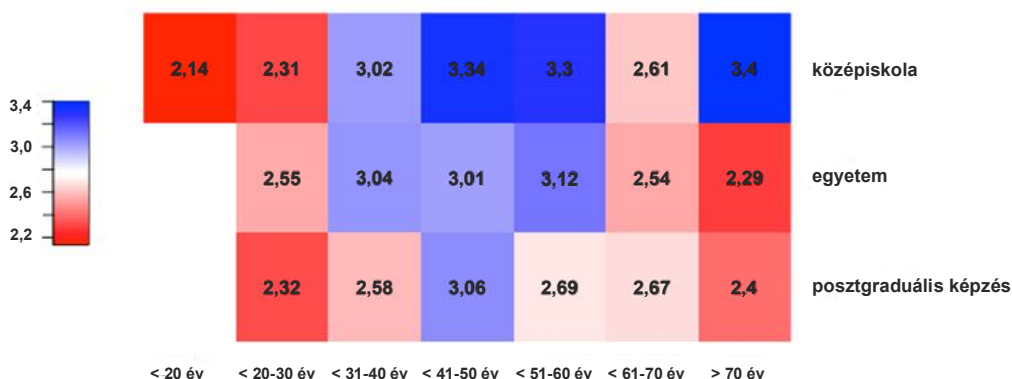
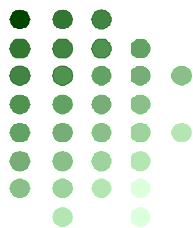
2. ábra: A felmérést kitöltők eloszlása kor és végzettség szerint.

Az összkép, amit kaptunk összességében eléggé egybecseng a korábban már említett nemzetközi elemzésekkel, azért mindenképpen informatívnak tűnik, amit kaptunk, ráadásul minden amatőrsége ellenére ez egyelőre talán a leg-részletesebb hazai elemzés, így érdemes egy kicsit elmerülni a részletekben. (A továbbiakban a Kx rövidítés a kérdőív x. számú kérdésére vonatkozik.)

Ha pusztán az önbevallást nézzük, nem nagyon lehető összefüggés aközött, hogy valaki mennyire tartja magát jártasnak a biotechnológiában (K1), és mennyire azonosul "a természetes mindig jobb" elvvel (K2). Mind az utóbbi elfogadói, mind elutasítói közepesen érzik magukat kompetensnek; egyébként a többség nem gondolja, hogy a termé-

szetesebb jobb. De mivel a biotechnológiában való jártasságot néhány későbbi indirekt kérdéssel is megpróbáltuk ellenőrizni, lehetőség nyílt arra, hogy egy kicsit az önbevalláson túl is vizsgálhassuk a háttérismeretek szerepét.

Összességében, annak a megítélésében, hogy a **biotechnológiával előállított élőlények veszélyesebbek** (K2), mint a klasszikus nemesítéssel előállítottak, a kor és a végzettség bizonyult a két legfőbb prediktornak (a végzettség volt az erősebb): minél magasabb végzettséggel rendelkezett valaki, illetve minél fiatalabb, annál inkább elutasítja a biotechnológia inherens veszélyességének gondolatát. (3. ábra).

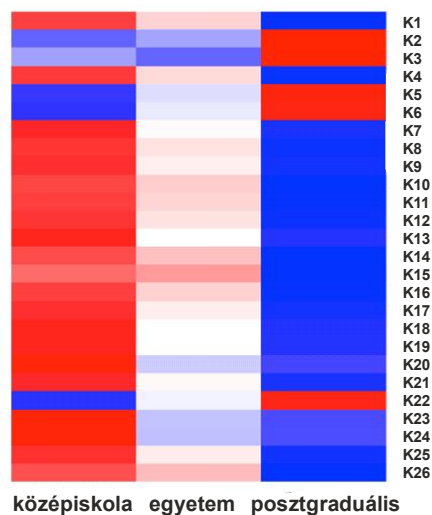


3. ábra: A biotechnológia elutasítottsága a kor és végzettség függvényében. A hőtésképen az egyes mezőkben az adott csoport K2 kérdésre adott válaszáinak átlagértéke látható. (Megj.: az 1-5 skálán [1 = teljesen elutasít - 5 = teljesen elfogad] adott válaszokat az alábbi hőtésképen láthatjuk, ahol a piros az elutasítást, a kék pedig az állítás elfogadását jelöli.)

Ez a korreláció egyébként a többi kérdésnél is fennállt: az alábbi, összefoglaló ábrán, hogy ezt jobban érzékeltessék, a "hőtésképen" színértékeit az egyes sorok relatív értékei adják, vagyis minden sorban a kék a nagyobb, a piros pedig a kisebb értéket jelöli. Jól megfigyelhető, hogy a posztgraduális képzéssel rendelkezők az esetek túlnyomó többségében támogatóbbak a biotechnológia alkalmazásá-

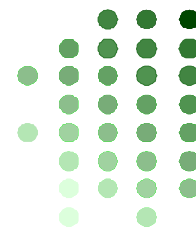
val, mint a középiskolai végzettséggel rendelkezők, az egyetemi végzettség pedig egy köztes értéket ad. Az egyetlen - nagyon érdekes - kivétel a humán genomszerkesztés nem gyógyászati célú használata, ahol ugyan mindenki inkább elutasító álláspontot képvisel, de minél magasabb a végzettség, annál erősebb az elutasítás (4. ábra).

4. ábra: A kérdőív kérdéseire adott válasz a végzettség függvényében. Az egyes kérdésekre adott válaszokat egyenként (soronként) elemeztük, ahol a piros mindig az adott kérdésre adott elutasítóbb, a kék pedig az elfogadóbb választ jelöli, a világos kék, illetve rózsaszín pedig köztes értéket. Az egyes kérdések a cikk végén olvashatóak.



A biotechnológiában való jártasságra való közvetlen rákérdezés mellett belekerült a kérdéssorba három olyan kérdés is, ami kicsit rejtve, de ugyancsak a biotechnológiai ismereteket tesztelte. Az egyik (ez sok kitöltőnek feltűnt), hogy "**Fogyasztana-e (tudatosan) DNS-tartalmú élelmiszert?**", ami az egyik standard beugratós kérdése az ilyen felméréseknek, hiszen természetesen minden növényi és

állati táplálékunk tartalmaz DNS-t, és aki ezt nem tudja, arról nehéz elképzelni, hogy valóban informált véleményt képes alkotni a génmódosítás és génszerkesztés kérdéséről. (Egyébként meglepően sokan, 482-en válaszoltak itt "nem"-et, további 228-an pedig némileg önkritikusabban a "nem tudom"-ra kattintottak.)

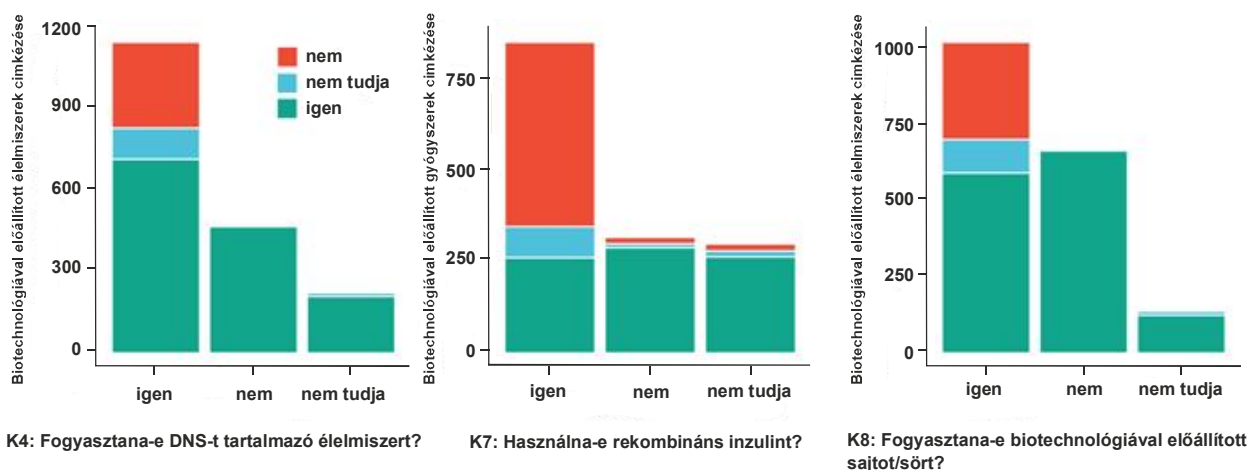


A másik "tesztkérdés" arra vonatkozott, hogy a kitöltő **használna-e genetikailag módosított baktériumok által előállított inzulint**. Ez az ún. "rekombináns inzulin" az egyik legrégebben előállított biotech gyógyszer, tulajdonképpen ma már nem is nagyon lehet mást kapni, ami azért sem rossz, mert a lényegesen drágább alternatíva, ahogy eredetileg előállították ezeket a gyógyszereket, az macacok és tehenek elpusztítását jelentette, hogy hasnyálmirigyükből kitisztíthassák az inzulint. (Itt durván 300-300-an választották a "nem" és "nem tudom" opciókat.)

Hasonló tesztkérdés volt az is, hogy **mennyire idegenkednek az emberek, biotechnológia segítségével előállított sajtoktól** (vagy söröktől). Itt a kérdés tulajdonképpen arra vonatkozott, hogy ki van tisztában azzal,

hogy a legtöbb sajt előállításához használt tejlótoenzim-keverék az jó eséllyel ugyanúgy rekombináns eredetű, mint az előbb említett inzulin (és az alternatíva ez esetben is elég kegyetlen, ui. szopósborjúk gyomrának kivágásával és feltranszírásával jár). (Ezúttal 687 "nem" és 145 "nem tudom" került be az adatsorba.)

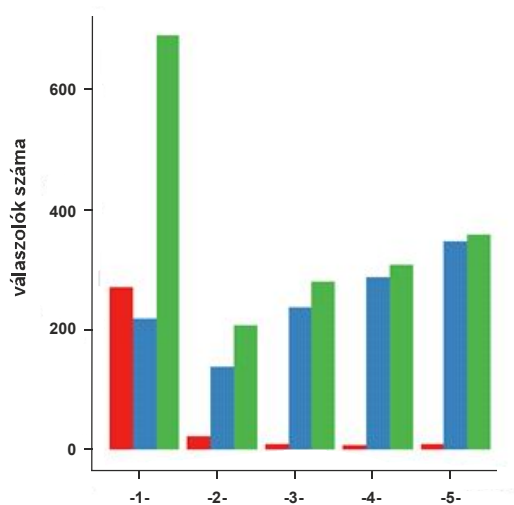
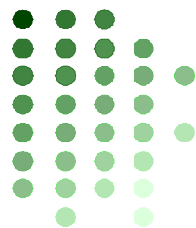
Az már talán nem is meglepő ezek után, hogy van összefüggés a között, hogy valaki mennyire látja veszélyesnek a "táplálékban levő DNS-t" (K4), a rekombináns eredetű enzimekkel készülő sajtot (K8) és a rekombináns inzulint (K7), és mennyire tartja fontosnak, hogy az egyes ételek/gyógyszerek biotechnológiai eredetét feltüntessék a csomagoláson (K3 és K5) (5. ábra).



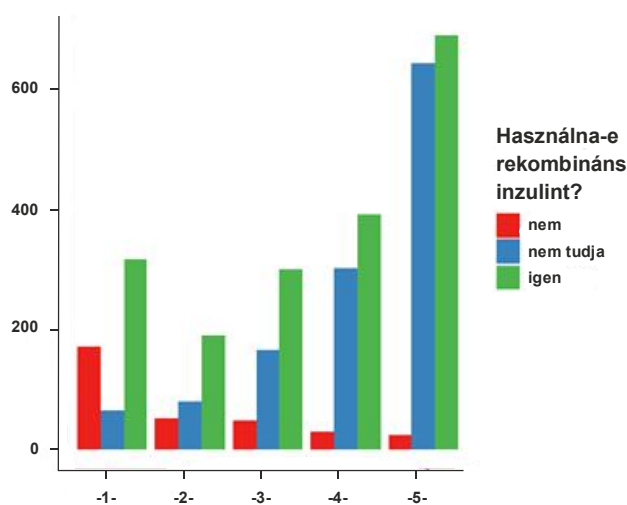
5. ábra: A biotechnológiával előállított termékek címkézésének szükségessége a biotechnológiai alapismeretek függvényében. (Megj.: a színek az Y-tengelyen olvasható, címkézéses kérdésre adott válaszokat jelölik, az alsó ábrafelirat szerinti eloszlásban.)

Mindezek fényében különösen érdekes kérdésnek tűnt, hogy ha elválasztjuk a kevésbé megbízható biotechnológiai ismeretekkel rendelkezőket, azoktól akik valamennyi ismerettel mégis rendelkeznek, vajon hogyan alakul a két leggyakrabban előkerülő kérdés megítélése. Vagyis **hogyan viszonyul az egyik, illetve a másik csoport a "klasszikus" génmódosításhoz (GMO) (K14), illetve az újgenerációs genomszerkesztéshez (K9) (6. ábra)**. (Megj.: végül a második "tesztkérdés" szerint rendeztem a válaszokat, így az alábbi ábrán zölddel láthatók, akik elutasítják a rekombináns inzulin használatát, pirossal, akik nem, sárgával pedig az összes válaszoló - ennek az összevetésnek az erejéig felrettem a tesztkérdésre "nem tudom"-mal válaszoló adatsorát.)

Rögtön kiszűrhető, hogy érdekes (de várható) különbségek adódnak, de ezek mellett vannak közös trendek. A rekombináns inzulint elutasítók teljesen elvetik az idegen gén bevitelén alapuló génmódosítást és egyébként emiatt is a közvélemény összessége is GMO-ellenes, miközben a rekombináns inzulint elfogadók (így a fent megfogalmazottak fényében a biotechnológiában jártasabbak) összességében, ha nem is elsősorban, de inkább támogatják a GMO-k alkalmazását. A genomszerkesztésnél azonban egyértelműbb a dolog: a biotechnológiában járatlanok is kevésbé elutasítók ezzel, a biotechnológiai ismeretekkel rendelkezők pedig kifejezetten támogatják, így egy egyértelmű, abszolút többség támogatja ezt. (Kicsit másképp fogalmazva:



K14: Genomszerkesztés idegen gének bevitelével (GMO)



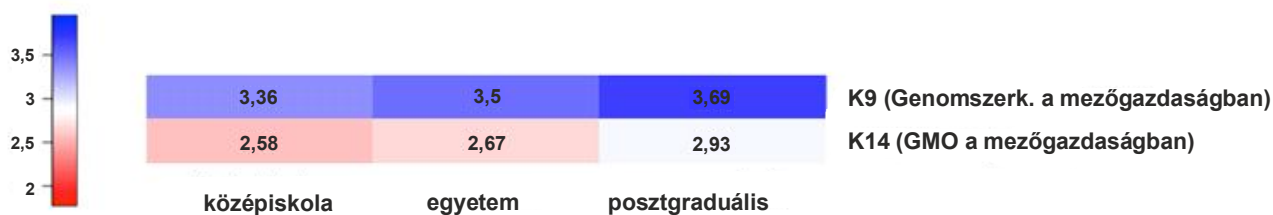
K14: Genomszerkesztés idegen gének bevitelével nélkül

6. ábra: A „klasszikus” génmódosításhoz, illetve az újgenerációs genomszerkesztéshez való hozzáállás a biotechnológiai háttérismeretek függvényében. A két ábra azt mutatja, hogy a megfelelő kérdésekre milyen válaszokat adtak az ötfokozatú skálán (ahol az „5” a magasabb elfogadottságot jelöli) azok, akik nem használnának rekombináns inzulint, illetve azok, akik használnának.

jelenleg a közvélemény nem veszi a GMO-kat és a genomszerkesztéssel létrehozott élőlényeket egy kalap alá, ami jól tükrözi a GMO-definíció körüli dilemmákat (5.)

szességében kevésbé támogatott, mint a genomszerkesztés, és az iskolai tanulmányok ismét elég jól korrelálnak az egyes biotechnológiák megítélésével (7. ábra).

Visszatérve a végzettség szerinti bontásra, itt is jól látható a trend. A GMO-k mezőgazdasági alkalmazása ösz-

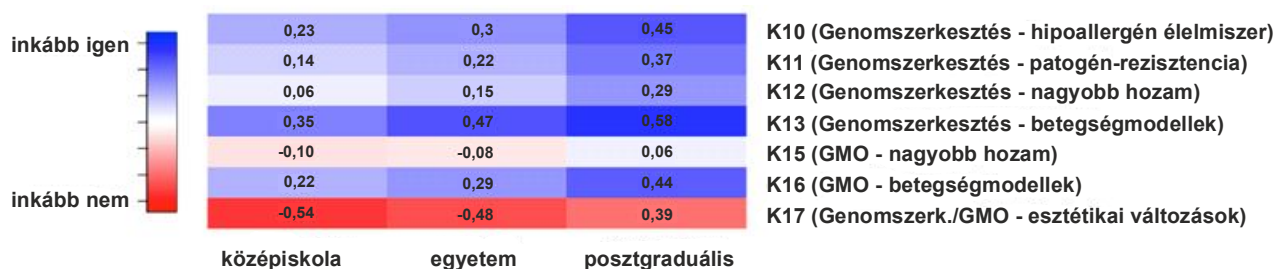
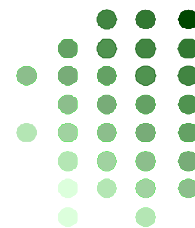


7. ábra: A „klasszikus” génmódosításhoz, illetve az újgenerációs genomszerkesztéshez való hozzáállás a végzettség függvényében. (A válaszok az 1-5 skálán érkeztek, ezek megfelelő csoportokra vonatkozó átlaga látható a hőterkép celláiban.)

Az is jól látható, ha a kapcsolódó kérdésekre (K10-13, illetve K15-17) való válaszokat megnézzük, hogy mind a klasszikus génmódosítás, mind a genomszerkesztés támogatást élvez, ha **állati betegségmodellek** előállításáról van szó. Sőt, utóbbi akkor is többségi támogatást kap, ha **hipoallergén élelmiszerek**, vagy akár **nagyobb hozamú termékek** előállítása a cél. Ugyanez már nem mondható el a

klasszikus génmódosításról, ahol csak a legmagasabb végzettséggel rendelkezők támogatják a hozamnövelő beavatkozásokat, mások inkább elutasítják azt. Ugyanakkor a génmódosítás minden formáját elutasították a kitöltők, ha a **cél növények vagy állatok esztétikai célú megváltoztatása** volt (8. ábra).

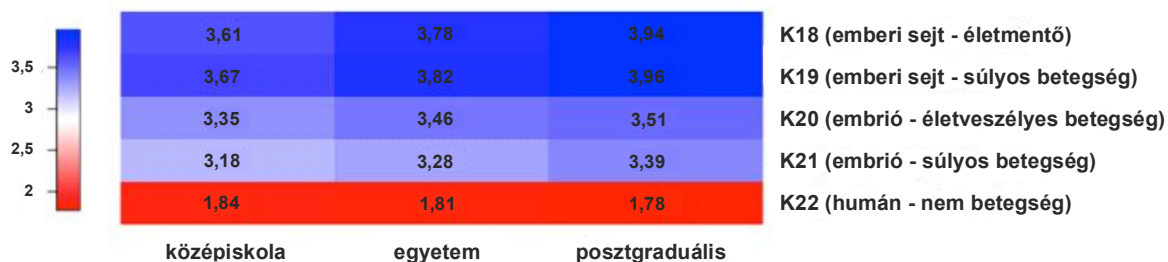
5. Bővebben lásd itt: http://criticalbiomass.blog.hu/2016/02/08/genmodositas-e_a_genszerkesztes



8. ábra: A genomszerkesztés és klasszikus génmódosítás különböző felhasználásainak elfogadottsága. Az értékek a "nem"/"nem tudom"/"igen" skála -1/0/1-re konvertálása után számítottak, a hőtérkép celláiban a megfelelő csoportok átlagértékei láthatók.

A kérdőív következő része a genomszerkesztés humán vonatkozásait vizsgálta (K18-K22), ami nyilván az etikailag talán legfogasabb kérdéseket (6) felvető rész. Itt a többség viszonylag támogató álláspontot foglalt el, akár életmentő, akár életminőséget súlyosan befolyásoló betegség gyógyításáról/kezeléséről volt szó (ami praktikusán születés utáni beavatkozást jelent), akár betegségek megelőzéséről (ami tu-

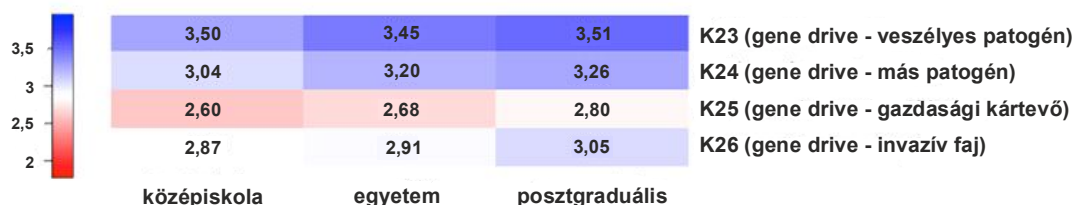
lajdonképpen még az embrionális fejlődés valamelyik szakaszában történő beavatkozással érhető csak el). Ugyanakkor a betegségekhez nem köthető jelek genomszerkesztéssel történő megváltoztatása univerzális elutasításnak örvend, és itt figyelhető meg, ahogy arra már korábban is utaltam, hogy a nagyobb képzettség kicsivel nagyobb elutasítást jelöl (9. ábra).



9. ábra: Az emberi génállomány módosításra vonatkozó vélemények a végzettség függvényében. (A válaszok az 1-5 skálán érkeztek, ezek megfelelő csoportokra vonatkozó átlaga látható a hőtérkép celláiban.)

Végül az utolsó pár kérdés a "gene drive"-okhoz való viszonyt feszegette, vagyis azt, hogy mennyire tartanánk elfogadhatónak, ha egész fajok genomját átírnánk (7), akár azzal a céllal, hogy azokat kipusztítsuk/visszaszorítsuk. Összességében ez ügyben egy egész árnyalt álláspontot képvisel a magyar társadalom: az emberi egészségre súlyosan

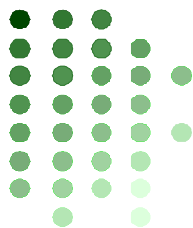
vagy közepesen veszélyes fajok esetében egyértelműen támogatja a többség a technológia potenciális használatát. Ökológiailag invazív fajok esetében már egy enyhe többség elutasító, míg gazdasági kártevők esetében még egyértelműbb ez az elutasítás (10. ábra).



10. ábra: Az „gene-drive” különböző felhasználásaira vonatkozó vélemények a végzettség függvényében. (A válaszok az 1-5 skálán érkeztek, ezek megfelelő csoportokra vonatkozó átlaga látható a hőtérkép celláiban.)

6. Bővebben lásd itt: http://criticalbiomass.blog.hu/2015/12/16/mennyire_irjuk_at_az_emberi_genomot

7. Bővebben: http://criticalbiomass.blog.hu/2015/12/25/nemcsak_egyedek_de_egesz_fajok_genomjat_atirhatjuk



Összességében ezek lennének tehát a fontosabb pontok. A nyers adatok birtokában még biztos lehet érdekes összefüggéseket kimazsolázni, de a bevezetőben is emlegetett, már ismert felmérések ismeretében ezek tűntek a legérdekesebb kérdéseknek. Nyilván folytatódni fog a vita, hogy van-e egyáltalán értelme az ehhez hasonló online felméréseknek, de azt gondolom, hogy mivel nemzetközileg is kevés megbízható adat van egyelőre, érdekes volt ezt tavaly nyáron megcsinálni, még ha azt is láttuk, hogy a magyar közvélemény (pontosabban annak a kérdőívvel elért szeglete) tulajdonképpen jobbára a nyugati trendeknek megfelelően, elég árnyaltan gondolkozik a genom-szerkesztés kapcsán felmerülő kérdésekről.

A kérdőív:

Ön hogyan viszonyul a biotechnológiához?

K1: Mennyire tartja magát jártasnak a biotechnológia területén? (1-5)

K2: Mennyire ért egyet a következő kijelentéssel: a modern biotechnológiai eljárások természetükből fakadóan veszélyesebbek, mint a klasszikus nemesítési megközelítések. (1-5)

K3: Fel kellene-e tüntetni az élelmiszerek csomagolásán, ha azokat biotechnológia igénybevételével állították elő? (Igen/Nem/Nem tudom)

K4: Fogyasztana-e (tudatosan) DNS-t tartalmazó élelmiszert? (Igen/Nem/Nem tudom)

K5: Fel kellene-e tüntetni a gyógyszerek csomagolásán, ha azokat biotechnológia segítségével állították elő? (Igen/Nem/Nem tudom)

K6: Mennyire ért egyet a következő kijelentéssel: bármi, ami természetes egészségesebb, mint a mesterségesen előállított (mezőgazdasági vagy ipari) termékek. (1-5)

K7: Használna-e olyan inzulint, melynek a csomagolásán az áll, hogy genetikailag módosított baktériumból vonják ki? (Igen/Nem/Nem tudom)

K8: Fogyasztana-e olyan sajtot/sört, mely címkéje szerint genetikailag módosított mikrobák felhasználásával készült? (Igen/Nem/Nem tudom)

Genomszerkesztés idegen gének bevitelével

K9: Mennyire ért egyet a genomszerkesztés alkalmazásával a növény-nemesítésben és az állattenyésztésben, ha az idegen gének bevitelével? (1-5)

K10: Támogatná-e ilyen típusú genomszerkesztés alkalmazását hipoallergén élelmiszerek előállítására? (Igen/Nem/Nem tudom)

K11: Támogatná-e ilyen típusú genomszerkesztés alkalmazását kórokozónak jobban ellenálló állatok/növények előállítására? (Igen/Nem/Nem tudom)

K12: Támogatná-e ilyen típusú genomszerkesztés alkalmazását nagyobb hozamú élelmiszerek előállítására? (Igen/Nem/Nem tudom)

K13: Támogatná-e ilyen típusú genomszerkesztés alkalmazását laboratóriumokban alkalmazott betegségmodellek (az emberi betegségek biológiájának feltárását segítő modellállatok) létrehozásánál? (Igen/Nem/Nem tudom)

Genomszerkesztés idegen gének bevitelével

K14: Mennyire ért egyet a genomszerkesztés alkalmazásával a növény-nemesítésben és állattenyésztésben, ha az idegen gének bevitelével jár? (1-5)

K15: Támogatná-e ilyen típusú genomszerkesztés alkalmazását nagyobb hozamú élelmiszer-növények és haszonállatok előállítására? (Igen/Nem/Nem tudom)

K16: Támogatná-e ilyen típusú genomszerkesztés alkalmazását laboratóriumokban alkalmazott betegségmodellek (az emberi betegségek biológiájának feltárását segítő modellállatok) létrehozásánál? (Igen/Nem/Nem tudom)

K17: Támogatná-e bármilyen típusú genomszerkesztés alkalmazását állatok vagy növények esztétikai szempontú megváltoztatásához?

Genomszerkesztés és az ember

K18: Mennyire ért egyet a genomszerkesztés emberi sejteken való alkalmazásával, ha azzal egy gyerek vagy felnőtt életét menthetjük meg? (1-5)

K19: Mennyire ért egyet a genomszerkesztés emberi sejteken való alkalmazásával, ha azzal egy gyerek, vagy felnőtt életminőségét súlyosan befolyásoló betegséget gyógyíthatunk meg? (1-5)

K20: Mennyire ért egyet a genomszerkesztés emberi embriókon való alkalmazásával, ha azzal egy életveszélyes betegség kialakulását előzhetjük meg? (1-5)

K21: Mennyire ért egyet a genomszerkesztés emberi embriókon való alkalmazásával, ha azzal egy súlyos, de nem életveszélyes betegség kialakulását előzhetjük meg? (1-5)

K22: Mennyire ért egyet a genomszerkesztés emberi embriókon való alkalmazásával, ha annak a célja nem betegségekhez kapcsolódó jelek megváltoztatása? (1-5)

Genomszerkesztés és környezet: a "gene-drive" alkalmazása

K23: Mennyire ért egyet a "gene-drive"-ok alkalmazásával, ha annak célja egy az emberi egészségre súlyosan veszélyes patogén (pl. malária parazita, vagy Zika vírus) megfékezése? (1-5)

K24: Mennyire ért egyet a "gene-drive" alkalmazásával, ha annak célja egy az emberi egészségre közepesen veszélyes patogén (pl. a Lyme kórt előidéző kórokozó) megfékezése? (1-5)

K25: Mennyire ért egyet a "gene-drive" alkalmazásával, ha annak célja egy gazdasági kártevő (pl. csótány) megfékezése? (1-5)

K26: Mennyire ért egyet a "gene-drive" alkalmazásával, ha annak célja egy ökológiailag idegen, invazív faj (pl. spanyol mezelten csiga) megfékezése? (1-5)