



ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

CSILIPAPRIKA FAJTÁK JELLEMZÉSE MOLEKULÁRIS MARKEREKKEL

Characterization of chilli pepper varieties using molecular markers

OTDK Agrártudományi szekció

Belső konzulens: Benyóné Dr. György Zsuzsanna
egyetemi tanár

Belső konzulens intézete/tanszéke: Genetika és
Biotechnológia Intézet, Növénybiológia Tanszék, Kertészeti
Növénygenetika Csoport

Készítette: Danis Dávid

**Budapest
2024**

TARTALOMJEGYZÉK

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE.....	2
1. BEVEZETÉS.....	3
2. Célkitűzés.....	4
3. Irodalmi áttekintés	5
3.1. Bevezetés.....	5
3.2. Nemesítési célok	6
3.3. Alkalmazott nemesítési módszerek	7
3.4. Nemesítési munka eredménye: hazai és nemzetközi műhelyek fajtái.....	7
3.5. Fajtahasználat jelenlegi helyzete hazai és nemzetközi viszonylatban.....	8
3.6. A <i>Capsicum</i> nemzetség legfontosabb fajainak jellemzése.....	8
3.6.1. Rendszertani helyük és rokonságuk	8
3.6.2. A <i>Capsicum</i> fajok botanikai jellemzése	9
3.6.3. Fajta összehasonlítás botanikai szempontból.....	11
3.7. A felfűjt bogyótermés hatóanyagai és hatásai.....	11
3.7.1. A bogyótermésben felhalmozódó hatóanyagok.....	11
3.7.2 Gyógyhatásai és gyógyászati felhasználása	13
3.8. Genetikai variabilitás vizsgálata molekuláris markerekkel	15
3.8.1. PCR-alapú technikák	15
4. anyagok és Módszerek.....	20
4.1. A növényanyag.....	20
4.1.2. DNS-kivonás.....	21
4.2. ISSR és SCot vizsgálat	21
4.2.2. PCR-vizsgálat.....	21
4.2.3. Adatok kiértékelésének menete.....	23
5. Eredmények.....	24
5.1. Adatok kiértékelése	24
5.1.1. Az ISSR és SCot primerek előzetes tesztelésének eredménye.....	24
5.1.2. Az ISSR primerekkel történő vizsgálat eredménye.....	25
5.1.3. A SCot primerekkel történő vizsgálat eredménye	28
5.1.4. A primerek kötődéséhez szükséges hőmérséklet optimalizálása	32
5.1.5. Az ISSR és SCot primerek eredményeinek kombinált értékelése	33
6. Eredmények megvitatása.....	35
7. Összefoglalás	37
8. Irodalomjegyzék	38
9. Köszönetnyilvánítás	43

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

AFLP: Amplified Fragment Length Polymorphism: Amplifikált fragmentum hosszúságú polimorfizmus

Átl.: Átlagosan

BSA: Bovine Serum Albumin, magyarul szarvasmarha szérum albumin

DNS: Dezoxiribonukleinsav

dNTP: dezoxiribonukleozid-trifoszfátok

DMSO: Dimethyl sulfoxide, magyarul dimetil-szulfoxid

iPBS: inter Primer Binding Site: inter primer kötőhely

ISSR: Inter Simple Sequence Repeat, egyszerű szekvencia ismétlődések közötti régiók

Max.: Maximum

MQ: A laboratóriumban a felhasznált tisztított víz jelölésére használt betűpáros. A steril vizet előállító laboratórium (Millipore Milli-Q) márkanevének rövidítése

NGS: Next Generation Sequencing: Következő generációs szekvenálás

PCoA: Principal Coordinate Analysis: Főkoordináta-elemzés

PCR: Polymerase chain reaction, ami magyarul annyit tesz polimeráz láncreakció

Pl.: Például

RFLP: Restriction Fragment Length Polymorphism: Korlátozott fragmentum hosszúságú polimorfizmus

SCot: Start Codon Targeted, ami magyarul azt jelenti, hogy a marker a „start kodont célozza”

SNP: Single Nukleotid Polymorphism: Egy nukleotidos polimorfizmus

SRAP: Sequence-related amplified polymorphism: Szekvenciához kapcsolódó amplifikált polimorfizmus

Taq: A Taq polimeráz-enzim egy termotabil DNS polimeráz, amely a *Thermus aquaticus* nevű mikroorganizmus után kapta a nevét

UPGMA: Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean, Összevonó hierarchikus klaszterezés

UV: Ultra Violet, ami magyarul az ultraibolya a megfelelője

1. BEVEZETÉS

A *Capsicum* nemzetségből jelenleg nem ismert minden faj, de a botanikusok folyamatos munkájának köszönhetően mostanra igen nagy génállományt fedeztek fel, amely nagyszerű alapanyag a növénynemesítőknek (Barboza, 2022, Csilléry, 2006). Vizsgált fajunk a *Capsicum chinense* a Solanaceae családba tartozó évelő félcserje. Bár latin kettős neve nem erre utal, de származási helye Közép-Amerika ([http 1](#)).

A növény 1494-ben került be Európába, amikor Kolumbusz visszatért második útjáról. A növényről már korábban is történtek feljegyzések egy Peruban fellelhető temetkezési helyen i.e. 7000-ből, de szélesebb körben csak az 1400-as évek végén terjedt el.

A paprika elterjedése a borshiánynak, illetve ebből kifolyólag a bors rendkívül magas árának köszönhető mivel szüksége lett az embereknek egy alternatív fűszernövényre. Így került be először Törökországba a paprika, majd kezdett el terjedni a szomszédos országokban, elsősorban a Balkánon, majd az egész világon. Eleinte kolostorkertekben termesztették, mivel a növény abban az időben egy botanikai különlegességnek számított. Magyarországon az emberek két féle felhasználási formát alkalmaznak: frissfogyasztásban az enyhébb fajtákat és porított fűszer formájában a csípősebb fajtákat (Papp, 2020).

A világon jelenleg az egyik legcsípősebb és a laikus emberek számára is legismertebb *Capsicum chinense* fajta a 'Carolina Reaper', amelynek a Scoville skálán vagy más néven Kapszaicin skálán mért csípőssége 1500000 és 2000000 SHU érték közé tehető. Ezt a fajtát Ed Currie nemesítette 2013-ban. Egy újabb fajtája ennél is előkelőbb helyet érdemel, az 'Pepper X' nevű fajta, amelynek létezését 2023-ban hozta nyilvánosságra, ezzel saját fajtáját taszítva le a trónról ([http 2](#)).

Mára a csilipaprika erőssége presztízs kérdéssé vált a nemesítők körében. Két csoportra oszthatjuk a nemesítőket: azokra, akik szeretnék a jelenlegi csúcstartó 'Pepper X'-nél erősebb paprikát nemesíteni, és azokra, akik egy adott fajtát szeretnék tökéletesíteni, valamely tulajdonságát kiemelve a többi közül erősíteni azt. Lehet szó a termésméretéről, a növény habitusáról vagy akár különböző színváltozatok eléréséről, hogy ne csak finom, de dekoratív is legyen az adott fajta. Mindemellett ott vannak azok a nemesítők, akik a környezeti tényezőkkel szemben szeretnék ellenállóbbá tenni a csilipaprikát pl. szárazságtűrés, bizonyos kórokozókkal szembeni ellenállóság, amire valljuk be a mai klimatikus változások tekintetében igen nagy szükség van.

2. CÉLKITŰZÉS

A dolgozatban a *Capsicum* nemzetéségből származó 17 csilipaprika fajtának a DNS alapú variabilitását vizsgáltuk PCR technikával. ISSR és SCot markereket használtunk a vizsgálatok során. A munka során az alábbi célokat szerettük volna elérni:

- Megfelelő mennyiségű és minőségű DNS kivonása a begyűjtött növény anyagokból
- Az elérhető ISSR és SCoT markerek alkalmazhatóságának felmérése egy kiválasztott minta DNS-en
- A megfelelő amplifikációt mutató markerek alkalmazása a teljes vizsgálatba vont növényanyagon
- Az egyes markerekkel kapott amplifikátum vizsgálata agaróz gélelektroforézissel, a képek kiértékelése és fajták genetikai kapcsolatának elemzése.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Bevezetés

A csilipaprika (*Capsicum annuum*) Magyarországon először a 18. század fordulóján jelent meg. A növényfaj Amerikából származik. A leírások szerint két útvonalon hozhatták be az országba. A Spanyolország-Portugália vonal az egyik lehetőség, míg a Törökország-Bulgária vonal a másik, hiszen mint korábban említettem ekkoriban Törökországban alternatív fűszernövényként alkalmazták a feketebors hiánya miatt (Papp, 2020).

Az első botanikai leírást Diószegi és Fazekas (1807) készítette, amely a *Capsicum* nemzetség két fajtát foglalta magába. Az egyik a *Capsicum annum* volt, a másik pedig az akkor *Capsicum sinense*-ként leírt kínai paprika, amely minden tekintetben megegyezik a ma ismert *Capsicum chinense* fajjal.

A *Capsicum* nemzetség génközpontja McLeod és munkatársai (1982) szerint egy Bolívia közepén elterülő régió, amely egy 2000 m-es tengerszint feletti magasságon található félszáraz terület. A feltételezések szerint a jelenleg is termesztett fajok egy a *Capsicum chacoense* fajhoz hasonló ősi fajból erednek és az amerikai kontinens minden részére erről a bolíviai területről kerültek át. A ma ismert fajok, amelyek remek nemesítési alapanyagként szolgálnak, mutációk útján alakultak ki ebből a közös ősből.

Valószínűleg nem ismert még a nemzetség minden faja, ugyanis a botanikusok jelenleg nem tudják a fajokban leggazdagabb területeket kutatni, az egész kontinensen jellemző rossz közbiztonság miatt (Csilléry, 2006).

3.2. Nemesítési célok

A csilipaprika, mint azt említettem Bolíviából származik, ami nagyban meghatározza a *Capsicum* fajok környezeti igényeit. A környezeti feltételekhez alkalmazkodva egyedi képletek alakultak ki, pl. a *Capsicum pubescens* faj növényi szőrökkel rendelkezik, védekezve ezzel a szélsőséges hideg ellen. Ezeknek a fajoknak a felkutatása és felhasználása a fontos feladata a nemesítőknek. Bizonyos betegségekre és kórokozókra az eltérő genotípusok eltérő módon reagálhatnak. Van amelyik fogékony, de van amelyik rezisztens és ha nem is egy teljesen ellenálló típus, de egy az adott betegségre ellenállóbb, toleráns fajta elérése fontos feladatunk, hogy a termésbiztonságot megtudjuk adni a termesztőknek a csilipaprikák tekintetében is (Mihálka, 2015).

A *Capsicum* nemzetségre jellemző a jó hőtűrő képesség. Környezetünk folyamatos felmelegedése, állandó stressz faktor a termesztett növények számára ezért a nemesítők egyik fontos feladata újabb és újabb nagyobb hőtűréssel rendelkező növényeket nemesítése. A hőtűrés egyik mellékága, de nem kevésbé fontos a szárazságtűrés, amely eleinte csak a növény kondíciójának romlását, termésmennyiségének és termőképességének csökkenését, majd pedig a teljes pusztulását okozhatja. Fontos feladatunk még a hidegtűrésre is kitérni, hiszen, ha a növény jobban bírja a szélsőségeket ilyen irányba is, akkor a korábbi kiültetéssel egy hosszabb tenyészidőszakot érhetünk el. Csilipaprikák esetén fontos elmondani, hogy európai éghajlaton egy éves növényként termesztjük, holott áttelelése esetén a növény nagyobb mérete végett több és korábbi termés várható (Mihálka, 2015).

Általánosságban elmondható minden olyan növényről, amely az ember számára értékes növényi részekkel szolgál, hogy e fajok esetén fontos a termésmennyiség növelése és így a csilipaprika sem kivétel (Dagnoko *et al.*, 2013).

Egy étkezési értékekkel rendelkező zöldség növény esetében a nemesítő feladata lehet még a beltartalmi értékek javítása. Esetünkben a C-vitamin tartalom növelése lehet az egyik szempont, hiszen az emberek viszonylag vitamin szegény étkezése manapság elég sarkalatos pont lett. Csilipaprikák esetében nem mehetünk el a kapszicin tartalom mellett, hiszen ezt a nemzetséget ez a védelmi mechanizmusa alapját képező vegyület tette az emberek számára gazdaságilag értékes növényné. Manapság versenyt folytatnak a legcsípősebb paprika címért, de emellett vannak olyan enyhébb ízekkel rendelkező fajták is, amelyek ízvilágát próbálják átalakítani vagy éppen ízélményét fokozni (Dagnoko *et al.*, 2013).

3.3. Alkalmazott nemesítési módszerek

Általánosságban elmondható, hogy háromféle nemesítési eljárást különböztetünk meg, amelyekkel a termesztett növényeinket jobbá tehetjük és ezeket a csilipaprika nemesítésében is alkalmazzák. Az MVD (Mutant Variety Database) adatbázisa alapján a *Capsicum annuum* L. fajt használták mutációs nemesítési programokban. Ezek közül a programok közül csak egy foglalkozott csilipaprikával, melynek eredménye az 1976-ban Indiában elfogadott *Capsicum annuum* L. 'MDU.1' fajta ([http 3](#) és Do Rêgo *et al.*, 2016).

A *Capsicum* nemzetség heterózis nemesítésnek is alávethető. Az általam talált forrásban a *Capsicum annuum* faj két fajtáját 'Cascadura Ikeda' és a 'Jalapeno' fajtákat, illetve a *Capsicum chinense* faj két fajtáját a 'Habanero' és a 'Biquinho' fajtákat használják fel keresztezés céljából (Do Rêgo *et al.*, 2016, Rezende *et al.*, 2022).

A *Capsicum* nemzetségben alkalmaztak továbbá szelekciós nemesítést, amely stressz toleranciára és rezisztenciára irányult. Ezeket a szelekciókat elszeparált környezetben folytatták, ahol "kereszt fertőzés" bekövetkezése nélkül tudták tesztelni ezeket a növényeket (Mihálka, 2015, Do Rêgo *et al.*, 2016).

3.4. Nemesítési munka eredménye: hazai és nemzetközi műhelyek fajtái

Nemzetközi viszonylatban a legjelentősebb műhely a PuckerButt Pepper Company, ugyanis ők voltak azok, akik Ed Currie vezetésével 2013-ban megalkották a 'Carolina Reaper' nevű fajtát, amely az akkori világviszonylatban a legerősebb csilipaprikának számított. Ezzel nem ért véget a sikertörténet, ugyanis 2023. augusztus 23-án bejegyeztették a Scoville-skálán (SHU) 2,69 milliós értéket elérő 'Pepper X'-et, amellyel saját fajtájukat letaszítva a trónról ismét világrekordot állítottak fel ([http 4](#)).

Magyarországon az egyik legtöbb fajtával rendelkező paprika nemesítő műhely a ZKI Zöldségtermesztési Kutató Intézet Zrt., akik a Nébih fajtajegyzékében 312 bejelentett és elismert fajtával rendelkeznek köztük a 'Apolló', a 'Beringio' és 'Békés' fajtákkal ([http 5](#)).

Mögötte szorosan Magyarország egyik legnagyobb vetőmag előállító cége a Duna-R. Növényterm. és Virágkertészeti Szolgáltató áll 61 fajtával, amelyek között ott van az 'Archivarius', a 'Bagoly' és a 'Berényi' fajta ([http 6](#)).

3.5. Fajtahasználat jelenlegi helyzete hazai és nemzetközi viszonylatban

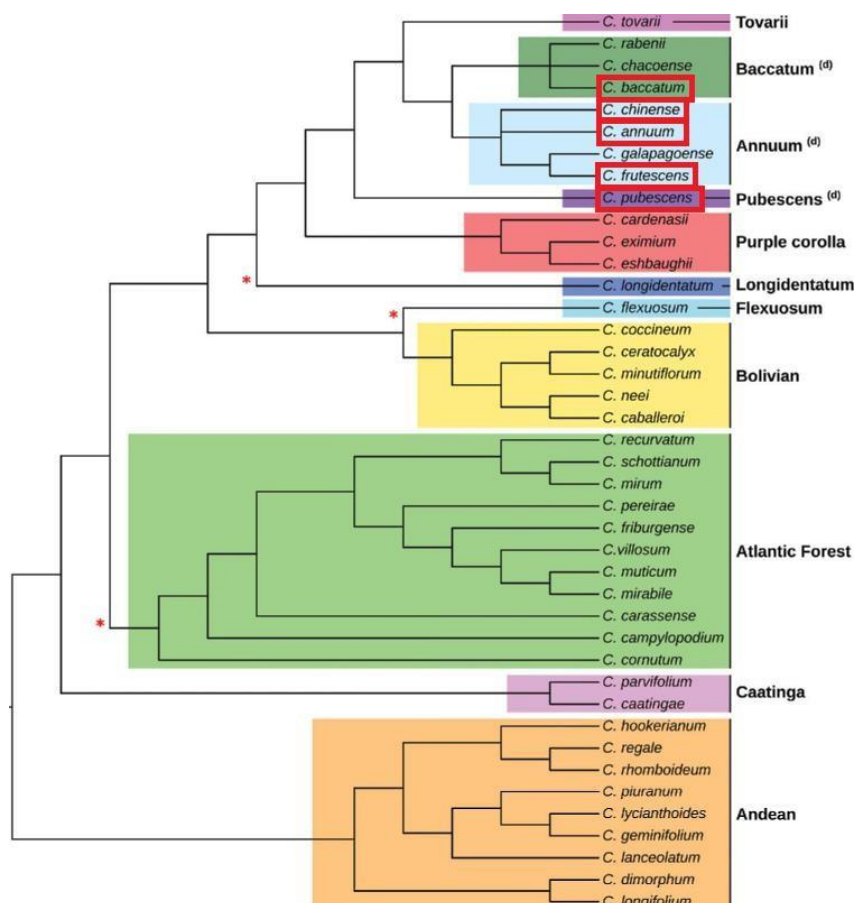
Hazai viszonylatban jelenleg csak és kizárólag a *Capsicum annuum* L. faj fajtáit használják étkezési paprika termesztésben, a Nébih 2023-as adatai alapján, amely mintegy 346 fajtát takar, zöldségnövény kategóriában. Emellett egyetlen tájfajta van elismerve, amely a *Capsicum annuum* L. 'Bogyiszlói kárász', illetve összesen öt darab házikerti fajta ([http 5](#)).

Külföldi viszonylatban öt fajt használnak, amelyek a nemesítési alapanyagoknál (3.3. fejezet) felsorolt fajok. A *Capsicum annuum* fajból rengeteg fajta van jelenleg is termesztésben, míg a *Capsicum baccatum* fajból 3, a *Capsicum chinense* fajból 18, a *Capsicum frutescens* fajból 6 és végül a *Capsicum pubescens* fajból 2 fajta van jelen. Ezek a fajták különleges megjelenésük, ízük, rezisztenciájuk, kapszaicin tartalmuk mennyisége miatt vannak jelenleg is a világ vezető termesztett csili fajtái között ([http 7](#)).

3.6. A *Capsicum* nemzetség legfontosabb fajainak jellemzése

3.6.1. Rendszertani helyük és rokonságuk

A *Capsicum chinense* faj a zárvatermők törzsébe tartozó kétszikű növény. A *Solanales* rendbe tartozik és a *Solanaceae* család tagja. Legközelebb álló rokonai a *C. annuum*, *C. galapagoense* és a *C. frutescens*. Minden *Capsicum* nemzetségbe tartozó faj egy közös őstől van származtatva. Jelenleg körülbelül 41 fajt különböztetünk meg. Fajtól függően változik a növények termésének a beltartalmi értéke, de ami számunkra fontos, ha fűszernövényként használjuk, az a kapszaicin tartalom (Barboza et al., 2022). A *Capsicum* nemzetségben belül 11 fő kládot különböztetünk meg, amelyek informális kládneveket kaptak. A nemzetségben belül két fő csoport különböztethető meg. Az egyiket a Közép-Amerikából és Dél-Amerika északnyugati részéből származó fajokat magába foglaló, korán divergáló Andok klád (az ábrán Andean) alkotja, a másik pedig a nemzetség többi fajtát foglalja magába. A házasított fajok ebbe a második csoportba sorolódnak és az *Annuum*, *Baccatum* és *Pubescens* kládokba tartoznak. A *Capsicum* nemzetség felépítését az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. *Capsicum* nemzetség felépítése (Barboza *et al.*, 2022)

3.6.2. A *Capsicum* fajok botanikai jellemzése

3.6.2.1. *Capsicum annuum*

A *Capsicum annuum* lágyszárú növény, amely magassága 0,2 és 0,8 méter közötti értéket érhet el. Elterjedésére Mexikó és Dél-Amerika jellemző, Magyarországon nem őshonos. Évelő növényként tartják számon. Levelei hosszúkásak, tojásdadok vagy lándzsa alakúak, 4-13 cm hosszúak és 1,5-4 cm szélesek. Minden ismert fajtájának és magának az alapfajnak is épszélűek a levelei. A szár sima, szőrtelen. Általában kiskertekben szabadföldbe ültetve vagy konténeresen termesztik. Őshazájában örökzöld lomtartóként tartják számon. A növényeknek kétnemű fehérszínű virágai vannak, amelyekből később a terméseket hozzák. A virágok fürtvirágzatban jelennek meg. A termésük húsos falú toktermés, amely érett állapotában lehet zöld, narancssárga, lila, piros, sárga vagy arany színű (http 8).

3.6.2.2. *Capsicum chinense*

A *Capsicum chinense* egy lágyszárú évelő cserje. A növény alakja általában szabálytalan, magassága 0,3-0,8 méter közötti, míg a lombkorona szélessége 0,3-0,6 méter is lehet. Őshonos Brazíliában és Kolumbiában, innen eredeztetik. A levelek színe az egészen világostól a sötétebb zöldig terjed, alakja jellemzően tojás alakú, legfeljebb 15 cm hosszúak és 10 cm szélesek. A levelek felülete ráncos. Csillag alakú virágaik zöldes-fehér árnyalatúak, míg pártái tojás alakúak. Virágai kétneműek és ennek a fajnak az esetében is fűrtvirágról beszélünk. A számára nem megfelelő éghajlaton általában konténerben vagy fóliasátorban termesztik. Termésük húsos falú toktermés, amely lehet zöld, piros sárga vagy narancssárga színű ([http 8](#)).

3.6.2.3. *Capsicum frutescens*

A *Capsicum frutescens* egy álló vagy terülő, bokrosodó, lágyszárú, rövid életű évelő cserje. 1-1,5 m magasra nőhet meg. Hajtásai fásodásra hajlamosak, kissé szögletesek, csíkozottak vagy kissé csatornázottak, fényesek, fiatalon szőrösek vagy kopaszak. A levéllemez hártyás, 1,5-15 cm hosszú és 0,5-3 cm széles. Van olyan egyed amelyiknek levelei lándzsa alakúak, van amelyiknek tojásdad alakú és van amelyik eliptikus levelekkel rendelkezik. A levelek gyakran nem egyenlő oldalúak, csúcsuk hegyes vagy tompa is lehet, felületükön csillók és szőr képletek találhatóak. Dél-Amerikában őshonos. Levélzetének csillogó, bőrszerű hatása van. A virágzatok 2-4 virágból állnak és fehér, zöld vagy világoszöld színűek lehetnek. Termése húsos falú toktermés, amely érett állapotban lehet piros, zöld, narancssárga vagy lila színű, textúrájuk sima fényes ([http 8](#) és [http 5](#)).

3.6.2.4. *Capsicum pubescens*

A *Capsicum pubescens* egy hosszú életű, évelő növény, amelynek a nemzettségre jellemző fehér virágok helyett lila virágai vannak, nagy nektáriumokkal. Szára gyakran lilásan pigmentált, ami csíkos megjelenést kölcsönöz neki. A feltűnő levélszőrzet és a fekete magok könnyedén felismerhetővé és megkülönböztethetővé teszik számunka a többi *Capsicum* fajtól. Levelei 5-12 cm hosszúak és 2,5-4 cm szélesek. Virágai, azon kívül, hogy lilák, 9-15 mm nagyságúak és jellemzően 5-8 pártával rendelkeznek. Ez a nagy, bokros és lágyszárú növény, akár 12 m magasra is megnőhet és akár 10 évig is élhet Amerika trópusi területein, ahol az Andok mindkét oldalán termesztik. Bár ez a faj hűvös hőmérsékletre (4,5-15,5°C) alkalmazkodott, sokan tévesen azt hiszik, hogy a növény fagyűrő. A növény egy éves kora után

képes újra kihajtani, ha fagykár miatt a föld feletti részei elpusztulnak. A növény a fagykár által el nem ért gyökerekben tárolt szénhidrátokat segítségével képes erre. A faj termésének alakja változatos. Lehet hosszúkás alakú, de gömbölyded is. Az érett termés színe piros, narancssárga vagy sárga. A húsfalú tokok magas karotinoid és kapszaicin tartalommal rendelkeznek. A gyümölcs húsa vastag, nem tárolható vagy szárítható jól (CABI, 2018).

3.6.2.5. *Capsicum baccatum*

A *Capsicum baccatum* álló vagy terülő habitusú, gyakran erősen elágazó, évelő növény, amely akár a 4,5 méteres magasságot is elérheti. Hajtásai szögletesek, enyhén barázdáltak, fiatalon sűrűn szőrösek vagy kopaszok. Levelei hártyásak, 1,5-7,5(10) cm hosszúak és 0,8-4(4,5) cm szélesek. Tojásdad vagy lándzsás-tojásdad alakú a levéllemez, míg a levélalap általában ék alakú vagy felemás. A lemez csillós, elszórtan szőrösek, néha csak az ereket mentén a fonáki oldalon jellennek meg a szőrök. A virágzat a zöldes-fehér vagy piszkosfehér színű. Termése kicsi, skarlát vörös, gömbölyded, amely felálló pozícióban helyezkedik el a növényen. Textúrája fényes, sima, kopasz. Magjai halvány barna színűek, így viszonylag könnyen megkülönböztethetők a többi faj fehér magjaitól (Datiles *et.al.*, 2014)

3.6.3. Fajta összehasonlítás botanikai szempontból

A dolgozatban felhasznált fajták jellemzését morfológiai jellemzőik alapján az 1. táblázatban mutatom be.

3.7. A felfűjt bogyótermés hatóanyagai és hatásai

3.7.1. A bogyótermésben felhalmozódó hatóanyagok

A csilipaprikáról általánosságban elmondható, hogy igen sok vegyületet tartalmaz, amik az emberi szervezet számára hasznosak. A 100 g paprika termésben található C vitamin tartalom bőven meghaladja az egy ember számára ajánlott napi mennyiséget, de az egyéb vitamin és ásványi anyag tartalma is jelentős (lásd 2.Táblázat) ([http 9](#)).

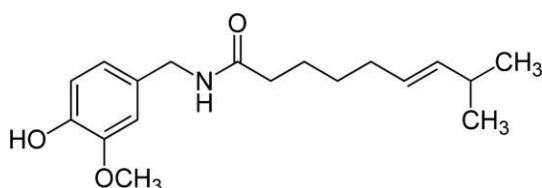
1. Táblázat: Fajták összehasonlítása botanikai jellemzők alapján.

Ssz	Fajnév	Fajtanév	Virágszín	Termésszín	Termésméret	Forrás
1.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Apocalypse Scorpion’	Zöldes-fehér	Piros	2 cm hosszú	(http 10)
2.	<i>Capsicum baccatum</i>	‘Starfish Yellow’	Zöldes-fehér	Sárga	4-5 cm hosszú	(http 11)
3.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Fatalii Yellow’	Zöldes-fehér	Sárga	5-8 cm hosszú	(http 12)
4.	<i>Capsicum frutescens</i>	‘Yellow Scotch Bonnet’	Fehér	Sárga	5 cm hosszú	(http 2)
5.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Yellow Bhut Jolokia’	Zöldes-fehér	Sárga	7 cm hosszú	(http 2)
6.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Carolina Reaper Yellow’	Zöldes-fehér	Sárga	6 cm hosszú	(http 2)
7.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion Moruga Yellow’	Zöldes-fehér	Sárga	5 cm hosszú	(http 2)
8.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Habanero F1 Yellow’	Zöldes-fehér	Sárga	5-6 cm hosszú	(http 13)
9.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Habanero F1 Red’	Zöldes-fehér	Piros	5-7 cm hosszú	(http 14)
10.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Bhut Jolokia Strain II’	Zöldes-fehér	Piros	6-8 cm hosszú	(http 13)
11.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion Moruga Red’	Zöldes-fehér	Piros	4 cm hosszú	(http 2)
12.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Dorset Naga’	Zöldes-fehér	Piros	4-7 cm hosszú	(http 2)
13.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Naga Morich’	Zöldes-fehér	Piros	4-5 cm hosszú	(http 15)
14.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Red Savina’	Zöldes-fehér	Piros	7 cm hosszú	(http 2)
15.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Carolina Reaper Red’	Zöldes-fehér	Piros	6 cm hosszú	(http2)
16.	<i>Capsicum frutescens</i>	‘Scotch Bonnet Red’	Fehér	Piros	5 cm hosszú	(http 2)
17.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion VV7’	Zöldes-fehér	Piros	-	(http 16)

2. Táblázat: A paprika beltartalmi értékeinek mértéke az emberek számára ajánlott napi mennyiséghez képest 100 g-ra vetítve, %-ban megadva.

Neve	Mennyisége (%-ban)
C-vitamin (Aszkorbinsav)	240%
B6-vitamin (Piridoxin)	39%
A-vitamin	32%
Vas	13%
Réz	14%
Kálium	7%

A C-vitamin erős vízben oldódó antioxidáns. Elengedhetetlen az emberi szervezetben a kollagénszintézishez. A C-vitaminban gazdag élelmiszerek (mint amilyen a csili is) rendszeres fogyasztása segít megvédeni a skorbut ellen, ellenállóképességet fejleszteni a fertőző kórokozókkal szemben (erősíti az immunitást), és elűzi a szervezetből a káros, gyulladásokkeltő szabadgyököket. Más antioxidánsokat is tartalmaz, mint például A-vitamint és flavonoidokban is igen gazdag, például β -karotinban, α -karotinban, luteinben, zeaxantinban és kriptoxantinban. A csilipaprika legfontosabb vegyülete mégis a kapszaicin (2. ábra) hiszen ez teszi a növény húsosfalú tokterméseit csípőssé, ami miatt a legtöbb helyen termesztik és fogyasztják a világon.



2. ábra. 8-metil-N-vanillil-6-nonénamid (kapszaicin) szerkezeti képlete ([http 17](http://17)).

3.7.2 Gyógyhatásai és gyógyászati felhasználása

A húsosfalú toktermésben található vegyületek betegségmegelőző és egészségmegőrző tulajdonságokkal rendelkeznek. A csilipaprika, az egészség szempontjából előnyös alkaloid vegyülete, a kapszaicin adja csípős ízét, amely miatt ételeink ízesítésére használjuk. A kísérleti emlősökön végzett korai laboratóriumi vizsgálatok szerint a kapszaicin antibakteriális, rákellenes, fájdalomcsillapító és cukorbetegség ellenes tulajdonságokkal rendelkezik. Azt is megállapították, hogy csökkenti az LDL-koleszterin szintet az elhízottaknál. A kapszaicint és társvegyületeit kenőcsök és tinktúrák készítéséhez használják összehúzó, irritáció elleni és fájdalomcsillapító tulajdonságaik miatt. Ezeket a készítményeket ízületi fájdalmak, herpesz utáni neuropátiás fájdalom és izomfájdalom kezelésére használják ([http 9](http://9)).

3.7.3. Fajta összehasonlítás kapszaicin tartalom alapján

A munkám során felhasznált fajták kapszaicin tartalom szerinti összehasonlítását a 3. táblázat mutatja be.

3. Táblázat: Fajták összehasonlítása kapszaicin tartalom alapján

Ssz	Fajnév	Fajtanév	Kapszaicin tartalom	Források
1.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Apocalypse Scorpion’	1.000.000 SHU	(http 10)
2.	<i>Capsicum baccatum</i>	‘Starfish Yellow’	15.000-20.000 SHU	(http 11)
3.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Fatalii Yellow’	125.000-400.000 SHU	(http 12)
4.	<i>Capsicum frutescens</i>	‘Yellow Scotch Bonnet’	100.000-500.000 SHU	(http 2)
5.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Yellow Bhut Jolokia’	Átl. 1.001.304 SHU	(http 2)
6.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Carolina Reaper Yellow’	Átl. 1.569.300 SHU Max. 2.200.000 SHU	(http 2)
7.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion Moruga Yellow’	Átl. 1.200.000 SHU	(http 2)
8.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Habanero F1 Yellow’	150.000-325.000 SHU	(http 13)
9.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Habanero F1 Red’	Átl. 300.000 SHU	(http 18)
10.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Bhut Jolokia Strain II’	855.000-1.041.427 SHU	(http 4)
11.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion Moruga Red’	Átl. 1.207.764 SHU	(http 2)
12.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Dorset Naga’	Max. 1.221.000 SHU	(http 2)
13.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Naga Morich’	850.000-1.000.000 SHU	(http 15)
14.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Red Savina’	350.000-577.000 SHU	(http 2)
15.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Carolina Reaper Red’	Átl. 1.569.300 SHU Max. 2.200.000 SHU	(http 2)
16.	<i>Capsicum frutescens</i>	‘Scotch Bonnet Red’	100.000-350.000 SHU	(http 2)
17.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion VV7’	-	(http 16)

3.8. Genetikai variabilitás vizsgálata molekuláris markerekkel

3.8.1. PCR-alapú technikák

A PCR alapú technikák lényege, hogy a szekvenciák specifikus amplifikációjával (sokszorozásával) történik az azonosítás (Mullis és Faloona, 1987).

A polimeráz-láncreakciót K. B. Mullis találta fel 1985-ben. A technika alapját az képezi, hogy DNS szekvenciákat sokszorozunk meg (ezt amplifikációnak hívjuk) (Mullis és Faloona, 1987). A sokszorozást enzimatis úton tesszük meg. Ehhez hőstabil DNS-polimeráz enzimet használunk (Taq polimeráz enzimet) primerek, vagyis lánckezdő oligonukleotidok jelenlétében. A reakció egy hőmérsékletet gyorsan és pontosan változtató eszközben történik meg. A gép képes a terméket hosszabb ideig azonos hőfokon tartani, így lehetséges ad rá, hogy a hosszan tartó folyamatokat éjszaka végeztessük el vele. Maga a felszaporítás olyan módon történik, hogy a felhasznált oligonukleotid primerek a célszekvenciák mindkét 5' végével komplementerek legyenek. A DNS-polimeráz enzim az egyszálú templátról képez komplementer szálakat 5'-3' irányban. A polimeráz láncreakció során végbemenő folyamat a következő:

- **Denaturáljuk** a DNS kettőshélixét, amit úgy tud véghez vinni a gép, hogy tartósan 90°C fok felett tartja a DNS-t. Amennyiben magasabbra vagy alacsonyabbra állítjuk a hőfokot, a folyamat sikerességét kockáztatjuk, hiszen a túl hosszú vagy túl rövid denaturációs idő csökkentheti a denaturáció hatékonyságát.
- **Tapadás** során a szabad 3'OH véggel rendelkező oligonukleotidok az egyszálú templát DNS-hez kötődnek.
- Az **elongáció** alatt a DNS-polimeráz a bekötődött szálakat meghosszabbítja ez általában (az alkalmazott polimeráz enzimtől függően) 72°C-on történik. Ennek a sebessége 1000 bázis/perc, de ez sokban függ alkotó elemek mennyiségétől és minőségétől (Hajós, 1999).

3.8.1.2. A PCR alkotóelemei

A polimeráz láncreakció elvégzéséhez az alábbi komponensek szükségesek:

- **Puffer:** Megfelelő kémiai környezetet biztosít a DNS-polimeráz számára (http 19)
- **dNTP-mix:** Deoxiribonukleozid-trifoszfátok: dATP, dTTP, dGTP, dCTP, melyek beépülnek az új DNS láncba a szintézis során (http 19)
- **Primer:** Azok az egyszálú oligonukleotidok, amelyektől elindul a DNS-polimeráz és elkezd az új szál szintézisét 5'-3' irányba (http 19)
- **BSA:** marhaszérum albumin, amely jelentősen növeli a PCR amplifikáció hozamát, ha szerves oldószerekkel pl. DMSO-val vagy formamiddal együtt alkalmazzák. A BSA különösen hasznos, ha az extrakcióban PCR-inhibitorok pl. melanin található (Farell *et.al.*, 2012)
- **DMSO:** Mivel a G és C bázisok hármas hidrogénkötéseket tartalmaznak, stabilizálják a templátot. A kötések felbontása nagyobb hő igényel, illetve a GC-ben gazdag templátok másodlagos szerkezetet képeznek. Azért van szükségünk a DMSO-ra, hogy a kötések felbontásához szükséges, hőmérsékletet csökkentse. A másodlagos szerkezetet nehéz felbontani, így előfordulhat, hogy nem kapunk eredményt vagy, ha kapunk is az primer-dimereket, vagyis általunk nem célzott részeket fog tartalmazni. Ettől függetlenül a DMSO használata önmagában nem garantálja, hogy nem fognak primer dimerek létrejönni (Hardjasa *et.al.*, 2010)
- **Polimeráz enzim:** Az a hőstabil enzim, amely a DNS komplementer szálát szintetizálja (http 19)
- **Templát DNS:** A növényből vett minta DNS-e, amellyel a vizsgálatot végezzük. Célunk a templát DNS bizonyos részeinek megsokszorozása és méretének meghatározása.
- **MQ víz:** Hígításra és térfogatnövelésre használt, tisztított víz.

3.8.1.3. Molekuláris markerek

A különböző DNS-markerek az elmúlt évtizedekben fontos eszközként voltak jelen a növény egyedek közötti genetikai kapcsolatok vizsgálatánál, hibridek és fajták azonosításánál, fajok közötti filogenetikai kapcsolatok vizsgálatánál, géntérképezésnél és kvantitatív lókuszok nyomkövetésénél. Ezek a markerek hibridizációs vagy PCR alapú markerek közé sorolhatók. Az RFLP a hibridizáción alapuló marker, míg a PCR-függők olyan megbízhatóbb és fejlettebb polimorf markereket foglalnak magukba, mint az AFLP, az ISSR, az SNP, az SRAP, a start kodon célzott SCot vagy az iPBS. Funkcionális markereket is kifejlesztettek, amelyek az adott tulajdonságot kódoló lókusz alléljaihoz való teljes kapcsolódásuk miatt jobbak a véletlenszerű markereknél. Az újgenerációs szekvenálási (NGS) technológia megjelenésével kiváló lehetőségek nyílnak a bőséges strukturális és funkcionális genomikai információk előállítására számos fontos növénykultúrában (Amom *et.al*, 2017).

3.8.1.4. ISSR módszer

Az ISSR (Inter Simple Sequence Repeats) technika során az azonos típusú mikroszatellit régiók közötti szakaszokat ampifikáljuk. Nem szükséges előzetes szekvencia információ, az ISSR primereket közvetlenül az egyszerű ismétlésekre tervezik úgy, hogy egyik vagy másik végükön meghosszabbítják 1-3 specifikus bázissal, ez biztosítja, hogy közvetlenül a vizsgált mikroszatellit fragmentum végére kötődi a primer (Zietkiewicz *et al.*, 1994). Jó módszer arra, hogy kimutassuk a populációk közötti, illetve a populációkon belüli eltéréseket és hasonlóságokat.

Az ISSR technika előnyei, az alábbiak:

- Nincs szükség rá, hogy szekvencia információval rendelkezünk az adott fajról.
- Minden növényen fazon működik és olcsó.
- Gyors információ szerzés a teljes genomról.
- Az ISSR primerek szekvenciája hosszú, specifikus.
- Így megbízható, könnyen reprodukálható módszer (Esselman *et al.*, 1999).

3.8.1.5. SCoT módszer

A SCoT (Start codon targeted polymorphism), azaz a start kodont célzó marker egy fiatal technika, 2009-ben publikálta Collard és Mackill. Növényi gének start kodon körüli régióit tanulmányozták, melyet erősen konzerválnak így primer tervezésre alkalmasnak találtak. Ez egy egyszerű, költséghatékony, nagymértékben polimorf és reprodukálható molekuláris marker, amelyhez nincs szükség előzetes szekvencia információra. A közelmúltban a SCoT markereket számos kereskedelmi szempontból fontos és kevésbé hasznosított növényfaj esetén alkalmazták különféle kutatásokhoz, beleértve a genetikai diverzitás elemzését, a fajok/nemzedékek közötti genetikai kapcsolatokat, a fajok, fajták és hibridek azonosítását, a nemek meghatározását, kapcsolódási térképek létrehozását, a differenciális génexpressziót és a szövetkultúrában nevelt növények genetikai hitelességének az elemzését (Rai *et. al.*, 2023).

3.8.1.6. Csilipaprikák vizsgálata molekuláris markerekkel

Jeong és munkatársai (2010) a *Capsicum* nemzetség különböző fajainak azonosítására SNP markereket fejlesztettek ki. A hat COSII marker, a *Waxy* gén intronszekvenciával kifejlesztett marker és a trn kloroplasztisz marker egymáshoz kapcsolt szekvenciáit használták a filogenetikai fa felépítéséhez. Az így kapott filogenetikai fa szerkezet összhangban volt a *Capsicum* fajok taxonómiai osztályozásával. A *Capsicum annuum*, a *C. chinense* és a *C. frutescens* szoros rokonságot mutatott, mivel ezek alkották a *C. annuum* kládot. A *Capsicum baccatum* és a *C. chacoense* egy külön kládba került. A *C. pubescens* kládot elkülönítették a többi fajtól.

Peñuela és munkatársai (2020) a ‘Tabasco’ (*C. frutescens*), a ‘Cayenne’ (*C. annuum*) és a ‘Habanero’ (*C. chinense*) fajtákon végzett kísérleteket, hogy meghatározzák a fajták közötti hibridek kialakulásának valószínűségét. A mikroszatellit markerek és SNP markerek segítségével végzett molekuláris jellemzés kimutatta a heterozigóta egyedek hiányát és a vizsgált kereskedelmi fajták közötti nagy genetikai távolságot. Ez az eredmény alátámasztotta a fajhibridek kialakulásának lehetetlenségét.

Thi és munkatársai (2016) 16 csilipaprika fajta polimorfizmusát vizsgálták ISSR markerek segítségével. Ehhez a vizsgálathoz 15 primert használtak. Ez a 15 primer összesen 136 fragmentumot generált, amelyekből 102 sáv polimorfizmust mutatott, ez átlagosan 9,06 fragmentumot jelent primerenként. Az UPGMA módszerrel készített dendrogram az összes fajta megkülönböztethetőségét bebizonyította. Négy fajtát különítettek el egy teljesen külön csoportba, amelyben a megfigyelt jellemzők teljes egyezést mutattak.

Budiyanti és munkatársai (2024) kutatása célja a Nyugat-Szumátráról származó 23 csilipaprika genotípus genetikai sokféleségének vizsgálata volt, amelyet 10 ISSR markerrel végeztek. Eredményeik azt mutatták, hogy az ISSR markerek (ISSR primer 12, ISSR UBC és ISSR 3M) 84 polimorf fragmentumot eredményeztek, a teljes polimorfizmus százalékosan megadva 61,45% volt.

Kumar és munkatársai (2001) négy vitatott csilipaprika fajta megkülönböztetésére használtak ISSR és FISSR markereket. A vizsgálathoz összesen 17 ISSR-horgonyzott primert használtak, amelyek közül kilenc di- és nyolc tri-nukleotid primer volt. Hét di-, illetve nyolc tri-nukleotid ismétlődésen alapuló primerrel összesen 212, illetve 288 fragmentumot sikerült létrehozni, primerenként átlagosan 30 fragmentumot. A kilenc dinukleotid primer közül öt, a nyolc trinukleotid primer közül pedig négy a négy vitatott csili fajtát egyértelműen megtudta különböztetni.

Olatunji és Afolayan (2019) két, egymással közeli rokonságban álló *Capsicum* fajt a *Capsicum annuum*-ot és a *Capsicum frutescens*-t vizsgálták. Ennek a két fajnak a taxonómiai elkülönülése nem tisztázott Nyugat-Afrikában, mivel morfológiai tulajdonságaik fedik egymást. A két faj genetikai kapcsolatát először 10 ISSR primer segítségével vizsgálták. Az általuk felhasznált fajok és alfajok a következők: *C. annuum* var. *abbreviatum*, *C. annuum* var. *acuminatum*, *C. annuum* var. *grossum*, *C. frutescens* var. *baccatum*. A négy típus esetében összesen 75 lókuszt mutattak ki, amelyekből 14 polimorfnak bizonyult. A 10 ISSR marker átlagos polimorfizmus-információ-tartalmát és heterozigótaságát 0,67-re, illetve 0,78-ra becsülték. A fajták közötti rokonság, amelyet az UPMGA klaszterezéssel vizsgáltak, nem különítette el a *C. frutescens* var. *baccatum*-ot a másik három termesztett *C. annuum* alfajtól. A főkomponens-elemzés eredménye megerősítette a klaszterezés alapján kapott genetikai rokonságot. Az eredményeik alátámasztották, hogy a *C. frutescens* var. *baccatum* alfajt mostantól a *C. annuum* fajhoz tartozó genotípusként kell számon tartani.

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1. A növényanyag

Kísérletünk során a *Capsicum chinense* faj 15 fajtáját, a *Capsicum frutescens* faj 2 fajtáját, illetve a *Capsicum baccatum* faj 1 fajtáját hasonlítottuk össze. A növényanyagot a Richilieu élelmiszeripari vállalat biztosította számunkra. Ürömi székhelyükön gyűjtöttünk fiatal leveleket a növényeikről. A növényeket geotextíliával és csepegtető rendszerrel ellátott környezetben termesztik. Fél méterenként ültetik őket és a különböző fajok és fajták egymás közvetlen közelében nevelkednek. A kísérletek során a termesztő saját listáját és jelöléseit alkalmazva az 4.Táblázatban található fajtákat használtuk fel:

4. Táblázat: A felhasznált csilipaprika fajták

Ssz.	Fajnév	Fajtanév	Az értékelés során használt rövidítés
1.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Apocalypse Scorpion’	Cc Apocalypse Sc
2.	<i>Capsicum baccatum</i>	‘Starfish Yellow’	Cb Starfish Y
3.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Fatalii Yellow’	Cc Fatalii Y
4.	<i>Capsicum frutescens</i>	‘Yellow Scotch Bonnet’	Cf Y Scotch Bonnet
5.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Yellow Bhut Jolokia’	Cc Y Bhut Yolokia
6.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Carolina Reaper Yellow’	Cc Y Carolina Reap
7.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion Moruga Yellow’	Cc Trindad Sc Y
8.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Habanero F1 Yellow’	Cc Habanero F1 Y
9.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Habanero F1 Red’	Cc Habanero F1 R
10.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Bhut Jolokia Strain II’	Cc Bhut Jolokia II
11.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion Moruga Red’	Cc Trindad Sc R
12.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Dorset Naga’	Cc Dorset Naga
13.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Naga Morich’	Cc Naga Morich
14.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Red Savina’	Cc Red Savigna
15.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Carolina Reaper Red’	Cc R Carolina Reap
16.	<i>Capsicum frutescens</i>	‘Scotch Bonnet Red’	Cf Scotch Bonnet R
17.	<i>Capsicum chinense</i>	‘Trinidad Scorpion VV7’	Cc Trindad Sc VV7

4.1.2. DNS-kivonás

A DNS-kivonás pillanatáig a növényanyagot a fagyasztóban tartottuk -20 °C-on. A kivonást a sejtek feltárásával kezdtük, amelyet dörzsmozsárban, folyékony nitrogén alkalmazásával végeztünk el. Ezután elvégeztük a DNS tisztítását, illetve kicsapását, Omega Bio-Tek E.Z.N.A.[®] Plant DNA Kit (VWR, Magyarország) protokollja alapján végeztünk. A kit szilika-membránok, a gyártó által összeállított pufferek és egyszerű, centrifugáláson alapuló elválasztási eljárással eredményez magas tisztaságú DNS-izolátumot (Lukács, 2018)

4.2. ISSR és SCot vizsgálat

4.2.2. PCR-vizsgálat

A PCR vizsgálatok során mind az ISSR, mind pedig a SCot primerek alkalmazása esetén, azonos receptet alkalmaztunk, a PCR mix elkészítésénél. Egy minta PCR mix elkészítéséhez az 5. táblázatban feltüntetett komponenseket használtuk.

Az ISSR markerezési technika elvégzéséhez 17 univerzális primert választottunk ki a British Columbia Egyetemen kifejlesztett ISSR primerek közül (The Michael Smith Laboratories, University Of British Columbia, primer set 9, Vancouver, BC, Kanada), melyek szekvenciája az 6. táblázatban látható. A SCoT módszerhez 10 primert választottunk a Collard és Mackill (2009) által közölt primerek közül, melyek szekvenciája a 7. táblázatban található.

A reakcióhoz Swift[™] MaxPro (Esco Micro Pte. Csrtex, Budapest) típusú készüléket használtunk a 8. táblázatban látható hőmérsékleti profilt alkalmazva.

5. Táblázat: A PCR vizsgálat során alkalmazott komponensek és koncentrációjuk

Komponens	Mennyiség
DreamTaq polimeráz puffer	10 x
Primer	2 µM
dNTP	2 µM
BSA	1%
DMSO	2%
DNS	20-80 µg
DreamTaq Polimeráz-Enzim	0,15 egység
MQ	15 µl

6. Táblázat: Az alkalmazott ISSR primerek és a nukleotid sorrendjük

Primer	Nukleotid sorrend
UBC 808	AG AG AG AG AG AG AG AG C
UBC 809	AG AG AG AG AG AG AG AG G
UBC 811	GAG AG AG AG AG AG AG AG C
UBC 812	GAG AG AG AG AG AG AG AG A
UBC 817	CAC ACA CA CA CA CA CA A
UBC 818	CAC ACA CA CA CA CA CA G
UBC 826	AC AC AC AC AC AC AC AC C
UBC 827	ACA CAC ACA CAC ACA CG
UBC 835	AG AG AG AG AG AG AG AG CTC
UBC 840	GAG AG AG AG AG AG AG AG Y T
UBC 841	GAG AG AG AG AG AG AG AG Y C
UBC 842	GAG AG AG AG AG AG AG AG G
UBC 857	AC AC AC AC AC AC AC AC YG
UBC 861	ACC ACC ACC ACC ACC ACC
UBC 873	GACA GACA GACA GACA
UBC 888	BDB CA CA CA CA CA CA CA
UBC 889	DBD AC AC AC AC AC AC AC

7. Táblázat: Az alkalmazott SCot primerek és nukleotid sorrendjük

Primer	Nukleotid sorrend
SCot 1	CAACAATGGCTACCACCA
SCot 13	ACGACATGGCGACCATCG
SCot 14	ACGACATGGCGACACGC
SCot 15	ACGACATGGCGACCGCA
SCot 22	AACCATGGCTACCACCAC
SCot 28	CCATGGCTACCACCGCCA
SCot 29	CCATGGCTACCACCGGCC
SCot 30	CCATGGCTACCACCGGCG
SCot 31	CCATGGCTACCACCGCCT
SCot 35	CATGGCTACCACCGGCC

8. táblázat: A polimeráz láncreakció lépései és hőmérsékleti profilja.

Folyamat	Hőmérséklet (°C)	Idő (perc)	Ciklusok száma
Elődenaturáció	94	5	
Denaturáció	94	1	40
Primerek kötődése	49	1	
Lánchosszabbítás	72	1,5	
Lehűtés	4		

4.2.3. Adatok kiértékelésének menete

A PCR termékek elválasztásához 1%-os (v/w) etídium bromiddal festett agaróz gélrt használtunk, 1xTBE pufferben. A minták eredményes értékeléséhez 110 V-on, 60-120 percen keresztül választottuk szét a fragmentumokat (primertől függően), majd UV fény segítségével vizualizáltuk a gélmintázatot.

A gélképek értékelése adott méretű fragmentum jelenléte (1) vagy hiánya (0) alapján történt, a kapott eredményeket Microsoft Excel táblázatba rögzítettük. A bináris táblázatot a PAST nevű programmal elemeztük mind az ISSR, mind a SCot primerek esetében dendrogramot, PCA grafikont, illetve Stacked grafikont készítettünk (PAST, 2001). A dendrogram készítés esetében az ISSR és a SCot módszer esetén is Paired group (UPGMA) algoritmust használtunk, Jaccard hasonlósági indexet alkalmazva.

A polimorf fragmentumok gyakorisága mutatja meg nekünk, hogy az általunk vizsgált egyedek genetikailag mennyire változékonyak. Egy populációnak a genetikai variabilitását a polimorf fragmentumok és az egyed szinten talált összes fragmentum számából lehet kiszámolni, amelyet a 3. ábra mutat meg.

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$$

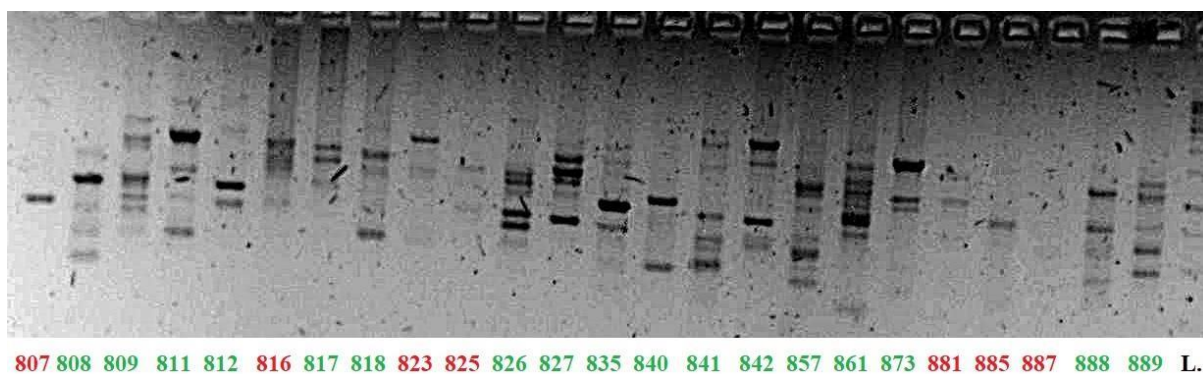
3. Ábra: n=genotípusok száma, a p_i = az i-edik genotípus gyakorisága

5. EREDMÉNYEK

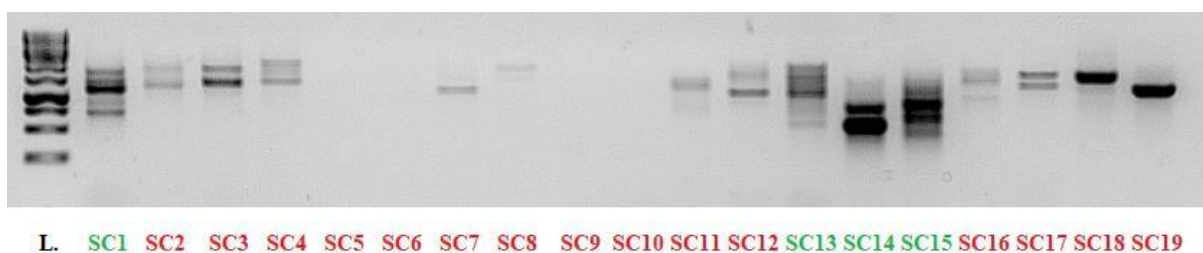
5.1. Adatok kiértékelése

5.1.1. Az ISSR és SCot primerek előzetes tesztelésének eredménye

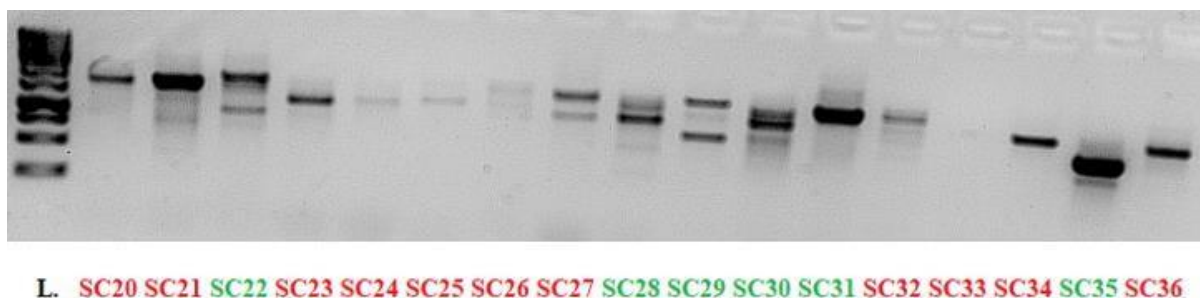
Első lépésként mind az ISSR, mind a SCot primerekkel végeztünk egy-egy teszt vizsgálatot, hogy lássuk melyek azok a primerek, amelyek több, jól látható amplifikátumot eredményeznek. Összes 24 ISSR és 36 SCotT primert teszteltünk. Az ISSR primerek esetén 24 primert teszteltünk, melyből végül 17 került kiválasztásra, a SCot primerek esetében 36 primerből végül 10 került kiválasztásra. Az ISSR primerekkel végzett teszt eredményét a 4. ábra, még a SCot primerekkel végzett vizsgálat eredményeit a 5. ábra és az 6. ábra mutatja be. Az ábrákon zöld szín jelöli az általunk kiválasztott primereket és piros szín jelöli az általunk végül nem használt primereket.



4. Ábra: Az ISSR primerekkel végzett első teszt, amely alapján kiválasztottuk a vizsgálatunkban alkalmazandó primereket.



5. ábra: A SCot primerekkel végzet első teszt eredménye (SC1-SC19), amely alapján kiválasztottuk a vizsgálatunkban alkalmazandó primereket.



6. Ábra: A SCot primerekkel végzet első tesz eredménye (SC20-SC36), amely alapján kiválasztottuk a vizsgálatunkban alkalmazandó primereket.

5.1.2. Az ISSR primerekkel történő vizsgálat eredménye

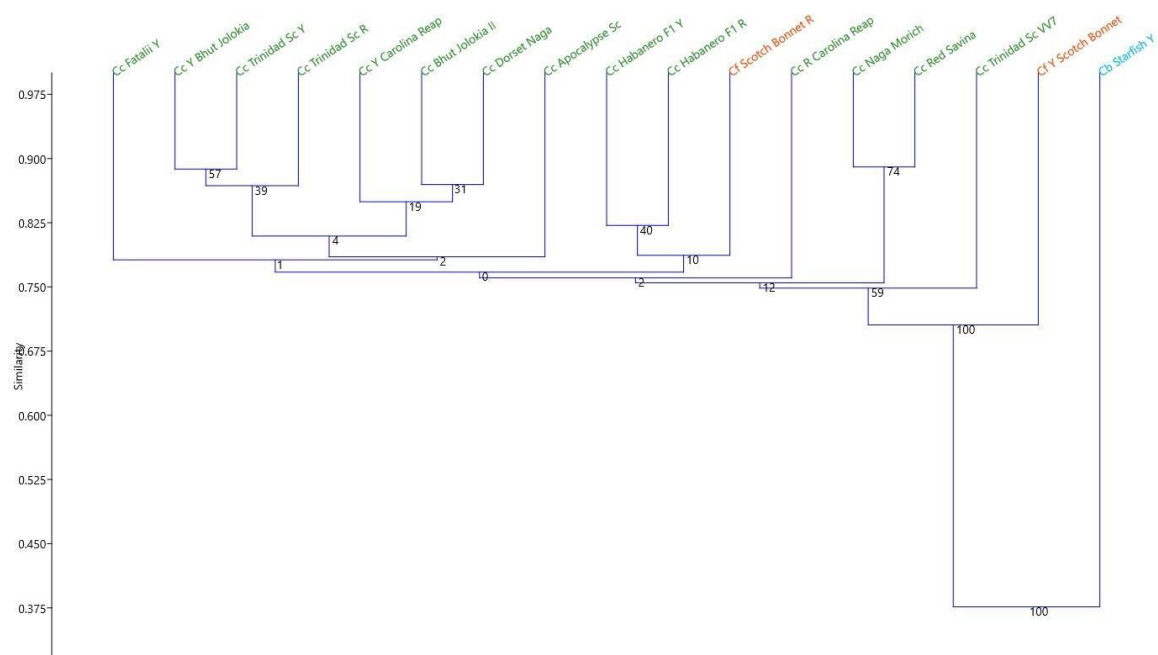
Mind a 17 kiválasztott ISSR primer használatával értékelhető amplifikáció történt. A bináris táblázatok adathalmazát felhasználva elemeztük a primerek polimorfizmusát, amelyet a 7. táblázatban gyűjtöttünk össze. Összesen 137 db fragmentum képződött, ami primerenként átlagosan 8,06 fragmentumot jelent. Az amplifikálódott fragmentumok 80,29%-a polimorfnak bizonyult. A legkevesebb polimorf fragmentumot a UBC 840-es és UBC 873-es primer eredményezte, míg a legtöbb a UBC 809, UBC 826 és a UBC 835-es primer esetében volt. A UBC 857-es primerrel amplifikált fragmentumból nem volt egy se polimorf, míg hét primer esetén az összes amplifikált fragmentumok polimorfnak bizonyult (7. táblázat).

A legnagyobb polimorfizmus a UBC 808, UBC 809, UBC 811, UBC 817, UBC 818, UBC 835, UBC 842 primerek adták melyeknél a polimorfizmus mértéke 100% volt. A bináris táblázat felhasználásával UPGMA dendrogramot készítettük a PAST szoftver segítségével, mely az 7. ábrán látható. Ugyanennek a szoftvernek a segítségével főkoordináta analízist (PCoA) is végeztünk, melynek eredménye a 8. ábrán látható és egy Stacked grafikont, amely a 9. ábrán látható. Mind a dendrogram, mind a PCA ábra jól megmutatja, hogy az általunk vizsgált *Capsicum chinense* fajták genetikailag közel állnak egymáshoz. Érdekes, hogy az általunk kiválasztott két *Capsicum frutescens* fajta a közül a ‘Scotch Bonnet Red’ közel áll a *Capsicum chinense* fajtákhoz, míg a ‘Yellow Scotch Bonnet’ jól elkülönül a dendrogram egy másik ágán, illetve a PCoA ábrán is távolabb helyezkedik el. Az egyetlen vizsgált *Capsicum baccatum* fajta a ‘Starfish Yellow’ minden más fajtától távol esik, a dendrogramon teljesen külön ágon található és a PCA ábrán is nagy távolságra helyezkedik el az összes többitől. A dendrogramon jól látható, hogy a *C. chinense* fajták két nagyobb ágon helyezkednek el. A képen látható bal oldali nagyobb ágon belül két kisebb ág van, amiken két-két fajta szorosan helyezkedik és egy harmadik elkülönül. Az egyik csoportban a ‘Yellow Bhut Jolokia’ és a

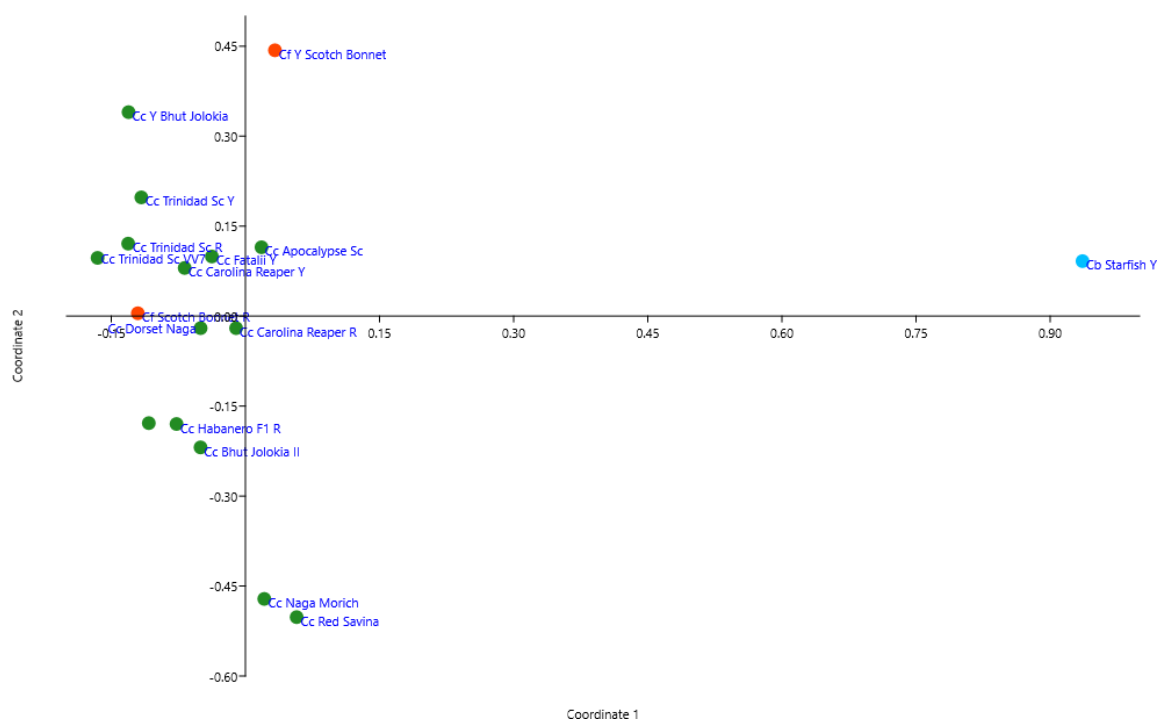
‘Trinidad Scorpion Yellow’ és hozzájuk csatlakozik a ‘Trinidad Scorpion Red’. A másik kisebb ágon helyezkedik el a ‘Bhut Jolokia II’ és a ‘Dorset Naga’, és hozzájuk csatlakozik ‘Carolina Reaper Yellow’. Az ágrajz ezen részéhez kapcsolódik még két fajta, a ‘Fatalii Yellow’ és a ‘Apocalypse Scorpion’. A másik nagyobb ágon szorosan egymás mellett helyezkedik el a ‘Habanero F1 Yellow’ és a ‘Habanero F1 Red’. Ugyanezen az ágon található még ‘Scotch Bonnet Red’, ami *C. frutescens* fajta, illetve a ‘Carolina Reaper Red’. Egy különálló kisebb ágon található a ‘Naga Morich’ és a ‘Red Savina’ és közvetlen emellett a páros mellett helyezkedik el a ‘Trinidad Scorpion VV7’. A Stacked grafikon megmutatja, hogy az egyes fajták esetében hány fragmentum amplifikálódott. A ‘Starfish Yellow’ esetében volt a legkisebb a fragmentum szám, míg a ‘Habanero F1 Y’ estében a legnagyobb.

7. Táblázat: Az ISSR primerek, amelyeket alkalmaztunk, az amplifikált fragmentumok száma, a polimorf fragmentum száma és ezek %-os aránya.

Alkalmazott primer	Összes amplifikálódott fragmentek száma	Polimorf fragmentek száma	Polimorf lókuszok
UBC 808	10	10	100%
UBC 809	11	11	100%
UBC 811	5	5	100%
UBC 812	11	10	90,90%
UBC 817	6	6	100%
UBC 818	6	6	100%
UBC 826	12	11	91,66%
UBC 827	11	9	81,80%
UBC 835	11	11	100%
UBC 840	4	1	25%
UBC 841	10	8	80%
UBC 842	8	8	100%
UBC 857	4	0	0%
UBC 861	11	4	36,36%
UBC 873	3	1	33,33%
UBC 888	8	5	62,50%
UBC 889	6	4	66,66%



7. Ábra Az ISSR markerek alapján készült UPGMA dendrogram.



8. Ábra: Az ISSR markerek alapján készült PCoA elemzés.



9. Ábra: Az ISSR markerek alapján készített Stacked grafikon, mely az amplifikált fragmentumok számát szemlélteti.

5.1.3. A SCot primerekkel történő vizsgálat eredménye

Mind a 10 kiválasztott SCot primer esetében értékelhető amplifikáció történt. A 8. táblázat-ban elemeztük a primerek polimorfizmusát a bináris táblázatok adathalmazát felhasználva. Összesen 105 db fragmentum képződött, ami primerenként átlagosan 6,18 fragmentumot jelent. Az amplifikálódott fragmentumok 92,38% polimorfnak bizonyult. A legkevesebb polimorf fragmentumot a SCot 35-ös primer eredményezte, míg a legtöbbet a SCot 15-ös primer. Négy primer esetén minden fragmentum polimorfnak bizonyult.

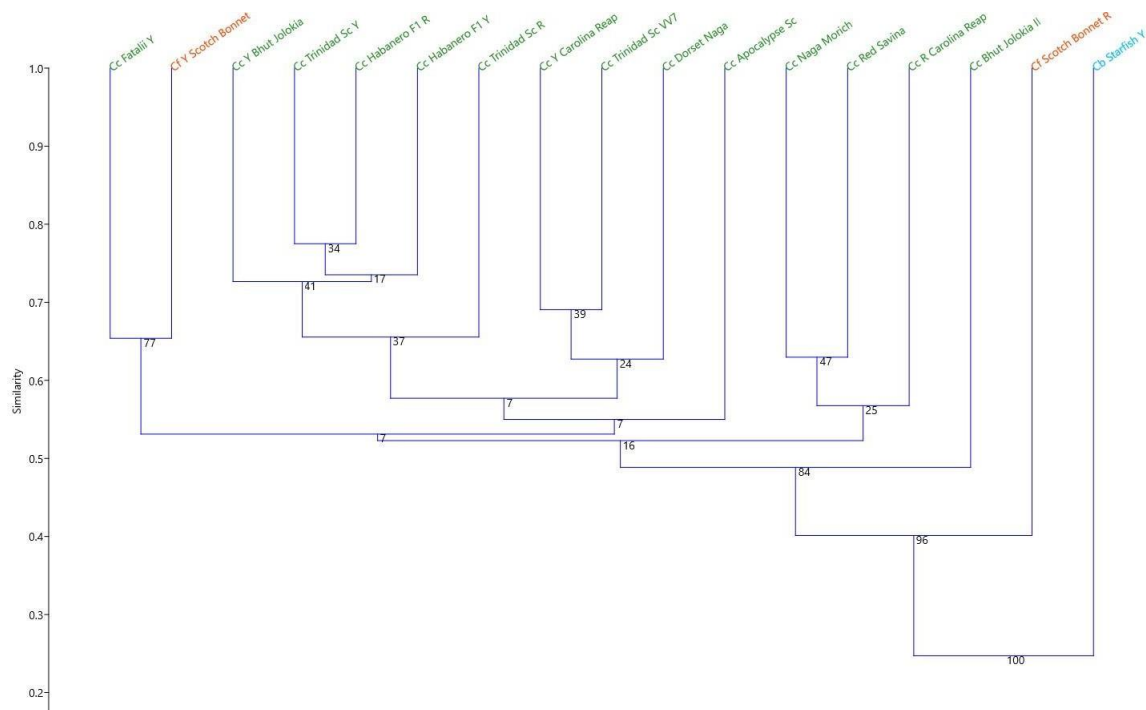
A primerek polimorfizmusát a 8. táblázat mutatja be.

8. Táblázat A SCot primerek, amelyeket alkalmaztunk, az amplifikált fragmentek száma, a polimorf fragmentek száma és ezek %-os aránya.

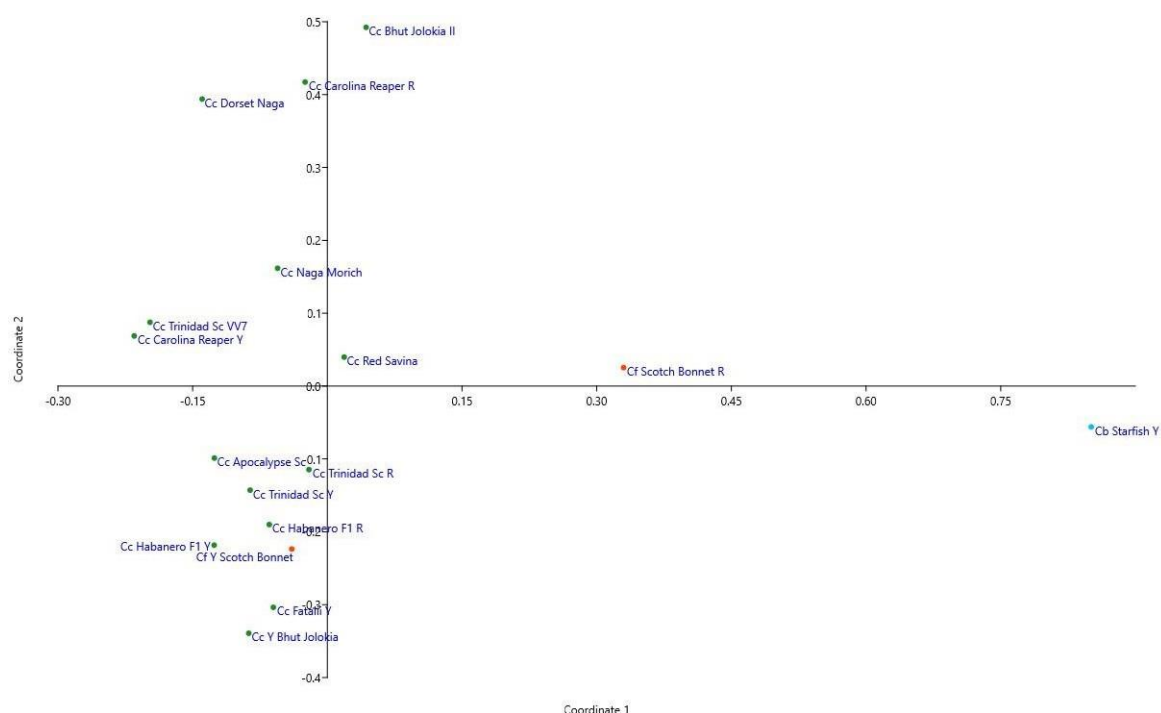
Alkalmazott primerek	Összes amplifikálódott fragmentek száma	Polimorf fragmentek száma	Polimorf lókuszok %
SCot 1	5	4	80%
SCot 13	15	15	100%
SCot 14	22	21	95,45%
SCot 15	31	31	100%
SCot 22	5	2	40%
SCot 28	6	6	100%
SCot 29	7	7	100%
SCot 30	6	5	83,33%
SCot 31	6	5	83,33%
SCot 35	2	1	50%

A SCot markerek alapján készített dendrogram, a 10. ábrán látható, míg a PCoA elemzés a 11.-ik ábrán és a 12.-ik ábra pedig a Stacked grafikont mutatja be. A dendrogram az ISSR módszer alapján készült ábrához hasonló. Az összes *Capsicum chinense* fajta egy kládon helyezkedik el, közel állnak egymáshoz genetikailag. Érdekes módon ezen a törzsfán a *Capsicum frutescens* fajták elhelyezkedése máshogyan alakult. A ‘Yellow Scotch Bonnet’, amely az előbb távol helyezkedett el a többi fajtától, most a ‘Fatalii Y’ fajtával egy ágra került, míg ezen az ábrán a ‘Scotch Bonnet Red’ fajta helyezkedik el távolabb az összes többi fajtától. Ezen az ábrán három nagyobb ágra tagolódtak a *C. chinense* fajták. A baloldali nagy ágon jól látható, hogy a ‘Trinidad Scorpion Yellow’ és a ‘Habanero F1 Red’ helyezkedik el közös ágon, és közvetlen mellettük helyezkedik el a ‘Habanero F1 Yellow’. Az ISSR primerekkel alapján a két Habanero fajta egy ágra került, itt viszont nem és ugyanez igaz a ‘Yellow Bhut Jolokia’-ra és a ‘Trinidad Scorpion Yellow’-ra is. Egy kisebb mellékágon ehhez a nagyobb ághoz kapcsolódik még a ‘Trinidad Scorpion Red’ is. A másik nagyobb ágon egymás mellett közvetlenül helyezkedik el a ‘Yellow Carolina Reaper’ és a ‘Trinidad Scorpion VV7’ és velük alkot egy csoportot a ‘Dorset Naga’, amely az előbb szoros kapcsolatban volt az ISSR primerek esetén a ‘Bhut Jolokia II’-vel, amely most máshol helyezkedik el a törzsfán. Az imént leírt két nagyobb ág egy pontból indul illetve még ebből a pontból indul a ‘Apocalypse Scorpion’ ága is, mely egyedül helyezkedik el rajta, ahogy az az előző ábrán is történt. Az utolsó ágon helyezkedik el közvetlen egymás mellett a ‘Naga Morich’ és a ‘Red Savina’. A törzsfán látható csoportosítást megerősíti a PCoA ábra is (11. ábra). A Stacked grafikonon (12. ábra), bemutatja,

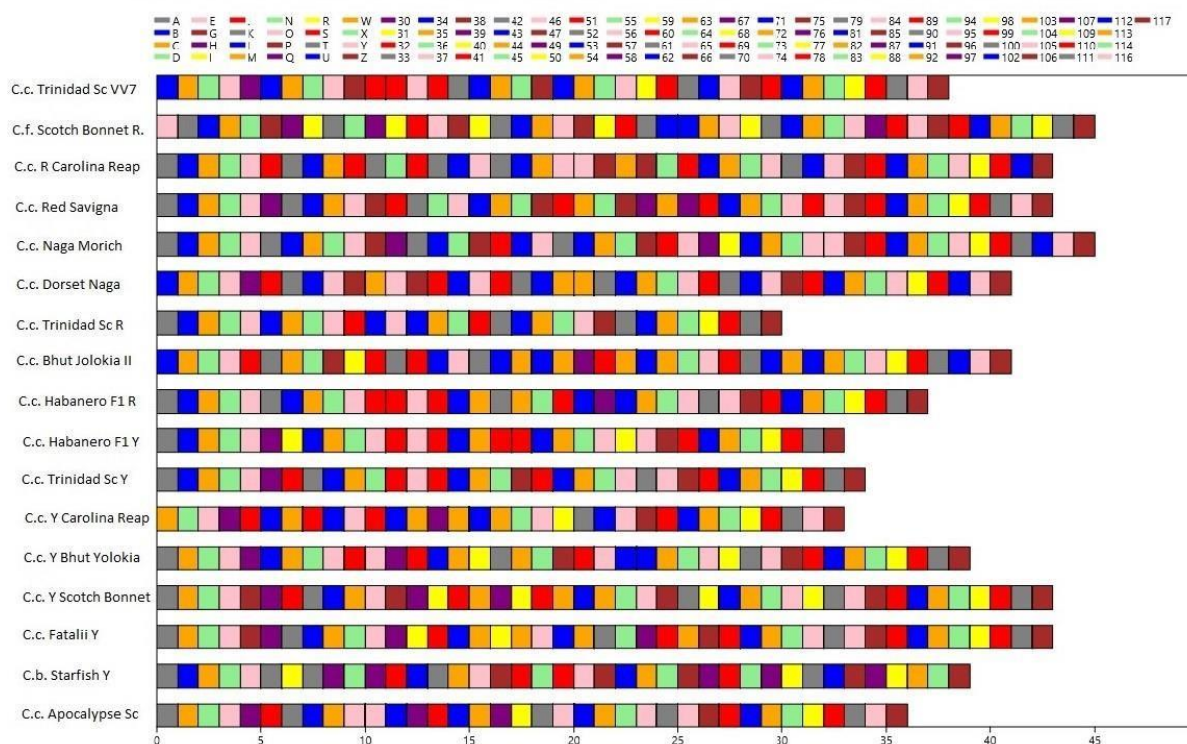
hogyan alakult az amplifikált fragmentumok száma a SCoT markerek alkalmazásával. A ‘Scotch Bonnet Red’ és a ‘Naga Morich’ fajták esetében volt a legnagyobb a fragmentumok száma.



10. Ábra: A SCoT markerek alapján készített UPGMA dendrogram.



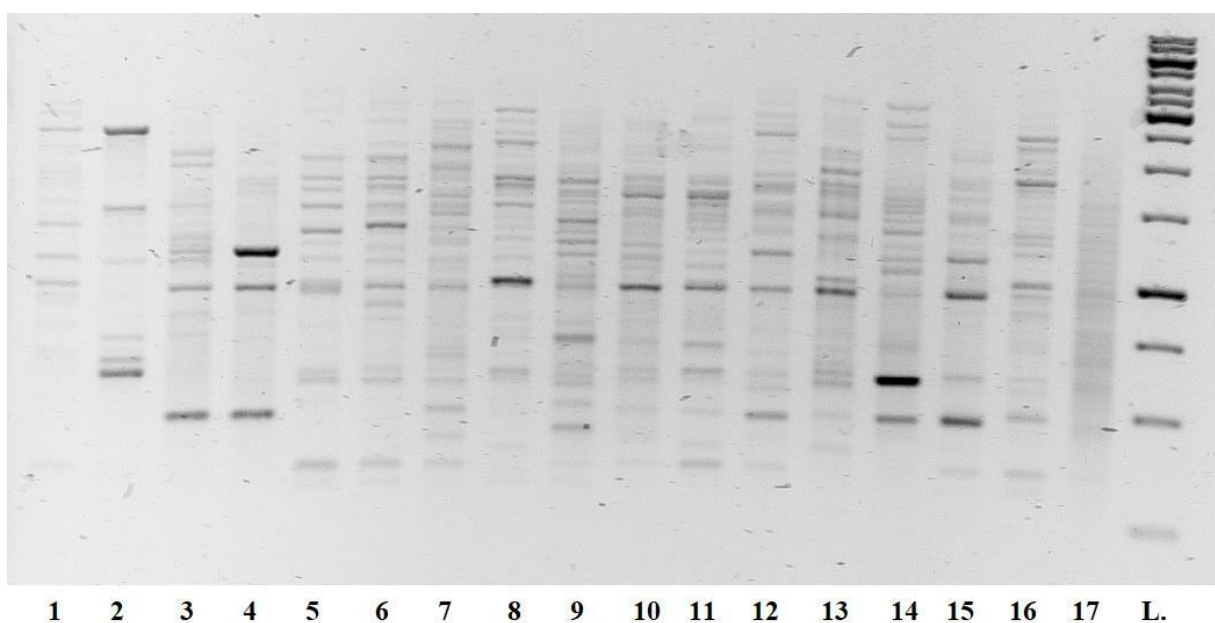
11. Ábra: A SCot markerek alapján elvégzett PCoA elemzés



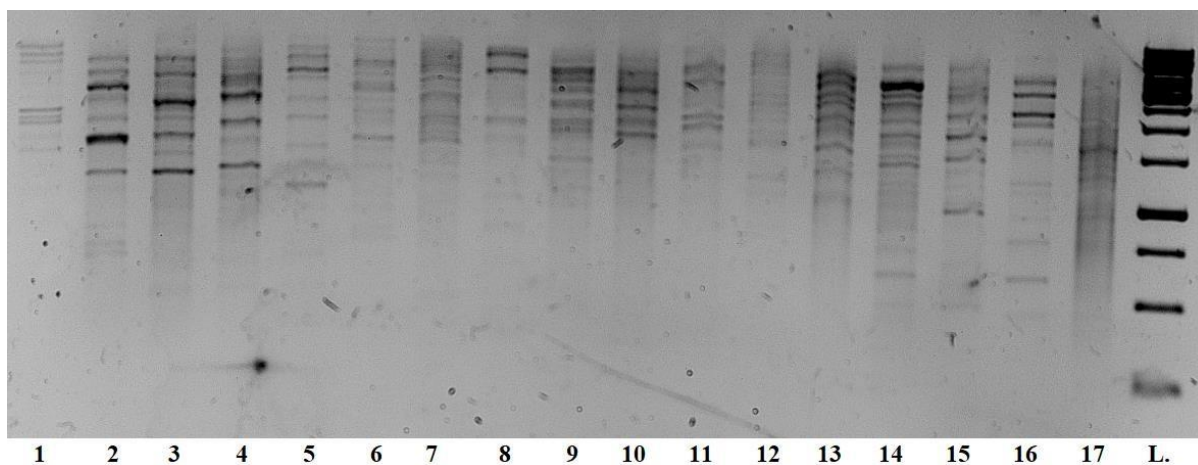
12. Ábra: A SCot markerekkel amplifikált fragmentumok száma Stacked grafikonon ábrázolva.

5.1.4. A primerek kötődéséhez szükséges hőmérséklet optimalizálása

Vizsgálataink alatt, a PCR-k során, minden alkalommal 49°C-ot alkalmaztunk a primerek bekötődési fázisánál. Az SC15-ös primer esetén szükségesnek láttuk, a hőmérséklet feljebb vételét 52°C-ra, hogy kevesebb PCR termékünk legyen, könnyítve ezzel a kiértékelés folyamatát. A 13. ábrán látható a 49°C-on végzett PCR termékek elektroforézis képe, melynek kiértékelését a rendkívül sok fragmentum jelenléte miatt kivitelezhetetlennek láttuk. Ezért megismételtük a reakciót egy magasabb primertapadási hőmérsékletet alkalmazva. A 14. ábrán látható az 52°C-on végzett reakcióval létrejött fragmentumok elektroforézis képe, amely lényegesen kevesebb fragmentumot eredményezett és ezt már sikerrel értékeltük ki. A két képet összevetve jól látható, hogy a magasabb primertapadási hőmérséklet egy letisztultabb, jobban átlátható képet eredményezett.



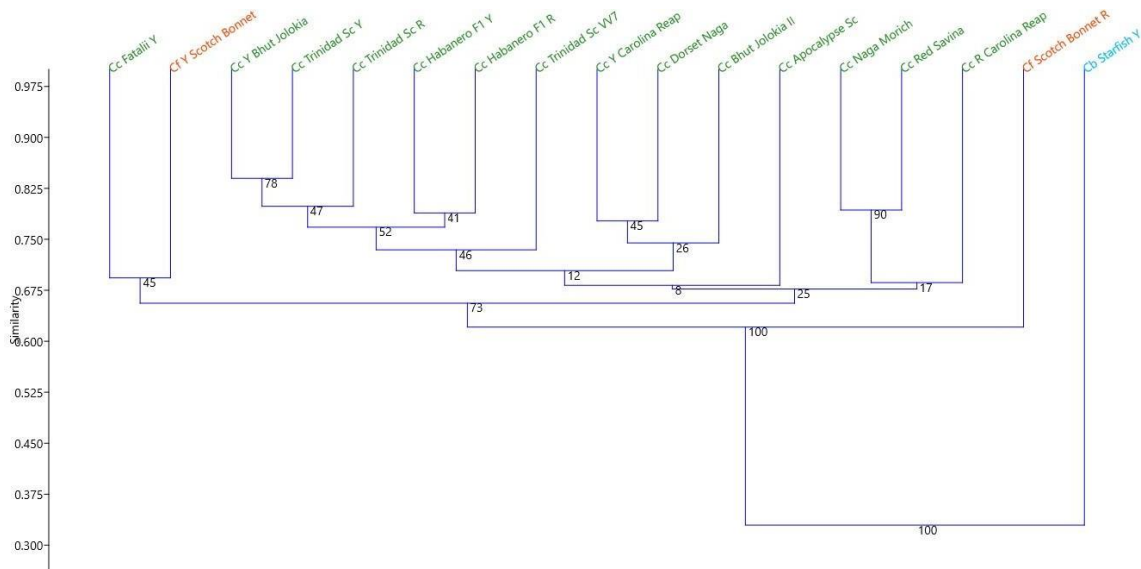
13. Ábra A 49°C-os primer bekötődési hőmérséklettel elvégzett PCR képe.



14. Ábra Az 52°C-os primer bekötődési hőmérséklettel elvégzett PCR képe.

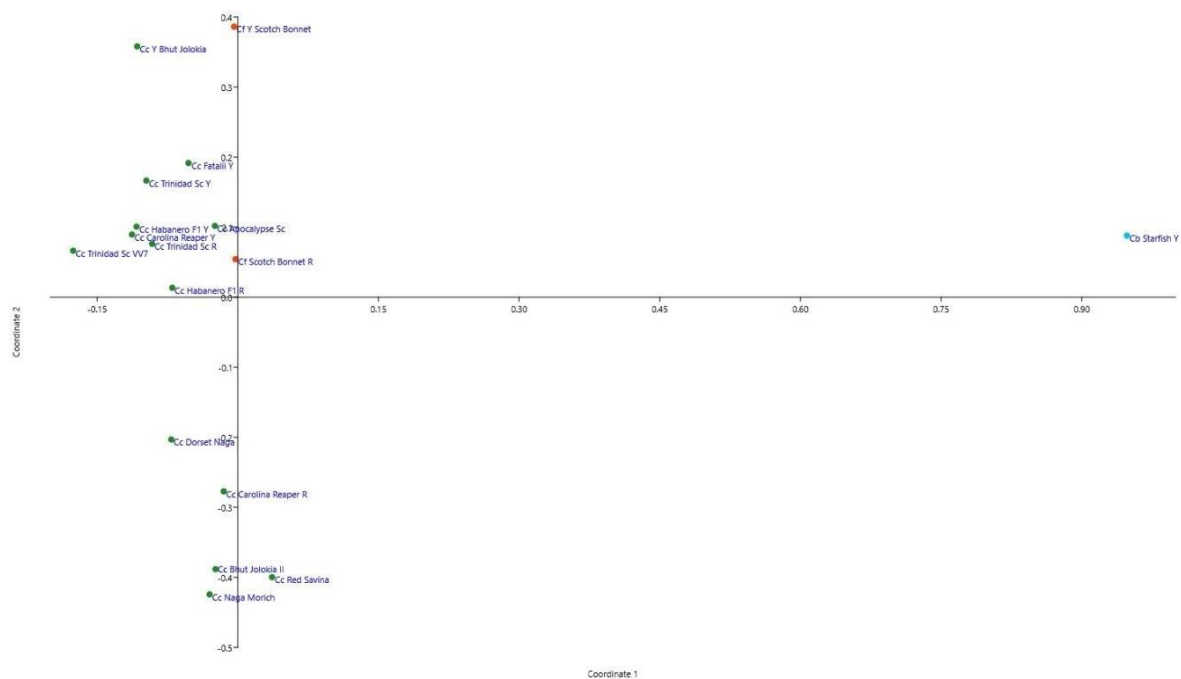
5.1.5. Az ISSR és SCot primerek eredményeinek kombinált értékelése

Az ISSR és SCot primerek által kapott eredményeket kombinálva is elemeztük. Az kombinált eredmények alapján készült dendrogramot a 15. ábra, míg a PCoA képet a 16. ábra mutatja be.



15. Ábra: Az ISSR és SCot markerek együttes figyelembevételével készített dendrogram.

Mivel a két módszer külön-külön is nagyon hasonló eredményt hozott, nem meglepő, hogy a kettő kombinált elemzése is hasonló ábrákat eredményezett. A *Capsicum baccatum* fajba tartozó ‘Starfish Yellow’ fajta nagyon távol áll a többi fajtától, míg a két *Capsicum frutescens* fajta szintén megtartotta azt a pozíciót, amelyet a korábbi elemzések során mutattak. Mindemellett a *Capsicum chinense* fajták két nagy csoportot alkotnak, mely két csoport mind a dendrogrammon, mint a főkoordináta elemzésben jól elkülönül.



16.Ábra: Az ISSR és SCot primerek adatait felhasználva készített PCoA ábra.

6. EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA

A *Capsicum* nemzetségen belül végzett kísérletek során nem jelezték, hogy a DNS extrakció kapcsán bármilyen komplikáció lépett volna fel vagy, hogy az alapvető DNS kivonási protokolon változtattak volna (Prince et al., 1997), mi sem tapasztaltunk ilyen jellegű problémát. Az ISSR primerekkel végzett kutatások során Thul és munkatársai (2011) 22 fajtán végeztek kísérletet a *Capsicum* nemzetségből. A genotípusok között jelentős genetikai változatosságot figyeltek meg az RAPD és ISSR primerek alkalmazásával. Az OPJ-20 RAPD-primer és az UBC-826 ISSR primer által generált sávprofil egyértelműen kimutatta a genotípusok közötti genetikai variabilitást. A 40 vizsgált RAPD-primer közül 27 reprodukálható sávokat hozott létre. Az összesen 71 fragmentumból 67 (94,4%) polimorf volt, négy viszont nem. Hasonlóképpen, az ISSR primerek kezdeti szűrése az egyértelmű és megismételhető sávprofilok szempontjából azt mutatta, hogy a 13 vizsgált primer közül csak nyolc adott egyértelmű és megismételhető sávokkal rendelkező amplifikációs termékeket. Ez a nyolc primer összesen 76 sávot generált, amelyek közül 75 (98,7%) volt polimorf. Az eredmények azt mutatták, hogy esetükben az ISSR primerek hatékonyabbak voltak a genotípusok közötti polimorfizmus kimutatásában. Esetünkben sem volt ez másképp, hiszen az ISSR primerek esetén a vizsgálatokat 17 primerrel végeztük el, amelyek közül hét olyan primer is volt, amelyek esetén a minták 100%-os polimorfítást mutattak, összességében pedig 80,29%-os volt a polimorfítás az egyedek között.

Tsaballa és munkatársai (2015) csilipaprikák molekuláris jellemzését végezték el ISSR, SCot és EST-SSR molekuláris markerekkel. A SCot primerekkel végzett PCR-amplifikáció reprodukálható amplifikációs termékeket eredményezett. Összesen 53 fragmentumot azonosítottak a 30 *Capsicum annuum* tájfajta és a 'Starvos' fajta vizsgálatára során hat SCot markerrel, amelyek közül 48 sáv polimorf volt, azaz az egyedek 90,57%-os polimorfizmust mutattak. Az amplifikált termékek mérete 300 és 5100 bp között mozgott.

A hat ISSR-primerből álló készlet minden vizsgált fajtánál többsávú mintázatot mutatott. Ez a primer-készlet összesen 53 megbízható és reprodukálható sávot amplifikált a 30 vizsgált paprika fajta és a 'Starvos' fajta DNS-éből, amelyek közül 44 volt polimorf. Az egyedek közötti polimorfítás 83,6% volt. Az összes amplifikált fragmentumok száma 6 és 11 között, a polimorf fragmentumok száma pedig primerenként 4 és 10 között volt. Az átlagos fragmentumszám 7,5 volt. A fragmentumok mérete 400 bp és 3100 bp között változott.

Esetünkben a SCot primerek által vizsgált a 17 fajta hasonló, 92,38%-os polimorfitást mutatott, illetve az ISSR primerek által végzett kísérlet során is hasonló 80,29%-os polimorfizmus értéket kaptunk.

A növények, amelyekről a növényanyagot begyűjtöttük, azonos termesztőközegben, azonos környezeti feltételek mellett nőttek, mégis azonosíthatóak voltak köztük a morfológiai különbségek. Ez megmutatkozott a növények magasságában, szélességében és eltérő virágzási idejében. A választott molekuláris markerekkel, mind az ISSR, mind a SCoT technikával elkülönültek a vizsgált fajták egymástól, a három vizsgált faj elkülönült egymástól.

1990-ben egy angol házaspár, Michael és Joy Michaud, 'Naga Morich' magokból neveltek növényeket, majd tovább szaporították a fajtát. Az évek alatt rengetegféle színű, formájú és erősségű utód hasadt ki az utódpopulációkból. Így jött létre a genetikai szempontból sokkal stabilabb 'Dorset Naga' is, amelyet sokan a mai napig tévesen 'Naga Morich'-nak hívnak, pedig két külön fajtáról beszélünk. Esetünkben ez jól látszik, mind az ISSR, mind a SCot primerekkel készített ábrákon, hogy bár genetikailag közel állnak egymáshoz, mégsem a legközelebbi rokonok a vizsgált fajták között ([http 20](#)).

Yukatanban, Mexikóban hoztak létre négy Habanero F1 vonalat, melyek színükben térnek el elsősorban: sárga, piros, narancssárga és lila színű terméseik vannak. Mi ebből a 'Habanero F1 Yellow'-t és a 'Habanero F1 Red'-et vizsgáltuk, így nem véletlen, hogy a két fajta ilyen közel áll egymáshoz ábráinkon (Muñoz, 2020).

Eredményeink alapján a 'Naga Morich' és a 'Carolina Reaper Red' nagyon közel állnak egymáshoz genetikailag. A 'Carolina Reaper Red' megalkotója Ed Currie a 'Naga Morich'-ot használta alapanyagul a nemesítés során. Ez a kapcsolat az ábráinkon is remekül megmutatkozik ([http 21](#)).

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A csilipaprika egy kedvelt zöldségnövény, amely mára a világ legtöbb részét meghódította. Alkalmazzák fűszerként, dísnövényként, de legismertebb hatóanyagát, a kapszaicint, felhasználják a gyógyászatban is, illetve a húsosfalú toktermés magas C-vitamin tartalma miatt nagyon jó egészségmegőrző hatása van termésének.

A csilipaprika Európában való elterjedése a Törökországban fellépő borshiány, illetve ebből kifolyólag, annak magas ára miatt valósulhatott meg, mivel szükség lett egy alternatív fűszernövényre. A paprika 1494-ben került Európába, mikor Kolumbusz visszatért második Amerikai útjáról.

Munkánk során a *Capsicum* nemzetség 17 fajtáját felhasználva készítettünk összehasonlító jellemzést PCR alapú molekuláris markerekkel. Az előzetes teszt alapján, melyben 24 ISSR és 36 SCoT markert alkalmazhatóságát vizsgáltuk, végül 17 ISSR és 10 SCoT primert használtunk fel. Az agaróz gélelektroforézis után, a géleképeket prezencia abszencia alapján értékeltük és az adatokat bináris táblázatba foglaltuk, így lehetőségünk nyílt az egyedek fragmentum alapú összehasonlítására. Az eredményeket a PAST program segítségével elemeztük, mellyel UPGMA dendrogramot, főkoordináta elemzést, illetve Stacked analízist végeztünk.

Eredményeink bemutatják a vizsgált fajták genetikai kapcsolatát. A dendrogramok és főkoordináta elemzés segítségével megállapítottuk, hogy a *Capsicum chinense* fajba tartozó fajták közötti genetikai különbség igen kis mértékű. A két *Capsicum frutescens* fajból származó fajta esetén jól kivehető, hogy genetikailag sokkal közelebb állnak a *Capsicum chinense* fajba tartozó fajtákhoz, mint a *Capsicum baccatum* faj 'Starfish Yellow' fajtához amely minden ábrán kivétel nélkül a legmesszebb helyezkedik a többi vizsgált fajtától és mely már a vizsgálatok során, a fragmentumok agaróz gélen elválasztott mintázata alapján is elkülönült a többi fajtától. Mind az alkalmazott ISSR, mind a SCoT markerek alkalmasak a fajok elválasztására, illetve az egyes fajták elkülönítésére.

8. IRODALOMJEGYZÉK

1. Alayachew S., Atnafu D., Gedefa S. (2017): Genetic diversity study of Ethiopian hot pepper cultivars (*Capsicum* spp.) using Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) marker. *Journal of Plant Molecular Breeding* 5(2): 27-37. DOI: [10.22058/jpmb.2019.91684.1169](https://doi.org/10.22058/jpmb.2019.91684.1169)
2. Amom, T., Nongdam, P. (2017): The use of molecular marker methods in plants: a review. *International Journal of Current Research and Review*, 9(17): 1-7. DOI: 10.7324/IJCRR.2017.9171
3. Barboza, G. E., García, C. C., de Bem Bianchetti, L., Romero, M. V., & Scaldaferrro, M. (2022). Monograph of wild and cultivated chili peppers (*Capsicum* L., Solanaceae). *PhytoKeys*, 200: 1. DOI: [10.3897/phytokeys.200.71667](https://doi.org/10.3897/phytokeys.200.71667)
4. Budiyaniti, T., Kirana, R., Indriyani, N. P., Husada, E. D., Wahyuni, S., Suliansyah, I., Hervani, D. (2024). Genetic Diversity of Local Chili (*Capsicum annum* L.) from West Sumatra Indonesia Based on Inter Simple Sequences Repeat (ISSR) Markers. *KnE Social Sciences*, 9(26): 181-190. DOI: 10.18502/kss.v9i26.17083
5. CABI Head Office, Wallingford, UK (2018): *Capsicum pubescens* (rocoto) *Cabi compendium* DOI: <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.47408783>
6. Collard, B. C., Mackill, D. J. (2009). Start codon targeted (SCoT) polymorphism: a simple, novel DNA marker technique for generating gene-targeted markers in plants. *Plant molecular biology reporter*, 27: 86-93. DOI: 10.1007/s11105-008-0060-5
7. Colonna, V., D'Agostino, N., Garrison, E., Albrechtsen, A., Meisner, J., Facchiano, A., Tripodi, P. (2019). Genomic diversity and novel genome-wide association with fruit morphology in *Capsicum*, from 746k polymorphic sites. *Scientific reports*, 9(1): 10067. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46136-5>
8. Csilléry, G. (2006). Pepper taxonomy and the botanical description of the species. *Acta Agronomica Hungarica*, 54(2): 151-166. DOI: <https://doi.org/10.1556/AAgr.54.2006.2.5>
9. Dagnoko, S., Yaro-Diarisso, N., Sanogo, P. N., Adetula, O., Dolo-Nantoumé, A., Gamby-Touré, K., Diallo-Ba, D. (2013). Overview of pepper (*Capsicum* spp.) breeding in West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 8(13): 1108-1114.
10. Datiles M. J., Acevedo-Rodríguez P. (2014): *Capsicum baccatum* (pepper). *Cabi compendium*. DOI: <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.120109>
11. Esselman, E. J., Jianqiang, L., Crawford, D. J., Windus, J. L., Wolfe, A. D. (1999). Clonal diversity in the rare *Calamagrostis porteri* ssp. *insperata* (Poaceae): comparative results for allozymes and random amplified polymorphic DNA (RAPD) and intersimple sequence

- repeat (ISSR) markers. *Molecular Ecology*, 8(3): 443-451.
DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.1999.00585.x>
12. Farell, E. M., Alexandre, G. (2012). Bovine serum albumin further enhances the effects of organic solvents on increased yield of polymerase chain reaction of GC-rich templates. *BMC research notes*, 5: 1-8. DOI: [10.1186/1756-0500-5-257](https://doi.org/10.1186/1756-0500-5-257)
 13. Hajósne N. M., (szerk) (1999). Genetikai variabilitás a növénynemesítésben. Budapest, Mezőgazda Kiadó. pp. 42-43.
 14. Hardjasa, A., Ling, M., Ma, K., Yu, H. (2010). Investigating the effects of DMSO on PCR fidelity using a restriction digest-based method. *J Exp Microbiol Immunol*, 14: 161-164.
forrás: [Investigating the Effects of DMSO on PCR Fidelity Using a Restriction Digest-Based Method](https://doi.org/10.1186/1756-0500-5-257)
 15. Jeong H-J, Jo Y. D., Park S.-W., Kang B.-C. (2010): Identification of Capsicum species using SNP markers based on high resolution melting analysis. *Genome*. 53(12): 1029-1040. DOI: <https://doi.org/10.1139/G10-094>
 16. Kumar L. D., Kathirvel M, Rao G.V, Nagaraju J. (2001): DNA profiling of disputed chilli samples (*Capsicum annum*) using ISSR-PCR and FISSR-PCR marker assays. *Forensic Science International*, Volume 116, Issue 1: Pages 63-68. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(00\)00350-9](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(00)00350-9)
 17. Li, M., Zhao, Z., Miao, X., Zhou, J. (2013). Genetic diversity and population structure of Siberian apricot (*Prunus sibirica* L.) in China. *International journal of molecular sciences*, 15(1): 377-400. DOI: [10.3390/ijms15010377](https://doi.org/10.3390/ijms15010377)
 18. Benyóné György Zsuzsanna (2013): Molekuláris markerezés. In: Lukács N.: *Növényi biotechnológia egyetemi jegyzet*. Budapest: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem pp.58
 19. Mihálka V. (2015): IN VITRO SZELEKCIÓ ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI PAPRIKA (*CAPSICUM ANNUUM* L.) NEMESÍTÉSÉBEN. *Gradus*, Vol 2, No 2: 289-297 (ISSN 2064-8014): 290-230
 20. Muñoz-Ramírez, L. S., Peña-Yam, L. P., Álvarez-Gil, M. A., Iglesias-Andreu, L. G., Avilés-Viñas, S. A., Canto-Flick, A., Santana-Buzzy, N. (2020). Selection of habanero pepper f1 hybrids (*Capsicum chinense* jacq.) at the yucatan peninsula, mexico with a high potential for different markets. *Agriculture*, 10(10): 478. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10100478>

21. Olatunji, T. L., Afolayan, A. J. (2019). Evaluation of genetic relationship among varieties of *Capsicum annuum* L. and *Capsicum frutescens* L. in West Africa using ISSR markers. *Heliyon*, 5(5). DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01700
22. Papp Z. (2020): A chilik csodálatos világa I. – Származás, jelentőség, környezeti igények. *Agrofórum Online*, forrás: <https://agroforum.hu/szaccikkek/zoldseg/a-chilik-csodalatos-vilaga-i-szarmazas-jelentoseg-kornyezeti-igenyek/>
23. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (palaeo-electronica.org) Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 9 p.
24. Peñuela M., Arias L. L., Viáfara-Vega R., Franco N. R., Cárdenas H. (2020): Morphological and molecular description of three commercial *Capsicum* varieties: a look at the correlation of traits and genetic distancing. *Research Article*, Volume 68: pages 261–277. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00983-8>
25. Prince J.P., Zhang Y., Radwanski E.R., Kyle M.M., Department of Plant Breeding and Biometry, Cornell University, Ithaca, NY 14853: A Versatile and High-yielding Protocol for the Preparation of Genomic DNA from *Capsicum* spp. (Pepper). *HortScience* 32(5): 937-939. forrás: [dna extraction for pepper-libre.pdf](#)
26. Rai, M. K. (2023). Start codon targeted (SCoT) polymorphism marker in plant genome analysis: current status and prospects. *Planta*, 257(2): 34. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04067-6>
27. Do Rêgo, E. R., do Rêgo, M. M. (2016). Genetics and breeding of chili pepper *Capsicum* spp. *Production and breeding of chilli peppers*, 57-80. DOI:10.1007/978-3-319-06532-8_4
28. Rana, M., Sharma, R., Sharma, P., Bhardwaj, S. V., Kumar, S., Brar, S. N., ... & Dogra, R. (2014). Studies on genetic variability and divergence in *Capsicum* for fruit yield and quality traits in North-Western Himalayas. *Ecology. Environment and Conservation*, 21: 429-435. forrás: [73-Maneet Rana.pmd](#)
29. Rezende Naves E., Scossa F., L. Araújo W., Nunes-Nesi A., R. Fernie A., Zsögön, A. (2022): Heterosis and reciprocal effects for agronomic and fruit traits in *Capsicum* pepper hybrids. *Scientia Horticulturae*, 295 (2022): 110821 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110821>
30. Thi V., Thuy B., Ky H., Ba T. T. (2016): Assesment of genetic diversity of chili rootstock using ISSR marker. *CTU Journal of Innovation and Sustainable Development*, (03): 7-13. DOI: 10.22144/ctu.jen.2016.098

31. Thul S. T., Darokar M. P., Shasany A. K., Khanuja S. P. S. (2011) Molecular Profiling for Genetic Variability in Capsicum Species Based on ISSR and RAPD Markers. *Molecular Biotechnology*, 51: 137-147. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12033-011-9446-y>
32. Tsalaballa A., Ganopoulos I., Timplalexi A., Alikis X., Bosmalis I., Irini N.-O., Athanasios T., Madesis P. (2015): Molecular characterization of Greek pepper (*Capsicum annuum* L.) landraces with neutral (ISSR) and gene-based (SCoT and EST-SSR) molecular markers *Biochemical Systematics and Ecology*, 59: 256-263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.02.005>
33. Zietkiewicz E., Rafalski J.A., Labuda D. (1994) Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain-reaction amplification. *Genomics*, 20: 176-183. DOI: <https://doi.org/10.1006/geno.1994.1151>

Hivatkozott weboldalak:

http 1. Gourmetguides: Gourmetguides honlapja: 2024.10.22 forrás:

<https://gourmetguides.hu/a-chili-es-csipossegenek-tortenete/>

http 2. Chilimag: Chilimag honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://chilimag.hu/webshop/>

http 3. Mutant Variety Database: Mutant Variety Database honlapja: Letöltés dátuma: 2024. 10. 22. forrás: <https://nucleus.iaea.org/sites/mvd/SitePages/Search.aspx>

http 4. GombaChili: GombaChili honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://gombaichili.hu/>

http 5 WFO: WFO honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0001020090>

http 6. Nébih: Nébih honlapja: 2024.10.22. forrás:

https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/81819/NFJ_z%C3%B6lds%C3%A9g+gy%C3%B3gy-%C3%A9s+f%C5%B1szern%C3%B6v%C3%A9nyek_2024_v_1_1.pdf/01b7fc85-770d-12ed-e581-985ca49c7c3c?t=1729516860222

http 7. Wikipédia: Wikipédia honlapja: 2024.10.22. forrás:

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Capsicum_cultivars

http 8. NParks: NParks honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://www.nparks.gov.sg/>

http 9. Nutrition and You: Nutrition and You honlapja: 2024.10.22. forrás:

<https://www.nutrition-and-you.com/chili-peppers.html>

http 10. Linden Lane Farm: Linden Lane Farm honlapja: 2024.10.22. forrás:

<https://www.lindenlanefarms.ca/product/apocalypse-scorpion-pepper-transplant/>

- http 11. The Hippy Seed Company: The Hippy Seed Company honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://thehippyseedcompany.com/product/brazilian-starfish-yellow/>
- http 12. Mediteranka: Mediteranka honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://mediteranka.com/index.php/en/katalog/ljute-paprike/item/242-fatalii>
- http 13. Golden Hills Farm: Golden Hills Farm honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://goldenhillsfarm.in/products/yellow-habanero-pepper-chilli-hybrid-f1-seeds/>
- http 14. Pepperseeds: Pepperseeds honlapja: 2024.10.23. forrás: [Habanero Red Super F1 chili seeds](#)
- http 15. Fito Land: Fito Land honlapja: 2024.10.22. forrás: https://www.fitoland.hu/kategoriak/vetomagok_158/chili-paprika-vetomag---naga-morich-fajta_675984?srsId=AfmBOos33JL40RmEHxMvw49EGDwOvDcc5uPGDY2ENKRL7CZQPzZL0n0
- http 16. The Chili Factory: The Chili Factory honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://www.thechillifactory.com/chilli-seeds/trinidad-scorpion-vv7>
- http 17. Paprikadrops: Paprikadrops honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://paprikadrops.hu/a-kapszaicin/>
- http 18. My Organic World: My Organic World honlapja: 2024.10.22. forrás: <https://myorganicworld.net/product/red-habanero-f1/>
- http 19. Thermo Fisher: Thermo Fisher honlapja: 2024.10.23. forrás: <https://www.thermofisher.com/hu/en/home/life-science/cloning/cloning-learning-center/invitrogen-school-of-molecular-biology/pcr-education/pcr-reagents-enzymes/pcr-component-considerations.html>
- http 20. Chili-Plant: Chili Plant honlapja: 2024.10.24. forrás: [Naga Morich Chili | Chili-Plant.com](#)
- http 21. Wikipédia: Wikipédia honlapja: 2024.10.24. forrás: [Naga Morich - Wikipedia](#)

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni ezúton is Benyóné Dr. György Zsuzsanna tanárnőmnek, hogy kitartott mellettem a munkám során és hogy magas szintű szakmai tudásával támogatott és irányított.

Köszönettel tartozom Dr. Halász Júlia tanárnőnek is, amiért segítette munkámat laboratóriumi tevékenységeim során.

Továbbá szeretném megköszönni a Balácsi Richárdnak (Richilieu - Élelmiszeripari vállalat- Üröm) a növényanyag átadásáért és a háttérinformációk biztosításáért.

Az egész Genetika és Növénynevelés tanszéknek a körülmények megteremtéséért és a folytonos jó hangulatért, ami nélkül nem sikerülhetett volna.