

2017

ZAKLJUČNA NALOGA

PAJMON RAK

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

ZAKLJUČNA NALOGA
DOMESTIKACIJA ČILI PAPRIK VRST *Capsicum*
annuum L. IN *Capsicum chinense* Jacq. TER NJIHOVA
RAZNOLIKOST

TAJA PAJMON RAK

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Zaključna naloga

**Domestikacija čili paprik vrst *Capsicum annuum* L. in *Capsicum chinense*
Jacq. ter njihova raznolikost**

(Domestication and diversity of *Capsicum annuum* L. and *Capsicum chinense* Jacq. chili
peppers)

Ime in priimek: Taja Pajmon Rak

Študijski program: Biodiverziteteta

Mentor: izr. prof. dr. Dunja Bandelj

Somentor: asist. dr. Alenka Baruca Arbeiter

Koper, avgust 2017

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Taja PAJMON RAK

Naslov zaključne naloge: Domestikacija čili paprik vrst *Capsicum annuum* L. in *Capsicum chinense* Jacq. ter njihova raznolikost

Kraj: Koper

Leto: 2017

Število listov: 28 Število slik: 1

Število referenc: 28

Mentor: izr. prof. dr. Dunja Bandelj

Somentor: asist. dr. Alenka Baruca Arbeiter

Ključne besede: paprika, čili paprika, *Capsicum*, značilnosti paprike, izvor paprike, domestikacija paprike, raznolikost paprike

Izvleček: Paprika (*Capsicum* spp.) je že dolgo del kulinarike v Srednji in Južni Ameriki, zadnja stoletja pa tudi v ostalih delih sveta. Rod *Capsicum* je zelo zanimiv zaradi svoje raznolikosti in širine uporabe. Ker je čili paprika zadnja leta vedno bolj prisotna tudi v našem okolju, je poznavanje vrst in njihovih lastnosti zelo pomembno. V zaključnem delu smo proučili izvor paprike ter domestikacijo in raznolikost znotraj rodu in posameznih vrst (*Capsicum annuum* L. in *Capsicum chinense* Jacq.). Posvetili smo se pekoči oziroma čili papriki, zaradi zanimive lastnosti pekočine, na katero vpliva prisotnost kapsaicina. Poznavanje raznolikosti je pomembno za programe žlahtnjenja in ustvarjanje novih sort. Poleg tega je pomembno tudi zavedanje od kod izvirajo, kako so se razvile vrste in sorte ter kaj vpliva na raznolikost in izražanje njihovih lastnosti.

Key words documentation

Name and SURNAME: Taja PAJMON RAK

Title of the final project paper: Domestication and diversity of *Capsicum annuum* L. and *Capsicum chinense* Jacq. chili peppers

Place: Koper

Year: 2017

Number of pages: 28 Number of figures: 1

Number of references: 28

Mentor: Assoc. Prof. Dunja Bandelj, PhD

Co-Mentor: Assist. Alenka Baruca Arbeiter, PhD

Key words: pepper, chili pepper, *Capsicum*, pepper characteristics, pepper origins, pepper domestication, pepper diversity

Abstract: Chili pepper (*Capsicum* spp.) takes big part of an American (South and Central America) culinary for the long time and has spread all over the world in the last few centuries. Genus *Capsicum* is very interesting because of its diversity and extensive use. Chili peppers are increasingly present in our place, so knowledge about those species and their characteristics is very important. In final project paper we studied origin of chili pepper, its domestication and the diversity of species (*Capsicum annuum* L. and *Capsicum chinense* Jacq.). We dedicated a big part of the work to the hot peppers, because of their hotness. Hotness is related to the presence of an alcaloid - capsaicin. Understanding pepper diversity is important for breeding programmes and creating new cultivars. For the same reason it is also very important to consider the origins of those species, how they developed and what the influences on expression of their characteristics are.

ZAHVALA

Rada bi se zahvalila mentorici izr. prof. dr. Dunji Bandelj, ki mi je bila pripravljena priskočiti na pomoč pri izdelavi zaključne naloge. Hvaležna sem za njeno odzivnost in voljo do dela ter vse napotke ob pisanju, pa tudi za njen odnos do nas (študentov) tekom študija.

Zahvaljujem se tudi somentorici dr. Alenki Baruca Arbeiter, ki mi je zelo pomagala pri iskanju in izboru literature, me spodbujala ter mi svetovala o poteku naloge. Tudi tekom študija mi je marsikdaj pomagala in me naučila veliko novega.

Zato, da sem do zaključne naloge sploh prišla, pa se moram zahvaliti tudi čisto vsem profesorjem in asistentom mojih obveznih ter izbirnih predmetov, ki so mi podali veliko znanja ter ljubezni do biologije.

Seveda si zahvalo zaslužita tudi sošolki Eva Žunec ter Andreja Grobiša, ki sta mi od samega začetka študija stali ob strani, mi vlivali voljo za učenje ter me podpirali ob prijetnih ter zahtevnejših obveznostih vezanih na študij in življenje.

Zahvalila bi se tudi glasbi ter vsem učiteljem in prijateljem povezanim z le-to, saj so mi vedno stali ob strani ter me razveseljevali in učili vedno novih veščin. Kljub temu, da mi je zaradi teh aktivnosti ostajalo nekoliko manj časa za učenje, so mi bile v veliko pomoč.

Navsezadnje pa se moram zahvaliti še širši družini, ki mi je vedno stala ob strani in me podpirala pri opravljanju študijskih obveznosti in brez katere moje izobraževanje sploh ne bi bilo izvedljivo.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	UPORABNI DEL.....	3
2.1	BOTANIČNA KLASIFIKACIJA PAPIRIKE.....	3
2.2	BIOLOŠKE ZNAČILNOSTI PAPIRIKE	4
2.2.1	<i>Morfologija.....</i>	<i>4</i>
2.2.2	<i>Cvetenje in razmnoževanje</i>	<i>4</i>
2.2.3	<i>Koristne in škodljive žuželke na papriki.....</i>	<i>5</i>
2.2.4	<i>Prehranska vrednost paprike.....</i>	<i>5</i>
2.3	GENETSKE RAZISKAVE PAPIRIKE	7
2.3.1	<i>Genetski material.....</i>	<i>7</i>
2.3.2	<i>Metode raziskav.....</i>	<i>9</i>
2.4	IZVOR PAPIRIKE IN NJENA DOMESTIKACIJA	10
2.5	ŽLAHTNJENJE PAPIRIKE	12
2.5.1	<i>Načini ustvarjanja novih vrst in sort.....</i>	<i>13</i>
2.5.2	<i>Vrstna in sortna struktura</i>	<i>15</i>
3	ZAKLJUČEK	18
4	LITERATURA IN VIRI.....	19

KAZALO SLIK IN GRAFIKONOV

Slika 1: Nasad čili paprike podjetja Gorki Chili pod Hrvatini (Foto: Taja Pajmon Rak) 1

SEZNAM KRATIC

AFLP	polimorfizem dolžin namnoženih fragmentov (ang. Amplified fragment length polymorphism)
ang.	angleško
DNA	deoksiribonukleinska kislina
PCR	verižna reakcija s polimerazo (ang. Polymerase chain reaction)
RAPD	naključno namnožena polimorfna DNA (ang. Random amplified polymorphic DNA)
RFLP	polimorfizem dolžin restrikcijskih fragmentov (ang. Random fragment length polymorphism)

1 UVOD

Paprika (*Capsicum* spp.) je že zelo dolgo del kulinarike v Srednji in Južni Ameriki. Uporablja se lahko svež plod, posušeno papriko, kot začimbo in tudi kot okrasno rastlino. Kljub tako široki uporabi, so z raziskavami rastlinskih vrst rodu *Capsicum* začeli dokaj pozno. Zadnja leta so jih izvedli kar nekaj in tako se je poznavanje te vrste v zadnjem času zelo izboljšalo. Paprike pripadajo rodu *Capsicum*, ki je zelo zanimiv zaradi svoje raznolikosti in širine uporabe. Izbiri besede *capsicum* bi lahko botrovala lastnost pekočnosti (grško *kapto* – grizti) ali *popredalčkana* sestava notranjosti samega plodu (latinsko *capsa* - torbica). Lingvistom se zdi bolj logična razlaga izvora besede iz latinščine, saj je paprika v Evropo prišla šele v 15. stoletju, ko grščina ni bila več tako razširjena (Bosland in Votava 2012).

Paprika je v osnovi trajnica, ki izvira iz Srednje in Južne Amerike, v Evropo in po svetu pa je bila prinesena šele po Kolumbovih potovanjih. V naših podnebnih razmerah običajno govorimo o papriki kot enoletnici. Človek je domesticiral 5 vrst, znotraj katerih je razvil številne zelo raznolike sorte. Paprike (plodovi) so zelo različnih oblik in barv. Poznamo »sladke«, pol-ostre in ostre paprike, kar je povezano z lastnostjo te rastline, da razvije pekoče plodove. Stopnja pekočnosti oziroma ostrine je odvisna od vsebnosti kapsaicina. Paprike poleg kapsaicina vsebujejo tudi veliko mineralov (Ca, P, K), karotenoidov, antioksidantov, vitaminov A, B, C (veliko več kot citrusi) in E vitamin. Zato je paprika za človeka zelo pomemben vir teh elementov (Bosland in Votava 2012).



Slika 1: Nasad čili paprike podjetja Gorki Chili pod Hrvatini (Foto: Taja Pajmon Rak)

Našim prednikom je paprika predstavljala nekakšno *darilo bogov*. Oseba, ki je v letu prva zaužila plod paprike, naj bi bila nagrajena. Tako pekočine paprike niso jemali kot nekaj neprijetnega, temveč so bili hvaležni za podarjeno dobrino. V nekaterih kulturah so pekoče paprike celo častili enakovredno bogovom. Še dandanes pa nekateri vaški zdravniki in šamani ljudem pekoče plodove predpisujejo za zdravljenje raznih bolezni, zaščito pred uroki ali kot preventivo. Pekoče paprike niso vedno uporabljali le v koristne namene, temveč so z njimi marsikdaj tudi kaznovali poredne otroke. Ponekod v Srednji Ameriki so še v 20. stoletju pekočo papriko uporabljali tudi kot plačilno sredstvo oziroma material za izmenjavo dobrin (Bosland in Votava 2012).

Zaradi manjše zmede v poimenovanju, smo v nalogi besedo *čili* uporabili za pekočo papriko. V različnih jezikih namreč za enako stvar uporabljamo različne izraze in obratno. Ponekod se beseda *čili*, *čile* uporablja za rod *Capsicum*, v slovenščini pa s to besedo običajno poimenujemo le sorte s pekočimi plodovi. Prav tako za celoten rod *Capsicum* uporabljamo besedo *paprika*, ki je v večini drugih jezikov le izraz za začimbo posušenih paprik.

Čili paprike ne pripadajo eni vrsti, temveč so različne sorte, ki pripadajo različnim vrstam rodu *Capsicum*. Ker se pri nas večinoma pojavljajo čiliji le dveh vrst (*Capsicum annuum* L. in *Capsicum chinense* Jacq.), se bomo osredotočili na ti dve vrsti.

Zadnja leta se tudi v naši kulinariki pekoča paprika vedno pogosteje pojavlja. Ker je to zelo raznolik rod, v katerem se pojavlja vedno več sort, so cilji te naloge proučiti:

- 1) izvor in razvoj rodu *Capsicum*,
- 2) domestikacijo paprike,
- 3) razvoj raznolikosti sort,
- 4) izvor in razvoj pekočega okusa.

2 UPORABNI DEL

2.1 Botanična klasifikacija paprike

Paprika (rod *Capsicum*) spada v družino razhudnikovk (Solanaceae). Pred vnosom paprike v Evropo je bil ta rod Evropejcem neznan, kot rod *Capsicum* pa ga je klasificiral in poimenoval šele Carl Linnaeus v 18. stoletju (Bosland in Votava 2012).

Listi razhudnikovk so običajno enostavni in so celi ali deljeni. Na steblo so nameščeni spiralasto. Cvetovi so največkrat zvezdasti (5-števni) in dvospolni, pri oprraševanju pa jim pomagajo žuželke. Plod, ki se kasneje razvije, je jagoda ali mnogosemenska glavica (Martinčič in sod. 2007).

Večina vrst te družine se je razvila na območju Amazonke in Andov. V to družino spada več kot 100 rodov in več kot 3.000 vrst. Center raznolikosti razhudnikovk je ob ekvatorju, kjer so se vrste lahko nemoteno razvijale tudi v času ledenih dob in se prilagodile tamkajšnjim razmeram. V Srednji Ameriki je prisotnih 40 endemičnih rodov iz družine Solanaceae (Sol Genomics Network, https://solgenomics.net/about/about_solanaceae.pl).

Razhudnikovke veljajo za tretjo ekonomsko najpomembnejšo skupino rastlin. So zelo pomembne agronomske vrste, ki so s svojo raznolikostjo vrst prisotne po celem svetu. V to družino spadajo rastline za prehrano (*Solanum tuberosum* - krompir, *Solanum melongena* - jajčevac, *Solanum lycopersicum* - paradižnik, *Capsicum spp.* - paprika, *Nicotiana* - tobak), okrasne rastline (*Petunia* - petunije, *Nicotiana* - tobak, *Datura* - kristavci) in zdravilne rastline (*Datura* - kristavci, *Capsicum spp.* - paprika). Veliko vrst vsebuje alkaloidne, zaradi katerih pa so določene vrste celo strupene (*Mandragora officinalis* - mandragora, *Datura stramonium* – navadni kristavec) (Mueller in sod. 2005).

Paprika spada v rod *Capsicum*. Obstaja več kot trideset vrst paprik, domesticiranih pa je pet in te danes tudi gojimo. Točno število vrst je težko določiti, saj to področje še raziskujejo, poleg tega pa še vedno prihaja tudi do nesoglasij zaradi same definicije vrst. Vrste znotraj rodu *Capsicum* so v večji meri definirane po morfološki¹ definiciji za vrsto. Na podlagi rezultatov novejših raziskav in posledično določanja vrst po biološki² definiciji vrste, pa se vrstna sestava in klasifikacija rodu *Capsicum* lahko zelo spremeni. Poleg tega, je možno, da smo ljudje z vnosom vrst na nova območja in posledično umetno ustvarjeno

¹ Vrsto sestavljajo osebki, ki so si med seboj podobni v morfoloških, anatomskih, fizioloških in biokemijskih značilnostih (Svarog – proces evolucije, http://mss.svarog.si/biologija/MSS/index.php?page_id=11390).

² Vrsto sestavljajo osebki populacij, ki se v naravnih pogojih med seboj lahko razmnožujejo in imajo reproduktivno uspešne potomce ter so reproduktivno ločeni od drugih takih populacij (Svarog – proces evolucije, http://mss.svarog.si/biologija/MSS/index.php?page_id=11390).

geografsko izolacijo, spodbudili razvoj novih vrst. Po trenutni najbolj razširjeni klasifikaciji so domesticirane vrste paprik *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum baccatum* in *Capsicum pubescens* (Bosland in Votava 2012).

2.2 Biološke značilnosti paprike

2.2.1 Morfologija

Capsicum spp. je grmiček, katerega steblo se razveja, iz njega pa izraščajo bleščeči, dolgopecljati, suličasti in celorobi listi (Martinčič in sod. 2007). Listi iz stebela izraščajo spiralasto, nekateri pa so lahko tudi dlakasti (vrsta *C. pubescens*). Korenine se večinoma nahajajo blizu površine zemlje. V svojem izvornem okolju se paprika razvije v trajnico, drugod po svetu pa jo večinoma gojimo kot enoletni grmiček, ki ga vsako leto nadomestimo z novo rastlino (Bosland in Votava 2012).

2.2.2 Cvetenje in razmnoževanje

Cvetovi paprike (*Capsicum* spp.) so večinoma majhni, 5-števni in bele, rumene ali vijola barve. So posamični, lahko pa rastejo tudi v parih (Martinčič in sod. 2007). Pri domesticirani papriki je večkrat opaziti tudi 6-9-števne cvetove (Aguilar-Meléndez in sod. 2009). Prvi cvetovi se pojavijo šele, ko se na rastlini razvije vsaj 5 listov. Pri vrsti *C. annuum* rastejo cvetovi posamično, pri vrsti *C. chinense* pa iz enega kolenca običajno izraste več cvetov. Cvetovi so dvospolni in paprike so večinoma samokompatibilne (nekateri sorte vrst *C. cardenasii* in *C. pubescens* niso). To pomeni, da se lahko same oprašijo in oplodijo, kar jim lahko pomaga v primeru odsotnosti opraševalcev. Da do tega v idealnih pogojih ne bi prihajalo tako pogosto, so rastline razvile protoginijo, kar pomeni, da ženski spolni organi dozori pred moškimi. To lastnost žlahtnitelji paprike s pridom izkoriščajo - za nadzorovano ustvarjanje hibridov. Poleg tega pestič plodnice zraste le malo krajši, enako dolg ali daljši od prašnikov. Samooprašitev namreč ni ravno dobrodošla za pretok genov in ohranjanje oziroma povečevanje genetske raznolikosti. Cvetove paprike oprašujejo žuželke, večinoma čebele. Cvetovi se običajno odprejo 3 ure po sončnem vzhodu in na rastlini ostanejo manj kot en dan, nato pa se razvijejo v plod ali odpadejo. Na razvoj cvetov zelo vplivajo temperature. Če so te nižje od 16 °C ali višje od 32 °C, se cvet sploh ne razvije oziroma hitro odpade. Optimalne temperaturne razmere so med 16 °C in 21 °C. Plod običajno dozori mesec ali dva po oprašitvi (Bosland in Votava 2012).

Plodovi paprike so jagode in so zelo različnih oblik (Martinčič in sod. 2007). So okrogli, jajčasti ali podolgovati, majhni ali veliki. Tudi obarvani so zelo raznoliko. Na začetku so plodovi zeleni, med zorenjem pa vsebuječ klorofil zamenjajo karotenoidi. Zreli plodovi so

tako lahko rumeni, rdeči, zeleni, oranžni, rjavi ali vijola. Na barvo plodu torej vpliva prisotnost karotenoidov. V rumenih in oranžnih paprikah so najpogostejši α - in β -karoten, zeaksantin, lutein in β -kriptoksantin, v rdečih plodovih pa kapsantin, kapsorubin in kapsantin-5,6-epoksid. Kateri tipi so prisotni je odvisno od vsaj treh lokusov – *c1*, *c2* in *y* lokus (Rocío Gómez-García in Ochoa-Alejo 2013). Semena se razvijejo znotraj plodu, v tako imenovani semenski loži. Ta je razdeljena na dve ali več lož, ki jih ločuje placenta, v kateri so kapsaicinske žleze in vir hranil za semena. Tu je tudi največja vsebnost kapsaicina, količina le-tega pa je zelo odvisna od same sorte oziroma genotipa. Obstajajo pa tudi plodovi brez semen, ki so rezultat partenokarpije³ (Bosland in Votava 2012).

2.2.3 Koristne in škodljive žuželke na papriki

Paprika opraševalce privablja z nektarjem, ki se nahaja v notranjosti cveta. Najpomembnejši opraševalci paprik so čebele (Apoidea), pomagajo pa jim tudi trepetavke (Syrphidae) (Bosland in Votava 2012).

Ostale koristne žuželke paprike so pikapolonice (Coccinellidae), Anthocoridae, Chrysopidae, *Cryptolameus montrouzieri* in *Orius laevigatus*. Te žuželke se večinoma prehranjujejo z različnimi ušmi, pršicami in ostalimi škodljivci paprike (Chile, chili from all the world, <http://www.chileplanet.eu/index.html>).

Škodljivci paprike so listne uši (Aphidoidea), pršice (Acarina), *Polyphagotarsonemus latus*, resarji (Thysanoptera), ščitkarji (Aleyrodidae) in ličinke metuljev (Lepidoptera). Škodljivci rastline objedajo in sesajo sokove, zaradi česar lahko rastline paprike propadejo (Chile, chili from all the world, <http://www.chileplanet.eu/index.html>).

2.2.4 Prehranska vrednost paprike

Paprika je zelo pomemben vir številnih vitaminov v človekovi prehrani. Antioksidanta vitamina C in E ter provitamin A so prisotni v velikih količinah. Prisotni so tudi karotenoidi, ksantofili in vitamini P, B1, B2 in B3. Paprika vsebuje tudi alkaloid kapsaicin, ki lahko zelo pozitivno vpliva na naše zdravje. Seveda pa je vsebnost vseh teh snovi odvisna od vrste, sorte, okoljskih razmer ter načina spravila pridelka (Bosland in Votava 2012).

³ Plod se razvije, čeprav do oploditve ni prišlo.

2.2.4.1 Vitamin A

Vitamin A kot tak sicer v paprikah ni prisoten, le-te pa vsebujejo velike količine α -, β - in γ -karotena in kriptoksantina, ki se v jetih nato pretvorijo v vitamin A. Tako predstavlja paprika pomemben vir vitamina A za človekovo telo (Bosland in Votava 2012).

2.2.4.2 Vitamin C

Paprika spada med rastline z največjo vsebnostjo vitamina C, saj je v njej lahko prisotnega tudi šestkrat toliko vitamina C kot v pomarančah. Največ vitamina C vsebujejo sveži plodovi (Bosland in Votava 2012).

2.2.4.3 Kapsaicin

Kapsaicin je unikaten alkaloid iz družine kapsaicinoidov, ki ga najdemo le v plodovih rodu *Capsicum* in zaradi katerega je čili pekoč. Nekateri sorte vrste *C. annuum* zaradi mutacije, ostrine ne razvijejo. V papriki se kapsaicin razvije kot sekundarni metabolni produkt in ji služi za zaščito pred objedanjem, še posebej pa smo nanj občutljivi sesalci. Ptice te ostrine najverjetneje ne občutijo in zato se z njimi lahko prehranjujejo ter tako pripomorejo k razširjanju semen (Bosland in Votava 2012).

Količina in intenzivnost pekočine v čiliju je odvisna od same sorte - genotipa, okoljskih razmer in starosti ploda. Nekateri pridelovalci namenoma zagotavljajo stresne pogoje za rast čili paprike, saj tako vplivajo na večjo stopnjo ostrine. Leta 1912 je Wilbur Scoville določil mero za ostrino. Ta temelji na razmerju med količino čili paprike in vode v kateri to raztopimo, da ostrine ne čutimo več (Bosland in Votava 2012). Čili paprika ima lahko 0~2.000.000 Scovillov, čisti kapsaicin pa kar 16.000.000. Kapsaicin je v vodi netopen, če želimo torej omiliti pekočino po pojedenem čiliju, je priporočljivo uživanje mleka, jogurta ali kakšne podobne, mastne hrane. Večina kapsaicina v čili papriki se nahaja v plodu, v kapsaicinskih žlezah tik ob semenih (Chile, chili from all the world, <http://www.chileplanet.eu/index.html>).

Kljub temu, da je zaradi vsebnosti kapsaicina čili paprika pekoča, kar marsikomu ni po godu, je ta lahko zelo koristen. Naše telo ob zaužitju čili paprike nanj reagira, kot ob soočenju s problemom, le da v tem primeru resničnega problema ni. Živci namreč do možganov prenesejo podatek, da je prišlo do bolečine. Možgani nato (po »rešitvi problema«) po telesu pošljejo endorfine (hormone sreče), ki delujejo kot naravni olajševalci bolečine. Prisotnost endorfinov nam daje občutek zadovoljstva (Bosland in Votava 2012).

Včasih so zmečkane plodove čili paprike vtirali v pacientovo rano, da se je onesvestil. Uporabljali so jih tudi za nanašanje na ugrize žuželk, pomoč pri hemeroidih, artritisu, vročini in prehladu (Bosland in Votava 2012).

2.3 Genetske raziskave paprike

2.3.1 Genetski material

Pomembno vlogo pri genetskih raziskavah imajo genske banke, ki so zelo dober vir genetskega materiala ter podatkov o vrstah in sortah. V svetovnem merilu je kar nekaj genskih bank, ki so običajno rezultat mednarodnega sodelovanja. V ZDA je v program ohranjanja genskih virov US National Plant Germplasm System vključenih več genskih bank, ki hranijo približno 5.000 vzorcev iz rodu *Capsicum*. Podatki o vzorcih so dostopni na informacijskem sistemu GRIN (ang. Germplasm Resources Information Network) (<https://www.ars-grin.gov/>) (Bosland in Votava 2012).

Prva genska karta za rod *Capsicum* je bila izdelana že leta 1965, vsebovala pa je 50 genov in osnovna pravila za določevanje in poimenovanje le-teh. Sestavili so jo Lippert in sodelavci (Wang in Bosland 2006, cit. po Lippert in sod. 1965). Od takrat gensko karto nenehno posodablajo in dodajajo na novo odkrite gene. Novejša genska karta iz leta 2006 šteje 292 genov. Vsebuje gene za morfološke in fiziološke znake, sterilnost ter odpornost na bolezni in škodljivce. Na tej karti je kar 92 na novo opisanih genov (Wang in Bosland 2006).

Paprike so večinoma diploidne rastline. Običajno imajo 12 parov kromosomov, nekatere divje vrste pa jih imajo tudi po 13. Prisotnost vrst z različnim številom kromosomov lahko nakazuje na obstoj dveh različnih razvojnih linij in evolucijsko si te vrste mogoče sploh niso tako tesno sorodne. Izmed dvanajstih parov kromosomov imajo paprike enega ali dva para akrocentričnih kromosomov ter deset ali enajst parov metacentričnih ali submetacentričnih kromosomov (Bosland in Votava 2012).

Poznamo številne znake po katerih lahko razlikujemo vrste in sorte. Sprva so vrste in sorte ločevali po morfoloških razlikah, a na razlike med njimi večinoma vplivajo geni, kar je predmet velikega števila raziskav zadnjega časa. Morfološki znaki, po katerih ločujemo paprike, so višina rastlin, razraščanje stebela, oblika listov, barva rastlin, cvetov in plodov ter oblika cvetov in plodov. Fiziološki znaki so prisotnost in intenzivnost ostrine, vsebnost karotenoidov in mesnatost plodov. Znaki za sterilnost so razvoj genetske ali citoplazmatske moške sterilnosti, ki jo bomo omenili v poglavju Žlahtnjenje paprike, poznamo pa tudi žensko sterilne rastline. Za opisovanje vrst/sort opazujemo tudi njihovo odpornost. Poznamo gene za odpornost na virus jedkanja tobaka (ang. tobacco etch virus - TEV), virus mozaika tobaka (ang. tobacco mosaic virus - TMV), virus mozaika kumar (ang. cucumber mosaic virus - CMV) ter nekatere druge glive, viruse, bakterije in škodljivce (Wang in Bosland 2006).

Raziskovalci iz inštituta International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) (zdanijsnji Bioversity International) so za opis vzorcev paprike izdali seznam standardiziranih deskriptorjev (IPGRI, AVRDC in CATIE 1995):

- Deskriptorji za semena v semenskih bankah in rastlinah iz katerih so ta zbrana

Vsak vzorec ima svojo identifikacijsko številko po kateri najdemo podatke, ki so vezani na točno določen vzorec. Zabeleženo je od kod in kdo je vzorec doniral, koliko semen je v njem, kdaj je bil ta sprejet v zbirko ter morebitni obstoj istega vzorca v drugih zbirkah. Zabeležiti je potrebno botanično klasifikacijo do nivoja sorte ter lastnosti starševskih rastlin in s kakšno žlahtniteljsko metodo so iz teh pridobili potomce. Vzorec je tudi definiran kot divji, domesticiran, hibrid, mutant,... Poleg tega je zabeleženo za kakšen namen uporabe jih pridelujejo. Opisati je potrebno populacijo iz katere vzorec izhaja – velikost, razširjenost, način razporeditve, gostota, oddaljenost od drugih populacij. Zaradi različnih imen, je vzorcju potrebno dodeliti angleško ime za sorto, poleg tega pa še spisek morebitnih sinonimnih imen za enako sorto. Ker ni nujno, da v zbirko vedno pridobijo le semena, se zapiše tudi v kakšni obliki so dobili genski material. Če obstajajo fotografije s terena, se te priloži k podatkom (IPGRI, AVRDC in CATIE 1995).

- Okoljski deskriptorji

Z njimi se opisuje okolje v katerem uspevajo rastline paprike. Okolje je opisano z nadmorsko višino, geografsko širino in dolžino ter nagibom in položajem terena (npr. dolina, obala, jasa v gozdu, ravnica). Rastne pogoje se definira tudi s temperaturo, količino in razporeditvijo padavin, vlago, vetrom, zmrzaljo, svetlobnimi razmerami. Opazuje se prstno sestavo, teksturo, barvo, pH tal, vsebnost hranil, kamninsko podlago. Vzorce se opiše tudi z datumom setve in sajenja, razdaljo med rastlinami, obdobjem obiranja. Poleg tega pa se zabeležijo tudi uporabljeni pesticidi (IPGRI, AVRDC in CATIE 1995).

- Morfološki deskriptorji

Vzorce se opiše z lastnostmi semen, kalčka ob vzklitju semena, kličnega lista. Rastlino se definira kot enoletnico ali trajnico ter opiše barvo, obliko, višino rastline, semena, liste, cvetove.

Semena so lahko rumena, rjava ali črna, gladka ali hrapava in različno velika. Znotraj enega plodu se lahko razvije le nekaj do več kot 50 semen.

Steblo rastline je lahko zelene ali tudi vijola barve, okrogle, sploščene ali zarobljene oblike ter dlakasto ali ne. Razvejanost le-tega je različna – lahko je zelo na široko razvejano ali pa raste bolj v višino.

Pomemben element po katerem se ločuje vzorce med seboj so tudi listi. Ti so lahko različnih barv (rumeni, zeleni, vijola), oblik (ovalni, deltoidni, suličasti), velikosti in lahko so dlakasti ali ne.

Različni vzorci potrebujejo različno dolgo, da oblikujejo in razvijejo cvetove. Iz enega zalistja lahko požene le en cvet ali več cvetov hkrati. Cvetovi se med seboj razlikujejo po nameščenosti (lahko raste bolj pokončno ali padajoče), barvi in obliki čašnih in venčnih listov ter po velikosti. Oцени se tudi dolžino prašnikov ter položaj plodnice.

Pri plodovih se opisuje dneve zorenja, obliko (podolgovati, okroglasti, zvončasti, trikotni), barvo nezrelih (beli, rumeni, zeleni, oranžni, vijola) ter zrelih plodov (beli, rumeni, zeleni, oranžni, rdeči, vijola, rjavi, črni) ter število in velikost plodov. Plodovi se razlikujejo tudi po dolžini peclja, obliki stika med pecljem in plodom ter po debelini stene plodu (IPGRI, AVRDC in CATIE 1995).

- Vrednostni deskriptorji

Papriko se opisuje tudi z deležem suhe mase, vsebnostjo kapsaicina, oleoresina in ostrino. Poleg tega kažejo rastline različno stopnjo odpornosti oziroma prilagojenosti na različne temperaturne razmere, osončenost, vlago, količino padavin, slanost, različen pH tal, pa tudi biotske dejavnike kot so različni zajedavci in bolezni. Poleg vseh teh lastnosti pa se zapiše še prisotnost različnih biokemijskih (izoencimi, proteini) in molekulskih (RFLP, RAPD) markerjev, kromosomske (število kromosomov, ploidijska) in genetske (npr. mutacije) posebnosti (IPGRI, AVRDC in CATIE 1995).

2.3.2 Metode raziskav

Genetsko raznolikost lahko proučujemo na nivoju fenotipa ali na nivoju molekule DNA. Poleg tega si s poznavanjem raznolikosti pomagamo tudi pri razvoju novih sort in sicer s spoznavanjem genetike že obstoječih in vzgojo osebkov v *in-vitro* pogojih. Z morfološkimi deskriptorji opisujemo morfološke lastnosti, uporabljajo pa se tudi za izdelavo genskih kart (Bosland in Votava 2012, cit. po Patterson in sod. 1991). Danes je bolj razširjena uporaba molekulskih (DNA) markerjev. Ti se od morfoloških razlikujejo v tem, da za njihovo uporabo ne potrebujemo celotne razvite rastline in v tem, da so ti markerji neodvisni od okolja (Bosland in Votava 2012, cit. po Tanksley 1983). Molekulske markerje uporabljajo za raziskave genetske raznolikosti, sistematike in filogenetike (Bosland in Votava 2012).

Metoda polimorfizem dolžin restrikcijskih fragmentov (RFLP - restriction fragment length polymorphism) je starejša hibridizacijska metoda, ki temelji na polimorfizmu razrezanih fragmentov DNA. Encimi razrežejo DNA na določenih mestih in nastale dele DNA nato ločimo z elektroforezo. S to metodo lahko razlikujemo med homozigoti in heterozigoti. Je pa precej draga, zahtevna in vključuje uporabo radioaktivnih snovi (Bosland in Votava

2012). S tehniko RFLP so Kim in sodelavci (2007) analizirali citoplazmatsko moško sterilnost. Osredotočili so se le na osem genov, ki naj bi bili povezani z razvojem sterilnosti. Izmed teh pa so na koncu izločili le enega (*coxII*), na katerem so opazili drugačen vzorec povezovanja.

Metoda naključno pomnožena polimorfna DNA (RAPD - random amplified polymorphic DNA) temelji na analizi naključno pomnožene polimorfne DNA v verižni reakciji s polimerazo (PCR - polymerase chain reaction). Uporabna je za analizo genoma s hkratno analizo več lokusov, a z uporabo enega začetnega nukleotida s poljubnim nukleotidnim zaporedjem. Metoda RAPD je uporabna predvsem pri analizah ozko sorodnih organizmov. Uporablja se jo pri identifikaciji sort in hibridov. Ilbi (2002) je s to metodo proučeval sortno čistost in raznolikost sort (*C. annuum*) oziroma hibridov. Izmed 177 analiziranih fragmentov je odkril 14 edinstvenih, ki lahko služijo kot markerji za identifikacijo sort. Izmed analiziranih markerjev, so si jih hibridi delili več kot 90 %, kar nakazuje na to, da med hibridi ni velike genske raznolikosti.

Z metodo polimorfizem dolžin namnoženih fragmentov (AFLP - amplified fragment length polymorphism) proučujemo polimorfizem dolžine selektivno namnoženih fragmentov. Encimi najprej DNA razrežejo in jo nato z reakcijo PCR selektivno namnožimo (Bosland in Votava 2012). Genetsko raznolikost med organizmi nato ugotavljajo na podlagi razlik v prepoznavnih mestih za restrikcijske encime, do katerih pride zaradi sprememb v zaporedju nukleotidov. Na ta način si v glavnem pomagajo pri izdelavi genskih kart, profiliranju DNA (DNA fingerprinting)⁴, študijah genetske raznolikosti in analizah starševstva. S pomočjo te metode so Albrecht in sodelavci (2012) ugotovili, da so pri vrsti *C. baccatum* večje razlike med populacijami, kot pa so znotraj vsake populacije.

2.4 Izvor paprike in njena domestikacija

Paprika naj bi se razvila v suhih predelih Andskega gorovja, na področju današnjega Peruja in Bolivije. Šele kasneje naj bi se njen areal premaknil proti tropskim nižinskim predelom Amerike. Kasneje so pri razširjanju teh vrst pomagale ptice ter človek in čez čas je paprika uspevala po večini Južne in Srednje Amerike. Prvotna paprika je imela majhne, okrogle plodove, ki so bili rdeče barve in tako privlačni za ptice. Do razširjanja domesticirane paprike je prišlo zaradi okusa in hranilne vrednosti, ki jo imajo njeni sadeži. Seveda so bili zato pri gojenju paprike zaželeni čim večji plodovi. Vseh vrst paprik je vsaj trideset, domesticiranih pa je le pet. Vsaka izmed teh je bila domesticirana na »svojem« območju (Bosland in Votava 2012, cit. po Walsh in Hoot 2001).

⁴ DNA fingerprint je krajši del genoma, ki je za določen osebek edinstven in ga po njem lahko identificiramo (What is DNA fingerprint?, <https://www.yourgenome.org/facts/what-is-a-dna-fingerprint>).

Domesticirane vrste *Capsicum spp.* so bile dolgo vezane le na Južno in Srednjo Ameriko. Po ostalih kontinentih so jih ponesli šele raziskovalci po Kolumbovih potovanjih v Ameriko. Ti so opazili, da domačini v Srednji in Južni Ameriki skoraj povsod uporabljajo papriko in je praktično enakovredna začimba soli. Kolumb je rastlino poimenoval »pepper«, saj so ga njene lastnosti spominjale na črni poper (ang. black pepper). V Evropo so jo tako prvič prinesli šele po letu 1492. Sčasoma se je s pomočjo španskih in portugalskih trgovcev vzgoja teh rastlin razširila po celi Španiji ter kasneje Evropi. Čez čas so trgovci semena paprik ponesli še v Azijo in Afriko. Paprika je bila praktično povsod zelo dobro sprejeta in tako postala del vsakdanje kuhinje. Ponekod je uporaba paprike v kuhinji celo prevladala domače vrste in zato so taksonomisti pred C. Linnaeusom izvor paprike zmotno postavili na območje Kitajske (Bosland in Votava 2012).

Arheologi si pri odkrivanju prisotnosti paprike v človekovem življenju pomagajo tudi z analizo ostankov škroba. Ostanki semen in cvetnega prahu so namreč zelo redki. Ugotovili so, da paprika vsebuje unikatna škrobna zrna, katerih sledi so ostale na kamnitem orodju in v posodah. Škrobna zrna vseh petih domesticiranih vrst paprike so po obliki podobna rdečim krvnim celicam, so sploščena z vboklino na sredini. V primerjavi s škrobnimi zrn divjih vrst, so ta večja. Med samimi vrstami se škrobna zrna običajno lahko razlikujejo glede na sredinsko vboklino. Vrsti *C. annuum* in *C. frutescens* imata tako podobna škrobna zrna, da je razlikovanje med njima na podlagi le-teh praktično nemogoče. Vrsta *C. chinense* se od njiju že nekoliko razlikuje. Podobnost med temi tremi vrstami se povezuje z uvrščanjem teh treh v skupni *C. annuum* kompleks. Ločevanje teh treh vrst (*C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*) od *C. pubescens* in *C. baccatum* pa je veliko enostavnejše, saj so razlike v njihovih škrobnih zrnih že zelo opazne. Odkritih je bilo sedem arheološko pomembnih območij med Bahami in J Perujem izpred vsaj 6000 let. Ker so na istih predmetih našli vzorce škrobnih zrn paprike in koruze, so zaključili, da so ju domesticirali v približno istem časovnem obdobju in sta tako hkrati postali del človekove prehrane (Perry in sod. 2007). Španci so v 16. stoletju zapisali, da so že Azteki čili papriko delili v šest kategorij in sicer glede na jakost, pa tudi tip ostrine. Te kategorije so bile *hot green peppers*, *smoked peppers*, *water peppers*, *tree peppers*, *flea peppers*, *sharp-pointed red peppers*. Tudi v vsako jed ni spadala kar katerakoli paprika in tako naj bi imela vsaka kategorija paprik svojo namembnost v njihovi kuhinji (Bosland in Votava 2012, cit. po Sahagún 1590).

Raziskovalci menijo, da je do domestikacije paprike prišlo v vsaj dveh ločenih dogodkih. Eden od teh naj bi se zgodil v Srednji Ameriki, od koder izvirata vrsti *Capsicum annuum* in *Capsicum frutescens*. *Capsicum chinense*, *C. baccatum* in *C. pubescens* pa naj bi se razvile na območju Južne Amerike (Pickersgill 2007). Pomemben center domestikacije bi lahko predstavljal tudi Jukatanski polotok, saj so tam opazili veliko genetsko raznolikost - 17 različnih haplotipov (drugod jih je manj) in prisotnost kar sedmih edinstvenih haplotipov. Do teh rezultatov so prišli z raziskovanjem treh različnih alelov – *Dhn* (gen povezan z odzivom na osmotski stres), *G3pdh* (gen za gliceraldehid 3-fosfat dehidrogenazo) in *Waxy* (gen za obliko škrobnih zrn) (Aguilar-Meléndez in sod. 2009).

Pickersgill (1971) je v svoji raziskavi ugotovila, da so kromosomi divjih populacij vrste *C. annuum* morfološko bolj raznoliki od domesticiranih. Kromosomi domesticiranih vzorcev so bili morfološko veliko bolj uniformni. Na podlagi pridobljenih podatkov je prišla do domneve, da je bila paprika domesticirana pred kratkim iz majhne populacije ter tako šla skozi proces ozkega grla⁵ in iz tega sedaj nadaljuje s procesom ustanoviteljvega učinka⁶.

Aguilar-Meléndez in sodelavci (2009) so opazili, da razlika v raznolikosti domesticiranih ali divjih vzorcev paprike ni tako velika. Upad raznolikosti na genih *G3pdh* in *Waxy* je bil le 17%. Vendar pa so v svoji raziskavi namesto izraza divje rastline uporabili izraz semi-domesticirane rastline, saj so domnevali, da so bile že izpostavljene pritiskom človeka in tako deloma spremenjene, čeprav uspevajo v naravnem okolju. Tako lahko upoštevamo, da je do razlik v rezultatih prišlo tudi zaradi tega dejstva. Prav tako pa bi se morda morali osredotočiti na več genov.

Qin in sod. (2014) so določili nukleotidno zaporedje genoma vrste *Capsicum annuum* ter opazili, da je proces domestikacije privedel do povečanja genoma (primerjava *C. annuum* *Zunla-1* in *Chiletrepin*). Del kloroplastnega genoma se je vključil v jedrnega. Ta pojav so opazili tudi pri drugih vrstah družine Solanaceae. Povečanju jedrnega genoma pa je v veliki meri botroval tudi vnos velikega števila retrotranspozonov – dogodek so umestili v obdobje pred le ~0,3 milijona let. Raziskovalci so identificirali obstoj 3.143 genov edinstvenih za rod *Capsicum*. Identificirali so tudi 115 regij, na katerih so opazili znatno nižjo stopnjo polimorfizma (v primerjavi s celotnim genomom), na podlagi česar so zaključili, da to bile le-te podvržene selekcijskim pritiskom domestikacije.

2.5 Žlahtnjenje paprike

Prvi pridelovalci paprike so bili ameriški domorodci. Ti so že poznali nekaj podtipov paprike, kot na primer *japaleño*, *serrano*, *pasilla* in *ancho* (Bosland in Votava 2012). Aktualni cilji žlahtniteljev paprike so vzgojiti sorte s čim večjimi in čimbolj mesnatimi plodovi, z razvito odpornostjo na škodljivce, bolezni in abiotski stres ter različno vrednostjo ostrine, okusa in vitaminov. Žlahtnjenje poteka tudi v smeri pridobivanja čimbolj pekočih sort (Padilha in Barberi 2016, cit. po Manzur in sod. 2014). Razlika v okusu in ostrini plodov je povezana tudi s končnim namenom uporabe. Ker živimo v svetu polnem pravil, odredb in zakonov, mora tudi paprika imeti lastnosti, ki so določene glede na namen uporabe (svež plod, posušena, vložena paprika). Tako morajo imeti plodovi, četudi znotraj iste sorte, različne lastnosti, če jih pridelujejo za različne namene uporabe.

⁵ Ang. bottleneck effect - majhen del populacije »preživi« nek stres in svoj del genov prenese naprej. Ta je v primerjavi s prejšnjo populacijo drastično zmanjšan (Understanding evolution, http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/bottlenecks_01).

⁶ Ang. founder effect - majhen del populacije se loči od izvorne in le majhen del genov se tako prenaša na nadaljnjo populacijo, ki se razvija ločeno od izvorne (Understanding evolution, http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/bottlenecks_01).

Na nekatere take lastnosti je težko vplivati, saj so odvisne od več zunanjih dejavnikov. Zato je potrebno najprej poiskati stabilne genotipe ter nadalje nadzorovati okoljske dejavnike (Bosland in Votava 2012).

2.5.1 Načini ustvarjanja novih vrst in sort

Papriko oprahujejo žuželke, kot so čebele, ki lahko naredijo tudi precej dolgo pot. Tako morajo biti za ustvarjanje genetsko čistih populacij, le-te oddaljene vsaj pol kilometra, da ne pride do križanja med prostorsko ločenimi populacijami. Populacije z novimi lastnostmi in posledično nove sorte ustvarjajo na različne načine. Pri vseh morajo izvajati določeno stopnjo nadzora (Bosland in Votava 2012).

2.5.1.1 Odbiranje semena

Z odbiranjem semena so nove populacije ustvarjali že naši predniki. Semena plodov z dobrodošlimi lastnostmi so shranili in jih na novo posejali. Z naslednjo generacijo so naredili enako in tako počasi dobili populacijo rastlin osebkov z zelenimi lastnostmi. Seveda pa je to dokaj dolgotrajen proces (Bosland in Votava 2012).

2.5.1.2 Nadziranje potomstva

Žlahtnitelji sledijo križanjem med osebki in nadalje izbirajo določene uspešne osebke ter pri teh spodbujajo samooprašitev in križanje med njimi (Bosland in Votava 2012).

2.5.1.3 Povratno križanje potomcev s starši

Pri tej metodi, najprej izberemo rastlino z zeleno lastnostjo ter z njenim pelodom opravimo rastlino, ki je zdrava in močna. Potomce nato povratno križamo z ženskim staršem. Po nekaj takih križanjih dobimo rastline z novimi lastnostmi. Ta metoda je uspešna, ko želimo vplivati na lastnost, ki jo nadzoruje majhno število genov. Eden uspešnih primerov je »Greenleaf Tabasco«, ki so ga ustvarili s križanjem »Tabasco« čili paprike (*C. frutescens*) s papriko vrste *C. chinense*, ki je vsebovala gen za odpornost na virus TEV (Bosland in Votava 2012).

2.5.1.4 Mutacijsko žlahtnjenje

S to metodo želimo izboljšati ekonomsko pomembne lastnosti ali pa odstraniti škodljive lastnosti. Mutacije spodbudimo z mutagenimi kemikalijami ali ionizirajočim sevanjem (Bosland in Votava 2012). Pri sorti »Albena« so v Bulgariji leta 1974 na ta način izboljšali izgled in okus plodu. Istega leta so v Jugoslaviji izboljšali sorto »Horgoska slatka-X-3« in sicer s pridobljeno odpornostjo na virus CMV (Daskalov 1986).

2.5.1.5 Ustvarjanje hibridov

Pri tem pridelovalci paprike kontrolirano križajo izbrane osebke in tako ustvarijo hibride, ki so »boljši« od obeh staršev. Semena hibridov so zelo zaželena v komercialne namene, saj so populacije takih hibridov uniformne in običajno dajo več pridelka. Veliko pozornosti posvečajo ustvarjanju hibridov, ki so odporni na različne bolezni in škodljivce, med drugim *Verticillium dahliae* in *Phytophthora capsici*. Pelod iz ene rastline morajo prenesti na brazdo pestiča drugega cveta. Pri tem pa morajo paziti, da cvet, ki ga uporabijo za ženskega, še ni oprашen. Zato uporabljajo še neodprte cvetove, za katere preverijo ali so še »čisti«. Pri tem se opirajo na protoginijo, kar pomeni, da prašniki najverjetneje še niso dozoreli in tako do samooprašitve ni prišlo. Ta metoda se uporablja predvsem za ustvarjanje populacij z višjo stopnjo odpornosti na določene bolezni in škodljivce v primerjavi s starševskimi rastlinami. Za namen ustvarjanja hibridov izkoriščajo tudi lastnost paprike, da razvije moško sterilne rastline. Take rastline se torej uporabi za »ženske« rastline, pri katerih ni potrebno paziti, da bi prišlo do samooprašitve (Bosland in Votava 2012).

- *Genska moška sterilnost*

Na gensko sterilnost marsikdaj vpliva le en recesivni gen *ms*. Ustvarjanje hibridov na tak način je omejeno, saj ne moremo ustvariti in nadalje ohranjati moško sterilne populacije. V najboljšem primeru križamo homozigote za sterilnost in heterozigote, da dobimo polovico sterilnih osebkov (homozigoti za sterilnost). Pri takem križanju namreč dobimo polovico enih in drugih. Homozigotov z genom za ne sterilne osebke pa ni. Prve raziskave za moško sterilnost so izvedli leta 1969. Kasneje so odkrili obstoj še dveh samostojnih recesivnih genov, ki prav tako vplivata na moško sterilnost. Poimenovali so jih *ms-1*, *ms-2* in *ms-3*. Če je takih genov več, se tudi razmerje moško sterilnih osebkov proti ostalim lahko potencialno poveča (Bosland in Votava 2012). Padilha in Barberi (2016) omenjata že kar 20 takih genov, ki naj bi vplivali na gensko moško sterilnost.

- *Citoplazmatska moška sterilnost*

Citoplazmatska moška sterilnost je fenotipsko izražena lastnost. Na to lastnost vpliva stik jedra s citoplazmo. Nanj naj bi imel vpliv gen mitohondrijske DNA *orf456*. Citoplazmatska moška sterilnost je torej prenesena iz materine rastline, saj se mitohondrijska DNA deduje le od ženskega starša (Kim in sod. 2007). Prednost citoplazmatsko izvirajoče moške sterilnosti je, da lahko ustvarimo populacijo, v kateri so vsi osebki moško sterilni (Bosland in Votava 2012).

2.5.1.6 Medvrstno križanje

Križanje med vrstami običajno uporabljamo za doseganje odpornosti na določene škodljivce ali bolezni. Običajno se proti njim borimo z uporabo fitofarmaceutskih sredstev, a je vnos genov za odpornost gotovo bolj zdrava in dolgoročno učinkovitejša rešitev. Pri tej metodi je stopnja uspešnosti zelo odvisna od izbranih vrst, seveda pa odpornih sort ne ustvarimo čez noč. Najbolje je, da so si te ozko sorodne. Zaradi koevolucije rastlin in škodljivcev, pa je vseeno potrebno odporne sorte neprestano izboljševati. Uspešen medvrstni križanec je »Tabasco« čili paprika z odpornostjo na virus TEV – gre za križanec med *C. frutescens* in *C. chinense* (Bosland in Votava 2012).

2.5.2 Vrstna in sortna struktura

2.5.2.1 Domesticirane vrste

Capsicum annuum kompleks oziroma skupina: rastline teh vrst razvijejo tako sladke (mutacija onemogoča razvoj ostrine) kot pekoče paprike. Vrsta *C. annuum* si deli enak izvorni genski sklad z vrstama *C. chinense*, *C. frutescens* in tako vse tri spadajo v *Capsicum annuum* kompleks. Nekateri so jih zato tudi definirali kot eno vrsto. Kasneje so dokazali obstoj vsaj dveh vrst, o ločevanju vrst *C. chinense* in *C. frutescens* na dve ločeni vrsti pa še niso prepričani. Ti se med seboj lahko križata in tako izpodbijata definicijo dveh ločenih bioloških vrst. *C. annuum* in *C. chinense* se med seboj ločita le v razliki na enem kromosomu. Vsaka od teh vrst naj bi se razvila na svojem območju: *C. annuum* na območju današnje Mehike, *C. chinense* v Amazoniji in *C. frutescens* pa na južnem delu Srednje Amerike. Te vrste so danes najbolj razširjene po celem svetu, razvili pa so tudi številne sorte. Prednik vrste *C. annuum* je najverjetneje *C. annuum* var. *glabriusculum*. Že v času pred Kolumbovimi potovanji so Azteki ustvarili kar nekaj sort, od takrat pa smo z razvojem le-teh zelo napredovali. Vrsto *C. chinense* je poimenoval Kikolaus von Jacquinomist, vendar po zmotnem prepričanju, da izvira iz Kitajske. Plodovi te vrste so običajno zelo pekoči in aromatični. Znotraj vsake od teh vrst so razvili številne sorte, a vrsta *C. frutescens* vsebuje manj sort, kot ostali dve (Bosland in Votava 2012).

Capsicum pubescens: ta vrsta najverjetneje izvira iz višinskih predelov današnje Bolivije in naj bi bila domesticirana že 6000 let pred našim štetjem (Bosland in Votava 2012, cit. po Heiser 1976). Danes jo najdemo na območju med Mehiko in Perujem, večinoma na višjih legah, saj je prilagojena na nekoliko nižje temperature (4,5-15,5 °C). Drugod po svetu ni prav pogosta. Za razliko od večine paprik z belimi cvetovi, so ti pri rastlinah te vrste obarvani vijola, od ostalih pa se razlikujejo tudi po črnih semenih, ki pri ostalih ostanejo bela. Zrastejo lahko tudi 12 metrov visoko in živijo do 10 let (Bosland in Votava 2012).

Capsicum baccatum: ta vrsta se pojavlja med južno Brazilijo in obalami Tihega oceana. Najpogosteje jo vzgajajo v Boliviji, Ekvadorju, Peruju in Čile (Bosland in Votava 2012).

2.5.2.2 Podtipi in sorte

Znotraj *C. annuum* kompleksa smo ljudje razvili številne podtipe in nadalje sorte oziroma kultivarje. Običajno jih ločujemo glede na obliko in barvo plodov, ostrino, okus in namen uporabe (Bosland in Votava 2012).

- *Capsicum annuum*

Za *C. annuum* poznamo tako pekoče, kot nepekoče sorte. Večina podtipov te vrste je nepekočih. Taki so na primer *bell*, *pimiento*, *Cuban* and *squash*. Pekoči podtipi so *cayenne*, *serrano*, *ancho*, *pasilla*, *mirasol*, *de Arbol* in *piquin*. Nekateri podtipi pa vsebujejo tako pekoče kot nepekoče sorte. Taki podtipi so na primer *yellow wax*, *cherry*, *New Mexican* in *japaleño*. Poleg teh podtipov, najdemo znotraj vrste *C. annuum* tudi *papriko*. Ta sicer ni opredeljena kot podtip, je pa zelo razširjen izraz za začimbo, prah (praviloma) nepekočih rdečih paprik. V Evropi to začimbo običajno izdelujejo iz dveh sort: *Spanish* ali *Moroccan paprika* in *Hungarian paprika*. Ker v različnih delih sveta začimbo *paprika* izdelujejo iz različnih sort ima tudi okus različen. Izraz izhaja iz madžarščine, kjer tako imenujejo rod *Capsicum*.

Bell: Ta podtip je ekonomsko najpomembnejši in vsebuje največ sort. Plodovi, ki se razvijejo, so lahko rdeči, oranžni, rumeni, zeleni ali rjavi. Najstarejša in še danes zelo razširjena sorta je *California wonder*.

Pimiento: Paprika tega podtipa običajno razvije rdeče srčaste plodove, ki so nepekoči. Po okusu so bolj sladki od *Bell* paprik.

Yellow wax: Razvijejo se pekoče ali nepekoče paprike, zreli plodovi so oranžni ali rdeči, ki so lahko podolgovati ali krajši.

Cherry: Paprike tega podtipa razvijejo majhne, okrogle plodove rdeče barve. Ti so lahko pekoči ali ne.

Piquin: Ta podtip uspeva v naravi in velja za prednika ostalih paprik. Imenujejo ga tudi *ptičja paprika*. Plodovi so zelo majhni in okrogli ter pekoči.

Cayenne: Plodovi teh paprik so rdeči in podolgovati, dolgi tudi 25cm. Razvijejo ostrino tudi do 50.000 Scovillov. Marsikje zato predstavlja pomembno začimbo, enakovredno soli in popru (Bosland in Votava 2012).

- *Capsicum chinense*

Na območju Amazonije je diverziteteta te vrste in njenih podtipov največja. Dva najširše znana podtipa sta *Habanero* in *Scotch bonnet*. Ta vrsta je slabše raziskana od *C. annuum* in zato še niso poznani vsi podtipi, pa tudi marsikje prihaja do zmede zaradi nepravilnega poimenovanja (Bosland in Votava 2012). Ker ta vrsta ni tako globalno razširjena, predvsem za komercialne namene uporabe, tudi ne obstaja toliko raziskav. Prvi dokazi za prisotnost te vrste so nekoliko mlajši (~4000 let nazaj) od tistih za vrsto *C. annuum*, kar pa ni nujno dokaz, da je vrsta mlajša, lahko je le odraz pomanjkanja dokazov. Se pa zadnja leta žlahtnitelji ukvarjajo z razvojem novih sort z željo po doseganju vedno močnejših čili paprik. Ta vrsta je najbolj razširjena na treh filogenetsko ločenih območjih. Največje je območje zgornje Amazonke, Venezuele in vzhodnega dela Karibov. Vzorci iz teh območij so si bolj podobni med seboj, kot z vzorci iz drugih dveh območij. Drugi dve območji sta spodnji del Amazonke ter zahodni del Karibov. Prav tako so si vzorci z drugih dveh območij (spodnji del Amazonke, zahodni del Karibov) bolj genetsko podobni, kot z vzorci s prvega območja (zgornja Amazonka, Venezuela, vzhodni del Karibov). Raziskovalci so z metodo RAPD raziskovali genetsko raznolikost ter povezavo le te z geografsko razporeditvijo. Opazili so večjo genetsko raznolikost v populacijah na območju Amazonke v primerjavi s Karibi in Srednjo Ameriko, kar lahko morda povežemo z večjim in bolj raznolikim območjem. Zaključili so, da je območje Amazonke verjetno tudi center domestikacije, so pa mnenja, da zdaj pravih divjih populacij ni več. Semena so se na Karibske otoke lahko zanesla s pomočjo ptic ali starih trgovcev. Migratorna pot naj bi potekala iz območja zgornje Amazonke proti območju Venezuele ter dalje na Karibe, saj se tako tudi zmanjšuje genetska raznolikost (Moses in Umaharan 2012).

Habanero: Plodovi so zelo pekoči, oranžni ali rdeči in oblike svetilke. Podtip *Habanero* izvira iz polotoka Yukatan.

Scotch bonnet: Ime se povezuje z obliko plodov teh paprik, ki so podobni klobukom Škotov (Tam O'Shanter). Sicer so podobne *Habanero* sortam, plodovi pa so lahko rumeni, beli, rdeči, oranžni ali celo rjavi (Bosland in Votava 2012).

3 ZAKLJUČEK

Rod *Capsicum* je v polovici tisočletja osvojil cel svet. Poznamo veliko vrst in še več sort, katerih število se vsako leto povečuje, saj žlahtnitelji še kar ustvarjajo nove. V Ameriki so papriko uporabljali prav povsod, ko pa smo jo spoznali še ostali, je hitro zavzela velik del kulinarike tudi drugod po svetu. Ker je paprika tržno pomembna vrsta, žlahtnitelji že dolgo razvijajo in ustvarjajo nove in boljše sorte. Kljub temu, pa so z raziskavami tega rodu začeli precej pozno in jim še zadnja leta posvečajo več pozornosti.

Paprika izvira iz južne in srednje Amerike, od koder so jo v 15. stoletju ponesli še v Evropo in na ostale celine. Večina raziskovalcev rod *Capsicum* deli na 30 vrst, od katerih jih je 5 domesticiranih. Zaradi pomanjkanja opravljenih raziskav in nesoglasij glede definicije vrste pa si zaenkrat še niso enotni o točnem številu vrst ter njihovi delitvi. Potrebne bodo še nadaljnje raziskave in medsebojno sodelovanje, da bodo raziskovalci združili vsa svoja dognanja in sestavili enotno sliko obstoječih vrst ter definicijo le-teh.

Zadnja leta so genetske raziskave vedno bolj dodelane in obsežne, dognanja le-teh pa s pridom izkoriščajo tudi pri ustvarjanju novih sort. Prej so te pridobivali na tradicionalne načine, kot je na primer odbiranje semen, zdaj pa pri tem uporabljajo tudi nova znanja s področja genetike. Tako zdaj pri tem upoštevajo tudi lastnosti paprike na katere vpliva genetika kot so na primer moška sterilnost, barva in ostrina plodov ter ostale. Paprika praviloma razvije zelo različno pekoč plod, na kar vpliva vsebnost alkaloida kapsaicina, vendar pa nekatere sorte vrste *Capsicum annuum* zaradi mutacije te ostrine ne razvijejo. Ko razvijejo gensko stabilne sorte, pa se morajo žlahtnitelji posvetiti tudi okoljskim razmeram, saj ima tudi paprika, kot vsaka druga vrsta, svoje zahteve. Največ sort poznamo znotraj vrst *C. annuum* in *C. chinense* saj sta globalno najbolj razširjeni.

Kljub vsem novim dognanjem, pa menim, da so potrebne še številne raziskave, ki nam bodo pokazale realno sliko genetike in raznolikosti paprike. S pomočjo le-teh bomo čez nekaj let lahko z gotovostjo delili paprike v določene vrste in si z novo pridobljenim znanjem pomagali pri ustvarjanju novih sort, ob upoštevanju vpliva genov na izražanje določenih lastnosti.

4 LITERATURA IN VIRI

Aguilar-Meléndez A., Morrell P. L., Roose M. L., Kim S.C. 2009. Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chiles (*Capsicum annuum*; Solanaceae) from Mexico. *American Journal of Botany* 96(6): 1190-1202.

Albrecht E., Zhang D., Saftner R.A., Stommel J.R. 2012. Genetic diversity and population structure of *Capsicum baccatum* genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59(4): 517-538.

Bosland P. W., Votava E. J. 2012. Peppers: vegetable and spice capsicums – 2nd ed. Croydon, CPI Group (UK) Ltd.

Chileplanet, chili from all the world. <http://www.chileplanet.eu/index.html> (Datum dostopa: 16. 6. 2017)

Daskalov S. 1986. Mutation breeding in pepper. Dunaj. IAEA.

Ibibi H. RAPD markers assisted varietal identification and genetic purity test in pepper, *Capsicum annuum*. 2002. *Scientia Horticulturae* 97: 211-218.

IPGRI, AVRDC in CATIE. 1995. Descriptors for Capsicum (*Capsicum* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan in Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Kim D., Kang J.G., Kim, B.Y. 2007. Isolation and characterization of the cytoplasmic male sterility-associated orf456 gene of chili pepper (*Capsicum annuum*L.). *Plant Molecular Biology* 63: 519-532.

Lippert L.F., Bergh B.O., Smith P.G. 1965. Gene list for the pepper. *Journal of Heredity* 56: 30-34.

Manzur J.P., Olivia-Alarcón M., Rodríguez-Burruezo A. 2014. In vitro germination of immature embryos for accelerating generation advancement in peppers (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae* 170: 203-210.

Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Podobnik A., Turk B., Vreš B., Ravnik V., Frajman B., Strgulc Krajšek S., Trčak B., Bačič T., Fischer M. A., Eler K., Surina B. 2007. Mala flora Slovenije: Ključ za določanje praprotnic in semenk – 4., dopolnjena in spremenjena izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije.

Moses M., Umaharan P. 2012. Genetic structure and phylogenetic relationships of *Capsicum chinense*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 137(4): 250-262.

Mueller L. A., Solow T. H., Taylor N., Skwarecki B., Buels R., Binns J., Lin C., Wright M. H., Ahrens R., Wang Y., Herbest E. V., Keyder E. R., Menda N., Zamir D., Tanksley S. D.

2005. The SOL Genomics Network. A Comparative Resource for Solanaceae Biology and Beyond. *Plant physiology* 138: 1310-1317.

Padilha H.K.M., Barberi R.L. 2016. Plant breeding of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae) – A review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 10(15): 148-154.

Patterson A.H., Tanksley S.D., Sorrells M.E. 1991. DNA markers in plant improvement. *Advances in Agronomy* 46: 39-91.

Perry L., Dickau R., Zarillo S., Hoist I., Pearsall D.M., Piperno D.R., Berman M.J., Cooke R.G., Redmaker K., Ranere A.J., Raymond L.S., Sandweiss D.H., Scaramelli F., Tarble K. and Zeidler J.A. 2007. Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. *Science* 315, 986-988.

Pickersgill B. 1971. Relationships between weedy and cultivated forms in some species of chilli peppers (genus *Capsicum*). *Evolution* 25: 683-691.

Pickersgill B. 2007. Domestication of plants in the Americas: Insights from Mendelian and molecular genetics. *Annals of Botany* 100: 925-940.

Qin C., Yu C., Shen Y., Fang X., Chen L., Min J., Cheng J., Zhao S., Xu M., Luo Y., Yang Y., Wu Z., Mao L., Wu H., Ling-Hu C., Zhou H., Lin H., Gonzáles-Morales S., Trejo-Saavedra D.L., Tian H., Tang X., Zhao M., Huang Z., Zhou A., Yao X., Cui J., Li W., Chen Z., Feng Y., Niu Y., Bi S., Yang X., Li W., Cai H., Luo X., Montes-Hernández S., Leyva-Gonzáles M.A., Xiong Z., He X., Bai L., Tan S., Tang X., Liu D., Liu J., Zhang S., Chen M., Zhang L., Zhang L., Zhang Y., Liao W., Zhang Y., Wang M., Lv X., Wen B., Liu H., Luan H., Zhang Y., Yang S., Wang X., Xu J., Li X., Li S., Wang J., Palloix A., Bosland P.W., Li Y., Krogh A., Rivera-Bustamante R.F., Herrera-Estrella L., Yin Y., Yu J., Hu K., Zhang Z. 2014. Whole-genome sequencing of cultivated and wild peppers provides insights into *Capsicum* domestication and specialization. *PNAS* 111(14): 5135-5140.

Rocío Gómez-García M., Ochoa-Alejo N. 2013. Biochemistry and Molecular Biology of Carotenoid Biosynthesis in Chili Peppers (*Capsicum* spp.). *International Journal of Molecular Sciences* 14: 19025-19053.

Sahagun B. de. 1590. The General History of the Things of New Spain; Florentine Codex. English translation by A.J.O. Anderson and C.E. Dibble, published in 1952. Monograph No. 14, Book 3. School of American Research, Santa Fe, NM.

Sol Genomics Network. https://solgenomics.net/about/about_solanaceae.pl (Datum dostopa: 24. 6. 2017)

Svarog – proces evolucije. http://mss.svarog.si/biologija/MSS/index.php?page_id=11390 (Datum dostopa: 30. 7. 2017)

Tanksley, S.D. 1983. Molecular markers in plant breeding. *Plant Molecular Biology Reports* 1: 3-8.

Understanding evolution. http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/bottlenecks_01
(Datum dostopa 30. 7. 2017)

Walsh B.M., Hoot S.B. 2001. Phylogenetic relationships of Capsicum (Solanaceae) using DNA sequences from two noncoding regions: the chloroplast atpB -rbcl spacer region and nuclear waxy introns. International Journal of Plant Sciences 162: 1409-1418.

Wang D., Bosland P.W. 2006. The genes of Capsicum. HortScience 41: 1169-1187.

What iz a DNA fingerprint? <https://www.yourgenome.org/facts/what-is-a-dna-fingerprint>
(Datum dostopa 31. 7. 2017)