

АКАДЕМИЈА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА СРБИЈЕ - АИНС
ОДЕЉЕЊЕ БИОТЕХНИЧКИХ НАУКА



ЗНАЧАЈ РАЗВОЈНИХ ИСТРАЖИВАЊА И ИНОВАЦИЈА У ФУНКЦИЈИ УНАПРЕЂЕЊА ПОЉОПРИВРЕДЕ И ШУМАРСТВА СРБИЈЕ

Радови са научног скупа одржаног 04.11.2020. године

**АИНС
Академска мисао
Београд, 2020.**

АКАДЕМИЈА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА СРБИЈЕ – АИНС
ОДЕЉЕЊЕ БИОТЕХНИЧКИХ НАУКА

**ЗНАЧАЈ РАЗВОЈНИХ ИСТРАЖИВАЊА
И ИНОВАЦИЈА У ФУНКЦИЈИ
УНАПРЕЂЕЊА ПОЉОПРИВРЕДЕ
И ШУМАРСТВА СРБИЈЕ**

Радови са научног скупа одржаног 04.11.2020. године

Академија инжењерских наука Србије – АИНС
Одељење биотехничких наука
Академска мисао, Београд
Београд, 2020.

ЗНАЧАЈ РАЗВОЈНИХ ИСТРАЖИВАЊА И ИНОВАЦИЈА У ФУНКЦИЈИ УНАПРЕЂЕЊА ПОЉОПРИВРЕДЕ И ШУМАРСТВА СРБИЈЕ

Радови са научног скупа одржаног 04.11.2020. године

Уредник
Ратко Лазаревић

Организациони одбор скупа

Ратко Лазаревић, редовни члан АИНС, председник
Драган Шкорић, академик САНУ и АИНС
Бранка Лазић, академик АИНС
Ратко Николић, академик АИНС
Снежана Младеновић-Дринић, академик АИНС
Ратко Ристић, дописни члан АИНС
Драган Терзић, доцент, Пољопривредни факултет, Крушевац
Драгана Ђурић, технички секретар АИНС

Научни одбор скупа

Милена Симић, дописни члан АИНС, председник
Васкрсија Јањић, редовни члан АИНС
Душан Ковачевић, редовни члан АИНС
Мирјана Шијачић Николић, редовни члан АИНС
Витомир Видовић, редовни члан АИНС
Стеван Маширевић, редовни члан АИНС
Золтан Заварго, дописни члан АИНС

Издавачи:

Академија инжењерских наука Србије – АИНС
Одељење биотехничких наука
Академска мисао, Београд

Штампа:

Академска мисао, Београд
Тираж: 300 примерака
ISBN 978-86-7466-854-2

**Зборник радова једним делом финансирао је Министарство просвете, науке и
технолошког развоја Републике Србије**

ИНОВАТИВНА РЕШЕЊА У ИСКОРИШЋАВАЊУ УСЕВА - БИОФОРТИФИКАЦИЈА У ФУНКЦИЈИ ПРОИЗВОДЊЕ КВАЛИТЕТНЕ ХРАНЕ

Весна ДРАГИЧЕВИЋ¹, Снежана МЛАДЕНОВИЋ ДРИНИЋ²

САЖЕТАК

Глобални тренд индустријализације пољопривреде, нарочито од појаве „зелене револуције“, карактерише повећање приноса биомасе, зрна и плодова усева. Овакав тренд има за последицу паралелно смањење хранљиве вредности пољопривредних производа, које се огледа у смањеној концентрацији минерала и витамина, посебно када су у питању гвожђе, магнезијум, цинк и селен. Када се узме у обзир висок степен ерозије, као и нарушавање земљишног екосистема, уз интензивну употребу минералних ђубрива, базираних углавном на азоту, фосфору и калијуму, а без уноса органских ђубрива, замљашта се „испошћују“ и рапидно се губи плодност. Важно је истаћи да је скоро половина светских земљишта дефицитарна минералима. Ово се даље, преко циклуса исхране, врло неповољно одражава на здравствено стање људи и животиња, доводећи до системске неисхрањености и појаве бројних хроничних болести. Да би се стало на пут наведеним трендовима, потребно је произвести пољопривредне производе богате хранливима.

Акумулација минерала у биљкама, посебно у зрну, као и синтеза витамина је контролисан бројним биохемијским процесима. Биофортификација има за циљ повећање концентрације минерала и витамина у јестивим деловима биљака. Мере гајења које утичу на повећање апсорпције минерала и синтезу витамина, као и методе оплемењивања и генетичког инжењеринга које имају за циљ стварање генотипова пожељних особина, могу повољно утицати на повећање концентрације минерала и витамина у јестивим деловима гајених биљака. Паралелно са повећањем концентрације есенцијалних минерала и витамина, потребно је развити и мере којима се утиче на смањење анти-нутритива, који спречавају ресорпцију минерала и витамина из органа за варење, односно њихово искоришћење од стране анималних организама. Повећање концентрације есенцијалних минерала и витамина, као и њихова искористљивост од стране људских и животињских организама је врло комплексна проблематика, која се базира на примени бројних иновативних решења и која би требало да представља интегрални део и спону између агрономских и медицинских наука, са циљем побољшања квалитета агроекосистема, гајених биљака и живота, уопште.

Кључне речи: есенцијални минерали, витамини, неисхрањеност, мере гајења, селекција и генетички инжењеринг.

УВОД

Тренд раста светског становништва и пољопривредне продукције би требало да се прате како би се обезбедио оптимална количина хране. Захваљујући томе, оптимални ниво калорија које се обезбеђују преко хране је достигнут, али са друге стране, произведена биомаса и зрно поседују низак ниво минерала, као и других есенцијалних хранива. У Србији, и у свету постоје земљишта ниске плодности, са високим или ниским рН вредностима, дисбалансом минерала, површине захваћене ерозијом и др. на којима је гајење усева отежано, а биљке не могу да обезбеде основне елементе за раст и развој. Такође, метеоролошки екстреми погоршавају услове за гајење биљака, тако да је недостатак

¹ Институт за кукуруз Земун Поље, Слободана Бајића 1, 11185 Земун Поље, e-mail: vdragicevic@mrizp.rs

² Redovni član AINS

есенцијалних елемента, а посебно Fe, Mg, Zn, Se, I, каротеноида, и др. витамина у храни, присутан у целом свету (Welch, 2005; Clemens, 2014). Једна од важних ставки у оквиру безбедности хране односи се управо на обезбеђивање оптималних концентрација есенцијалних минерала у јестивим деловима биљака. Према Graham et al. (2007) за оптимално функционисање, људском организму је свакодневно потребно најмање 50 хранљивих елемената (витамина, минерала, аминокиселина, есенцијалних масних киселина и др.) које се обезбеђују искључиво преко хране. Стога је важно да постоји блиска веза између нутриционизма, односно свести људи шта једу и пољопривредне производње, са циљем повећања нутритивног квалитета прехранбених производа, у чему најважнију улогу имају системи пољопривредне производње.

Уколико одређени пољопривредни систем није способан да обезбеди довољну количину и диверзитет хране, људски организам ће патити, смањиваће се радна способност, а повећаваће се стопа оболевања и морталитета, што ће се неповољно одразити на развој друштва, држава, било да се ради о развијеним или државама у развоју (Welch, 2002). Недостатак минерала у исхрани, који често зову и „скривена глад“ утиче неповољно на цео организам, узрокујући бројне хроничне болести, као што су метаболички синдром, рак, кардио-васкуларне болести, срчани и мождани удар, дијабетес, поремећаји имунитета, остеопороза и др. (Meisner et al., 2005; Soetan et al., 2010). У свету преко 50% становништва пати од недостатка одређених минерала и то посебно деца, адолесценти и жене из сиромашнијих подручја (Welch, 2005; Graham et al., 2007). Myers et al. (2014) истичу да око две милијарде људи пати од недостатка Fe и Zn, доводећи до губитака од 63 милиона долара, годишње. Недостатак есенцијалних елемената је нарочито присутан у земљама које су прихватиле парадигму Зелене револуције. Наиме, интензивни технолошки развој, присутан током XX века, преко увођења нових сорти, хибрида, агро-хемикалија (средстава за заштиту биљака и минералних ђубрива) и пољопривредних машина и алатки, утицао је на вишеструко повећање продуктивности и приноса, уз смањење уложеног рада, обезбеђујући адекватну количину, првенствено житарица, а самим тим и калорија за човечанство. Welch and Graham (1999) истичу да је овакав систем производње поред бројних бенефита који се огледају у повећању плодности земљишта сиромашних нпр. N и P, угрозио животну средину, преко несистематске употребе агро-хемикалија, исцрпљивања земљишта (ерозија, ацидификација, заслањивање, дезертификација, повећање концентрације токсичних резидуа), загађивања воде и ваздуха.

У интензивним системима гајења, чак и махунарке, које су значајан извор минерала, не могу да обезбеде оптималне потребе за минералима (Meisner et al., 2005). Важно је истаћи да ће проблем сигурности хране кулминирати у врло скорој будућности и то са P, јер ће се до средине XXI века исцрпити сва лежишта супер-фосфата, као основног извора фосфора у пољопривреди, уз чињеницу да око 50% P из ђубрива заврши у зрнима гајених биљака у форми неприступачној за човека и непреживаре, односно фитинској киселини (Raboy, 2013). Исхрана базирана на зрнастој храни, укључујући житарице, махунарке и сл., богате фитатима и другим антинутритивима, а сиромашна анималним протеинима представља одличну предиспозицију за недостатак Fe и Zn. Rosanoff et al. (2012) су указали на постојање позитивне корелације између прогресивног раста броја оболелих од дијабетеса типа 2 у САД и раста Ca:Mg односа у храни ≥ 3 . Овај однос је важан у превенцији бројних болести, као што су метаболички синдром, остеопороза као и друге инфламаторне болести.

Са друге стране, као одговор на постојеће трендове, појавила се Парадигма одрживости, и у новије време тренд Регенеративне пољопривреде (LaCanne and Lundgren, 2018), који такође подразумевају високу продуктивност, уз очување и опоравак основних ресурса, уједно агро-екосистема, кроз повећање органске материје у земљишту, диверзитета земљишног микробиома и других организама, утичући на структуру и продуктивност земљишта. Уз диверзификацију усева који се гаје, укључујући усеве богате минералима и витаминима, као и другим важним хранљивим елементима (Graham et al., 2007), као и увођење система исхране који подразумевају цело зрно житарица, махунарке, свеже поврће и воће,

орашасте плодове, анималне протеине, алге и гљиве, требало би да базичне људске потребе за свим потребним хранивима буду задовољене.

Абиотски и биотски фактори који утичу на усвајање есенцијалних хранива (пољопривредну производњу)

Пољопривредна производња у великој мери зависи од услова животне средине. Нагле промене температуре и количина падавина саставни су део метеоролошких екстрема који не само да утичу на смањење приноса, већ могу довести до уништења усева. Климатске промене се такође могу негативно одразити и на социо-економске аспекте везане за системе производње хране, укључујући сточарску производњу, транспорт, демографске промене и понашање људи, што све утиче на производњу и безбедност хране (Tirado et al., 2010).

Осим екстремних метеоролошких услова, повећана концентрација CO₂ у атмосфери је један од важних фактора који утиче на пољопривредну продукцију. Loladze (2002) истиче да повећани ниво C у биљним ткивима није паралелно праћен и повећањем апсорпције и концентрације минералних елемената из земљишта, што се огледа у смањењу односа минерали:С. Такође, код C3 биљака из породица трава и махунарки забележене су ниже концентрације Zn и Fe, уз мању потрошњу воде, и повећану акумулацију угљених хидрата у листовима, када расту у условима веће концентрације атмосферског CO₂, док C4 усеви нису тиме погођени (Myers et al., 2014). Осим тога, постоје велика варирања између генотипова исте врсте у погледу акумулације и односа минерали:С. Повећана концентрација атмосферског CO₂ утиче на смањење нивоа транспирације, убрзан раст биљака, са променама у развоју (цветање и плодоношење), уз повећану акумулацију биомасе и смањену апсорпцију Ca и Si, што се даље негативно одражава на метаболизам и отпорност на напад патогена, као и на смањен садржај липида и протеина у зрну (Fernando et al., 2012). Даље, повећана UV радијација и зрачење из видљивог дела спектра повећавају концентрацију полифенолних једињења у листовима, као и разлагање органске материје у земљишту, утичући на хемизам и динамику минералних елемената у земљишту (Lynch and St.Clair, 2004). Неповољни метеоролошки услови, као што су суша, а посебно ниска температура ваздуха могу се негативно одразити на апсорпцију и транспорт минералних елемената у биљкама (Hart et al., 1998).

Промене у земљишту представљају примарни фактор који условљава апсорпцију и акумулацију минералних елемената у биљкама. Минерали се у земљишту налазе у облику слободних јона, адсорбовани на различите минералне или органске компоненте, у облику соли или делова преципитата земљишног раствора и као структурни делови земљишних живих организама (White and Broadley, 2009). Апсорпција и накупљање минералних елемената у биљним ткивима у највећем степену зависи од њихове количине и приступачности у земљишту. Оптимална минерална исхрана је врло значајан фактор којим се обезбеђује нормалан раст и развој биљака, нарочито на сиромашним и неплодним земљиштима. Добро је позната веза између недостатка Zn код људи и његовог недостатка у земљишту.

Услови у земљишту, као што су редокс реакције, у високом степену утичу на приступачност појединих минералних елемената. Тако Fe- и Mn-оксиди, хуминске киселине, као и бактерије и копродукти њиховог разлагања представљају активне сорбенте многих микроелемената (Violante et al., 2010). Такође, физичке и хемијске карактеристике земљишта: велика тврдоћа, водонепропустљивост или висока оцедност, као и киселост, алкалност, висок салинитет, токсичност појединих јона и тешких метала (као, нпр. Na, Cl, Al, Fe, Mn, Cd, Pb и др.) утичу, како на приступачност појединих минералних елемената, тако и на појаву абиотског стреса код биљака које расту на оваквим земљиштима. Важно је напоменути да елементи слични по карактеристикама (атомска маса, група у периодном систему, набој и др.) су конкуренти једни другима приликом усвајања. Тако су нпр. Ca и Cd конкуренти Zn

(Slamet-Loedin et al., 2015), што поред знакова недостатка, може даље довести до оксидативног стреса и оштећења (Rose et al., 2013).

Са друге стране, значајан утицај на дисбаланс минералних елемената има и антропогени фактор, преко деградације, ерозије, дезертификације, ацидификације, заслањивања или испирања површина неадекватним наводњавањем, као и претераним ђубрењем. Тако претеран унос Р ђубрива неповољно се одражава на смањену приступачност Zn. У нешто мањем степену, одређене мелиоративне мере, као што су повећан унос макроелемената (N, K, P, S, Ca и Mg), као и мере које имају за циљ поправку квалитета и рН баланса земљишта - уношење Са-карбоната или оксида, гипса, унос органских ђубрива, могу се негативно одразити на приступачност појединих минералних елемената. Позитиван утицај антропогеног фактора се огледа у повећању плодности земљишта кроз уношење органске материје, као и микробиолошких ђубрива (микоризне гљиве, бактерије азотофиксатори), који поред повећања приноса могу позитивно утицати и на повећани капацитет апсорпције минералних елемената, првенствено Cu и, Mn (Lehmann and Rillig, 2015).

Нису сви минерални елементи, који су важни за човека, важни и за биљке и њихов метаболизам. Биљке су способне да захваљујући селективности апсорбују чак и мале количине приступачних елемената из земљишта, али се углавном статус минерала у земљишту рефлектује на састав биљака које на њему расту (Soetan et al., 2010). Биљке углавном апсорбују Fe, Zn, Cu, Ca и Mg у форми катјона, док су Gramineae способне да апсорбују Fe, Zn и Cu у хелатном облику, Se се може усвојити у облику селената, селенита и органских облика, а I у облику јодата или јодида, што зависи од физичких и хемијских карактеристика земљишта.

Важно је истаћи да постоје генотипови који поседују високу ефикасност у усвајању хранива из земљишта, чак и у условима недостатка, односно екстремним условима (кисела, слана земљишта и сл.). Eckhard et al. (2012) су истакли да су високо ефикасни генотипови способни да остваре високе приносе на земљиштима са ниским нивоом једног или више елемената. Њихови гени учествују у синтези транспортера са високим афинитетом за усвајање у условима недостатка. Impra et al. (2013) и Tiong et al. (2015) су детерминисали кључне гене код генотипова пиринча са високом Zn ефикасношћу који енкодирају апсорпцију и транслоцирају Zn јоне из старијих у млађе листове (метаболички активнији и осетљивији). Биљке боље транслоцирају метаболите из зрелијих, односно, старијих листова у зрна. Уколико биљке расту у условима слабе обезбеђености појединим минералима и ако је неки елемент мобилнији, симптоми недостатка ће бити приметни на старијим листовима и обратно, ако је неки елемент слабије мобилан, недостатак ће погодити и бити видљив на млађим листовима (Soetan et al., 2010).

БИОФОРТИФИКАЦИЈА

Фортификација хране представља начин њене: реконструкције, обогаћивања, стандардизације, односно суплементације одређеним нутритивима (Wirakartakusumah and Hariyadi, 1998). Реконструкција представља додавање нутритива, са циљем да се поврати почетни нутритивни квалитет, док је обогаћивање диктирано стандардима, односно законским легислативама. Поступком стандардизације се компензује мањак нутритива услед природне варијабилности, а суплементација представља додавање нутритива који нису природно присутни или их има врло мало у некој храни. Међутим, значај фортификације се огледа у томе да додати нутритив и храна-носач морају испуњавати одређене критеријуме, како би настали продукт постао адекватан извор нутритива за циљану популацију.

Биофортификација је иновативна и одржива стратегија која има за циљ борбу против неухрањености минералним и другим хранљивим елементима, односно против тзв. „скривене глади“. Она комбинује различите технике, с обзиром да је апсорпција и акумулација минералних елемената у биљкама, а посебно у зрну контролисана бројним

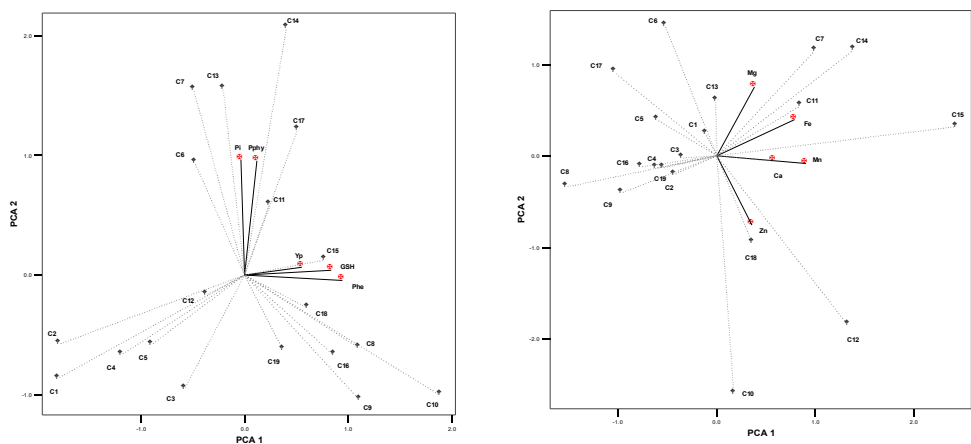
физиолошким процесима. Неколико важних стратегија које имају за циљ повећање концентрације минералних елемената у јестивим деловима биљака, а посебно у зрну, се издвојило. Неке од њих се базирају на генетици и селекцији генотипова са већом ефикасношћу, односно увођењу гена који контролишу и повећавају апсорпцију и акумулацију минерала, као и фактора који побољшавају њихову ресорпцију из органа за варење. Друге стратегије подразумевају примену различитих агротехничких мера, а посебно ђубрива, са пожељним саставом, као и стимулатора који интензивирају апсорпцију минералних елемената. Важно је истаћи да бројне мере које се примењују у одрживој и регенеративној пољопривреди, а које доприносе повећању плодности земљишта, диверзитета и квалитета, доприносе повећаној акумулацији минерала, односно повећавају нутритивни квалитет јестивих делова биљака.

Када се ради о биофортификацији, поред повећања концентрације циљних минералних елемената и витамина у јестивим деловима, важно је водити рачуна и о концентрацији супстанци које смањују ресорпцију циљних нутритива из органа за варење, тзв. антинутритивима, као и супстанцама које потпомажу и повећавају ресорпцију циљних нутритива, тзв. промотерима (Welch and Graham, 2000). Graham et al. (2007) су дали опаску да ми нисмо оно што једемо, већ оно што уносимо и не излучујемо. У антинутритиве спадају: фитинска киселина и фитати, влакна (целулоза, хемичелулоза, лигнин, кутин, суберин и др.), хемаглутинаини (лектини), тешки метали (Cd, Hg, Pb, Ag). У промотере спадају: поједине органске киселине (аскорбинска, лимунска, фумарична, јабучна и сл.), неке аминокиселине (метионин, цистеин, хистидин, лизин), фито-феритин, липиди (масти и уља), витамин Е, масне киселине дугих ланаца (нпр. палмитинска киселина), Se, који представљају нормалне биљне метаболите, чија концентрација и однос у високом степену одређују приступачност минералних елемената.

СЕЛЕКЦИЈА И ГЕНЕТИЧКИ ИНЖЕЊЕРИНГ КАО МЕРЕ БИОФОРТИФИКАЦИЈЕ

Модерно гајење усева треба да буде базирано на високоприносним генотиповима, способним да расту у условима смањених уноса воде, ђубрива и других агро-хемикалија. Њихови производи треба да имају одговарајући нутритивни квалитет. Међутим, нутритивни квалитет и потенцијал приноса обрнуто су пропорционални. Тако, новији генотипови црвене пшенице, са већим потенцијалом родности поседују ниске концентрације елемената, као што су Zn, Fe и Se, у односу на старије генотипове (Garvin et al., 2006). Стога је Raboy (2013) истакао важност селекције у производњи високо-ефикасне хране, односно биљака које имају висок принос уз ефикасно коришћење ресурса.

Методе за добијање високо-ефикасних генотипова подразумевају стандардне методе селекције, маркер асистирани селекција (МАС), трансгене методе, као и едитовање генома. Конвенционална селекција представља дуготрајан и тежак пут, захваљујући варирањима агро-еколошких фактора, првенствено састава земљишта. Интеракција генотип \times животна средина утиче више од два пута на концентрације Fe и Zn у зрну кукуруза (Oikeh et al., 2004a). Зато је МАС бољи када су у питању особине ниске херитабилности, с обзиром да генотипови који немају жељене маркере бивају елиминисани на почетку тестирања. Важан предуслов за МАС је постојање високе варијабилности, као и чињеница да ефикасност искоришћења хранива мора бити потврђена у пољу. Пример високе варијабилности у погледу садржаја минералних елемената, антинутритива и промотера у зрну наута приказан је на Графикону 1.



Графикон 1. Варијабилност у погледу садржаја фитата (P_{phy}), неорганског P (P_i), жутог пигмента (Yp), глутатиона (GSH), фенола (Phe), Mg, Ca, Fe, Mn и Zn у семену 19 популација наута (Dragičević et al., 2018)

Кукуруз је врста која поседује високу варијабилност у концентрацији β -каротена, Fe, Mn и Zn, као и неких антинутритива, чиме може да испуни очекивања у погледу задовољења нутритивних потреба човека (Dragičević et al., 2013; Gupta et al., 2015). Ово је посебно наглашено код генотипова који имају низак ниво фитата у зрну (Mladenović Drinić et al., 2009; Dragičević et al., 2010). Узимајући у обзир конвенционалну селекцију, хетеротична позадина, тј. порекло мора бити примарно сагледано, као извор високо-приступачних минералних елемената (Dragicević et al., 2016), што је посебно уочљиво када се узме у обзир моларни однос између фитата, као основног антинутритива, β -каротена, као промотера и минералних елемената (Табела 1). Комбинација МАС и конвенционалних метода селекције се може врло успешно користити при мапирању и одабиру одговарајућих линија кукуруза (Šimić et al., 2012). Аутори су тестирајући 294 линије пореклом од бипаренталних популација кукуруза пронашли значајан утицај адитивног ефекта, односно велики број малих QTL-ова који контролишу особине важне за биофортификацију, од чега је однос фосфора, односно фитата и минералних елемената једна од најважнијих особина.

Табела 1. Моларни односи између фитинске киселине, β -каротена и минералних елемената (PA)/ β -каротен, PA/Mg, PA/Fe, PA/Mn и PA/Zn (Dragicević et al., 2016)

Хетеротична група	PA/ β -каротен	PA /Mg	PA /Fe	PA /Mn	PA /Zn
БССС	844	0.807	105.85	241.30	55.53
Ланкастер	1044	0.826	98.59	221.94	65.64
Независна група	1278	0.797	111.00	244.71	55.81

Са друге стране, увђење трансгених технологија не зависи само од идентификације и уграђивања гена одговорних за апсорпцију и акумулацију нутритива, већ и од прихватања ове технологије у производњи. Welch and Graham (2005) су дефинисали важне предуслове за комерцијализацију биофортификованих генотипова: принос мора бити исти или већи; садржај нутритива мора бити стабилан при гајењу у различитим агро-еколошким условима уз позитиван утицај на људско здравље; ефикасност усвајања мора бити тестирана на

људима, заједно са органолептичким својствима, због осигуранијег прихватања од стране конзументата.

До сада је највише резултата остварено преко повећања мобилности и акумулације минералних елементата, где велику улогу играју хелатори, као што је никотианамин. Тако је извршена трансформација пиринча која је укључивала експресију три гена никотианамин синтетазе (НАС) и гена који кодирају синтезу регулаторних протеина акумулације Fe, повећавајући његову концентрацију шест пута (Clemens (2014). Комбинација гена који енкодирају експресију НАС и феритина повећала је 1,5 пута концентрацију Zn. Увођењем феритин гена из соје (SoyferH2), са НАС из јечма (HvNAS'), као и гена никотианамин трансферазе (HvNAAT-A and -B), као и синтетазе мугеинске киселине (IDS3), добијена је 4 пута већа концентрација Fe у зрну полираног пиринча, гајеног у условима Fe дефицита (Masuda et al., 2013). Kobayashi et al. (2012) су показали да региони богати хистидин-аспарагином и пролином у оквиру IDEF1 транскрипционог фактора учествују у директном везивању дивалентних метала, као што је Fe.

Када су у питању манипулације, једна од важних стратегија је издвајање гена из хиперакумулатора. Guerinot and Salt (2001) су указали на важност групе ЗИП-транспортера из плазма мембране *Thlaspi caerulescens* и *Arabidopsis-a* у транспорту Zn. Врсте из рода *Astragalus*, познате као хиперакумулатори Se могу да послуже као добар извор генетског материјала за добијање јестивих биљака обогаћених лако приступачним Se.

Осим на повећању апсорпције и акумулације минералних елемената, модификације се могу успешно користити и за повећање синтезе промотера, уједно важних нутритива, као што су каротеноиди, витамин Ц, фолат и сл. Suwarno et al. (2015) предложили читаву групу гена који учествују у синтези различитих каротеноида: proVA, LCYE, CRTRB1, DXS1, GGPS1, GGPS2, HYD5, CCD1, ZEP1. Гени који енкодирају експресију GTP циклохидролазе I (контролише синтезу птеридина) и аминоксехоризмат синтетазе (контролише синтезу PABA) су успешно искоришћени за добијање плодова парадајза са 25 пута већом концентрацијом фолата (Garza et al., 2007). Naqvi et al. (2009) су захваљујући примени одређених модификација добили зрна кукуруза са 169 пута већом концентрацијом β-каротена, 6 пута већим нивоом витамина Ц и дупло већим садржајем фолата.

Без обзира на високу успешност наведених метода, комбинација различитих приступа и техника би могла дати знатно боље резултате у погледу обогаћивања јестивих биљака минералима и витаминима, с обзиром да чак и високо ефикасни генотипови не могу апсорбовати елементе којих нема у подлози.

АГРОНОМСКА БИОФОРТИФИКАЦИЈА – СИСТЕМИ ГАЈЕЊА УСЕВА КАО МЕРА БИОФОРТИФИКАЦИЈЕ

Плодност земљишта, односно снабдевеност приступачним минералним елементима је важан предуслов у производњи нутритивно богате хране. Примена различитих типова ђубрива је примарна мера агрономске биофортификације. За разлику од фармацеутских додатака, елементи примењени преко ђубрива бивају метаболисани од стране биљака, односно животиња пре него што постану део хране, чиме је смањен ризик од предозирања, уз бројне друге предности.

Важно је истаћи да би примена ђубрива, као и других мера агрономске биофортификације требала да буде саставни део генетичке биофортификације. Тако Сакмак (2008) истиче да обогаћивање НПК ђубрива са Zn представља комплементарну допуну постојећих селекционих програма. Макроелементи из ђубрива утичу на усвајање микроелемената. Ниже дозе N позитивно се одражавају на усвајање и транспорт микроелемента код пиринча (Нао et al., 2007), док калцизација, у комбинацији са Mg-фосфатом, не само да повећава рН земљишта, него паралелно утиче и на повећање усвајање Са, Mg, P и K код пиринча и кикирикија (Chang and Sung, 2004). Оптимизација поступка за

повећано усвајање Zn, резултирала је у производњи Zn-обогаћене урее 1.5% (ZnSO₄) (Shivay and Prasad, 2012). Примена Se ђубрива се позитивно одразила на побољшање Se статуса становништва у Финској (Lonnerdal, 2003). Осим тога Wu et al. (2015) су предложили да се обогаћивање земљишта сиромашних са Se врши применом зеленишних ђубрива, пореклом са локација где се врши фиторемедијација Se.

Један од најефикаснијих начина за високу и сигурну апсорпцију дефицитарних минералних елемената је примена фолијарних ђубрива, јер се избегавају негативни земљишни фактори, који би могли да редукују њихово усвајање. Fang et al. (2008) су оптимизовали услове повећање концентрације Zn, Se и Fe применом фолијарних ђубрива код пиринча. Примена фолијарних препарата на бази биљних екстраката, секундарних метаболита, алги, фитохормона и сл. позитивно се одражава на принос, усвајање и потенцијално бољу ресорпцију Fe, Mn и Zn (Dragičević et al., 2015a) (Табела 2).

Табела 2. Ефекат нестандардних фолијарних ђубрива на садржај минералних елемената у зрну соје (Dragičević et al., 2015a)

	Третман	Mg (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
ЗП-015	Контрола	2284.4 ± 48.6*	65.66 ± 0.49	29.66 ± 1.37	34.41 ± 2.78
	Златно иње	2331.3 ± 0.0	70.13 ± 0.18	29.97 ± 1.46	45.41 ± 3.23
	Епин Екстра	2459.4 ± 4.4	71.47 ± 0.84	31.53 ± 0.31	36.00 ± 4.15
	Циркон	2215.6 ± 39.8	78.41 ± 0.35	25.78 ± 0.57	48.13 ± 2.08
	Биоплант Флора	2371.9 ± 30.9	68.69 ± 1.99	26.75 ± 0.35	44.91 ± 1.15
	АлгаренВZn	2356.3 ± 35.4	67.91 ± 0.66	28.56 ± 1.33	38.13 ± 2.12
	Просек	2336.5 ± 26.5	70.38 ± 0.75	28.71 ± 0.90	41.16 ± 2.59
Нена	Контрола	2221.9 ± 13.3	57.34 ± 0.40	26.00 ± 0.00	37.44 ± 2.92
	Златно иње	2106.3 ± 35.4	60.75 ± 2.25	23.56 ± 1.02	35.63 ± 0.09
	Епин Екстра	2162.5 ± 17.7	64.34 ± 0.80	26.28 ± 0.53	32.09 ± 0.13
	Циркон	2321.9 ± 39.8	62.31 ± 0.62	23.78 ± 0.49	35.09 ± 2.34
	Биоплант Флора	2320.9 ± 39.8	63.16 ± 0.75	22.97 ± 1.64	40.38 ± 2.65
	АлгаренВZn	2181.3 ± 0.0	58.81 ± 0.62	21.94 ± 0.09	30.56 ± 3.36
	Просек	2219.1 ± 24.3	61.12 ± 0.91	24.09 ± 0.63	35.20 ± 1.92
Лаура	Контрола	2172.5 ± 25.6	60.09 ± 1.37	26.59 ± 1.02	42.84 ± 2.52
	Златно иње	2215.9 ± 13.3	66.13 ± 0.22	27.31 ± 0.75	59.72 ± 8.62
	Епин Екстра	2234.7 ± 45.1	59.34 ± 1.06	25.81 ± 0.71	56.59 ± 11.62
	Циркон	2138.1 ± 25.2	57.13 ± 0.62	24.78 ± 0.49	54.81 ± 4.95
	Биоплант Флора	2177.8 ± 85.3	56.72 ± 3.58	25.38 ± 1.15	57.44 ± 1.94
	АлгаренВZn	2090.6 ± 19.0	58.00 ± 0.88	20.47 ± 0.09	45.03 ± 3.31
	Просек	2187.8 ± 35.6	59.57 ± 1.29	25.06 ± 0.70	52.74 ± 5.49

* Просек ± СД (стандардна девијација) од четири понављања

Одржива и регенеративна пољопривреда имају за циљ добијање високих и нутритивно квалитетних приноса, уз одржање високе плодности земљишта, односно регенерацију природних ресурса. Важну улогу у овим системима играју микробиолошка ђубрива. González-Guerrero et al. (2014) и Lehmann and Rillig (2015) су указали да

азотофиксатори и други симбиотски микроорганизми, а посебно гљиве, имају важну улогу у хомеостазу метала у земљишту и могу бити важни у програмима биофортификације. Гајење здружених и покровних усева представља незаобилазни део система одрживе пољопривреде. Комбиновањем усева омогућено је да различите врсте помажу једне другој да лакше усвајају минералне нутритиве из земљишта. Фитосидерофоре, које се излучују преко коренова кукуруза помажу биљкама другог усева, као што су кикирики или соја да боље усвајају и накупљају Mg, Fe и Zn у зрну (Xiong et al., 2013; Dragicevic et al., 2015b). Паралелно, могуће је повећати и ниво промотера, као што је β -каротен, који утичу на ресорпцију минералних елемената. Покровни усеви, чија се важна улога огледа у заштити од ерозије и испирања хранива у дубље слојеве и сузбијању корова, такође могу повољно утицати на обогаћивање земљишта азотом, као и усвајање и повећање садржаја других минералних елемената у главним усевима (Baligar et al. 2006).

УПРАВЉАЊЕ ФАКТОРИМА КОЈИ ОМОГУЋАВАЈУ УСПЕШНОСТ БИОФОРТИФИКАЦИЈЕ

Захваљујући осиромашењу генетичког и нутритивног диверзитета, селекцијом високоприносних генотипова, осетљивих на метеоролошке екстреме и климатске промене, појавила се стратегија биофортификације, као одрживог система мера преко којих се поправља нарушени квалитет пољопривредних производа (Karut et al., 2015). Неисхрањеност есенцијалним нутритивима је сложен проблем који за решавање захтева комбинацију разнородних приступа и метода. Са резервом би требало узети у обзир селекцију нискофитинских генотипова, јер фитат, осим негативних аспеката у везивању јона метала, показује антиканцерогени и хипохолестеролемични ефекат (Urbano et al., 2000; Silva and Brasarense, 2016). Знатно ефикаснији начин смањења концентрације фитата у основној, тј. зрнастој храни, постиже се потапањем, наклијавањем, ферментацијом, аутолизом (Urbano et al., 2000). Са друге стране, полифенолна једињења која се углавном налазе у семењачи и мекињама показују знатно већи инхибиторни ефекат на ресорпцију појединих минералних елемената, у односу на фитинску киселину (Prom-u-thai et al., 2006; Ariza-Nieto et al., 2007). Додавање аскорбата или других промотера игра знатно већу улогу у повећању ресорпције минералних елемената, у односу на смањење нивоа антинутритива. Познато је такође да ресорпција минералних елемената зависи и од средине присутне у дигестивним органима: рН модулисана присуством аскорбата, HCl и др., као и пребиотика (споро- и не-сварљивих угљених хидрата) који одржавају оптималност микробиома, који опет својом активношћу повећава ресорпцију Fe и Zn (Annibale et al., 2003).

Промене у појединим системима исхране су се показале као врло успешне у борби против неисхрањености, као што је нпр. систем кукуруз-махунарке, где је већа ресорпција Fe и Zn из зрна махунарки потпомогнута већом концентрацијом каротеноида из зрна кукуруза (Graham et al., 2007). Када су системи исхране и производње хране оријентисани на одржање и повећање здравља човека преко коришћења високовредне хране обогаћене различитим нутритивима, уз контролу интегритета агро-екосистема, економску одрживост и социјално благостање, могуће је смањити и победити „скривену глад“, као и остварити сигурност и биодиверзитет хране. Ни једна од мера биофортификације сама не може бити довољно ефикасна, већ интегрисана примена иновативних решења, насталих на бази научних истраживања из различитих области једино може бити ефикасна и одржива стратегија биофортификације.

Захвалница

Ова истраживања су резултат пројеката TR31037 и TR31068 који су финансирани од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

1. Annibale B, Capurso G, Delle Fave G (2003): The stomach and iron deficiency anaemia: a forgotten link. *Digestive Liver Disease* 35: 288–295.
2. Ariza-Nieto M, Blair MW, Welch RM, Glahn RP (2007): Screening of iron bioavailability patterns in eight bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using the Caco-2 cell in vitro model. *J. Agric. Food Chem.* 55: 7950–7956.
3. Baligar VC, Fageria NK, Paiva AQ, Silveira A, Pomella AWV, Machado RCR (2006): Light intensity effects on growth and micronutrient uptake by tropical legume cover crops. *J. Plant Nutr.* 29: 1959–1974.
4. Cakmak I (2008): Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302: 1–17.
5. Chang CS, Sung JM (2004): Nutrient uptake and yield responses of peanuts and rice to lime and fused magnesium phosphate in an acid soil. *Field Crops Res.* 89: 319–325.
6. Clemens S (2014): Zn and Fe biofortification: The right chemical environment for human bioavailability. *Plant Sci.* 225: 52–57.
7. Dragicevic V, Mladenovic-Drinic S, Stojiljkovic M, Filipovic M, Nikolic B, Babic V, Kravic N (2016): Maize inbreds from different heterotic groups as favorable sources for increased potential bioavailability of magnesium, iron, manganese and zinc. *Chilean J. Agric. Res.* 76: 213–219.
8. Dragicevic V, Oljaca S, Stojiljkovic M, Simic M, Dolijanovic Z, Kravic N (2015b): Effect of the maize and soybean intercropping system on the potential bioavailability of magnesium, iron and zinc. *Crop Pasture Sci.* 66: 1118–1127.
9. Dragičević V, Kovačević D, Sredojević S, Dumanović Z, Mladenović Drinić S (2010): The variation of phytic and inorganic phosphorus in leaves and grain in maize populations. *Genetika*, 42: 555–563.
10. Dragičević V, Kratovalieva S, Dimov Z, Babić V, Kresović B, Kravić N (2018): Potential bioavailability of calcium, magnesium, iron, manganese and zinc from seeds of different chickpea and peanuts landraces. *J. Elementol.* 23: 273–285.
11. Dragičević V, Mladenović Drinić S, Stojiljković M, Filipović M, Dumanović Z, Kovačević D (2013): Variability of factors that affect availability of iron, manganese and zinc in maize lines. *Genetika* 45: 907–920.
12. Dragičević V, Nikolić B, Waisi H, Stojiljković M, Đurović S, Spasojević I, Perić V (2015a): Alterations in mineral nutrients in soybean grain induced by organo-mineral foliar fertilizers. *Chem.Biol. Technol. Agric.* 2: 12.
13. Eckhard G, Horst WJ, Neumann E (2012): Adaptation of plants to adverse chemical soil conditions. In: Marschner P (Eds.) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)* pp: 409–472.
14. Fang Y, Wang L, Xin Z, Zhao L, An X, Hu Q (2008): Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *J. Agric. Food Chem.* 56: 2079–2084.
15. Fernando N, Panozzo J, Tausz M, Norton R, Fitzgerald G, Seneweera S (2012): Rising atmospheric CO₂ concentration affects mineral nutrient and protein concentration of wheat grain. *Food Chem.* 133: 1307–1311.
16. Garvin DF, Welch RM, Finley .W (2006): Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. *J. Sci. Food Agric.* 86, 2213–2220.
17. Garza de la RID, Gregory III JF, Hanson AD (2007): Folate biofortification of tomato fruit. *PNAS* 104: 4218–4222.
18. González-Guerrero M, Matthiadis A, Sáez Á, Long TA (2014): Fixating on metals: new insights into the role of metals in nodulation and symbiotic nitrogen fixation. *Frontiers Plant Sci.* 5: Article 45.
19. Graham RD, Welch RM, Saunders DA, Ortiz-Monasterio I, Bouis HE, Bonierbale M, de Haan S, Burgos G, Thiele G, Liria R, Meisner CA, Beebe SE, Potts MJ, Kadian M, Hobbs PR, Gupta RK Twomlow S (2007): Nutritious subsistence food systems. *Adv. Agron.* 92: 1–74.
20. Guerinot ML, Salt DE (2001): Fortified foods and phytoremediation. Two sides of the same coin. *Plant Physiol.* 125: 164–167.
21. Gupta HS, Hossain F, Muthusamy V (2015): Biofortification of maize: An Indian perspective. *Indian J. Genet.* 75: 1–22.

22. Hao HL, Wei YZ, Yang XE, Feng Y, Wu CY (2007): Effects of different nitrogen fertilizer levels on Fe, Mn, Cu and Zn concentrations in shoot and grain quality in rice (*Oryza sativa*). *Rice Sci.* 14: 289–294.
23. Hart JJ, Norvell WA, Welch RM, Sullivan LA, Kochian LV (1998): Characterization of zinc uptake, binding, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. *Plant Physiol.* 118: 219–226.
24. Impa SM, Gramlich A, Tandy S, Schulin R, Frossard E, Johnson-Beebout SE (2013): Internal Zn allocation influences Zn deficiency tolerance and grain Zn loading in rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers Plant Sci.* 4: 534.
25. Kaput J, Kussmann M, Mendoza Y, Le Coutre R, Cooper K, Roulin A (2015): Enabling nutrient security and sustainability through systems research. *Genes Nutr.* 10: 12
26. Kobayashi T, Itai RN, Aung MS, Senoura T, Nakanishi H, Nishizawa NK (2012): The rice transcription factor IDEF1 directly binds to iron and other divalent metals for sensing cellular iron status. *Plant J.* 69: 81–91.
27. LaCanne CE, Lundgren JG (2018): Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. *Peer J.* 6: e4428. <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>
28. Lehmann A, Rillig MC (2015): Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops - A meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 81, 147-158.
29. Loladze I (2002): Rising atmospheric CO₂ and human nutrition: toward globally imbalanced plant stoichiometry? *Trends Ecol. Evolut.* 17: 457-461.
30. Lönnerdal B (2003): Genetically modified plants for improved trace element nutrition. *J. Nutr.* 133: 1490S-1493S.
31. Lynch JP, St.Clair SB (2004): Mineral stress: the missing link in understanding how global climate change will affect plants in real world soils. *Field Crops Res.* 90: 101–115.
32. Masuda H, Kobayashi T, Ishimaru Y, Takahashi M, Aung MS, Nakanishi H, Mori S, Nishizawa NK (2013): Iron-biofortification in rice by the introduction of three barley genes participated in mugineic acid biosynthesis with soybean ferritin gene. *Front. Plant Sci.* 4: 1-12.
33. Meisner C, Welch R, Duxbury JM, Lauren G (2005): Making a greener revolution: A nutrient delivery system for food production to address malnutrition through crop science. *Plant Prod. Sci.* 8: 324-327.
34. Mladenović Drinić S, Ristić D, Sredojević S, Dragičević V, Ignjatović Micić D, Delić N (2009): Genetic variation of phytate and inorganic phosphorus in maize population. *Genetika* 41: 107-115.
35. Myers SS, Zanobetti A, Kloog I, Huybers P, Leakey ADB, Bloom AJ, Carlisle E, Dieterich LH, Fitzgerald G, Hasegawa T, Holbrook NM, Nelson RL, Ottman MJ, Raboy V, Sakai H, Sartor KA, Schwartz J, Seneweera S, Tausz M, Usui Y (2014): Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature* 510: 139–142.
36. Naqv S, Zhu C, Farre G, Ramessar K, Bassie L, Breitenbach J, Conesa DP, Ros G, Sandmann G, Capell T, Christou P (2009): Transgenic multivitamin corn through biofortification of endosperm with three vitamins representing three distinct metabolic pathways. *PNAS* 106: 7762–7767.
37. Oikeh SO, Menkir A, Maziya-Dixon B, Welch RM, Glahn RP, Gauch JRG (2004): Environmental stability of iron and zinc concentrations in grain of elite early-maturing tropical maize genotypes grown under field conditions. *J. Agric. Sci.* 142: 543–551.
38. Prom-u-thai C, Huang L, Glahn RP, Welch RM, Fukai S, Rerkasem B (2006): Iron (Fe) bioavailability and the distribution of anti-Fe nutrition biochemicals in the unpolished, polished grain and bran fraction of five rice genotypes. *J. Sci. Food Agric.* 86: 1209–1215.
39. Raboy V (2013): The future of crop breeding for nutritional quality. *SABRAO J. Breed. Genet.* 45: 100-111.
40. Rosanoff A, Weaver CM, Rude RK (2012): Suboptimal magnesium status in the United States: Are the health consequences underestimated? *Nutr. Rev.* 70: 153 – 164.
41. Rose TJ, Impa SM, Rose MT, Pariasca-Tanaka J, Mori A, Heuer S, Johnson-Beebout SE, Wissuwa M (2013): Enhancing phosphorus and zinc acquisition efficiency in rice: a critical review of root traits and their potential utility in rice breeding. *Ann. Bot.* 112: 331–345.
42. Shivay Y, Prasad R (2012): Zinc-coated urea improves productivity and quality of basmati rice (*Oryza sativa* L.) under zinc stress condition. *J. Plant Nutr.* 35: 928–951.
43. Silva EO, Bracarense APFRL (2016): Phytic Acid: From Antinutritional to Multiple Protection Factor of Organic Systems. *J. Food Sci.* 81: R1357-R1362.
44. Slamet-Loedin IH, Johnson-Beebout SE, Impa S, Tsakirpaloglou N (2015): Enriching rice with Zn and Fe while minimizing Cd risk. *Frontiers Plant Sci.* 6: 121.

45. Soetan KO, Olaiya CO, Oyewole OE (2010): The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *Afr. J. Food Sci.* 4: 200-222.
46. Suwarno WB, Pixley KV, Palacios-Rojas N, Kaeppler SM, Babu R (2015): Genome-wide association analysis reveals new targets for carotenoid biofortification in maize. *Theor. Appl. Genet.* 128: 851-864.
47. Šimić D, Mladenović Drinić S, Zdunić Z, Jambrović A, Ledencan T, Brkić J, Brkić A, Brkić I (2012): Quantitative trait loci for biofortification traits in maize grain. *J. Hered.* 103: 47-54.
48. Tiong J, McDonald G, Genc Y, Shirley N, Langridge P, Huang CY (2015): Increased expression of six ZIP family genes by zinc (Zn) deficiency is associated with enhanced uptake and root-to-shoot translocation of Zn in barley (*Hordeum vulgare*). *New Phytol.* 207: 1097-109.
49. Tirado MC, Clarke R, Jaykus LA, McQuatters-Gollop A, Frank JM (2010): Climate change and food safety: A review. *Food Res. Int.* 43: 1745–1765.
50. Urbano G, López-Jurado M, Aranda P, Vidal-Valverde C, Tenorio E, Porres J (2000): The role of phytic acid in legumes: antinutrient or beneficial function? *J. Physiol. Biochem.* 56: 283-294.
51. Violante A, Cozzolino V, Perelomov L, Caporale AG, Pigna M (2010): Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. *J. Soil. Sci. Plant Nutr.* 10: 268 – 292.
52. Welch R.M (2002): The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant Soil* 247: 83–90.
53. Welch RM (2005): Biotechnology, biofortification, and global health. *Food Nutr. Bull.* 26: 419-421.
54. Welch RM, Graham RD (2000): A new paradigm for world agriculture: productive, sustainable, nutritious, healthful food systems. *Food Nutr. Bull.* 21: 361-366.
55. Welch RM, Graham RD (2005): Agriculture: the real nexus for enhancing bioavailable micronutrients in food crops. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 18: 299-307.
56. Welch RM, Graham, RD (1999): A new paradigm for world agriculture: meeting human needs Productive, sustainable, nutritious. *Field Crops Res.* 60: 1-10.
57. White PJ, Broadley MR (2009): Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytol.* 182: 49–84.
58. Wirakartakusumah MA, Hariyadi P (1998): Overview: Rationale and elements of a successful food-fortification programme. *UNU Food Nutr. Bull.* 19 (2): 100 pages
59. Wu Z, Bañuelos GS, Lin ZQ, Liu Y, Yuan L, Yin X, Li M (2015): Biofortification and phytoremediation of selenium in China. *Frontiers Plant Sci.* 6: 136.
60. Xiong H, Kakei Y, Kobayashi T, Guo X, Nakazono M, Takahashi H, Nakanishi H, Shen H, Zhang F, Nishizawa NK, Zuo Y (2013): Molecular evidence for phyto siderophore-induced improvement of iron nutrition of peanut intercropped with maize in calcareous soil. *Plant Cell Environ.* 36: 1888–1902.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN CROP UTILIZATION- BIOFORTIFICATION AS A FUNCTION OF QUALITY FOOD PRODUCTION

SUMMARY

The globally present trend of agriculture industrialization, particularly from arising of "green revolution" was characterised with increase of biomass, grain and fruit yields. In parallel, this trend had as a consequence decrease of nutritional quality of agricultural products, reflected through reduced concentration of minerals and vitamins, especially of iron, magnesium and selenium. When high intensity of erosion and depletion of soil ecosystem was taken into account, together with intensive usage of mineral fertilizers, based on nitrogen, phosphorus and potassium, without incorporation of organic fertilizers, soils became exhausted, rapidly losing their fertility. It is important to underline that almost half of soils worldwide is deficient in minerals. In further, through the nutrition cycle, this situation is transmitting to health depletion of humans and animals, towards systemic malnutrition and arising of numerous chronically diseases. To combat present trends, it is necessary to produce agricultural commodities rich in essential nutrients.

Various biochemical processes control accumulation of mineral nutrients in plant tissues, particularly in grains, as well as vitamins synthesis. The goal of bio-fortification is increase of concentration of essential minerals and vitamins in edible parts of plants. Thus, growing measures that enhance absorption of minerals and vitamins synthesis, as well as methods of breeding and genetic engineering, having as a target creation of genotypes with desirable traits, could be positively reflect to increase in concentration of minerals and vitamins in edible parts of agricultural plants. Correspondingly to the increase in concentration of essential minerals and vitamins, it is necessary to develop measures that will reduce concentration of anti-nutrients, which diminish absorption of minerals and vitamins from digestive organs, thus obstruct their utilization by animals and humans. The increase of concentration of essential minerals and vitamins, as well as their bio-availability and utilization by animal and human organisms is very complex issue, based on the application of various innovative solutions and it should present integral part, i.e. connection between agricultural and medical sciences, aimed to increase quality of agro-ecosystem, agricultural plants, and life, in general.

Key words: essential minerals, vitamins, undernourishment, cropping measures, breeding, genetic engineering.