

1

Сирак (*Sorghum bicolor* L.) – биљна врста за ублажавање посљедица климатских промјена и сировина за функционалну храну

Ново Пржуљ, Ана Велимировић, Предраг Илић,
Зоран Јововић, Зоран Говедар



UDK 633.175:581.19]:551.583
DOI 10.7251/PRB2504005P

Цитирање: Пржуљ Н, Велимировић А, Илић П, Јововић З, Говедар З (2025) Сирак (*Sorghum bicolor* L.) – биљна врста за ублажавање посљедица климатских промјена и сировина за функционалну храну. У: Пржуљ Н, Грујић Р (уредници) Нутрицеутске гајене биљке. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LXV:5–37

Cite as: Pržulj N, Velimirović A, Ilić P, Jovović Z, Govedar Z (2025) Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) – A Plant Species for Mitigating the Effects of Climate Change and a Raw Material for Functional Food. *In:* Pržulj N, Grujić R (eds) Nutraceutical cultivated plants. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LXV:5–37

Сажетак. Сирак (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) јесте жито из породице трава (Poaceae), које се користи у исхрани људи, животиња и у индустријској преради. Толерантан је на сушу и дефицит воде и углавном се гаји у полусушним и сушним регионима Африке, Азије, Аустралије и Сјеверне и Јужне Америке. Као биљка C4 система фотосинтезе, веома је ефикасан у асимилацији угљеника и акумулацији биомасе на повишеним температурама, за разлику од C3 жита, као што су пшеница, јечам, овас, раж, које такву ефикасност не посједују. У свијету се гаји на преко 40 милиона хектара, од чега се 80% налази у земљама у развоју, углавном на афричком и азијском континенту, гдје се у највећој мјери сирково зрно користи у људској исхрани. Род *Sorghum* обухвата 31 врсту, 158 варијетета и 523 форме сирка. Генотипови сирка који се гаје на нашим просторима спадају у врсту *S. bicolor*. Ова врста обухвата једногодишње и вишегодишње гајене и дивље форме. По агрономској класификацији базираној на начину гајења и употреби сорти, врста *S. bicolor* се дијели на тзв. агрономске форме, и то: сирак за зрно, сирак метлаш, сирак шећерац и суданску траву.

Зрно сирка је основна храна за око 500 милиона људи у 30 земаља Африке и Азије. Упркос овом доприносу глобалној производњи хране, већина зрна сирка у свијету, а скоро све количине у западним земљама, користи се као храна за животиње. Захваљујући повољном хемијском саставу цијеле биљке, све се чешће користи као сировина за индустријску прераду, услед чега, поред тропских, налази своје мјесто у систему биљне производње региона са умјереном климом.

Сирак има велики потенцијал за свакодневну и функционалну храну и може се користити у оброцима као замјена за традиционална жита, као што су пшеница, пиринач и кукуруз. Упркос широкој адаптабилности и хранљивом профилу, потенцијали и улога сирка у одрживој пољопривреди и одржавању и побољшању људског здравља нису истражени као код других жита. Висок садржај дијететских влакана (6%) помаже у варењу и може допринијети контроли тјелесне масе и кардиоваскуларних обољења. Присуство значајне количине протеина (9–13%) и есенцијалних минерала, као што су фосфор, магнезијум, гвожђе и цинк, чини сирак виталним нутритивним ресурсом у расту, одржавању и метаболичким функцијама људског организма. Садржај липида у сирку је низак (око 3%), али укључује вриједне масне киселине, попут олеинске и линолне. Садржи комплекс витамина В (тиамин, рибофлавин и ниацин) и витамин Е. Јединствене фитохемикалије сирка, као што су полифеноли, танини, стероли и фитинска киселина, показују антиоксидативне способности, које су повезане са смањењем ризика од хроничних болести и додатном улогом изван основних

нутритивних функција. Полифеноли са антиоксидативним капацитетом помажу у смањењу оксидативног стреса у људском тијелу и указују на потенцијална антиканцерогена својства, танини служе као заштита од патогена, фитинске киселине смањују ризик од разних хроничних болести, а стероли доприносе снижавању нивоа холестерола.

У овом прегледу приказано је поријекло, мјесто у свјетској пољопривредној производњи, услови гајења, хемијски састав зрна и функционална својства појединих компоненти зрна сирка у храни, као и потенцијални значај сирка у новим прехранбеним производима и исхрани људи.

Кључне ријечи: сирак (*Sorghum bicolor* L. Moench), климатске промјене, адаптабилност, хемијски састав, функционална храна

1.1. Увод

Сирак (*Sorghum bicolor* L. Moench) древна је гајена биљка афричког поријекла, која припада фамилији трава (*Poaceae*). Питање у вези са временом и мјестом његовог настанка и гајења још увијек је отворено (Hariprasanna и Patil 2015). Први докази о дивљим сирцима потичу од ловаца – сакупљача у Сахари, који датирају око 8000. године п. н. е. Међутим, најранији познати гајени сирак потиче из периода 2000–1700. године п. н. е., из касне харапанске Индије (Hariprasanna и Patil 2015).

Сирак је веома адаптабилна биљна врста и гаји се широм свијета ради зрна (сирак за зрно) и надземне биомасе. Има вишеструку употребу у исхрани људи, домаћих животиња, производњи горива и влакна. Зрно се користи као храна за људе или храна за животиње; стабло се користи у исхрани животиња, може се користити као извор влакана, горива, а у последње вријеме и као сировина за производњу етанола. Захваљујући C4 систему фотосинтезе, сирак се успјешно гаји у подручјима високих температура и ограничених извора воде – у тропским, полутропским, аридним и семиаридним регионима свијета. Поред отпорности на сушу, сирак такође има високу толеранцију на слана и алкална земљишта, што га чини добром опцијом за гајење у подручјима са лошим квалитетом земљишта, као што су аридни и семиаридни региони у супсахарској Африци, Азији, Средњем истоку, централној и сјеверној Америци и Аустралији (Wagaw 2019). Главна производна подручја сирка су САД, Нигерија, Бразил, Индија, Мексико, Етиопија, Судан, Кина, Аргентина и Аустралија (Таб 1.1). По укупној свјетској производњи сирак заузима пето мјесто, после кукуруза, пшенице, пиринча и јечма. Поређења

ради, у 2023. сезони у свијету је произведено 1.148 милиона тона (Mt) кукуруза, 785 Mt пшенице, 514 Mt пиринча, 145 Mt јечма, 64 Mt сирка и 25 Mt овса. У 2020. сезони сирак је био засијан на површини од 58,6 милиона хектара (Ahmad и сар. 2020).

Таб. 1.1. Десет водећих земаља произвођача сирка у свијету (ASDA 2024)

Table 1.1. Ten Top Sorghum Producing Countries of the World (ASDA 2024)

Подручје	% укупне производње	Производња 2023/24 (милиона тона)
САД	14	8,07
Нигерија	11	6,40
Бразил	8	4,76
Индија	8	4,40
Мексико	7	4,28
Етиопија	7	4,01
Судан	5	3,06
Кина	5	3,00
Аргентина	4	2,50
Аустралија	3	2,00
Остатак свијета	28	15,50

Зрно сирка је основна храна за око 500 милиона људи у 30 земаља Африке и Азије. Упркос његовом значају у исхрани људи, већина зрна сирка у свијету, и скоро све у западним земљама, користи се за исхрану живине, говеда, крава музара и свиња, као и за производњу етанола. Надземна вегетативна маса сирка – стабло и листови (сирковина) користе се као сијено, силажа и за испашу. Поред тога, сирак се користи у индустрији хране широке потрошње и за друге намјене, као што су грађевински материјал, храна за кућне љубимце, метле итд.

Поред биомасе сирка и његов отпад из прераде има велики потенцијал за производњу биогорива и других производа који имају значајну тржишну вриједност. При томе, коришћење сирковог отпада има не само економски значај него и улогу у очувању животне средине, јер се његовим коришћењем смањује проблем у његовом управљању. Због високе толерантности сирка на топлоту и сушу, отпад из ове прераде има предност у односу на друге пољопривредне отпадне материјале, попут кукурузовине, пиринчане љуске, пшеничне сламе и отпада шећерне трске (Вељковић 2020)

Због вишеструке употребе сирка, за његову производњу заинтересовани су не само произвођачи, него и прерађивачи и потрошачи. При томе, присутна

је дилема да ли сирак користити за производњу хране или биогорива? Ово питање је посебно значајно за земље Африке и Азије, гдје се зрно сирка користи за људску исхрану и представља, прије свега, усјев који осигурава храну за становништво. Зрно сирка је без глутена и са великом хранљивом вриједношћу због присуства антиоксиданата и микронутријената, због чега има висок потенцијал као посебна храна и у развијеним земљама.

У овом раду дат је преглед досадашњих сазнања о значају сирка у агросистемама у условима климатских промјена и његовој улози у исхрани домаћих животиња и прехрамбеној индустрији. Посебно су истакнуте нутритивне особине сирка и његове функционалне предности у исхрани људи.

1.2. Поријекло и подручја гајења

Етиопија је примарни, а Индија секундарни центар биодиверзитета сирка (Venkateswaran и сар. 2019). Највећа варијабилност дивљих и гајених врсти сирка налази се у сјевероисточном квадранту Африке. Murdock (1959) претпоставља да је народ Манде први доместификовао сирак у околини ријеке Нигер. Процес доместификације и ширења производње сирка почео је вјероватно у IV или III миленијуму п. н. е., при чему је највећу улогу имала, прије свега, миграција становништва, а затим и трасирање трговачких путева којима је сјеме преношено са једног мјеста на друго.

Кушити, народ који је живио на територији данашње Етиопије, мигрирао је на југ у Кенију и Танзанију до 5000. године п. н. е., заузимајући локације погодне за развој пољопривреде. Они су, вјероватно, интродуковали сирак у област коју је касније настанио Банту народ. Из Етиопије је гајени сирак веома брзо пренијет у Западну Африку. Друга значајна миграција узрокована је порастом популације Банту народа, који је мигрирао из области источне Нигерије и сјеверног Камеруна у источну Африку. Када су стигли у источну Африку 500. године п. н. е., прихватили су сирак од народа који је тамо живио – Хамита, потомака Кушита, који су мигрирали из Етиопије. Трећа значајна миграција је миграција Кауказоида из централног Судана након муслиманске инвазије 1300–1500. године н. е. У првом миленијуму, већина трговачких путева у источну и сјевероисточну Африку водила је из Арабије, Индије и Индонезије, гдје су трговци поред остале робе доносили и аутохтоне афричке гајене биљне врсте (Сикора 2020).

Сирак је из Африке у Индију највјероватније пренијет трговачким путевима преко Арапског полуострва и Индијског океана (Kimber 2000). Из Индије је

даље преношен копненим трговачким путевима у Кину, гдје су гајени варијетети називани „каолианг“, адаптирани на хладнију климу.

На амерички континент сирак је пренијет недавно, морским путем, заједно са робовима из Африке. Прве подаци везани за сирак у САД датирају из 1757. године и долазе од Бенџамина Френклина (*Benjamin Franklin*), који описује примјену метлица сирка у производњи метли. Са увођењем ниских варијетета и хибридних сорти, у САД се гајење сирка у комерцијалне сврхе временом проширило на аридне регионе у којима је производња кукуруза била слаба или немогућа. Сирак за зрно донијет је на аустралијски континент тридесетих година XX вијека, али се његово гајење није проширило. Тек након Другог свјетског рата, варијетети ниског стабла, који су створени у САД од високих афричких сирака, интродуковани су у Квинсланд. Из Кине је сирак уведен у Европу (Пијемонт, Италија) (Klein и сар. 2015), гдје први опис потиче из 1204. године (Becker-Dillingen 1927). У периоду од XVI до XVIII вијека, сирак се шири, прије свега, у региону јужне и југоисточне Европе, али је његова употреба у то вријеме била ограничена на производњу метли (Dahlberg и сар. 2011).

У форми жита за зрно сирак се првенствено гаји у суптропским и тропским регионима, али услед изразите адаптабилности према различитим условима спољне средине, успијева у више региона са различитом климом широм свијета. У Африци постоје два главна појаса гајење сирка – сјеверни појас се протеже од Обале Слоноваче сјеверно до Сахаре, а источни према Судану и Етиопији. Други афрички појас протеже од југа Етиопије до Јужне Африке. У Индији се сирак највећим дијелом гаји у централном дијелу, с тек мањом производњом на сјеверу Индије. Иако се гаји широм Кине, највећа производња се налази у сјеверном региону, посебно у областима сјеверно од планине Кинлинг, и између Жуте ријеке и ријеке Јангце (House и сар. 2000). Производња у Јужној Америци обухвата Аргентину, Бразил, Боливију, Уругвај и Венецуелу, а у Средњој Америци је концентрисана у дијеловима Мексика, Ел Салвадора, Никарагве, Хондураса, Гватемале, Белизеа и Панаме. У САД појас сирка обухвата подручје које се протеже од Јужне Дакоте до Тексаса и од Колорада до Мисисипија. У Европи се производња сирка на највећим површинама одвија у Француској, Италији, Украјини и Руској Федерацији. Више од 95% површина под сирком у Аустралији налази се у државама Квинсланд и сјеверном дијелу Новог Јужног Велса.

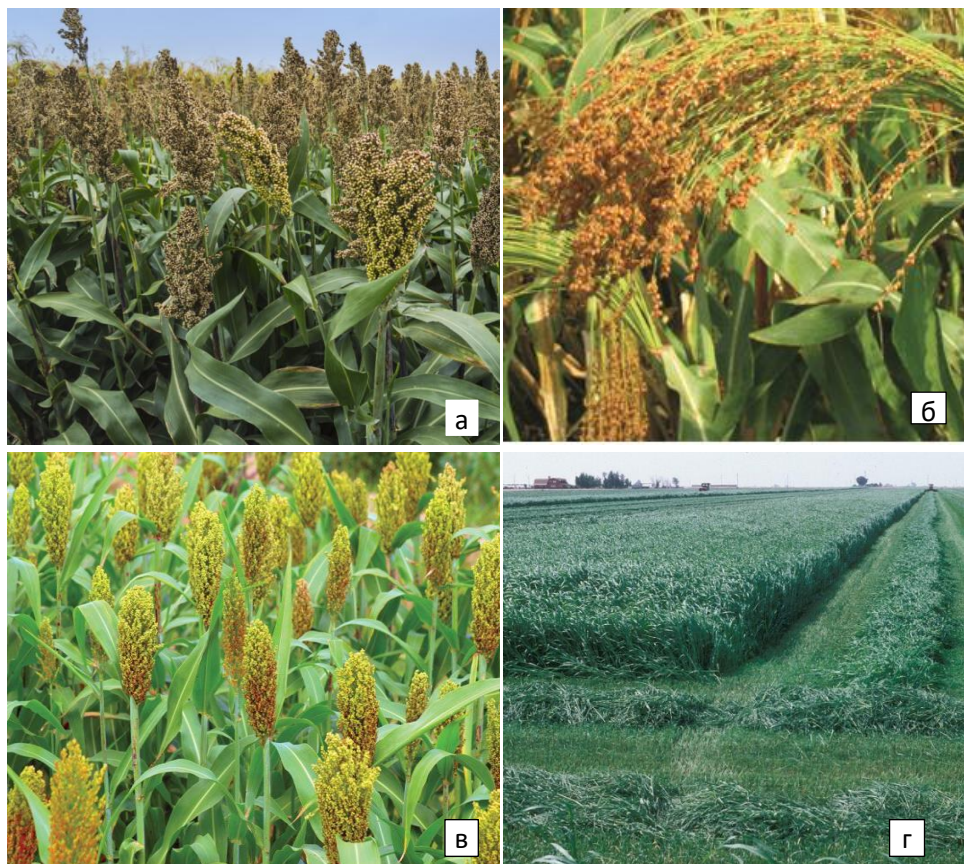
1.3. Класификација сирка

Према савременој класификацији, сирак спада у фамилију трава (*Poaceae*), разред (*tribe*) *Andropogoneae*, подразред (*subtribe*) *Sorghinae*, род (*genus*)

Sorghum Moench. Најкомплекснију класификацију рода *Sorghum* дао је Сноуден (Snowden 1936). У његовом капиталном дјелу „The cultivated races of sorghum“, описана је 31 врста, 158 варијетета и 523 форми сирка. Недостатак овакве класификације је у томе што је веома компликована за практично коришћење, јер садржи укупно 712 таксономских јединица. За дешифровање појединих форми потребан је велики број комбинација карактеристика, те се многе могу дефинисати једино према кључу.

Узимајући као основу Сноуденов рад, Harlan и De Wet (1972) предложили су једноставнију класификациону шему сирака. Они су у оквиру подрода *Sorghum* издвојили три посебне врсте (*species*). Двије су вишегодишње са ризомима (*Sorghum halepense* и *Sorghum propinquum*), док једна (*Sorghum bicolor*) обухвата једногодишње дивље, коровске и гајене сирке. Њихов циљ је био осмишљавање система у коме би се гајени сирци релативно једноставно сврставали у једну од пет основних или десет интермедијарних варијетета. Основни елементи овакве класификације су: облик зрна, пљевице и метлица. Пошто је овај метод нашао своју примјену у пракси, може се претпоставити да ће он и убудуће бити основни класификациони систем гајених сирака.

Генотипови сирка који се гаје на простору Западног Балкана спадају у врсту *S. bicolor* (L.) Moench. То су једногодишње форме са често бокорастим биљкама (Dahlberg 2000). Стабло је усправно, танко или робусно, висине од 0,5 m до преко 5 m. Листови су равни или мало валовити, са доње стране обрасли длачицама, дужине до 1 m, а ширине до 10 cm. Цваст је растресита или компактна метлица, дугачка 5–50 cm, а широка 3–30 cm. Петелке су или круте и усправне или савијене. Централно вретено је или ломљиво или чврсто, са једним или неколико нодуса. Сједећи класићи су елиптично копљасти до овални, дугачки до 6 mm, са или без длачица. Класићи са дршком су мушки или стерилни. Пљевице су кожасте или мембранасте, краће, исте или дуже од класића. Доња лема је дугачка 6 mm, док је горња нешто краћа, често са осјем. Цвјетови имају три прашника. *Sorghum bicolor* обухвата све једногодишње форме из рода *Sorghum* (Snowden 1955; Сикора 2020). То је екстремно варијабилан комплекс који обухвата три подврсте: широко распрострањене дивље афричке сиркове (*Sorghum bicolor* ssp. *verticilliflorum*), коровске варијетете доместификованог сирка за зрно и његових дивљих сродника (*Sorghum bicolor* ssp. *drumondii*) и гајене сиркове (*Sorghum bicolor* ssp. *bicolor*). По агрономској класификацији базираној на начину гајења и употреби, *S. bicolor* дијели се на следеће агрономске форме: (а) сирак за зрно, (б) сирак метлаш, (в) сирак шећерац и (г) суданску траву (Сл. 1.1).



Сл. 1.1. Сирак за зрно (<https://www.agroklub.rs/ratarstvo/da-li-je-sirak-biljka-buducnosti/84194/>, приступљено: 25. јуна 2024) (а), сирак метлаш (<https://nsseme.com/proizvodi/alternativne-kulture/>, приступљено: 25. јуна 2024) (б), сирак шећерац (<https://www.edibleasheville.com/sweet-on-sorghum/>, приступљено: 25. јуна 2024) (в), суданска трава (<https://www.agrotv.net/sudanska-trava/>, приступљено: 25. јуна 2024) (г)

Fig. 1.1. Grain sorghum (<https://www.agroklub.rs/ratarstvo/da-li-je-sirak-biljka-buducnosti/84194/>, accessed: 25 June 2024) (a), broom sorghum (<https://nsseme.com/proizvodi/alternativne-kulture/>, accessed: 25 June 2024) (b), sweet sorghum (<https://www.edibleasheville.com/sweet-on-sorghum/>, accessed: 25 June 2024) (c), sudan grass (<https://www.agrotv.net/sudanska-trava/>, accessed: 25 June 2024) (d)

Сорте сирка могу се класификовати на неколико начина (Hariprasanna и Patil 2015; Shin 1986):

- (I) Таксономска класификација на бази морфологије: (а) листови, пљевице, цвјетови, (б) величина и облик зрна, перикарпа ендосперма и перикарпа;
- (II) На бази реакције биљака према факторима средине, као што су суша, температура, влажности и фотопериод;
- (III) На бази употребе: (а) слатки сирак (за биогориво и сируп од сирка), (б) сирак метлаш (за метле), (в) сирак за зрно (зрно за људску и сточну храну), који се састоји од пет група: (1) Durra – распрострањен у подручју Медитерана и Средњег истока, (2) Shallu – распрострањен у Индији и тропским дијеловима Африке, (3) Kafir – распрострањен у јужној Африци, (4) Kaoliang – углавном распрострањен у источној Азији и (5) Milo – распрострањен у источној Африци;
- (IV) На основу боје зрна и присуства/одсуства пигментисаног перикарпа (USDA-FGIS 2009): (а) сирак са мало танина због одсуства пигментисаног перикарпа (танин се састоји од специфичних фенолних једињења молекуларне масе између 500 и 3.000). Ова група садржи око 98% зрна бијелог сирка и 2% зрна који садржи танин (жути, розе, наранџасти, црвени, бронзани), (б) сирака са преко 90% зрна пигментисаног перикарпа који садрже танин. Боја перикарпа је обично смеђа, али може бити и бијела, жуто-ружичаста, наранџаста, црвена или бронзана, (в) бијели сирак са ниским садржајем танина због одсуства обојеног перикарпа. У овој групи налазе се и зрна са тамним пјегама које покривају мање од 25% површине зрна, (г) мијешани сирак не испуњава дефиницију ни једне од претходних група.

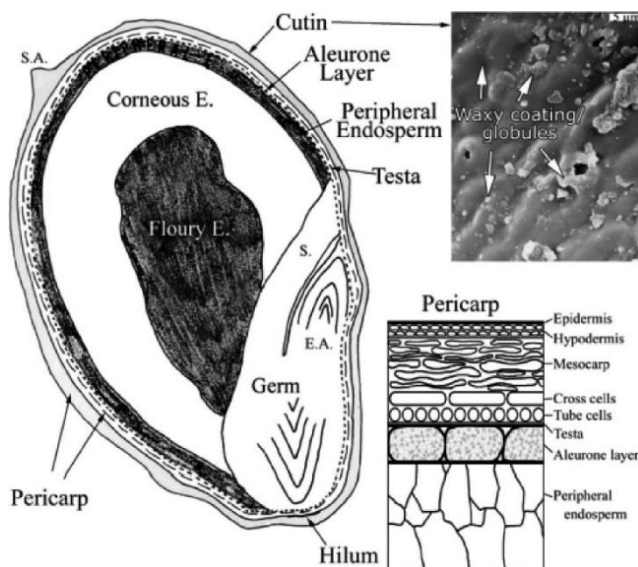
Боју зрна сирка одређују гени који контролишу боју перикарпа (*R* и *I* ген), дебљину перикарпа (*Z* ген), присуство пигментисаних теста (*B1* и *B2* гени), боју тесте (*Tr* гени), и појачивач боје (*I* ген) (Rooney и Waniska 2000). Према фенолном профилу и генотипу, сирак може имати различите боје, као што су бијела (*RRii* и *rrii*), жута (*rrII*), црвена (*RRII*), смеђа (*B1B2_*) и црна (*RI_* и/или *B1B2_*) (Dykes и сар. 2013). Један рецесивни ген, *wk*, контролише стварање воштаног ендосперма у сирку. Сирак са ~25% амилозе у ендосперму назива се нормалним (*VkVkVk*), док се зрно са скоро 100% амилопектина назива воштаним (*vkvkvk*). Зрно са средњом количином амилозе (~15%) познато је као хетеровоштано (*VkVkvk* или *Vkvkvk*) (Sang и сар. 2008).

Дивљи сирак често се доводи у погрешну везу са гајеним сирком. У ширем смислу ријечи и дивљи сирак је „сирак“, али када се конкретно мисли на ову

врсту, неопходно је да се употреби пун назив „дивљи сирак“ (Berenji и Sikora 2004). Између дивљег сирка и гајених форми сирка постоји генетичка сродност, али су разлике ипак много израженије од сличности. Једна од најзначајнијих разлика је да су гајене форме сирка једногодишње гајене биљке, а дивљи сирак је вишегодишња и коровска биљка. На крају треба споменути „спонтани сирак“, који се за сада не наводи ни у једној класификацији, с обзиром на то да се ради о релативно новој појави једне коровске биљке, која је највјероватније настала спонтаном међуврсном хибридизацијом гајеног и дивљег сирка (Berenji и Sikora 2004). Овај нови коров на нашим просторима најчешће се јавља у усјевима гајеног сирка, кукуруза, сунцокрета, и других гајених биљака. Распрострањење ове форме заснива се на спонтаном осипању сјемена, отуда и назив „спонтани сирак“.

1.4. Структура зрна сирка

Основне анатомске компоненте зрна сирка су перикарп (спољни слој), ембрион (клица) и ендосперм (складишно ткиво) (Сл. 1.2). Процентуални удио ових компоненти се разликује између сорти и локалитета, а као просјечне вриједности узимају се 8% за перикарп, 82% за ендосперм и 10% за ембрион (Rooney и сар. 2016).



Сл. 1.2. Структура зрна сирка (Rooney и сар. 2016)

Fig. 1.2. *Sorghum* kernel structure (Rooney et al. 2016)

Перикарп је дебљине 8–160 μm и обухвата три слоја: епикарп, мезокарп и ендокарп. Непосредно испод перикарпа, налази се слој ћелија познат као сјеменски плашт или теста. Као и код перикарпа, у зависности од генотипа дебљина тесте варира између 8 и 40 μm . Овај слој је одговоран за складиштење танина и пигмената (Waniska и Rooney 2000).

Ендосперм садржи скоро цјелокупни садржај скроба који се налази у гранулама, док само неки генотипови сирка имају и скробни мезокарп. Стакласти ендосперм представља континуирану протеинску матрицу и обухвата грануле скроба и протеинска тијела. Зрна скроба у стаклом ендосперму су углавном полигоналног облика, а ради чврстог паковања између себе и са протеинским тијелима садрже удубљења (Rooney и Miller 1982). Hoseneу и сар. (1974) сматрају да је овако специфичан распоред молекула разлог велике тврдоће и прозачног изгледа стаклог ендосперма. С друге стране, брашнасти ендосперм обично садржи округле, велике и слабо упаковане грануле скроба са пуно интергрануларних ваздушних простора унутар танког слоја дисконтинуираних протеинских матрица и појединих протеинских тијела. Док свјетлост пролази кроз брашнасти ендосперм, ваздушни простори врше дифузију свјетлости, чиме дају непрозиран или кредаст изглед (Hoseneу и сар. 1974). Текстура ендосперма се често одређује на основу односа стаклог и брашног ендосперма. Зрно сирка је познато по тврдоћи у поређењу с другом зрнастом храном. Тврда зрна имају и својих предности, попут отпорности на гљивичне инфекције (Kumari и Chandrashekar 1992), а тврдоћа зрна је, такође, у корелацији са садржајем проламина у зрну (Kirleis и Crosby 1982).

Сирак је, у односу на друга жита, необичан по томе што се код њега и у перикарпу зрна налазе грануле скроба. Ендосперм, главно складишно ткиво, састоји се од алеуронског слоја, периферног ендосперма, стаклог (тврдог) ендосперма и брашног (меког) ендосперма. Алеуронски слој је један слој ћелија који се налази тачно испод сјеменског омотача. Овај слој је богат протеинима и ензимима, уљима, витаминима В комплекса и минералима.

Периферни ендосперм се обично налази одмах испод алеуронског слоја, дебљине између два и шест слојева ћелије. Испод периферног ендосперма налази се стакли ендосперм, а затим брашнасти ендосперм. Стакласти и брашнасти ендосперм могу се разликовати један од другог на основу паковања и облика зрна скроба и расподјели протеинске матрице. Стаклени ендосперм садржи скробне грануле полигоналног облика које су окружене континуираном протеинском матрицом, док брашнасти ендосперм садржи сферичне грануле скроба са дисконтинуираном протеинском матрицом. Главну фракцију протеина унутар протеинских тијела чине кафирини уз мању

количину глутелина и веома малу количину албумина и глобулина (Taylor и сар. 1984):

β-кафирини и γ-кафирини налазе се у језгру и на периферији протеинских тијела, док се α-кафирини, који чине око 80% укупног кафирина, налазе у унутрашњости (Shull и сар. 1992). Oria и сар. (2000) код појединих мутираних генотипова сирка идентификовали су јединствену структуру протеинских тијела са великом пробављивошћу протеина. Ова протеинска тијела су била неправилног облика и имала су пукотине, формирајући режњеве. У мутантима је α-кафирин и даље главни протеин тог протеинског тијела, са β-кафирином који се углавном налази расподијељен у режњевима, док је γ-кафирин концентрисан у дну пукотина. Овако специфична структура резултира брзим варењем α-кафирин протеина који су изложени протеазама и основа су за високу сварљивост протеина ових генотипова.

Теста је омотач сјемена и налази се испод ендокарпа. Може бити пигментисана или непигментисана. Генотип *B1B2* има пигментисану тесту у којој је присутан танин, док генотипови *B1b2*, *b1B2* и *b1b2* немају пигмент у тести. *Tr* ген контролише специфичну боју тесте – доминантни алел *Tr* детерминише смеђу боју (генотипови *TrTr* или *Tptp*), а рецесивни алел *tptp* љубичасту боју тесте (Wu и сар. 2012). Највећи ниво кондензованог танина је у генотипу *B1B2S*; *S* ген контролише присуство смеђих пигмената, као и танина у епикарпу и ендокарпу код пигментисане тесте (Blakeley и сар. 1979).

Клица се састоји од ембрионалне осовине и скутелума. Радикула формира примарни коријен, а плумула листове и стабло. Скutelум, који представља котиледон сјемена сирка и служи као веза између ендосперма и клице, садржи велике количине уља (у сферозомима), протеина (укључујући ензиме) и минерала (Rooney и сар. 2016).

1.5. Нутритивне особине зрна сирка

Главне компоненте зрна сирка су полисахариди, затим протеини и липиди. Садржај појединих компоненти у зрну варира у зависности од генотипа и услова спољне средине, односно од локалитета, као и од технолошког процеса производње. На основу анализе 390 узорака сирка утврђено је да се у зрну сирка садржај протеина креће од 8,1% до 18,8%, садржај липида у распону од 1,0% до 4,3%, а садржај скроба у распону од 61,7% до 71,1% (Rhodes и сар. 2017).

Анализом гермплазме сирка одређен је распон биохемијског састава и нутритивне вриједности зрна (Таб. 1.2) (Subramanian и Jambunathan 1984). Поред

наведених главних компоненти, минералне материје, витамини, феноли, флавоноиди и антоцијани, иако се налазе у мањим количинама, представљају важне биохемијске састојке зрна сирка. Сем скроба, присутни су и други угљени хидрати, попут једноставних шећера, целулозе и хемицелулозе. Сахарозу, која је главни састојак (0,85%), по садржају прате глукоза (0,09%), фруктоза (0,09%) и мањи проценат малтозе. Преко 68% укупних минералних материја и 75% уља цијелог зрна налази се у ембрију, које с друге стране обухвата само 15% од укупних протеина у зрну. Клице сирка су, такође, богате витаминима В-комплекса. Ендосперм, највећи дио зрна, садржи релативно мало минералних материја, пепела и уља, али зато од укупних количина у њему се налази 80% протеина, 94% скроба, као и витамини В-комплекса (50–75%).

Таб. 1.2. Биохемијски садржај зрна сирка (Subramanian и Jambunathan 1984)
Table 1.2. Biochemical content of sorghum grains (Subramanian and Jambunathan 1984)

Компонента	Садржај
Главне компоненте (%)	
Протеини	4,40–21,10
Водораствориви протеини	0,30–0,90
Лизин	1,06–3,64
Скроб	55,60–75,20
Амилоза	21,20–30,20
Раствориви шећери	0,70–4,20
Редукујући шећери	0,05–0,53
Влакно	1,00–3,40
Липиди	2,10–7,60
Пепео	1,30–3,30
Минерали (mg/100 g)	
Калцијум	11–586
Фосфор	167–751
Гвожђе	0,90–2
Витамини (mg/100 g)	
Тиамин	11–586
Ниацин	167–751
Рибофлавин	0,90–20
Антинуутритивни фактори	
Танини (%)	0,10–7,22
Фитинска киселина (mg/100 g)	70–314

1.5.1. Угљени хидрати

Угљене хидрате зрна сирка у највећем проценту чини скроб (55,6–70,0% масе сувог зрна у зависности од сорте), а поред њега и трисахарид рафиноза, дисахариди сахароза и малтоза и моносахариди глукоза и фруктоза (Anglani 1998; Khan и сар. 2013). Скроб је главна компонента и углавном се налази у облику гранула у ендосперму; међутим, неке грануле скроба могу се наћи у перикарпу зрна. Као и код осталих жита, скроб сирка састоји се од два биополимера – амилозе и амилопектина, при чему њихов однос одређује многе физичко-хемијске, термичке и реолошке особине скроба. Амилоза и (у мањем степену) амилопектин снажно утичу на желатинизацију скроба, ретроградацију, вискозитет пасте, гелацију и сварљивост α -амилазе (Sang и сар. 2008; Dadnia и сар. 2018). Типично, скроб сирка показује више температуре желатинизације (68–78 °C), виши степен ретроградације, али спорију ензимску хидролизу него скроб других жита. Желатинизација кукуруза одвија се на температури 62–72 °C, пшенице 58–64 °C и јечма 51–60 °C (Hoseney 1994). Ове особине могу бити посљедица мањег броја кратких ланаца у амилопектину сирка у поређењу са другим житима. Висока температура желатинизације сирковог скроба може имати негативан утицај на квалитет печених производа (Taylor и Devar 2001). Висок вршни вискозитет пасте, упијање воде и ниска температура желатинизације, показали су се као предност у прављењу хљеба од сирка, као што је *roti*, док су ниски вршни вискозитет пасте и висока температура желатинизације пожељни за прављење чврсте каше, као што је индијски *sankhati* и афрички *to* (Ratnavathi и Patil 2013). Садржај слободног шећера у зрну сирка износи 1–2% (Hariprasanna и Patil 2015). Нескробни полисахариди налазе се углавном у ћелијским зидовима перикарпа и ендосперма зрна сирка и они су главни узрок нерастворљивости и отпорности угљених хидрата ендосперма сирка (Hoseney 1994). Ендосперм пшенице садржи арабиноксилане, који су растворљиви у води, а ћелијски зидови ендосперма сирка садрже високе нивое глукуроноарабиноксилана, који су нерастворљиви у води и могу бити штетни у прављењу хљеба и у пиварству (Taylor и Emmambuk 2008). *In vitro* сварљивост скроба изолованог из сирка је 33–48%, што је знатно ниже него код кукурузног скроба од 53–58% (Sikabbubba 1989). Зрна брашног сирка са својом аморфном структуром имају већу сварљивост у односу на зрна са стакластом структуром, што је посљедица мање величине честица брашног зрна, што олакшава ензимске реакције потребне за варење.

1.5.2. Протеини

Протеини се налазе углавном у ендосперму зрна сирка у количини 7–15% с. м., у форми албумина, глобулина, глутелина и кафирина. Најзаступљенији су кафирини, који су хидрофобни проламини отпорни на протеазу, са 50–80% од укупних протеина, а други по заступљености су глутелини (FAO 1995; Duodu и сар. 2003). На основу разлика у структури, растворљивости и молекуларној маси, кафирини су подијељени у четири подгрупе: α -кафирини (23 и 25 kDa, 80%), β -кафирини (20 kDa, 5%), γ -кафирини (28 kDa, 15%) и δ -кафирини у траговима (Belton и сар. 2006). Све три врсте кафирина садрже мале количине лизина, есенцијалне аминокиселине у људској исхрани, β -кафирини и γ -кафирини имају висок садржај цистеина, а δ -кафирини висок садржај есенцијалне аминокиселине метионина (Shull и сар. 1992). Сварљивост протеина сирка износи 30–72%, што је ниже него код пшенице (81%) и кукуруза (73%) (Axtell и сар. 1981). Међутим, цијело зрно сирка има 35% већу сварљивост од екструдираног сирка (MacLean и сар. 1983). Због недостатка глутена протеини сирка нису у стању да формирају високоеластично тијесто које задржава гас, што је основни захтјев за прављење дизаног хљеба и за производњу многих других печених производа (Taylor и Dewar 2001). Други велики проблем са протеинима сирка је да се њихова сварљивост може смањити ако се зрна кувају током обраде (Arbab и El Tinai 1997).

Складишни протеини сирка су хидрофобни и садрже већи дио умрежених фракција, што објашњава њихову већу склоност ка стварању интермолекуларних дисулфидних унакрсних веза и евентуалних додатних протеинских агрегата који би могли олакшати стварање ковалентних веза (Belton и сар. 2006). Кафирини се премјештају у лумен ендоплазматског ретикулума, гдје формирају протеинска тијела (Taylor и сар. 1984).

У стакластом ендосперму, некафирински протеини (албумини, глобулини и глутелини) формирају се око протеинских тијела, ефективно „лијепећи“ тијела у матрицу која окружује грануле скроба (Hamaker и Bugusu 2003). Претпоставља се да су умрежавања γ и β кафирина и протеина у матрице препрека желатинизацији и сварљивости скроба (Ezeogu и сар. 2008; Hamaker и Bugusu 2003). Протеинска баријера која окружује грануле скроба може ограничавати хидролизу скроба амилолитичким ензимима. Специфичност протеинске матрице и њена интеракција са скробом утичу на брзину варења скроба, што чини кључну разлику између хранљивог квалитета сирка и кукуруза (Rooney и Pflugfelder 1986).

Складишни протеини код сирка се накупљају унутар органела познатих као протеинска тијела, која су инкапсулирана матрицом протеина. Ова матрица

се углавном састоји од глутелина и мањих количина албумина или глобулина (Seckinger и Wolf 1973). Кафирини чине доминантну фракцију протеина унутар протеинских тијела и праћени су мањом количином глутелина и веома малим количинама албумина и глобулина (Taylor и сар. 1984). β и γ кафирини налазе се у језгру и на периферији протеинских тијела, док се α -кафирини, који чине око 80% укупног кафирина, налази у унутрашњости (Shull и сар. 1992).

1.5.3. Липиди, витамини и минерали

Зрно сирка садржи око 3% липида, што је мање у односу на просо и кукуруз, али више у односу на пиринач и пшеницу. Главни дијелови зрна у којима се складиште липиди су клица (ембрион) и алеуронски слој ћелија. Сама клица садржи око 80% укупних липида зрна, а генотипови са великом фракцијом ембриона садрже и већу количину липида (5,8–6,6%) од нормалног (Jambunathan 1980). Липиди сирка екстраховани хексан-етром (4 : 1) углавном се састоје од неполарних (неутралних) липида (93,2%). У саставу неполарних липида доминантни су триглицериди (85%), затим диглицериди (4%) и слободни стероли (4%) (Osagie 1987). Остали неполарни липиди су стеролни естри, моноацилглицероли и слободне масне киселине. Триглицериди су присутни и у уљним и воштаним фракцијама зрна (Lee и сар. 2011).

Липиди зрна сирка у клици имају типичан профил масних киселина; од 49% линолне (18 : 2), 31% олеинске (18 : 1), 14% палмитинске (16 : 0), 2,7% линоленске (18 : 3) и 2,1% стеаринске (18 : 0) киселине (Dykes и Rooney 2006). Липид у перикарпу је углавном восак (Rooney 1978), који прекрива спољну површину зрна сирка и представља 0,2% њихове масе. Од поларних липида, у зрну сирка се налазе гликолипиди и фосфолипиди, који представљају 5,9%, односно 0,9% укупног садржаја липида. Главни гликолипиди су естерификовани стерол-гликозид (38%), дигалактосилдиацил-глицерол (20,9%) и стерол-гликозид (10,2%). Као остали гликолипиди присутни су моногалактосилдиацил-глицерол, цереброзиди, киселине у гликолипидима су линолна и олеинска киселина, док је у галактозил-глицеролима то палмитинска киселина (Osagie 1987) дигалактозил-моноацил-глицерол и моногалактозилмоноацил-глицерол.

Зрно сирка такође садржи велику количину β -каротена (провитамин витамина А) и токоферола, и извор је витамина растворљивих у липидима, као што су А, D и K, као и витамина растворљивих у води, као што су тиамин, рибофлавин и пиридоксин (Martino и сар. 2012). Перикарп зрна сирка, слој алеурона и клица богати су минералима као што су магнезијум, гвожђе, цинк, бакар,

калцијум, фосфор и калијум (Anglani 1998). Витамини и минерали у зрну сирка углавном се налазе у алеуруону и клици.

1.5.4. Фенолна једињења

Фенолна једињења представљају највећу групу фитохемикалија и налазе се у цијелом биљном царству. Основна структурна карактеристика фенолних једињења је ароматични прстен који носи једну или више хидроксилних група (Chirinos и сар. 2009). Биљни феноли обухватају једноставне феноле, кумарине, лигнине, лигнани, кондензоване и хидролизабилне танине, фенолне киселине и флавоноиде (Soto-Vaca и сар. 2012). Ова једињења синтетишу се у биљкама дјелимично као реакција на еколошке и физиолошке притиске, као што су напад патогена и инсеката, ултраљубичасто зрачење и механичка оштећења. Могу дјеловати као антиоксиданси и сматра се да доприносе превенцији срчаних болести (Dai и Mumper 2010), смањењу упале (Zhang и сар. 2011), смањењу инциденце рака (Sawadogo и сар. 2012) и дијабетеса (Scalbert и сар. 2005) и смањењу фреквенције мутагенезе у људским ћелијама (Sawadogo и сар. 2012). Заштита од болести коју пружа конзумација биљних производа као што су воће, поврће и махунарке, у великој мјери је повезана са присуством фенолних једињења.

Хемопротективне особине фитохемикалија и ограничења додавања синтетичких антиоксиданса у храну указала су на фитохемикалије као добре изворе антиоксиданса и боја за храну и пиће (Zhang и сар. 2015). Феноли сирка састоје се од три главне категорије: флавоноиди, фенолне киселине и танини (Khoddami и сар. 2015), и дјелују као антиоксиданси у *in vitro* тестовима (Awika 2003). Неке фитохемикалије сирка снажнији су антиоксиданси од витамина који се налазе у другим биљним врстама (Rhodes и Price 1997).

Khoddami и сар. (2021) цитирају велики број аутора који наводе позитивно дјеловање фитохемикалија сирка, посебно антоцијанина и других флавоноида, на људско здравље. Иако је наведена листа дјеловања убједљива, у овом прегледу није могуће дати детаљну процјену доказа за сваку од наведених позитивних дјеловања. Наводи се да конзумација производа од цијеловитог зрна сирка доводи до нижег нивоа глукозе у плазми код дијабетичара у поређењу са конзумирањем цијелог зрна пшенице и ољуштеног зрна сирка (Thompson и сар. 1984; Lakshmi и Vimala 1996). Потенцијални здравствени ефекти зрна сирка не потичу само због садржаја фитохемикалија. Утврђено је да екстракт липида сирка који не садржи танин смањује ниво апсорпције холестерола (Carr и сар. 2005).

На основу садржаја танина сирак за зрно категорисан је у три типа: тип I, II и III (Price и Butler 1977). Сирак типа I је без танина, док сирак типа II и III садржи низак и висок ниво танина, респективно. Због њихове отпорности на птице и инсекте и екстремне временске услове, као и високог потенцијала приноса, пољопривредници радије гаје сорте сирка који садрже танин (Lubadde и сар. 2019). Међутим, танин је једна од главних компоненти жита које смањују количину хранљивих материја за исхрану животиња или људи. Он смањује сварљивост скроба и протеина и ограничава повећање тјелесне масе код моногастричних животиња, као што су живина и зец (Liu и сар. 2015; Muriu и сар. 2002). Методом *in vitro* тестова утврђено је смањење сварљивости скроба и протеина због њихове интеракције са танином (Barros и сар. 2012, 2014; Dunn и сар. 2015).

1.6. Квалитет хране од зрна сирка

Пошто су жита основне биљне врсте у исхрани људи (*staple food*) и животиња, посебно је важан садржај и квалитет протеина и скроба који се налазе у њиховом зрну. Квалитет протеина жита повезан је са њиховим аминокиселинским саставом и сварљивошћу. Неки фактори који утичу на квалитет и сварљивост протеина укључују прераду и антинуутритивна једињења.

1.6.1. Сварљивост протеина и скроба

Због ниске сварљивости његових протеина и скроба у односу на друга жита сирак се често сматра усјевом ниске вриједности за исхрану (Duressa и сар. 2018). Duodu и сар. (2003) наводе да је ниска сварљивост протеина сирка најизраженија у мокро куваној храни, гдје се сварљивост протеина смањује и до 50%. Различита сварљивост протеина између појединих сорти сирка зависи од многих фактора, као што су генотип, структура зрна, структура фракција протеина, увезивање протеина и компоненти фенолних једињења итд. (Dunn и сар. 2015; Kaufman и сар. 2013). Без обзира на сварљивост протеина, сварљивост скроба у сировом и прерађеном зрну сирка је такође ниска. Ово би заузврат могло бити повезано са увезивањем скроба и протеина или везивањем скроба за танин, што би могло ограничити доступност гранула скроба амилолитичким ензимима (Wong и сар. 2009; Barros и сар. 2012; Dunn и сар. 2015). Уобичајено је да се ниска сварљивост скроба сматра негативном особином; међутим, пошто многе компаније користе процесе који захтијевају енергију и ресурсе за стварање отпорног скроба, храна на бази сирка са овим својством може бити драгоцјена у земљама са високом процентом гојазности (Awika и Rooney 2004).

1.6.2. Сирак у људској исхрани

У Африци и Азији, цијело зрно сирка и брашно од сирка користе се за прављење великог броја производа. То укључује ријетке или густе ферментисане или неферментисане каше, куване производе сличне онима направљеним од кукурузних или пиринчаних крупица, сирак кокичар, сомун и разне врсте пржене хране на бази сирка. Сирак се користио у производњи пића, као што су безалкохолна ферментисана пића и (алкохолно) пиво у Африци и Мексику, као и алкохолно сирће у Кини. Он се, такође, користи као замјена за пшеницу за производњу хране без глутена, укључујући тјестенину, хљеб, кекс и кашице (Сл. 1.3) (Chavez и сар. 2018).

Главни разлог зашто прехранбени производи на бази сирка нису глобално популарни у поређењу са другим производима од жита је њихов инфериорни сензорни квалитет. На примјер, храна заснована на танинском сирку има горак и опор укус (Kobue-Lekalake и сар. 2007; Khan и сар. 2014; Rose и сар. 2014). Сирак који садржи танин има релативно мекану текстуру ендосперма, док сирак без танина има тврд ендосперм са слатким укусом налик на кукуруз (Kobue-Lekalake и сар. 2007). Потрошачи подржавају декортикацију зрна сирка за добијање сировог брашна мање трпкости, свјетлије боје прехранбених производа и веће сварљивости (Taylor и Dewar 2001). Међутим, декортикација смањује ниво секундарних једињења која имају позитиван ефекат на здравље људи као што су феноли (Buitimea-Cantua и сар. 2013).

Сирак је основа за релативно мало прехранбених производа у западном свијету. На примјер, за разлику од овса, пиринча, кукуруза и пшенице, зрно сирка није се широко користило у производњи жита за доручак (Welch 2011). Постоји неколико истраживачких публикација о производњи готове хране на бази сирка које су дале позитивне повратне информације од потрошача. У студији која је упоређивала пахуљице сирка од цијелог зрна са пахуљицама пшеничних мекиња, потрошачи су утврдили бољу текстуру и скоро исте оцјене укуса за производе на бази сирка (Hariprasanna и Patil 2015). У другом истраживању, дата је предност производу на бази сирка у односу на производ од овсених пахуљица (Celis и сар. 1996). Dlamin и сар. (2007) утврдили су да прерада може смањити антиоксидативну активност сирка, гдје је ниво антиоксиданса био нижи у екструдираном сирку него у конвенционално куваној каши. Показало се да комбинација сирка / кукуруза / одмашћеног сојиног брашна у комбинацији са протеином сурутке побољшава сензорни квалитет производа од жита (Devi и сар. 2013).



Хлеб од пшенице и сирка
(<https://medium.com/@femiroyale/harvest-spotlight-sorghum-146ef0a0aa74>,
приступљено: 20. јуна 2024)



Пудинг од полираног сирка
(<https://nulifemarket.com/gluten-free-recipes/pearled-sorghum-grain-pudding/>,
приступљено: 20. јуна 2024)



Сирак–аспарагус салата
(<https://www.cookingwithbooks.net/2014/05/sorghum-asparagus-salad.html>, приступљено:
20. јуна 2024)



Бисквит од сирка и чоколаде
(<https://aussorghm.org.au/2016/03/02/sorghum-chocolate-chip-and-macadamia-biscuits/>,
приступљено: 20. јуна 2024)



Сируп од сирка
(<https://www.amazon.com/Golden-Barrel-Sorghum-Syrup-Mouth/dp/B0018GD1NI>,
приступљено: 20. јуна 2024)



Виски од сирка
(<https://www.whiskybase.com/whiskies/whisky/130175/new-southern-revival-sorghum-whiskey>,
приступљено: 20. јуна 2024)

Сл. 1.3. Храна и пиће за људе на бази сирка

Fig. 1.3. Food and drink for people based on Sorghum

Производња тјестенине ниске сварљивости која би могла да посједује адекватан квалитет кувања и прихватљивост за потрошаче била је циљ студије коју су спровели Khan и сар. (2014). Резултати су показали да додавање 20% брашна од црвеног сирка или 30% брашна од бијелог сирка тјестенини може смањити сварљивост скроба без већег утицаја на унапријед постављене критеријуме. У другој студији, додавање 40% сирковог брашна у пшенични хљеб значајно је смањило *in vitro* сварљивост скроба уз одржавање сензорне прихватљивости (Yousif и сар. 2012).

1.6.3. Здравствене користи од конзумирања зрна сирка

Хемијски састав зрна сирка упоредив је са оним код кукуруза, а његов хранљиви профил сличан је оном код пшенице (Dicko и сар. 2006). Хранљиве материје у зрну сирка имају позитивну улогу у људској исхрани и здрављу, посебно код људи који пате од поремећаја као што су целијакија, дијабетес и гојазност (Pontieri и сар. 2013).

Конзумација прехранбених производа на бази сирка може помоћи у контроли гликемијске реакције тијела, што доводи до мањег ризика од метаболичких болести као што је дијабетес (Zhang и Hamaker 2009). Дио скроба у сирку такође може дјеловати као резистентни скроб (дијетална влакна), смањујући учесталост неких болести као што су рак дебелог цријева и дијабетес (Birt и сар. 2013). Прехранбени производи на бази сирка, укључујући хљеб, кексе, каше, тјестенину и пецива, одлични су за обољеле од целијакије због одсуства глутена у профилу протеина зрна.

Сирак нуди интересантне могућности као састојак хране и извор једињења која се могу користити за побољшање здравствених ефеката хране. Низ фенолних једињења у сирку обично се не налази у другим житима (Awika и Rooney 2004; Awika 2011). Полифеноли сирка имају већи потенцијал за сузбијање пролиферације ћелија рака од њихових аналога који се налазе у другим изворима хране (Awika 2017). Yang и сар. (2015) наводе да феноли и друга једињења у сирку имају важна и јединствена биоактивна својства релевантна за превенцију рака, здравље кардиоваскуларног система и смањење хроничне упале и оксидативног стреса.

Недавни докази такође сугеришу да полифеноли сирка (танини) могу бити корисни као природни састојци за смањење калоријског утицаја скроба (Атоако и Awika 2016). Скробу и протеинима у сирку потребно је дуже да се сware од других сличних једињења. Ово споро варење доводи до ниског

гликемијског индекса и стога је посебно корисно за особе са дијабетесом (Zhang и Hamaker 2009; Hargrove и сар. 2011).

Мономерни флавоноиди у сирку имају различите нивое антиинфламаторне активности (Moraes и сар. 2012). Такође смањују ризик од или одлажу развој или рецидив рака (Park и сар. 2012). Екстракти сирка имају антиканцерогену биоактивност већу од других жита као што су пшеница, просо и мухар, што указује да сирак може послужити као ефикасан и јефтин јестиви додатак у лијечењу рака (Xie и сар. 2019).

Сирак је богат калијумом и фосфором. Има пожељан садржај калцијума са малим количинама гвожђа и натријума. Такође је богат влакнима и протеинима, што га чини једном од здравијих опција за оне који не могу да конзумирају глутен и стога не могу да једу традиционалне облике брашна. Сладно брашно од сирка може се користити за прављење напитака против затвора и за формулације друге хране. Сирак је такође добар извор витамина.

Закључак

Глобалне климатске примјене – недостатак воде, повећана учесталост топлотних таласа и дужи периоди суше захтијеваће промјене у примарној биљној производњи на отвореном, које ће се огледати у измјени сортимената постојећих гајених биљака, увођењу нових биљака које се до сада нису гајиле у подручју захваћеном климатским промјенама и прилагођавању технологија гајења новим условима производње. Сирак представља једну од гајених биљака која може имати значајну улогу у ублажавању посљедица климатских промјена и развоју одрживе пољопривреде. Да би се пољопривредницима и произвођачима хране ставиле на располагање сорте сирка које дају висок принос добрих нутритивних особина зрна, потребна су интензивна истраживања генетике и физиологије сирка, технологије његовог гајења и нутритивних вриједности. У оплемењивању сирка треба стварати генотипове добре опште и специфичне адаптабилности, високог приноса и пожељних нутритивних вриједности који ће, поред толерантности на сушу и високе температуре, бити предност у избору ове гајене биљке за семиаридна подручја. Један од начина повећања учешћа сирка на укупном свјетском тржишту пољопривредних производа и сировина је промоција могућности његове вишеструке употребе у различитим индустријама, укључујући људску храну, сточну храну и биогориво. Зрно сирка нема глутен, а има велику хранљиву вриједност због присуства антиоксиданата и микронутријената, тако да има висок потенцијал као функционална храна и у развијеним земљама.

Литература

- Amoako D, Awika JM (2016) Polyphenol interaction with food carbohydrates and consequences on availability of dietary glucose. *Curr Opin Food Sci* 8:14–8. doi:10.1016/j.cofs.2016.01.010
- Anglani C (1998) Sorghum for human food – a review. *Plant Foods Hum Nutr* (Dordrecht, Netherlands) 52(1):85–95. doi:10.1023/A:1008065519820
- Arbab ME, El Tinay AH (1997) Effect of cooking and treatment with sodium bisulphite or ascorbic acid on the in vitro protein digestibility of two sorghum cultivars. *Food Chem* 59(3):339–43. doi:10.1016/S0308-8146(96)00106-9
- ASDA (2024) Production – Sorghum. Доступно на: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0459200>, приступљено: 10. августа 2022.
- Ahmad T, Buneen U, Sajid SN, Almas HI, Haseeb A, Rubab A, Kanwal M, Arsh Q, Asghar A (2020) Morphological and molecular diversity analyses of highbiomass sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *International Journal of Biosciences* 16(3):253–273. doi:10.12692/ijb/16.3.253-273
- Awika JM (2003) Antioxidant properties of sorghum. PhD Thesis, Texas A & M University: College Station, TX
- Awika JM, Rooney LW (2004) Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry* 65(9):1199–221. doi:10.1016/j.phytochem.2004.04.001
- Awika JM (2011) Sorghum flavonoids: Unusual compounds with promising implications for health. *ACS Symposium Series*, 1089:171–200. doi:10.1021/bk-2011-1089.ch009
- Awika JM (2017) Sorghum: Its unique nutritional and health-promoting attributes. *Gluten-free ancient grains: Cereals, pseudocereals, and legumes: Sustainable, nutritious, and health-promoting foods for the 21st Century*. Cambridge: Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-0-08-100866-9.00003-0
- Axtell JD, Kirleis AW, Hassen MM, D’Croz Mason N, Mertz ET, Munck L (1981) Digestibility of sorghum proteins. *Proc Natl Acad Sci USA* 78(3):1333–5. doi:10.1073/pnas.78.3.1333
- Barros F, Awika JM, Rooney LW (2012) Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. *Journal of Agricultural and Food Chem* 60(46):11609–11617. doi:10.1021/jf3034539
- Barros F, Awika J, Rooney LW (2014) Effect of molecular weight profile of sorghum proanthocyanidins on resistant starch formation. *J Sci Food Agric* 94(6):1212–1217. doi:10.1002/jsfa.6400
- Belton PS, Delgadillo I, Halford NG, Shewry PR (2006) Kafirin structure and functionality. *J Cereal Sci* 44(3):272–286. doi:10.1016/j.jcs.2006.05.004
- Berenji J, Sikora V (2004) Perspektive proizvodnje sirka za zrno kod nas. *Acta Agriculturae Serbica* IX(17):501–507

- Becker-Dillingen J (1927) Kaffernhirse, Sorghum. In: Handbuch des Getreideanbaus einschließlich Mais, Hirse und Buchweizen. Verlag Paul Parey, Berlin, pp 586–594.
- Birt DF, Boylston T, Hendrich S, Jane J-L, Hollis J, Li L, McClelland J, Moore S, Phillips GJ, Rowling M (2013) Resistant starch: Promise for Improving Human health. *Adv Nutr* (Bethesda, Md) 4(6):587–601. doi:10.3945/an.113.004325
- Blakeley ME, Rooney LW, Sullins RD, Miller FR (1979) Microscopy of the Pericarp and the Testa of Different Genotypes of Sorghum. *Crop Sci* 19(6):837–842. <https://doi.org/10.2135/cropsci1979.0011183X001900060023x>
- Buitimea-Cantúa NE, Torres-Chávez PI, Ledesma-Osuna AI, Ramírez-Wong B, Robles-Sánchez RM, Serna-Saldívar SO (2013) Effect of defatting and decortication on distribution of fatty acids, phenolic and antioxidant compounds in sorghum (*Sorghum bicolor*) bran fractions. *Int J Food Sci Technol* 48(10):2166–75. doi:10.1111/ijfs.12201
- Вељковић В (2020) Сирак (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) у производњи биогорива. Универзитет у Нишу, Технолошки факултет, Лесковац, 330 стр.
- Venkateswaran K, Sivaraj N, Pandravada SR, Thirupathi Reddy M, Sarath Babu B (2019) Classification, Distribution and Biology. In: Aruna C, Visarada KBRS, Venkatesh Bhat B, Tonapi VA (eds) *Breeding Sorghum for Diverse End Uses*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 33–60. ISBN 9780081018798
- Dadnia MR, Mojaddam M, Ayran A (2018) Role of copper on physiological parameters and salt tolerance in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Cultivars. *J Crop Nutr Sci* 4(1):1–14.
- Dai J, Mumper RJ (2010) Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. Review. *Molecules* (Basel, Switzerland) 15(10):7313–7352. doi:10.3390/molecules15107313
- Dahlberg JA (2000) Classification and characterization of sorghum. In: Smith CW, Frederiksen RA (eds) *Sorghum: origin, history, technology, and production*, pp 99–130. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Dahlberg J, Berenji J, Sikora V, Latkovic D (2011) Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. *Maydica* 56 (1750):85–92.
- Devi NL, Shobha S, Tang X, Shaur SA, Dogan H, Alavi S (2013) Development of protein-rich sorghum-based expanded snacks using extrusion technology. *Int J Food Prop* 16(2):263–76. doi:10.1080/10942912.2011.551865
- Dicko MH, Gruppen H, Zouzouho OC, Traoré AS, Van Berkel WJH, Voragen AGJ (2006) Effects of germination on the activities of amylases and phenolic enzymes in sorghum varieties grouped according to food end-use properties. *J Sci Food Agric* 86(6):953–63. doi:10.1002/jsfa.2443
- Dlamini NR, Taylor JRN, Rooney LW (2007) The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chem* 105(4):1412–1419. doi:10.1016/j.foodchem.2007.05.017

- Dunn KL, Yang L, Girard A, Bean S, Awika JM (2015) Interaction of sorghum tannins with wheat proteins and effect on in vitro starch and protein digestibility in a baked product matrix. *Journal of Agricultural and Food Chem* 63(4):1234–1241. doi:10.1021/jf504112z
- Duodu KG, Taylor JRN, Belton PS, Hamaker BR (2003) Factors affecting sorghum protein digestibility. *J Cereal Sci* 38(2):117–131. doi:10.1016/S0733-5210(03)00016-X
- Duessa D, Weerasoriya D, Bean SR, Tilley M, Tesso T (2018). Genetic basis of protein digestibility in grain sorghum. *Crop Sci* 58(6):2183–99. doi:10.2135/cropsci2018.01.0038
- Dykes L, Rooney LW (2006) Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J Cereal Sci* 44(3):236–251. doi:10.1016/j.jcs.2006.06.007
- Dykes L, Rooney WL, Rooney LW (2013) Evaluation of phenolics and antioxidant activity of black sorghum hybrids. *J Cereal Sci* 58(2):278–83. doi:10.1016/j.jcs.2013.06.006
- Ezeogu LI, Duodu KG, Emmambux MN, Taylor JRN (2008) Influence of cooking conditions on the protein matrix of sorghum and maize endosperm flours. *Cereal Chem* 85:397–402.
- Zhang G, Hamaker BR (2009) Slowly digestible starch: Concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. *Crit Rev Food Sci Nutr* 49(10):852–67. doi:10.1080/10408390903372466
- Zhang L, Ravipati AS, Koyyalamudi SR, Jeong SC, Reddy N, Smith PT, Bartlett J, Shanmugam K, Münch G, Wu MJ (2011) Antioxidant and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants containing phenolic and flavonoid compounds. *J Agric Food Chem* 59(23):12361–7. doi:10.1021/jf203146e
- Zhang Y-J, Gan R-Y, Li S, Zhou Y, Li A-N, Xu D-P, Li H-B (2015) Antioxidant phytochemicals for the prevention and treatment of chronic diseases. *Molecules (Basel, Switzerland)* 20(12):21138–56. doi:10.3390/molecules201219753
- Jambunathan R (1980) Improvement of the nutritional quality of sorghum and pearl millet. *Food Nutrition Bulletin* 2:11–16.
- Kaufman RC, Herald TJ, Bean SR, Wilson JD, Tuinstra MR (2013) Variability in tannin content, chemistry and activity in a diverse group of tannin containing sorghum cultivars. *J Sci Food Agric* 93(5):1233–41. doi:10.1002/jsfa.5890
- Kimber CT (2000) Origin of domesticated sorghum and its early diffusion to India and China. In: Smith CW, Frederiksen RA (eds) *Sorghum: origin, history, technology, and production*. John Wiley & Sons, New York, pp 3–98.
- Kirleis AW, Crosby KD (1982) Sorghum hardness: comparison of methods for its evaluation. In: Mertin JV, Crosby KD (eds) *Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India (ICRISAT Center, Patancheru, India, 28–31 October 1981), pp 231–241.

- Klein RR, Miller FR, Dugas DV, Brown PJ, Burrell AM, Klein PE (2015) Allelic variants in the PRR37 gene and the human-mediated dispersal and diversification of sorghum. *Theor Appl Genet* 128:1669–1683.
- Kobue-Lekalake RI, Taylor JR, De-Kock H (2007) Effects of phenolics in sorghum grain on its bitterness, astringency and other sensory properties. *Revista de Fitoterapia* 87:1940–8. doi:10.1002/jsfa
- Kumari S R, Chandrashekar A (1992) Proteins in developing sorghum endosperm that may be involved in resistance to grain moulds. *J Sci Food Agric* 60:275–282.
- Khan I, Yousif A, Johnson SK, Gamlath S (2013) Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Res Int* 54(1):578–86. doi:10.1016/j.foodres.2013.07.059
- Khan I, Yousif AM, Johnson SK, Gamlath S (2014) Effect of sorghum flour addition on *in vitro* starch digestibility, cooking quality, and consumer acceptability of durum wheat pasta. *J Food Sci* 79(8):S1560–S1567. doi:10.1111/1750-3841.12542
- Khoddami A, Truong HH, Liu SY, Roberts TH, Selle PH (2015) Concentrations of specific phenolic compounds in six red sorghums influence nutrient utilisation in broiler chickens. *Anim Feed Sci Technol* 210:190–9. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.09.029
- Khoddami A, Messina V, Vadabali Venkata K, Farahnaky A, Blanchard CL, Roberts TH (2021) Sorghum in foods: Functionality and potential in innovative products. *Crit Rev Food Sci Nutr* 63(9):1170–1186. doi:org/10.1080/10408398.2021.1960793
- Lakshmi KB, Vimala V (1996) Hypoglycemic effect of selected sorghum recipes. *Nutr Res* 16(10):1651–1658. doi:10.1016/0271-5317(96)00184-4
- Lee BH, Weller CL, Cuppett SL, Carr TP, Walter J, Martinez I, Schlegel VL (2011) Grain sorghum lipids: extraction, characterization, and health potential. *ACS Symposium Series* 1089:149–170.
- Liu S, Fox G, Khoddami A, Neilson K, Truong H, Moss A, Selle P (2015) Grain Sorghum: A conundrum for chicken-meat production. *Agriculture* 5(4):1224–51. doi:10.3390/agriculture5041224
- Lubadde G, Ebiyau J, Aru C, Andiku J, Wandulu M, Ugen M (2019) Sorghum production handbook for Uganda. Uganda: Resources Research Institute of the National Agricultural Research Organisation (NaSARRI-NARO)
- Martino HSD, Tomaz PA, Moraes ÉA, Conceicao LL, da Oliveria D, Queiroz VAV, Ribeiro SMR (2012) Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption Caracterização química e distribuição granulométrica de genótipos de sorgo para alimentação humana. *Rev Inst Adolfo Lutz* 71(2):337–344.
- MacLean WC, López de Romaña G, a Gastañaduy, Graham GG (1983) The effect of decortication and extrusion on the digestibility of sorghum by preschool children. *J Nutr* 113(10):2071–7. doi:10.1093/jn/113.10.2071

- Moraes ÉA, Natal DIG, Queiroz VAV, Schaffert RE, Cecon PR, de Paula SO, Benjamim LA, Ribeiro SMR, Martino HS D (2012) Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response and oxidative stress and maintains jejunum morphology of rats fed a hyperlipidic diet. *Food Res Int* 49(1):553–559. doi:10.1016/j.foodres.2012.07.029
- Murdock GF (1959) *Africa: Its peoples and their cultural history*. McGraw-Hill, London
- Muriu JI, Njoka-Njiru EN, Tuitoek JK, Nanua JN (2002) Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor*) as replacent for maize in the diet of growing rabbits. *Asian-Australas J Anim Sci* 15 (4):565–569. doi:10.5713/ajas.2002.565
- Oria MP, Hamaker BR, Axtell JD, Huang CP (2000) A highly digestible sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein bodies. *Proc Natl Acad Sci USA* 97(10):5065–5070.
- Osagie AU (1987) Total lipids of sorghum grain. *Journal of Agricultural and Food Chem* 35:601–604.
- Park JH, Darvin P, Lim EJ, Joung YH, Hong DY, Park EU, Park SH, Choi SK, Moon E-S, Cho BW (2012) Hwanggeumchal sorghum induces cell cycle arrest, and suppresses tumor growth and metastasis through JAK2/STAT pathways in breast cancer xenografts. *PLoS One* 7(7):e40531. doi:10.1371/journal.pone.0040531
- Pontieri P, Mamone G, De Caro S, Tuinstra MR, Roemer E, Okot J, De Vita P, Ficco BDM, Alifano P, Pignone D (2013) Sorghum, a healthy and gluten-free food for celiac patients as demonstrated by genome, biochemical, and immunochemical analyses. *Journal of Agricultural and Food Chem* 61(10):2565–71. doi:10.1021/jf304882k
- Price ML, Butler LG (1977) Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. *Journal of Agricultural and Food Chem* 25(6):1268–1273. doi:10.1021/jf60214a034
- Ratnavathi CV, Patil JV (2013) Sorghum Utilization as Food. Доступно на: <https://www.longdom.org/open-access-pdfs/sorghum-utilization-as-food-2155-9600.1000247.pdf>. Приступљено: 24. јуна 2024.
- Rooney LW (1978) Sorghum and pearl millet lipids. *Cereal Chem* 55:584–590
- Rooney LW, Miller FR (1981) Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. In: Rooney LW, Murty DS (eds) *Proceedings of the International Symp: Sorghum Grain Quality*, ICRISAT, Patancheru, A. P., India, pp 143–162.
- Rooney LW, Miller F (1982) Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. In: Rooney LW, Murty D, Mertin J (eds) *International symposium on sorghum grain quality*, pp 143–162. Patancheru, AP: ICRISAT
- Rooney LW, Pflugfelder RL (1986) Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J Anim Sci* 63:1607–1623.
- Rooney L, Waniska R (2000) Sorghum food and industrial utilization. In: Smith C, Frederiksen R (ed) *Sorghum: Origin, history, technology and production*, New York: John Wiley and Sons, Inc.

- Rooney L, Rooney WL, Serna-Saldivar S (2016) Sorghum. Reference Module in Food Science 1–6. doi:10.1016/B978-0-08-100596-5.02986-3
- Rose DJ, Williams E, Mkandawire NL, Weller CL, Jackson DS (2014) Use of whole grain and refined flour from tannin and non-tannin sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Moench varieties in frybread. Food Sci Technol Int 20(5):333–9. doi:10.1177/1082013213488380
- Rhodes M, K Price (1997) Identification and analysis of plant phenolic antioxidants. European Journal of Cancer Prevention: The Official Journal of the European Cancer Prevention Organisation (ECP) 6(6):518–21. doi:10.1097/00008469-199712000-00005
- Rhodes DH, Hoffmann L, Rooney WL, Herald TJ, Bean S, Boyles R, Brenton ZW, Kresovich S (2017) Genetic architecture of kernel composition in global sorghum germplasm. BMC Genomics 18:15
- Sang Y, Bean S, Seib P, Pedersen J, Shi Y (2008) Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. Journal of Agricultural and Food Chem 56(15):6680–6685. doi:10.1021/jf800577x
- Sawadogo WR, Banzouzi MA, Champy JT, Figadere P, Guissou B, Nacoulma P (2012) Mutagenic effect, antioxidant and anticancer activities of six medicinal plants from Burkina Faso. Nat Prod Res 26(6):575–9. doi:10.1080/14786419.2010.534737
- Seckinger HL, Wolf MJ (1973) Sorghum protein ultrastructure as it relates to composition. Cereal Chem 50:455–465.
- Sikabbubba R (1989) The effect of alcohol soluble proteins on the digestibility of sorghum., Etats-Unis. Manhattan, KS: Kansas State University
- Сикора В (2020) Порекло, класификација, биологија, састав и традиционална употреба сирка *Sorghum bicolor* (L.) Moench. У: Вељковић ВБ (ур) Сирак *Sorghum bicolor* (L.) Moench у производњи биогорива. Универзитет у Нишу, Технолошки факултет у Лесковцу, Огранак САНУ у Нишу, 330 стр.
- Snowden JD (1936) The Cultivated races of sorghum. Adlard & Son, London
- Snowden JD (1955) The wild fodder sorghums of the genus Eu-sorghum. Bot J Linn Soc 55:191–260..
- Soto-Vaca A, Gutierrez A, Losso JN, Xu Z, Finley JW (2012) Evolution of phenolic compounds from color and flavor problems to health benefits. Journal of Agricultural and Food Chem 60(27):6658–6677. doi:10.1021/jf300861c
- Subramanian V, Jambunathan R (1984) Chemical composition and food quality of sorghum. In: Salunkhe DK, Chavan JK, Jadhav SJ (eds) Nutritional and processing quality of sorghum. Oxford and IBH Publishing Co, New Delhi
- Shin L (1986) Sorghum based breakfast cereal. Lincoln, NE: University of Nebraska-Lincoln
- Shull JM, Watterson JJ, Kirleis W (1992) Purification and immunocytochemical localization of kafirins in *Sorghum bicolor* (L. Moench) endosperm. Protoplasma 171(1–2):64–74. doi:10.1007/BF01379281

- Scalbert A, Manach C, Morand C, Rémésy C, Jiménez L (2005) Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Crit Rev Food Sci Nutr* 45(4):287–306. doi:10.1080/1040869059096.
- Taylor JRN, Novellie L, Liebenberg NVDW (1984) Sorghum protein body composition and ultrastructure. *Cereal Chem* 61:69–73.
- Taylor JRN, Dewar J (2001) Developments in sorghum food technologies. *Advances in Food and Nutrition Research* 43:217–64. doi:10.1016/s1043-4526(01)43006-3
- Taylor JRN, Emmambux MN (2008) Products containing other speciality grains: Sorghum, the millets and pseudocereals. In: Hamaker BR (ed) *Technology of Functional Cereal Products*. Woodhead Publishing, pp 281–335. ISBN 9781845691776, doi:10.1533/9781845693886.2.281
- Thompson LU, Yoon JH, Jenkins DJ, Wolever TMS, Jenkins L (1984) Relationship between polyphenol intake and blood-glucose response of normal and diabetic individuals. *Am J Clin Nutr* 39(5):745–751. doi:10.1093/ajcn/39.5.745
- USDA-FGIS (2009) *Inspecting grain: Practical procedures for grain handlers. Grain inspection, packers and stockyards administration. USA*
- FAO (1995) *Sorghum and millet in human nutrition*. ISBN 92-5-103381-1
- Hamaker BR, Bugusu BA (2003) Overview: sorghum protein and food quality. *Workshop on the Protein of Sorghum and Millets: Enhancing Nutritional and Functional Properties for Africa [CD]*. Pretoria, South Africa
- Hargrove JL, Greenspan P, Hartle DK, Dowd C (2011) Inhibition of aromatase and α -amylase by flavonoids and proanthocyanidins from Sorghum bicolor bran extracts. *J Med Food* 14 (7–8):799–807. doi:10.1089/jmf.2010.0143
- Hariprasanna K, Patil JV (2015) Sorghum: Origin, Classification, Biology and Improvement. In: Madhusudhana R, Rajendrakumar P, Patil J (eds) *Sorghum Molecular Breeding*. Springer, New Delhi. doi:org/10.1007/978-81-322-2422-8_1
- Harlan JR, de Wet MJM (1972) A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Sci* 12:172–176
- House LR, Gomez M, Murty DS (2000) Development of some agricultural industries in several African and Asian countries, In: (Smith CW, Frederiksen RA (eds) *Sorghum: origin, history, technology and production*. John Wiley & Sons, New York, pp 131–190.
- Hoseney RC, Davis AB, Herbers LH (1974) Pericarp and endosperm structure of sorghum grain shown by scanning electron microscopy. *Cereal Chem* 51:552–558.
- Hoseney R (1994) *Principles of cereal science and technology*, 2nd ed. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chem
- Carr TP, Weller CL, Schlegel VL, Cuppett SL, Guderian DM, Johnson KR (2005) Grain sorghum lipid extract reduces cholesterol absorption and plasma non-HDL cholesterol concentration in Hamsters. *J Nutr* 135(9):2236–40. doi:10.1093/jn/135.9.2236
- Celis L, Rooney WL, McDonough CM (1996) A ready to eat breakfast cereal from food grade sorghum. *Cereal Chem* 73:108–114.

- Chávez D, Ascheri J, Martins A, Carvalho C, Bernardo C, Teles A (2018) Sorgo, un cereal alternativo para productos sin gluten. *Revista Chilena De Nutrición* 45(2):169–177. doi:10.4067/S0717-75182018000300169
- Chirinos R, Betalleluz-Pallardel I, Huamán A, Arbizu C, Pedreschi R, Campos D (2009) HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chem* 113(4):1243–1251. doi:10.1016/j.foodchem.2008.08.015
- Wagaw K (2019) Review on mechanisms of drought tolerance in Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) basis and breeding methods. *Res J Agric Sci* 7:87–99.
- Waniska R, Rooney L (2000) Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Welch RW (2011) Nutrient composition and nutritional quality of oats and comparisons with other cereals. In *Oats: Chemistry and technology*, 2nd ed, pp 95–108. St Paul, MN, AACC International
- Wong JH, Lau T, Cai N, Singh J, Pedersen JF, Vensel WH, Hurkman WJ, Wilson JD, Lemaux PG, Buchanan BB (2009) Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. *J Cereal Sci* 49(1):73–82. doi:10.1016/j.jcs.2008.07.013
- Wu Y, Li X, Xiang W, Zhu C, Lin Z, Wu Y, Li J, Pandravada S, Ridder D, Bai (2012) Presence of tannins in sorghum grains is conditioned by different natural alleles of Tannin. *Proc Natl Acad Sci USA* 109(26):10281–10286. doi:10.1073/pnas.1201700109
- Xie M, Liu J, Tsao R, Wang Z, Sun B, Wang J (2019) Whole grain consumption for the prevention and treatment of breast cancer. *Nutrients* 11(8):1769–21. doi:10.3390/nu11081769.
- Yang L, Allred KF, Dykes L, Allred CD, Awika JM (2015) Enhanced action of apigenin and naringenin combination on estrogen receptor activation in non-malignant colonocytes: Implications on sorghum-derived phytoestrogens. *Food Funct* 6():749–755. doi:10.1039/c4fo00300d
- Yousif A, Nhepera D, Johnson S (2012) Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. *Food Chem* 134(2):880–887. doi:10.1016/j.foodchem.2012.02.199

Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) – A Plant Species for Mitigating the Effects of Climate Change and a Raw Material for Functional Food

Novo Pržulj, Ana Velimirović, Predrag Ilić,
Zoran Jovović, Zoran Govedar

Summary

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) is a cereal crop from the grass family (*Poaceae*) used for human and animal nutrition, as well as industrial processing. It is highly tolerant to drought and water scarcity and is mainly cultivated in semi-arid and arid regions of Africa, Asia, Australia, and North and South America. As a C4 photosynthetic plant, sorghum is highly efficient in carbon assimilation and biomass accumulation at elevated temperatures, in contrast to C3 cereals such as wheat, barley, oats, and rye, which lack this efficiency. Globally, sorghum is grown on over 40 million hectares, 80% of which are in developing countries, primarily in Africa and Asia, where sorghum grain is predominantly used for human consumption. The genus *Sorghum* includes 31 species, 158 varieties, and 523 forms. The genotypes cultivated in the Balkans belong to the species *S. bicolor*, which encompasses annual and perennial cultivated and wild forms. According to agronomic classification based on cultivation and use, *S. bicolor* is divided into agronomic types: grain sorghum, broom sorghum, sweet sorghum, and Sudan grass.

Sorghum grain is a staple food for approximately 500 million people in 30 countries across Africa and Asia. Despite this contribution to global food production, most of the sorghum grain worldwide and nearly all of it in Western countries is used as animal feed. Due to its favorable chemical composition, the whole plant is increasingly used in industrial processing, making sorghum relevant not only in tropical but also in temperate climate regions.

Sorghum has great potential as a source of both everyday and functional food that can serve as an alternative to traditional cereals such as wheat, rice, and maize. Despite its wide adaptability and favorable nutritional profile, the potential and role of sorghum in sustainable agriculture and human health have not been as thoroughly investigated as those of other cereals. Its high dietary fiber content (6%) aids digestion and may contribute to weight control and cardiovascular health. The grain contains significant levels of protein (9–13%) and essential minerals such as phosphorus, magnesium, iron, and zinc, making it a vital nutritional resource for growth, maintenance, and metabolic functions.

Although sorghum contains a low lipid content (around 3%), it includes valuable fatty acids such as oleic and linoleic acid. It also provides B-complex vitamins (thiamine, riboflavin, and niacin) and vitamin E. Sorghum's unique phytochemicals, including polyphenols, tannins, sterols, and phytic acid, exhibit antioxidant properties linked to reduced risk of chronic diseases and additional health-promoting effects beyond basic nutrition. Polyphenols with antioxidant capacity help reduce oxidative stress in the human body and may have anticancer properties. Tannins act as a defense against pathogens, phytic acids reduce the risk of various chronic illnesses, and sterols contribute to lowering cholesterol levels.

This review highlights the origin of sorghum, its role in global agriculture, growing conditions, grain composition, and functional properties of specific grain components, as well as its potential in the development of new food products and applications in human nutrition.

Keywords: Climate Change, Adaptability, Chemical Composition, Functional Food