

Causes and consequences of selenium deficiency in small ruminants

Uzroci i posljedice nedostatka selena u malih preživača

Josip NOVOSELEC (✉), Željka KLIR ŠALAVARDIĆ, Danijela SAMAC, Zvonimir STEINER, Mario RONTA, Mislav ĐIDARA, Zvonko ANTUNOVIĆ

Faculty of agrotechnical sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek, Croatia

✉ Corresponding author: jnovoselec@fazos.hr

Received: May 10, 2024; Accepted: November 1, 2024

ABSTRACT

When feeding livestock, particular attention should be paid to the production, and preparation of fodder, i.e. the meals, while at the same time determining the nutritional requirements in the various production periods. Selenium is an important microelement in animal nutrition. Together with vitamin E, it contributes to the normal functioning of many physical activities, such as the prevention and repair of oxidative cell damage, contributes to the growth and development of young animals, improves reproductive performance, milk quality, improves rumen fermentation and digestibility, and is involved in the body's immune defense. Selenium deficiency in ruminants also results in poor conversion, white muscle disease, and poor wool production and can lead to infertility in sheep. The most important factors that lead to insufficient levels of selenium in animals are fodder production on acidic basalt/granite soils and sandy soils, annual rainfall over 450 mm, predominantly clover pastures, heavy and long-term application of artificial fertilizers, especially fertilizers of sulfur-fortified with superphosphate or gypsum. Selenium deficiency in animals can also be observed in conditions of heat stress, a return to extensive and organic animal husbandry, nutrition imbalance, the presence of elements that are antagonistic to selenium in the ration, and consumption of poor-quality water. The concentration of selenium in the soil, and plant feed in the blood and tissues of animals is a good link to determine its status. The aim of this review is therefore to summarize in what conditions and due to what factors selenium deficiency occurs in animals, what its consequences are.

Keywords: selenium, absence, nutrition, sheep, goats

SAŽETAK

Posebnu pozornost kod hranidbe stoka treba posvetiti proizvodnji, pripremi krmiva, odnosno obroka, uz istovremeno utvrđivanje hranidbenih potreba u različitim proizvodnim razdobljima. Selen je važan mikro element u hranidbi životinja. Zajedno s vitaminom E pridonosi normalnom funkcioniranju mnogih tjelesnih aktivnosti, poput sprječavanja i popravljivanja oksidacijskog oštećenja stanica, pridonosi rastu i razvoju mladunčadi, poboljšanju plodnosti, kvalitete mlijeka, poboljšanju buražne fermentacije i probavljivosti te je uključen u imunološku obranu organizma. Nedostatak selena u preživača, također rezultira slabijom konverzijom, bolesti bijelih mišića, slabijom proizvodnjom vune te može dovesti do neplodnosti u ovaca. Najvažniji čimbenici koji dovode do nedostatne razine selena u životinja su: proizvodnja krmiva na kiselim bazaltnim/granitnim tlima i pjeskovitim tlima, godišnja količina oborina preko 450 mm, dominantno djetelinski pašnjaci, obilna i dugotrajna primjena umjetnih gnojiva, osobito sumpornih obogaćenih sa superfosfatom ili gipsom. Nedostatak selena u životinja može se primijetiti i u uvjetima toplinskog stresa, povratku ekstenzivnom i ekološkom stočarstvu, disbalansu obroka, prisustva elemenata koji su antagonisti selena u obroku i konzumaciji vode loše kvalitete. Koncentracija selena u tlu, biljnim krmivima te u krvi i tkivima životinja je dobra veza za utvrđivanje njegovog statusa. Stoga je cilj ovog preglednog istraživanja utvrditi u kojim uvjetima i koji čimbenici pridonose nedostatku selena u životinja, kakve su posljedice.

Ključne riječi: selen, nedostatak, hranidba, ovce, koze

DETAILED ABSTRACT

When feeding livestock, particular attention should be paid to the production, and preparation of fodder, i.e. the meals, while at the same time determining the nutritional requirements in the various production periods. Selenium is an important microelement in animal nutrition. Together with vitamin E, it contributes to the normal functioning of many physical activities, such as the prevention and repair of oxidative cell damage, contributes to the growth and development of young animals, improves fertility, improves rumen fermentation and digestibility, and is involved in the body's immune defense. Selenium deficiency in ruminants also results in poor conversion, white muscle disease, poor wool production and can lead to infertility in sheep. Certain geographic areas of the world are predisposed to selenium or vitamin E deficiency due to the distribution of annual rainfall. Namely, vitamin E concentrations in green crops drop rapidly in drought conditions, while at the same time, a large amount of green mass (forage) can lead to insufficient levels of selenium in it. The most important factors that lead to insufficient levels of selenium in animals are fodder production on acidic basalt/granite soils and sandy soils, annual rainfall over 450 mm, predominantly clover pastures, heavy and long-term application of artificial fertilizers, especially fertilizers of sulfur-fortified with superphosphate or gypsum. A combination of some or all of the above factors creates the conditions for selenium deficiency in feedstuffs and consequently in animals fed with these feedstuffs. Selenium deficiency in animals can also be observed in conditions of heat stress, a return to extensive and organic animal husbandry, nutrition imbalance, the presence of elements that are antagonistic to selenium in the ration, and consumption of poor-quality water. One of the consequences of the above conditions and causes is white muscle disease (stiff gait, muscle tremors, diarrhea, aspiration pneumonia), which is observed in young lambs born to ewes fed mainly selenium-deficient wheat during pregnancy. Some grains used in animal nutrition may be more susceptible to insufficient selenium concentrations depending on the area in which they are grown. The most common symptoms of selenium deficiency in affected small ruminants are white muscle disease (WMD), poor conversion, reduced wool production in young lambs, infertility in sheep, and placental retention. Selenium is also an integral part of more than 30 selenoproteins that participate in the antioxidant and immunocompetent defense response of the organism. Selenium has a positive effect on the reproductive capacity of female and male animals and improves the quality and composition of sheep's and goat's milk. Also, in the research was found that the digestibility of dry matter, organic matter, crude proteins, neutral detergent fibers, acid detergent fibers, ether extract, crude fibers and starch in the rumen of sheep and goats was improved by selenium supplementation. In addition, an increase in the concentration of volatile fatty acids, the molar proportion of propionate and a simultaneous decrease in pH, $\text{NH}_3\text{-N}$, and the ratio of acetate to propionate were observed in animals with selenium supplementation. However, due to the similarity of selenium deficiency symptoms to the symptoms of other diseases (arthritis, hoof damage, spinal abscesses, diarrhea, bacterial and viral infections of the gastrointestinal tract), selenium deficiency must be analytically confirmed as the cause of the diseases mentioned before treatment to correct the deficiency is administered, as excessive doses of selenium can lead to poisoning. The concentration of selenium in the soil, in plants, in animal feed, and in the blood and tissue of animals is a good indicator for determining selenium status. The aim of this review is therefore to determine under what conditions and due to what factors selenium deficiency occurs in animals, what its consequences are, and to analyze what procedures we can use to reduce or eliminate the resulting health and economic conditions.

UVOD

Selen je snažan imunomodulatorni nemetalni mikro element važan u hranidbi životinja. Zajedno s vitaminom E pridonosi normalnom funkcioniranju mnogih tjelesnih aktivnosti, poput sprječavanja i popravljivanja oksidacijskog oštećenja stanica, pridonosi rastu i razvoju mladunčadi, poboljšanju plodnosti, poboljšanju fermentacije u buragu i probavljivosti te je uključen u imunološku obranu organizma. Nedostatak selena u malih preživača, također rezultira slabijom konverzijom, bijelim mišićima, slabijom proizvodnjom vune te može dovesti do neplodnosti u ovaca. Nedostane vrijednosti selena u životinja moramo potvrditi analitički kao uzrok navedenih poremećaja i bolesti, prije bilo kakvog tretmana za njegovo uklanjanje jer prekomjerne doze selena mogu izazvati trovanje. Određena geografska područja na svijetu imaju predispoziciju nedostatka selena ili vitamina E zbog količine oborina. Naime, koncentracije vitamina E u zelenim usjevima brzo padaju u uvjetima suše, dok istodobno velika količina zelene mase (krme) može dovesti do nedostatnih razina selena u njoj. Najvažniji čimbenici koji dovode do nedostatne razine selena u ovaca su: kisela bazaltna/granitna tla i pjeskovita tla, godišnja količina oborina preko 450 mm, dominantno djetelinski pašnjaci, obilata i dugotrajna primjena umjetnih gnojiva, osobito sumporna obogaćena s superfosfatom ili gipsom. Kombinacija nekih ili svih navedenih čimbenika stvara uvjete za nedostatak selena u ovaca. Nedostatak selena može se primijetiti i u određenim drugim okolnostima. U trave koja je rasla na mineralnim tlima koncentracija selena bila je 1,5 puta veća u odnosu na travu rasla na organskim tlima (Chalabis-Mazurek i sur., 2014). Elementarni selen i precipitirani metalni selenoidi nisu raspoloživi za usvajanje od biljaka (Chalabis-Mazurek i sur., 2014). Biljke najučinkovitije usvajaju selen iz tla kada se nalazi u obliku selenita ili selenata, odnosno selenometionina (Se Met) (Rayman, 2004). Jedna od posljedica navedenih stanja je bolest bijelih mišića (eng. White muscle disease - WMD) primijećena u mlade janjadi rođene od ovaca koje su tijekom graviditeta uglavnom hranjene pšenicom. Neke žitarice mogu biti podložnije nedostatnim koncentracijama selena ovisno o području na kojem se uzgajaju. Najčešći

i najvjerojatniji simptomi nedostatka selena u oboljelih ovaca su bolest bijelih mišića (eng. White muscle disease - WMD), loša konverzija, smanjena proizvodnja vune u mlade janjadi i neplodnost ovaca (Suttle, 2010). Bolest bijelih mišića također, poznata kao „subakutna enzooska mišićna distrofija" ili bolest „ukočenog janjeta" pojavljuje do dobi 3 mjeseca, ali kongenitalna odgođena bolest može se pojaviti prije i nakon tog vremena. Oboljela janjad pati od drhtanja mišića i može hodati ukočeno ili savijenim leđima. Također, u tržim oblicima oboljela janjad može se roditi mrtva ili uginuti ubrzo nakon rođenja, možda neće moći sisati ili slijediti ovcu te obično umire unutar nekoliko dana od prvih simptoma bolesti. Nedostatak selena kod janjadi može se javiti u obliku proljeva, slabe konverzije i reakcije na odbice. Dodatak selena u hrani (koncentrirana krmiva) ne daje uvijek pozitivan odgovor na odbice, slabu konverziju ili porast tjelesne mase u mladunčadi malih preživača. Prema istraživanju Chalabis-Mazurek i sur. (2014) niska razina selena u krvnom serumu janjadi rezultat je niske razine selena u krvi njihovih majki ovaca. Neplodnost ovaca zbog nedostatka selena zabilježena je u Novom Zelandu, uglavnom zbog uginuća embrija oko 35-tog dana nakon začeca. Također, u regijama gdje je utvrđena bolest bijelih mišića utvrđen je veći broj suhih - neplodnih ovaca, što za sobom povlači značajne ekonomske štete uzgajivačima. Postoji nekoliko stanja i bolesti čiji simptomi nalikuju ili se miješaju s nedostatkom selena kao što su: hromost (arthritis, oštećeni papak, apces na kralješnici i dr.), miopatije kod odbica (pašnja na strništu, suha krmiva), slaba konverzija (loša krmiva, endoparaziti, eperitroozoonoza, upala pluća, kokcidioza i krastavost usta. Dodatak selena u koncentriranim obrocima ovaca i krava (Hefnawy i sur., 2007) tijekom graviditeta i laktacije rezultira značajnim porastom koncentracije selena u kolostrumu i mlijeku koji štiti novorođenu janjad i telad od poremećaja i bolesti povezanih s nedostatkom selena. Selen u obliku selenovih amino kiselina, selenometionina i selenocisteina se apsorbira mehanizmom aktivnog aminokiselinskog transporta i biodostupniji je u odnosu na selenit i selenat. Aktivna apsorpcija selena u crijevima u slučaju selenometionina i selenocisteina kreće se između 90-95 % (Lee i sur., 2007). U preživača relativna apsorpcija

je mnogo niža i varira između 29 i 50 % zbog mikrobne redukcije selena u slenoide i elementarni selen, oblike koji nisu biodostupni. U mnogobrojnim istraživanjima (Hall i sur., 2012; Antunović i sur., 2013; Faixova i sur., 2016; Novoselec i sur., 2015; Novoselec i sur., 2022) utvrđeno je da preživači učinkovitije iskorištavanju organski oblik selena u hrani u odnosu na anorganski.

NEDOSTATAK SELENA U MALIH PREŽIVAČA TIJEKOM TOPLINSKOG STRESA

Nedostatne koncentracije selena u životinja nastaju kada je tlo siromašno selenom, odnosno kada ima visoke razine drugih minerala koji su u natjecateljskom odnosu s njime za usvajanje od biljaka (Tortora – Perez i Hefnawy 2010). Koncentracije selena niže od 0,5 mg/kg u tlu ili niže od 0,1 ng/kg u bilju se smatraju nedostatnim (Ramirez i sur., 2004). U istraživanju Ramirez i sur. (2021a) utvrđena je jasna korelacija između koncentracije selena u tlu, biljkama i životinjskim tkivima. Prisutnost kalcija, sumpora, bakra i arsena u tlu odnosno u krmivima te polinezasićenih masnih kiselina i nitrita može smanjiti apsorpciju selena u tankom crijevu (Combs i Combs 1986). Iako se nedostatak selena može primijetiti u svih vrsta životinja, mali preživači (ovce i koze) su najosjetljiviji (Mehdi i Dufasne, 2016). Posljedica je to degenerativnih promjena na srčanom mišićima janjadi i jaradi odnosno mišićne distrofije u odraslih ovaca i koza (Ramirez i sur., 2010b). Toplinski stres kao posljedica sveprisutnog globalnog zatopljenja ima štetne posljedice na zdravlje i produktivnost stoke te postaje jedan od važnijih problema u stočarstvu diljem svijeta. Preživači, pogotovo mali, koji dosta vremena provedu pasući na otvorenim pašnjacima vrlo su osjetljivi na toplinski stres zbog svog brzog rasta, brzog metabolizma, visoke razine proizvodnje i osjetljivosti na temperaturu (Zheng i sur., 2022). Toplinski stres ugrožava uspješan učinkovit uzgoj životinja na način da smanjuje osobitosti rasta, zdravlja probavnog sustava, fiziologiju reprodukcije, te izaziva oštećenje stanica. Također, toplinski stres kao posljedica globalnog zagrijavanja utječe na hranidbu, odnosno unos hrane, antioksidacijski sustav, funkciju mitohondrija, ekspresiju bjelančevine toplinskog šoka, remeti

homeostazu slobodnih radikala u tijelu, pomjera korištenja bjelančevina, masti i energije što naknadno utječe na proizvodnost, reprodukciju i zdravlje životinja. Naime, kod toplinskog stresa u životinja i njihovog molekularnog odgovora javlja se: smanjen unos hrane, rastu energetske potrebe, a hipotalamus istovremeno inhibira unos hrane pojačanom regulacijom ekspresije leptina, adiponektina i njihovih receptora (Bernabucci i sur., 2009). Toplinski stres može izazvati histološka i morfološka oštećenja mitohondrija (Lewandowska i sur., 2006), degeneraciju masti i bjelančevina (Mujahid i sur., 2007), i aktivaciju puta apoptoze (stanične smrti) otpuštanjem citokroma C (Du i sur., 2008) koji pojačava učinak toplinskog stresa na tijelo životinje. Prekomjerna proizvodnja slobodnih radikala i reaktivnih vrsta kisika (ROS) u uvjetima toplinskog stresa oštećuje tjelesne bjelančevine (Stadtman i sur., 2010), lipide (Rubbo i sur., 1994), polisaharide (Kaur i sur., 1994) i deoksiribonukleinsku kiselinu (LeDoux i sur., 1999), koji zatim iniciraju tijelo u održavanju koncentracije reaktivnih vrsta kisika mobilizacijom endogenih antioksidansa (Kumar i sur., 2011) i pojačavanjem aktivnosti antioksidativnih enzima (Bernabucci i sur., 2010). Ekspresija bjelančevina toplinskog stresa je popravni mehanizam stanice kao odgovor na stres koji može spriječiti gubitak normalne funkcije bjelančevina izazvane interakcijom denaturiranih bjelančevina sa susjednim bjelančevinama. Selen se u prirodi i organizmima javlja u organskom i anorganskom obliku: u tlu (0,1–0,7 mg/kg), biljkama (0,02–0,40 mg/kg) (Hambuckers i sur., 2010), životinjskim krmivima (0,03–0,34 mg/kg) (Tinggi, 2003) vodi (općenito ≤ 10 mg/L) (Mehdi i sur., 2013), izraku ($1–10$ ng/m³), (Wen i Charignan, 2007). Glavni anorganski oblici selena uključuju selenit (SeO₃²⁻), selenat (SeO₄²⁻), selenid (Se₂⁻) i Se (Graham, 1991). Organski oblici uključuju selenometionin (SeMet), selenocistein (SeCys) i hidroksi-4-metilselenomaslačna kiselina, nova vrsta organskog Se s višom bioraspoloživosti. Apsorpcija selena u preživača se uglavnom odvija u dvanajsterniku i slijepom crijevu (cekumu) i mnogo je niža u odnosu na monogastrične životinje. Bjelančevine u hrani, vitamin E i A mogu poboljšati apsorpciju selena, a hrana bogata ugljikohidratima ili nitratima, sulfatima, kalcijem, arsenom, vitaminom C, živom, i vodikovim

cijanidom utječe na slabiju apsorpciju (Zheng i sur., 2021). U životinja selen je pohranjen u različitim unutarnjim organima i tkivima u obliku selenometionina: jetri 30 %, mišićima 30 %, bubrežima 15 %, plazma 10 % i drugim organima 15 % (Mistry i sur., 2012). U istraživanjima je utvrđeno da selen može stimulirati proizvodnju antitijela, povećati proizvodnju neutrofilnih kemokina (Sordillo, 2013), prevenirati pojavu raka (Koyama i sur., 2013) i kardiovaskularnih bolesti (Fairweather-Tait i sur., 2011) te poboljšati reprodukciju životinja (Suttle, 2009). Biološke funkcije selen obavlja posredstvom selen bjelančevina koje sadrži aminokiselinu selenocistein (SeCys) glavni strukturni element selenovih bjelančevina kao glutation peroksidaze, tireoredoksin reduktaze i dejodinaza (Hoffmann, 2007). Do sada je prema istraživanjima identificirano 30 seleno bjelančevina u 25 gena sisavaca, a svi imaju ključnu ulogu u biološkim funkcijama kao antioksidansi, sintezi hormona štitaste žlijezde, reprodukciji i sintezi deoksiribonukleinske kiseline (Mehdi i sur., 2013).

PROIZVODNI POKAZATELJI I NEDOSTATAK SELENA

Nedostatak selena značajno utječe na učinkovitost proizvodnje i zdravlje životinja, s visokom stopom mortaliteta mladunčadi kao posljedice degenerativnih lezija srčanog mišića (Asín i sur., 2021). Grace i Knowles (2002) utvrdili su manji porast janjadi kako se smanjila koncentracija selena u krvi. Novoselec i sur. (2015) utvrdili su da dodatak selena u hrani janjadi ima limitirajući učinak na rast i razvoj janjadi u slučaju kada ne postoji značajan nedostatak selena u malih preživača. Porastom učestalosti i intenziteta ekstremnih vremenskih prilika primijećen je trend globalnog rasta temperature. Toplinski stres može značajno utjecati na kvalitetu mesa, mlijeka, jaja, te metabolizam i zdravlje životinja (Henry i sur., 2012), a može dovesti i do smrtnih ishoda (Lacetera, 2019) uzrokujući značajne ekonomske gubitke uzgajivačima. Smanjena stopa rast uglavnom je posljedica nedostatka energije zbog smanjenog uzimanja hrane ili konzumacije hrane slabije nutritivne vrijednosti i regulacije tjelesne temperature (Zhenh i sur., 2022). Toplinski stres negativno

utječe na konzumaciju hrane, stopu prirasta i kvalitetu životinjskih proizvoda u preživača i nepreživača (Chauhan i sur., 2014; Renaudeau i sur., 2012). U istraživanjima je utvrđeno da dodatak selena u hrani može značajno umanjiti negativne utjecaje visoke okolišne temperature na proizvodne pokazatelje životinja na način da poboljšava konverziju hrane regulacijom metabolizma ugljikohidrata lipida i bjelančevina (Stapleton, 2000), može poboljšati antioksidativni status, umanjiti oksidativni stres i upalni odgovor organizma čime se poboljšava rast i razvoj. Također, selen može poboljšati sposobnost stoke da reguliraju svoju tjelesnu temperaturu, odnosno dodatak selena u hrani značajno inhibira rast rektalne temperature u ovaca (Alhidary i sur., 2012). Chauhan i sur. (2020) su utvrdili da davanjem selena u hrani ovaca koje su izložene toplinskom stresu povećava njihovu proizvodnost smanjenjem lipidne oksidacije u njihovom mesu što se povezuje s porastom koncentracije selena u mišićima (Amer i sur., 2019). U istraživanjima je utvrđeno da su koncentracije željeza, cinka i selena u mesu u značajnoj korelaciji sa njegovom sposobnošću oksidacije (Kelman i sur., 2014), a selen je poznat kao čimbenik koji poboljšava zdravlje životinja i kvalitetu mesa. Yang i sur. (2012) navode da boja mesa ovisi o sadržaju mioglobina čija je koncentracija niža nakon oksidacije u uvjetima toplinskog stresa. U istraživanjima Bernabucci i sur. (2015) utvrđeno je da toplinski stres značajno smanjuje kvalitetu mlijeka što se uglavnom reflektira na nižem sadržaju bjelančevina, masti i laktoze. U ljeti količina bjelančevina u mlijeku padne za oko 6 % u odnosu na ostale sezone (Bernabucci i sur., 2015). Također, tijekom ljetne sezone nizak je i sadržaj mliječne masti, a toplinski stres tijekom sušnog razdoblja smanjuje proizvodnju laktoze u narednim laktacijama (Fabris i sur., 2019). U istraživanjima Zhang i sur. (2020) i Gong i sur. (2014) utvrđeno je da selen može učinkovito umanjiti oksidacijski stres i upale u mliječnim krava te na taj način smanjiti morbiditet, poboljšati zdravlje, i sintezu bjelančevina mlijeka (Zhang i sur., 2020). Wei i sur., (2012) su utvrdili da dodatak selena od 0,3 mg/kg suhe tvari može potaknuti buražnu fermentaciju, probavljivost sirovih bjelančevina, neutralnih deterđentnih vlakana (NDV), kiselih deterđentnih vlakana (KDV) u mliječnim

krava u sredini laktacije. Alimohamady i sur. (2013) su u janjadi u dobi od 4 do 5 mjeseci hranjen sa dodatkom selena utvrdili bolju probavljivost suhe tvari, organske tvari, sirovih bjelančevina, NDV i KDV.

UTJECAJ DODATKA SELENA NA KVALITETU MLIJEKA

Domaće životinje, posebno mali preživači su pod utjecajem vanjskih okolišnih ili unutarnjih čimbenika koji mogu stimulirati proizvodnju štetnih staničnih tvari, kao što su reaktivne kisikove vrste (ROS) (Jia i sur., 2022). Poznato je da svi procesi na kraju trudnoće i početku laktacije u preživača dovode tijelo u stanje metaboličkog stresa i izuzetno su kritični za gravidne životinje (Gomaa i sur., 2021). Oksidativni stres ženki može utjecati na rast fetusa, razvoj vimena, prinos kolostruma i mlijeka te metabolizam masti s negativnim posljedicama na fetus i novorođenče (Barcelos i sur., 2023). Dodatak selena u hranidbi malih preživača može utjecati na omjer zasićenih i nezasićenih masnih kiselina u mlijeku, s tendencijom povećanja sadržaja korisnih nezasićenih masnih kiselina, poput omega-3 i omega-6, masnih kiselina, koje imaju brojne zdravstvene prednosti. Dodavanje selena u obroke malih preživača može potaknuti povećanje sadržaja konjugirane linolne kiseline u mlijeku, što ga čini još korisnijim za ljudsku prehranu jer je poznata po poznata po svojim antikancerogenim i antioksidativnim svojstvima. Selen djeluje putem selenoproteina kao poznatih antioksidanata u obrani stanica. Selenoproteini štite nezasićene masne kiseline, osobito linolnu kiselinu važnu komponentu mliječne masti od peroksidacije (Ling i sur., 2017). Oksidacija masti u mlijeku može rezultirati neugodnim mirisom i okusom. Selen smanjuje ovu pojavu, poboljšavajući organoleptička svojstva mlijeka. Selen također doprinosi povećanju koncentracije određenih vitamina i minerala, uključujući vitamin E, koji djeluje sinergijski s antioksidativnim svojstvima selena. U istraživanju Pulida i sur. (2019) na ovcama koje su hranili s α -tokoferolom (1000 IU/dan) i natrijevim selenitom (0,4 mg/dan) povećao se udio dugolančanih masnih kiselina dok su koncentracije kratkolančanih i srednjelančanih masnih kiselina smanjile u mlijeku u usporedbi s skupini

bez dodatka tokoferola i selena. Slično, Mitsiopoulou i sur. (2021) dodali su organski Se (0,1 mg Se-kvasca/kg) i vitamin E (60 mg/kg) u obroke koji sadrže ulje sjemenki sezama i utvrdili povećan udio dugolančanih masnih kiselina, nezasićenih masnih kiselina i srednjelančanih masnih kiselina u mlijeku koza u usporedbi sa skupinom koja nije imala dodatak selena i vitamina E. Dodatak antioksidanata Se i vitamina E u hrani poboljšava količinu mlijeka preživača, a time ima i pozitivan učinak na organizam životinja koje ga konzumiraju. U istraživanju Barcelos i sur. (2023) utvrđeno je da su koze koje su konzumirale hranu s dodatkom selena imale nižu koncentraciju ukupnog suhog ekstrakta ($P = 0.04$) u odnosu na koze koje su konzumirale kontrolnu hranu. Međutim, nije utvrđen utjecaj dodatka selena u hrani na količinu mlijeka, masti, bjelančevina, laktozu, odmašćeni suhi ekstrakt kao i broj somatskih stanica u kozjem mlijeku ($P > 0,05$). Suprotno, Tufarelli i Laudadio (2011) u istraživanju na kozama koje su imale dodatak selena i vitamina E u hrani utvrdili veću proizvodnju mlijeka ($P < 0,05$), te prinose i postotke masti ($P < 0,01$) i bjelančevina ($P < 0,05$). Broj somatskih stanica bio je značajno niži u koza hranjenih sa Se i vitaminom E u usporedbi s kontrolnom skupinom ($P < 0,05$). Također, značajne ($P < 0,05$) razlike autori su primijetili i u svojstvima sirenja mlijeka. Ove značajke su posebno važne u proizvodnji mliječnih proizvoda poput sira i jogurta, gdje veća količina bjelančevina poboljšava teksturu i nutritivnu vrijednost proizvoda.

UTJECAJ DODATKA SELENA NA FIZIOLOGIJU REPRODUKCIJE

U istraživanjima provedenim na Novom Zelandu oko 20-50 % ovaca neplodno je ako im se ne daje dodatni selen prije sezone parenja. Visoki mortalitet embrija u vrijeme implementacije pripisuje se manjku selena, a njegov dodatak značajno smanjuje pojavu endometritisa i cističnih jajnika (Harrison i sur., 1984). Također, poboljšana je vitalnost janjadi od ovaca koje su tijekom gravidnosti imale nekakav dodatak selena (Kott i sur., 1983). Beckett i Arthur, (2005) su utvrdili visoku koncentraciju selena uglavnom povezanu s koncentracijom GPx4 selenoenzima.

U slučaju nedostatka GPx4 javlja se smanjenu plodnost u životinja i ljudi, kao posljedica malog broja spermija i različitih abnormalnosti (Beckett i Arthur, 2005). Specifična uloga Se u fiziologiji reprodukcije uključuje razvoj sjemenih tubula, rast tkiva testisa, u procesu spermatogeneze, steroidogeneze te u sintezi i lučenju reproduktivnih hormona poput folikularno stimulirajućeg hormona (FSH) i luteinizirajućeg hormona (LH) (Vaswani i Kumar, 2023). Toplinski stres je glavni čimbenik koji utječe na reproduksijske i proizvodne osobitosti u ženskih sisavaca u ljetnoj sezoni. Bhusari i sur. (2008) su utvrdili da akutni stres povećava oksidacijski stres i razinu ROS u miševa, dovodi do oštećenja sperme, kod kratkotrajnog izlaganja temperaturi od 42 °C tijekom 15 minuta. U istraživanjima Akbarinejad i sur. (2017) je utvrđeno da toplinski stres može izazvati abnormalnu atreziju folikula jajnika, umanjiti lučenje steroidnih hormona jajnika i voditi prema neplodnosti ženske jedinke. Toplinski stres inhibira proliferaciju granuloznih stanica jajnika i inducira njihovu apoptozu, koja je usko povezana s njihovom disfunkcijom u raznih vrsta životinja (Wang i sur., 2019). Zahvaljujući svojoj antioksidacijskoj funkciji, Se je naširoko korišten za regulaciju metaboličkih poremećaja i reproduksijske fiziološke aktivnosti. Natrij selenit može značajno umanjiti pad vitalnosti stanica u uvjetima kroničnog toplinskog stresa, povećati bjelančevinastu ekspresiju gena povezanih s apoptozom stanica i markera aktivacije stresa endoplazmatskog retikuluma te inhibirati smanjenje ekspresije estradiola u granuloznih stanica koje su izložene toplinskom stresu (Xiong i sur. 2020). U muških životinja toplinski stres utječe na promjenu strukture i mase testisa, smanjuje broj spermatozoida i kvalitetu sperme općenito te može uzrokovati abnormalnu morfologiju spermija i fragmentaciju deoksiribonukleinska kiseline (Abdulrashid i sur., 2016). U nekoliko istraživanja na jarcima utvrđeno je da dodatak selena poboljšava volumen i kvalitetu sjemena (Mojapelo i sur., 2021, Amin i sur., 2022) te je povećao razine luteinizirajućeg hormona i testosterona (Mojapelo i Lehloenya, 2019) u odnosu na životinje koje nisu imale dodatak selena. Stoga, uporaba antioksidansa može ublažiti negativan utjecaj toplinskog stresa na mušku plodnost. Uloga selena

u reproduksijskom traku muških životinja neovisna je o drugim fiziološkim procesima u tijelu. Selen pozitivno djeluje na reproduksijske organe, sudjeluje u biosintezi testosterona stvaranju i razvoju sperme (Badgar i Prokisch, 2020). Selen je komponenta najmanje 25 selenoproteina, uključujući glutation peroksidazu i druge funkcionalne i strukturne bjelančevina testisa, epididimisa i spermija (Bano i sur., 2018).

UTJECAJ DODATKA SELENA NA UPALE I IMUNO-KOMPETENCIJSKI ODGOVOR ORGANIZMA

Različiti stresori potiskuju komponente imunskog sustava te povećavaju osjetljivost životinja na bolesti i izazivajući različite upalne reakcije (Bagath, i sur., 2019). Negativan utjecaj stresa na imunski sustav životinja posredovan je staničnim i humoralnim imunitetom. Lučenje kortizola kod akutnog stresa stimulira imunski sustava, dok je kroničnog stresa njegovo lučenje povezano s imunosupresivnom ulogom (Ju i sur., 2014). U istraživanjima (Meeker i sur., 1985) utvrđeno je da selen koriste gotovo sva tkiva i stanice uključujući i one odgovorne za urođeni i stečeni imunološki odgovor. Prema istraživanju Beck, (2007) i Hoffmann i sur. (2007) povećanjem unosa selena, poboljšana je stanični i humoralni odgovor organizma. U uvjetima akutnog stresa i drugih patoloških stanja dolazi do poremećaja gastrointestinalne fiziologije. Toplinski stres oštećuje uske spojeve crijeva (eng. tight junctions) odnosno dovodi do propusnosti epitela crijevne barijere i ulaska bakterijskih endotoksina koji izazivaju lokalne upale i imunološki odgovor organizma (Furness i sur., 2013). Također, u istraživanjima Chu i sur. (2004) je utvrđeno da oksidacijski stres dovodi do nakupljana ROS i reaktivnih vrsta dušika koji su važni predisponirajući čimbenici mnogih bolesti želučano crijevnog sustava kao što su upalne bolesti, crijevna fibroza i čireva, kolitisa i na kraju raka debelog crijeva. Maseko i sur. (2014) su utvrdili da organski selen iz gljiva plemenitih pečurki (*Agaricus bisporus*) obogaćenih sa selenom povećava aktivnost glutation peroksidaze (GSH-Px) koja obnavlja transport epitelnih iona i funkciju crijevne barijere te na taj način štiti želučano crijevni trakt štakora od oksidacijskog stresa uzrokovanog toplinom.

Dugotrajno izlaganje životinja toplinskim stresom može izazvati kronično oštećenje jetre, povećane razine reaktivnih vrsta kisika i promijeniti unutra staničnu signalizaciju (Zhang i sur., 2003). Konzumacijom hrane obogaćene sa selenom smanjuje se oksidacijsko oštećenje jetre što je povezano sa sposobnošću selena da podigne razinu enzimskih markera antioksidacijskog stanja jetre te gena povezanih sa stresom jetre (Malyar i sur., 2021). Toplinski stres značajno povećava aktivnost aspartat transaminaze, alkalne fosfataze i laktat dehidrogenaze u tkivima jetre; također povećava sadržaj malondialdehida, a značajno smanjuje razinu ukupnih bjelančevina u serumu, superoksid dismutaze (SOD) i ukupnu otpornost organizma. Dodatak probiotika obogaćenih Se može usporiti oštećenje jetre izazvanog toplinskim stresom, inhibicijom oksidacije jetre, upala i nekroza u kruženju visoke temperature. Također, selen snižava razinu jetrenih proupalnih citokina i faktora kappa-B jezgre (NF-kB) (Liu i sur., 2015). Nedostatne koncentracije selena utječu na razinu IgG-a i funkciju T-limfocita u krvi, što dovodi do veće pojavnosti težih oblika bolesti u zahvaćenoj populaciji (Mehdi i Dufresne, 2016). Također, prema istraživanju Latorre i sur. (2014) aktivnost i životni vijek neutrofila, makrofaga i limfocita se smanjuje u uvjetima nedostatne koncentracije selena. Kod životinja izloženih toplinskom stresu prekomjerno dahtanje mijenja pH vrijednost krvi i na kraju dovodi do respiratorne alkaloze što dovodi do slabljenja normalne aktivnosti hormona i imunološke obrane organizma. Selen iz hrane suplementirane s organskim ili anorganskim dodatkom selena poboljšava imunosni odgovor organizma, potiče imunološki sustav na proizvodnju enzima povezanih s upalom na uništavanje patogena (Cebra i sur., 2003). U životinja pod utjecajem oksidacijskog stresa kao posljedica toplinskog stresa prvi znakovi su prekomjerna ekspresija lipopolisaharida ili ROS u tijelu, što prepoznaju TL receptori (urođeni bjelančevinasti receptori) na površini imunološke stanice poput monocita i makrofaga (Koch i sur., 2019). Jezgreni faktor kappa (NF-kB) izaziva ekspresiju upalnih gena i proizvodi interleukin (IL) 1, IL-4, IL-6, faktor nekroze tumora-a (TNF-a), i drugi citokine, koji induciraju imunološki odgovor organizma. Nadalje, visoka okolišna temperatura izaziva u stoke

aktivaciju hipotalamusno-hipofizno-nadbubrežne veze koja dovodi do oslobađanja i aktivacije glukokortikoida da inhibiraju sintezu i otpuštanje citokina i remete ravnotežu između proupalnih i protuupalnih čimbenika. Navedeni pokazatelji smanjuju imunitet stoke, uzrokuju upale i smanjuju unos hrane i stopu rasta, što dovodi do ekonomskih gubitaka u stočarstvu (Bagath i sur., 2019). U brojnim istraživanjima je utvrđeno da u ovaca, više hranidbene razine selena mogu povećati titar antitijela crvenih krvnih stanica. Također, porastom razine selena u hrani u životinja izloženih toplinskom stresu dolazi do postupnog smanjivanja heterofila, monocita, i eozinofila, te dolazi do postupnog rasta ukupnih proteina i globulina (Abd El-Hack i sur., 2017); tretman ovaca s 5 mg selena može smanjiti temperaturu rektuma za 0,3 °C, smanjiti gubitak mase za 4,5 % te dovesti do porasta eozinofila (Alhidary i sur., 2012). Injekciona primjena antioksidanasa koji sadrže selen, bakar, cink, mangan te vitamine A i E prije i nakon odbića teladi u ljetnoj sezoni povećava koncentraciju imunoglobulina u njihovoj krvi (IgG, IgM, i IgA) i ukupnih bijelih krvnih stanica u serumu (neutrofil i monociti) (Bordignon i sur., 2019). U istraživanju Novoselec i sur. (2022) utvrđen je pozitivan utjecao dodatka selena, osobito organskog oblika na metabolizam i hematološke pokazatelje janjadi odnosno na rast koncentracije leukocita, prosječnu masu hemoglobina u eritrocita (MCH), prosječnu koncentraciju hemoglobina u eritrocita (MCHC).

UTJECAJ DODATKA SELENA NA METABOLIČKI PROFIL I ANTIOKSIDATIVNI STATUS

Neravnoteža između proizvodnje oksida u tijelu i antioksidacijskog obrambenog sustava je glavi uzrok oksidacijskog stresa (Calabrese i sur., 2012). Posljedica je biokemijska i fiziološka reakcija koja uključuje prekomjerno stvaranje slobodnih radikala koji ulaze u interakciju sa bjelančevinama, ugljikohidratima, lipidima i stanicama te uništavaju njihovu strukturu i funkciju (Yang i sur., 2010) te dolazi do oksidacijskog stresa. Slobodni radikali podrazumijevaju lipidne perokside, slobodne radikale lipida, reaktivne vrste kisika i dušika. U normalnim uvjetima ROS je važan sekundarni glasnik koji utječe

na unutar stanični prijenos signala i redoks regulaciju (Imai i Nakagawa, 2003) te postoji ravnoteža između njegove proizvodnje i antioksidacijske obrane organizma. Istraživanjima je utvrđeno da dodatak organskog selena može smanjiti razinu proizvodnje ROS i na taj način umanjiti oksidacijski stres (Novoselec i sur., 2018; Tang i sur., 2019). Glavno djelovanje selena vezano je za selen protein kao GSH-Px, tireoredoksin, tireoredoskin reduktazu i selenoprotein P. Selen je građevna komponenta glutation peroksidaze koja zajedno s vitaminom E sudjeluje u uklanjanju slobodnih radikala i zaštiti stanica od oksidacijskog stresa (Surai, 2022). U preživača je tri do četiri puta veća iskoristivost organskog selena u odnosu na anorganski od strane buražnih mikroorganizama u sintezi antioksidacijskih enzima kroz redoks reakcije. Sun i sur. (2019) su utvrdili da je dodavanjem 0,3 mg/kg organskog selena u hranu Holstein krava u sredini laktacije aktivnost GSH-Px ostaje stabilna tijekom toplinskog stresa u usporedbi sa skupinom koja je dobila anorganski selen kod kojih je aktivnost GSH-Px postupno pala. Chauhan i sur. (2014) su u istraživanjima na ovcama koje su hranili s dodatkom 100 IU/kg suhe hrane vitamina E i 1,20 mg Se/kg suhe hrane utvrdili značajno smanjenje koncentracije metabolita kisika ($114 : 85$ units/dL; $P < 0.005$), povećan fiziološki antioksidativni potencijal ($3688 : 3985$ mmol/L; $P = 0,070$) i 30 % smanjenje indeksa toplinskog stresa (reaktivni metaboliti kisika RMK/ biološki antioksidativni potencijal BAP) te trend smanjenja te bjelančevinastih proizvoda napredne oksidacije ($19,4 : 18,8$ mol/L). Tireoid dejodinaza kao seleno enzim ima važnu ulogu u aktivaciji neaktivnog oblika tiroidnog hormona T4 (tiroksina) u aktivni oblik T3 (trijodotironin). S obzirom na to da imaju važnu ulogu u metabolizmu porast koncentracije tiroksina i trijodotironina dovodi na rasta i razvoja organizma (Kucharzewski i sur., 2002; Antunović i sur., 2009; Novoselec i sur., 2017; 2019). Hormoni štitaste žlijezde utječu na metabolizam lipida u jetri i tkivima (Sinha i sur., 2018) stoga, dodatak selena može utjecati na koncentracije triglicerida, kolesterola, lipoproteina vrlo niske gustoće (eng. very-low-density lipoprotein - VLDL), lipoproteina niske gustoće (eng. Low - density lipoprotein - LDL) i lipoproteina visoke gustoće (eng. high-density lipoprotein - HDL) u krvi. Nedostatak selena dovodi do oštećenja tkiva koje izaziva rast enzima

aspartataminotransferaze (AST) i kreatinin kinaze (CK) u janjadi oboljelih od bolesti bijelih mišića, a rođenih od ovaca s manjkom selena. U istraživanju Novoselec i sur. (2022) utvrđena je značajno niža koncentracija kolesterola i LDL kolesterola u janjadi čija je hrana imala dodatak anorganskog odnosno organskog oblika selena u usporedbi s kontrolnom janjadi bez selena. Novoselec i sur. (2018) su utvrdili značajno ($P < 0,05$) smanjenje aktivnosti AST i gama glutamil transferaze (GGT) u krvi janjadi hranjenih krmnom smjesom s dodatkom organskog i anorganski dodatak selena. Aktivnost enzima i hormona štitnjače u krvi ovaca i janjadi može se uzeti kao pouzdan kriterij u procjeni njihove opskrbljenosti selenom (Antunović i sur., 2009; Novoselec i sur., 2017). U istraživanju Novoselec i sur. (2017) utvrđeno je da organski i anorganski selen dovode do značajnog ($P < 0,05$; $P < 0,01$) povećanja koncentracije ureje kod ovaca u laktaciji, a istovremeno značajnog smanjenja kolesterola, LDL i triglicerida. Također, u navedenom istraživanju autori su utvrdili da dodatak selena u hrani ovaca utječe na značajan rast koncentracije selena u krvi visoko gravidnih i ovaca u laktaciji, dok u ovaca u laktaciji na značajan rast natrija, klora i željeza u njihovoj krvi. Organski dodatak selena u predmetnom istraživanju utjecao je na značajan porast koncentracije T3 u ovaca u laktaciji. Selen učinkovito prelazi kroz placentu u fetus, kolostrum i mlijeko te poboljšava imunitet i rast novorođenčadi (Mehdi i Dufrasne, 2016; Novoselec i sur., 2022). U životinja i ljudi smanjuje se koncentracija selena u majčinoj plazmi kako graviditet napreduje i plod raste (Hefnawy i sur., 2007). Nedostatak selena povezan je s povećanim rizikom od zaostajanja posteljice i razvoja mastitisa. U istraživanju Rajab i sur. (2023) utvrđeno je da dodatak selena u janjadi utjecao na pad koncentracije željeza i bakra u njihovoj plazmi isto kao i istraživanju Aliarabi i sur. (2019). U brojnim istraživanjima utvrđeno je da utjecaj nutritivnih antioksidansa u hrani na biokemijske pokazatelje u krvi ovisi o količini selena u obroku, sadržaju masti u hrani, reprodukcijском stanju, te obliku dodanog selena (Novoselec i sur., 2019; 2022). Autori u spomenutim istraživanjima su utvrdili značajno višu razinu kolesterola i triglicerida te nižu razinu albumina, ureje i glukoze u ovaca koje nisu imale dodatak selena u obroku slično kao i istraživanju Junipera i sur. (2008).

UTJECAJ DODATKA SELENA NA ŽELUČANO CRIJEVNE MIKROORGANIZME

U više istraživanja dokazana je veza između domaćina i želučano crijevnih mikroorganizama uključenih u metabolizam hranjivih tvari sisavaca, homeostazu imunskog sustava, i otpornost na patogene (Hooper i sur., 2012). Krave u laktaciji u uvjetima toplinskog stresa značajno povećavaju proizvodnju mliječne kiseline, uz istodobno smanjenje proizvodnje ukupnih hlapljivih kiselina, octene kiseline, pad pH vrijednosti buraga, koji inhibira aktivnost celulolitičkih bakterija. Sve to dovodi do relativnog povećanja *Streptococca*, *Enterobacteriaceae*, *Ruminobacter*, *Treponema* i *Bacteroidaceae* u buragu (Zhao i sur., 2019). Dodatak selena u hrani pospješuje rast mikroorganizama buraga i buražnu fermentaciju, a može i značajno povećati proizvodnju propionske kiseline i ukupnih hlapljivih kiselina. U istraživanjima je također, utvrđeno povećanje relativne brojnosti bakterija buraga, gljivica, celulozni i amilolitičkih bakterija (kao što su *Ruminococcus* i *Fibrobacter*) nakon dodavanja natrij selenata u hranu krava u laktaciji kao i aktivnosti celobijaze, karboksimetil celuloze, ksilanaze i proteaze (Zhang i sur., 2020). Dodatak seleniziranog kvasa u hranu ovaca povećavao relativnu brojnost buražne flore povezane s metabolizmom ugljikohidrata i bjelančevina (Zheng i sur., 2022). Ipak potrebna su daljna istraživanja u kojima bi se razjasnila uloga suplementacije stočne hrane selenom te njegova interakcija sa želučano crijevnim mikroorganizmima.

UTJECAJ DODATKA SELENA NA BURAZNU FERMENTACIJU I PROBAVLJIVOST

Hranidba, dob, reprodukcijsko stanje i zdravlje životinje utječu na strukturu zajednice mikroorganizama u buragu. Patogeni organizmi u buragu negativno utječu na procese fermentacije uzrokuju gubitak energije i hranjivih tvari iz unesenih krmiva u preživača. Zbog zabrane upotrebe antibiotika tijekom posljednjeg desetljeća, stočarska industrija usredotočena je na povećanje opskrbe buraga hranjivim travarima potrebnih mikroorganizama kroz prirodne dodatke u cilju poboljšanja aktivnosti korisne mikroflore u buragu. Selen (Se) je mineral u tragovima koji

se obično koristi kao dodatak koji regulira metabolizam životinja (Hendawy i sur., 2022). Međutim, jasno razumijevanje učinaka selena na sastav mikroorganizama buraga i fermentaciju buraga nije još u potpunosti razjašnjeno. Neadekvatna fermentacija uzrokuje značajan gubitak energije i bjelančevina iz hrane uz istovremenu prekomjernu proizvodnju amonijaka i metana, koji doprinose globalnom zatopljenju (Doyle i sur., 2019). U koza koje su hranjene hranom bogatom žitaricama tijekom 50 dana utvrđen je smanjeni pH buraga, disfunkcionalan sastav buražnih bakterija te značajno povećanje razine lipopolisaharida u buragu i krvi (Zhang i sur., 2018). Povećana razina lipopolisaharida u krvi dovodi do upala, povećane proizvodnje pro upalnih citokina (interleukin 1b), interleukina-6, faktora nekroze tumora i matriks metaloproteinaza-2, mijena hod životinja zbog oštećenja laminarnog tkiva i općenito narušava zdravlje životinja i (Ali i Kunugi, 2021). Dnevne potrebe za selenom mogu se zadovoljiti organskim selenom iz hrane ili dodacima selena u anorganskim oblikom. Bioraspoloživost organskog selena veća je od one iz anorganskog izvora (Novoselec i sur., 2018; 2022). Distribucija selena ravnomjerna je po cijelom tijelu uključujući i majčino mlijeko, a uklanjanje je jednostavno putem daha, znoja; većinom kroz crijevno urinarni trakt ionima trimetilselena, selenošećerima, Selenometilselenoneinom. U istraživanjima gdje je selen korišten kao gnojivo za trave, zatim gdje je davan životinjama oralno, te umješavan u koncentrirani dio obroka, dakle različite vrste hranidbenog selena, povećale su se ukupne koncentracije hlapljivih masnih kiselina, molarni udjeli propionata u tekućini buraga mliječnih krava (Zhang i sur., 2020), Holstein bikova (Liu i sur., 2020), Holstein teladi (Zhang i sur., 2020), koza (Shahid i sur., 2020) ovaca (Cui i sur., 2021) i janjadi (Miltko i sur., 2016) što je vidljivo u tablici 1. U ovca i janjadi hranjenih s obrocima s dodatkom organskog ili anorganskog selena utvrđeno je povećanje proizvodnje buražnog acetata, izobutirata i izovalerata u usporedbi s kontrolnom skupinom (Zhu i sur., 2017). Također, u ovaca križanaca koje su hranjene obrocima pročišćene hrane uz oralni dodatak natrijevog selenita u dozi 1 mg na tjedan u buražnoj tekućini utvrđeni su veći molarni udjeli octene i izovalerijanske kiseline u odnosu

na netretirane ovce (Hidiroglou i Lessard 1976). Također, u tretiranih ovaca smanjio se molarni udio butirata u odnosu na kontrolne ovce. U brojnim istraživanjima je utvrđeno da dodatak selena u hrani smanjuje odnos acetata u odnosu na propionat u bruražnom soku različitih preživača (Shi i sur., 2011; Xun i sur., 2012; Cui i sur., 2021; Zhang i sur., 2020). Dodatak selena u obrocima koza (Abbasi i sur., 2018; Shahid i sur., 2020), ovaca (Xun i sur., 2012; Zhu i sur., 2017) i janjadi (Naziroglu i sur., 2007) je smanjio pH i koncentraciju $\text{NH}_3\text{-N}$ u buragu. Također, u istraživanjima utvrđena je poboljšana probavljivost suhe tvari, organske tvari, sirovih bjelančevina, NDV, KDV (Alimohamady i sur., 2013; Samo i sur., 2018; Ibrahim, 2016) ekstrakta etera (Ibrahim 2016; Taheri i sur., 2018), sirovih vlakana (Samo i sur., 2018), škroba (Du i sur., 2019), u buragu ovaca i koza hranjenih obrocima s dodatkom selena. Primjenom kvantitativne tehnike lančane reakcije polimerazom (eng. polymerase chain reaction - PCR) utvrđeno je da selen u obrocima preživača povećava ukupne bakterije, ukupan sadržaj anaerobnih gljiva, ukupne protozoe, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminobacter amylophilus* (Zhang i sur., 2020; Du i sur., 2019; Liu i sur., 2019) i ukupnih mikroorganizama koji proizvode metan (metanogeni) (Zhang i sur., 2020). Međutim postoje i oprečna istraživanja gdje je ukupna koncentracija metanogena smanjena s dodatkom selena u obrocima preživača (Liu i sur., 2019). Natrijev selenit u različitim koncentracijama povećava aktivnost ksilanaze, proteaze i α amilaze, pektinaze celobijaze i karboksimetil-celulaza (Zhang i sur., 2020) u buraznoj tekućini. U istraživanju Faixova i sur. (2016) utvrđeno je povećao je aktivnost gamaglutamil transferaza, glutamat dehidrogenaza i aspartat aminotransferaza u tekućini buraga janjadi koje su hranjene ekstraktom *Se* kvasca. Također Faixová i sur. (2007) su u selen tretiranih ovaca u tekućini buraga utvrdili porast aktivnosti alkalne fosfataze i glutamat dehidrogenaze, dok su Shahid i sur. (2020) u selen tretiranih koza u epitelu buraga utvrdili porast aktivnosti GSH-Px. U brojnim i istraživanjima probavljivosti te metaboličkim općenito, možemo zaključiti da hranidbeni dodatak selena u srednjoj dozi

od 0,3 mg/kg suhe tvari može poboljšati metabolizam dušika i probavljivost hranjivih tvari (suhe tvari, organske tvari, sirovih bjelančevina, ekstrakta etera, kiselih i neutralnih deterdžentnih vlakana), koji pozitivno utječu na rast i produktivnost krava, ovaca i koza. Ipak, u nekoliko istraživanja i organski i anorganski selen nije imao utjecaj na probavljivost (Kumar i sur., 2009; Shinde i sur., 2008; Qin i sur., 2011). Dodatak selena u obroke može promijeniti i izazvati snažnu metaboličku aktivnost crijevnih mikroorganizama u poticanju razgradnje neapsorbiranih ugljikohidrata i bjelančevina što rezultira povećanjem koncentracije hlapljivih masnih kiselina, molarnog udjela propionata, uz istovremeno smanjenje pH, $\text{NH}_3\text{-N}$, omjera acetata prema propionatu, u buragu preživača.

UTVRĐIVANJE NEDOSTATKA SELENA U PREŽIVAČA

Nedostatak selena u malih preživača dijagnosticira se biokemijskom analizom krvi, post mortem analizama i pozitivnim odgovorom na dodatak ili tretman selenom u sumnjivih životinja. Kongenitalna ili odgođena bolest bijelih mišića uglavnom se utvrđuje post mortem analizama, a za točnu dijagnozu potrebno je napraviti analize mišića i unutarnjih organa prvenstveno jetre, bubrega i srca. Slaba konverzija i šugavost ovaca kao posljedica nedostatka selena dijagnosticira se pažljivim pregledom stada u cilju isključivanja drugih uzročnika bolesti, a može se utvrditi i biokemijskom analizom krvi, odnosno određivanjem koncentracije selena ili i aktivnosti GSH-Px i SOD (Antunović i sur., 2008; 2013; Novoselec i sur., 2018; 2022). Koncentracija selena u tkivima je rezervoar za elementarni selen s najstabilnijim koncentracijom u jetri, stoga je primjerenija za određivanje statusa selena. U ovaca najveća koncentracija selena je utvrđena u bubrezima, a niža u jetri gušterači, srcu i skeletnim mišićima (Combs i Combs, 1986). U novorođene janjadi najveća koncentracija je utvrđena u jetri, bubrezima i mišićima (Cristaldi i sur., 2005) uglavnom zbog različitih potreba organa, fiziološkog stanja i dobi (Hefnawy, 2010). Količina i kvaliteta vune u ovaca najbolji je pokazatelj nedostatka selena (Laglanus i sur., 1991).

Table 1. Effect of supplementation of different selenium sources on small ruminants

Novoselec et al.: Uzroci i posljedice nedostatka selena u malih preživača...

Tablica 1. Učinak dodatka različitih izvora selena na male preživače

Se Source	VFA	A:P	pH	NH ₃ -N	Digestibility	M.O.	Enzymes	DP	Source	
Izvor Se	HMK	A:P	pH	NH ₃ -N	Probavljivost	Microbiota	Enzimi	DP	Izvor	
Sheep / Ovce	SS i SY	+	0	0	-	+	ND/NU	ND/NU	ND/NU	Zhu et al. (2017)
Sheep / Ovce	SeY i SeNps	+	-	-	-	+	ND/NU	ND/NU	+	Xun et al. (2012)
Sheep / Ovce	SY	ND/NU	ND/NU	ND/NU	ND/NU	+	ND/NU	ND/NU	ND/NU	Pan et al. (2021)
Pregnant and lactating ewes	SS	ND	ND	ND	ND	+	ND	ND	ND	Ibrahim, (2016)
Gravidne i ovce u laktaciji		NU	NU	NU	NU	+	NU	NU	NU	
Lambs	SS, SeY i SeNps	ND	ND	ND	ND	+	ND	ND	ND	Ibrahim and Mohamed (2018)
Janjad		NU	NU	NU	NU	+	NU	NU	NU	
Lambs	Se i SeY	ND	ND	ND	ND	ND	+	ND	ND	Mihalikova et al. (2005)
Janjad		NU	NU	NU	NU	NU	+	NU	NU	
Lambs	SS	+	ND	ND	ND	ND	+	ND	ND	Naziroglu et al. (1997)
Janjad		NU	NU	NU	NU	NU	+	NU	NU	
Male lambs	SSA i SeY	+	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Miltko i sur. (2016)
Muška janjad		NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	
Male lambs	SeY	ND	ND	ND	ND	ND	ND	+	ND	Faixová et al. (2007)
Muška janjad		NU	NU	NU	NU	NU	NU	+	NU	
Male lambs	SS	0	0	0	0	+	0	ND/NU	ND	Razo-Rodriguez et al. (2013)
Muška janjad		NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	
Rams	SeY	+	-	ND	+	ND	±	ND	ND	Cui et al. (2021)
Ovnovi		NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	
Rams	SS	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Hidiroglou et al. (1976)
Ovnovi		NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	
Lactating goats	SS i SeMet	ND	ND	ND	ND	+	ND	ND	ND	Taheri et al. (2018)
Koze u laktaciji		NU	NU	NU	NU	+	NU	NU	NU	
Cashmire goats	SS	ND	ND	ND	ND	0	ND	ND	ND	Qin et al. (2011)
Kašmirska koza		NU	NU	NU	NU	0	NU	NU	NU	
Goats	SeY	+	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Shahid et al. (2020)
Koza		NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	
Male goats	SeY	+	0	-	ND/NU	ND/NU	ND/NU	ND/NU	ND/NU	Abbasi et al. (2018)
Muška jarad		NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	

Se- Selenium / Selen; VFA- Voliate fatty acids / HMK- Hlapljive masne kiseline; A:P Acetate to propionate ratio / A:P odnos acetata prema propionatu; M.O. - Microorganisms / M.O. - mikroorganizmi; PD- Purine derivatives / DP-derivati purina; + Increase / Rast; - Decrease / Pad; 0 - No effect / Bez učinka; ND - Not determined / NU - nije utvrđeno; SS - Sodium Selenite / natrij selenit; SSA - Sodium selenate / natrij selenat; SeY- Se yeast / selenizirani kvasac; SeNps - Se nanoparticles / selenove nano čestice; SeMet - Selenomethionine / selenmetionin; CSS - Coated sodium selenite / obloženi natrijev selenit

ZAKLJUČAK

Selen je snažan imunomodulatorni mikroelement koji ima važnu ulogu u optimalnoj hranidbi stoke u različitim proizvodnim stanjima i okolišnim uvjetima proizvodnje. Kao dodatak u hrani životinja ima pozitivan utjecaj na proizvodne pokazatelje, reprodukciju, imunosni i metabolički odgovor organizma u stresnim stanjima. Također, važan je u održavanju oksidacijske ravnoteže organizma, poboljšanju reproduktivnih sposobnosti, kvalitete mlijeka, ravnoteže buražno crijevnih mikroorganizama, poboljšanju fermentacije i probavljivosti u životinja te smanjenju emisije metana, odnosno pozitivnom utjecaju životinja na stakleničke plinove. Međutim, potreba su daljnja istraživanja u razumijevanje učinaka i mehanizma djelovanja selena na navedene pokazatelje osobito u preživača.

NAPOMENA

Rezultati su financirani sredstvima HRZZ projekta (IP-2022-10-3803) "Biofortifikacija krmiva selenom u proizvodnji malih preživača" - akronim SeRumBiofort

LITERATURA

- Abbasi, B., Malhi, M., Siyal, F. A., Arain, M.A., Bhutto, Z.A., Soomro, S., Rui, R. (2018) Influence of dietary selenium yeast on fermentation pattern mucosal growth and glutathione peroxidase (gsh-px) activity in colon of goat. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 7 (6), 253-259. DOI: <https://doi.org/10.15406/jdvar.2018.07.00222>
- Abd El-Hack, M. E., Mahrose, K., Arif, M., Chaudhry, M. T., Saadeldin, I. M., Saeed, M., Soomro, R.N., Abbasi, I.H.R., Rehman, Z. U. (2017) Alleviating the environmental heat burden on laying hens by feeding on diets enriched with certain antioxidants (vitamin E and selenium) individually or combined. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 10708-10717. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8690-5>
- Abdulrashid, M., Juniper, D. T. (2016) Effect of dietary protein, selenium and temperature humidity index on reproductive traits of male rabbits in a tropical environment. *Journal of Animal Production Research*, 28 (2), 61-75.
- Akbarinejad, V., Gharagozlou, F., Vojgani, M. (2017) Temporal effect of maternal heat stress during gestation on the fertility and anti-Müllerian hormone concentration of offspring in bovine. *Theriogenology*, 99, 69-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.05.018>
- Ali, A. M., Kunugi, H. (2021) The effects of royal jelly acid, 10-hydroxy-trans-2-decenoic acid, on neuroinflammation and oxidative stress in astrocytes stimulated with lipopolysaccharide and hydrogen peroxide. *Immuno*, 1 (3), 212-222. DOI: <https://doi.org/10.3390/immuno1030013>
- Alhidary, I. A., Shini, S., Al Jassim, R. A. M., Gaughan, J. B. (2012) Effect of various doses of injected selenium on performance and physiological responses of sheep to heat load. *Journal of Animal Science*, 90 (9), 2988-2994. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4908>
- Aliarabi, H., Fadayifar, A., Alimohamady, R., Dezfoulian, A. H. (2019) The effect of maternal supplementation of zinc, selenium, and cobalt as slow-release ruminal bolus in late pregnancy on some blood metabolites and performance of ewes and their lambs. *Biological trace element research*, 187, 403-410. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1409-8>
- Alimohamady, R., Aliarabi, H., Bahari, A., Dezfoulian, A. H. (2013) Influence of different amounts and sources of selenium supplementation on performance, some blood parameters, and nutrient digestibility in lambs. *Biological trace element research*, 154, 45-54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-013-9698-4>
- Amer, S. A., Omar, A. E., Abd El-Hack, M. E. (2019) Effects of selenium- and chromium-enriched diets on growth performance, lipid profile, and mineral concentration in different tissues of growing rabbits. *Biological Trace Element Research*, 187, 92-99. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1356-4>
- Amin, A. B., Audu, R., Ibrahim, A. A., Dalha, M., Aleem, M. T., Abdullahi, A. I. (2022) Selenium supplementation efficacy in small ruminants: A review. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 12 (4), 633-645.
- Antunović, Z., Kopic, B., Šperanda, M., Steiner, Z. i Novoselec, J. (2008) Utjecaj dodatka selena na proizvodna svojstva janjadi i koncentraciju hormona štitnjače. *Krmiva*, 50 (4), 191-196.
- Antunović, Z., Marić, I., Matanić, I., Senčić, Đ., Šperanda, M., Novoselec, J. (2009) Aktivnost enzima i hormona štitnjače u krvi za procjenu opskrbljenosti ovaca selenom. *Krmiva*, 51 (3), 131-138.
- Antunović, Z., Klapac, T., Čavar, S., Šperanda, M., Pavić, V., Novoselec, J., Klir, Ž. (2013) Status of selenium and correlation with blood GSH-Px in goats and their kids in organic breeding fed with different levels of organic selenium. *Archiv für Tierzucht*, 56 (1), 169-177. DOI: <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-016>
- Asin, J., Ramírez, G. A., Navarro, M. A., Nyaoke, A. C., Henderson, E. E., Mendonça, F. S., Molin, J., Uzal, F. A. (2021) Nutritional wasting disorders in sheep. *Animals*, 11(2), 501. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11020501>
- Badgar, K., Prokisch, J. (2020) The effects of selenium nanoparticles (SeNPs) on ruminant. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 60 (4), 1-8. DOI: <https://orcid.org/0000-0002-0375-0531>
- Bagath, M., Krishnan, G., Devaraj, C., Rashamol, V. P., Pragna, P., Lees, A. M., Sejian, V. (2019) The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in veterinary science*, 126, 94-102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.08.011>
- Bano, I., Malhi, M., Soomro, S., Kandhro, S., Awais, M., Baloch, S., Sajjad, H. (2018) Effect of dietary selenium supplementation on morphology and antioxidant status in testes of goat. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 14, 53-61. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2018.14.08>
- Barcelos, B., Gomes, V., Vidal, A. M. C., de Freitas Júnior, J. E., Alba, H. D. R., Netto, A. S. (2023) Milk yield, composition and immune status of dairy goats and respective goat kids fed diets with selenium and vitamin E supplementation. *Small Ruminant Research*, 225, 106999. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.106999>
- Beck, M. A. (2007) Selenium and vitamin E status: impact on viral pathogenicity. *The Journal of Nutrition*, 137 (5), 1338-1340. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/137.5.1338>
- Beckett, G. J., and Arthur, J. R. (2005) Selenium and endocrine systems. *Journal of Endocrinology*, 184 (3), 455-465. DOI: <https://doi.org/10.1677/joe.1.05971>

- Bernabucci, U., Basirico, L., Morera, P., Lacetera, N., Ronchi, B., Nardone, A. (2009) Heat Shock Modulates Adipo-Kines Secretion in 3T3-L1 Adipocytes. *Journal of Molecular Endocrinology*, 42, 139–47. DOI: <https://doi.org/10.1677/JME-08-0068>
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Ronchi, B., Nardone, A. (2010) Metabolic and Hormonal Acclimation to Heat Stress in Domesticated Ruminants. *Animal*, 4, 1167–83. DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
- Bernabucci, U., Basirico, L., Morera, P., Dipasquale, D., Vitali, A., Cappelli, F. P., Calamari, L. (2015) Effect of summer season on milk protein fractions in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 98 (3), 1815–1827. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8788>
- Bhusari, S., Hearne, L. B., Spiers, D. E., Lamberson, W. R., Antoniou, E. (2008) Transcriptional profiling of mouse liver in response to chronic heat stress. *Journal of Thermal Biology*, 33 (3), 157–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2008.01.001>
- Bordignon, R., Volpato, A., Glombowsky, P., Souza, C. F., Baldissera, M. D., Secco, R., Da Silva, A. S. (2019) Nutraceutical effect of vitamins and minerals on performance and immune and antioxidant systems in dairy calves during the nutritional transition period in summer. *Journal of thermal biology*, 84, 451–459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.034>
- Calabrese, V., Cornelius, C., Leso, V., Trovato-Salinaro, A., Ventimiglia, B., Cavallaro, M., Scuto, M., Rizza, S., Zanolì, L., Neri, S., Castellino, P. (2012) Oxidative stress, glutathione status, sirtuin and cellular stress response in type 2 diabetes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, 1822 (5), 729–736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2011.12.003>
- Cebra, C. K., Heidel, J. R., Crisman, R. O., Stang, B. V. (2003) The relationship between endogenous cortisol, blood micronutrients, and neutrophil function in postparturient Holstein cows. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 17 (6), 902–907. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2003.tb02531.x>
- Chałabis-Mazurek, A., Wałkuska, G. (2014) Environmental conditions causing selenium deficiency in sheep. *Journal of Elementology*, 19 (1), 55–64. DOI: <https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.1.585>
- Chauhan, S. S., Celi, P., Leury, B. J., Clarke, I. J., Dunshea, F. R. (2014) Dietary antioxidants at supranutritional doses improve oxidative status and reduce the negative effects of heat stress in sheep. *Journal of Animal Science*, 92 (8), 3364–3374. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7714>
- Chauhan, R., Awasthi, S., Indoliya, Y., Chauhan, A. S., Mishra, S., Agrawal, L., Srivastava, S., Dwivedi, S., Singh, P.C., Mallick, S., Chauhan, P.S., Pande, V., Chokrabarty, D., Tripathi, R. D. (2020) Transcriptome and proteome analyses reveal selenium mediated amelioration of arsenic toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of hazardous materials*, 390, 122122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122122>
- Chu, F. F., Esworthy, R. S., Doroshov, J. H. (2004) Role of Se-dependent glutathione peroxidases in gastrointestinal inflammation and cancer. *Free Radical Biology and Medicine*, 36 (12), 1481–1495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2004.04.010>
- Combs, G. F., Combs, S. B. (1986) Chemical aspects of selenium. The role of selenium in nutrition. Academic Press. New York, Cap.11, 463–525.
- Cristaldi, L. A., McDowell, L. R., Buergelt, C. D., Davis, P. A., Wilkinson, N. S., Martin, F. G. (2005) Tolerance of inorganic selenium in wether sheep. *Small Ruminant Research*, 56 (1-3), 205–213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.06.001>
- Cui, X., Wang, Z., Tan, Y., Chang, S., Zheng, H., Wang, H., Hou, F. (2021) Selenium yeast dietary supplement affects rumen bacterial population dynamics and fermentation parameters of tibetan sheep (*Ovis aries*) in alpine meadow. *Frontiers in Microbiology*, 12, 663945. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.663945>
- Doyle, N., Mbandlwa, P., Kelly, W. J., Attwood, G., Li, Y., Ross, R. P., Stanton, C., Leahy, S. (2019) Use of lactic acid bacteria to reduce methane production in ruminants, a critical review. *Frontiers in Microbiology*, 10, 465542. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02207>
- Du, J., Di, H. S., Guo, L., Li, Z. H., Wang, G. L. (2008) Hyperthermia causes bovine mammary epithelial cell death by a mitochondrial-induced pathway. *Journal of Thermal Biology*, 33 (1), 37–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2007.06.002>
- Du, H. S., Wang, C., Wu, Z. Z., Zhang, G. W., Liu, Q., Guo, G., Zhang, S. L. (2019) Effects of rumen-protected folic acid and rumen-protected sodium selenite supplementation on lactation performance, nutrient digestion, ruminal fermentation and blood metabolites in dairy cows. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (13), 5826–5833. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9853>
- Fabris, T. F., Laporta, J., Skibieli, A. L., Corra, F. N., Senn, B. D., Wohlgemuth, S. E., Dahl, G. E. (2019) Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 5647–5656. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15721>
- Fairweather-Tait, S. J., Bao, Y., Broadley, M. R., Collings, R., Ford, D., Hesketh, J. E., Hurst, R. (2011) Selenium in human health and disease. *Antioxidants & redox signaling*, 14 (7), 1337–1383. DOI: <https://doi.org/10.1089/ars.2010.3275>
- Faixova, Z., Faix, Š., Leng, L., Vaczi, P., Makova, Z., Szaboova, R. (2007) Haematological, blood and rumen chemistry changes in lambs following supplementation with Se-yeast. *Acta Veterinaria Brno*, 76(1), 3–8. DOI: <https://doi.org/10.2754/avb200776010003>
- Faixová, Z., Piešová, E., Maková, Z., Čobanová, K., Faix, Š. (2016) Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on ruminal enzyme activities and blood chemistry in sheep. *Acta Veterinaria Brno*, 85 (2), 185–194. DOI: <https://doi.org/10.2754/avb201685020185>
- Furness, J. B., Rivera, L. R., Cho, H. J., Bravo, D. M., Callaghan, B. (2013) The gut as a sensory organ. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 10 (12), 729–740. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2013.180>
- Gong, J., Ni, L., Wang, D., Shi, B., Yan, S. (2014) Effect of dietary organic selenium on milk selenium concentration and antioxidant and immune status in midlactation dairy cows. *Livestock Science*, 170, 84–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.10.003>
- Goma, A. A., and Phillips, C. J. C. (2021) The Impact of Anthropogenic Climate Change on Egyptian Livestock Production. *Animals*, 11, 3127. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11113127>
- Grace, N. D., Knowles, S. O. (2002) A reference curve using blood selenium concentration to diagnose selenium deficiency and predict growth responses in lambs. *New Zealand Veterinary Journal*, 50 (4), 163–165. DOI: <https://doi.org/10.1080/00480169.2002.36303>
- Graham, T. W. (1991) Trace element deficiencies in cattle. *Veterinary clinics of North America: food animal practice*, 7 (1), 153–215. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30816-1](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30816-1)
- Hall, J. A., Van Saun, R. J., Bobe, G., Stewart, W. C., Vorachek, W. R., Mosher, W. D., Pirelli, G. J. (2012) Organic and inorganic selenium: I. Oral bioavailability in ewes. *Journal of Animal Science*, 90 (2), 568–576. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4075>

- Hambuckers, A., Dotreppe, O., Istasse, L. (2010) Problem of applying sodium selenate to increase selenium concentration in grassland plants in southern Belgium. *Communications in soil science and plant analysis*, 41 (11), 1283-1292.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00103621003759296>
- Harrison, J. H., Hancock, D. D., Conrad, H. R. (1984) Vitamin E and selenium for reproduction of the dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 67 (1), 123-132.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81275-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81275-8)
- Hendawy, A. O., Sugimura, S., Sato, K., Mansour, M. M., Abd El-Aziz, A. H., Samir, H., Ali, A. M. (2021) Effects of selenium supplementation on rumen microbiota, rumen fermentation, and apparent nutrient digestibility of ruminant animals: a review. *Fermentation*, 8 (1), 4.
DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8010004>
- Henry, B., Charmley, E., Eckard, R., Gaughan, J. B., Hegarty, R. (2012) Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop and Pasture Science*, 63 (3), 191-202. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP11169>
- Hefnawy, A.E., López-Arellano R., Revilla-Vázquez A., Ramírez-Bribiesca E., Tórtora-Pérez J. (2007) The relationship between fetal and maternal selenium concentrations in sheep and goats. *Small Ruminant Research*, 73,174-180.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.01.020>
- Hidiroglou, M., and Lessard, J. R. (1976) The effect of selenium or vitamin E supplementation on volatile fatty acid content of rumen liquor in sheep fed a purified diet. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 46(4), 458-463.
- Hoffmann, P. R., Saux, J. L., Hoffmann, F. W., Chang, P. S., Bollt, O., He, Q., Berry, M. J. (2007) A role for dietary selenium and selenoproteins in allergic airway inflammation. *The Journal of Immunology*, 179 (5), 3258-3267. DOI: <https://doi.org/10.4049/jimmunol.179.5.3258>
- Hooper, L. V., Littman, D. R., Macpherson, A. J. (2012) Interactions between the microbiota and the immune system. *Science*, 336 (6086), 1268-1273. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1223490>
- Ibrahim, E. M. (2016) The impact of dietary supplementation of iodine and selenium on nutrients digestibility and productive performance of ewes and their suckling lambs. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 19(2), 255-263.
DOI: <https://doi.org/10.21608/ejnf.2018.75398>
- Ibrahim, E. M., and Mohamed, M. Y. (2018) Effect of different dietary selenium sources supplementation on nutrient digestibility, productive performance and some serum biochemical indices in sheep. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 21 (1), 53-64.
- Imai, H., Nakagawa, Y. (2003) Biological significance of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase (PHGPx, GPx4) in mammalian cells. *Free Radical Biology and Medicine*, 34 (2), 145-169.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(02\)01197-8](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(02)01197-8)
- Jia, X., Li, J., Li, S., Zhao, Q., Zhang, K., Tang, C., Yang, Y., Ma, Q., Wang, J., Zhao, Z., Tang, D., He, B., Zhang, J., Qin, Y. (2022) Effects of dietary supplementation with different levels of selenium yeast on growth performance, carcass characteristics, antioxidant capacity, and meat quality of Tan sheep. *Livestock Science*, 255, 104783. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104783>
- Ju, X. H., Xu, H. J., Yong, Y. H., An, L. L., Jiao, P. R., Liao, M. (2014) Heat stress upregulation of Toll-like receptors 2/4 and acute inflammatory cytokines in peripheral blood mononuclear cell (PBMC) of Bama miniature pigs: an in vivo and in vitro study. *Animal*, 8 (9), 1462-1468. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731114001268>
- Juniper, D. T., Phipps, R. H., Givens, D. I., Jones, A. K., Green, C., Bertin, G. (2008) Tolerance of ruminant animals to high dose in-feed administration of a selenium-enriched yeast. *Journal of Animal Science*, 86 (1), 197-204.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2006-773>
- Kaur, H., Halliwell, B. (1994) Evidence for Nitric Oxide-Mediated Oxidative Damage in Chronic Inflammation: Nitrotyrosine in Serum and Synovial Fluid From Rheumatoid Patients. *FEBS Letters*, 350, 9-12. DOI: [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(94\)00722-5](https://doi.org/10.1016/0014-5793(94)00722-5)
- Kehr, S., Malinouski, M., Finney, L., Vogt, S., Labunsky, V. M., Kasaikina, M. V., Gladyshev, V. N. (2009) X-ray fluorescence microscopy reveals the role of selenium in spermatogenesis. *Journal of molecular biology*, 389 (5), 808-818.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2009.04.024>
- Kelman, K. R., Pannier, L., Pethick, D. W., Gardner, G. E. (2014) Selection for lean meat yield in lambs reduces indicators of oxidative metabolism in the longissimus muscle. *Meat Science*, 96 (2), 1058-1067. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.017>
- Koch, F., Thom, U., Albrecht, E., Weikard, R., Nolte, W., Kuhla, B., Kuehn, C. (2019) Heat stress directly impairs gut integrity and recruits distinct immune cell populations into the bovine intestine. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (21), 10333-10338. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1820130116>
- Kott, R. W., Ruttle, J. L., Southward, G. M. (1983) Effects of vitamin E and selenium injections on reproduction and preweaning lamb survival in ewes consuming diets marginally deficient in selenium. *Journal of Animal Science*, 57 (3), 553-558.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1983.573553x>
- Koyama, H. I. R. O. S. H. I., Abdulah, R., Yamazaki, C., Kameo, S. A. T. O. M. I. (2013) Selenium supplementation trials for cancer prevention and the subsequent risk of type 2 diabetes mellitus: selenium and vitamin E cancer prevention trial and after. *Nihon Eiseigaku zasshi. Japanese Journal of Hygiene*, 68 (1), 1-10.
DOI: <https://doi.org/10.1265/jjh.68.1>
- Kucharzewski, M., Braziewicz, J., Majewska, U., Gózdź, S. (2002) Concentration of selenium in the whole blood and the thyroid tissue of patients with various thyroid diseases. *Biological trace element research*, 88, 25-30. DOI: <https://doi.org/10.1385/BTER:88:1:25>
- Kumar, N., Garg, A. K., Dass, R. S. (2009) Effect of dietary supplementation of inorganic and organic selenium on intake and utilization of nutrients in lambs. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 9 (2), 253-260.
- Kumar, A., Singh, G., Kumar, B. S., Meur, S. K. (2011) Modulation of antioxidant status and lipid peroxidation in erythrocyte by dietary supplementation during heat stress in buffaloes. *Livestock Science*, 138 (1-3), 299-303.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.12.021>
- Lacetera, N. (2019) Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers*, 9(1), 26-31.
DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfy030>
- Langlands, J. P., Donald, G. E., Bowles, J. E., Smith, A. J. (1991) Subclinical selenium insufficiency. 1. Selenium status and the response in liveweight and wool production of grazing ewes supplemented with selenium. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 31(1), 25-31. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA9910025>
- Latorre, A. O., Greggi, G. F., Netto, A. S., Fukumasu, H., Balieiro, J. C., Côrrea, L. B., Zanetti, M. A. (2014) Selenium and vitamin E enriched diet increases NK cell cytotoxicity in cattle. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 34, 1141-1145.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2014001100018>
- Lee, S. H., Park, B. Y., Yeo, J. M., Lee, S. S., Lee, J. H., Ha, J. K., Kim, W. Y. (2007) Effects of different selenium sources on performance, carcass characteristics, plasma glutathione peroxidase activity and selenium deposition in finishing Hanwoo steers. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 20 (2), 229-236.
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.229>

- LeDoux, S. P., Driggers, W. J., Hollensworth, B. S., Wilson, G. L. (1999) Repair of alkylation and oxidative damage in mitochondrial DNA. *Mutation Research/DNA Repair*, 434 (3), 149-159. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8777\(99\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8777(99)00026-9)
- Lewandowska, A., Gierszewska, M., Marszałek, J., Liberek, K. (2006) Hsp78 chaperone functions in restoration of mitochondrial network following heat stress. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1763 (2), 141-151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2006.01.007>
- Ling K., Henno M., Jõudu I., Püssa T., Jaakson H., Kass M., Anton D. and Ots M. (2017) Selenium supplementation of diets of dairy cows to produce Se-enriched cheese. *International Dairy Journal*, 71, 76-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.03.004>
- Liu, Y., Liu, Q., Ye, G., Khan, A., Liu, J., Gan, F., Huang, K. (2015) Protective effects of selenium-enriched probiotics on carbon tetrachloride-induced liver fibrosis in rats. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63 (1), 242-249. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf5039184>
- Liu, Y., Wang, C., Liu, Q., Guo, G., Huo, W., Zhang, Y., Zhang, J. (2019) Effects of sodium selenite addition on ruminal fermentation, microflora and urinary excretion of purine derivatives in Holstein dairy bulls. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 103 (6), 1719-1726. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13193>
- Liu, Y. J., Zhang, Z. D., Dai, S. H., Wang, Y., Tian, X. F., Zhao, J. H., Huo, W. J. (2020) Effects of sodium selenite and coated sodium selenite addition on performance, ruminal fermentation, nutrient digestibility and hepatic gene expression related to lipid metabolism in dairy bulls. *Livestock Science*, 237, 104062. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104062>
- Malyar, R. M., Naseri, E., Li, H., Ali, I., Farid, R. A., Liu, D., Chen, X. (2021) Hepatoprotective effects of selenium-enriched probiotics supplementation on heat-stressed wistar rat through anti-inflammatory and antioxidant effects. *Biological Trace Element Research*, 199, 3445-3456. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02475-3>
- Maseko, T., Dunshea, F. R., Howell, K., Cho, H. J., Rivera, L. R., Furness, J. B., Ng, K. (2014) Selenium-enriched *Agaricus bisporus* mushroom protects against increase in gut permeability *ex vivo* and up-regulates glutathione peroxidase 1 and 2 in hyperthermally-induced oxidative stress in rats. *Nutrients*, 6 (6), 2478-2492. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu6062478>
- Meeker, H. C., Eskew, M. L., Scheuchenzuber, W., Scholz, R. W., Zarkower, A. (1985) Antioxidant effects on cell-mediated immunity. *Journal of leukocyte biology*, 38 (4), 451-458. DOI: <https://doi.org/10.1002/jlb.38.4.451>
- Mehdi, Y., Hornick, J.L., Istasse, L., Dufrasne, I. (2013) Selenium in the Environment, Metabolism and Involvement in Body Functions. *Molecules* 18, 3292-311. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules18033292>
- Mehdi, Y., Dufrasne, I. (2016) Selenium in cattle: a review. *Molecules*, 21 (4), 545. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21040545>
- Mihalíková, K., Grešáková, L., Boldižárová, K., Faix, Š., Leng, L., Kišidayová, S. (2005) The effects of organic selenium supplementation on the rumen ciliate population in sheep. *Folia microbiologica*, 50 (4), 353-356. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02931418>
- Miltko, R., Rozbicka-Wieczorek, J. A., Więsyk, E., Czuderna, M. (2016) The influence of different chemical forms of selenium added to the diet including carnosic acid, fish oil and rapeseed oil on the formation of volatile fatty acids and methane in the rumen, and fatty acid profiles in the rumen content and muscles of lambs. *Acta veterinaria*, 66 (3), 373-391. DOI: <https://doaj.org/article/997eb5c6747e4fee8425b860b43a6e1b>
- Mistry, H. D., Pipkin, F. B., Redman, C. W., Poston, L. (2012) Selenium in reproductive health. *American journal of obstetrics and gynecology*, 206 (1), 21-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2011.07.034>
- Mitsiopolou, C., Karaiskou, C., Simoni, M., Righi, F., Pappas, A.C., Sotirakoglou, K. Tsiplakou E. (2021) Influence of dietary sesame meal, vitamin E and selenium supplementation on milk production, composition, and fatty acid profile in dairy goats. *Livestock Science*, 244, 104336. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104336>
- Mojapelo, M. M., Lehloeny, K. C. (2019) Effect of selenium supplementation on attainment of puberty in Saanen male goat kids. *Theriogenology*, 138, 9-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.06.044>
- Mojapelo, M.M., van Ryssen, J.B.J. Lehloeny, K.C. (2021) Selenium supplementation reduces induced stress, enhances semen quality and reproductive hormones in Saanen bucks. *Small Ruminant Research*, 201, 106443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106443>
- Mujahid, A., Pumford, N. R., Bottje, W., Nakagawa, K., Miyazawa, T., Akiba, Y., Toyomizu, M. (2007) Mitochondrial oxidative damage in chicken skeletal muscle induced by acute heat stress. *The Journal of Poultry Science*, 44 (4), 439-445. DOI: <https://doi.org/10.2141/jpsa.44.439>
- Naziroğlu, M., Aksakal, M. (1997) Effects of vitamin E and selenium on rumen protozoa in lambs. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 21 (1), 81-90.
- Novoselec, J., Steiner, Z., Klir, Ž., Matanić, I., Antunović, Z. (2015) Influence of dietary selenium supplementation to ewes and lambs on production performance and exterior characteristics of lambs. *Krmiva*, 57 (1), 11-16.
- Novoselec, J., Šperanda, M., Klir, Ž., Mioč, B., Steiner, Z., Antunović, Z. (2018) Blood biochemical indicators and concentration of thyroid hormones in heavily pregnant and lactating ewes depending on selenium supplementation. *Acta Veterinaria Brno*, 86 (4), 353-363. DOI: <https://doi.org/10.2754/avb201786040353>
- Novoselec, J., Klir, Ž., Domačinović, M., Lončarić, Z., Antunović, Z. (2018) Biofortification of feedstuffs with microelements in animal nutrition. *Agriculture/Poljoprivreda*, 24 (1). DOI: <http://dx.doi.org/10.18047/poljo.24.1.4>
- Novoselec, J., Klir Šalavardić, Ž., Đidara, M., Novoselec, M., Vuković, R., Čavar, S., Antunović, Z. (2022) The Effect of Maternal Dietary Selenium Supplementation on Blood Antioxidant and Metabolic Status of Ewes and Their Lambs. *Antioxidants*, 11 (9), 1664. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11091664>
- Pan, Y., Wang, Y., Lou, S., Wanapat, M., Wang, Z., Zhu, W., Hou, F. (2021) Selenium supplementation improves nutrient intake and digestibility, and mitigates CH₄ emissions from sheep grazed on the mixed pasture of alfalfa and tall fescue. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(4), 611-620. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13495>
- Pulido E., Fernández M., Prieto N., Baldwin R.L., Andrés S., López S. and Giráldez F.J. (2019) Effect of milking frequency and α -tocopherol plus selenium supplementation on sheep milk lipid composition and oxidative stability. *Journal of Dairy Science*, 102, 3097-3109. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15456>
- Qin, F., Zhu, X., Zhang, W., Zhou, J., Zhang, S., Jia, Z. (2011) Effects of dietary iodine and selenium on nutrient digestibility, serum thyroid hormones, and antioxidant status of Liaoning cashmere goats. *Biological trace element research*, 143, 1480-1488. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-011-8981-5>
- Ramírez, B.J. E., Tórtora, J. L., Huerta, M., Aguirre, A., Hernández, L. M. (2001a) Diagnosis of selenium status in grazing dairy goats on the Mexican plateau. *Small Ruminant Research*, 41 (1), 81-85. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(01\)00188-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00188-2)

- Ramírez-Bribiesca, J. E., Tórtora, J. L., Hernández, L. M., Huerta, M. (2001b) Main causes of mortalities in dairy goat kids from the Mexican plateau. *Small Ruminant Research*, 41 (1), 77-80. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(01\)00191-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00191-2)
- Ramirez, B.J.E., Hernandez, C.E., Hernandez, C.L.M., Tortora, P.J.L. (2004) Effect of parenteral supplement with sodium selenite on lambs mortality and hematic values of selenium. *Agrociencia*, 38, 43-51.
- Rayman, M. P. (2004) The use of high-selenium yeast to raise selenium status: how does it measure up?. *British Journal of Nutrition*, 92 (4), 557-573. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN20041251z>
- Razo-Rodríguez, O. D., Ramírez-Bribiesca, J. E., Lopez-Arellano, R., Revilla-Vazquez, A. L., Gonzalez-Munoz, S. S., Cobos-Peralta, M. A., McDowell, L. R. (2013) Effects of dietary level of selenium and grain on digestive metabolism in lambs. *Czech Journal of Animal Science*, 58 (6), 253 -261 DOI: <https://doi.org/10.17221/6823-CJAS>
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J.L., Collier, R.J. (2012) Adaptation to Hot Climate and Strategies to Alleviate Heat Stress in Livestock Production. *Animal*, 6, 707-28. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- Rubbo, H., Radi, R., Trujillo, M., Telleri, R., Kalyanaraman, B., Barnes, S., Kirk, M., Freeman, B. A. (1994) Nitric oxide regulation of superoxide and peroxynitrite-dependent lipid peroxidation. Formation of novel nitrogen-containing oxidized lipid derivatives. *Journal of Biological Chemistry*, 269 (42), 26066-26075. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)47160-8](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)47160-8)
- Rajab W. J., Rudiansyah, M., Kadhim, M. M., Tolmasovich S.A., Prakaash A.S., Hadi L. M., Aravindhan S., Fakri M. (2023) The role of selenium on the status of mineral elements and some blood parameters of blood serum of lambs. *Archives of Razi Institute*, 78 (1), 135.
- Samo, S. P., Malhi, M., Gadahi, J., Lei, Y., Kaciwal, A. B., Soomro, S. A. (2018) Effect of organic selenium supplementation in diet on gastrointestinal tract performance and meat quality of goat. *Pakistan Journal of Zoology*, 50 (3). DOI: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2018.50.3.995.1003>
- Shahid, A. B., Malhi, M., Soomro, S. A., Shah, M. G., Kalhor, N. H., Kaka, A., Sanjrani, M. N. (2020) Influence of dietary selenium yeast supplementation on fermentation pattern, papillae morphology and antioxidant status in rumen of goat. *Pakistan Journal of Zoology*, 52 (2). DOI: <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20190205120240>
- Shi, L., Xun, W., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y., Liu, Q., Shi, L. (2011) Effect of elemental nano-selenium on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 163 (2-4), 136-142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.10.016>
- Sinha, R. A., Singh, B. K., Yen, P. M. (2018) Direct effects of thyroid hormones on hepatic lipid metabolism. *Nature Reviews Endocrinology*, 14 (5), 259-269. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrendo.2018.10>
- Sordillo LM. (2013) Selenium-Dependent Regulation of Oxidative Stress and Immunity in Periparturient Dairy Cattle. *Veterinary Medicine International*, e154045-e154053. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/154045>
- Stadtman, E. R., Levine, R. L. (2000) Protein oxidation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 899 (1), 191-208. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2000.tb06187.x>
- Stapleton, S. R. (2000) Selenium: an insulin mimetic. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 57, 1874-1879. DOI: <https://doi.org/10.1007/PL00000669>
- Sun, L. L., Gao, S. T., Wang, K., Xu, J. C., Sanz-Fernández, M. V., Baumgard, L. H., Bu, D. P. (2019) Effects of source on bioavailability of selenium, antioxidant status, and performance in lactating dairy cows during oxidative stress-inducing conditions. *Journal of Dairy Science*, 102 (1), 311-319. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14974>
- Surai, P. F. (2002) Selenium in poultry nutrition 2. Reproduction, egg and meat quality and practical applications. *World's Poultry Science Journal*, 58 (4), 431-450. DOI: <https://doi.org/10.1079/WPS20020032>
- Suttle, N.F. (2010) Selenium. In: *Mineral nutrition of Livestock*, 4th Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp. 377-425.
- Taheri, Z., Karimi, S., Mehrban, H., Moharrery, A. (2018) Supplementation of different selenium sources during early lactation of native goats and their effects on nutrient digestibility, nitrogen and energy status. *Journal of Applied Animal Research*, 46 (1), 64-68. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2016.1259625>
- Tang, J., Cao, L., Jia, G., Liu, G., Chen, X., Tian, G., Zhao, H. (2019) The protective effect of selenium from heat stress-induced porcine small intestinal epithelial cell line (IPEC-J2) injury is associated with regulation expression of selenoproteins. *British journal of nutrition*, 122 (10), 1081-1090. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114519001910>
- Tinggi U. (2003) Essentiality and Toxicity of Selenium and its Status in Australia: A Review. *Toxicol Letters*, 137, 103-10. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(02\)00384-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(02)00384-3)
- Tórtora-Pérez, J. L. and Hefnawy, A.E. (2010) The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research*, 89 (2-3), 185-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.042>
- Tufarelli, V., and Laudadio, V. (2011) Dietary supplementation with selenium and vitamin E improves milk yield, composition and rheological properties of dairy Jonica goats. *Journal of Dairy Research*, 78 (2), 144-148. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029910000907>
- Zhang, H. J., Xu, L., Drake, V. J., Xie, L., Oberley, L. W., Kregel, K. C. (2003) Heat-induced liver injury in old rats is associated with exaggerated oxidative stress and altered transcription factor activation. *The FASEB journal*, 17 (15), 2293-2295. DOI: <https://doi.org/10.1096/fj.03-0139fj>
- Zhang, R. Y., Jin, W., Feng, P. F., Liu, J. H., Mao, S. Y. (2018) High-grain diet feeding altered the composition and functions of the rumen bacterial community and caused the damage to the laminar tissues of goats. *Animal*, 12 (12), 2511-2520. DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173111800040X>
- Vaswani, S., Kumar, S. (2023) Role of selenium in ruminants health and reproduction. *Asian Journal of Research in Animal and Veterinary Sciences*, 6, 167-173.
- Zhang, Z. D., Wang, C., Du, H. S., Liu, Q., Guo, G., Huo, W. J., Zhang, S. L. (2020) Effects of sodium selenite and coated sodium selenite on lactation performance, total tract nutrient digestion and rumen fermentation in Holstein dairy cows. *animal*, 14 (10), 2091-2099. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731120000804>
- Zhao, S., Min, L., Zheng, N., Wang, J. (2019) Effect of heat stress on bacterial composition and metabolism in the rumen of lactating dairy cows. *Animals*, 9 (11), 925. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9110925>
- Zheng, Y., Xie, T., Li, S., Wang, W., Wang, Y., Cao, Z., Yang, H. (2022) Effects of selenium as a dietary source on performance, inflammation, cell damage, and reproduction of livestock induced by heat stress: A review. *Frontiers in Immunology*, 12, 820853. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.820853>

- Zhu, A., Wang, F., Feng, X., Nie, H., Li, F., Wang, J., Wang, Z. (2017) Effects of different dietary selenium supplementation on growth, selenium retention in tissues and rumen fermentation in growing Hu sheep. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 40 (4), 718-724.
- Wang, Y., Yang, C., Nahla Abdalla Hassan, E., Li, C., Yang, F., Wang, G., Li, L. (2019) HO-1 reduces heat stress-induced apoptosis in bovine granulosa cells by suppressing oxidative stress. *Aging (Albany NY)*, 11 (15), 5535. DOI: <https://doi.org/10.18632/aging.102136>
- Wei, J. Y., Wang, J., Liu, W., Zhang, K. Z., Sun, P. (2019) Short communication: Effects of different selenium supplements on rumen fermentation and apparent nutrient and selenium digestibility of mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3131-3135. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15455>
- Wen, H., and Carignan, J. (2007) Reviews on atmospheric selenium: emissions, speciation and fate. *Atmospheric environment*, 41(34), 7151-7165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.07.035>
- Xiong, Y., Yin, Q., Jin, E., Chen, H., He, S. (2020) Selenium attenuates chronic heat stress-induced apoptosis via the inhibition of endoplasmic reticulum stress in mouse granulosa cells. *Molecules*, 25 (3), 557. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25030557>
- Xun, W., Shi, L., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y., Liu, Q. (2012) Effect of high-dose nano-selenium and selenium-yeast on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Biological trace element research*, 150, 130-136. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9452-3>
- Yang, L., Tan, G. Y., Fu, Y. Q., Feng, J. H., Zhang, M. H. (2010) Effects of acute heat stress and subsequent stress removal on function of hepatic mitochondrial respiration, ROS production and lipid peroxidation in broiler chickens. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 151 (2), 204-208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.10.010>
- Yang, Y. R., Meng, F. C., Wang, P., Jiang, Y. B., Yin, Q. Q., Chang, J., Liu, J. X. (2012) Effect of organic and inorganic selenium supplementation on growth performance, meat quality and antioxidant property of broilers. *African Journal of Biotechnology*, 11 (12), 3031-3036.