

სასოფლო-სამეურნეო ცხოველებში აფლატოქსინების დეტოქსიკაციის თანამედროვე მიდგომები

ესე ჯაყელი¹; ქეთევან გოგუაძე²; ირმა ღლონტი³

¹სოფლის მეურნეობის აკადემიური დოქტორი. ტ. 593370804 sosojakeli@mail.com.

<https://orcid.org/0009-0000-9771-4576>; ²ბიოლოგიის მაგისტრი. ტ. 591414769

ketino_goguadze@mail.ru; ³ქიმიის მაგისტრი. ტ. 597857575 irmaghlonti1967@gmail.com

სსიპ ადამ ბერიძის სახელობის წიადაგის, სურსათისა და მცენარეთა ინტეგრირებული დაცვის
დიაგნოსტიკური ცენტრი „ანასელი“

აბსტრაქტი

აფლატოქსინები წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე საშიშ მიკოტოქსინს მეცხოველეობაში და იწვევენ ჰეპატოტოქსიკურ, იმუნოსუპრესიულ და კანცეროგენულ ეფექტებს. ნაშრომი წარმოადგენს თანამედროვე ლიტერატურის მიმოხილვით ანალიზს აფლატოქსინების დეტოქსიკაციის სტრატეგიების შესახებ სასოფლო-სამეურნეო ცხოველებში. განხილულია სორბენტები (ცეოლითი, HSCAS), ჰეპატოპროტექტორები, ანტიოქსიდანტები და პრობიოტიკები. ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით, მათი კომპლექსური გამოყენება ამცირებს აფლატოქსინ M_1 -ის გამოყოფას რძეში საშუალოდ 30–60%-ით, აუმჯობესებს საკვების კონვერსიას და ამცირებს ღვიძლის ფუნქციური დაზიანების მაჩვენებლებს. ინტეგრირებული მიდგომა წარმოადგენს ეფექტურ ინსტრუმენტს როგორც ცხოველთა ჯანმრთელობის დაცვისთვის, ისე სურსათის უვნებლობის უზრუნველსაყოფად.

საკვანძო სიტყვები: აფლატოქსინი B_1 , აფლატოქსინი M_1 , ცეოლითი, სორბენტები, ჰეპატოპროტექტორები, პრობიოტიკები, მეცხოველეობა

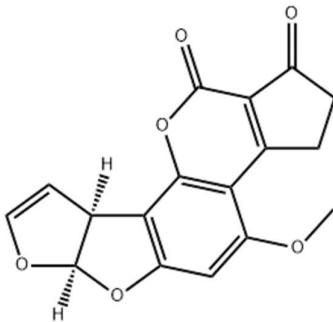
შესავალი

აფლატოქსინები წარმოადგენს მიკოტოქსინების ერთ-ერთ ყველაზე საშიშ ჯგუფს, რომლებიც სინთეზდება სოკოების *Aspergillus flavus* და *Aspergillus parasiticus* მიერ (Diaz D.E. et al. 2004). ისინი ფართოდ გვხვდება მარცვლეულში, სიმინდში, სოიაში და სხვა საკვებ ნედლეულში, განსაკუთრებით არასწორი შენახვის პირობებში (მაღალი ტენიანობა და ტემპერატურა) (<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/aflatoxins-food>, 2020).

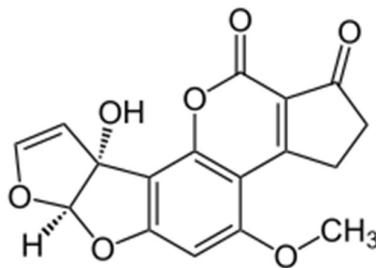
აფლატოქსინებით დაბინძურებული საკვების გამოყენება იწვევს პროდუქტიულობის შემცირებას, იმუნოსუპრესიას და ცხოველური პროდუქციის უსაფრთხოების რისკებს.

აფლატოქსინი B₁ (AFB₁) ყველაზე ტოქსიკურ ფორმად ითვლება (EFSA, 2020) და განსაკუთრებულ საფრთხეს წარმოადგენს მერძეული პირუტყვისთვის, რადგან ორგანიზმში მეტაბოლიზმის შედეგად გარდაიქმნება აფლატოქსინ M₁-ად (AFM₁), რომელიც გამოიყოფა რძეში და წარმოადგენს სერიოზულ რისკს ადამიანის ჯანმრთელობისთვის.

მიკოტოქსინებით დაბინძურებული საკვების გამოყენება იწვევს პროდუქტიულობის შემცირებას, რეპროდუქციული ფუნქციების დარღვევას, დაავადებებისადმი მგრძნობელობის ზრდას და საბოლოო პროდუქტის (რძე, ხორცი, კვერცხი) ხარისხის გაუარესებას. აღნიშნული პრობლემები განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს თანამედროვე ინტენსიურ მეცხოველეობაში, ასევე სურსათის უვნებლობის რეგულაციების (Codex Alimentarius, ევროპის სურსათის უვნებლობის ორგანო EFSA) კონტექსტში.



აფლატოქსინი B₁



აფლატოქსინი M₁

კვლევის მიზნები და ამოცანები

წინამდებარე მიმოხილვითი ნაშრომი აერთიანებს თანამედროვე ლიტერატურულ მონაცემებს აფლატოქსინების ტოქსიკოლოგიური მოქმედების, მათი დეტოქსიკაციის სტრატეგიებისა და პრაქტიკაში გამოყენებადი საკვებდანამატების ეფექტურობის შესახებ. განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებულია ბუნებრივ სორბენტებზე (ცეოლითი, HSCAS), ჰეპატოპროტექტორებზე, ანტიოქსიდანტებსა და პრობიოტიკებზე. ნაჩვენებია, რომ კომპლექსური მიდგომა მნიშვნელოვნად ამცირებს აფლატოქსინების ბიოშედწევადობას, აუმჯობესებს ცხოველთა ჯანმრთელობას და უზრუნველყოფს ადამიანისათვის უსაფრთხო საკვებს.

აფლატოქსინების ბიოქიმიური მოქმედების მექანიზმები

აფლატოქსინი B₁ ღვიძლში ციტოქრომ P450-ის ფერმენტული სისტემის (CYP1A2, CYP3A4) მეშვეობით გარდაიქმნება აფლატოქსინ-8,9-ეპოქსიდად — მაღალრეაქტიულ

ნაერთად, რომელიც უკავშირდება დნმ-ს, განსაკუთრებით გუანინის N7 პოზიციაზე. ეს იწვევს მუტაციებს, ცილების სინთეზის დარღვევას, ოქსიდაციურ სტრესსა და ლიპიდების პეროქსიდაციას. აფლატოქსინები ასევე თრგუნავენ უჯრედულ იმუნიტეტს (Adegbey et al., 2020).

ლიტერატურული მიმოხილვის მეთოდოლოგია

ნაშრომი ეფუძნება საერთაშორისო რეფერირებად პუბლიკაციებს, EFSA-სა და FAO/WHO-ს ანგარიშებს და ბოლო წლების კვლევებს აფლატოქსინების დეტოქსიკაციის სტრატეგიების შესახებ მეცხოველეობაში (The [FAO/WHO Food Control System Assessment Tool](#) (developed 2019) is a comprehensive framework enabling countries to evaluate national food safety, including contaminants like [aflatoxins](#), from farm to table.)

დეტოქსიკაციის სტრატეგიების ზოგადი მიმოხილვა

აფლატოქსინებთან ბრძოლის თანამედროვე მიდგომები ეფუძნება პრევენციულ და კორექციულ ღონისძიებებს, რომლებიც მოიცავს:

- საკვების ხარისხის კონტროლს და მიკოტოქსინების მონიტორინგს;
- ფიზიკურ და ქიმიურ დეტოქსიკაციას;
- ბიოლოგიურ დეტოქსიკაციას;
- ცხოველის ორგანიზმის დამცავი მექანიზმების გაძლიერებას.

პრაქტიკაში ყველაზე ეფექტურია კომპლექსური მიდგომა, რომელიც აერთიანებს რამდენიმე მექანიზმს ერთდროულად.

მასალები და მეთოდები (დეტოქსიკაციის ძირითადი მიდგომები)

1. სორბენტები

სორბენტები წარმოადგენს დეტოქსიკაციის საფუძველს, რადგან ისინი აფლატოქსინებს აკავებენ კუჭ-ნაწლავის ტრაქტში და ხელს უშლიან მათ აბსორბციას.

- **ცეოლითი** – ბუნებრივი ალუმოსილიკატი, რომელსაც ახასიათებს მაღალი ფორიანობა, იონგაცვლის უნარი და ქიმიური სტაბილურობა;
- **ბენტონიტი** – მონტმორილონიტზე დაფუძნებული თიხა, მაღალი ადსორბციული უნარით;
- **HSCAS** – ჰიდრატირებული ნატრიუმ-კალციუმის ალუმინოსილიკატი, სპეციფიკურად ეფექტური AFB₁-ის მიმართ.

2. ჰეპატოპროტექტორები

ჰეპატოპროტექტორები ამცირებენ ღვიძლის დაზიანებას და აჩქარებენ რეგენერაციულ პროცესებს:

- **სილიმარინი** – აძლიერებს ანტიოქსიდანტურ დაცვას და სტაბილიზებს ჰეპატოციტების მემბრანებს;

- **მეთიონინი და ხოლინი** – ლიპოტროპული ფაქტორები, რომლებიც ამცირებენ ცხიმოვან დეგენერაციას;
- **ბეტაინი** – მეთილირების პროცესების მხარდაჭერა.

3. ანტიოქსიდანტები

აფლატოქსინებით გამოწვეული ოქსიდაციური სტრესის შესამცირებლად გამოიყენება:

- ვიტამინი E;
- სელენი (ორგანული ფორმები);
- გლუტათიონის სინთეზის ხელშემწყობი ამინომჟავები.

4. პრობიოტიკები და ბიოდეგრადაცია

თანამედროვე კვლევები ადასტურებს, რომ ზოგიერთი მიკროორგანიზმი (*Bacillus subtilis*, *Lactobacillus spp.*) უნარიანია აფლატოქსინების ბიოდეგრადაციის ან მათი ბიომედეცადობის შემცირების.

შედეგები და პრაქტიკული სქემები

ლიტერატურული წყაროებისა და პრაქტიკული მონაცემების საფუძველზე შემუშავებულია აფლატოქსინების დეტოქსიკაციის ინტეგრირებული სქემები სხვადასხვა სახეობის სასოფლო-სამეურნეო ცხოველებისთვის. აღნიშნული სქემები ითვალისწინებს როგორც სორბენტების (Gallo et al., 2021) ასევე მეტაბოლური და ბიოლოგიური დამცავი საშუალებების ერთობლივ გამოყენებას.

მეწველი ფურები

კომპლექსური დანამატების გამოყენება ამცირებს AFM₁-ის კონცენტრაციას რძეში 30–60%-ით, აუმჯობესებს რძის პროდუქტიულობას და ღვიძლის ბიოქიმიურ მაჩვენებლებს.

ღორები

დეტოქსიკაციის სქემები ხელს უწყობს საკვების კონვერსიის გაუმჯობესებას, ზრდის ცოცხალ მასას და ამცირებს იმუნოსუპრესიის ნიშნებს.

ბროილერები

ბროილერებში სორბენტებისა და ანტიოქსიდანტების გამოყენება ამცირებს სიკვდილიანობას, აუმჯობესებს ზრდის ტემპს და საკვების ათვისებას. (დოზირების დეტალური ცხრილები რეკომენდებულია წარმოდგენილ იქნეს ცალკე დანართის სახით.)

განხილვა

ლიტერატურული მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ ცეოლითი და HHSCAS ყველაზე სტაბილურ შედეგებს იძლევა აფლატოქსინების შეკავებაში. თუმცა, მათი ეფექტურობა დამოკიდებულია მინერალის წყაროზე, ნაწილაკების ზომაზე და დოზირებაზე. მონო-სტრატეგია არასაკმარისია; საუკეთესო შედეგი მიიღწევა სორბენტების, ჰეპატოპროტექტორების, ანტიოქსიდანტებისა და პრობიოტიკების კომბინაციით.

I. აფლატოქსინების დეტოქსიკაციის ინტეგრირებული სქემა — მეწველი ფურები

დანამატი	დოზა	მოქმედების მექანიზმი	მოსალოდნელი ეფექტი
HSCAS	100-150 გ/დღე	აფლატოქსინების ადსორბცია ნაწლავებში	AFM ₁ -ის შემცირება რძეში
ცეოლითი	0.5–1% საკვებში	მიკოტოქსინების შეკავება	ბიომეღწევადობის შემცირება
სილიმარინი	10–20 მგ/კგ ცოცხ.მასა	ჰეპატოციტების დაცვა	ღვიძლის ფუნქციის გაუმჯობესება
ვიტამინი E	1000–2000 სე/დღე	ანტიოქსიდანტი	ოქსიდაციური სტრესის შემცირება
სელენი (ორგ)	0.3–0.5 მგ/კგ მშრ.წივთ.	გლუტათიონის სისტემის აქტივაცია	უჯრედული დაცვა
პრობიოტიკები	1–2×10 ⁹ კოე/დღე	ბიოდეგრადაცია, მიკრობიოტას მხარდაჭერა	ტოქსინების აბსორბციის შემცირება

II. აფლატოქსინების დეტოქსიკაციის ინტეგრირებული სქემა — ღორები

დანამატი	დოზა	მოქმედების მექანიზმი	მოსალოდნელი ეფექტი
ბენტონიტი / ცეოლითი	1% საკვებში	სორბცია კუჭ-ნაწლავში	ტოქსინების შეწოვის შემცირება
სილიმარინი	30–50 მგ/კგ	ღვიძლის დაცვა	ჰეპატოტოქსიკურობის შემცირება
ვიტამინი E	150–300 სე/კგ	ანტიოქსიდანტი	იმუნური სტატუსის გაუმჯობესება
სელენი	0,3 მგ/კგ	ანტიოქსიდანტური დაცვა	უჯრედული სტრესის შემცირება
ბეტაინი	0,05–0,1%	მეთილაციის მხარდაჭერა	მეტაბოლიზმის სტაბილიზაცია
პრობიოტიკები	1×10 ⁹ კოე/კგ	მიკრობული ბიოდეგრადაცია	ნაწლავური ჯანმრთელობის გაუმჯობესება

III. აფლატოქსინების დეტოქსიკაციის ინტეგრირებული სქემა — ბროილერებში

დანამატი	დოზა	მოქმედების მექანიზმი	მოსალოდნელი ეფექტი
ცეოლითი / HSCAS	5–10 გ/კგ	აფლატოქსინების ადსორბცია	ზრდის ტემპის გაუმჯობესება
სილიმარინი	100 მგ/კგ	ჰეპატოპროტექტორი	ღვიძლის დაზიანების შემცირება
ვიტამინი E	100–200 სე/კგ	ანტიოქსიდანტი	იმუნური ფუნქციის მხარდაჭერა
სელენი	0.3 მგ/კგ	ანტიოქსიდანტური ფერმენტები	ოქსიდაციური სტრესის შემცირება
მეთიონინი + ცისტეინი	0.5%	გლუტათიონის სინთეზი	დეტოქსიკაციის მხარდაჭერა
პრობიოტიკები	1×10 ⁹ კოე/კგ	მიკრობიოტას რეგულაცია	საკვების ათვისების გაუმჯობესება

დასკვნა

აფლატოქსინების დეტოქსიკაცია სასოფლო-სამეურნეო ცხოველებში წარმოადგენს მრავალფაქტორულ პრობლემას, რომელიც მოითხოვს ინტეგრირებულ და მეცნიერულად დასაბუთებულ მიდგომას. კვლევების უმრავლესობა ადასტურებს, რომ მხოლოდ ერთი მეთოდის გამოყენება არასაკმარისია. სორბენტების (ცეოლითი, HSCAS), ჰეპატოპროტექტორების, ანტიოქსიდანტებისა და პრობიოტიკების ერთობლივი გამოყენება უზრუნველყოფს მაქსიმალურ დაცვას.

აღნიშნული მიდგომა არა მხოლოდ აუმჯობესებს ცხოველთა ჯანმრთელობასა და პროდუქტიულობას, არამედ წარმოადგენს მნიშვნელოვან ინსტრუმენტს სურსათის უვნებლობის უზრუნველყოფისა და საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის დაცვისთვის.

საქართველოში ჩატარებული მონიტორინგის პროგრამები აჩვენებს, რომ მარცვლეულში აფლატოქსინების კონტამინაცია განსაკუთრებით აქტუალურია მაღალი ტენიანობის რეგიონებში. დიაგნოსტიკური ლაბორატორიების მიერ განხორციელებული ELISA სკრინინგი და HPLC დამადასტურებელი ანალიზები მნიშვნელოვან როლს ასრულებს რისკის შეფასებაში და პრევენციული ღონისძიებების დაგეგმვაში.

პრაქტიკული მნიშვნელობა ISO 17025-ის კონტექსტში

აფლატოქსინების კონტროლი და დეტოქსიკაცია მჭიდროდ უკავშირდება ლაბორატორიულ მონიტორინგს. აკრედიტებულ დიაგნოსტიკურ ცენტრებში (ISO/IEC 17025) აუცილებელია:

- საკვების და ცხოველური პროდუქციის რეგულარული ტესტირება (ELISA, HPLC);
- შედეგების ტრეისაბილობა (მიკვლევადობა);
- დეტოქსიკაციის ღონისძიებების ეფექტურობის შეფასება;

- რისკზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების მიღება.

ლიტერატურა

1. Diaz D.E. et al. *Mycopathologia*, 2004.
2. Adegbeye, M. J., Reddy, P. R. K., Chilaka, C. A., Balogun, O. B., Elghandour, M. M. Y., Rivas-Caceres, R. R., & Salem, A. Z. M. (2020). Mycotoxin toxicity and residue in animal products: Prevalence, consumer exposure, and reduction strategies. *Toxicon*, 177, 96–108.
3. The [FAO/WHO Food Control System Assessment Tool](#) (developed 2019)
4. Gallo, A., Giuberti, G., Frisvad, J. C., Bertuzzi, T., & Nielsen, K. F. (2021). Review on mycotoxin binders in animal feed: Mechanisms and efficacy. *Toxins*, 13(10), 701.
5. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2020). *Risk assessment of aflatoxins in food*. EFSA Journal, 18(3), e06040.

Modern Approaches to Aflatoxin Detoxification in Agricultural Animals

Ese Jaqeli - Academic Doctor of Agricultural, Ketevan Gogvadze - Master of Biology, Irma Ghlonti - Master of Chemistry

Abstract

Aflatoxins are one of the most dangerous mycotoxins in livestock and cause hepatotoxic, immunosuppressive and carcinogenic effects. The paper presents a review of the current literature on strategies for detoxification of aflatoxins in farm animals. Sorbents (zeolite, HSCAS), hepatoprotectors, antioxidants and probiotics are discussed. According to literature data, their complex use reduces the release of aflatoxin M₁ in milk by an average of 30–60%, improves feed conversion and reduces indicators of functional liver damage. An integrated approach is an effective tool for both animal health protection and food safety.

Keywords: aflatoxin B1, aflatoxin M1, zeolite, adsorbents, hepatoprotection, probiotics, livestock