



ВЕТЕРИНАРІЯ, ТЕХНОЛОГІЇ ТВАРИННИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

VETERINARY SCIENCE, TECHNOLOGIES OF ANIMAL HUSBANDRY AND NATURE MANAGEMENT

ISSN 2617-8346 (Print)
ISSN 2663-5542 (Online)

DOI: 10.31890/vtpp.2020.05.11
<http://ojs.hdzva.edu.ua/>

UDC 636.09:614.31:633:546.175

Control of nitrate in vegetable products

N. I. Klyap, O. O. Krachkovska, A. V. Maslyuk, K. S. Mostipan, O. M. Yakubchak

State Research Institute for Laboratory Diagnostics and Veterinary and Sanitary Expertise, Kyiv, Ukraine

Article info

Received 31.03.2020

Received in revised form
17.04.2020

Accepted
20.05.2020

State Research Institute for
Laboratory Diagnostics and
Veterinary and Sanitary
Expertise, Kyiv, Ukraine,
E-mail: nzoltan@ukr.net

Klyap, N. I., Krachkovska, O. O., Maslyuk, A. V., Mostipan, K. S., & Yakubchak, O. M. (2020). Control of nitrate in vegetable products. *Veterinary Science, Technologies of Animal Husbandry and Nature Management*, 5, 60-64. DOI: 10.31890/vtpp.2020.05.11

The issue of food safety and quality control is a top priority for every country. Owing to the intensive use of chemicals and preparations during the cultivation of crops of plant origin, there are cases (25-70%) when in the products sold, the content of nitrates is much higher than the norms. Consumption of such products can provoke deterioration in overall health, as exposure to high doses of nitrates leads to the development of tissue hypoxia in humans and inhibits oxidative phosphorylation. Chronic forms of nitrate poisoning due to oxygen starvation of organs and tissues, which is accompanied by impaired metabolism, reproductive function, suppression of immunity. These research results indicate the urgency of the control of nitrates in plant products consumed by the population of Ukraine.

The purpose of the study was to establish the exceedance of the permitted levels of nitrate content in plant products that were tested at the State Research Institute for Laboratory Diagnostics and Veterinary Expertise during 2018-2019.

Materials and methods. The analysis of the obtained data was carried out on the basis of the results of studies of nitrate content in samples of plant products, which were tested at the laboratory for determination of veterinary preparations and contaminants of the Research Chemical-Toxicology Department of the State Institute for Scientific and Technological Research during 2018-2019. Studies on the nitrate content were performed by ionometric method according to the current DSTU 4948: 2008 Fruits, vegetables and products of their processing. Methods for determining nitrate content.

Results. The analysis of the results of the research conducted during 2018-2019 shows that in all types of studied plant products revealed exceedance of the maximum permissible levels (MPL) of nitrate content. It should be noted that a comparative analysis of the data obtained in 2018-2019 indicates the dynamics of an increase in the number of tested plant products with an excess of MPL of nitrates from 18 to 22%. Excess nitrates in plant products in 2018 were found to be more commonly found in beet, strawberry and carrot samples in 2018, and in 2019 in zucchini, cabbage and cucumbers. Probably, the harvesting of vegetables, from the data of the studied samples, was carried out in the early stages of plant vegetation. It is known that nitrates are most intensely absorbed by plants during the development of stems and leaves, not during the period of full maturation. Probably because of these samples of vegetable products the excess of MPL of nitrates was determined, which indicates that the vegetables are not suitable for consumption, since they can potentially cause toxic effects on the human body.

Keywords: nitrates, control, products of plant origin.

Контроль нитратов в продуктах растительного происхождения

Н. И. Кляп, А. А. Крачковская, А. В. Маслюк, Е. С. Мостипан, О. Н. Якубчак

Государственный научно-исследовательский институт по лабораторной диагностике и ветеринарно-санитарной экспертизе, Киев, Украина

Вопрос контроля безопасности и качества продуктов питания является первоочередной задачей для каждой страны. В связи с интенсивным применением химических веществ и препаратов во время выращивания культур растительного происхождения встречаются случаи (25-70%), когда в продуктах, которые реализуются, содержание нитратов значительно превышает нормативы. Употребление таких продуктов может провоцировать

ухудшення загального стану здоров'я, так як вплив значущих доз нітратів призводить до розвитку тканинної гіпоксії в організмі людини. Хронічні форми отруєння нітратами обумовлені кислородним голодуванням органів і тканин, супроводжується погіршенням обміну речовин, репродуктивної функції, зниженням імунітету. Зазначені результати наукових досліджень свідчать про актуальність питання контролю вмісту нітратів у рослинних продуктах, що вживаються населенням України.

Метою дослідження було встановити перевищення допустимих норм вмісту нітратів у рослинних продуктах, що надходили на дослідження в Державний науково-дослідний інститут лабораторної діагностики і ветеринарно-санітарної експертизи (ГНІІЛДВСЗ) в період 2018-2019 років.

Матеріали та методи досліджень. Аналіз отриманих даних проводили на основі результатів досліджень вмісту нітратів у пробі рослинних продуктів, наданих на дослідження в лабораторію визначення ветеринарних препаратів і забруднювачів науково-дослідницького хіміко-токсикологічного відділу ГНІІЛДВСЗ в період 2018-2019 років. Дослідження вмісту нітратів проводили іонметричним методом згідно діючого ДСТУ 4948:2008 Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту нітратів.

Результати досліджень. Аналіз результатів досліджень, проведених в період 2018-2019 років, свідчить про те, що во всіх видах досліджуваних рослинних продуктів визначали перевищення максимально допустимих рівнів (МДР) вмісту нітратів. Слід зазначити, що порівняльний аналіз отриманих даних за 2018-2019 роки свідчить про динаміку збільшення кількості досліджуваних рослинних продуктів з перевищенням МДР нітратів від 18 до 22 %. Встановлено, що перевищення МДР нітратів у рослинних продуктах в 2018 році частіше визначали в пробі свекли, кавказської моркви і моркви, а в 2019 році – в кабачках, капусті і огірках. Ймовірно, збір овочів для даних досліджуваних проб проводили на ранніх етапах вегетації рослин. Це відомо, що нітрати найбільш інтенсивно поглинаються рослинами в період розвитку стебел і листків, а не в період повного дозрівання. Можливо тому в даних проб рослинних продуктів було визначено перевищення МДР нітратів, що свідчить про непридатність овочів для вживання, оскільки вони можуть викликати токсичне вплив на організм людини.

Ключові слова: нітрати, контроль, продукти рослинного походження.

Контроль нітратів у продуктах рослинного походження

Н. І. Кляп, О. О. Крачковська, А. В. Маслюк, К. С. Мостіпан, О. М. Якубчак

Державний науково-дослідний інститут з лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи, Київ, Україна

Аналіз результатів досліджень, що проведені упродовж 2018–2019 років, свідчить про те, що у всіх видах рослинних продуктів, що досліджували виявляли перевищення максимально допустимих рівнів (МДР) вмісту нітратів. Слід зазначити, що порівняльний аналіз отриманих даних за 2018–2019 роки свідчить про динаміку збільшення кількості рослинних продуктів, досліджуваних із перевищенням МДР нітратів від 18 до 22 %. Встановлено, що перевищення МДР нітратів у продуктах рослинного походження у 2018 році частіше виявляли у пробі буряка, полуниці та моркви, а у 2019 році – в кабачках, капусті та огірках. Ймовірно, збір овочів цих досліджуваних проб проводили на ранніх етапах вегетації рослин. Адже відомо, що нітрати найбільш інтенсивно поглинаються рослинами під час розвитку стебел і листків, а не в період повного дозрівання. Можливо тому в цих пробі рослинних продуктів було визначено перевищення МДР нітратів, що свідчить про непридатність овочів для вживання, адже вони потенційно можуть спричинити токсичний вплив на організм людини.

Ключові слова: нітрати, контроль, продукти рослинного походження.

Вступ

Актуальність теми. Питання контролю безпеки та якості продуктів харчування є пріоритетним завданням для кожної країни. У зв'язку з інтенсивним застосуванням хімічних засобів і препаратів під час вирощування культур рослинного походження трапляються випадки (25-70 %), коли в продуктах, які реалізуються, вміст нітратів значно перевищує нормативи (Snisarenko, & Bokhan, 2012). Споживання таких продуктів може провокувати погіршення загального стану здоров'я, адже вплив значущих доз нітратів призводить до розвитку тканинної гіпоксії в організмі та гальмування процесів окисного фосфорилування (Rembialkowska, 2007; Lin, Cheng, Chen, & Lin, 2020; Aggarwal, Aggarwal, & Rao, 2017). Хронічні форми отруєння нітратами обумовлені кисневим голодуванням органів і тканин, що супроводжується погіршенням обміну речовин, репродуктивної функції, пригніченням імунітету (Snisarenko, & Bokhan, 2012; Thomas, 2011; Tamme, Reinik, & Roasto, 2010; Prasad, & Chetty, 2008).

Вище зазначені результати наукових досліджень свідчать про актуальність питання контролю вмісту нітратів у рослинних продуктах, які вживаються населенням України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нітрати – це солі азотної кислоти – джерело азоту, що має велике значення в життєдіяльності рослин. Вони широко поширені в природі та є нормальними метаболітами будь-якого живого організму, як рослинного, так і тваринного. В організмі людини за добу використовується 100 і більше мг нітратів (Krychkovska, Bielinska, & Ananieva, 2017).

Згідно з науковими даними (Aires, Carvalho, Rosa, & Saavedra, 2013; Mcdonagh, Wylie, Thompson, Vanhatalo, & Jones, 2018), токсична дія нітратів пов'язана із перетворенням їх у нітрити. Нітрити взаємодіють з гемоглобіном (окиснюють двовалентне залізо), і, як наслідок, утворюється нітрозогемоглобін, який трансформується в метгемоглобін та частково – у сульфгемоглобін. Метгемоглобін гальмує зворотне зв'язування кисню, виникає клінічна картина гіпоксії. 1 мг натрію нітриту може перетворити в метгемоглобін

близько 2000 мг гемоглобіну. Одноразове введення 100–150 мг нітритів викликає у людини почервоніння шкіри обличчя, зниження артеріального тиску, прискорення пульсу, шуми в голові; 300 мг – сильне потовиділення, синюшність шкіри, утруднене дихання, погіршення зору (Snisarenko, & Bokhan, 2012; Prasad, & Chetty, 2008; Tang, Jiang, & Bryan, 2011; Chan, 2011; Ma, Hu, Feng, & Wang, 2018). Крім того, з нітритів у присутності амінів можуть утворюватися N-нітро Tamme, T., Reinik, M., & Roasto, заміни, що мають канцерогенну активність (Thomas, 2011; Tamme, Reinik, & Roasto, 2010; [Bryan, Alexander, Coughlin, Milkowski, & Boffetta, 2012](#); Chamandooost, Moradi, & Hosseini, 2016). Згідно з даними Міжнародної організації ВООЗ допустима норма нітратів на добу - 5 мг NaNO₃ на 1кг маси людини, токсична доза для дорослих дорівнює 600 мг, для дітей середнього віку – 100 мг. Такий показник встановлено з урахуванням науково обґрунтованої норми харчування (близько 400 г овочів та 300 г картоплі за добу) (Dubinina, Seliutina, & Napontseva, 2013). Проте нітрати потрапляють в організм не лише з овочами. Певна кількість їх вживається з питною водою. Доведено, що вплив нітрат-іонів, що містяться в їжі, майже на чверть слабший, ніж розчинених у воді. Причому у воді вони в чистому вигляді, а не в зв'язаному, як у рослинах, і саме в такій формі вони більш небезпечні для організму людини (Snisarenko, & Bokhan, 2012).

Токсичність нітритів залежить від складу раціону, індивідуальних особливостей організму. Поряд із клінічними проявами інтоксикації (рясне потовиділення, синюшність шкіри, задишка, запаморочення) хронічний вплив нітритів призводить до зниження вмісту в організмі вітамінів А, Е, С, В1, В6. З цим пов'язують зниження стійкості організму до впливу різних факторів, зокрема онкогенних. Нітрати, на відміну від нітритів, не володіють вираженою токсичністю. Гострі отруєння трапляються у людей у разі випадкового прийому 1–4 г нітратів, доза 8–14 г може виявитися летальною. Головною причиною гострої інтоксикації є відновлення нітратів у нітрити, що може перебігати у харчових продуктах або травному каналі (Krychkovska, Bielinska, & Ananieva, 2017; [Hord, Tang, & Bryan, 2009](#); He, Zhong, Tan, Wu, & Bai, 2020).

Накопичення нітратів у овочевих культурах значною мірою пов'язано з їх біологічними

особливостями. Тому різні рослини мають неоднакову здатність акумулювати шкідливі речовини (Dubinina, Seliutina, & Napontseva, 2013; Tamme, Reinik, Roasto, Juhkam, Tenno, & Kiis, 2006). Дослідження показали, що вміст нітратів у рослинних продуктах вирощених у теплицях, у десятки разів вищий, ніж у разі їх вирощування у відкритому ґрунті, і може досягати колосальних величин – до 10 г на 1 кг продукту. Це відбувається тому, що в теплицях шкідливі речовини не можуть безперешкодно випаровуватися й нестися потоками повітря, а тому після випаровування вони знову осідають на рослини (Dubinina, Penkina, & Bieliaieva, 2007; Dubinina, Seliutina, & Napontseva, 2013; Heidari, & Ziarati, 2015).

У міру інтенсифікації сільськогосподарського виробництва з підвищенням доз азотних добрив кількість нітратів у рослинах зростає і за надлишкових їх кількостей у продуктах харчування може провокувати токсичний ефект на організм людини.

Метою дослідження було провести дослідження щодо перевищення допустимих норм вмісту нітратів у продуктах рослинного походження, що надходили на випробування в ДНДІЛДВСЕ впродовж 2018–2019 років.

Матеріали і методи дослідження. Аналіз отриманих даних проводили на підставі результатів досліджень вмісту нітратів у пробах рослинних продуктів, що надходили на випробування в лабораторію визначення ветеринарних препаратів та забруднювачів науково-дослідного хіміко-токсикологічного відділу ДНДІЛДВСЕ впродовж 2018–2019 років.

Дослідження вмісту нітратів проводили іонометричним методом згідно з чинним ДСТУ 4948:2008 Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту нітратів. Статистичну обробку отриманого цифрового матеріалу здійснювали за допомогою пакета статистичних програм Microsoft Excel.

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз результатів досліджень, проведених впродовж 2018–2019 років, свідчить про те, що у всіх видах досліджуваних рослинних продуктів виявляли перевищення максимально допустимих рівнів вмісту нітратів (табл. 1).

Таблиця 1

Результати аналізу щодо перевищення МДР нітратів у пробах рослинних продуктів, що надходили на дослідження в ДНДІЛДВСЕ у 2018–2019 роках

Вид рослинних продуктів	2018 рік		2019 рік	
	Кількість досліджуваних проб	Проби із перевищенням МДР нітратів, шт	Кількість досліджуваних проб	Проби із перевищенням МДР нітратів, шт
Картопля	49	6	90	15
Полуниця	8	2	7	1
Капуста	36	5	27	8
Буряк	33	10	18	4
Морква	38	6	31	7
Цибуля	-	-	32	3
Кабачки	-	-	6	6
Огірки	-	-	6	3
Всього	164	29	217	47

Слід зазначити, що порівняльний аналіз отриманих даних у 2018–2019 роках вказує на динаміку

збільшення кількості досліджуваних рослинних продуктів із перевищенням МДР нітратів від 18 до 22 %.

Згідно з літературними даними (Krychkovska, Bielinska, & Ananieva, 2017) за здатністю накопичувати нітрати овочі та фрукти розподіляють на 3 групи:

- з високим умістом (до 5000 мг/кг сирової маси): салат качаний, шпинат, буряк, кріп, кінза, листова капуста, редис, зелена цибуля, кавун;

- з середнім вмістом (300–600 мг/кг): цвітна капуста, кабачки, гарбуз, ріпа, редька, білокачанна капуста, хрін, морква, огірки;

- із низьким вмістом (10–150 мг/кг): брюссельська капуста, горох, щавель, квасоля, картопля, томати, ріпчаста цибуля, фрукти, ягоди. Однак видової залежності при цьому не спостерігається.

Як свідчать результати наших досліджень, перевищення МДР нітратів у продуктах рослинного походження в 2018 році частіше виявляли у пробах буряка, полуниці та моркви, а в 2019 році – в кабачках, капусті та огірках (рис.1).

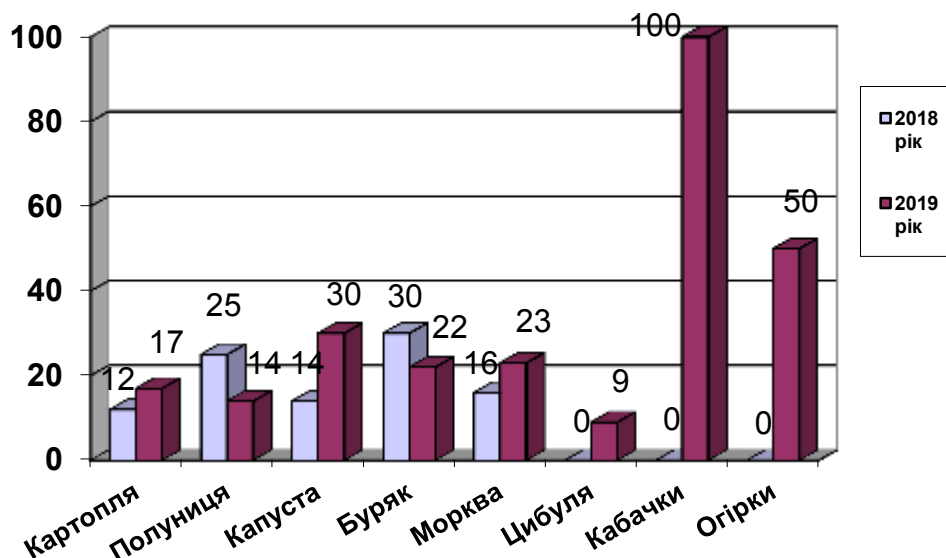


Рисунок 1. Кількість проб рослинних продуктів із перевищенням МДР нітратів, що досліджувалися у 2018-2019 роках, %.

Ймовірно, збір овочів для представлених досліджуваних проб проводили на ранніх етапах вегетації рослин. Адже відомо, що нітрати найбільш інтенсивно поглинаються рослинами під час розвитку стебел і листків, а не в період повного дозрівання (Snisarenko, & Bokhan, 2012; Hord, Tang, & Bryan, 2009). Можливо тому, в даних пробах рослинних продуктів було визначено перевищення МДР нітратів, що свідчить про непридатність овочів для споживання, адже вони потенційно можуть спричинити токсичний вплив на організм людини.

Висновки

1. Аналіз результатів досліджень, проведених впродовж 2018–2019 років, свідчить, що у всіх видах досліджуваних рослинних продуктів виявляли перевищення МДР нітратів.

2. У 2018 році перевищення МДР нітратів частіше виявляли у столових буряках, полуниці та моркві, а у 2019 році – в кабачках, капусті та огірках.

Перспективи подальших досліджень. Майбутні дослідження стосуватимуться вивчення залежності вмісту нітратів у продуктах рослинного походження від регіону вирощування сільськогосподарських культур.

References

Aggarwal, M., Aggarwal, B., & Rao, J. (2017). Integrative medicine for cardiovascular disease and prevention. *Med. Clin. N. Am.*, 101, 895–923. DOI: [10.1016/j.mcna.2017.04.007](https://doi.org/10.1016/j.mcna.2017.04.007)

Aires, A., Carvalho, R., Rosa, E., & Saavedra, M. (2013). Effects of agriculture production systems on nitrate and nitrite accumulation on baby-leaf salads. *Food Science & Nutrition*, 1 (1), 3–7. DOI: [10.1002/fsn3.1](https://doi.org/10.1002/fsn3.1)

Bryan, N. S., Alexander, D. D., Coughlin, J. R., Milkowski, A. L., & Boffetta, P. (2012). Ingested nitrate and nitrite

and stomach cancer risk: an updated review. *Food Chem Toxicol.*, 50(10), 3646–3665. DOI: [10.1016/j.fct.2012.07.062](https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.07.062)

Chamandoost, S., Moradi, M. F., & Hosseini, M.-J. (2016). A Review of nitrate and nitrite toxicity in foods. *Journal Hum Environ. Health Promot.*, 1(2), 80–86. DOI: [10.29252/JHEHP.1.2.80](https://doi.org/10.29252/JHEHP.1.2.80)

Chan, T. Y. K. (2011). Vegetable-borne nitrate and nitrite and the risk of methaemoglobinaemia. *Toxicol. Lett.*, 200, 107–108. DOI: [10.1016/j.toxlet.2010.11.002](https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.11.002)

Dubinina, A. A., Seliutina, H. A., & Hapontseva, O. V. (2013). Doslidzhennia zdatnosti koreneplodiv redky do nakopychennia nitrativ i pestytsydiv [Investigation of the ability of radish root crops to accumulate nitrates and pesticides]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10), 27–30. [in Ukrainian].

Dubinina, A. A., Penkina, N. M. & Bieliaieva, L. M. (2007). Doslidzhennia toksychnykh rehovyn ta lokalizatsiia yikh u stolovomu buriaku [Investigation of toxic substances and their localization in beet]. *Commodities and markets*, 146–152. [in Ukrainian]

Heidari, S., & Ziarati, P. (2015). Physicochemical characteristics and nitrate content in fresh and canned pears products. *Orient. J. Chem.*, 31 (4), 2303–2309. DOI: [10.13005/ojc/310458_34](https://doi.org/10.13005/ojc/310458_34)

Hord, N. G., Tang, Y., & Bryan, N. S. (2009). Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. *Am. J. Clin. Nutr.*, 90(1), 1–10. DOI: [10.3945/ajcn.2008.27131](https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27131)

He, J., Zhong, Z., Tan, S., Wu, F., & Bai, Y. (2020). Redox-derivatization reaction-based rapid and sensitive determination of nitrite using resonance Rayleigh scattering method. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412 (5), 1087–1096. DOI: [10.1007/s00216-019-02333-9](https://doi.org/10.1007/s00216-019-02333-9)

- Krychkovska, L. V., Bielinska, A. P., & Ananieva, V. V. (2017). *Bezpeka kharchovykh produktiv: antyalimentarni faktory, ksenobiotyky, kharchovi dobavky: navchalnyi posibnyk* [Food safety: antyalimentary factors, xenobiotics, nutritional supplements: A Tutorial]. NTU «KhPI», 98. [in Ukrainian]
- Ma, L., Hu, L., Feng, X., & Wang, S. (2018). Nitrate and Nitrite in Health and Disease. *Aging and Disease*, 9(5), 938–945. DOI: [10.14336/AD.2017.1207](https://doi.org/10.14336/AD.2017.1207)
- Mcdonagh, S. T., Wylie, L. J., Thompson, C., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2018). Potential benefits of dietary nitrate ingestion in healthy and clinical populations: A brief review. *European journal of sport science*, 1–15. DOI: [10.1080/17461391.2018.1445298](https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1445298)
- Prasad, S., & Chetty, A. (2008). Nitrate-N determination in leafy vegetables: Study of the effects of cooking and freezing. *Food Chemistry*, 106 (2), 772–780. DOI: [10.1016/j.foodchem.2007.06.005](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.005)
- Rembialkowska, E. (2007). Quality of plant products from organic agriculture. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 2757–2762. DOI: [10.1002/jsfa.3000](https://doi.org/10.1002/jsfa.3000)
- Snisarenko, Yu. S., & Bokhan, Yu. V. (2012). Nitraty u silskohospodarskii produktsii Kirovohradshchyny nehatyvnyi vplyv ta monitorynh [Nitrates in agricultural products of Kirovograd region have negative impact and monitoring]. *Materialy mizhnar. nauk.-prakt. konferencii*. Kirovohrad, 266–270. [in Ukrainian]
- [Tamme, T.](#), [Reinik, M.](#), [Roasto, M.](#), [Juhkam, K.](#), [Tenno, T.](#), & [Kiis, A.](#) (2006). Nitrates and nitrites in vegetables and vegetable-based products and their intakes by the Estonian population. *Food Additives and Contaminants*, 23, 35–361. DOI: [10.1080/02652030500482363](https://doi.org/10.1080/02652030500482363)
- Tamme, T., Reinik, M., & Roasto, M. (2010). Nitrates and Nitrites in Vegetables: Occurrence and Health Risks. *Bioactive Foods in Promoting Health Fruits and Vegetables*, 307–321. DOI: [10.1016/B978-0-12-374628-3.00021-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374628-3.00021-9)
- [Tang, Y.](#), [Jiang, H.](#), & [Bryan, N. S.](#) (2011). Nitrite and nitrate: cardiovascular risk-benefit and metabolic effect. *Curr. Opin. Lipidol.*, 22(1), 11–15. DOI: [10.1097/MOL.0b013e328341942c](https://doi.org/10.1097/MOL.0b013e328341942c)
- Thomas, Y.K. (2011). Vegetable-borne nitrate and nitrite and the is of methaemoglobinaemia. *Toxicology Letters*, 200, 107–108. DOI: [10.1016/j.toxlet.2010.11.002](https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.11.002)
- Lin, Y.-J., Cheng, C.-J., Chen, J.-W., & Lin, Z. (2020). Incorporating Exogenous and Endogenous Exposures into Dietary Risk Assessment of Nitrates and Nitrites in Vegetables: A Probabilistic Integrated Toxicokinetic Modeling Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68 (4), 1079–1090. DOI: [10.1021/acs.jafc.9b06720](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06720)