

BURAK CZERWONY I JEGO EFEKTY PROZDROWOTNE

RED BEET ROOT ANT ITS PRO-HEALTH EFFECTS

Grażyna Lutosławska

Katedra Nauk Biomedycznych, Akademia Wychowania Fizycznego, Warszawa

Streszczenie:

Preparaty otrzymywane z buraka czerwonego, a przede wszystkim sok, ze względu na zawartość azotanów i azotynów potasu i ich przekształcenie w organizmie człowieka w biologicznie aktywny tlenek azotu (NO) są przedmiotem wielu badań. Wiele badań potwierdza pozytywny wpływ tych preparatów na zdrowie, w tym na ciśnienie krwi i funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego, oddechowego czy wrażliwość na insulinę. Liczne badania poświęcono także analizie wpływu soku z buraka na wydolność organizmu w różnych rodzajach wysiłku fizycznego stwierdzając, że preparaty te obniżają ciśnienie krwi w czasie wysiłku, zmniejszają koszt energetyczny wysiłku, a także przyspieszają regenerację mięśni po wysiłku. Ponadto preparaty z buraka są źródłem betalain – związków zmniejszających stres oksydacyjny w spoczynku oraz w odpowiedzi na wysiłek fizyczny.

Słowa kluczowe: burak czerwony, sok z buraka, zdrowie, wysiłek fizyczny.

Abstract

It is well documented that beetroot juice containing potassium nitrate and nitrite which in human body are converted into nitric oxide (NO) is engaged in the regulation of many physiological processes including cardiovascular and pulmonary function, skeletal muscle energetic processes but also insulin sensitivity. Numerous data confirm positive effect of NO on muscle function during different modes of exercise such as decreased blood pressure and energetic cost of muscular work and prevention of muscle damage after exercise. It worth noting that due to betalain contents beetroot supplement has a potential of decreasing of oxidative stress and rest and exercise.

Key words: beetroot, beet root juice, health, physical activity

Wstęp

W aktualnym piśmiennictwie jest wiele danych dotyczących prozdrowotnych efektów spożywania roślin czy produktów z nich pochodzących [1]. Znane też są leki otrzymywane z roślin i stosowane w terapii przeciwnowotworowej (paksitaksel) czy w leczeniu malarii (artemizyna) [2]. Analizowane są także działania antybakteryjne, przeciugrzybiczne czy antyoksydacyjne preparatów pochodzenia roślinnego [3,4]. Jedną z roślin o potencjalnym działaniu prozdrowotnym, której poświęcono wiele uwagi jest burak czerwony.

Systematyka buraka

Burak wg systematyki roślin to *Beta* L. – czyli 12 gatunków roślin należących do rodziny szarłatowatych i występujących praktycznie na całym świecie [5,6]. W Polsce popularny jest burak zwyczajny (*Beta vulgaris* L.) oraz jego podgatunek – burak ćwikłowy (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris*) [7]. Wszystkie wymienione odmiany buraka charakteryzuje czerwona barwa, którą powodują betacyjaniny – barwniki o właściwościach antyoksydacyjnych należące do grupy betalain – pochodnych aminokwasu tyrozyny [8-11]. Ponadto burak czerwony zawiera azotan i azotyn potasu (KNO_3 i KNO_2) ulegające w organizmie

ludzkim przekształcaniu w biologicznie aktywny tlenek azotu (NO).

Endogenny tlenek azotu i jego rola biologiczna

U ssaków, w tym u człowieka, są różne źródła endogennego tlenku azotu, który powstaje z L-argininy w reakcjach katalizowanych przez różne formy czyli izoenzymy syntazy tlenku azotu (NOS) [12]. Dotychczas znane są trzy izoenzymy NOS różniące się lokalizacją – nNOS (ang. neural NOS, lub NOS1) jest zlokalizowana głównie w neuronach i bierze udział w regulacji przekazywania bodźców w centralnym układzie nerwowym, ale także w regulacji napięcia ścian mięśni gładkich. Natomiast jej lokalizacja w błonach komórek mięśniowych sugeruje jej związek z przekazywaniem bodźców do innych struktur miocytów np. w odpowiedzi na wysiłek fizyczny czy trening [13]. Nowsze badania wskazują na jej obecność także w makrofagach i udział w powstawaniu zmian miażdżycowych w naczyniach krwionośnych [14].

Indukowana NOS (iNOS lub NOS2) jest zlokalizowana w makrofagach, ale także w układzie sercowo-naczyniowym i ulega aktywacji w stanach zapalnych generując powstawanie wolnych rodników azotowych (ang. reactive nitrogen species, RNS), które zwiększają

stres oksydacyjny oraz powodują niekorzystne zmiany w strukturze białek i przyczyniają się do powstawania zmian miażdżycowych [15].

Kolejny izoenzym syntazy NO to niezbędna (konstytutywna) syntaza NO (eNOS lub NOS3) obecna w śródbłonku naczyń krwionośnych i odpowiedzialna za regulację napięcia ścian naczyń, a w konsekwencji ciśnienia krwi [16,17].

W badaniach dotyczących fizjologicznej roli NO szczególnie wiele uwagi poświęcono jego roli w regulacji ciśnienia krwi oraz negatywnych skutków jego niedoboru w etiologii chorób układu sercowo-naczyniowego [18-20]. Wiele danych sugeruje jego wpływ na wrażliwość na insulinę, a w przypadku niedoboru – udział w rozwoju oporności na insulinę i otyłości [21-24].

Wiele uwagi poświęcono badaniom roli endogenego tlenu azotu w mięśniach szkieletowych. W warunkach *in vitro* wykazano wpływ tlenu azotu na zmęczenie mięśni, typ włókien, a także na wydajność mitochondrialnej syntezy ATP [25-27]. Stwierdzono także stymulujący wpływ NO na funkcjonowanie komórek satelitarnych, a tym samym na regenerację mięśni po wysiłku [28]. Na istotną rolę NO w funkcjonowaniu mięśni szkieletowych wskazuje także niedobór syntazy NO u osób z dystrofią Duchenne'a a także pozytywny wpływ egzogennej L-argininy na funkcjonowanie mięśni u chorych [29,30].

Egzogenne tlenek azotu

W konsekwencji wymienionych pozytywnych efektów endogenego tlenu azotu celem badań w medycynie stała się analiza wpływu wdychanego (egzogenne) NO w chorobach płuc. Mimo, że uzyskane wyniki u osób dorosłych nie są jednoznaczne autorzy sugerują potrzebę ich kontynuacji [31-34]. Warto jednak podkreślić, że wdychanie egzogenne tlenu azotu przez noworodki z niedorozwojem płuc jest skuteczną metodą leczenia tych zmian chorobowych [35].

Prozdrowotne efekty stosowania preparatów z buraka

Biorąc pod uwagę wspomnianą wyżej zawartość azotanu i azotynu potasu w buraku i ich przekształcenie w NO oraz jego udział w diecie może mieć pozytywny wpływ na funkcjonowanie wielu tkanek i narządów. Należy jednak podkreślić, że wyniki badań w tej kwestii są niejednoznaczne. Mirmiran i wsp. [36] analizując wyniki wielu badań dotyczących wpływu preparatów z buraka na układ sercowo-naczyniowy wykazali, że spośród 18 prac wpływ pozytywny stwierdzono w 12 badaniach, natomiast w 6 nie wykazano żadnego efektu. Podobnie sprzeczne są wyniki badań oceniających wpływ preparatów z buraka u chorych z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POCHP) [37,38].

Liczne dane z piśmiennictwa wskazują także na wpływ preparatów z buraka na funkcjonowanie mięśni szkieletowych w czasie wysiłku wskutek obniżenia zużycia tlenu, stymulację syntezy ATP w mitochondriach oraz zwiększenie siły skurczu włókien szybko-kurczących [39]. Nowsze dane sugerują, że powstający ze składników diety tlenek azotu może być gromadzony i przechowywany w mięśniach, szczególnie we włóknach szybko kurczących się. Sugestie te oparte są na wynikach badań w których stosowano wielodniową suplementację preparatami z buraka w porównaniu ze wspomaganiem jednorazowym [40]. Jednocześnie biorąc pod uwagę wpływ preparatów z buraka na funkcjonowanie układu krążenia sugeruje się ich wpływ na funkcjonowanie wielu tkanek i narządów (np. nerek wątroby czy trzustki) [41,42].

Inne aktywne biologicznie składniki buraka

Warto zwrócić uwagę, że burak czerwony jest bardzo bogatym źródłem wielu innych biologicznie aktywnych związków takich jak związki fenolowe (flawonoidy, kwasy fenolowe i amidy fenoli), karotenoidy, kwas askorbinowy oraz betalainy. Ta ostatnia grupa składa się z betaksantyn i betacjanin, a betacjaniny są odpowiedzialne za charakterystyczną barwę buraka [43]. Ponadto dobrze udowodnione są antyoksydacyjne i przeciwzapalne właściwości betalain [44,45].

Jednocześnie należy podkreślić, że zagadnienia dotyczące wzajemnych zależności potencjału antyoksydacyjnego i stresu oksydacyjnego w wysiłku fizycznym są od wielu lat przedmiotem badań. Sugeruje się, że wysiłki jednorazowe o wysokiej intensywności są przyczyną zwiększonej produkcji wolnych rodników, w przeciwieństwie do regularnej aktywności fizycznej zwiększającej potencjał antyoksydacyjny organizmu [46-48]. W konsekwencji betalainy zawarte w buraku mogą być skuteczne jako antyoksydanty zarówno w wysiłkach o wysokiej intensywności, jak i w przypadku regularnej aktywności fizycznej.

Przedstawione powyżej dane sugerują, że preparaty z buraka mogą pozytywnie wpływać na różne aspekty wydolności fizycznej.

Preparaty z buraka a wydolność fizyczna

Wysiłki o charakterze siłowym

Dane z piśmiennictwa dotyczące wpływu preparatów z buraka na siłę mięśni szkieletowych nie są jednoznaczne. U młodych mężczyzn Papadopoulos et al. [49] wykazali pozytywny wpływ jednorazowego podania soku z buraka na wyniki testu oceniającego siłę mięśni dłoni. Podobnie Ranchal-Sanchez i wsp. [50] oraz Fernandez-Rodriguez i wsp. [51] oraz San Juan i wsp. [52] stwierdzili korzystny wpływ soku z buraka na wyniki testów oceniających siłę mięśni

zarówno w wysiłkach koncentrycznych jak i ekscentrycznych. Natomiast u mężczyzn aktywnych rekreacyjnie [Jonvik i wsp. [53] nie wykazali żadnego wpływu preparatu z buraka na wyniki wyskoku dosiężnego. Interesujących danych dostarczają wyniki badań Vitti i wsp. [54] oraz Oliveiry i wsp. [55] wskazujące, że preparaty z buraka istotnie zmniejszają uszkodzenie mięśni po wysiłkach ekscentrycznych oraz przyspieszają powrót siły mięśniowej po wysiłku oceniającym siłę uścisku dłoni.

Wysiłki dynamiczne o różnym czasie trwania

Bailey i wsp. [56] stwierdzili, że stosowanie soku z buraka istotnie obniża koszt energetyczny wysiłku oceniany na podstawie poboru tlenu zarówno w wysiłku umiarkowanym jak i w wysiłku o wysokiej intensywności. Pozytywny wpływ suplementacji preparatem z buraka wykazano także u pływaków, u których stwierdzono występowanie progu przemian beztlenowych przy wyższych obciążeniach w czasie testów na basenie [57]. W innych badaniach wykazano, że suplementacja poprawia wynik testu laboratoryjnego na dystansie 2000 m u wioślarzy [58]. Natomiast Clifford i wsp. [59] nie wykazali wpływu soku z buraka na wyniki powtarzanych biegów krótkotrwałych. Jednocześnie w obszernej pracy przeglądowej poświęconej analizie wpływu soku z buraka na różne parametry wydolności fizycznej w powtarzanych wysiłkach krótkotrwałych oraz w wysiłkach do odmowy Dominguez i wsp. [60] wykazali, że pozytywny wpływ wspomagania zaobserwowano tylko w 5 z 9 prac poddanych analizie. Warto także podkreślić, że autorzy analizowali wyłącznie badania z zastosowaniem podwójnej ślepej – czyli metody obowiązującej w ocenie efektów metabolicznych substancji egzogennych (leków, ale także suplementów diety).

Wysiłki długotrwałe

Analiza wpływu jednorazowego spożycia soku z buraka o znanej zawartości azotanu potasu – źródła NO przez zawodników uprawiających kolarstwo wykazała, że moc rozwijana w czasie wysiłku nie różniła się istotnie w porównaniu z osobami, które otrzymały placebo [61]. Podobnie u wysokiej klasy biegaczy na dystansie 1500 m nie wykazano wpływu jednorazowego i wielokrotnego podawania soku z buraka na zużycie tlenu w czasie wysiłków na bieżni o intensywności na poziomie 50%, 65% i 80% maksymalnego poboru tlenu [62]. Brak wpływu soku z buraka na wskaźniki fizjologiczne wykazano także u mężczyzn aktywnych fizycznie, którzy przez 60 min. wykonywali wysiłek o intensywności 60 % na cykloergometrze oraz u kobiet uprawiających siatkówkę na poziomie akademickim [63,64]. Natomiast w obszernym opracowaniu przeglądowym Calvo i wsp. [65] porównując wyniki z lat 2010-2019 dotyczące wpływu preparatów

dostarczających tlenu azotu na różne cechy wydolności wysokiej klasy kolarzy wykazał, że spośród 27 badań pozytywne efekty suplementacji wykazano tylko w 8, co stanowi niewielki procent (29,63 %) wszystkich analizowanych badań.

Betalainy a wysiłek fizyczny

Dane z piśmiennictwa oceniające wpływ betalain na wydolność fizyczną są znacznie mniej liczne w porównaniu z danymi dotyczącymi roli azotanów/ azotynów oraz tlenu azotu. W badaniach wykonanych u biegaczy stwierdzono, że suplementacja preparatem bogatym w betalainy zmniejsza uszkodzenie mięśni po intensywnym wysiłku (30 min. biegu na bieżni z intensywnością 70 % maksymalnego poboru tlenu, a następnie bieg na dystansie 5 km), a także skraca czas biegu [66]. Natomiast u zawodników uprawiających wyczynowo triathlon stosowanie preparatów bogatych w betalainy przez 6 dni powodowało skrócenie czasu biegu na dystansie 10 km poprzedzonego 40 min wysiłkiem na cykloergometrze o intensywności 70 procent maksymalnego poboru tlenu [67], choć inni autorzy nie potwierdzili pozytywnego wpływu preparatu bogatego w betalainy na moc w czasie 30 min wysiłku na cykloergometrze [68].

W oparciu o cytowane wyżej dane należy podkreślić znaczne zróżnicowanie wyników dotyczących skutków stosowania preparatów z buraka na wydolność fizyczną u ludzi. Przyczyny rozbieżności wyników są zróżnicowane i dotyczą jakości buraków stosowanych do pozyskania suplementów, która jest uzależniona zarówno od genotypu rośliny, części korzenia z której pozyskiwane są preparaty, warunków uprawy jak i sposobu uzyskiwania preparatów [69-72].

Warto zauważyć, że o ile jakość preparatów z buraka stosowanych jako barwnik produktów spożywczych (symbol E162) jest prawnie uregulowana, o tyle brak jest standardowej metody uzyskiwania preparatów z buraka (soku czy suszu) jako suplementów diety [73]. Ponadto w wytycznych Międzynarodowego Komitetu Olimpijskiego dotyczących suplementacji preparaty z buraka nie są wymieniane jako zalecane u sportowców wyczynowych [74].

Nadmiar NO w organizmie

W analizie danych dotyczących wpływu preparatów z buraka na przemiany metaboliczne należy także wziąć pod uwagę możliwość wystąpienia objawów niekorzystnych w przypadku stosowania wysokich dawek suplementów [75]. W konsekwencji stymulowana jest synteza nitrozoamin – związków stymulujących proces karcinogenezy. Jednocześnie wszystkie powyższe uwagi dotyczące tak pozytywnych jak i negatywnych efektów preparatów z buraka są szczególnie istotne dla polskiej populacji ze względu na wyraźną nadkonsumpcję suplementów diety [76].

Piśmiennictwo/References

- Hemler EC, Hu FB. Plant-based diets for personal and planetary health. *Adv Nutr* 2019; 10; (Suppl 4): S278 – 83.
- Che Ch-T, Zhang H. Plant natural products for human health. *Int J Mol Sci* 2019; 20: 830. doi:10.3390/ijms20040830.
- Kokoska L, Kloucek P, Leuner O et al. Plant-derived products as antibacterial and antifungal agents in human health care. *Curr Med Chem* 2019; 26 : 5501-41.
- Ivanisová E, Tokár M, Mocko K. et al. Antioxidant activity of selected plant products. *J Microbiol Biotechnol Food Sci* 2012; 2: 1692-703.
- Burak. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Burak>. Dostęp 27 sierpień 2020 r.
- Burak zwyczajny. https://pl.wikipedia.org/wiki/Burak_zwyczajny. Dostęp 27 sierpień 2020 r.
- Burak ćwikłowy. https://pl.wikipedia.org/wiki/Burak_ćwikłowy. Dostęp 27 sierpień 2020 r.
- Bołonkowska O, Pietrasiuk A, Syłkowska-Baranek K. Roślinne związki barwne. Ich właściwości biologiczne oraz możliwości wytwarzania w kulturach *in vitro*. *Biul Wydz Farm WUM* 2011; 1:1-27.
- Timoneda A, Sheehan H, Feng T et al. Redirecting primary metabolism to boost production of tyrosine-derived specialized metabolites in *Planta*. *Sci Rep* 2018; 8: 17256. doi: 10.1038/s41598-018.33742-y.
- Teixeira da Silva DV, Santos Baião, de Oliveira Silva F et al. Betain, a natural food additive: stability, bioavailability, antioxidant and preservative ability assessment. *Molecules* 2019; 24: 458. doi:10.3390/molecules24030458.
- Gandia-Herrero F, Escribano J, Garcia-Carmona F. Biological activities of plant pigments betalains. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2016; 56: 937-45.
- Costas-Insua C, Merino-Garcia J, Aicart-Ramos C et al. Subcellular targeting of nitric oxide synthases mediated by their N-terminal motifs. *Adv Protein Chem Struct Biol* 2018; 111: 165-95.
- Suhr F, Gehlert S, Grau M et al. Skeletal muscle function during exercise – fine tuning of diverse subsystem by nitric oxide. *Int J Mol Sci* 2013; 14: 7109-39. doi: 10.3390/ijms14047109.
- Roy A, Saquib U, Wary K et al. Macrophage neuronal nitric oxide synthase (NOS1) controls the inflammatory response and foam cell formation in atherosclerosis. *Int Immunopharmacol* 2020; 83: 106382. doi: 10.1016/j.intimp.2020.108382. 2020 Jun;
- Lind M, Hayes A, Caprnda M et al. Inducible nitric oxide synthase: Good or bad. *Biomed Pharmacother* 2017; 93: 370-5.
- Viaro F, Nobre F, Evora PRB. Expression of nitric oxide synthase in the pathophysiology of cardiovascular disease. *Arq Bras Cardiol* 2000; 74: 380-93.
- Lundberg JO, Weitzberg E. NO generation and its role in vascular control. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2005; 25: 915-22.
- Butler AR, Feelisch M. Therapeutic use of inorganic nitrite and nitrate from the past to the future. *Circulation* 2008; 317: 2151-59.
- Oman SA, Webb AJ, Lundberg JO et al. Therapeutic effects of inorganic nitrate and nitrite in cardiovascular and metabolic diseases. *J Intern Med* 2016; 279: 315-36.
- Ma L, Hu L, Feng X et al. Nitrate and in health and disease. *Aging and Disease* 2018; 5:938-45.
- Wang H, Wang AX, Aylor K et al. Nitric oxide directly promotes vascular endothelial insulin transport. *Diabetes* 2013; 62: 4030-42.
- Sansbury BE, Hill BG. Regulation of obesity and insulin resistance by nitric oxide *Free Rad Biol Med* 2014; 73: 383-99.
- Zhang X, Hiam Yd, Hong Y-H et al. Nitric oxide is required for the insulin sensitizing effects of contraction in mouse skeletal muscle. *J Physiol* 2017; 595: 7427-39.
- Williams IM, Mason McClatchey P, Bracy DP et al. Acute nitric oxide synthase inhibition accelerates transendothelial insulin efflux *in vitro*. *Diabetes* 2018; 67: 1962-75.
- Tengan CH, Silva Rodriguez G, Oliveira Godinho B. Nitric oxide in skeletal muscle: role on mitochondrial biogenesis and function. *Int J Mol Sci* 2012; 13: 17160-84.
- Moon Y, Baike JE, Madorma D et al. Nitric oxide regulates skeletal muscle fatigue, fiber type, microtubule organization, and mitochondrial ATP synthesis efficiency through cGMP-dependent mechanisms. *Antioxid Redox Signal* 2017; 26: 966-85.
- Kobayashi J, Uchida H, Kofuji A et al. Molecular regulation of skeletal muscle mass and the contribution of nitric oxide: a review. *FASEB Bioadvances* 2019; 1: 363-74.
- Buono R, Vantaggiato Ch, Pisa V et al. Nitric oxide sustains long-term skeletal muscle regeneration by regulating fate of satellite cells via signaling pathways requiring Vangl2 and cyclic GMP. *Stem Cells* 2012; 30: 197-209.
- Gozdanovic Z, Gosztonyi G, Gossrau R. Nitric oxide synthase I (NOS 1) is deficient in the sarcolemma of striated muscle fibres in patients with Duchenne muscular dystrophy, suggesting an association with dystrophin. *Acta Histochem* 1966; 98: 61-9.
- Hafner P, Bonati U, Erne B et al. Improved muscle function in Duchenne muscular dystrophy through L-arginine and metformin: an investigator-initiated, open-label, single-center, proof-of-concept-study. *PLOS One* 2016. doi: 10.1371/journal.pone.0147634.
- Hajian B, De Backer J, Van Holsbeke C et al. Pulmonary vascular effects of pulsed inhaled nitric oxide in COPD patients with pulmonary hypertension. *Int J COPD* 2016; 11: 1533-41.
- Yu B, Ichinose F, Bloch DB et al. Inhaled nitric oxide. *Br J Pharmacol* 2019; 176:246-55.
- Kline JA, Puscharich MA, Jones AE et al. Inhaled nitric oxide to treat intermediate risk pulmonary embolism. A multi-center randomized controlled trial. *Nitric Oxide* 2019; 84: 60-68.
- Goldbart A, Golan-Tripta I, Pillar G et al. Inhaled nitric oxide therapy in acute bronchiolitis: a multicenter randomized clinical trial. *Sci Rep* 2020; 10: 9605. doi. org/10.1038/s41598-020-66433-8. 2020 Jun 15
- Sokol GM, Ganesh Konduri G, Van Meurs KP. Inhaled nitric oxide therapy for pulmonary disorders of the term and pre-term infant. *Semin Perinatol* 2016; 40: 356-69.
- Mirmiran P, Haushalsadat A, Gaeini Z et al. Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardiometabolic disease. *Nutr Metab* 2020; 17:3. doi.org/10.1186/s12986-019-0421-0. 07 January 2020
- Leong P, Basham JE, Yong T et al. A double blind randomized placebo control crossover trial on the effect of dietary nitrate supplementation on exercise tolerance in stable moderate chronic obstructive pulmonary disease. *Pulmonary Med* 2015; 15: 52. doi: 10.1186/s12890-015-0057-4.
- Berry MJ, Justus NW, Hauser JI et al. Dietary nitrate supplementation improves exercise performance and decreases blood pressure in COPD patients. *Nitric Oxide* 2015; 48: 22-30.
- Affourtit Ch, Biley SJ, Jones AM et al. On the mechanism by which dietary nitrate improves human muscle function. *Front Physiol* 2015; 6: 211. doi: 10.3389/fphys.2015.00211.
- Nyakayiru J, van Loon LJC, Verdijk LB. Could intramuscular storage of dietary nitrate contribute to its ergogenic effect? A mini review. *Free Radic Biol Med* 2010; 152: 295-300.
- Shephard AI, Wilkerson DP, Fulford J et al. Effects of nitrate supplementation on hepatic blood flow and glucose homeostasis. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 2016; 311: G356-64.
- Ahmad A, Dempsey SK, Daneva Z et al. Role of nitric oxide in the cardiovascular and renal systems. *Int J Mol Sci* 2018; 19: 2605. doi: 10.3390/ijms19092605.
- Masih D, Singh N, Singh A. Red beetroot: A source of natural colorant and antioxidant: a review. *J Pharmacogn Phytother* 2019; 8: 162-6.
- Slimen IB, Najjar T, Abderrabba M. Chemical and antioxidant properties of betalains. *J Agric Food Chem* 2017; 65: 625-89.
- Rahimi P, Abedimanesh S, Mesbah-Namin SA. Betalains, the nature-inspired pigments in health and disease. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2018; 59: 2449-78.;
- Seifskishahr F, Damirichi A, Farjaminezhad M et al. Physical training status determinates oxidative stress and redox changes in response to an acute aerobic exercise. *Biochem Res Int* 2016; 9. doi: dx.doi.org/101155/2016/3757623.

47. Carraro E, Schilirò T, Biorci F et al. Physical activity, lifestyle factors and oxidative stress in middle age healthy subjects. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15: 1152. doi: 10.3390/ijerph15061152.
48. Magherini F, Fiaschi T, Marzocchi R et al. Oxidative stress in exercise training: the involvement of inflammation and peripheral signals. *Free Radic Res* 2019; 53: 1155-65.
49. Papadopoulos S, Dipla K, Triantafyllou A et al. Beetroot increases muscle performance and oxygenation during sustained isometric exercise but does not alter muscle oxidative efficiency and microvascular reactivity at rest. *J Am Coll Nutr* 2018; 37: 361-72.
50. Ranchal-Sanchez A, Diaz-Bernier VM, De La Florida CA et al. Acute effects of beetroot juice supplements on resistance training: a randomized double-blind crossover study. *Nutrients* 2020; 12:1912. doi: 10.3390/nu12071912. 24 June 2020
51. Fernández-Rodríguez A, Castillo D, Raya-González J et al. Beetroot juice supplementation increases concentric and eccentric muscle power output. Original investigation. *J Sci Med Sport* 2020. doi: doi.org/10.1016/j.jsams.2020.05.018 2020 May
52. San Juan AE, Dominguez R, Lago-Rodríguez A et al. Effects of dietary nitrate supplementation on weightlifting exercise performance in healthy adults: a systemic review. *Nutrients* 2020; 12: 2227. doi: 103390/nu12082227. Published: 26 July 2020
53. Jonvik KL, Hoogervorst D, Peelen HB et al. The impact of beetroot juice supplementation on muscular endurance, maximal strength and countermovement jump performance. *Eur J Sport Sci* 2020. doi: doi.org/10.1080/1746139.2020.1788644. Published online: 21 Jul 2020
54. Vitti S, Bruneau Jr M, Leyshon K et al. The effects of betala-in-rich concentrate supplementation in attenuating muscle damage following eccentric exercise. *J Human Sport & Exerc* doi: 10.14198/jhse.2021.161.10
55. Vieira de Oliveira G, Diniz do Nascimento LA, Volina-Souza M et al. A single dose of beetroot-based gel does not improve muscle oxygenation parameters, but speed up handgrip isometric strength recovery in recreational combat sports athletes. *Biol Sport* 2020; 37: 93-99. Online publish date: 2020-02-07
56. Bailey SJ, Winyard P, Vanhatalo A et al. Dietary nitrate supplementation reduced O_2 cost of low intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol* 2009; 107: 1144-55.
57. Pinna M, Ruberto S, Milla R et al. Effect of beetroot supplementation on aerobic response during swimming. *Nutrients* 2014; 6: 605-15.
58. Hoon MW, Jones AM, Johnson NA et al. The effect of variable doses on inorganic nitrate-rich beetroot juice on simulated 2000-m rowing performance in trained athletes. *Int J Sport Physiol Perform* 2014; 9: 615-20.
59. Clifford T, Bernitzen B, Davison GW et al. Effects of beetroot juice on recovery of muscle function and performance between bouts of repeated sprint exercise. *Nutrients* 2016; 8: 506. doi: 103390/nu8080506.
60. Dominguez R, Maté-Muñoz JL, Cuemca E et al. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *J Intern Soc Sport Nutr* 2018; 15:2. doi:10.1186/s12970-017-0204-9.
61. Cermak NM, Ros P, Stinkens R et al. No improvement in endurance performance after a single dose of beetroot juice. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2012; 22: 470-8.
62. Boorsma RK, Whitfield J, Spriet LL. Beetroot juice supplementation does not improve performance of elite 1500-m runners. *Med Sci Sport Exerc* 2014; 46: 2326 – 34.
63. Betteridge S, Bescòs R, Martorell M et al. No effect of acute beetroot juice ingestion on oxygen consumption, glucose kinetics, or skeletal muscle metabolism during submaximal exercise in males. *J Appl Physiol* 2016; 120: 391-8.
64. Fiddler R, Linder N, Buckenmeyer P. No effect of acute beetroot juice supplementation on moderate and vigorous intensity aerobic exercise. *J Exerc Physiol* 2018; 21: 1-8.
65. Calvo JL, Alorda-Capo F, Pareja-Galeano H. Influence of nitrate supplementation in endurance cyclic sports performance: a systemic review. *Nutrients* 2020; 12: 1796. doi: 10.3390/nu12061796.
66. Van Hoorebecke JS, Trias CO, Davis BA et al. Betalain-rich concentrate supplementation improves exercise performance in competitive runners. *Sports* 2016; 4: 40. doi: 10.3390/sport4030040.
67. Montenegro CF, Kwong DA, Minow ZA et al. Betalain-rich concentrate supplementation improves exercise performance and recovery in competitive triathletes. *Appl Physiol Nutr Metab* 2017; 42: 166-72.
68. Mumford PW, Kephart WC, Romero MA et al. Effect of 1-week betalain-rich beetroot concentrate supplementation on cyclic performance and select physiological parameters. *Eur J Appl Physiol* 2018; 118: 2465-76.
69. Sawicki T, Bączek N, Wiczowski W. Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *J Funct Foods* 2016; 27 : 249-61.
70. Paculli M, Medina-Mez IG, Chiavaro E et al. Impact of thermal and high pressure processing on quality parameters of beetroot (*Beta vulgaris*). *Food Sci Technol* 2016; 68: 98-104.
71. Wiczowski W, Romaszko E, Szawara-Nowak D et al. The impact of the Martin of red beet products and interindividual variability on betacyanins bioavailability in humans. *Food Res Int* 2018; 108: 530-8.
72. Sawicki T, Wiczowski W. The effects of boiling and fermentation on betalain profiles and antioxidant capacities of red beetroot products. *Food Chem* 2018; 259: 292-303.
73. European Food Safety Authority. Scientific opinion on the re-evaluating of beetroot red (E 162) as a food additive. 2015; 13: 1-56.
74. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J et al. IOC consensus statement : dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med* 2018; 52: 439-55.
75. Zamani H, de Joode MEJR, Hosein IJ et al. The benefits and risk of beetroot juice consumption: a systematic review. *Crit Rev Food Sci* 2020. doi: org/10.1080/10408398.2020.1746529.
76. Dziedziński M, Goryńska-Goldman E, Kobus-Cisowska J et al. Problem nadkonsumpcji suplementów diety przez Polaków. *Intercathedra* 2019; 3: 235-42.

Adres do korespondencji / Address for correspondence:

Grażyna Lutosławska
Akademia Wychowania Fizycznego
00-809 Warszawa
Marymoncka 34
e-mail: grazyna.lutoslawska@awf.edu.pl