

Surowce roślinne wspomagające wydolność sportową **Plant-Derived Ergogenic Support for Sports Performance**

Sebastian Such^{1,2}, Paweł Radkowski^{3,4,5}

¹ Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, Rynek 1, 38-400 Krosno

² Uniwersytet Rzeszowski, al. Tadeusza Rejtana 16C, 35-959 Rzeszów,
e-mail: fenikstvit@gmail.com

³ Katedra Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Wydział Lekarski, Collegium Medicum
Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, ul. Warszawska 30, 10-082 Olsztyn

⁴ Oddział Kliniczny Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Wojewódzki Szpital Specjalistyczny
w Olsztynie, ul. Żołnierska 18, 10-561 Olsztyn

⁵ Klinika-Hospital zum Heiligen Geist, Am Hospital 6, 34560 Fritzlar, Niemcy

Słowa kluczowe: burak, adaptogeny, wydolność, regeneracja, sport

Key words: beetroot, adaptogens, endurance, recovery, sports performance

Streszczenie

Rosnące zainteresowanie naturalnymi metodami wspomagania wydolności sportowej skłania do badań nad potencjałem surowców roślinnych w zakresie poprawy parametrów fizycznych sportowców. Niniejszy artykuł przedstawia przegląd aktualnych publikacji naukowych dotyczących wpływu wybranych substancji pochodzenia roślinnego na wydolność sportową. Szczególną uwagę poświęcono burakowi zwyczajnemu jako źródłu naturalnych azotanów zwiększających dostępność tlenu, adaptogenom, takim jak różeniec górski i ashwagandha, wpływającym na wytrzymałość i siłę, oraz mniej znanym roślinom o działaniu nootropowym. Przegląd dostępnych danych potwierdza, że wybrane surowce roślinne mogą stanowić bezpieczną i skuteczną alternatywę dla syntetycznych środków ergogenicznych, korzystnie wpływając na wydolność tlenową, siłę mięśniową, czas reakcji oraz procesy regeneracyjne. Rośliny te wykazują działanie pleiotropowe, łącząc właściwości antyoksydacyjne, przeciwzapalne i adaptogenne, co czyni je cennym elementem strategii optymalizacji wyników sportowych.

Summary

The growing interest in natural methods of enhancing athletic performance drives research into the potential of plant materials for improving physical parameters in athletes. This article presents a review of current scientific publications regarding the effects of selected plant-derived substances on athletic performance. Particular attention was paid to beetroot as a source of natural nitrates increasing nitric oxide availability, adaptogens such as *Rhodiola rosea* and ashwagandha affecting endurance and strength, and lesser-known plants with nootropic effects. A review of available data confirms that selected plant materials may constitute a safe and effective alternative to synthetic ergogenic aids, beneficially affecting aerobic capacity, muscle strength, reaction time, and recovery processes. These plants exhibit pleiotropic effects, combining antioxidant, anti-inflammatory, and adaptogenic properties, making them a valuable element in athletic performance optimization strategies.

Wprowadzenie

Dążenie do osiągnięcia optymalnej wydolności sportowej prowadzi do nieustannego poszukiwania bezpiecznych i skutecznych metod wspomagania organizmu sportowców [1]. W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie substancjami pochodzenia naturalnego jako alternatywą dla syntetycznych środków ergogenicznych [2–4]. Rośliny, dzięki bogatemu składowi fitochemicznemu, oferują szerokie spektrum bioaktywnych związków o potencjalnym działaniu wspomagającym wydolność fizyczną [5–7].

Współczesne badania naukowe potwierdzają, że różnorodne metabolity wtórne roślin, od fenoli i terpenów po alkaloidy, mogą modulować kluczowe parametry fizjologiczne wpływające na wydolność sportową [5, 8–10]. Substancje te działają poprzez różne mechanizmy, od poprawy dostarczania tlenu do pracujących mięśni, przez zwiększenie efektywności metabolizmu energetycznego, aż po wspomaganie procesów regeneracyjnych i redukcję stresu oksydacyjnego [10–13].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat wykorzystania wybranych surowców roślinnych w sporcie, ze szczególnym uwzględnieniem mechanizmów działania oraz dowodów klinicznych potwierdzających ich skuteczność.

Burak zwyczajny – naturalny prekursor tlenu azotu

Burak zwyczajny (łac. *Beta vulgaris* L.) zyskał uznanie jako jeden z najlepiej przebadanych surowców roślinnych wspomagających wydolność w dyscyplinach wytrzymałościowych [14–16]. Kluczową rolę odgrywają naturalne azotany (NO_3^-) zawarte w tym warzywie, które w organizmie ulegają konwersji do tlenu azotu (NO) [11, 17–18].

Mechanizm działania buraka zwyczajnego

Naturalne azotany z buraka zwyczajnego (NO_3^-) po spożyciu ulegają redukcji do azotynów (NO_2^-) w jamie ustnej za pośrednictwem bakterii, a następnie do tlenku azotu (NO) w kwaśnym środowisku żołądka oraz pod wpływem enzymów i warunkach hipoksji w tkankach [14, 18–19]. Zwiększona dostępność NO prowadzi do rozszerzenia naczyń krwionośnych, zwiększenia perfuzji mięśni oraz dostarczania tlenu, a tym samym składników odżywczych do pracujących mięśni [16]. Ponadto NO poprawia efektywność mitochondrialnej produkcji ATP poprzez obniżenie kosztu tlenowego wysiłku submaksymalnego [18]. Może również wspierać biogenezę mitochondriów, co przekłada się na poprawę gospodarki energetycznej komórek mięśniowych oraz zmniejszenie zapotrzebowania na tlen podczas wysiłku tlenowego [11, 14, 20].

Przegląd badań wskazuje, że suplementacja sokiem z buraka poprawia wydolność wysiłkową, zmniejsza zużycie tlenu oraz zwiększa natlenienie mięśni podczas ćwiczeń [21]. W badaniu z udziałem 18 sportsmenek suplementacja koncentratem soku z buraka (50 ml / 6,2 mmol NO_3^-), spożywanym 2,5 godziny przed testem wysiłkowym z analizą oddechową (CPET), wykazała znaczącą poprawę wentylacji minutowej, współczynników oddechowych oraz maksymalnego poboru tlenu o 4,82% [15, 22–23].

Tygodniowa suplementacja sokiem z buraka (70 ml / 6,5 mmol NO_3^-) u 80 triathlonistów zimowych znacząco zmniejszyła zapotrzebowanie organizmu sportowca na tlen, wartość współczynnika wymiany oddechowej oraz poziom kwasu mlekowego podczas biegu z dużą prędkością w porównaniu z okresem przed rozpoczęciem suplementacji sokiem z buraka, przy tej samej intensywności wysiłku [17]. Dodatkowo zaobserwowano wydłużenie czasu do wyczerpania podczas testów na ergometrze rowerowym [17].

Różeniec górski i jego działanie ergogeniczne

Różeniec górski (łac. *Rhodiola rosea* L.) jest rośliną adaptogenną o wielowiekowej tradycji stosowania w medycynie ludowej w celu zwiększenia wydolności fizycznej i umysłowej, zmniejszenia zmęczenia oraz poprawy odporności na stres [24–26]. Do jego głównych składników aktywnych należą rozawiny oraz salidrozyd, wykazujące właściwości antyoksydacyjne i przeciwzapalne [27].

Badanie z udziałem 27 osób poddanych treningowi siłowemu wykazało znaczące zwiększenie maksymalnej siły mięśniowej zarówno w wyciskaniu na ławce ($72,2 \pm 41,1$ kg vs $69,6 \pm 39,7$ kg), jak i wyciskaniu na suwnicy (prasio nóg) ($350,1 \pm 136,1$ kg vs $314,4 \pm 113,5$ kg) po tygodniowej suplementacji różencem górskim [24–25]. Wyższe dawki ekstraktu z różenca (1,5 g/dzień) były bardziej skuteczne niż niższe dawki (200 mg/dzień) [24–25].

Krótkotrwała suplementacja różencem (200 mg) zwiększyła czas do wyczerpania z $16,8 \pm 0,7$ min do $17,2 \pm 0,8$ min, jednocześnie podnosząc VO_2 peak z $50,9 \pm 1,8$ ml/min/kg do $52,9 \pm 2,7$ ml/min/kg i VCO_2 peak (*Peak Carbon Dioxide Production*) z $60 \pm 2,3$ ml/min/kg do $63,5 \pm 2,7$ ml/min/kg [28]. Miesięczna suplementacja nie wykazała dodatkowych korzyści w porównaniu z suplementacją krótkotrwałą [28].

Istnieją doniesienia, które wskazują na synergiczne działanie jednoczesnej suplementacji ekstraktem z różenca górskiego i kofeiną na wydolność fizyczną [29–30]. U sportowców wytrzymałościowych zastosowanie takiej suplementacji poprawiło wartość VO_{2max} (pułapu tlenowego), czyli maksymalną zdolność organizmu do poboru, transportu i wykorzystania tlenu podczas intensywnego wysiłku, wydłużyło dystans biegu na 5 km oraz zwiększyło wysokość skoku [30].

Witania ospała i jej mechanizm działania

Witania ospała, zwana również ashwagandhą (łac. *Withania somnifera* (L.) Dunal), to jedna z najlepiej przebadanych roślin adaptogennych w kontekście sportowym [31–33]. Metaanaliza badań wykazała, że suplementacja 300–500 mg wodnego ekstraktu z korzenia przez 8–12 tygodni znacząco zwiększa wartość VO_{2max} o 4,09 ml/min/kg [31, 33].

Ashwagandha wpływa na wydolność poprzez poprawę metabolizmu energetycznego, redukcję stresu oksydacyjnego wywołanego wysiłkiem oraz modulację poziomu hormonów, tj. testosteronu i kortyzolu [34–37]. Związki bioaktywne, w tym steroidowe laktony (witanolidy) i alkaloidy, są odpowiedzialne za większość prozdrowotnych efektów tej rośliny [38–39]. Ashwagandha wykazuje właściwości przeciwzapalne, immunomodulacyjne i kardioochronne [34].

Badania kliniczne jednoznacznie wskazują na pozytywny wpływ ashwagandhy na parametry wytrzymałościowe [40]. Metaanaliza kilku badań z udziałem 162 uczestników wykazała znaczące zwiększenie wartości VO_{2max} o 3,00 ml/min/kg, pomimo wysokiej heterogenności wyników [40].

W randomizowanym badaniu z udziałem 50 sportowców suplementacja ekstraktem KSM-66 z ashwagandhy przez 12 tygodni zwiększyła wartość VO_{2max} o 5,67 ml/kg/min w porównaniu z 1,86 ml/kg/min w grupie placebo [37]. Dodatkowo zaobserwowano poprawę we wszystkich domenach jakości życia (QOL), obejmujących zdrowie fizyczne, funkcjonowanie psychologiczne, relacje społeczne oraz aspekty środowiskowe [37].

Badanie z udziałem 18 młodych piłkarzy wykazało, że tygodniowa suplementacja ekstraktem z ashwagandhy (w ilości 300 mg dziennie) znacząco zmniejszyła szczytową akumulację mleczanów oraz zwiększyła wartość VO_{2max} , nie wpływając jednocześnie na prędkość biegu ani zwinność [41].

Witania ospała wykazuje również znaczący wpływ na parametry siłowe oraz kompozycję ciała [42–43]. W ośmiotygodniowym badaniu z udziałem 57 mężczyzn z krótkim stażem treningu siłowego suplementacja ashwagandhy (300 mg dwa razy dziennie) spowodowała istotnie większy wzrost siły w porównaniu z placebo, zarówno w wyciskaniu sztangi na ławce (46 kg vs 26,4 kg), jak i w prostowaniu nóg na maszynie (14,5 kg vs 9,8 kg) [42]. Badanie wykazało również większy przyrost masy mięśniowej oraz lepszą regenerację mięśni, ocenianą na podstawie poziomu kinazy kreatynowej [42].

Żeń-szeń właściwy i jego wpływ na wydolność

Żeń-szeń właściwy (łac. *Panax ginseng* C.A. Meyer), szczególnie odmiany pochodzące z gór Changbai, wykazuje udokumentowane właściwości ergogeniczne [44–45]. Jego głównym składnikiem aktywnym jest ginsenozyd Ro [44].

Krótkotrwała suplementacja (200 mg ekstraktu z żeń-szenia) zwiększyła czas wykonywania wysiłku przy określonej intensywności z $92,42 \pm 1,24$ min do $96,17 \pm 1,19$ min u zdrowych mężczyzn [46]. Dodatkowo zaobserwowano obniżenie częstości akcji serca oraz zmniejszenie oceny odczuwanego wysiłku w momencie wyczerpania [46].

Połączenie ekstraktu z żeń-szenia właściwego (200 mg) z kofeiną (5 mg/kg x mc) poprawiło czas do wyczerpania u biegaczy przystosowanych do gorącego i wilgotnego klimatu, mimo że sam ekstrakt z żeń-szenia nie wykazał takiego efektu [47]. Dodatkowo podczas ćwiczeń nie odnotowano różnic w częstości akcji serca, temperaturze głębokiej ciała, temperaturze skóry ani ocenie odczuwanego wysiłku, co sugeruje, że główny efekt ergogeniczny wynikał z poprawy tolerancji wysiłkowej dzięki synergii kofeiny i ekstraktu z żeń-szenia [47].

Mechanizmy i skuteczność pieprzycy peruwiańskiej

Pieprzycza peruwiańska, zwana również macą (łac. *Lepidium meyenii* Walp.), jest rośliną z rodziny kapustowatych o udokumentowanych właściwościach ergogenicznych [48–49]. Metaanaliza 21 badań wykazała istotny wpływ suplementacji macą na wszystkie analizowane parametry wydolności fizycznej: test pływanca wymuszonego (FST), test wirującego pręta (Rota-Rod Test, RRT), test siły chwytu (Grip Strength Test, GST), poziom kwasu mlekowego (LA) oraz stężenie kwasu mlekowego we krwi (BLA) [48].

Główne składniki bioaktywne macy stanowią makamidy, które wykazują działanie zależne od dawki. Należy jednak pamiętać, że podobnie jak wcześniej omawiane rośliny maca wykazuje również silne właściwości adaptogenne, co może istotnie

wpływać na parametry wydolnościowe [48]. Analiza wpływu makamidów na stres oksydacyjny wykazała, że wyższe dawki macy wywierają silniejszy efekt antyoksydacyjny, szczególnie na aktywność enzymów antyoksydacyjnych, tj. peroksydazy glutationowej i dysmutazy ponadtlenkowej [48]. Badanie z udziałem 20 zdrowych mężczyzn wykazało, że 12-tygodniowa suplementacja korzystnie wpływała na redukcję stresu oksydacyjnego oraz potencjalnie zmniejszała uszkodzenie mięśni po wyczerpującym wysiłku wytrzymałościowym [50].

Maca zawiera również glukozynolan benzylu, znany jako glukotropaeolina, który poprawia wydolność wytrzymałościową poprzez zapobieganie wyczerpywaniu zapasów glikogenu [49]. W badaniu z udziałem 60 kobiet miesięczna suplementacja ekstraktem z macy istotnie zmniejszyła odczuwane zmęczenie, szczególnie u kobiet poniżej 45. roku życia [49].

Herbata chińska i katechiny

Herbata chińska (łac. *Camellia sinensis* (L.) Kuntze), znana jako zielona herbata, jest bogatym źródłem polifenoli, przede wszystkim katechin, spośród których najważniejszym biologicznie aktywnym związkiem jest galusan epigallokatechiny (EGCG). EGCG odpowiada za większość prozdrowotnych efektów zielonej herbaty, w tym za działanie antyoksydacyjne i przeciwzapalne oraz wpływ na metabolizm energetyczny [51].

W kontekście wysiłku fizycznego EGCG poprawia zdolność tkanek do poboru tlenu, co prowadzi do wzrostu $VO_2\max$ bez zmiany rzutu serca [51]. Ponadto EGCG aktywuje szlaki sygnałowe prowadzące do zwiększonej ekspresji PGC-1 α , co sprzyja powstawaniu nowych mitochondriów i poprawie wydolności oksydacyjnej mięśni [52]. Dodatkowo poprzez hamowanie enzymu COMT EGCG wydłuża działanie katecholamin, co przyspiesza mobilizację i spalanie tłuszczów podczas wysiłku [53].

W randomizowanym badaniu powtórzeń krzyżowych u 19 zdrowych dorosłych (średni wiek: 26 ± 2 lat) przyjęcie 135 mg EGCG dziennie przez tydzień zwiększyło $VO_2\max$ z $3,123 \pm 0,187$ L/min do $3,259 \pm 0,196$ L/min, przy niezmiennym maksymalnym rzucie serca (180 ± 3 uderzeń/min) [51]. Zmiana ta sugeruje wzrost różnicy tętniczko-żylną oraz lepsze wykorzystanie tlenu przez mięśnie bez zmiany objętości wyrzutowej serca [51].

Cytryniec chiński w sporcie

Cytryniec chiński (łac. *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.) to roślina o bogatym składzie fitochemicznym, zawierająca lignany, kwasy organiczne, flawonoidy i terpenoidy [54]. Choć badania kliniczne dotyczące jej zastosowania sportowego są

ograniczone, dane przedkliniczne oraz badania nad formułą Saengmaeksan wskazują na potencjalne korzyści dla metabolizmu energetycznego, działania antyoksydacyjnego oraz regulacji gospodarki glukozowej i lipidowej.

Lignany z cytryńca, tj. schizandryna i gomizyny, wykazują silne właściwości antyoksydacyjne poprzez neutralizację wolnych rodników i ochronę mitochondriów przed stresem oksydacyjnym [55]. Kwasy organiczne i flawonoidy obecne w *S. chinensis* mogą modulować szlaki sygnałowe odpowiedzialne za homeostazę glukozy, zwiększając wychwyt glukozy przez komórki mięśniowe oraz wspierając syntezę glikogenu [56]. Terpenoidy, w tym schisantren i wuweizyn, wpływają na zwiększenie aktywności enzymów mitochondrialnych, tj. syntazy ATP, a tym samym na poprawę efektywności produkcji ATP podczas wysiłku submaksymalnego [57].

W badaniu farmakologicznym przeprowadzonym z wykorzystaniem Saengmaeksan, tradycyjnej receptury w postaci naparu, złożonej z 500 mg cytryńca chińskiego (łac. *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.), 200 mg żeń-szenia właściwego (łac. *Panax ginseng* C.A. Meyer) i 300 mg liriopie szafirkowatej (łac. *Liriope muscari* (Decne.) L.H. Bailey), odnotowano wzrost wartości VO_2 podczas wysiłku submaksymalnego o 7,3% oraz obniżenie stężenia mleczanów we krwi po 30-minutowym biegu na bieżni o 12% w grupie suplementowanej w porównaniu z placebo [58]. Aktywne związki z *S. chinensis* przyczyniły się w tej formule do zwiększenia ekspresji białek transportujących glukozę (GLUT4) w mięśniach szkieletowych, co wspomagało szybszą odbudowę zapasów glikogenu po wysiłku [58]. W formule Saengmaeksan obserwowano obniżenie stężenia cytokin prozapalnych (TNF- α , IL-6) po 2 miesiącach treningu interwałowego u sportowców, co sugeruje zmniejszenie nasilenia stresu zapalnego i przyspieszenie regeneracji mięśni [58].

Podsumowanie

Przegląd aktualnych badań naukowych potwierdza, że wybrane surowce roślinne stanowią obiecującą alternatywę dla syntetycznych środków ergogennych. Burak zwyczajny, jako źródło naturalnych azotanów, wykazuje najsilniej udokumentowaną skuteczność w poprawie wydolności wytrzymałościowej. Adaptogeny, takie jak różeniec górski, żeń-szeń prawdziwy i ashwagandha, oferują wszechstronne wsparcie różnych aspektów wydolności sportowej, od siły mięśniowej po funkcje poznawcze.

Kluczową zaletą surowców roślinnych jest ich działanie plejotropowe. Oprócz poprawy parametrów wydolności wpływają korzystnie na procesy regeneracyjne, zmniejszenie stresu oksydacyjnego i modulację odpowiedzi zapalnej. Dzięki temu stanowią wartościowy element holistycznego podejścia do optymalizacji wyników sportowych.

Przyszłe badania powinny koncentrować się na określeniu optymalnych dawek, schematów stosowania oraz potencjalnych interakcji między różnymi surowcami roślinnymi. Szczególnie obiecujące wydają się kombinacje różnych roślin ergogenicznych, które mogą wykazywać synergistyczne działanie, co zaobserwowano w przypadku połączenia różenia górskiego z kofeiną, żeń-szenia z kofeiną oraz tradycyjnej receptury Saengmaeksan, dla której nie stwierdzono żadnych skutków ubocznych przy odpowiednim dawkowaniu.

Literatura

- [1] Ivy J. L., Food components that may optimize physical performance: An overview, Food components to enhance performance, (red.) B. Marriott, National Academy Press, Washington 1994, s. 223–238.
- [2] Al Shamli A., Abdelbasset Mourgan F. H., Al-Yaaribi A., EL Dawy Ahmed Hefny N., Adaptogenic herbs as natural sources of sports performance enhancers, The Open Medicinal Chemistry Journal, 2024, 18(1), s. 1–15.
- [3] Tinsley G. M., Jagim A. R., Potter G. D. M., Garner D., Galpin A. J., *Rhodiola rosea* as an adaptogen to enhance exercise performance: A review of the literature, British Journal of Nutrition, 2024, 131(3), s. 461–473.
- [4] Somerville V., Bringans C., Braakhuis A., Polyphenols and performance: A systematic review and meta-analysis, Sports Medicine, 2017, 47, s. 1589–1599.
- [5] Kennedy D. O., Phytochemicals for improving aspects of cognitive function and psychological state potentially relevant to sports performance, Sports Medicine, 2019, 49, s. 39–58.
- [6] d’Unienville N. M. A., Blake H. T., Coates A. M., Hill A. M., Nelson M. J., Buckley J. D., Effect of food sources of nitrate, polyphenols, L-arginine and L-citrulline on endurance exercise performance: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials, Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2021, 18(1), 76, s. 1–28.
- [7] Vicente-Salar N., Santos-Sánchez G., Roche E., Nutritional ergogenic aids in racquet sports: A systematic review, Nutrients, 2020, 12(9), s. 2842.
- [8] Kurtz J. A., Vandusseldorp T. A., Uken B., Otis J., Quercetin in sports and exercise: A review, International Journal of Exercise Science, 2023, 16(2), s. 1334–1384.
- [9] Kressler J., Millard-Stafford M., Warren G. L., Quercetin and endurance exercise capacity: A systematic review and meta-analysis, Medicine & Science in Sports & Exercise, 2011, 43(12), s. 2396–2404.
- [10] Thomas R., Williams M., Aldous J., Wyld K., Multiple biological mechanisms for the potential influence of phytochemicals on physical activity performance: A narrative review, Nutraceuticals, 2023, 3(3), s. 353–365.
- [11] Babarykin D., Smirnova G., Pundinsh I., Vasiljeva S., Krumina G., Agejchenko V., Red beet (*Beta vulgaris*) impact on human health, Journal of Biosciences and Medicines, 2019, 7(3), s. 61–79.

- [12] Xu X., Hu B., Qu X., Effects of propolis intake on endurance exercise and molecular signaling related to inflammation and oxidative stress, *Frontiers in Nutrition*, 2025, 12, 1539701.
- [13] Zhang X., Zhong Y., Rajabi S., Polyphenols and post-exercise muscle damage: A comprehensive review of literature, *European Journal of Medical Research*, 2025, 30(1), 260.
- [14] Laltlankimi K., Acharya S., Chandrasekaran B., Effect of nitrates on endurance athletes – A case control study, *International Journal for Multidisciplinary Research*, 2023, 5(1), s. 1–18.
- [15] Neteca J., Veseta U., Liepina I., Volgemute K., Dzintare M., Babarykin D., Effect of beetroot juice supplementation on aerobic capacity in female athletes: A randomized controlled study, *Nutrients*, 2024, 17(1), 63.
- [16] Zamani H., de Joode M. E. J. R., Hossein I. J., Henckens N. F. T., Guggeis M. A., Berends J. E., de Kok T. M. C. M., van Breda S. G. J., The benefits and risks of beetroot juice consumption: A systematic review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(5), s. 788–804.
- [17] Huang X., Zhang Z., Wang X., Wang G., Wang Y., Tang K., Gao B., Influence of chronic nitrate-rich beetroot juice supplementation on the endurance performance of active winter triathletes: A randomized controlled trial, *Journal of the American Nutrition Association*, 2023, 42(2), s. 195–206.
- [18] Jones A. M., Thompson C., Wylie L. J., Vanhatalo A., Dietary nitrate and physical performance, *Annual Review of Nutrition*, 2018, 38(1), s. 303–328.
- [19] Darvish S., Ludwig K. R., Ikoba A. P., Berryman-Maciel M., Coppock M. E., Murray K. O., Chonchol M. B., Nitrate-rich beetroot juice supplementation in midlife and older adults with renal dysfunction increases vascular endothelial function and changes the circulating milieu to improve endothelial cell nitric oxide production and oxidative stress, *Physiology*, 2024, 39(S1), 389.
- [20] Barbosa P. O., Tanus-Santos J. E., Cavalli R. C., Bengtsson T., Montenegro M. F., Sandrim V. C., The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway: Potential role in mitigating oxidative stress in hypertensive disorders of pregnancy, *Nutrients*, 2024, 16(10), 1475.
- [21] Bailey S. J., Winyard P., Vanhatalo A., Blackwell J. R., Dimenna F. J., Wilkerson D. P., Tarr J., Benjamin N., Jones A. M., Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans, *Journal of Applied Physiology*, 2009, 107(4), s. 1144–1155.
- [22] Tan R., Cano L., Lago-Rodríguez Á., Domínguez R., The effects of dietary nitrate supplementation on explosive exercise performance: A systematic review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(2), 762.
- [23] Benjamim C. J. R., Porto A. A., Valenti V. E., Sobrinho A. C. D. S., Garner D. M., Gualano B., Bueno Júnior C. R., Nitrate derived from beetroot juice lowers blood pressure in patients with arterial hypertension: A systematic review and meta-analysis, *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9, 823039.

- [24] Koozehchian M., Mabrey G., Newton A., Naderi A., Dose-response effects of short-term *Rhodiola rosea* supplementation on anaerobic exercise performance in resistance-trained athletes: A randomized, crossover, double-blind, and placebo-controlled study, *Physiology*, 2024a, 39(S1), 261.
- [25] Koozehchian M., Newton A., Mabrey G., Naderi A., Dose-response effects of short-term *Rhodiola rosea* supplementation on cognitive function and readiness to perform in athletes: A randomized, crossover, double-blind, and placebo-controlled study, *Physiology*, 2024b, 39(S1), 334.
- [26] Sanz-Barrio P. M., Noreen E. E., Gilsanz-Estebarez L., Lorenzo-Calvo J., Martínez-Ferrán M., Pareja-Galeano H., *Rhodiola rosea* supplementation on sports performance: A systematic review of randomized controlled trials, *Phytotherapy Research*, 2023, 37(10), s. 4414–4428.
- [27] Lu Y., Deng B., Xu L., Liu H., Song Y., Lin F., Effects of *Rhodiola rosea* supplementation on exercise and sport: A systematic review, *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9, 856287.
- [28] De Bock K., Eijnde B. O., Ramaekers M., Hespel P., Acute *Rhodiola rosea* intake can improve endurance exercise performance, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2004, 14(3), s. 298–307.
- [29] Liu C., Zhao H., Yan Y., Yang W., Chen S., Song G., Li X., Gu Y., Yun H., Li Y., Synergistic effect of *Rhodiola rosea* and caffeine supplementation on the improvement of muscle strength and muscular endurance: A pilot study for rats, resistance exercise-untrained and -trained volunteers, *Nutrients*, 2023, 15(3), s. 582.
- [30] Yun H., Lu B., Su W., Wang J., Zheng J., Wang J., Wang Z., Li Y., Sun Y., Liu C., Combined effects of *Rhodiola rosea* and caffeine supplementation on aerobic endurance and muscle explosiveness: A synergistic approach, *Frontiers in Nutrition*, 2024, 11, 1335950.
- [31] Jayawardena R., Weerasinghe K., Sooriyaarachchi P., The effect of ashwagandha (*Withania somnifera*) on sports performance: A systematic review and meta-analysis, *Spor Hekimliği Dergisi*, 2025, 60(2), s. 064–073.
- [32] Zakrzewska N., Bychowski M., Kwaśna J., Załęska A., Kaźmierczyk I., Lenart K., Górskie M., Homza M., Bednarek S., Kulicka J., The Multifaceted effects of ashwagandha (*Withania somnifera*) root extract on physical performance, cognitive function, mental health, and safety in adults, *Quality in Sport*, 2024, 36, 56521.
- [33] Bonilla D. A., Moreno Y., Gho C., Petro J. L., Odriozola-Martínez A., Kreider, R. B., Effects of ashwagandha (*Withania somnifera*) on physical performance: Systematic review and Bayesian meta-analysis, *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 2021, 6(1), 20.
- [34] Guo S., Rezaei M. J., The benefits of ashwagandha (*Withania somnifera*) supplements on brain function and sports performance, *Frontiers in Nutrition*, 2024, 11, 1439294.
- [35] Sikorski P., Malinowski P., Kopczyńska U., Kopczyński C., Gurdak K., Dydyk M., Dyrek M., Błaszczak E., Wójcik J., Partyka A., Unlocking strength: The powerful impact of Ashwagandha (*Withania somnifera*) supplementation on resistance training, *Journal of Education, Health and Sport*, 2024, 68, 50452.

- [36] Sprengel M., Laskowski R., Jost Z., *Withania somnifera* (ashwagandha) supplementation: A review of its mechanisms, health benefits, and role in sports performance, *Nutrition & Metabolism*, 2025, 22(1), s. 9.
- [37] Choudhary B., Shetty A., Langade D. G., Efficacy of Ashwagandha (*Withania somnifera* [L.] Dunal) in improving cardiorespiratory endurance in healthy athletic adults, *Ayu*, 2015, 36(1), s. 63–68.
- [38] Elgar K., Ashwagandha: A review of clinical use and efficacy, *Nutrition and Medicine Journal*, 2021, 1(1), s. 68–78.
- [39] Office of Dietary Supplements, National Institutes of Health, Ashwagandha: Is it helpful for stress, anxiety, or sleep? 2025, <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Ashwagandha-HealthProfessional/> (stan na dzień 24 czerwca 2025).
- [40] Pérez-Gómez J., Villafaina S., Adsuar J. C., Merellano-Navarro E., Collado-Mateo D., Effects of ashwagandha (*Withania somnifera*) on VO_2max : A systematic review and meta-analysis, *Nutrients*, 2020, 12(4), 1119.
- [41] Meto H., Mili A., Rajpoot Y. S., Singh K. R., Tsering S., Ramchiary S. K., Govindasamy K., Gogoi H., The role of *Withania somnifera* (ashwagandha) supplementation in modulating physical and physiological performance responses to regular football training, *Fizjoterapia Polska*, 2024, 2, s. 45–52.
- [42] Wankhede S., Langade D., Joshi K., Sinha S. R., Bhattacharyya S., Examining the effect of *Withania somnifera* supplementation on muscle strength and recovery: A randomized controlled trial, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2015, 12, s. 1–11.
- [43] Verma N., Gupta S. K., Patil S., Tiwari S., Mishra A. K., Effects of ashwagandha (*Withania somnifera*) standardized root extract on physical endurance and VO_2max in healthy adults performing resistance training: An eight-week, prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled study, *F1000Research*, 2024, 12, 335.
- [44] Ma G. D., Chiu C. H., Hsu Y. J., Hou C. W., Chen Y. M., Huang C. C., Changbai mountain ginseng (*Panax ginseng* C.A. Mey.) extract supplementation improves exercise performance and energy utilization and decreases fatigue-associated parameters in mice, *Molecules*, 2017, 22(2), 237.
- [45] Yu S. H., Oh H. R., Park Y. H., Hong H. R., Kim H. J., Park J., Han Y., Ko S.-G., Shin E. C., Kim, T. G., Cho H. T., Pan J. H., Shim Y. Y., Reaney M. J. T., Cho T. J., Hong J. Y., Kim Y. J., Han B. K., Lee G.-J., Lee K., Do S. G., Kim J. K., UG0712, A ginsenoside complex, improved endurance performance and changed hepatic and muscular transcriptomic signatures in C57BL/6N male mice, *Journal of Medicinal Food*, 2025, 28(2), s. 127–143.
- [46] Bhattacharjee I., Bandyopadhyay A., Effects of acute supplementation of panax ginseng on endurance performance in healthy adult males of Kolkata, India, *International Journal of Clinical and Experimental Physiology*, 2020, 7(2), s. 63–68.
- [47] Bandyopadhyay A., Ping F. W., Keong C. C., Effects of acute supplementation of caffeine and *Panax ginseng* on endurance running performance in a hot and humid environment, *Journal of Human Ergology*, 2011, 40(1–2), s. 63–72.

- [48] Huerta Ojeda Á., Rodríguez Rojas J., Cancino-López J., Barahona-Fuentes G., Pavez L., Yeomans-Cabrera, M. M., Jorquera-Aguilera C., Effects of maca (*Lepidium meyenii* Walp.) on physical performance in animals and humans: A systematic review and meta-analysis, *Nutrients*, 2024, 17(1), 107.
- [49] Honma A., Fujiwara Y., Takei S., Kino T., The improvement of daily fatigue in women following the intake of maca (*Lepidium meyenii*) extract containing benzyl glucosinolate, *Functional Foods in Health and Disease*, 2022, 12(4), s. 175–187.
- [50] Liu M., Weng P., Chien Y., Wu M., Hsu W., Chen S., Yang M., Effects of *Lepidium meyenii* (maca) extract supplementation on oxidative stress, muscle damage, and aerobic capacity after exhaustive endurance exercise, *Isokinetics and Exercise Science*, 2024, 32(4), s. 349–357.
- [51] Richards J. C., Lonac M. C., Johnson T. K., Schweder M. M., Bell C., Epigallocatechin-3-gallate increases maximal oxygen uptake in adult humans, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2010, 42(4), s. 739 –744.
- [52] Craig D. M., Ashcroft S. P., Belew M. Y., Stocks B., Currell K., Baar K., Philp A., Utilizing small nutrient compounds as enhancers of exercise-induced mitochondrial biogenesis, *Frontiers in Physiology*, 2015, 6, 296.
- [53] Cribb P., EGCG Could be the key to a bigger, leaner physique, 2025, <https://ast-ss.com/egcg-could-be-the-key-to-a-bigger-leaner-physique/> (stan na dzień 24 czerwca 2025).
- [54] Zovko Koncic M., Tomczyk M., New insights into dietary supplements used in sport: Active substances, pharmacological and side effects, *Current Drug Targets*, 2013, 14(9), s. 1079–1092.
- [55] Nowak A., Zakłós-Szyda M., Błasiak J., Nowak A., Zhang Z., Zhang B., Potential of *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. in human health and nutrition: A review of current knowledge and therapeutic perspectives, *Nutrients*, 2019, 11(2), 333.
- [56] He F. Q., Wan G. Z., Chen J., Pancreatic lipase and alpha-glucosidase inhibitors screening from *Schisandra chinensis* based on spectrum-effect relationship and ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, *Journal of Separation Science*, 2022, 45(23), s. 4198–4208.
- [57] Hong B. S., Baek S., Kim M. R., Park S. M., Kim B. S., Kim J., Lee K. P., Systematic analysis of the pharmacological function of *Schisandra* as a potential exercise supplement, *Physical Activity and Nutrition*, 2021, 25(4), s. 38–44.
- [58] Juan S., Lee J. H., Won S. J., Oh S., Ha M. S., Effect of Saengmaeksan on fatigue, liver function, and immunity combined with high-intensity training, *Journal of Immunology Research*, 2023, 2023(1), 3269293.