

MARTA HORNYÁK^{1,2}, ANETA SŁOMKA³, PRZEMYSŁAW KOPEĆ⁴, JAKUB PASTUSZAK², AGNIESZKA PŁAŻEK²

1

Instytut Botaniki im. W. Szafera, Polska Akademia Nauk
The W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences
Lubicz 46, 31-512 Cracow, Poland
e-mail: m.hornyak@botany.pl

2

Katedra Fizjologii, Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Department of Physiology, Plant Breeding and Seed Production, University of Agriculture in Cracow
Podłużna 3, 30-239 Cracow, Poland

3

Instytut Botaniki, Wydział Biologii, Uniwersytet Jagielloński
Institute of Botany, Faculty of Biology, Jagiellonian University
Gronostajowa 9, 30-387 Cracow, Poland

4

Instytut Fizjologii Roślin im. Franciszka Górskiego, Polska Akademia Nauk
The Franciszek Górski Institute of Plant Physiology, Polish Academy of Sciences
Niezapominajek 21, 30-239 Cracow, Poland

Poprawa plonowania gryki zwyczajnej (*Fagopyrum esculentum*) – niepowodzenia i sukcesy

Improving the seed yield of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) – the failures and successes

https://doi.org/10.36921/kos.2023_2907

Abstrakt

Gryka zwyczajna jest cenną rośliną uprawną uznawaną jako super-żywność XXI wieku ze względu na ponadprzeciętne wartości odżywcze nasion i potencjał farmakologiczny. Niestety, cechuje ją bardzo niski i niestabilny plon nasion w porównaniu z innymi roślinami uprawnymi. Specyficzna biologia kwitnienia, w tym samo-niezgodność (brak możliwości zapylenia własnym pyłkiem), samo-niekończące kwitnienie i krótka żywotność pojedynczego kwiatu, utrudnia sukces reprodukcyjny gryki. Przyczyn słabego plonowania gryki zwyczajnej upatruje się w zaburzeniach rozwoju gametofitu żeńskiego powodujących odrzucanie (aborcję) kwiatów. Czynnikiem wpływającym na to zjawisko są także stres termiczny oraz troficzny (pokarmowy). Wytworzenie formy samo-kończącej kwitnienie mogłoby skrócić okres

kwitnienia i zapobiec zjawisku silnej konkurencji o związki odżywcze pomiędzy stale powstającymi kwiatami a zawiązanymi już nasionami, co mogłoby zdecydowanie zwiększyć plon nasion.

Słowa kluczowe: gryka, woreczek zalążkowy, plon nasion, stres troficzny, stres termiczny

Abstract

Common buckwheat is a valuable plant crop treated as superfood of the 21st century due to the above-average nutritional value of the seeds and pharmacological potential. Unfortunately, it is characterized by a very low and unstable seed yield compared to other crops. The specific flowering biology, including self-incompatibility (no possibility of pollination with own pollen), non-self-ending flowering and short life of a single flower, hinder the reproductive success of buckwheat. The reasons of poor yielding of buckwheat are believed to be disorders in the development of the female gametophyte causing abortion of flowers. Factors determining flower abortion in the critical period in the buckwheat development cycle are most likely thermal and trophic (nutritional) stress. The development of a self-terminating variety of flowering may shorten the flowering period and prevent the phenomenon of strong competition for nutrients between the continuously formed flowers and already existing seeds, which would significantly increase the seed yield.

Keywords: buckwheat, embryo sac, nutritional stress, seed yield, thermal stress

WSTĘP

Gryka zwyczajna (*Fagopyrum esculentum* Moench) to nieoceniona roślina uprawna. Należy do kosmopolitycznej rodziny roślin rdestowatych (*Polygonaceae*), do której zalicza się również szczaw i rabarbar. Ze względu na skład chemiczny nasion oraz agrotechnikę uprawy zaliczana jest do pseudozboż (ang. pseudocereals). Gryka zwyczajna to tzw. roślina wtórna, gdyż została wyodrębniona z chwastów rosnących w innych roślinach uprawnych (Zarzeczka i współaut. 2014). Obecnie jest rozprzestrzeniona na niemal wszystkich kontynentach. Obok gryki zwyczajnej, uprawiana jest również gryka tatarska (*F. tataricum* (L.) Gaertn.). Ponadto, znanych jest ponad 25 dzikich gatunków gryki, w większości endemicznych dla obszaru południowo-zachodnich Chin (Ohnishi 1990; Ohsako i Li 2020; Zhang i współaut. 2021). Przyjmuje się, że gryka zwyczajna wywodzi się z *Fagopyrum esculentum* subsp. *ancestrale* Ohnishi, dzikiej formy pochodzącej z prowincji Yunnan w południowych Chinach (Lityńska-Zajac i Wasilikowa 2005). Wykazano jednak, że gatunek *F. esculentum* jest blisko spokrewniony z *F. homotropicum* Ohnishi, zaś *F. tataricum* z *F. cymosum*, co wskazuje na dwa niezależne procesy udomowienia współczesnych roślin uprawnych z dwóch blisko spokrewnionych gatunków (Ohnishi i Matsuoka 1996; Yasui i Ohnishi 1998). Zarówno *F. esculentum*, jak i *F. tataricum* są diploidalne – mają dwa zestawy chromosomów, natomiast *F. homotropicum* i *F. cymosum* występują zarówno jako diploidy jak i tetraploidy – z czterema garniturami chromosomów

(Campbell 1976; Ohsako i Li 2000). Tetraploidalna forma *F. homotropicum* mogła zatem powstać w wyniku skrzyżowania pomiędzy *F. homotropicum* i *F. esculentum* subsp. *ancestrale* (Tomiyoshi i współaut. 2012; Mendler-Drienyovszki i współaut. 2013). Gryka zwyczajna jest jedną z najstarszych, udomowionych roślin uprawnych w Azji. W okresie od XVII do XIX wieku cieszyła się popularnością, jednak w XX wieku straciła na znaczeniu w krajach Zachodu z powodu dużej konkurencji pszenicy. Aktualnie cieszy się ponownie zainteresowaniem w związku z dużymi walorami odżywczymi, przewyższającymi popularnie uprawiane zboża (m.in. Kim i współaut. 2004; Christa i Soral-Śmietana 2008; Cawoy i współaut. 2009). Gryka zwyczajna jest rośliną jednoroczną uprawianą przede wszystkim na cele spożywcze. Stosowana jest również jako międzyplon ze względu na właściwości fitosanitarne – tj. poprawiające stan gleby (Songin 2003).

CHARAKTERYSTYKA BIOLOGICZNA GRYKI ZWYCZAJNEJ

Gryka zwyczajna posiada palowy system korzeniowy. Jej rozgałęziona łodyga koloru brunatnozielonego osiąga wysokość od 60 do 100 cm. Gryka posiada dwa typy liści, u dołu łodygi znajdują się liście ogonkowe o kształcie sercowato-strzałkowatym, zaś na szczycie – liście typu siedzącego, pozbawione ogonków. Roślinę zdobią wonne białe lub blad różowe kwiaty, które zebrane są na zakończeniach rozgałęzień łodygi w luźne grona lub baldachy (Ryc. 1).



Ryc. 1. Pokrój rośliny gryki zwyczajnej (*Fagopyrum esculentum* Moench) (rys. M. Hornyák, fot. A. Płażek)



Ryc. 2. Kwiaty typu Thrum (A) z długimi pręcikami i krótkim słupkiem oraz kwiaty typu Pin (B) z krótkimi pręcikami i długim słupkiem (fot. A. Płażek).

Okres wegetacji gryki zwyczajnej jest stosunkowo krótki i trwa od 70 do 90 dni. Roślina zakwita 15–25 dni od siewu i jest rośliną samo-niekończącą kwitnienie, co oznacza, że produkuje kwiaty przez cały okres wegetacji. Jest w stanie wytworzyć do 2000 kwiatów, ale tylko od czterech do dziesięciu procent z nich wykształca nasiona (Songin 2003). Owocem gryki jest ciemnobrunatny, trójgraniasty orzeszek (Cawoy i współaut. 2009). W odróżnieniu od samopylnej gryki tatarskiej, gryka zwyczajna jest rośliną samo-niezgodną, czyli roślina nie wytworzy nasion, jeśli jest zapylona własnym pyłkiem, co wynika z występowania tzw. heterostylia (Nagatomo 1961; Nagatomo i Adachi 1985). Heterostylia polega na tym, że w obrębie tego samego gatunku występują rośliny produkujące dwa typy morfologiczne kwiatów (distylia) – albo kwiaty typu Pin albo kwiaty typu Thrum, które różnią się długością słupków i pręcików (Ryc. 2).

Do zapłodnienia może dojść jedynie na drodze zapylenia krzyżowego pomiędzy tymi dwoma typami kwiatów (MORRIS 1947). U niektórych genotypów stosunek kwiatów Pin do Thrum może być silnie za-

burzony na korzyść kwiatów Thrum, co jednak nie wpływa negatywnie na zawiązywanie nasion (Słomka i współaut. 2017). Wyniki badań prowadzonych na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie (dane niepublikowane) wskazują jednak, że w warunkach polowych udział roślin z kwiatami Pin w stosunku do wszystkich roślin wynosi 49,5%, co można uznać za prawidłowy stosunek roślin z kwiatami Pin do roślin produkujących kwiaty Thrum. Niektóre genotypy natomiast mogą produkować więcej kwiatów Pin w przeliczeniu na roślinę niż kwiatów Thrum. Według doniesień Cawoy i współaut. (2006) kwiaty typu Thrum wydzielają więcej nektaru niż kwiaty typu Pin, jednakże późniejsze badania tych autorów (Cawoy i współaut. 2008) wykazały, że oba typy kwiatów produkują taką samą ilość nektaru. Nektar gryki jest bogaty w cukry, zawiera głównie heksozy: fruktozę i glukozę, które stanowią ponad połowę ogólnej zawartości cukrów. Z naszych badań (niepublikowane) wynika, że oprócz fruktozy, glukozy i sacharozy nektar gryki zwyczajnej zawiera maltozę oraz fruktany: kestozę i nystozę. Ponadto, wykryto obecność inozytolu i glicerolu.



Ryc. 3. Owady zapylające kwiaty gryki–muchówki: bzygowate (A) i muchowate (B) oraz błonkoskrzydłe: pszczoła (C) i trzmieć (D), (fot. A. Płażek i J. Pastuszak).

Pojedynczy kwiat gryki cechuje krótka żywotność, gdyż jest on zdolny do zapylenia tylko przez jeden dzień. O plonie gryki decyduje więc obfitość nektarowania i obecność zapylaczy, pośród których największe znaczenie mają owady błonkoskrzydłe (*Hymenoptera*) (Ryc. 3), a wśród nich pszczoły miodne (*Apis mellifera* L.) i trzmiele (*Bombus spp.*) oraz dwuskrzydłe (*Diptera*) np. bzygowate (*Syrphidae*) (Halbrecq i współaut. 2005; Cawoy i współaut. 2009).

W porównaniu z głównymi zbożami uprawnymi, plon nasion gryki zwyczajnej jest niewielki i niestabilny, uzależniony od warunków środowiska np. wahań temperatury powietrza, dostępności wody. O potencjalnym plonie tej rośliny decydują również w dużym stopniu czynniki wewnętrzne – jak samoniezgodność oraz aborcja kwiatów i zawiązków nasion (m.in. Kreft 1983; Adachi 1990; Guan i Adachi 1992; Obendorf i Sławinska 1993; Woo i współaut. 2010).

„SUPER ŻYWNOŚĆ” XXI WIEKU

Rośliny takie jak m.in. szarłat wyniosły (tzw. amarantus), szalwia hiszpańska (tzw. chia), czy tytułowa gryka zwyczajna należą do pseudozboż. Rośliny te cechuje bardzo wysoka wartość odżywcza w porównaniu z typowymi zbożami uprawnymi. Pseudozboża są uznane za rośliny XXI wieku i zostały umieszczone przez UNESCO w kategorii upraw ważnych (Pirzadah i Malik 2020). Nasiona gryki zwyczajnej są bogate w białko (8,5–19% suchej masy) o dobrze zbilansowanym składzie aminokwasowym, zawierają szczególnie lizynę i argininę, skrobię (59–70% s.m.), lipidy (2–4% s.m.) z wysoką zawartością nienasyconych kwasów tłuszczowych i błonnik (5–11% s.m.) (Cawoy i współaut. 2008; Christa i Soral-Śmietana 2008; Katar i współaut. 2016; Aubert i współaut. 2020). Nasiona stanowią również źródło wielu składników mineralnych takich jak magnez, cynk, miedź, mangan, żelazo, potas i fosfor oraz witamin

z grupy B (tiamina, ryboflawina, pirydoksyna), niacyna i witamina E. Wysoka zawartość polifenoli zapewnia właściwości przeciwutleniające. W różnych częściach gryki zidentyfikowano m.in. flawonoidy (rutynę, kwercetynę, orientynę, izoorientynę, witeksynę, izowiteksynę), flawony, kwasy fenolowe (m.in. kwas chlorogenowy, galusowy, kawowy, benzoosowy) (Nešović i współaut. 2020; Hornyák i współaut. 2022), taniny, fitosterole i fagopiryny (Songin 2003; Christa i Soral-Śmietana 2008). W przemyśle spożywczym orzeszki gryki przerabia się na kaszę, a mąka gryczana służy m.in. do wyrobu pieczywa bezglutenowego, makaronów i naleśników (Zarzecka i współaut. 2014). Miód gryczany zawiera cukry proste i cholinę (Christa i Soral-Śmietana 2008) i odznacza się silnymi właściwościami bakteriostatycznymi (Songin 2003). Ze względu na zawartość substancji biologicznie czynnych gryka wykorzystywana jest m.in. w profilaktyce chorób nowotworowych, chorób układu krążenia i leczeniu stanów zapalnych (Christa i Soral-Śmietana 2008; Zarzecka i współaut. 2014). Fagopiryny występujące w liściach i kwiatach gryki (Kreft i współaut. 2013) mają działanie przeciwgrzybicze i przeciwwirusowe (Karioti i Bilia 2010; Sytar i współaut. 2016), a ze względu na właściwości foto-toksyczne mogą być wykorzystywane w terapii fotodynamicznej komórek nowotworowych (Sytar i współaut. 2016).

W porównaniu z innymi roślinami uprawnymi, jest rośliną niskonakładową i nie wymaga nawożenia ani środków ochrony roślin, dlatego dobrze nadaje się do uprawy ekologicznej (Radics i Mikóházi 2010). Ponadto szybko dojrzewa i nie jest podatna na choroby (Asaduzzaman i współaut. 2009). Cechuje ją jednak duża zmienność plonowania, ponieważ orzeszki dojrzewają nierównomiernie przez cały okres wegetacji, a to przekłada się na utrudniony zbiór nasion (Songin 2003). Masa tysiąca nasion (MTN) gryki zwyczajnej mieści się w przedziale od 18 do 32 g (Songin 2003; Zarzecka i współaut. 2014). W 2020 roku, według danych Organizacji Narodów

Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (ang. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO; www.fao.org/faostat), powierzchnia uprawy gryki na świecie wynosiła 1 mln 856 tys. ha dając ponad 1 mln 810 tys. ton, co w porównaniu z powierzchnią uprawy pszenicy, wynoszącą 219 mln ha z plonem ponad 760 mln ton, wypada bardzo słabo. Według danych FAO do dziesięciu największych producentów gryki w roku 2020 należały: Rosja, Chiny, Ukraina, USA, Brazylia, Japonia, Kazachstan, Białoruś, Tanzania i Nepal. W tym samym roku w Polsce powierzchnia uprawy gryki wynosiła 67,6 tys. ha (GUS 2020; www.stat.gov.pl). Plony gryki zwyczajnej średnio wahają się w granicach od 0,6 do 1,5 t/ha. Z zastosowaniem odpowiednich zabiegów agrotechnicznych plony mogą osiągać 3 t/ha (Songin 2003). W związku ze wzrostem zainteresowania nasionami gryki zwyczajnej – super żywności (ang. superfood) XXI wieku (Pirzadah i Malik 2020; Kirschner 2022), prowadzone są intensywne badania mające na celu zwiększenie i ustabilizowanie plonu nasion.

PRZYCZYNY NISKIEGO PLONU NASION GRYKI ZWYCZAJNEJ

Według Cawoy i współaut. (2009) przyczyn słabego plonu nasion należy dopatrywać się w wewnętrznych mechanizmach kontrolujących produkcję kwiatów zdolnych do zawiązywania nasion. Istotnym czynnikiem ograniczającym plon nasion gryki zwyczajnej są nieprawidłowości w rozwoju gametofitów żeńskich tj. woreczków zalążkowych, ale nie gametofitów męskich tj. ziaren pyłku (m.in. Nakamura i Nakayama 1949; Nagatomo 1961; Nakayama 1975; Marshall i Pomeranz 1982; Adachi i współaut. 1983; Guan i Adachi 1992, 1994; Björkman 1995, 2000; Taylor i Obendorf 2001; Cawoy i współaut. 2009; Słomka i współaut. 2017).

Na plon nasion niewątpliwie ma wpływ specyficzna biologia kwitnienia gryki zwyczajnej. Przede wszystkim krótka żywotność pojedynczego kwiatu, heterostylia i wynikająca z niej samo-niezhodność oraz samo-niekończący okres kwitnienia (Adachi 1990; Songin 2003; Cawoy i współaut. 2009), co powoduje występowanie silnej konkurencji o asymilaty pomiędzy wciąż produkowanymi kwiatami a dojrzewającymi już nasionami (Hornyák i współaut. 2020b). Plon gryki w dużej mierze zależy od zastosowanej odmiany oraz od warunków pogodowych panujących w okresie kwitnienia. Długotrwałe opady deszczu wymywają nektar (nektarniki gryki są otwarte), co z kolei wpływa na słabszy oblot owadów zapylających. Zbyt wysokie temperatury i susze powodują zasychanie znamienia słupka, za-

mieranie pyłku, hamowanie kiełkowania łagiewki pyłkowej, w wyniku czego nie dochodzi do zapłodnienia, natomiast powstałe już zawiązki nie rozwijają się w nasiona (Songin 2003). Gryka jest rośliną ciepłolubną i wrażliwą na najmniejsze przymrozki (Ruszkowska i Ruszkowski 1981).

U gryki zwyczajnej występuje silna aborcja kwiatów. Samoistne zrzucanie kwiatów jest często obserwowane u roślin okrytonasiennych, najczęściej w wyniku braku zapylenia. Proces odrzucania kwiatów jest inicjowany podczas wczesnej fazy wzrostu pędów i różnicowania zawiązków kwiatów (Moe 1971). W tym wrażliwym stadium rozwojowym temperatura w przedziale 12–15°C silnie wpływa na powstawanie tzw. „ślepych” pędów. Według Cawoy i współaut. (2007) zdolność do powstawania nasion jest inicjowana podczas lub zaraz po zapłodnieniu, jak również w tym czasie jest określana ich liczba, wielkość, a zatem ostateczny plon. Proces ten jest bardzo wrażliwy na czynniki abiotyczne, które mogą przyczynić się do aborcji nasion. Gugliemini i współaut. (2019) wykazali jednak, że istnieje „okres krytyczny” (ang. critical period) w cyklu życiowym gryki zwyczajnej, który określa przyszły plon nasion. W tym czasie roślina przez wrażliwość na czynniki środowiskowe i wynikające z nich ograniczenia w dostawie asymilatów np. niedobór wody lub niedostateczne nasłonecznienie, ogranicza przyszły plon nasion. Okres krytyczny został ustalony także dla innych roślin uprawnych, takich jak pszenica (Fischer 1975), kukurydza (Kiniry i Ritchie 1985), czy pszenżyto (Estrada-Campuzano i współaut. 2008). W przypadku gryki zwyczajnej okres krytyczny, w którym nastąpił spadek wydajności plonu o ok. 50% w stosunku do kontroli ustalono od momentu otwarcia pierwszych kwiatów do pojawienia się pierwszych dojrzałych nasion. Już w roku 1949 Nakamura i Nakayama informowali o niekorzystnym wpływie wysokiej temperatury (powyżej 28°C) na rozwój żeńskich organów generatywnych, niewpływającej jednak negatywnie na zdolności reprodukcyjne ziaren pyłku. Okazuje się, że choć wyższa temperatura (30°C) jest optymalna dla rozwoju wegetatywnego gryki zwyczajnej (Hornyák i współaut. 2020a), to jednak ta sama temperatura występująca podczas kwitnienia oraz owocowania zdecydowanie zwiększa stopień degeneracji woreczków zalążkowych, nie zmniejszając przy tym żywotności ziaren pyłku (Płażek i współaut. 2019).

Wzrost liczby kwiatów produkowanych przez rośliny gryki zwyczajnej pociąga za sobą zwiększenie ich aborcji (Słomka i współaut. 2017; Hornyák i współaut. 2020b). Punktem krytycznym dla plonu nasion jest moment kwitnienia i zapłodnienia (Gugliemini i współaut. 2019; Hornyák i współaut.

2020b). Okazuje się jednak, że ważną przyczyną degeneracji woreczków zalążkowych, co bezpośrednio wpływa na niski plon nasion gryki, jest stres troficzny (ang. nutritional stress). Jest to stres pokarmowy, polegający na zaburzonym rozdziale składników pokarmowych do kwiatów i nasion, tzw. konkurencja o asymilaty. Badania w warunkach sterylnych *in vitro* prowadzone na pąkach kwiatowych hodowanych na sztucznych pożywkach dowiodły, że indukowany stres troficzny, zwłaszcza na pożywkach o trzykrotnie uboższym składzie substancji odżywczych, zwiększa procent degeneracji woreczków zalążkowych. A zatem, nawet gdyby wzrosła liczba prawidłowo wykształconych woreczków zalążkowych, roślina nie byłaby zdolna do zawiązania wszystkich nasion (Hornyák i współaut. 2020b). W badaniach nad stresem termicznym oraz troficznym indukowanym w warunkach *in vitro* i *in planta* oraz nad zastosowaniem biostymulatorów w poprawie plonowania nasion gryki zwyczajnej wykazano, że do najczęściej występujących zaburzeń rozwojowych woreczków zalążkowych należały m.in. rozrost komórek integumentów, nieprawidłowa wakuolizacja komórek jajowych, zapadanie światła woreczka zalążkowego, degeneracja lub brak synergid (Słomka i współaut. 2017; Płażek i współaut. 2019; Hornyák i współaut. 2020b).

PERSPEKTYWY POPRAWY PLONU NASION GRYKI ZWYCZAJNEJ

Dzikie gatunki gryki odznaczają się krótszymi międzywęzłami pędu głównego i liczniejszym odgałęzieniem oraz większą powierzchnią liści w porównaniu ze współczesnymi odmianami uprawnymi (Lakhanov i Napalova 2001; Chen i współaut. 2004; Logacheva i współaut. 2008). W wyniku selekcji w ramach różnych programów hodowlanych udało się m.in. wyeliminować silny spoczynek nasion, ograniczyć wyleganie (trwałe pochylenie łodyg) i nieznacznie ulepszyć plon nasion (m.in. Kreft 1989; Funatsuki i współaut. 2000; Lakhanov i Napalova 2001; Cawoy i współaut. 2009). Postępy te są jednak niewystarczające, aby gryka zwyczajna mogła być konkurencyjna pod względem plonu nasion z innymi zbożami uprawnymi. U gryki występuje silne osypywanie się nasion (ang. seed shattering), co ogranicza ich końcowy plon (Suzuki i współaut. 2012). Obydwa gatunki uprawne gryki nie posiadają warstwy odcinającej w szypułkach, dlatego też przyczyn zjawiska osypywania nasion upatruje się w kruchych, podatnych na złamanie szypułkach (Oba i współaut. 1998). Do tej pory ustalono, że wytrzymałe szypułki występują w zielonych kwiatkach roślin gryki. Zarówno kolor tych kwiatów, jak i ce-

cha niełamlivej szypułki są kontrolowane przez pojedynczy gen recesywny u mutantu W/SK86GF (Alekseeva i współaut. 1988; Mukasa i współaut. 2008; Suzuki i współaut. 2012). Wykorzystanie odmian o kwiatkach/owocach odpornych na osypywanie jest istotne we współczesnych programach hodowlanych gryki zwyczajnej. W celu zwiększenia plonu nasion gryki zwyczajnej testowane i wdrażane są również liczne procedury agronomiczne np. stosowanie nawozów i dodatków do gleby (hydrożel, zeolit), intensywne podlewanie, opryskiwanie selenem (Tadina i współaut. 2007; Dolijanovic i współaut. 2014), optymalizowanie systemów uprawnych (Jiang i współaut. 2018), usuwanie kwiatów i rozgałęzień (Cawoy i współaut. 2007; Hornyák i współaut. 2020b) czy stosowanie biostymulatorów (Słomka i współaut. 2017).

Temat międzygatunkowego krzyżowania roślin z rodzaju *Fagopyrum* podejmowany jest od dawna. Celem tych krzyżowań jest przeniesienie korzystnych cech z gatunków dzikich na gatunki uprawne lub z jednego gatunku uprawnego na inny (np. cechy odporności na mróz, samopylności czy homostylii), w tym z pokrewnych gatunków *F. tataricum*, *F. cymosum*, *F. homotropicum* (m.in. Lachmann i współaut. 1994; Campbell 1995; Joshi i współaut. 2009; Asaduzzman i współaut. 2009; Mendler-Drienyovszki i współaut. 2013; Woo i współaut. 2016; Słomka i współaut. 2017). Cechy te mogłyby w pewnym stopniu poprawić wydajność plonu. Jak dotąd jednak, te klasyczne zabiegi hodowlane nie doprowadziły do wytworzenia odmiany gryki zwyczajnej o wysokim plonowaniu, tak jak to uzyskano w przypadku innych wiodących gatunków roślin uprawnych.

Na razie, mimo postępu wiedzy biologicznej i agronomicznej, nie udaje się istotnie podnieść produkcji nasion gryki zwyczajnej. Wydaje się, że wyhodowanie formy gryki zwyczajnej samoistnie kończącej kwitnienie mogłoby zmniejszyć stopień degeneracji zalążków oraz aborcji kwiatów i nasion, a tym samym zwiększyć plon nasion (Hornyák i współaut. 2020b). Duży nacisk kładzie się również na uzyskanie form samo-zgodnych gryki zwyczajnej. W roku 2003 zostały opisane dwie samo-zgodne linie gryki zwyczajnej: KSC2 i Kyushu PL4, które powstały w wyniku międzygatunkowego krzyżowania gryki zwyczajnej z samo-zgodnym dzikim gatunkiem *F. homotropicum* (Matsui i współaut. 2003). Wykazano, że zarówno samo-zgodna linia *F. esculentum* (Kyushu PL4), jak i *F. tataricum*, posiadają nonsensowne mutacje w genie *S-LOCUS EARLY FLOWERING 3 (S-ELF3)*, co sugeruje ważną rolę tego genu w heteromorficznej samo-niezgodności w rodzaju *Fagopyrum* (Yasui i współaut. 2012). Pomimo istotnego postępu w badaniu mole-

kularnych podstaw rozwoju kwiatów i systemów samo-niezgodności (ang. self-incompatibility, SI) roślin gryki, nie udało się uzyskać odmiany hodowlanej samo-zgodnej gryki zwyczajnej, ale badania w tym zakresie są prowadzone. W naszej opinii, próby otrzymania mutantów charakteryzujących się samo-zgodnością i samo-kończeniem kwitnienia mogą nadać kierunek hodowli w celu stworzenia nowych wysokoplonujących odmian.

LITERATURA

- Adachi T., 1990. *How to combine the reproductive system with biotechnology in order to overcome the breeding barrier in buckwheat*. *Fagopyrum* 10(1), 7–11.
- Adachi T., Kawabata K., Matsuzaki N., Yabuya T., Nagatomo T., 1983. Observation of pollen tube elongation, fertilization and ovule development in autogamous autotetraploid buckwheat. [w:] (1988) *Green flower form of buckwheat*. Alekseeva E. S., Malikov V. G., Falendysh L. G. (red.). *Fagopyrum* 8, 79–82.
- Alekseeva E. S., Malikov V. G., Falendysh L. G., 1988. *Green-flower form of buckwheat*. *Fagopyrum* 8, 79–82.
- Asaduzzmann M., Minami M., Matsushima K., Nemoto K., 2009. *An in vitro ovule cultures technique for producing interspecific hybrid between tartary buckwheat and common buckwheat*. *J Biol Sci.* 9, 1–11.
- Aubert L., Konrádová D., Kebbas S., Barris S., Quinet M., 2020. *Comparison of high temperature resistance in two buckwheat species *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tataricum**. *J Plant Physiol.* 251, 153222.
- Björkman T., 2000. *Buckwheat production. Guide to buckwheat production in the Northeast*. Available online: <http://www.nysaes.cornell.edu/hort/faculty/bjorkman/buck/Buck.html>
- Björkman T., 1995. *The effect of pollen load and pollen grain competition on fertilization success and progeny performance in *Fagopyrum esculentum**. *Euphytica* 83, 47–52.
- Campbell C. G., 1976. *Buckwheat*. In: Simmonds NW, ed. *Evolution of crop plants*. London, UK: Longman, 235–237.
- Campbell C., 1995. *Inter-specific hybridization in the genus *Fagopyrum**. [w:] *Proceedings of the 6th International Symposium on Buckwheat* 1, 255–263.
- Cawoy V., Deblauwe V., Halbrech B., Ledent J.-F., Kinet J. M. i współaut., 2006. *Morph differences and honeybee morph preference in the distylous species *Fagopyrum esculentum* Moench*. *Int J Plant Sci.* 167, 853–861.
- Cawoy V., Kinet J. M., Jacquemart A. L., 2008. *Morphology of nectaries and biology of nectar production in the distylous species *Fagopyrum esculentum**. *Ann Bot.* 102(5), 675–684.
- Cawoy V., Ledent J.-F., Kinet J.-M., Jacquemart A.-L., 2009. *Floral biology of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)*. *Eur J Plant Sci Biotechnol.* 3, 1–9.
- Cawoy V., Lutts S., Ledent J.-F., Kinet J.-M., 2007. *Resource availability regulates reproductive meristem activity, developmental of reproductive structures, and seed set in buckwheat (*Fagopyrum esculentum*)*. *Physiol Plant.* 131, 341–453.
- Chen Q. F., Hsam S. L. K., Zeller F. J., 2004. *A study of cytology, isozyme, and interspecific hybridization on the big-achene group of buckwheat species (*Fagopyrum*, *Polygonaceae*)*. *Crop Sci.* 44, 1511–1518.
- Christa K., Soral-Šmietana M., 2008. *Buckwheat grains and buckwheat products – Nutritional and prophylactic value of their components – A review*. *Czech J Food Sci.* 26, 153–162.
- Dolijanovic Z. K., Oljaca S. I., Kovacevic D. D., Šeremešić S. I., Jovovic Z. M., 2014. *The effect of growing regions, microbiological fertilizers and soil additives on productivity of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)*. *J Agric Sci.* 59, 25–34.
- Estrada-Campuzano G., Miralles D. J., Slafer G. A., 2008. *Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases*. *Eur J Agron.* 28(4), 597–605.
- Fischer R. A. 1975. *Yield potential in a dwarf spring wheat and the effect of shading*. *Crop Sci.* 15(5), 607–613.
- Funatsuki H., Maruyama-Funatsuki W., Fujino K., Agatsuma M., 2000. *Ripening habit of buckwheat*. *Crop Sci.* 40, 1103–1108.
- Guan L. M., Adachi T., 1992. *Reproductive deterioration in buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) under summer conditions*. *Plant Breed.* 109, 304–312.
- Guan L. M., Adachi T., 1994. *Ultrastructural changes of the mature embryo sac in buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) as a result of high temperature exposure*. *Cytologia* 59, 237–248.
- Guglielmini A. C., Forcat J. I., Miralles D. J., 2019. *The critical period for yield determination in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)*. *Eur J Agron.* 110, 125933.
- Halbrech B., Romedenne P., Ledent J. F., 2005. *Evolution of flowering, ripening, and seed set in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): Quantitative analysis*. *Eur J Agron.* 23, 209–224.

- Hornyák M., Dziurka M., Kula-Maximenko M., Pastuszak J., Szczerba A. i współaut., 2022. *Photosynthetic efficiency, growth and secondary metabolism of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) in different controlled-environment production systems*. *Sci Rep.* 12(1), 1–13.
- Hornyák M., Płażek A., Kopeć P., Dziurka M., Pastuszak J. i współaut., 2020a. *Photosynthetic activity of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) exposed to thermal stress*. *Photosynthetica* 58(1), 45–53.
- Hornyák M., Słomka A., Sychta K., Dziurka M., Kopeć P. i współaut., 2020b. *Reducing flower competition for assimilates by half results in higher yield of *Fagopyrum esculentum**. *Int J Mol Sci.* 21(23), 8953.
- Jiang Y., Wang X., Zeng Z., Han J., Schiavon M. i współaut., 2018. *Performance of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) in response to row spacing under ridge and furrow cropping systems in a semiarid region of China*. *Arch Agronomy Soil Sci.* 64(13), 1807–1817.
- Joshi B.K., Bimb H.P., Okuno K., 2009. *Hybridization technique in Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn)*. *Nepal Agric Res J.* 9, 118–121.
- Karioti A., Bilia A.R., 2010. *Hypericins as potential leads for new therapeutics*. *Int J Mol Sci.* 11(2), 562–594.
- KATAR D., Olgun M., Turan, M., 2016. *Analysis of morphological and biochemical characteristics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) in comparison with cereals*. *CYTA-J Food.* 14(2), 176–185.
- Kim S.L., Kim S.K., Park C.H., 2004. *Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable*. *Food Res Int.* 37(4), 319–327.
- Kiniry J.R., Ritchie J.T., 1985. *Shade Sensitive Interval of Kernel Number of Maize*. *Agronomy J.* 77(5), 711–715.
- Kirschner G.K., 2022. *Flavonoids make buckwheat a superfood – new insights into their biosynthesis*. *Plant J.* 111(2), 321–322.
- Kreft I., 1983. *Buckwheat breeding perspectives*. [w:] *Buckwheat Research*. Nagatomo T., Adachi T. (red.) Proceedings of the 2nd International Symposium on Buckwheat, Kuroda-toshado Print Co Ltd, Miyazaki, Japan, 3–12.
- Kreft I., 1989. *Breeding of determinate buckwheat*. *Fagopyrum* 9, 57–59.
- Kreft S., Janeš D., Kreft I., 2013. *The content of fagopyrin and polyphenols in common and tartary buckwheat sprouts*. *Acta Pharm.* 63(4), 553–560.
- Lachmann S., Kishima Y., Adachi T., 1994. *Protoplast fusion in buckwheat: preliminary results on somatic hybridization*. *Fagopyrum* 14, 7–12.
- Lakhanov A.P., Napolova G.V., 2001. *Comparative studies on morpho-physiological characteristics of plants between wild species of buckwheat*. [w:] *Currents Advances in Buckwheat Research*. Ham S.S., Choi Y.S., Kim N.S., Park C.H. (red.) Proceedings of the 8th International Symposium on Buckwheat, Chunchon, Republic of Korea, 3–9.
- Lityńska-Zajac M., Wasylkowa K., 2005. *Przewodnik do badan archeobotanicznych*. *Vademecum Geobotanicum*, Sorus, Poznań.
- Logacheva M.D., Samigullin T.H., Dhingra A., Penin A.A., 2008. *Comparative chloroplast genomics and phylogenetics of *Fagopyrum esculentum* ssp *ancestrale* – A wild ancestor of cultivated buckwheat*. *BMC Plant Biol.* 8, 59.
- Marshall H.G., Pomeranz Y., 1982. *Buckwheat: description, breeding, production, and utilization*. [w:] *Cereals 78: Better nutrition for the world's millions*. Pomeranz Y. (red.) St Paul, Minnesota, USA.
- Matsui K., Tetsuka T., Nishio T., Hara T., 2003. *Heteromorphic incompatibility retained in self-compatible plants produced by a cross between common and wild buckwheat*. *New Phytol.* 159, 701–708.
- Mendler-Drienyovszki N., Cal A.J., Dobránszki J., 2013. *Progress and prospects for interspecific hybridization in buckwheat and the genus *Fagopyrum**. *Biotechnol Adv.* 31(8), 1768–1775.
- Moe R., 1971. *Factors affecting flower abortion and malformation in roses*. *Physiol Plant.* 24, 291–300.
- Morris M.R., 1947. *Genetic studies on buckwheat (*Fagopyrum* species)*. Ph. D. Thesis at Cornell University.
- Mukasa Y., Suzuki T., Honda Y., 2008. *Inheritance of Green flower trait and the accompanying strong pedicel in common buckwheat*. *Fagopyrum* 25, 15–20.
- Nagatomo T., 1961. *Studies on physiology of reproduction and some of inheritance in buckwheat*. Ph. D. Thesis, Kyoto University, Japan 55–67.
- Nagatomo T., Adachi T., 1985. *Fagopyrum esculentum*. [w:] *Handbook of Flowering* III. Halevy A.H. (red.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1–8.
- Nakamura M., Nakayama H., 1949. *On the enervative sterility in buckwheat*. *Jpn J Crop Sci.* 19, 122–125.
- Nakayama K., 1975. *Genecology on buckwheat and perspectives of breeding*. *Agric. Hortic.* 50, 497–502.
- Nešović M., Gašić U., Tosti T., Horvacki N., Šikoparija B. i współaut., 2020. *Polyphenol profile of buckwheat honey, nectar and pollen*. *R. Soc. Open Sci.* 7(12), 201576.

- Oba S., Ohta A., Fujimoto F., 1998. Association between grain shattering habit and breaking strength of pedicel in buckwheat (*Fagopyrum ssp.*). *Jpn J Crop Sci.* 67, 76–77.
- Obendorf R.L., Slawinska J., 1993. Seed set in buckwheat altered by temperature and water deficit stress. *Agronomy Abstracts* 152.
- Ohnishi O., 1990. Discovery of the wild ancestor of common buckwheat. *Fagopyrum* 11, 5–10.
- Ohnishi O., Matsuoka Y., 1996. Search for the wild ancestor of buckwheat II. Taxonomy of *Fagopyrum* (*Polygonaceae*) species based on morphology, isozymes and cpDNA variability. *Genes Genet. Syst.* 71(6), 383–390.
- Ohsako T., Li C., 2020. Classification and systematics of the *Fagopyrum* species. *Breed Sci.* 70, 93–100.
- Pirzadah T.B., Malik B., 2020. Pseudocereals as super foods of 21st century: Recent technological interventions. *J Agric Food Res.* 2, 100052.
- Plažek A., Słomka A., Kopeć P., Dziurka M., Hornyák M. i współaut., 2019. Effects of high temperature on embryological development and hormone profile in flowers and leaves of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Int J Mol Sci.* 20(7), 1705.
- Radics L., Mikóházi D., 2010. Principles of common buckwheat production. *Eur J Plant Sci Biotechnol.* 4(1), 57–63.
- Ruszkowska B., Ruszkowski M., 1981. Gryka. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Słomka A., Michno K., Dubert F., Dziurka M., Kopeć P. i współaut., 2017. Embryological background of low seed set in distylous common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) with biased morph ratios, and biostimulant-induced improvement of it. *Crop Pasture Sci.* 68, 680–690.
- Songin H., 2003. Gryka. [w:] *Szczegółowa uprawa roślin*. Jasińska Z., Kotecki A. (red.). AR we Wrocławiu, wyd. II, tom I, 10, 299–305.
- Suzuki T., Mukasa Y., Morishita T., Takigawa S., Noda T., 2012. Traits of shattering resistant buckwheat 'W/SK86GF'. *Breed Sci.* 62(4), 360–364.
- Sytar O., Švedienė J., Ložienė K., Paškevičius A., Kosyan A. i współaut., 2016. Antifungal properties of hypericin, hypericin tetrasulphonic acid, and fagopyrin on pathogenic fungi and spoilage yeasts. *Pharm Biol.* 54(12), 3121–3125.
- Tadina N., Germ M., Kreft I., Breznik B., Gaberščik A., 2007. Effects of water deficit and selenium on common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) plants. *Photosynthetica* 45, 472–476.
- Taylor D.P., Obendorf R.L., 2001. Quantitative assessment of some factors limiting seed set in buckwheat. *Crop Sci.* 41, 1792–1799.
- Tomiyoshi M., Yasui Y., Ohsako T., Li C.Y., Ohnishi O., 2012. Phylogenetic analysis of AGAMOUS sequences reveals the origin of the diploid and tetraploid forms of self-pollinating wild buckwheat, *Fagopyrum homotropicum* Ohnishi. *Breed Sci.* 62(3), 241–247.
- Woo S.H., Roy S.K., Kwon S.J., Cho S.W., Sarker K. i współaut., 2016. Concepts, prospects and potentiality in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): A research perspective. [w:] *Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat*. Zhou M.I. K., Woo S.H., Chrungoo N., Wieslander G. (red.). Academic Press: London 21–50.
- Woo S.H., Kamal A.M., Tatsuro S., Campbell C.G., Adachi T. i współaut., 2010. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.): concepts, prospects and potential. *Eur J Plant Sci Biotechnol.* 4(1), 1–16.
- Food and agriculture data, www.fao.org/faostat
- Główny Urząd Statystyczny, www.stat.gov.pl
- Yasui Y., Ohnishi O., 1998. Phylogenetic relationships among *Fagopyrum* species revealed by the nucleotide sequences of the ITS region of the nuclear rRNA gene. *Genes Genet. Syst.* 73(4), 201–210.
- Yasui Y., Mori M., Aii J., Abe T., Matsumoto D. i współaut., 2012. S-LOCUS EARLY FLOWERING 3 is exclusively present in the genomes of short-styled buckwheat plants that exhibit heteromorphic self-incompatibility. *PLoS one* 7(2), e31264.
- Zarzecka K., Gugala M., Mystkowska I., 2014. Nutritional value and opportunities of using buckwheat. *Post Fitoter.*
- Zhang K., He M., Fan Y., Zhao H., Gao B. i współaut., 2021. Resequencing of global Tartary buckwheat accessions reveals multiple domestication events and key loci associated with agronomic traits. *Genome Biol.* 22(1), 1–17.

