

MARTA LISZKA-SKOCZYLAS

**WPLYW NAWOŻENIA ROŚLIN ZIEMNIAKA
(*SOLANUM TUBEROSUM* L.) NA ZAWARTOŚĆ I JAKOŚĆ
SKROBI W BULWACH**

Streszczenie

Skrobia jest głównym składnikiem ziemniaka, stanowiącym ok. 17 ÷ 21 % masy świeżych bulw. Poza ilością, to struktura i skład, a w konsekwencji właściwości fizykochemiczne tego biopolimeru są ważnymi czynnikami określającymi kierunek jego zastosowań spożywczych i przemysłowych. Na wskaźniki te mają z kolei wpływ, oprócz genotypu, warunki środowiskowe i agrotechnika stosowana podczas uprawy roślin. Podstawą prawidłowego przebiegu procesów fizjologicznych i biochemicznych zachodzących w roślinie jest jej kompleksowe zaopatrzenie w łatwo dostępne składniki pokarmowe. Pełne odżywienie roślin ziemniaka decyduje bezpośrednio o ilości i jakości skrobi zawartej w bulwach. Zastosowanie odpowiedniego nawożenia (rodzaju oraz ilości stosowanego nawozu, jak również metody dozowania składników mineralnych i materii organicznej) wpływa m.in. na granulację ziaren polimeru, zawartość amylozy i fosforu, właściwości termiczne oraz proces kleikowania skrobi, np. zawartość skrobi w bulwach maleje przy niedostatecznej podaży potasu oraz przy zbyt dużych dawkach azotu. Mniejszy wpływ na ten parametr ma nawożenie fosforem. Zastosowanie dogłębowo nawozów fosforowych i potasowych promuje formowanie się dużych ziaren skrobi, podczas gdy nawożenie azotowe przynosi odwrotne skutki. Nawożenie roślin ziemniaka nie wpływa na strukturę krystalograficzną skrobi, jednak względna jej krystaliczność zwiększa się wraz ze wzrostem dawki potasu, a zmniejsza się w sytuacji większej podaży nawozu azotowego. Określenie wpływu nawożenia roślin na właściwości skrobi dostarcza przydatnych i ważnych informacji zarówno dla producentów ziemniaków, badaczy, jak i sektora przemysłowego, ponieważ stwarza możliwość kontroli warunków uprawy ziemniaka mających wpływ na uzyskanie skrobi natywnej o określonych właściwościach fizykochemicznych.

Słowa kluczowe: ziemniak, skrobia, nawożenie, azot, fosfor, potas

Wprowadzenie

Skrobia to główny materiał zapasowy roślin wyższych, a zarazem drugi po celulozie biopolimer na świecie pod względem występowania. Jest najważniejszym wę-

*Dr M. Liszka-Skoczylas, Katedra Inżynierii i Aparatury Przemysłu Spożywczego, Wydz. Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków.
Kontakt: marta.liszka-skoczylas@urk.edu.pl*

glowodanem w diecie człowieka. Stały, wysoki popyt na skrobie wynika z jej wszechstronnego wykorzystania w różnych gałęziach przemysłu. Biopolimer ten stanowi surowiec do produkcji artykułów spożywczych, farmaceutyków i pasz oraz niejadalnych produktów, takich jak tekstylia, nawozy, powłoki nasienne, papier czy biopaliwa [57].

Pod względem technologicznym najbardziej przydatna jest skrobia ziemniaczana. Węglowodan ten to główny składnik bulw ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.), stanowiący 17 ÷ 21 % jego świeżej masy i ok. 80 % suchej masy [32]. W światowej produkcji ziemniaki plasują się na trzecim miejscu po pszenicy i kukurydzy. Fizyczna i chemiczna natura skrobi ziemniaczanej sprawia, że można ją modyfikować za pomocą różnych czynników. Skrobia zbożowa łatwo może zastąpić skrobię ziemniaczaną jako surowiec i ze względów ekonomicznych zwykle tak się dzieje. W przyszłości wykorzystanie skrobi ziemniaczanej będzie uzależnione od kosztów jej pozyskania na każdym z etapów produkcji, tj. od uprawy roślin, ich transportu i przetwarzania, w tym również wytwarzania produktów ubocznych [67].

Właściwości produktów bogatych w skrobię określa w dużej mierze jakość materiału wyjściowego. Ziemniaki stosowane w przemyśle skrobiowym muszą dostarczać dużych ilości polimeru o najwyższej jakości. Na właściwości funkcjonalne skrobi, oprócz uwarunkowań genetycznych ziemniaka, wpływ ma pogoda, w szczególności temperatura powietrza i profil opadów w sezonie wegetacyjnym, miejsce wzrostu oraz praktyki agrotechniczne, w tym nawożenie i nawadnianie. Czynniki zewnętrzne zmieniają właściwości biopolimeru, działając na wrażliwe enzymy biosyntezy skrobi odpowiedzialne za wytwarzanie substratu, wydłużanie łańcuchów α -1,4-glukanu, tworzenie ich rozgałęzień oraz utrzymywanie krystaliczności ziarenek. Enzymy te tworzą współzależne kompleksy, które wspólnie syntetyzują skrobię. Zmiany w spektrum enzymów tworzących kompleksy odzwierciedlają się zmianą struktury i składu biopolimeru, a to wpływa na właściwości fizykochemiczne skrobi [62].

Ze wszystkich czynników agrotechnicznych wpływających zarówno na ilość, jak i na jakość skrobi zawartej w bulwach najistotniejsze, poza nawodnieniem, jest nawożenie roślin ziemniaka [41]. Biorąc pod uwagę ten zabieg rolniczy, ważne są: rodzaj stosowanego nawożenia (organiczne lub mineralne), skład, dawka i częstotliwość podawanego nawozu, jak również sposób jego aplikacji (doglebowo lub dolistnie).

Nawożenie roślin ziemniaka

Systematyczne nawożenie ziemniaka, dostosowane do wymagań uprawowych danej odmiany, nie tylko wpływa na zwiększenie plonu, ale także zmienia jego jakość, poprzez większe gromadzenie się w nim składników odżywczych. Wydajność i jakość plonu zależą od ilości dostępnych makroelementów, takich jak fosfor, potas i azot, a także mikroelementów (np. mangan, cynk, bor, miedź, żelazo, molibden) [1, 43].

Podstawę w procesie nawożenia roślin ziemniaka stanowić powinny nawozy organiczne uzupełnione odpowiednimi dawkami nawozów mineralnych [60].

Rośliny ziemniaka dobrze reagują na nawożenie obornikiem, co odzwierciedla się wzrostem plonu. Obornik pokrywa wymagania pokarmowe rośliny na poziomie ok. 30 % azotu, 30 % fosforu oraz ok. 50 % potasu [48]. Ziemniaki zużywają ok. 50 kg/ha substancji mineralnej z nawozów w postaci obornika (dawka 30 t/ha) stosowanego jesienią, podczas gdy inne wymagane składniki odżywcze są dostarczane przez nawozy mineralne w okresie wegetacji [5].

W nawożeniu ziemniaka bardzo ważny jest stosunek makroelementów N : P : K, który jest uzależniony od kierunku użytkowania rośliny. W przypadku ziemniaków jadalnych proporcja tych składników powinna wynosić 1 : 1 : (1,5 ÷ 2,0), a ziemniaków skrobiowych – 1 : 1 : (1,3 ÷ 1,5). Zbyt małe dawki nawozów mineralnych i/lub niewłaściwa proporcja N : P : K skutkują m.in. obniżeniem plonu i zmniejszeniem skrobiowości bulw [9].

Azot to makroelement występujący w roślinie w największej ilości. Racjonalne nawożenie azotem, przy korzystnych warunkach uprawy, wpływa pozytywnie na rozwój nadziemnych części rośliny, wzrost i różnicowanie bulw oraz ich skład chemiczny [36, 46]. Według Machnackiego i Kołpaka [45] dawka 1 kg N/ha powoduje zwiększenie plonu bulw o 70 kg/ha (do zastosowanej dawki 80 kg N/ha). Niedostateczne lub nadmierne stosowanie azotu oraz jego zbyt wczesne lub zbyt późne zastosowanie niekorzystnie wpływa na wytwarzanie bulw. Niedobór tego makroelementu zmniejsza wzrost i plon roślin, zaś jego nadmiar – stymuluje wzrost pędów, opóźnia tworzenie się bulw, zmniejsza ich masę oraz skraca czas ich przechowywania [30].

Odporność roślin ziemniaka na czynniki chorobotwórcze oraz stres wodny jest ściśle uzależniona od dostępności fosforu, potasu i magnezu w podłożu. Składniki te mają bezpośredni wpływ zarówno na tworzenie, jak i magazynowanie białka i skrobi w bulwach. Fosfor to pierwiastek odpowiedzialny za jakość ziaren skrobiowych. Jakość bulw uzależniona jest natomiast od dostępności potasu. Niedożywienie roślin ziemniaka tym pierwiastkiem jest odpowiedzialne za ciemnienie miąższu i pustawość bulw. Przenawożenie potasem objawia się zaś zmniejszeniem zawartości suchej masy i skrobi w bulwach. Wysoka jakość plonów uzależniona jest od dostępności magnezu. Atom magnezu jest obecny w każdej cząsteczce chlorofilu, przez co odgrywa ważną rolę w fotosyntezie. Jest on również zaangażowany w kluczowe etapy produkcji cukrów i białka w roślinie, a także w transport sacharydów w postaci sacharozy z liści do bulw [24, 50].

Siarka wzmacnia syntezę skrobi w bulwach, jest składnikiem białek i wielu enzymów, ogranicza zawartość azotanów(V) i azotanów(III) oraz cukrów redukujących, co z kolei podwyższa wartość technologiczną ziemniaka [2, 50].

Zapotrzebowanie rośliny na mikroelementy (m.in. Mn, B, Cu, Zn) jest mniejsze niż na makroskładniki, ale nie mniej ważne. Optymalne żywienie roślin manganem zwiększa wydajność fotosyntezy, przez co wpływa korzystnie na wielkość plonu. Niedobór tego pierwiastka powoduje znaczne zmniejszenie zawartości białka w bulwach oraz zakłócenia w procesie tworzenia skrobi. Bor ma korzystny wpływ na gromadzenie skrobi w bulwach. W roślinach niedostatecznie żywionych borem występują m.in. zaburzenia w metabolizmie węglowodanów [14, 18, 24]. Miedź jest składnikiem enzymów zaangażowanych w metabolizm węglowodanów oraz białek i służy jako katalizator w fotosyntezie i oddychaniu. Do prawidłowego wzrostu i rozwoju ziemniaka niezbędny jest cynk. Zwiększa on odporność rośliny na choroby np. na parcha zwykłego ziemniaka wywołanego przez bakterie *Streptomyces scabies*, wpływając w ten sposób bezpośrednio na wysokość plonu, ale również zwiększa efektywność nawożenia azotem [24].

Zawartość skrobi w bulwach a nawożenie

Zawartość skrobi w bulwach danej odmiany ziemniaka decyduje o kierunku jej użytkowania. Odmiany jadalne powinny charakteryzować się mniejszą zawartością skrobi (11 ÷ 17 %) niż odmiany przeznaczone do przetwórstwa (17 ÷ 22 %) [48]. Nawożenie to jeden z bardzo istotnych czynników agrotechnicznych wpływających na ten parametr.

Zastosowanie zalecanej dawki nawozów wraz z odpowiednią proporcją makroskładników N : P : K gwarantuje uzyskanie największego plonu bulw danej odmiany, bez zmniejszenia w nich zawartości skrobi.

Według Boguckiej [4] zawartość skrobi w bulwach ziemniaka nawożonego 420 kg NPK/ha (120 kg N/ha, 144 kg P/ha, 156 kg K/ha) była średnio o 0,30 % mniejsza niż w bulwach nawożonych dawką 280 kg NPK/ha (80 kg N/ha, 80 kg P/ha, 120 kg K/ha). Podobny poziom obniżenia skrobioności bulw w odpowiedzi na wyższy poziom nawożenia gleb, wynoszący 420 kg NPK/ha, Bogucka i wsp. [5] odnotowali we wcześniejszej pracy. Kosecka i wsp. [34] udowodnili, że nawożenie azotowe do poziomu 100 kg N/ha zwiększa plon skrobi, natomiast dawka azotu ponad 200 kg/ha – zmniejsza go. Podobną tendencję wykazali Bombik i wsp. [7]. O zmniejszeniu udziału skrobi w bulwach ziemniaka o ok. 1,5 % pod wpływem dogłębowo zastosowanej wyższej dawki azotu (o 50 kg/ha) pisał Bernat [3]. Jabłoński [21] odnotował zmniejszenie zawartości biopolimeru w bulwach o ok. 1,7 % pod wpływem takiego samego nawożenia azotem. Sharma i Arora [55] przedstawili znaczące zmniejszenie zawartości skrobi w bulwach do poziomu nawożenia 100 kg N/ha i nie odnotowali dalszego jej obniżania w miarę stosowania większych dawek azotu (do 250 kg/ha). Również z obserwacji prowadzonych przez Leszczyńskiego [39] i Mozolewskiego [47] wynika, że wzrost nawożenia azotowego powoduje zmniejszenie zawartości skrobi w bulwach

ziemniaka. Podobną reakcję na zwiększenie dawki azotu (o 80 kg/ha) i fosforu (o 34 kg/ha) zaobserwowali Ciećko i wsp. [9].

Jak podają Sharma i Arora [55], zmniejszenie zawartości skrobi w bulwach wraz ze wzrostem zastosowanej dawki azotu można przypisać efektowi rozcieńczenia wynikającemu ze zwiększonej produkcji suchej masy. Ze względu na to, że azot jest bezpośrednio zaangażowany w syntezę aminokwasów, zawartość białka w bulwach zwiększa się wraz ze zwiększoną dawką tego składnika. Talley [61] wykazał, że zawartość białka i aminokwasów w roślinie jest proporcjonalna do ilości azotu dostępnego w podłożu, a nawożenie ziemniaka tym pierwiastkiem wpływa pozytywnie na zawartość białka w bulwach.

Brak dostępności dla roślin potasu, pierwiastka będącego składnikiem odpowiedzialnym za tuberyzację bulw, prowadzi do zmniejszenia nie tylko plonu ziemniaków, ale również zawartości skrobi w bulwach [42, 51]. Zawartość tego węglowodanu w suchej masie wzrasta wraz ze zwiększeniem dawki potasu, co wskazuje, że składnik ten sprzyja syntezie skrobi [19]. Jak twierdzą Gruczek i wsp. [15], nawożenie potasem zwiększa zawartość polimeru pod warunkiem, że dawki te nie przekraczają $160 \div 180$ kg K_2O/ha [15]. W badaniach prowadzonych przez Pobereźnego i Wszelaczyńską [51] najkorzystniejszy wzrost zawartości skrobi odnotowano do dawki 160 kg K_2O/ha . Dalsze jej zwiększanie do 240 kg K_2O/ha nie poprawiło wyniku. Podobną reakcję ziemniaka na nawożenie potasem wykazała Rogozińska [54]. W przypadku tego makroelementu ważna jest również forma, w jakiej jest on podawany w nawozie. Danilcenko i wsp. [10], którzy nawozili uprawę ziemniaka siarczanem(VI) potasu, odnotowali zwiększenie zawartości skrobi wraz ze zwiększeniem dawki nawozu. W pracy tej optymalną dawką okazało się 90 kg/ha, dalszy jej wzrost do 150 kg/ha powodował niewielkie zmniejszenie zawartości skrobi. Ciećko i wsp. [9] wykazali, że większe dawki potasu powodują istotne zmniejszenie zawartości skrobi w bulwach. Ujemny wpływ tego nawożenia odnotowano zarówno w przypadku małych, średnich, jak i dużych dawek NPK. Podobne wnioski sformułował też Jabłoński [20]. Stwierdził, że duże dawki potasu, zwłaszcza w formie chlorkowej, mogą być przyczyną zmniejszenia zawartości skrobi w bulwach.

Zmiany zawartości skrobi w bulwach ziemniaka uzależnione są również od nawożenia fosforem. Wpływ ten nie jest jednak tak duży jak w przypadku nawożenia azotem i potasem. Dodatkowo, negatywny wpływ dużych dawek azotu może być skompensowany działaniem fosforu, pod warunkiem zachowania odpowiedniej proporcji między pierwiastkami (N : P – 1 : 1).

Według Haasego i Plate [17] zwiększenie poziomu aplikacji nawozów fosforowych z 48 do 96 kg P_2O_5/ha spowodowało zmniejszenie zawartości skrobi w bulwach o 0,6 %. Odmienne obserwacje przedstawili Sharma i wsp. [55]. W swoim eksperymencie autorzy nawozili ziemniaka wzrastającą dawką fosforu w zakresie od 0 do

250 kg P₂O₅/ha (co 50 kg P₂O₅/ha) i odnotowali zwiększenie zawartości skrobi na poziomie 3 %. Podobne wyniki uzyskali Fotyma i Grzeńkiewicz [13] oraz Kamal i wsp. [29]. Zwiększenie zawartości węglowodanów w bulwach przypisać można metabolicznemu działaniu fosforu, polegającemu na przemieszczaniu się cukrów do bulw [55].

Obornik to jeden z podstawowych nawozów organicznych stosowanych w rolnictwie. Stanowi on cenne źródło łatwo dostępnych składników odżywczych, a dodatkowo poprzez wzbogacanie gleby w materię organiczną poprawia jej właściwości fizyczne, takie jak stosunki wodno-powietrzne czy sorpcyjne. Obornik hamuje tempo zakwaszenia gleby, przez co może w pewnym zakresie zmniejszać niekorzystny wpływ nawożenia mineralnego. Zaletą obornika jest niewątpliwie długi czas uwalniania składników odżywczych, co może trwać kilka lat od momentu jego zastosowania.

W literaturze publikowane są sprzeczne wyniki, co do wpływu nawożenia ziemniaka obornikiem na zawartość skrobi w bulwach. Stwierdzono, że składniki odżywcze obecne w nawozach mineralnych są skuteczniejsze niż równoważna ich ilość obecna w oborniku. Z tego powodu wpływ nawozów mineralnych na plon ziemniaka jest wyższy niż w przypadku nawozów organicznych [1]. Baniuniene i Zekaitė [1] w 12-letnich badaniach wykazali, że ziemniaki nawożone tylko nawozami mineralnymi miały o 4,5 ÷ 11,9 g/kg większą zawartość skrobi niż te, przy których uprawie zastosowano kombinację nawożenia obornikiem (40 t/ha) i nawozami mineralnymi. Większą zawartość skrobi zgromadzonej w bulwach roślin nawożonych mineralnie, a nie organicznie, wykazali również Srikumar i Ockerman [58]. Jednak Lazauskas i Ražukas [37] dowiedli, że większa zawartość biopolimeru gromadzi się w bulwach, gdy rośliny są nawożone tylko obornikiem lub obornikiem z małymi dawkami nawożenia mineralnego. Z kolei Sharma i Arora [55] stwierdzili znaczące zwiększenie zawartości skrobi aż do zastosowania 200 kg N/ha bez nawożenia obornikiem oraz 250 kg N/ha i przy udziale obornika., co obrazuje dodatni wpływ obornika na ten parametr. W tych samych badaniach odnotowano znaczące zwiększenie ilości omawianego polimeru w bulwach aż do zastosowania 60 kg P₂O₅/ha w kombinacji bez nawożenia obornikiem oraz w dawce 30 kg P₂O₅/ha w połączeniu z obornikiem. W przypadku stosowania potasu stwierdzono zwiększenie udziału skrobi w bulwach do 150 kg K₂O/ha bez nawożenia obornikiem i 100 kg K₂O w połączeniu z tym nawozem naturalnym. Wynika z tego, że reakcja ziemniaków na fosfor i potas, przejawiająca się zawartością skrobi w bulwach, zmniejsza się w obecności nawożenia obornikiem.

W niektórych fazach rozwojowych ziemniaka zapotrzebowanie na składniki pokarmowe jest tak duże, że klasyczne, doglebowe nawożenie nie wystarcza. Wówczas dobrą praktyką jest dolistne stosowanie nawozów. Główną zaletą dokarmiania przez liście jest szybkość działania składników i większy stopień ich wykorzystania. Tą dro-

gą można dostarczyć tylko część makroelementów (azot, magnez, siarkę), podczas gdy zapotrzebowanie na mikroelementy może być pokryte w 100 %.

Stosowanie dolistnych nawozów makro- czy mikroelementowych nie modyfikuje znacząco zawartości skrobi i suchej masy w bulwach [35, 49]. Wadas i wsp. [65], którzy badali nawożenie nawozami mikroelementowymi zawierającymi m.in. mangan i bor, nie wykazali istotnego wpływu tych składników na skrobię. Potwierdzone to zostało także w badaniach innych autorów [18, 26, 28]. Trawczyński i Kopenec [63] przeanalizowali dolistne nawozy stosowane do niwelowania niedoboru boru w roślinach, ale nie odnotowali żadnego efektu zastosowanego nawożenia na akumulację skrobi w bulwach ziemniaka wczesno-wczesnego. Brak wyraźnego wpływu nawożenia dolistnego preparatami Basfoliar 12-4-6 (o zawartości [% m/m]: N – 12,0, P₂O₅ – 4,0, K₂O – 6,0, MgO – 0,2, Mn – 0,01, Cu – 0,01, Fe – 0,01, B – 0,02, Zn – 0,005, Mo – 0,005) i/lub Solubor DF (B – 17,5 % m/m) i/lub ADOB Mn (o zawartości [% m/m]: Mn – 10,0, N – 6,5, Mg – 2,0) na zawartość skrobi w bulwach odnotowali również Winnicki i Bogucka [67]. Zastosowanie do nawożenia dolistnego preparatów zawierających substancje pozyskane z alg morskich z aktywnym kompleksem biostymulującym również nie przyniosło rezultatów objawiających się zwiększeniem zawartości polimeru w bulwach [64].

W literaturze przedmiotu publikowane są jednak doniesienia dotyczące korzystnego wpływu dolistnego dokarmiania roślin na akumulację skrobi w bulwach ziemniaka [6, 16, 22, 23, 24]. Preparaty opisane we wszystkich wcześniej wymienionych publikacjach to nawozy wieloskładnikowe, zawierające makro- i mikroelementy, często w formie chelatów, np. Basfoliar 36 E, Sonata Z, Ekosol K, Agrosol K. Autorzy tych prac stwierdzili, że zawartość skrobi w bulwach ziemniaka zwiększyła się (od 0,7 do 2,5 %) w porównaniu z próbą kontrolną w wyniku zastosowania różnych nawozów dolistnych. Również Świerczewska i Sztuder [59] wykazały istotne, w stosunku do próby kontrolnej, 2-procentowe zwiększenie zawartości skrobi w bulwach po zastosowaniu dolistnej aplikacji nawozu Insol 7. Z kolei Jabłoński [26] stwierdził zmniejszenie zawartości skrobi o 0,6 % przy doglebowym zastosowaniu nawozu na poziomie 385 kg NPK/ha (w tym 150 kg N/ha), z jednoczesną dolistną aplikacją nawozu Sonata Z, zawierającego dwa mikroelementy – bor i magnez. W doświadczeniach przeprowadzonych przez Jabłońskiego i wsp. [20, 25, 27] nawożenie dolistne także przyczyniło się do znacznego zmniejszenia zawartości skrobi w ziemniakach.

Wpływ nawożenia na zawartość amylozy i fosforu

Zawartość amylozy (AM) w skrobi jest głównym czynnikiem wpływającym na jej właściwości, takie jak kleikowanie czy wrażliwość na działanie enzymów. W przypadku skrobi ziemniaczanej również fosfor jest ważnym składnikiem. Występuje on głównie w postaci monoestru ortofosforanu(V) kowalencyjnie związanego z węglem

C-6 frakcji amylopektynowej granulki skrobiowej. Dzięki naturze jonowej ułatwia wprowadzenie cząsteczek wody do ziaren skrobi, zmieniając w ten sposób jej właściwości funkcjonalne (np. siłę pęcznienia).

Wszelaczyńska i wsp. [68] badali wpływ różnych kombinacji nawadniania i nawożenia upraw ziemniaka nawozami mineralnymi w ilościach: N – 20 kgN/ha, P – 110 kg P₂O₅/ha, K – 120 kgK₂O/ha i płynnym preparatem UGmax, zawierającym w składzie odpowiednio dobrane mikroorganizmy oraz makro i mikroelementy [mg/dm³]: K – 3500, N – 1200, S – 100, P – 500, Na – 200, Mg – 100, Zn – 20, Mn – 0,3). Preparatu UGmax użyto trzy razy podczas uprawy ziemniaka: jesienią – 0,6 dm³/ha oraz wiosną w dwóch okresach wzrostu rośliny – za każdym razem w dawce 0,3 dm³/ha. Zastosowane kombinacje obejmowały nawożenie glebowe, fertygację, fertygację z nawadnianiem oraz samo nawadnianie. Na podstawie przeprowadzonych badań autorzy stwierdzili, że największą zawartość amylozy i fosforu w skrobi otrzymano z uprawy bulw, w której zastosowano nawodnie z fertygacją i nawożeniem doglebowym. Szczególnie pozytywny wpływ na zwiększenie zawartości fosforu odnotowano w przypadku nawożenia glebowego.

Według Ebúrneo i wsp. [11] nawożenie glebowe azotem w dawkach 80 i 120 kg N/ha (w stosunku do próby kontrolnej, tj. 0 kg N/ha) nie wpływa wyraźnie na zawartość amylozy w skrobi ziemniaczanej. Jednocześnie autorzy pracy donoszą o ujemnej liniowej zależności między zwiększeniem nawożenia N i zawartością fosforu w skrobi. W przypadku nawożenia potasem zawartość amylozy i P w skrobi wykazuje zmienność. Zhang i wsp. [69] odnotowali zmniejszenie zawartości zarówno amylozy (6,4 ÷ 8,6 % w zależności od odmiany ziemniaka), jak i fosforu (12 ÷ 14,7 %) wraz ze wzrostem zastosowanego nawożenia potasowego (123 ÷ 405 kg/ha). Autorzy tłumaczą to zmniejszeniem aktywności syntazy skrobi (SSS) i enzymów rozgałęziających skrobię (SBE). Aktywność rozpuszczalnej SSS i SBE zaangażowanych w biosyntezę rozgałęzionych składników w granulkach skrobiowych może wpływać na zawartość amylozy w skrobi [29]. Kandi i wsp. [30] oraz Kaur i wsp. [31] twierdzą, że potas zwiększa aktywność SSS oraz SBE, a to jest uważane za przyczynę zmniejszenia zawartości amylozy i fosforu w skrobi ziemniaczanej [32]. Zhang i wsp. [69] wykazali, że wraz ze zwiększaniem dawki K w nawożeniu ziemniaka aktywność enzymów SSS i SBE obniża się i powoduje zmniejszenie zawartości amylozy i fosforu w skrobi ziemniaczanej. Z kolei Leonel i wsp. [38] dowiedli, że uprawa roślin ziemniaka na glebach z większą zawartością fosforu była przyczyną zwiększenia zawartości tego pierwiastka w skrobi wyizolowanej z bulw roślin. Z innych eksperymentów polowych [12, 52, 53] wynikają jednak stosunkowo ograniczone skutki zwiększenia podaży P w nawożeniu na poziom fosforanu w skrobi.

Wpływ nawożenia na morfologię ziaren skrobi

Wielkość ziaren skrobi to główna determinanta jej właściwości. Skrobia ziemniaczana występuje w postaci granulek o średnicy $5 \div 110 \mu\text{m}$, a masowo najczęściej jest ziaren o średnicy $20 \div 60 \mu\text{m}$ [40]. Wielkość ziarenek i rozkład ich wielkości można modyfikować za pomocą metod agrotechnicznych, w tym nawożenia. Zastosowanie doglebowego nawożenia (NPK oraz Mg, S, Na, Zn, Mn) odzwierciedla się znacznie większym udziałem ziaren frakcji skrobi $20 \div 40 \mu\text{m}$ [68]. Haase i Plate [17] sugerują, że nawożenie fosforem i potasem sprzyja tworzeniu dużych ziaren, a nawożenie azotem i nawozami organicznymi wywołuje efekt odwrotny. Ebúrneo i wsp. [11] wskazują, że przy zastosowaniu różnych dawek nawozu azotowego, w każdej próbie badawczej dominowały średnie ziarna skrobi. Zwiększenie ilości nawozów azotowych stosowanych podczas uprawy ziemniaka objawiało się jednak większymi rozmiarami granulek skrobiowych i zmniejszoną proporcją małych ziaren. Według Haasego i Plate [17] zwiększenie dawki nawozów fosforowych z 48 do 96 kg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ doprowadziło do 1,7-procentowego większego udziału dużych granulek skrobi ziemniaczanej o średnicy $> 40 \mu\text{m}$. Z kolei Zhang i wsp. [69] badali wpływ nawożenia ziemniaka nawozem potasowym i stwierdzili, że zwiększenie dawki nawozu odpowiedzialne jest za zmniejszenie średniej średnicy ziaren skrobi o ok. 5,7 %. W tych samych badaniach, wraz ze zwiększeniem dawki K zaobserwowano zwiększenie liczby granulek o małej średnicy przy jednoczesnym zmniejszeniu się ziaren o średnicy dużej. Bogucka [4] odnotowała wpływ zwiększenia dawki NPK z 280 do 420 kg/ha na rozkład wielkości granulek skrobi tylko w przypadku jednej z badanych odmian ziemniaka, średnio później (cv. Pasja Pomorska). Większy poziom nawożenia glebowego odzwierciedlił się zwiększeniem odsetka frakcji ziarna o średnicy $< 20 \mu\text{m}$. W badaniach tych nie wykazano wpływu dolistnego stosowania nawozów NPK na rozkład wielkości ziaren skrobi [4].

Badania rentgenowskie skrobi nie potwierdzają istotnego wpływu nawożenia ziemniaka na strukturę krystalograficzną polimeru. Stosowanie w uprawie ziemniaka nawozów potasowych [69], ale również i azotowych [11], nie zmienia typu krystaliczności skrobi (typ B). Jednak względna krystaliczność wzrasta wraz ze wzrostem dawki K [11, 66]. Z kolei zwiększenie dawki nawozu azotowego stosowanego podczas uprawy ziemniaka ma związek z niższą względną krystalicznością skrobi [11].

Wpływ nawożenia na właściwości termiczne i kleikowanie skrobi

Zdolność skrobi do kleikowania to jedna z najważniejszych cech fizykochemicznych tego polimeru. Proces ten związany jest z pęcznieniem ziarenek polimeru z jednoczesnym zerwaniem wiązań wodorowych składników skrobi. Wymyta z ziarna skrobiowego amyloza tworzy z wodą koloid. Podczas kleikowania krystaliczna struktura skrobi zostaje zakłócona i tworzą się obszary amorficzne. W dalszym etapie do-

chodzi do uporządkowania cząsteczek amylozy, a wytworzone agregaty wydzielają się z roztworów kleików w formie dendrytów. Jest to tzw. retrogradacja skrobi.

Różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC) identyfikuje temperatury topnienia, krystalizacji i zeszklenia skrobi. Dane DSC umożliwiają wykazanie różnic między skrobią wyizolowaną z bulw ziemniaka, które uzyskano z upraw o różnym nawożeniu. W badaniach Ebúrneo i wsp. [11] dawka azotu podawanego roślinom w postaci nawożenia dogłębowego nie wpłynęła na końcową temperaturę kleikowania (T_C) ani na entalpię procesu (ΔH). Temperatura początku (T_O) i temperatura maksimum kleikowania (T_P) była wyższa przy mniejszych dawkach nawożenia azotowego. O efektach nawożenia azotem na właściwości termiczne skrobi informowali również Zhu i wsp. [70], którzy odnotowali wyższą wartość entalpii (ΔH) i niższą temperaturę kleikowania (T_P) przy większych poziomach azotu. Wiadomo jest, że T_P zależy od stabilności amorficznych i krystalicznych obszarów skrobi. Różna temperatura kleikowania przy różnych dawkach N wskazują, że ilość azotu wpływa na tworzenie się tych obszarów. Wyższa temperatura kleikowania może powodować bardziej stabilne bezpostaciowe regiony i bardziej uporządkowane struktury krystaliczne w skrobi. Nawożenie wpływa również na wielkość granulek skrobiowych i w konsekwencji na temperaturę kleikowania [11].

Wraz ze zwiększaniem ilości dostarczanego potasu zdolność pęcznienia ziarenek skrobi wzrasta w granicach $14 \div 18$ % w zależności od odmiany. Dane DSC tych samych skrobi wskazują na obniżenie temperatur T_O , T_P oraz T_C oraz zwiększenie entalpii (ΔH) procesu na poziomie 1 J/g przy wzroście nawożenia potasem od 135 do 405 kg/ha. Różne temperatury kleikowania na różnych poziomach nawożenia K mogą wynikać z różnicy wielkości granulek skrobi i zawartości amylozy [39]. Obecność amylozy może ograniczać hydratację regionów amorficznych i wpływać na zwiększenie temperatury kleikowania [40]. Ponadto uważa się, że niższa siła pęcznienia prowadzi do wyższej temperatury kleikowania [41]. Za zmianę ΔH odpowiedzialna może być zmniejszająca się zawartość amylozy i wzrastająca względna krystaliczność skrobi przy coraz większych dawkach K [38].

Również poziom dostępności fosforu w glebie dla roślin ziemniaka ma wpływ na właściwości termiczne skrobi ziemniaczanej. Leonel i wsp. [38] w przypadku większości badanych odmian ziemniaka odnotowali niewielki, ale znaczący wzrost temperatury kleikowania wraz ze zwiększeniem dostępności tego makroskładnika. Jednak w przypadku niektórych odmian autorzy określili odwrotną zależność, która może wynikać z obecności monoestrowych grup fosforanowych połączonych z amylopektyną. Wzrost dostępności fosforu modyfikuje w małym zakresie wartości ΔH .

Zmiany zachodzące w granulach skrobi podczas kleikowania i retrogradacji są określane przede wszystkim na podstawie zmian lepkości w trakcie ogrzewania i chłodzenia dyspersji skrobi. Lepkość maksymalna (PV) odzwierciedla możliwość uporząd-

kowanej skrobi do hydratacji i pęcznienia. Zmniejszenie lepkości (BD), będące różnicą między lepkością maksymalną (PV) a lepkością w temp. 95 °C (HPV), to miara stabilności polimeru w wysokich temperaturach przy mechanicznym mieszaniu. Marques i wsp. [11] wykazali wpływ nawożenia azotem na lepkość maksymalną, zmniejszenie lepkości (BD) oraz lepkość końcową (FV) kleiku skrobiowego. Nie stwierdzili, aby nawożenie azotem wpływało na zwiększenie lepkości dyspersji skrobi podczas jej chłodzenia (SB). Wraz ze zwiększaniem dawki N skrobie ziemniaczane wykazują mniejsze wartości PV, BD oraz większe FV.

Właściwości kleikujące skrobi są również zmienne przy różnych dawkach zastosowanego nawozu potasowego. Wraz z ich zwiększaniem lepkość maksymalna (PV) kleiku skrobiowego maleje, co związane jest z rozmiarem ziarna, zawartością amylozy i jonizacją grup fosforanowych. Kaur i wsp. [31] wykazali, że PV jest powiązana dodatnio z BD. Wartość parametru BD zmniejsza się wraz ze zwiększaniem stosowania nawozów K. Niższe wartości BD wskazują na większą odporność skrobi na ogrzewanie i naprężenia ścinające [33]. Wartość SB odzwierciedla retrogradację kleiku skrobiowego wytworzonego przez amylozę wypłukaną ze skrobi w procesie chłodzenia [56]. Zwiększone nawożenie K zmniejsza podatność skrobi na retrogradację, o czym świadczy obniżanie wartości SB podczas zwiększania nawożenia. Zmniejszenie SB należy wiązać z małą zawartością amylozy [8].

Parametry kleikowania polimeru zmieniają się również wraz ze zmianą dostępności fosforu w glebie. Leonel i wsp. [38] wskazują na dodatnią relację między poziomem dostępności P a lepkością maksymalną (PV) kleiku skrobiowego, co jest z kolei związane z zawartością amylozy i fosforu w ziarnie skrobiowym. Podczas kleikowania skrobi jej grupy fosforanowe ulegają jonizacji, a cząsteczka polimeru przyjmuje ładunek ujemny. Powstałe niewielkie odpychania kulombowskie znacznie „otwierają” rozgałęzione cząsteczki amylopektyny, dzięki czemu zwiększa się ich rozpuszczalność [44]. Wyjaśnia to wpływ ilości fosforu występującego w cząsteczce polimeru na maksymalną lepkość kleiku skrobiowego. Zwiększenie dostępności fosforu wpływa na zwiększenie wartości parametru BD, co skutkuje mniejszą odpornością skrobi na ogrzewanie. Zwiększone stężenie P w glebie intensyfikuje retrogradację skrobi, o czym świadczy wzrost wartości SB.

Podsumowanie

Do ważniejszych czynników agrotechnicznych w aspekcie plonowania ziemniaka, a w konsekwencji ilości i jakości zsyntetyzowanej skrobi, zalicza się nawożenie. Efektywność zastosowanego nawożenia zależy od rodzaju (organiczny czy mineralny) i dawki nawozu, ale także od drogi jego podania (doglebowo czy dolistnie). Uwzględnić należy również to, że przy zastosowaniu tego samego nawożenia ilość skrobi oraz jej właściwości fizykochemiczne różnią się w zależności od odmiany. Niemniej jednak

można określić ogólny kierunek wpływu poszczególnych nawozów (szczególnie mineralnych) na ilość, strukturę i skład, a w konsekwencji właściwości fizykochemiczne skrobi. I tak np. zawartość skrobi w bulwach maleje przy niedostatecznej podaży potasu oraz przy zbyt wysokich dawkach azotu. Mniejszy wpływ na ten parametr ma nawożenie fosforem. Zastosowanie doglebowo nawozów fosforowych i potasowych promuje formowanie się dużych ziaren skrobi, podczas gdy nawożenie azotowe powoduje odwrotne skutki. Określenie wpływu nawożenia roślin na właściwości skrobi dostarcza przydatnych i ważnych informacji zarówno dla producentów ziemniaków, badaczy, jak i sektora przemysłowego, ponieważ umożliwia kontrolę warunków uprawy ziemniaka mających wpływ na uzyskanie skrobi natywnej o określonych właściwościach.

Publikacja została sfinansowana z pieniędzy przyznanych na działalność statutową Uniwersytetu Rolniczego.

Literatura

- [1] Baniuniene A., Zekaite V.: The effect of mineral and organic fertilizers on potato tuber yield and quality. *Latv. J. Agron.*, 2008, 11, 202-206.
- [2] Barczak B., Nowak K.: Effect of sulphur fertilisation on the content of macroelements and their ionic ratios in potato tubers. *J. Elem.*, 2014, 20 (1), 37-47.
- [3] Bernat E.: Optymalne nawożenie azotem nowych odmian skrobiowych ziemniaka na glebach średnio zwięzłych. *Ziemniak Polski*, 2002, 3, 9-13.
- [4] Bogucka B.: Effect of different mineral fertilization technologies on the size of starch granules in potato. *Starch-Stärke*, 2014, 66 (7-8), 685-690.
- [5] Bogucka B., Cwalina-Ambroziak B., Zięba T.: The effects of varied soil and foliar mineral fertilization levels in the production of high-starch potatoes. *Pol. J. Nat. Sci.*, 2010, 25 (3), 215-228.
- [6] Boligłowa E.: Wpływ dolistnego dokarmiania ziemniaka na plon, jego strukturę, zdrowotność i trwałość przechowalniczą bulw. *Acta Agrophysica*, 2003, 85, 99-106.
- [7] Bombik A., Rymuza K., Markowska M., Stankiewicz C.: Variability analysis of selected quantitative characteristics in edible potato varieties. *Acta Sci. Pol. Agric. Pol.*, 2007, 6 (3), 5-15.
- [8] Chen J., Liang Y., Li X., Chen L., Xie, F.: Supramolecular structure of jackfruit seed starch and its relationship with digestibility and physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.*, 2016, 150, 269-277.
- [9] Ciećko Z., Żołnowski A., Wyszowski M.: The effect of NPK fertilization on tuber yield and starch content in potato tubers. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Sect. E Agric. Pol.*, 2004, 59 (1), 399-406.
- [10] Danilichenko H., Venskutnoniene E., Bartaseviciene B., Pranaitiene R.: Effect of potassium fertilisation on quality of potato tubers from organic plantations. Part 1. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 2006, 511, 210-215.
- [11] Ebúrneo J.M., Garcia E.L., dos Santos T.P.R., de Souza E. de F.C., Soratto R.P., Fernandes A. M.: Influence of nitrogen fertilization on the characteristics of potato starch. *Aust. J. Crop. Sci.*, 2018, 12 (3), 365-373.

- [12] Edelbauer A.: The effect of increased P and K dressings on yield and quality of starch potatoes grown on a fixing soil. Proc. 13th IPI Congr., Reims, France, 1986, pp. 119-125.
- [13] Fotyma M., Grzeškiewicz M.: The effect of nitrogen and phosphorus fertilization on tuber yield and starch content in potato Cv. Nysa. Ziemiak, 1979, 22, 157-182.
- [14] Gopal J., Khurana S.M.: Handbook of Potato Production, Improvement, and Postharvest Management. CRC Press, New York City 2006.
- [15] Gruczek T., Lutomirska B., Szutkowska M.: Różnice w technologii uprawy ziemniaków dla przetwórstwa, jadalnych, na wczesny zbiór, skrobiowych i sadzeniaków. W: Podręcznik producenta ziemniaków. IHAR, Jadwisin 2002, ss. 25-42.
- [16] Grzeškiewicz H., Trawczyński C.: Dolistne stosowanie nawozów wieloskładnikowych w uprawie ziemniaka. Folia Univ. Agric. Stetin. Agric., 1998, 190 (72) 75-80.
- [17] Haase N.U., Plate J.: Properties of potato starch in relation to varieties and environmental factors. Starch – Stärke, 1996, 48 (5), 167-171.
- [18] Haberland R.: Do potatoes need trace element fertilizer? Kartoffelbau, 2000, 51 (6), 260-264.
- [19] Hawker J.S., Marschner H., Krauss A.: Starch synthesis in developing potato tubers. Physiol. Plant. 1979, 46 (1), 25-30.
- [20] Jabłoński K.: Wpływ dolistnego nawożenia ziemniaków nawozami mikroelementowymi na kształtowanie się plonów i efekty ekonomiczne. Biul. IHAR, 1999, 212, 165-177.
- [21] Jabłoński K.: Wpływ nawożenia azotowego na plon i jakość bulw nowych odmian ziemniaka skrobiowego. Biul. IHAR, 2005, 237/238, 143-149.
- [22] Jabłoński K.: Wpływ nawożenia wieloskładnikowymi nawozami nowej generacji na plon i jakość ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2006, 511 (1), 309-315.
- [23] Jabłoński K.: Efekty nawożenia ziemniaków nawozami nowej generacji. Ziemiak Polski, 2006, 1, 15-18.
- [24] Jabłoński K.: Florovitem można dolistnie nawozić ziemniaki. Ziemiak Polski, 2008, 2, 14-18.
- [25] Jabłoński K.: Produkcyjne i jakościowe efekty dolistnego nawożenia ziemniaków Sonatą Z i Alkali-nem PK 10:20. Ann. UMCS, Ser E, 2009, 64 (1), 59-67.
- [26] Jabłoński K., Bernat E.: Wpływ dolistnego nawożenia Mikrosolem Zm na kształtowanie się plonu ziemniaka i jego jakość oraz możliwości ograniczenia stosowania fungicydów do zwalczania zarazy ziemniaka. Prog. Plant Prot., 2001, 41 (1), 299-305.
- [27] Jabłoński K., Dryjańska M.: Wpływ dolistnego dokarmiania ziemniaków preparatami typu Wuxal na plon i jego strukturę oraz skład chemiczny bulw. Folia Univ. Agric. Steinensis. Agric., 1998, 72, 115-121.
- [28] Jacobsen H.B., Madsen M.H., Christiansen J., Nielsen T.H.: The degree of starch phosphorylation as influenced by phosphate deprivation of potato (*Solanum tuberosum* L.) plants. Potato Res., 1998, 41 (2), 109-116.
- [29] Kamal M.A., Khalid G.M., Eskavas M.A.: Effect of different fertilizers on the transformation of carbohydrates in potato plant. Agric. Res. Rev., 1974, 52, 101-109.
- [30] Kandi M.A. S., Tobe, A., Gholipoor A., Jahanbakhsh S., Hassanpanah D., Sofalian O.: Effects of different N fertilizer rate on starch percentage, soluble sugar, dry matter, yield and yield components of potato cultivars. Aust. J. Basic Appl. Sci., 2011, 5 (9), 1846-1851.
- [31] Kaur A., Singh N., Ezekiel R., Guraya H.S.: Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. Food Chem., 2007, 101 (2), 643-651.
- [32] Kaur L., Singh N., Sodhi N.S.: Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. Food Chem., 2002, 79 (2), 183-192.

- [33] Kong X., Zhu P., Sui Z., Bao J.: Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. *Food Chem.*, 2015, 172, 433-440.
- [34] Kosecka Z., Gronowicz Z., Zielińska A.: Wpływ terminu sadzenia oraz nawożenia azotem na plonowanie sześciu odmian ziemniaka w Olsztyńskim. *Acta Acad. Agric. Tech. Olszt. Agric.*, 1989, 49, 109-118.
- [35] Kozera W., Cwojdzński W.: Impact of fertilization with zinc and manganese on chemical content of potato tubers. *Chem. Inż. Ekol.*, 2002, 11 (9), 1397-1402.
- [36] Krzymuski J., Ladański Z.: Zmiany w uprawie i w produkcji ziemniaka. Cz. II. *Agrotechnika. Biul. IHAR*, 1996, 197, 283-290.
- [37] Lazauskas J., Ražukas A.: *Bulvininkyste Lietuvoje 1900 - 2000 m.* Akademija, Kiejdany 2001, s. 156.
- [38] Leonel M., Carmo E.L., Fernandes A.M., Franco C.M., Soratto R.P.: Physico-chemical properties of starches isolated from potato cultivars grown in soils with different phosphorus availability. *J. Sci. Food Agric.*, 2016, 96 (6), 1900-1905.
- [39] Leszczyński W.: Wpływ czynników działających w okresie wegetacji ziemniaka na jego jakość. *Postępy Nauk Rol.*, 1994, 41 (6), 55-68.
- [40] Leszczyński W.: Zróżnicowanie właściwości skrobi. *Przem. Spoż.*, 2001, 55 (3), 38-39.
- [41] Leszczyński W.: Zależność jakości ziemniaka od stosowania w uprawie nawozów i pestycydów. *Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol.*, 2002, 489, 47-63.
- [42] Li S., Duan Y., Guo T., Zhang P., He P., Johnston A., Shcherbakov A.: Potassium management in potato production in Northwest region of China. *Field Crops Res.*, 2015, 174, 48-54.
- [43] Liszka-Skoczylas M., Skoczylas L., Berski W., Smoleń S., Kowalska I., Słupski J.: The influence of potato plant fertilization with iodine and selenium on physicochemical properties of isolated starch. In: *Proc. 14th Int. Conf. Polysacch.-Glycosci.* Eds. R. Rapkova, A. Hinkova, J. Copikova, E. Sarka. Czech Chemical Society, Prague 2018, pp. 343-347.
- [44] Lu Z.-H., Yada R.Y., Liu Q., Bizimungu B., Murphy A., de Koeyer D., Li X., Pinheiro R.G.: Correlation of physicochemical and nutritional properties of dry matter and starch in potatoes grown in different locations. *Food Chem.*, 2011, 126 (3), 1246-1253.
- [45] Machnacki M., Kołpak R.: Wpływ nawożenia azotem i terminu zbioru na wysokość i wartość konsumpcyjną plonu ziemniaków wczesnych. Cz. I. Plon ogólny i zawartość azotanów i witaminy C w bulwach. *Rocz. Nauk. Rol. Ser. A*, 1998, 113 (1), 133-140.
- [46] Mokrani K., Hamdi K., Tarchoun N.: Potato (*Solanum tuberosum* L.) response to nitrogen, phosphorus and potassium fertilization rates. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2018, 49 (11), 1314-1330.
- [47] Mozolewski W.: Jakość chipsów otrzymanych z ziemniaków krajowych odmian nawożonych rzędkowo i całopowierzchniowo. *Folia Univ. Agric. Stetin Agric.*, 1998, 72, 217-222.
- [48] Nowacki W.: Charakterystyka krajowego rejestru odmian ziemniaka.[online]. IHAR. Dostęp w Internecie [07.01.2020]: http://pw.ihar.edu.pl/wp-content/uploads/2018/12/9af9625eb5_Charakterystyka-2018.pdf
- [49] Nowak K., Majcherczak E.: Wpływ nawożenia mikroelementami na plon bulw ziemniaka. *Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol.*, 2004, 502 (1), 247-251.
- [50] Osowski J., Erlichowski T., Urbanowicz J.: Wpływ nawożenia potasem, magnezem i siarką na plonowanie, ciemnienie bulw surowych oraz występowanie alternariozy i ospowatości bulw ziemniaka. *Fragm. Agron.*, 2017, 34 (1), 49-59.
- [51] Pobereżny J., Wszelaczynska E.: Effect of bioelements (N, K, Mg) and long-term storage of potato tubers on quantitative and qualitative losses. Part II. Content of dry matter and starch. *J. Elem.*, 2011, 16 (2), 237-246.

- [52] Putz B.: Untersuchungen über den Einfluß der organischen und mineralischen Düngung auf die Viskositätseigenschaften der Kartoffelstärke. *Starch – Stärke*, 1982, 34, 54-59.
- [53] Putz B., Tegge G.: Einfluß von Sorte, Knollengröße, spezifischem Gewicht und Düngung auf die Viskositätseigenschaften von Kartoffelstärke. *Starch – Stärke*, 1976, 28, 387-391.
- [54] Rogozińska I.: The role of potassium for obtaining high quality of potatoes in Poland. Wyd. ATR, Bydgoszcz 2000.
- [55] Sharma U.C., Arora B.R.: Effect of applied nutrients on the starch, proteins and sugars in potatoes. *Food Chem.*, 1988, 30 (4), 313-317.
- [56] Simi C.K., Abraham T.E.: Physicochemical rheological and thermal properties of Njavara rice (*Oryza sativa*) starch. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, 56 (24), 12105-12113.
- [57] Šimková D., Lachman J., Hamouz K., Vokál B.: Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. *Food Chem.*, 2013, 141 (4), 3872-3880.
- [58] Sriksumar T.S., Ockerman P.A.: The effects of fertilization and manuring on the content of some nutrients in potato (var. Provita). *Food Chem.*, 1990, 37 (1), 47-60.
- [59] Świerczewska M., Sztuder H.: Dolistne stosowanie preparatów mikroelementowych zawierających tytan. *Zesz. Probl. Postępów Nauk Rol.*, 2004, 502 (1), 371-376.
- [60] Szewczuk C.: Wpływ dokarmiania dolistnego na plon bulw ziemniaka. *Ann. UMCS Agric.*, 2009, 64 (1), 7-12.
- [61] Talley E.A.: Protein nutritive value of potatoes during growth and long term storage. *Am. Pot. J.*, 1983, 60, 35-40.
- [62] Thitisaksakul M., Jiménez R.C., Arias M.C., Beckles D.M.: Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *J. Cereal Sci.*, 2012, 56 (1), 67-80.
- [63] Trawczyński C., Kopenc J.: Kompleksowy system nawożenia dolistnego ziemniaków nawozami płynnymi typu Campofort. *Ziemniak Polski*, 2002, 2 (1), 22-26.
- [64] Trawczyński C., Prokop W.: Plon i jakość bulw ziemniaka w zależności od zastosowanego nawożenia z wykorzystaniem doglebowych i dolistnych wieloskładnikowych preparatów nawozowych. *Pol. J. Agron.*, 2016, 24 (1), 23-29.
- [65] Wadaś W., Łęczycka T.: Efektywność stosowania wieloskładnikowych nawozów kompleksowych w uprawie bardzo wczesnych odmian ziemniaka. *Biul. IHAR.*, 2010, 257/258, 167-175.
- [66] Wang C., Tang C.-H., Fu X., Huang Q., Zhang B.: Granular size of potato starch affects structural properties, octenylsuccinic anhydride modification and flowability. *Food Chem.*, 2016, 212, 453-459.
- [67] Winnicki T., Bogucka B.: Evaluation of different potato fertilization regimes on starch yield – production and economic aspects. *Pol. J. Nat. Sci.*, 2017, 32 (4), 637-648.
- [68] Wszelaczyńska E., Pobereźny J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Żarski J., Pawelzik E.: The effects of fertilizers, irrigation and storage on the properties of potato tubers and their constituent starches. *Starch-Stärke*, 2015, 67 (5-6), 478-492.
- [69] Zhang W., Liu X., Wang Q., Zhang H., Li M., Song B., Zhao Z.: Effects of potassium fertilization on potato starch physicochemical properties. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2018, 117, 467-472.
- [70] Zhu D., Zhang H., Guo B., Xu K., Dai Q., Wei C., Zhou G., Huo Z.: Effects of nitrogen level on structure and physicochemical properties of rice starch. *Food Hydrocoll.*, 2017, 63, 525-532.

EFFECT OF POTATO PLANTS (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) FERTILIZATION ON CONTENT AND QUALITY OF STARCH IN TUBERS

S u m m a r y

Starch is the main component of potato and it accounts for about 17 ÷ 21 % of the weight of fresh tubers. In addition to quantity, the structure and composition and consequently the physical-chemical properties of that biopolymer are important factors to determine the direction of its use in food and industrial applications. In turn, those indicators are impacted, in addition to the genotype, by environmental conditions and agricultural practices used during plant cultivation. For the proper progress of physical and biochemical processes in a plant, it is fundamental to comprehensively provide it with easily available nutrients. A comprehensive feeding of the potato plants translates directly into the quantity and quality of starch contained in tubers. The application of appropriate fertilization (type and amount of the fertilizer applied including methods of dosing mineral components and organic matter) affects among others the granulation of polymer grains, the content of amylose and phosphorus, thermal properties and starch gelatinization process; for example the content of starch in tubers decreases with an insufficient potassium supply and with too high doses of nitrogen. The phosphorus fertilization has a smaller effect on that parameter. When applied to soil, phosphorus and potassium fertilizers promote the formation of large starch grains, while the nitrogen fertilization has an adverse effect. The fertilizing of potato plants does not affect the crystallographic structure of starch, however its relative crystallinity increases with the increasing dose of K and it decreases with the increasing supply of nitrogen fertilizer. By determining the impact of plant fertilization on starch properties, there are provided useful and important information for the potato producers, the researchers and the industrial sector, because in this way it is possible to control the conditions for growing potatoes, which have an effect on producing a native starch with specific physical-chemical properties.

Key words: potato, starch, fertilization, nitrogen, phosphorus, potassium ☒