

BADANIE PILOTAŻOWE NAD DYSTRYBUCJĄ PRZESTRZENNĄ METALI CIĘŻKICH W BULWACH WYBRANYCH ODMIAN ZIEMNIAKA (*SOLANUM TUBEROSUM* L.): IMPLIKACJE DLA BEZPIECZEŃSTWA ŻYWNOSTY I OCENY RYZYKA

Michał Marek¹, Dominik Zdzeszyński², Piotr Simajchel²,
Krzysztof Kleszcz¹

wchp@atar.edu.pl, wt@atar.edu.pl

¹Akademia Tarnowska, Wydział Nauk Chemicznych i Przyrodniczych, Katedra
Chemii, Mickiewicza 8, 33–100 Tarnów, Polska

²Akademia Tarnowska, Wydział Nauk Technicznych, Katedra Technologii
i Zarządzania Produkcją, Mickiewicza 8, 33–100 Tarnów, Polska

Streszczenie

Głównym celem niniejszego badania pilotażowego jest analiza gradientów stężeń ołowiu (Pb), kadmu (Cd), arsenu (As), glinu (Al) i miedzi (Cu) w obrębie zróżnicowanych warstw anatomicznych wybranych odmian ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.). Analiza ta pozwala ocenić rolę tkanki okrywającej (perydermy) jako bariery dla metali toksycznych oraz efektywność ich usuwania poprzez obróbkę mechaniczną w celu zapewnienia bezpieczeństwa żywności.

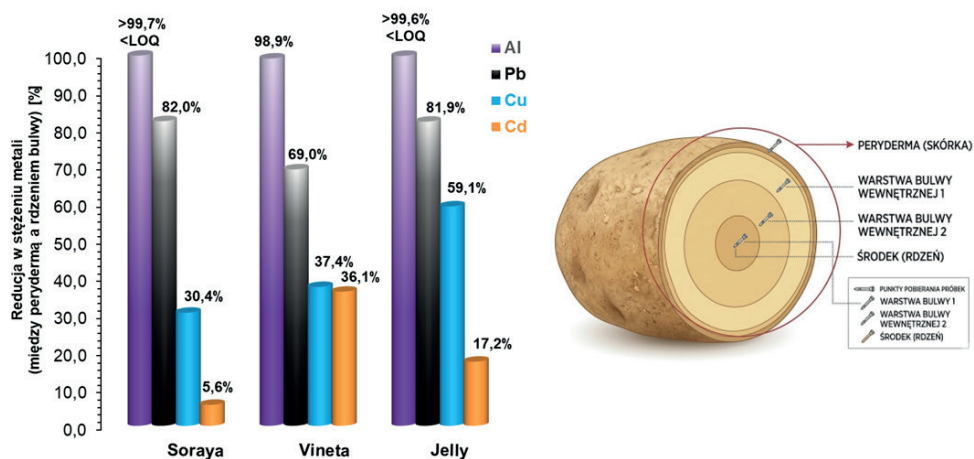
Antropogeniczne zanieczyszczenie gleb rolniczych metalami ciężkimi, takimi jak Pb, As i Cd, stanowi nieustanne wyzwanie środowiskowe o bezpośrednim wpływie na zdrowie całych społeczności. Meta-

le ciężkie charakteryzują się zdolnością do bioakumulacji w strukturach organizmów żywych [1,2]. Przewlekła ekspozycja pokarmowa na Pb i Cd indukuje szereg schorzeń ogólnoustrojowych, w tym nefrotoksyczność, hepatotoksyczność oraz zaburzenia neurologiczne, a także zwiększa ryzyko wystąpienia zmian nowotworowych w obrębie skóry i układu oddechowego [3].

Pobieranie metali toksycznych przez rośliny często odbywa się dzięki transbłonowym transporterom przeznaczonym dla niezbędnych pierwiastków, takich jak Mg, Ca czy Zn [4]. W badaniu uwzględniono także Cu oraz Al, które pozwolą sprawdzić, czy wspólne z metalami bardziej

toksycznymi drogi transportu wpływają na ich rozmieszczenie w bulwie i skuteczność usuwania podczas obierania. Materiał badawczy stanowiły, próbki trzech odmian ziemniaka; Soraya, Vineta i Jelly – pochodzące z różnych środowisk uprawy i punktów sprzedaży detalicznej. Próbkę poddano precyzyjnemu podzieleniu na trzy strefy: perydermę (skórkę), dwie warstwy mięszu wewnętrznego oraz rdzeń centralny. Po mechanicznym oczyszczeniu i pomiarze grubości warstw, próbki poddano mineralizacji na mokro w ultra-

-czystym kwasie azotowym(V) przy użyciu wysokociśnieniowego mineralizatora wyposażonego w system mikrofalowy. Ilościowe oznaczenie wybranych metali (Pb, Cd, As, Cu, Al) wykonano następnie techniką absorpcyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją w piecu grafitowym (GF-AAS), zapewniającą wysoką czułość analizy śladowej. Dokładność analiz potwierdzono za pomocą certyfikowanych materiałów odniesienia (CRM). Warstwy bulwy z których pobierano próbki i wyniki procentowej redukcji stężenia metali przedstawiono na Rys. 1.



Rysunek 1. Wyniki redukcji stężenia metali pomiędzy perydermą a rdzeniem bulwy, oraz warstwy z których pobierano próbki. Dla Al (Soraya, Jelly) wartości obliczono względem LOQ (granicy oznaczalności).

Figure 1. Reduction in metal concentrations (periderm to tuber core) and sampling zones. For Al (Soraya, Jelly), reduction was estimated based on the LOQ.

Wyniki badań wskazują na wyraźny kontrast w rozmieszczeniu poszczególnych metali w zależności od warstwy bulwy. Podczas gdy Pb koncentruje się głównie w perydermie

i może być skutecznie usunięty (do 82% redukcji) poprzez obieranie, Cd przenika głębiej do wnętrza bulwy, co skutkuje znacznie niższą efektywnością usuwania (nawet do ok. 6% – Soraya). Choć obrób-

ka mechaniczna jest wysoce skuteczną strategią ograniczania narażenia na Pb, okazuje się ona znacznie mniej efektywna w przypadku Cd, który pozostaje trwałym zagrożeniem w tkankach wewnętrznych. Stężenia arsenu we wszystkich badanych frakcjach bulw były skrajnie niskie, oscylując na granicy oznaczalności metody (LOQ = 140,6 µg/kg). Dla porównania, niezbędny mikroskładnik Cu wykazuje bardziej równomierny

rozkład we wszystkich warstwach, a jego redukcja (nawet do 59,1%) jest silnie zależna od odmiany. W przypadku glinu odnotowano niemal całkowitą eliminację pierwiastka (powyżej 98,9%). Powyższe ustalenia podkreślają konieczność przeprowadzenia dalszych badań na szeroką skalę z wykorzystaniem znormalizowanego pobierania próbek reprezentatywnych, aby zweryfikować te specyficzne dla odmian wzorce akumulacji.

Słowa kluczowe: Metale Ciężkie, Ziemniak, Bezpieczeństwo Żywności, Bioakumulacja

Keywords: Heavy Metals, Potato, Food Safety, Bioaccumulation

Bibliografia / References

[1] Naveed, Sahar, Peter Olusakin Oladoye, and Yakubu Adekunle Alli. 2023. "Toxic Heavy Metals: A Bibliographic Review of Risk Assessment, Toxicity, and Phytoremediation Technology." *Sustainable Chemistry for the Environment* 2 (June): doi:10.1016/j.scenv.2023.100018.

[2] Musilova, Janette, Judita Bystricka, Alena Vollmannova, Barbora Volnova, and Alena Hegedusova. 2015. "Factors affecting heavy metals accumulation in potato tubers." *Environmental Pro-*

tection and Natural Resources 26, no. 2 (June): doi:10.1515/oszn-2015-0018.

[3] Scutaraşu, Elena-Cristina, and Lucia Carmen Trincă. 2023. "Heavy Metals in Foods and Beverages: Global Situation, Health Risks and Reduction Methods." *Foods* 12, no. 10 (September): doi:10.3390/foods12183340.

[4] Clemens, Stephan. 2006. "Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants." *Biochimie* 88, no. 11 (November): doi:10.1016/j.biochi.2006.07.003.

A PRELIMINARY STUDY ON THE SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN DIFFERENT POTATO (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) VARIETIES: IMPLICATIONS FOR FOOD SAFETY AND RISK ASSESSMENT

Abstract

The primary objective of this pilot study is to evaluate the spatial distribution and concentration gradients of lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As), aluminum (Al) and copper (Cu), within differentiated anatomical layers of various *Solanum tuberosum* L. varieties, in order to assess the efficacy of the periderm as a physiological barrier and determine the implications for food safety and risk mitigation through mechanical processing.

The anthropogenic contamination of agricultural soils with heavy metals such as Pb, As and Cd represents a critical environmental challenge with direct implications for human health. Heavy metals are characterized by their capacity of bioaccumulation within the structures of living organisms. Chronic dietary exposure to Pb and Cd is linked to severe systemic pathologies, including renal and hepatic dysfunction, neurotoxicity, and increased risks of cutaneous or pulmonary malignancies. [3].

The uptake of toxic elements often exploits transmembrane carriers intended for essential minerals like Mg, Ca, or Zn [4]. In this context, Cu and Al was analyzed as a comparative elements to assess how these shared transport pathways influence spatial distribution and potential risk mitigation through peeling. The research material, comprising three edible potato cultivars: Soraya; Vineta and Jelly sourced from diverse retail and cultivation environments, was subjected to precise anatomical stratification into three distinct zones: the periderm (peel), two internal parenchyma layers, and the central core. Following mechanical purification and thickness measurement, tissue samples underwent wet digestion with ultra-pure nitric acid using pressurized microwave digestion system. The quantitative determination of selected metals (Pb, Cd, As, Al, Cu,) was subsequently performed using Graphite-Furnace Atomic Absorption Spectrometry

(GF–AAS), ensuring high sensitivity for trace element analysis. The accuracy of the analyses was verified using Certified Reference Materials (CRMs). The tuber layers from which the samples were collected and the results of the percentage reduction in metal concentrations are presented in Fig. 1.

The results reveal a sharp contrast in the spatial distribution of contaminants: while Pb is primarily concentrated in the periderm and can be effectively removed (up to 82% reduction) by peeling, Cd penetrates deeper into the tuber matrix, resulting in a significantly lower removal efficiency (as low as ca. 6% – Soraya). Consequently, although mechanical processing is a highly efficient strategy for mitigating Pb

exposure, it is far less effective for Cd, which remains a persistent risk in the inner tissues. Arsenic concentrations in all examined tuber fractions were extremely low, oscillating at the method's limit of quantification (LOQ = 140,6 µg/kg). In contrast, the essential micronutrient Cu exhibits a more uniform distribution; its reduction (up to 59.1%) is strongly variety-dependent. In the case of Al, near-complete elimination of the element was observed (exceeding 98.9%), although with a relatively high limit of quantification. These findings underscore the necessity for further large-scale studies utilizing standardized representative sampling to validate these variety-specific accumulation patterns.