



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**

Wydział Rolnictwa i Biotechnologii

RADA NAUKOWA DYSCYPLINY ROLNICTWO I OGRODNICTWO

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Piotr Ignaszak

**WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I CHEMICZNE GLEB W SADACH
JABŁONIOWYCH W ZALEŻNOŚCI OD OKRESU UŻYTKOWANIA**

***PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS IN APPLE
ORCHARDS IN RELATION TO THE PERIOD OF USE***

DZIEDZINA: NAUKI ROLNICZE
DYSCYPLINA: ROLNICTWO I OGRODNICTWO

PROMOTOR

PROF. DR HAB. INŻ. MIROSŁAW KOBIERSKI
PRACOWNIA GLEBOZNAWSTWA I BIOCHEMII
POLITECHNIKA BYDGOSKA

Bydgoszcz, 2024 rok

WSTĘP

Polska jest jednym z największych producentów jabłek na świecie. Analiza struktury powierzchni sadów względem grup wiekowych wykazała, że najczęściej sadów jabłoniowych było w wieku od 15 do 24 lat. Decydujący wpływ na owocowanie drzew ma gleba i jej właściwości, oraz czynniki klimatyczne, a także całokształt zabiegów agrotechnicznych. Korzenie jabłoni sięgają do znacznych głębokości, jednakże ich główna masa znajduje się na głębokości 30-60 cm (Pieniążek 1995). W związku z tym ważna staje się ocena właściwości gleby w głębszych jej warstwach. Ma to szczególne znaczenie przy tworzeniu zaleceń nawozowych, a także prognoz przewidywanych zmian zasobności w składniki pokarmowe. Dotyczy to określenia zawartości potasu, magnezu i wapnia, które są pobierane przez korzenie z głębszych warstw gleby (Jarociński 2005; Torres i in. 2017).

System pasów herbicydowych jest standardowym sposobem utrzymania gleb w sadach jabłoniowych od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, ponieważ skutecznie eliminuje konkurencje chwastów oraz jest metodą niezawodną, tanią i łatwą w zastosowaniu (Tworkoski i Glenn 2001; Harrington i in. 2005; Hogue i Neilsen 2011; Tworkoski i Glenn 2012). Sposób utrzymywania gleby w sadach jabłoniowych oraz zastosowane nawożenie wpływa na jej właściwości fizyczne, fizykochemiczne, chemiczne oraz aktywność mikrobiologiczną (Hoagland i in. 2008; Rose i in. 2016; Mia i in. 2020).

Intensyfikacja sadownictwa spowodowała także występowanie wielu chorób fizjologicznych drzew owocowych. Poznanie przyczyn oraz warunków sprzyjających występowaniu tych chorób pozwoliło na opracowanie zaleceń metodycznych odnośnie do zabiegów agrotechnicznych. Dodatkowe zabiegi ochronne generują, jednakże dodatkowe koszty. Obecnie znanych jest kilkanaście chorób fizjologicznych drzew owocowych, a jedną z nich jest gorzka plamistość podskórna owoców. Główną przyczyną tej choroby opisywaną przez wielu autorów jest niedobór wapnia w owocach, a determinuje go zbyt wysoki stosunek potasu do wapnia w glebie (Wińska-Krysiak i Łata 2010; Jemrić i in. 2016; Serban i in. 2019; Torres i in. 2024). Wielu badaczy potwierdza dodatnią korelację pomiędzy zawartością potasu a obecnością chorób fizjologicznych na owocach jabłoni (Andziak i in. 2004; Lotze i Theron 2007; Casero i in. 2010). Obecnie najpopularniejszą formą zapobiegania tej choroby jest nalistna aplikacja wapnia w okresie wegetacji. Ponadto odpowiednie zaopatrzenie owoców w wapń ma zasadnicze znaczenie dla poprawy ich przechowywania (Danner i in. 2015).

Wieloletnie użytkowanie sadownicze powoduje wiele zmian właściwości fizycznych oraz chemicznych gleb, dotyczących zawartości makro- i mikropierwiastków, zarówno ich form całkowitych, jak i przyswajalnych dla roślin. Utrzymanie ugoru herbicydowego w rzędach drzew jabłoni, brak wapnowania, niebilansowane nawożenie NPK oraz nadmierne stosowanie środków ochrony roślin może utrwalac niekorzystne zmiany we właściwościach gleb (Domżał i in. 1995; Bielińska i in. 1998). Skutkiem tego może być nagromadzenie metali ciężkich w glebach (Kobierski 2004).

Hipoteza badawcza

Hipoteza badawcza zakłada, że wieloletnie użytkowanie gleb w sadach jabłoniowych skutkuje pogorszeniem właściwości fizycznych oraz powoduje zmniejszenie zawartości lub nagromadzenie makroelementów. W wyniku wieloletniego użytkowania sadowniczego gleb dochodzić może do akumulacji pierwiastków śladowych w ich poziomach powierzchniowych.

Cel główny oraz cele szczegółowe

Celem pracy była ocena wpływu okresu rolniczego użytkowania gleb na wybrane właściwości fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne w sadach jabłoniowych. Ocena poszczególnych parametrów glebowych zestawionych według okresu użytkowania sadowniczego pozwoli określić w jakim stopniu dochodzi do zubożenia gleby lub nagromadzenia w składniki pokarmowe dla roślin oraz jakie pierwiastki są wyczerpywane najwcześniej. Uzyskane wyniki badań pozwolą na weryfikację zaleceń dotyczących nawożenia sadów jabłoniowych w zależności od okresu ich użytkowania. Zwłaszcza dotyczy to gruntów, na których będą wykonywane powtórne nasadzenia drzew. Wiedza na temat zasobności gleb w składniki pokarmowe po określonym okresie użytkowania sadowniczego pozwoli sadownikom przeciwdziałać niekorzystnym zmianom środowiska glebowego.

Cele szczegółowe:

- określenie wpływu okresu użytkowania sadu jabłoniowego na wybrane parametry glebowe (C, Ca, Mg, P, K, pH, Hh), wykorzystując wskaźniki jakości i żyzności gleb;
- ocena całkowitej zawartości metali ciężkich (Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Ni) oraz ich form przyswajalnych dla roślin w glebie.

OBIEKT I METODY BADAŃ

Obiekt badań

Materiałem do badań były próbki gleb pobrane z 9 profili gleb położonych w pasach herbicydowych sadów jabłoniowych o zróżnicowanym okresie sadowniczego użytkowania (2-3 lata; 9-12 lat; 19 lat; 27-30 lat). Próbki gleb pobrano w obrębie pasów herbicydowych w połowie odległości między linią rzędu drzew, a skrajem murawy z 5 profili zlokalizowanych z sąsiedztwie miejscowości Lisewo Kościelne – region A oraz 4 profili glebowych w sąsiedztwie miejscowości Wtelno – region B gmina Koronowo, województwo kujawsko-pomorskie. Próbki glebowe pobrano według standardowych metod oraz po przetransportowaniu do laboratorium Pracowni Gleboznawstwa i Biochemii Politechniki Bydgoskiej poddano wstępnej preparatyce (suszenie, przesiewanie przez sito o średnicy oczek $>2,0$ mm w celu oddzielenia części szkieletowych). W badanych sadach przez wszystkie lata sadowniczego użytkowania wykonywane były takie same zabiegi agrotechniczne, w tym zbliżone nawożenie, ochrona przed chorobami i szkodnikami. Ochrona drzew przed chorobami i szkodnikami była prowadzona zgodnie z zaleceniami dla produkcyjnych sadów jabłoniowych. Nawożenie nawozami mineralnymi obejmowało zastosowanie rocznie około 80-110 kg N, 90-130 kg K, 15-25 kg Mg oraz 10-20 kg P.

Metody badań

Do badań pobrano próbki o nienaruszonej strukturze do cylinderków o objętości 100 cm^3 . W próbkach o naruszonej strukturze oznaczone zostały:

- barwa gleby w stanie wilgotnym – skala barw Munsella,
- gęstość właściwa metodą piknometryczną,
- skład granulometryczny metodą dyfrakcji laserowej (Mastersizer 2000 (Malvern Instrument, Malvern, United Kingdom),
- zawartość CaCO_3 metodą Scheiblera,
- pH gleby w roztworze 1 M KCl,
- kwasowość hydrolityczna metodą Kappena,
- zawartość węgla organicznego metodą Tiurina,

- skład chemiczny masy glebowej w próbkach o średnicy <2,0 mm po mineralizacji w stężonych kwasach HF i HClO₄. (próbki glebowe, w trzech powtórzeniach poddane zostały mineralizacji w mieszaninie kwasów w celu oznaczenia całkowitej zawartości metali),
- analiza porównawcza materiału certyfikowanego o znanej całkowitej zawartości pierwiastków (mineralizacja w stężonych kwasach HF i HClO₄),
- zawartość form metali ciężkich rozpuszczalnych w 1M HCl (formy przyswajalne dla roślin wg procedury IUNG i Stacji Chemiczno-Rolniczych),
- zawartość przyswajalnych dla roślin form magnezu metodą Schachtschabela oraz potasu i fosforu metodą Egnera-Riehma.
- zawartość kationów wymiennych metodą z BaCl₂.
- zawartość kationów wodno-rozpuszczalnych (Ca_w, Mg_w, K_w, Na_w) w ekstrakcie wody destylowanej w stosunku gleba:woda – 1:5.

Zawartość metali w poszczególnych ekstraktach oznaczono metodą ASA, koncentrację wapnia, sodu i potasu metodą spektrometrii emisyjnej, natomiast zawartość fosforu przyswajalnego dla roślin na spektrofotometrze. Na podstawie wyników analiz obliczono:

- kationową pojemność wymienna (CEC) po zsumowaniu koncentracji H⁺ (kwasowość hydrolityczna) i sumy zasadowych kationów wymiennych TEB (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺);
- porowatość $= \left(\frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} \right)$
 ρ_w – gęstość fazy stałej gleby (Mg·m⁻³) ρ_o – gęstość objętościowa (Mg·m⁻³);
- zapas węgla organicznego $OCD = c \cdot \rho_o \cdot t \cdot (1 - \theta \%)$
OCD zapas węgla organicznego w glebie kg·m⁻², c – zawartość węgla (g·kg⁻¹), ρ_o – gęstość objętościowa (Mg·m⁻³), t – miąższość poziomu (m), θ – procentowa zawartość frakcji $\phi > 2,0$ mm;
- gęstość upakowania $PD = \rho_o + 0,009K$
(Mg·m⁻³) w poziomach podpowierzchniowych, PD gęstość upakowania, ρ_o – gęstość objętościowa (Mg·m⁻³), K – zawartość frakcji iłowej (%).

Opracowanie wyników

Wyniki analiz próbek gleby o średnicy <2,0 mm wykorzystano do obliczenia wartości wskaźników poszerzających możliwości interpretacyjne materiału badawczego. Należą do nich wskaźnik rozmieszczenia pierwiastków (DI) w profilu glebowym, obliczony według formuły:

$$DI = \frac{\text{zawartość pierwiastka w poziomach solum gleby}}{\text{zawartość pierwiastka w skale macierzystej gleby}}$$

Na podstawie całkowitej zawartości metali w obliczono wartości współczynnika wzbogacenia (EF). W obliczeniach jako zawartość tła geochemicznego przyjęto średnią całkowitą zawartość pierwiastków w skale macierzystej badanych gleb. Znajomość naturalnej zawartości pierwiastków w skale macierzystej przyjętej jako tło geochemiczne jest konieczna do oceny nagromadzenia w poziomach powierzchniowych gleb. Geochemiczną normalizację opracowano poprzez określenie całkowitej zawartości pierwiastków w próbkach skały macierzystej, które w założeniu nie podlegają antropogenicznemu oddziaływaniu. Wartości współczynnika wzbogacenia metali ciężkich określone zostały w celu oceny wpływu zanieczyszczeń antropogenicznych. Obliczenia wykonano według formuły:

$$EF = \frac{C_n/C_{nFe}}{B_n/B_{nFe}}$$

gdzie C_n – całkowita zawartość metalu w próbce gleby; C_{nFe} – całkowita zawartość Fe jako pierwiastka odniesienia w próbce gleby; B_n – zawartość metalu dla tła geochemicznego; B_{nFe} –

zawartość Fe tła geochemicznego (Martin i Meybeck 1979). Żelazo w niewielkim stopniu podlega antropogenicznemu oddziaływaniu i nie uczestniczy aktywnie w cyklach geochemicznych oraz nie ma znaczących źródeł antropogenicznych. We wszystkich obliczeniach jako zawartość tła geochemicznego przyjęto średnią całkowitą zawartość pierwiastków w warstwie 120-150 cm badanych profili glebowych.

Wyniki badań poddano analizie statystycznej. Dane dotyczące badanych parametrów zostały sprawdzone pod względem normalności rozkładu. Została wykonana analiza wariancji z wykorzystaniem najniższej istotnej różnicy według testu Post-hoc Tukeya oraz analiza skupień metodą Warda. Uzyskane wyniki poddano także wyliczeniom korelacji prostoliniowej (poziom istotności $<0,05$), za pomocą programu Statistica 13,0 firmy StatSoft. Wykonano analizę porównawczą materiału referencyjnego w celu walidacji metody oznaczania całkowitej zawartości metali. Certyfikowany materiał glebowy TILL-3 (Till-3 the Canadian Certified Reference Materials) poddano mineralizacji w pięciu powtórzeniach oraz oznaczono koncentrację w nich metali. Wartości odzysku metali w standardowym materiale referencyjnym wahały się od 91% do 109% dla poszczególnych metali wskazując na prawidłowy przebieg analizy, w tym pomiar koncentracji na aparacie metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA) przy użyciu spektrometru SOLAAR S4 (ThermoElemental).

WYNIKI BADAŃ

Gleba w profilach gleb regionu A charakteryzowała się istotnie wyższą średnią procentową zawartością frakcji piaskowej, natomiast istotnie niższą frakcji pyłowej oraz frakcji o średnicy $<0,02$ mm (części splawialne) w porównaniu z glebami regionu B. Materiał glebowy w profilach gleb w sadach regionu B zawierał zbliżoną średnią procentową zawartość frakcji szkieletowych oraz istotnie wyższą średnią procentową zawartość frakcji iłowej w porównaniu z glebami w sadach regionu A. Skład granulometryczny w poziomie próchnicznym gleb w sadach obu regionów nie wykazywał istotnego zróżnicowania a gleba należała do kategorii agronomicznej gleb średnich. W poziomie próchnicznym gleb w sadach obu regionów stwierdzono zbliżoną średnią procentową zawartość frakcji iłowej 4,78% – region A, 4,74% – region B. Materiał glebowy w poziomach podpowierzchniowych i skale macierzystej gleb w sadach regionu B został sklasyfikowany w większości przypadków do kategorii gleb ciężkich. Odnotowano nagromadzenie frakcji iłowej w poziomie iluwalnym badanych gleb, co jest charakterystyczne dla typu gleb pływych.

Zawartość Corg w poziomie próchnicznym gleb w sadach regionu A wahała się od $6,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $8,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ oraz od $11,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $13,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ w glebach sadów regionu B. Średnia zawartość Corg w poziomie próchnicznym sadów regionu A była statystycznie istotnie niższa ($7,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) w porównaniu ze średnią zawartością ($12,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) w glebie sadów lokalizacji B. Wielkość zapasu węgla organicznego (OCD) w poziomie próchnicznym gleb w sadach regionu B była istotnie wyższa w porównaniu z wielkością OCD w glebach pod sadami regionu A.

W poziomach podpowierzchniowych średnia wartość gęstości objętościowej (ρ_o) wynosiła $1,75 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ oraz $1,89 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ w materiale glebowym skały macierzystej. Najwyższe średnie wartości ρ_o odnotowano w skale macierzystej badanych gleb (od $1,80 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ do $1,89 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$) bez względu na okres ich sadowniczego użytkowania. Poziomy podpowierzchniowe i skały macierzystej gleb w sadach regionu B miały wyższą średnią wartość ρ_o , co wiązać należy z wyższą zawartością frakcji iłowej w poziomach Bt. Natomiast średnia wartość ρ_o była niższa w poziomie próchnicznym gleb regionu B, ponieważ zawierały one istotnie wyższą zawartość Corg. Odzwierciedleniem nadmiernej zwięzłości badanych gleb były bardzo niskie wartości porowatości ogólnej, które wahały w skale macierzystej od 0,27 do $0,31 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Ilość i wielkość

przestworów glebowych zależą od obecności struktur agregatowych oraz gęstości upakowania PD. Badane gleby charakteryzowały się relatywnie wysokimi wartościami PD, dochodzącymi w poziomie Bt od 1,75 do 1,95 Mg·m⁻³ (Tab. 6). Zawartość Corg była najwyższa w poziomie próchnicznym gleb każdego z sadów i zmniejszała się w głąb profilu glebowego bez względu na okres użytkowania. Stwierdzono, że wartość gęstości objętościowej gleby wzrastała wraz z wiekiem sadu. Wzrost gęstości objętościowej gleby w starszych sadach był związany z obniżeniem porowatości gleby, co może ograniczać dostępność wody i powietrza dla korzeni.

W trakcie sadowniczego użytkowania gleba w poziomie próchnicznym uległa zakwaszeniu, na co wskazują także średnie wartości kwasowości hydrolitycznej, które wynosiły 1,60 cmol(+)·kg⁻¹ w sadach I-A i I-B oraz 3,55 cmol(+)·kg⁻¹ w sadach IV-A i IV-B. Suma zasadowych kationów wymiennych w poziomie próchnicznym gleb użytkowanych 2-3 lata wynosiła średnio 11,13 cmol(+)·kg⁻¹, uległa zmniejszeniu do 4,71 cmol(+)·kg⁻¹ w sadach 27-30-letnich. Zawartość kationów wymiennych wapnia w glebie poziomu próchnicznego uległa zmniejszeniu się w trakcie sadowniczego użytkowania. Istotnie niższą średnią zawartość kationów wapnia odnotowano w glebie sadów użytkowanych 9-12 lat oraz 19 lat i 27-30 lat w porównaniu z ich zawartością w glebie sadów 2-3-letnich. Średnia zawartość Ca²⁺ w glebie poziomu próchnicznego wynosiła na początku sadowniczego użytkowania 9,05 cmol(+)·kg⁻¹ i ulegała istotnemu zmniejszeniu, ponieważ w sadach II-A1, II-A2 i II-B wynosiła 4,84 cmol(+)·kg⁻¹; w sadach III-A i III-B – 3,50 cmol(+)·kg⁻¹; w sadach IV-A i IV-B – 3,09 cmol(+)·kg⁻¹. Zmniejszyła się średnia koncentracja kationów wymiennych magnezu w glebie poziomu próchnicznego w trakcie sadowniczego użytkowania z 0,78 cmol(+)·kg⁻¹ do 0,31 cmol(+)·kg⁻¹ w glebie najstarszych sadów. Najwyższą koncentrację kationów wymiennych potasu odnotowano w glebie poziomu próchnicznego sadów jabłoniowych każdej kategorii wiekowej. Stwierdzono istotnie ujemną korelację pomiędzy średnią zawartością Ca²⁺ a zawartością Corg oraz kwasowością hydrolityczną. Poziomy zasobne w Corg charakteryzowały się istotnie niższą zawartością Ca²⁺. Odnotowano odwrotną zależność w odniesieniu do zawartości kationów potasu, których koncentracja była istotnie wyższa w glebie zasobnej w Corg. Próbkę zasobne we frakcje granulometryczne <0,02 mm zawierały wyższą zawartość kationów wymiennych potasu magnezu i sodu, aczkolwiek nie była to korelacja statystycznie istotna. Stwierdzono istotnie dodatnią korelację pomiędzy zawartością frakcji iłowej a zawartością kationów wymiennych sodu. Odnotowano synergizm pomiędzy zawartością kationów wymiennych potasu i sodu oraz wapnia i magnezu, co potwierdziły wyniki analizy korelacji. Próbkę gleb wykazujące wyższe wartości kwasowości hydrolitycznej zawierały istotnie wyższą zawartość Na⁺ oraz Corg. Próbkę gleb o wyższej zawartości Corg charakteryzowały się istotnie wyższym procentowym udziałem K⁺ w CEC. Istotnie wyższe wartości CEC odnotowano w próbkach o wyższej wartości pH. Stwierdzono istotnie ujemną korelację pomiędzy procentowym udziałem kationów wapnia a potasu w kompleksie sorpcyjnym badanych gleb. Procentowa zawartość frakcji iłowej nie wpłynęła na wartość CEC. Odnotowano ujemną, aczkolwiek nieistotnie statystyczną korelację pomiędzy zawartością Corg a CEC. Badania wykazały spadek kationowej pojemności wymiennej CEC w starszych sadach, co może wpływać na zdolność gleby do zatrzymywania składników pokarmowych. Interpretując zawartość kationów wymiennych wapnia i potasu oraz ich form wodno-rozpuszczalnych odnotowano grupowanie poszczególnych sadów w zależności od okresu ich użytkowania. Zawartość przyswajalnych dla roślin form fosforu i potasu w glebie poziomu próchnicznego była wyższa w porównaniu z ich zawartością w poziomach podpowierzchniowych i skały macierzystej. W glebie poziomu próchnicznego i poziomów podpowierzchniowych sadów najdłużej użytkowanych sadowniczo odnotowano zmniejszenie zawartości przyswajalnych dla roślin form fosforu w porównaniu z jego zawartością w glebie sadów I-A i I-B. Zawartość magnezu

przyswajalnego dla roślin zmniejszała się w trakcie sadowniczego użytkowania gleb, jednakże nie były to statystycznie istotne różnice. W glebie poziomu próchnicznego sadów użytkowanych 9-12 lat oraz poziomach podpowierzchniowych sadów użytkowanych 19 lat i 27-30 lat odnotowano istotnie niższą średnią zawartość Ca_w (odpowiednio: $p = 0,049$ oraz $p = 0,032$ i $p = 0,039$) w porównaniu z ich koncentracją w sadach użytkowanych 2-3 lata. Średnia zawartość Mg_w i K_w uległa zmniejszeniu w glebie poziomu próchnicznego i poziomów podpowierzchniowych w trakcie sadowniczego użytkowania. Okres sadowniczego użytkowania nie wpłynął jednak w istotny sposób na zawartość Na_w w profilach badanych gleb. Całkowita zawartość pierwiastków śladowych lokalnego tła geochemicznego (skała macierzysta) wynosiła: $Zn_t = 33,53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; $Cu_t = 8,21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; $Mn_t = 361,08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; $Ni_t = 9,52 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; $Pb_t = 9,85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; $Fe_t = 14,61 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nie odnotowano wyraźnego wpływu okresu sadowniczego użytkowania na zawartość całkowitej zawartości Zn, Cu, Mn, Ni oraz Pb. Zaznaczyła się jedynie tendencja zwiększenia całkowitej zawartości miedzi, cynku i ołowiu w poziomie próchnicznym. Gleby wykazywały najczęściej niską i średnią zasobność w przyswajalne dla roślin formy cynku, miedzi, manganu i żelaza. Odnotowano, że wraz z okresem sadowniczego użytkowania w glebie poziomu próchnicznego sadów regionu A i B zwiększył się procentowy udział przyswajalnych dla roślin form Zn w jego całkowitej zawartości.

W świetle uzyskanych wyników zaleca się dostosowanie praktyk nawozowych, szczególnie w odniesieniu do wapnia, magnezu i potasu, aby przeciwdziałać ich niedoborom. Wyniki sugerują, że dla zachowania żyzności gleby i zdrowotności drzew jabłoniowych, konieczne jest stosowanie praktyk ochronnych gleby, takich jak mulczowanie oraz stosowanie roślin okrywowych, aby zmniejszyć zagęszczenie oraz poprawić porowatość. Uzyskane wyniki badań podkreślają konieczność regularnego monitorowania właściwości fizycznych i chemicznych gleb w sadach jabłoniowych, aby zapobiegać ich degradacji, a także w celu optymalizacji zarządzania nawożeniem w przypadku replantacji sadów. Replantacja w miejsca najstarszych badanych sadów skutkować może słabym rozwojem wegetatywnym nowych drzew oraz zmniejszoną ich produktywnością, ponieważ gleba w trakcie wieloletniego intensywnego użytkowania została zubożona w niektóre makroelementy i materię organiczną. Nowe nasadzenia w miejscach starych sadów powinny być poprzedzone pracami terenowymi oraz kompleksowymi badaniami właściwości fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych próbek glebowych pobranych z całej miąższości profili. Wyeliminowanie zagrożenia choroby replantacyjnej pozwoli odnieść sukces produkcyjny.

WNIOSKI

1. Wieloletnie użytkowanie sadownicze gleb spowodowało wzrost ich zagęszczenia. Odzwierciedleniem nadmiernego zagęszczenia w poziomach podpowierzchniowych były bardzo wysokie wartości wskaźnika upakowania oraz bardzo niskie wartości porowatości ogólnej ($0,30 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$). Głównym powodem zagęszczania gleby w pasach herbicydowych była niewielka zawartość Corg oraz nagromadzenie frakcji ilowej. Potwierdzają to wyniki analizy korelacji, która wykazała, że zawartość frakcji ilowej była istotnie dodatnio skorelowana z wartościami gęstości objętościowej.
2. Wartości pH gleby w warstwie powierzchniowej i podpowierzchniowej jednoznacznie wskazują, że przed replantacją sadu należy uregulować odczyn. Wieloletnie sadownicze użytkowanie spowodowało obniżenie wartości pH w glebie poziomu próchnicznego oraz istotne w glebie poziomów podpowierzchniowych.

3. Średnia zawartość Corg uległa zmniejszeniu w trakcie sadowniczego użytkowania zarówno w poziomie próchnicznym, jak poziomach podpowierzchniowych i skale macierzystej. Z uwagi, iż zawartość Corg jest jednym ze wskaźników oceny jakości gleb należy stwierdzić, że sposób utrzymania gleb w pasach herbicydowych badanych sadów przyczynił się do obniżenia ich jakości.
4. Podstawowym czynnikiem ograniczającym dostępność fosforu w glebie pasów herbicydowych był kwaśny odczyn, który należy zmienić stosując wapno nawozowe odpowiednio dobrane to kategorii agronomicznej. Odkwaszenie gleby do wartości pH optymalnej dla uprawy jabłoni przyczyni się do poprawy dostępności fosforu oraz przyniesie lepsze efekty, aniżeli dodatkowe nawożenie fosforem.
5. W glebie poziomu próchnicznego czterech z dziewięciu badanych profili gleb odnotowano bardzo wysoką i wysoką zawartość potasu przyswajalnego dla roślin. Nawożenie doglebowe potasem w tych sadach powinno zostać ograniczone, ponieważ może on oddziaływać antagonistycznie na pobieranie wapnia.
6. Poważnym utrudnieniem w przypadku replantacji sadu użytkowanego 30 lat w regionie A jest niska i bardzo niska zawartość przyswajalnych dla roślin form fosforu i potasu w miąższości całego profilu glebowego.
7. Gleba w poziomie solum najstarszych sadów charakteryzowała się niższym od optymalnego procentowym udziałem wapnia w kompleksie sorpcyjnym. Relatywnie wysoki procentowy udział kationów wymiennych potasu w CEC wskazuje, że w glebie sadów regionu B może dojść do zakłócenia równowagi w dostępności magnezu i wapnia dla roślin.
8. Nie odnotowano wyraźnego wpływu okresu sadowniczego użytkowania na całkowitą zawartość Zn, Cu, Mn, Ni oraz Pb. Na podstawie koncentracji tych metali w skale macierzystej gleb, przyjętej jako zawartości tła geochemicznego, stwierdzono niewielkie wzbogacenie w całkowitą zawartość miedzi i cynku. Metale te nie stanowią zagrożenia dla prawidłowego rozwoju drzew oraz jakości jabłek.
9. Badane gleby charakteryzowały się w większości poziomów genetycznych niską i średnią zasobnością w przyswajalne dla roślin formy cynku, miedzi, manganu i żelaza. W glebie poziomu próchnicznego w trakcie sadowniczego użytkowania zwiększył się procentowy udział Zn przyswajalnego dla roślin w jego całkowitej zawartości.

Bibliografia

Andziak J., Tomala K., Sadowski A., Dziuban R., 2004. Stan odżywienia składnikami mineralnymi i zdolność przechowalnicza jabłek 'Šampion' w zależności od podkładki. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus 3(2), 179-187.

Bielińska J., Lipecki J., Magierski J., 1998. Zawartość niektórych pierwiastków śladowych w glebie w sadzie jabłoniowym GD Felin koło Lublina. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 333, Sesje naukowe 57, 179-182.

- Casero, T., Benavides, A.L., Recasens, I., 2010. Interrelation between fruit mineral content and pre-harvest calcium treatments on 'Golden Smoothie' apple quality. *J. Plant Nutr.* 33, 27-37.
- Danner M. A., Scariotto S., Citadin I., Penso A. G., Cassol L. C., 2015. Calcium sources applied to soil can replace leaf application in 'Fuji' apple tree. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiania, 45, 3, 266-273.
- Domżał H., Wójcikowska-Kapusta A., Pranagal J., 1995. Zawartość miedzi, cynku, ołowiu i manganu w glebach w zależności od sposobu wieloletniego rolniczego użytkowania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 414, 99–104.
- Harrington K.C., Hartley M.J., Rahman A., James T.K., 2005. Long term ground cover options for apple orchards. *New Zealand Plant Prot.*, 58, 164-168.
- Hoagland L., Carpenter-Boggs L.A., Granatstein D., Mazzola M., Smith J., Peryea F., Reganold J.P., 2008. Orchard floor management effects on nitrogen fertility and soil biological activity in a newly established organic apple orchard. *Biol. Fertil. Soils*, 45,11-18.
- Hogue E.J., Neilsen G.H., 2011. Orchard floor vegetation management. *Hortic. Rev.*, 9, 377-430.
- Jarociński B.Z., 2005. Ocena zasobności gleb użytkowanych sadowniczo w niezbędne składniki mineralne. *Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarnictwa*, T: 13, 17-28.
- Jemrić T., Fruk I., Fruk M., Radman S., Sinkovič L., Fruk G., 2016. Bitter pit in apples: pre- and postharvest factors: A review. *Span. J. Agric. Res.*, 14, 4, e08R01.
- Kobierski M., 2004. Zawartość miedzi, cynku, manganu i żelaza w glebach sadów jabłoniowych w 27. i 30. roku ich użytkowania. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 3(2), 161-170
- Lotze E., Theron K.I., 2007. Evaluating the effectiveness of pre-harvest calcium applications for bitter pit control in 'Golden Delicious' apples under South African conditions. *J. Plant Nutr.* 30, 471-485.
- Martin J.-M., Meybeck M., 1979. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Marine Chemistry*, 7,3, 173-206.
- Mia J., Massetani F., Murri G., Facchi J., Monaci E., Amadio L., Neri D., 2020. Integrated weed management in high density fruit orchards. *Agronomy*, 10, 1492.
- Pieniążek S.A., 1995. Sadownictwo. praca zbiorowa pod redakcją naukową prof. dr S. A. Pieniążka. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Rose M.T., Cavagnaro T.R., Scanlan C.A., Rose T.J., Vancov, T., Kimber S., Kennedy I.R., Kookana R.S., Van Zwieten L., 2016. Impact of herbicides on soil biology and function. *Adv. Agron.*, 136, 133-220.

Serban C., Kalcsits L., DeEll J., Mattheis J.P., 2019. Responses of ‘Honeycrisp’ apples to short-term controlled atmosphere storage established during temperature conditioning. *HortScience*, 54, 1532-1539

Torres E., Kalcsits L., Nieto L.G., 2024. Is calcium deficiency the real cause of bitter pit? A review. *Front. Plant Sci.*, 15, 1383645.

Torres E., Recasens I., Lordan J., Alegre S., 2017. Combination of strategies to supply calcium and reduce bitter pit in ‘Golden Delicious’ apples. *Scientia Horticulturae* 217, 179–188.

Tworcoski T.J., Glenn D.M., 2001. Yield, shoot and root growth, and physiological responses of mature peach trees to grass competition. *HortScience*, 36,7, 1214-1218.

Tworcoski T.J., Glenn D.M., 2012. Weed suppression by grasses for orchard floor management. *Weed Technol.*, 26, 559-565.

Wińska-Krysiak M., Łata B., 2010. Influence of lipoxygenase activity and calcium and potassium contents on bitter pit occurrence in commercial apple cultivars. *Folia Hortic.*, 22, 13-17.