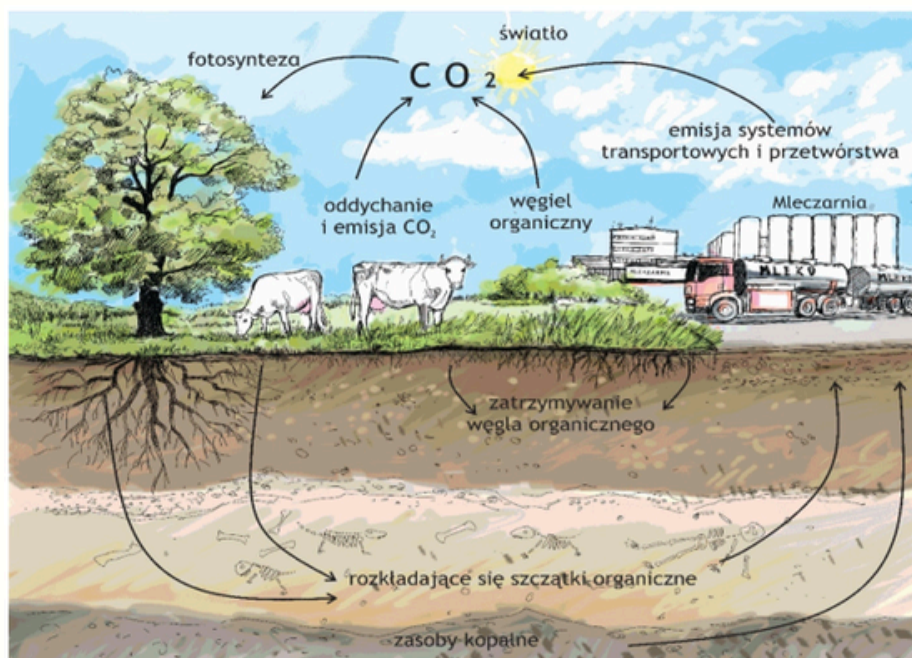


OPINIA

Jak skutecznie liczyć i redukować ślad węglowy u producentów mleka

Halina Lipińska, Kamila Adamczyk-Mucha, Mariusz Kulik
Katedra Łąkarstwa i Kształtowania Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
e-mail: halina.lipinska@up.edu.pl

Produkcja mleka, będąc jednym z kluczowych działów rolnictwa, generuje znaczący ślad węglowy wynikający zarówno z chowu zwierząt, jak i procesów związanych z żywieniem, gospodarowaniem obornikiem, energią oraz transportem [3, 5, 8] (ryc. 1). W obliczu zaostrzających się wymogów klimatycznych oraz rosnącej presji na zrównoważone rolnictwo, konieczne staje się poszukiwanie rozwiązań ograniczających emisję gazów cieplarnianych w całym łańcuchu produkcji mleka [5]. Celem niniejszych badań jest identyfikacja kluczowych źródeł emisji w gospodarstwach mlecznych oraz wypracowanie praktycznych i możliwych do wdrożenia działań, które mogą prowadzić do redukcji śladu węglowego, przy jednoczesnym utrzymaniu lub poprawie efektywności produkcji.



Ryc. 1. Schemat cyklu węglowego – biogeochemiczny proces krążenia węgla (źródło: rysunek wykonała M. Sosnowska)



Jednym z kluczowych procesów regulujących bilans węgla w ekosystemach lądowych jest sekwestracja węgla w glebie [2, 6]. Proces ten nie tylko zwiększa żyzność gleby i odporność ekosystemów, ale także realnie przyczynia się do redukcji śladu węglowego poprzez trwałe wiązanie CO₂ z atmosfery [8]. W tym kontekście szczególną rolę odgrywają użytki zielone, stanowiące podstawę systemu żywienia krów mlecznych [1, 2]. Łąki i pastwiska należą do najbardziej efektywnych ekosystemów lądowych w Europie pod względem sekwestracji węgla w glebie, głównie dzięki stałemu dopływowi materii organicznej z biomasy roślinnej oraz rozbudowanemu systemowi korzeniowemu [1]. W efekcie gleby użytkowane pod produkcję pasz mogą pełnić funkcję trwałego magazynu węgla, co oznacza, że część emisji związanych z produkcją mleka może być kompensowana poprzez pochłanianie CO₂ z atmosfery [4].

O efektywności sekwestracji węgla decyduje nie tylko ilość akumulowanego węgla organicznego, lecz również jego stabilność, determinująca czas retencji w glebie [7]. W związku z tym efektywność tego procesu oceniono w trzech komplementarnych doświadczeniach, których celem była analiza zawartości oraz struktury frakcyjnej węgla glebowego w zależności od: (i) składu gatunkowego roślin i typu gleby, (ii) zastosowania dodatku mineralnego w postaci zeolitu oraz (iii) sposobu użytkowania i składu gatunkowego runi trawiasto-bobowatej.

Uzyskane wyniki badań stanowią istotny wkład w aktualny stan wiedzy nad procesami sekwestracji węgla glebowego w systemach rolniczych. Wieloaspektowa analiza uwzględniająca zróżnicowanie gatunkowe runi trawiastej, typ gleby, dodatki glebowe oraz sposób użytkowania umożliwia kompleksową ocenę czynników biologicznych i agrotechnicznych kształtujących zarówno ilość, jak i jakość zgromadzonego węgla organicznego. Wyniki jednoznacznie wskazują, że w glebach mineralnych gatunek rośliny istotnie wpływa na akumulację węgla organicznego, przy czym trawy, zwłaszcza tymotka łąkowa, wiechlina łąkowa i kostrzewa czerwona, sprzyjają wyższej zawartości TOC (ang. Total Organic Carbon czyli całkowity węgiel organiczny) w porównaniu do roślin bobowatych. Jednocześnie wykazano wyraźne zróżnicowanie udziału frakcji stabilnej i labilnej węgla organicznego w zależności od gatunku, co ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia trwałości sekwestracji węgla w glebie. W glebach organicznych natomiast potwierdzono dominujący wpływ właściwości samej gleby nad efektem gatunkowym, zarówno w odniesieniu do całkowitej zawartości węgla, jak i jego struktury frakcyjnej.

Istotnym elementem badań jest ocena wpływu zastosowania zeolitu na zawartość i stabilność węgla glebowego. Uzyskane wyniki wskazują, że efekt ten ma charakter czasozależny i ujawnia się wyraźniej w dłuższym okresie użytkowania. Zastosowanie zeolitu sprzyjało wzrostowi udziału frakcji stabilnej węgla organicznego oraz ograniczeniu udziału frakcji labilnej, co należy interpretować jako korzystne przesunięcie struktury węgla w kierunku form bardziej odpornych na mineralizację. Wskazuje to, że dodatki mineralne mogą pełnić istotną rolę w zarządzaniu jakością materii organicznej gleby, nawet jeśli nie prowadzą do natychmiastowego wzrostu jej całkowitej zawartości.

Analiza wpływu składu mieszanek traw i roślin bobowatych oraz sposobu użytkowania runi wykazała, że użytkowanie łąkowe, charakteryzujące się mniejszą intensywnością, częściej sprzyja zarówno wyższej zawartości węgla organicznego, jak i korzystniejszej strukturze frakcyjnej w porównaniu z użytkowaniem pastwiskowym. Jednocześnie uzyskane wyniki potwierdzają, że reakcja gleby na sposób użytkowania jest silnie modyfikowana przez skład gatunkowy mieszanki, co podkreśla znaczenie doboru komponentów runi w kontekście długoterminowej sekwestracji węgla. W konsekwencji efektywna sekwestracja węgla w glebie wymaga właściwego zarządzania użytkami zielonymi (ryc. 2).



Ryc. 2. Optymalny zestaw praktyk na użytkach zielonych sprzyjający sekwestracji węgla w glebie (Źródło: opracowanie własne z zastosowaniem AI).

Podsumowując należy stwierdzić, że kluczowym czynnikiem efektywnej sekwestracji węgla glebowego jest stabilizacja materii organicznej, a nie wyłącznie zwiększanie jej całkowitej ilości. Zarówno dobór gatunków roślin, sposób użytkowania łąk i pastwisk, jak i zastosowanie dodatków mineralnych wpływają przede wszystkim na strukturę frakcyjną węgla, determinując jego trwałość w glebie i tempo potencjalnego powrotu do atmosfery w postaci CO_2 . Wyniki te mają istotne znaczenie aplikacyjne i mogą stanowić naukową podstawę do projektowania systemów użytkowania użytków zielonych sprzyjających ograniczeniu emisji CO_2 , co jest w pełni zgodne z celami projektu SUPRIM oraz aktualnymi kierunkami rozwoju rolnictwa zrównoważonego i polityki klimatycznej.

Literatura:

1. Bai Y., Cotrufo M.F. (2022). Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science*, 377, 603-608.
2. Conant R.T., Cerri C.E.P., Osborne B.B., Paustian K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27, 662-668.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). Climate change and the global dairy cattle sector – The role of the dairy sector in a low-carbon future. FAO Animal Production and Health Division, Rome.
4. Galloway C., Swanepoel P.A., Haarhoff S.J. (2024). A carbon footprint assessment for pasture-based dairy farming systems in South Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8:1333981.
5. Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccci A., Tempio G. (2013). Tackling Climate Change through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy.
6. Lal R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123, 1-22.
7. Poeplau C., Don A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200, 33–41.
8. Rotz C.A. (2018). Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 101(7), 6675-6690.