

PRECYZYJNE NAWOŻENIE AZOTEM PSZENICY OZIMEJ NA PODSTAWIE POMIARÓW SPAD

Mirosław Zagórda, Maria Walczyk

Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Podstaw Rolnictwa, Akademia Rolnicza w Krakowie

Bogdan Kulig

Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono oszczędności wynikające z zastosowania nawożenia azotowego w II i III dawce wyznaczonej na podstawie pomiaru intensywności barwy zielonej, będącej w związku ze stanem odżywienia roślin tym makroelementem. Całkowite zapotrzebowanie na azot oszacowano na podstawie założonego plonu i zawartości azotu mineralnego w glebie. Określenie drugiej i kolejnych dawek odbywało się na podstawie zawartości chlorofilu w liściach mierzonych przy pomocy urządzenia SPAD 502DL firmy Spectrum Technologies Inc. W porównaniu z nawożeniem jednorodnym, na polu nawożonym zmiennie miał miejsce wzrost plonu o 3,2%, mimo mniejszego o ok. 14% zużycia azotu ogółem.

Słowa kluczowe: rolnictwo precyzyjne, nawożenie, pszenica

Wstęp

Osiągnięcie wysokich plonów ziarna odpowiedniej jakości, zadowalających efektów ekonomicznych i bezpieczeństwo ekologiczne wymagają dokładnego ustalenia zapotrzebowania roślin na azot w poszczególnych fazach wzrostu rozwoju [Samborski, Rozbicki 2004]. Niedobór nawozu azotowego roślina sygnalizuje jaśniejszym kolorem liści starszych i ich żółknięciem na końcach, natomiast jego nadmiar powoduje między innymi obniżenie zawartości glutenu w ziarnie pszenicy konsumpcyjnej [Mercik 2004]. Spośród składników wymywanych z profilu gleby najbardziej podatny na ten proces jest azot, dlatego stosowanie zasad rolnictwa precyzyjnego może się przyczynić do ograniczenia strat tego składnika [Jadczyszyn 1998].

Określenie zapotrzebowania roślin na azot wykonuje się na podstawie ilościowych lub jakościowych metod oceny odżywienia roślin azotem nazywanych również testami roślinnymi. Testy te wykorzystują informacje zawarte w roślinach, więc stosowane są przeważnie do określenia zapotrzebowania roślin na azot po aplikacji pierwszej dawki. Jednym z pośrednich testów roślinnych jest metoda wykorzystująca chlorofilometr SPAD 502, urządzenie do nie destrukcyjnej, optycznej oceny względnej zawartości chlorofilu w liściach, przy którym wyniki są w jednostkach niemianowanych, nazywanych odczytami SPAD [Samborski, Rozbicki 2004].

Cel i zakres badań

Celem przedstawionych badań było wykazanie oszczędności w zapotrzebowaniu na azot w II i III dawce nawożenia w trakcie wegetacji, kiedy do ich wyznaczenia zastosowano pomiar intensywności barwy zielonej, będącej w związku ze stanem odżywienia roślin tym makroelementem.

Zakres badań obejmował pomiary na polu o powierzchni 20,62 ha z uprawą pszenicy ozimej, które podzielono na dwa odmiennie nawożone obszary, a mianowicie z zastosowaniem dawki jednorodnej (stałej) oraz przestrzennie zmiennej, zgodnej z wymaganiami roślin. W ramach badań wykonano następujące zadania:

- pomiar zasobności gleby w azot mineralny, wyznaczenie jego zapotrzebowania ogółem i określenie wysokości pierwszej dawki, aplikowanej jednorodnie i w układzie przestrzennie zmiennym,
- optyczną ocenę względnej zawartości chlorofilu w liściach w siatce punktów na polu, z określonymi współrzędnymi geograficznymi i obliczenie na tej podstawie zapotrzebowania na azot w drugiej i trzeciej dawce,
- automatyczną rejestrację plonu oraz sporządzenie map jego przestrzennego rozmieszczenia na badanych obszarach pola.

Metodyka

Na cyfrową mapę pola, wykonaną za pomocą rejestratora 3R-GPS [AGRO.GPS.PL], nałożono siatkę o wymiarach boków 50x50 m, uzyskując ogółem 80 miejsc pomiarowych, po 40 na każdy z dwóch obszarów, na które pole zostało podzielone. Zarówno pobór próbek gleby, jak też pomiar zieloności liści (SPAD) odbywał się w tych miejscach.

Zasobność gleby na badanym polu w azot mineralny wyznaczono na podstawie analizy chemicznej pobranych próbek gleby. Na obydwu częściach pola stanowiła ona wartość średnią z pomiarów w 40 punktach. I tak dla obszaru nawożonego dawką stałą wynosiła 106,11 kg·ha⁻¹, zaś na obszarze nawożonym zmiennie 97,92 kg·ha⁻¹.

Zapotrzebowanie na azot ogółem dla danych warunków, przyjmując uzyskanie plonu średniego na poziomie 8 t·ha⁻¹, wyznaczono na podstawie wzoru [Cwynar 2005]:

$$N_{opt} = \frac{(Y_{max} \cdot acrit) - (N_{min} \cdot WP)}{P_{ini}} \quad (1)$$

gdzie:

- Y_{max} – przewidywany plon ziarna [kg·ha⁻¹],
- $acrit$ – krytyczna wartość azotu w ziarnie pszenicy, zapewniająca uzyskanie przewidywanego plonu 0,021 kg N·kg⁻¹ ziarna [2,1%],
- N_{min} – zawartość azotu mineralnego w glebie do głębokości 0,9 m [kg N·ha⁻¹],
- WP – współczynnik wykorzystania azotu z gleby (dla pszenicy średnio 0,9),
- P_{ini} – współczynnik wykorzystania azotu z nawozów (średnio 0,5 (50%)).

Tak obliczona dawka wyniosła $145 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ oraz $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, odpowiednio dla obszarów z nawożeniem jednorodnym i przestrzennie zmiennym. W przypadku nawożenia stałego dawka całkowita została zastosowana w 3 częściach: $85 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (59%) przed ruszeniem vegetacji, $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (20,5%) w fazie strzelania w źdźbło, $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (20,5%) w fazie kłoszenia.

Na polu z nawożeniem zmiennym zabieg wykonano w tych samych okresach rozwoju roślin, wysiewając nawóz na podstawie map aplikacyjnych. Zróżnicowania przestrzennego pierwszej dawki, która ogółem wynosiła $96 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (60% zapotrzebowania całkowitego), dokonano ze względu na ukształtowanie terenu w stosunku 1,2:1:0,7; przyjmując 1,2 na szczycie wzniesienia, 1,0 na plateau i 0,7 na stoku [Jadczyński 1998].

Nawożenie stałe i zmienne wykonywano rozsiewaczem Alpha 1131 firmy Rauch, nadzorowanego przez systemu LH 5000 GPS i komputer zawierający mapy aplikacyjne.

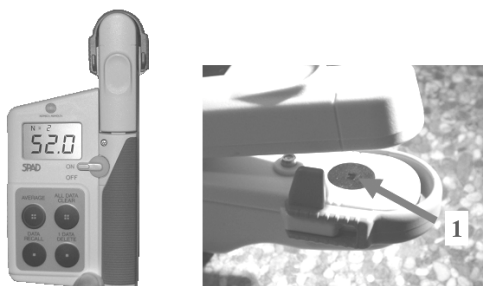
Zbiór pszenicy był przeprowadzony kombajnem zbożowym Claas Lexion 430, wyposażonym w optyczny system pomiaru plonu firmy Agromat. [Walczyk, Zagórska 2005]

Ustalenie drugiej i trzeciej dawki azotu wykonano na podstawie testu SPAD, czyli pomiaru względnej zawartości chlorofilu w liściach, przeprowadzonego przy pomocy urządzenia SPAD 502DL (rys.1) firmy Spectrum Technologies Inc. Pomiar ten sprowadza się do określenia intensywności barwy zielonej liści i polega na wyznaczeniu ilorazu absorpcji światła związanej z obecnością chlorofilu (długość fali 650 nm) i absorpcji przez tkankę liścia (długość fali 940 nm) [Samborski, Rozbicki 2004].

Ustalenie wysokości dawki azotu dokonano na podstawie ilorazu wartości SPAD, uzyskanych na obszarach pomiarowych i kontrolnych [Fotyma, Fotyma 2003]. Obszary kontrolne pozostawione są bez nawożenia podczas wysiewu pierwszej dawki i umożliwiają skalibrowanie urządzenia do pomiarów na danej odmianie rośliny.

Na obydwu częściach pola, w każdym z 80 miejsc pomiarowych (kwadraty siatki), w odległości co ok. 5 m, dokonano po 10 pomiarów SPAD. Środek każdego kwadratu siatki miał określone współrzędne geograficzne i do niego przypisano wartość średnią z wykonanych pomiarów. Na obszarach kontrolnych przeprowadzono po 20 pomiarów.

Okienko pomiarowe o wymiarach 2 x 3 mm (rys. 1) ustawia się tak, aby pomiaru dokonano w odległości 0-6 mm od brzegu liścia (pszenica i inne zboża) i zawsze na liściach wychodzących z pierwszego kolanka.



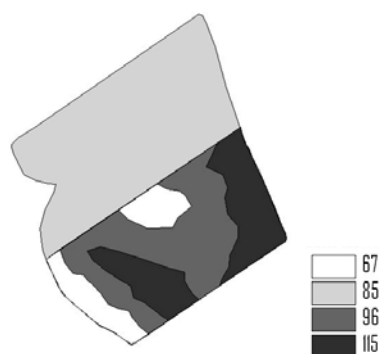
Rys. 1. Widok chlorofilometru SPAD 502DL: 1 – okienko pomiarowe

Fig. 1. The view of SPAD 502DL chlorophyll meter: 1 – measurement window

Pojemnořć pamięci miernika pozwala na zapisanie 4096 pomiarów, które zaczytuje się do komputera stacjonarnego przy pomocy programu FieldScout i analizuje w dowolnym czasie. Dane zapisane są w postaci pliku tekstowego z wynikami pomiarów w kolejnych wierszach, a przy ich opracowywaniu grupuje się je na podstawie numeracji.

Wyniki

Wykonanie nawożenia w sposób przestrzennie zmienny pierwszej dawki azotu nie przyczyniło się do zmniejszenia ilości nawozu wysianego ogółem. Wynikło to ze zróżnicowania dawek ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) na podstawie ukształtowania terenu (rys. 2). Największa część powierzchni pola nawożonego zmiennie znajdowała się na wzniesieniu (3,6 ha) i miała przypisaną najwyższą wartość dawki azotu ($115 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (tab. 1). Tak więc zapotrzebowanie na azot ogółem było w porównaniu z polem nawożonym jednorodnie większe o 14,5% (tab. 1).



Rys. 2. Mapa aplikacyjna nawożenia I dawką azotu [$\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$]

Fig. 2. Application map for I rate of nitrogen [$\text{kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$]

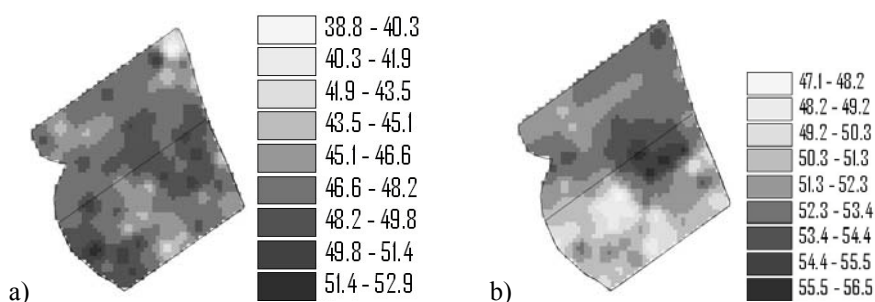
Tabela 1. Wyniki dla nawożenia pierwszą dawką azotu (do rysunku 2)

Table 1. Results for I rate of nitrogen (related to fig. 2)

Sposób nawożenia	Dawka [$\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$]	Powierzchnia [ha]	Ilość składnika [kg N]	Oszczędność składnika [%]
Zmienny	115	3,60	414,0	-35,3
	96	4,86	466,5	-12,9
	67	1,89	126,6	21,2
	Ogółem	10,35	1007,1	-14,5
Jednorodny	85	10,27	872,9	0,0

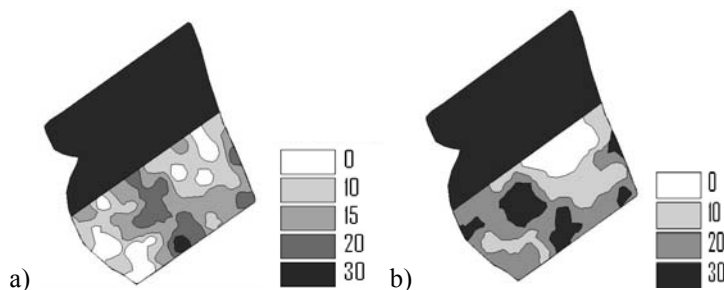
Źródło: obliczenia własne autorów

Wyniki pomiarów wartości SPAD przed zastosowaniem II i III dawki azotu przedstawia rysunek 3. Zgodnie z podaną metodyką, wartości średnie przedziału każdego ze znajdujących się tutaj 9 obszarów podzielono przez wartości SPAD wyznaczone w miejscach kontrolnych, uzyskując iloraz niezbędny do określenia dawki azotu na danym obszarze. Na tej podstawie wykonano cyfrowe mapy aplikacyjne (rys. 4), wg których sterowano rozsiewaczem wysiewającym nawóz.



Rys. 3. Przestrzenne rozmieszczenie wartości SPAD: a) przed zastosowaniem II dawki azotu, b) przed zastosowaniem III dawki azotu

Fig. 3. Spatial distribution of SPAD values: a) before application of II rate of nitrogen; b) before application of III rate of nitrogen



Rys. 4. Mapy aplikacyjne nawożenia azotem [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]: a) II dawka, b) III dawka

Fig. 4. Application maps of nitrogen fertilization [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]: a) II rate, b) III rate

Odnosnie do wysiewu II dawki azotu, efektem zastosowania testu SPAD było 61,3% zmniejszenie jego ilości na polu nawożonym w sposób przestrzennie zmienny, w stosunku do pola, na którym nawóz wysiano tradycyjnie (tab. 2). Oszczędności w ilości azotu na poszczególnych obszarach pola w odniesieniu do dawki stałej, wahały się od 0 do 100% (tab. 2), czego powodem była znaczna zmienność wartości testu SPAD, czyli znaczne zróżnicowanie miejscowych wymagań.

Tabela 2. Wyniki dla nawożenia II dawką azotu (do rysunku 4a)

Table 2. Results for II rate of nitrogen (related to fig. 4a)

Sposób nawożenia	Dawka [kg N·ha ⁻¹]	Powierzchnia [ha]	Ilość składnika [kg N]	Oszczędność składnika [%]
Zmienny	0	1,85	0,0	100,0
	10	3,48	34,8	66,7
	15	3,27	49,0	50,0
	20	1,61	32,2	33,3
	30	0,14	4,2	0
	Ogółem	10,35	120,2	61,3
Jednorodny	30	10,27	308,1	0,0

Źródło: obliczenia własne autorów

Wykonanie pomiarów zieloności liści przed zastosowaniem III dawki azotu, a więc w fazie kłoszenia, przyczyniło się ponownie do uzyskania oszczędności na polu nawożonym techniką lokalizacji satelitarnej, tym razem na poziomie 47,2% (tab. 3).

Tabela 3. Wyniki dla nawożenia III dawką (do rysunku 4b)

Table 3. Results for III rate of nitrogen (related to fig. 4b)

Sposób nawożenia	Dawka [kg N·ha ⁻¹]	Powierzchnia [ha]	Ilość składnika [kg N]	Oszczędność składnika [%]
Zmienny	0	1,51	0,0	100,0
	10	2,98	29,8	66,7
	20	4,16	83,2	33,3
	30	1,70	51,0	0
	Ogółem	10,35	164,0	47,2
Jednorodny	30	10,27	308,1	0,0

Źródło: obliczenia własne autorów

Wartości średnie plonów kształtowały się na poziomie 7,78 t·ha⁻¹ i 7,54 t·ha⁻¹, odpowiednio dla pola z nawożeniem zmiennym i jednorodnym. Różnica w wysokości 0,24 t·ha⁻¹ na korzyść nawożenia przestrzennie zmiennego oznacza uzyskanie wyższego plonu przy niższym zużyciu azotu. Podliczenie zużycia azotu zastosowanego w trzech dawkach wykazało, że mimo niekorzystnych wyników przy pierwszej dawce, oszczędność składnika jest na poziomie 13,9% (tab. 4) dla nawożenia zmiennego. W przeliczeniu na 1 tonę ziarna, w nawożeniu tradycyjnym zużyto 19,2 kg, zaś w zmiennym 16,0 kg azotu (tab. 4).

Precyzyjne nawożenie...

Tabela 4. Zapotrzebowanie ogółem i jednostkowe zużycie azotu
Table 4. Overall and specific demand for nitrogen

Sposób nawożenia	Powierzchnia [ha]	Średni plon ziarna [$t \cdot ha^{-1}$]	Zapotrzebowanie składnika ogółem [kg N]	Jednostkowe zużycie azotu [$kg N \cdot ha^{-1}$]	Jednostkowe zużycie azotu [$kg N \cdot t^{-1}$]	Oszczędność azotu [%]
Zmienny	10,35	7,78	1291,44	125	16,0	13,9
Jednorodny	10,27	7,54	1489,15	145	19,2	0,0

Źródło: obliczenia własne autorów

Wnioski

1. Zróżnicowanie ukształtowania terenu spowodowało, że pierwsza dawka azotu była wyższa przy zastosowaniu przestrzennie zmiennego nawożenia.
2. Pomiar względnej wartości chlorofilu w liściach pszenicy ozimej przyczynił się do znacznych oszczędności w zapotrzebowaniu na azot, które w porównaniu z nawożeniem jednorodnym wynosiły 61,3% dla drugiej i 47,2% dla trzeciej dawki azotu.
3. W porównaniu z nawożeniem jednorodnym, na polu nawożonym zmiennie miał miejsce niewielki wzrost plonu (3,2%), mimo mniejszego o ok. 14% zużycia azotu ogółem.
4. W przeliczeniu na 1 tonę ziarna, zużycie azotu wyniosło w nawożeniu tradycyjnym 19,2 kg, zaś w zmiennym 16,0 kg.

Bibliografia

- Cwynar A. 2005. Określ potrzeby składników nawozowych dla uprawianych roślin [online]. Częstochowa. Portal Doradztwa Rolniczego. 07-03-2005 [dostęp 20-03-2007]. Dostępny w Internecie: <http://www.odr.net.pl/index.php?czytaj=000990>
- Fotyma E., Fotyma M. 2003. Dawka azotu pod pszenicę już nie „na oko”. Top Agrar Polska. Nr 3. s. 86.
- Jadczyszyn T. 1998. System rolnictwa precyzyjnego. III. Nawożenie w rolnictwie precyzyjnym. Praca przeglądowa. Fragmenta Agronomica (XV). Nr 1 (57). s. 28-38.
- Mercik S. (red.) 2004. Chemia rolna. Podstawy teoretyczne i praktyczne. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. s. 212-218.
- Samborski S., Rozbicki J. 2004. Kalibracja chlorofilometru do oceny odżywienia zbóż azotem. Postępy Nauk Rolniczych. Nr 5. s. 27-37.
- Walczykova M., Zagórda M. 2005. Preparation of yield maps in Agro-Map expert program. Proceedings of Int. Conf., Slovak Agricultural University. Dudince 2-3. 06.2005. s. 461-470.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy promotorski nr N310 078 31/3176

WINTER WHEAT PRECISE NITROGEN FERTILIZATION BASED ON SPAD MEASUREMENTS

Summary. The paper deals with possible reduction of outlays that result from considering chlorophyll content in plant leaves at application of second and third rates of nitrogen. Estimation of the overall demand for nitrogen was based on the assumed yield and the content of mineral nitrogen in soil. Determination of second and third rate of nitrogen was based on SPAD data, collected by chlorophyll meter SPAD 502DL, a product of Spectrum Technologies Inc. Variable nitrogen application resulted in 3,2% higher yield and 14% lower nitrogen demand in comparison with uniform rate fertilization.

Key words: precision agriculture, fertilization, wheat

Adres do korespondencji:

Mirosław Zagórda; email: miroslawzagorda@poczta.fm
Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Podstaw Rolnictwa
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków