

## PRÓBA OPTYMALIZACJI WARUNKÓW ZWIĘKSZANIA PLONÓW BIAŁKA Z LIŚCI BURAKÓW CUKROWYCH

*Józef Makowiecki*

Instytut Śląski w Opolu

Liście buraków cukrowych są jednym z najbogatszych źródeł białka paszowego [2, 6]. Plon białka zawartego w liściach zebranych z 1 hektara zależy od plonu liści i procentu białka. Ścisłe badania wykazały, iż procent białka w liściach różnicuje przede wszystkim nawożenie azotowe [9] i przebieg pogody w okresie wegetacji [10], natomiast wielkość plonu liści jak i korzeni zależy od wielu czynników i wykazuje dużą zmienność (tab. 1).

Prace nad optymalizacją procesu uprawowego zmierzają do ułatwienia podejmowania przez rolnika optymalnych decyzji, tj. takich, które doprowadzą do uzyskania maksymalnego plonu w danych warunkach. Do poszukiwań optymalnych decyzji można wykorzystać dorobek teoretyczny i praktyczny nauki zajmującej się tymi problemami, zwanej badaniami operacyjnymi. Nauka ta dla efektywnego wyznaczania decyzji optymalnych proponuje metodę modelową [8]. Wyniki uzyskiwane przy pomocy tej metody w badaniach nad optymalizacją uprawy zachęcają do jej stosowania [4, 7].

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę określenia zespołu warunków pozwalających na zbiór z jednostki powierzchni dużej ilości białka w liściach buraków cukrowych przy jednoczesnym uzyskiwaniu wysokich plonów korzeni. Do rozwiązania postawionego zadania zastosowano podejście systemowe i postanowiono rozpatrzyć możliwie duży zespół czynników plonotwórczych. W tym celu proces uprawowy potraktowano jak układ cybernetyczny. Wszystkie czynniki wpływające na wysokość plonu przyjęto uważać za bodźce, natomiast plony za reakcje układu.

### METODYKA BADAŃ

Do badania procesu uprawowego metodami modelowymi niezbędne jest przygotowanie danych wyjściowych, z których opracowuje się ma-

cierz informacji do optymalizacji. Do tego celu można wykorzystać wyniki doświadczeń polowych o różnej tematyce, przy czym abstrahuje się od szczegółowych tematów, biorąc pod uwagę wysokość plonu i cały zespół informacji o warunkach w jakich powstał (gleba, przedplon, plon i jego struktura, zabiegi uprawowe, przebieg wegetacji, przebieg pogody w wybranych okresach, nawożenie itp.). Do analizy wielu obiektów opisanych dużą ilością cech wykorzystano metodę grupowania według cechy przyjętej za kryterium. Sposób ten znany jest w cybernetyce jako metoda „czarnej skrzynki”. Zgodnie z tą metodą, w danym wypadku za „czarną skrzynkę” przyjęto model układu, jakim jest roślina wraz z otaczającym ją środowiskiem. Wszystkie czynniki plonotwórcze traktuje się jako wejście do skrzynki, natomiast plon jako wyjście. Traktując proces uprawowy retrospektywnie, znając reakcje, możemy szukać odpowiadających im stanów wejścia, czyli znając plon można szukać warunków jakie towarzyszyły jego wykształceniu się.

Do sporządzenia macierzy informacji wyjściowych tworzących „czarną skrzynkę” wykorzystano wyniki doświadczeń prowadzonych przez COBORU, Doświadczalnictwo Terenowe w Opolu (IUNG i WOPR) oraz niektóre zakłady doświadczalne IUNG. Wyniki te pochodziły z doświadczeń zakładanych w latach 1964-1976 na glebach zaliczanych do kompleksu pszennego dobrego i bardzo dobrego. Na 42% obiektów uprawiano odmianę AJ Poly 2, na 38% AJ Poly 1, na 12% AJ Polycama i na 8% AJ 3.

W badaniach, z których pochodziły dane do optymalizacji, nie oznaczano w liściach białka, zatem zaszła potrzeba oszacowania zawartości tego składnika w zbieranych plonach. W tym celu na podstawie wyników badań podanych przez Słowińskiego [9] ustalono zależności między procentową zawartością białka surowego w świeżej masie liści i wielkością nawożenia azotowego. Szacunkową zawartość białka surowego w liściach otrzymano mnożąc plon liści przez obliczoną z równania regresji procentową zawartość tego składnika. Obliczony w ten sposób plon białka surowego ściśle korelował z plonem liści (tab. 1) i okazał się bardzo przydatny w dalszych rozważaniach.

Przebieg pogody rozpatrywano w wydzielonych fazach rozwojowych wyodrębnionych przez Bouillenne i wsp. [cyt. za 5]. Fazy rozwojowe w rozpatrywanym materiale zidentyfikowano pośrednio, biorąc pod uwagę czas przebiegu wegetacji i weryfikując sumami temperatur. Przyjęto za Kalinowską-Zdun [5], że dwie pierwsze fazy po wschodach trwają 3 dekady, faza 16 liści — także 3 dekady, a faza formowania się korzenia zapasonośnego — 6 dekad. Określone w powyższy sposób dla poszczególnych obiektów terminy pozostawania roślin w kolejnych fazach rozwojowych korygowano sumami temperatur. Na podstawie obliczenia śred-

Tabela 1

Współczynniki korelacji prostej między cechami struktury plonu

Struktura plonu	Nr cechy	$\bar{X}$	$\delta$	$V_x$	Nr cechy		
					1	2	3
Plony w t/ha:							
białka w liściach	1	1,10	0,41	3,7	0,100	0,052*	0,099*
korzeni	2	44,1	11,3	2,6	0,052*	0,100	0,053*
liści	3	42,6	15,6	3,7	0,099*	0,053*	0,100

 $\bar{x}$  — średnia arytmetyczna badanego zbioru, $\delta$  — średni błąd standardowy, $V_x$  — współczynnik zmienności, $x$  — współczynniki korelacji istotne ( $\alpha = 0,95$ ).

nich wieloletnich przyjęto, iż w okresie dwu pierwszych faz po wschodach roślina otrzymuje sumę temperatur około  $450^{\circ}\text{C}$ , w fazie 16 liści około  $530^{\circ}\text{C}$  i w fazie korzenia zapasonośnego około  $1040^{\circ}\text{C}$ . Dokonany podział okresu wegetacyjnego na wydzielone podokresy okazał się przydatnym w badaniach i może być uznany za wystarczająco dokładny. Przy rozpartywaniu przebiegu pogody uwzględniono również wartość współczynnika hydrotermicznego Sielianinowa (Ht), który charakteryzuje wilgotność środowiska. Współczynnik ten określono mnożąc sumę opadów przez 10 i dzieląc iloczyn przez sumę średnich temperatur dobowych dla analizowanego okresu.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW

W celu uzyskania poglądu o warunkach niezbędnych do uzyskiwania z 1 ha dużych zbiorów białka surowego w liściach przy wysokim plonie korzeni — skonstruowano modele procesu uprawowego odpowiadające różnym, a także i maksymalnym plonom rozpatrywanych dwu elementów struktury plonu. Model odpowiadający plonom najwyższym może być uważany za optymalny. Modele opracowano metodą optymalizacji statycznej, grupując obiekty w sposób inkludujący [3]. Ze zbioru wszystkich analizowanych obiektów ( $S^0$ ) wydzielono podzbiory obiektów o plonach białka surowego w liściach i plonach korzeni:

- 1) wyższych od średniej całego zbioru ( $S^1$ ),
- 2) wyższych od średnich zbioru  $S^1$  ( $S^2$ ).

Dla całego zbioru obiektów ( $S^0$ ) jak i wydzielonych podzbiorów ( $S^1$  i  $S^2$ ) obliczono średnie wartości wszystkich cech. W ten sposób powstały trzy modele uprawy, odpowiadające plonom białka surowego w liściach w t/ha: 1,10, 1,40, 1,54, przy plonach korzeni odpowiednio: 44,1, 54,5, 59,1 t/ha (tab. 2). Różnice między plonami średnimi całego zbioru obiek-

tów a plonami obiektów tworzących model optymalny są dość znaczne i wynoszą dla białka surowego 0,44 t/ha, a dla korzeni 5,0 t/ha.

W tabeli 3 zestawiono ważniejsze wybrane elementy agrotechniki towarzyszące wzrostowi plonów. Podnoszeniu wydajności z 1 ha białka su-

Tabela 2

Zmiany wartości elementów struktury plonu, towarzyszące wzrostowi wydajności białka surowego w liściach i korzeni z 1 ha

Struktura plonu	Przedziały plonu białka w t/ha		
	0,30—1,96	1,11—1,96	1,41—1,96
	przedziały plonu korzeni w t/ha		
	24,6—70,0	24,2—70,0	44,2—70,0
Symbole zbioru i podzbiorów	S <sup>0</sup>	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>
Ilość obiektów	133	57	24
Plony w t/ha:			
białka w liściach	1,10	1,40	1,54
korzeni	44,1	54,5	59,1
liści	42,6	54,2	59,1

Tabela 3

Różnicowanie się wybranych elementów agrotechniki, towarzyszące wzrostowi plonów białka surowego w liściach i korzeni

Elementy agrotechniki	Plon białka w t/ha		
	1,10	1,40	1,54
	plon korzeni w t/ha		
	44,1	54,5	59,1
Symbole zbioru i podzbiorów	S <sup>0</sup>	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>
pH gleby	5,9	6,2	6,4
Przeoranie obornika jesienią + orka zimowa, % obiektów	17	24	39
Ilość zabiegów przed siewem	3,2	3,9	4,1
Daty: wschodów	12 V	10 V	10 V
wykopków	16 X	22 X	25 X
Długość okresu między wschodami i wykopkami w dniach	157	165	168
Nawożenie mineralne w czystym składniku, kg/ha			
N	123	124	133
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	93	87	96
K <sub>2</sub> O	175	175	181
NPK	391	386	410
w tym azotowe: przed siewem	90	90	90
pogłównie	33	34	43
w tym w czasie pierwszych 3 dekad wegetacji, % obiektów	60	65	87
Nawożenie obornikiem, % obiektów	74	82	87
w tym w jesieni, % obiektów	63	82	87

rowego w liściach przy jednoczesnym wzroście plonu korzeni towarzyszył wzrost pH gleby, dwukrotna orka na jesieni (przyoranie obornika i orka zimowa) i opóźnienie terminu zbioru (dłuższy okres wegetacji). Nawożenie przy plonach najwyższych zwiększało się nieznacznie, w tym przede wszystkim azotowe pogłówne w pierwszych trzech dekadach wegetacji. Do uzyskiwania bardzo dużych plonów nieodzowne również jest nawożenie obornikiem i to w jesieni. Lata sprzyjające wysokim plonom białka w liściach jak i wysokim plonom korzeni odznaczały się umiarkowanymi opadami i dużym nasłonecznieniem w okresie młodocianym i okresie rozrostu korzenia. Natomiast w fazie korzenia dojrzałego rośliny wymagają dużej dawki ciepła i słońca (tab. 4).

Tabela 4

Różnicowanie się wartości wybranych elementów meteorologicznych, towarzyszące wzrostowi plonów białka surowego w liściach i korzeniach

Elementy meteorologiczne w okresach rozwojowych	Plon białka w t/ha		
	1,10	1,40	1,54
	plon korzeni w t/ha		
	44,1	54,5	59,1
Symbol zbioru	S <sup>0</sup>	S <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>
Okres dwu pierwszych faz po wschodach			
opad w mm	107	95	89
współczynnik hydrotermiczny — Ht	2,2	1,9	1,9
Faza 16 liści			
opad w mm	101	98	96
nasłonecznienie w godz./dzień	6,2	6,5	6,8
współczynnik hydrotermiczny — Ht	1,8	1,7	1,7
Faza formowania się korzenia zapasonośnego			
temp. średnia dobową powietrza w °C	17,8	17,5	17,9
opad w mm	138	139	141
nasłonecznienie w godz./dzień	6,7	6,8	6,9
suma nasłonecznienia w godz.	393	411	411
współczynnik hydrotermiczny — Ht	1,3	1,3	1,3
Faza korzenia dojrzałego			
suma temp. średnich dobowych	363	391	441
nasłonecznienie w godz./dzień	3,5	3,5	3,8
suma nasłonecznienia w godz.	123	136	162
współczynnik hydrotermiczny — Ht	2,1	2,3	1,7

W czasie uprawy nie zawsze można zapewnić roślinom optymalne dla plonowania warunki. Ograniczenie to szczególnie odnosi się do przebiegu pogody. Wpływ czynników meteorologicznych może być korygowany przez zabiegi agrotechniczne, a przede wszystkim przez nawożenie. Wyniki próby wykonanej w Polsce z dostosowywaniem nawożenia buraków cukrowych do opadu [1] były inspiracją do przeanalizowania różnicowa-



nia się zapotrzebowania wysokich plonów na nawożenie, w zależności od uwilgotnienia środowiska w okresie wzrostu omawianej rośliny. Rozpatrywano okres od wschodów do fazy formowania się korzeni, ponieważ w tym czasie stosuje się zazwyczaj nawożenie pogłównie azotem, a zatem rolnik ma jeszcze możliwość ingerencji w proces uprawy. Cały zbiór analizowanych obiektów podzielono na dwa zbiory: jeden o wartości  $Ht \leq 1,9$  i drugi o  $Ht \geq 2,0$ . Pierwszy zbiór obiektów reprezentował warunki umiarkowanego lub słabszego uwilgotnienia środowiska w okresie młodocianym buraków cukrowych, natomiast drugi zbiór dotyczył roślin wyrosłych w warunkach silnego uwilgotnienia. Dla wydzielonych zbiorów obliczono średnie wartości cech i wydzielono podzbiory odznaczające się wyższymi plonami białka surowego w liściach i wyższą wydajnością korzeni. Plony i niektóre uwarunkowania ich wysokości zestawiono w tabeli 5. Wyniki zawarte w tej tabeli sugerują, iż w przypadku, kiedy rozpatrywany okres wzrostu i rozwoju rośliny charakteryzuje się zarówno słabszym jak i silnym uwilgotnieniem środowiska, można uzyskać duże plony białka surowego w liściach i duże plony korzeni. W obu rozpatrywanych przypadkach uwilgotnienia środowiska wysokie plony wymagają stosowania pod uprawę obornika w jesieni, opóźniania terminu zbioru, przedłużenia okresu wegetacji. Przy tym do uzyskania wysokich plonów w warunkach silnego uwilgotnienia środowiska ( $Ht \geq 2,0$ ) nieodzowne jest większe nawożenie azotem przed siewem aniżeli w przypadku umiarkowanego lub słabszego ( $Ht \leq 1,9$ ). Przy czym w warunkach silnego uwilgotnienia nawożenie pogłowne, jeśli jest stosowane, powinno być opóźnione. W przypadku słabszego uwilgotnienia środowiska wymagane jest nawożenie pogłowne i to przede wszystkim w dwu pierwszych dekadach po wschodach. Wyniki analizy zatem sygnalizują wyraźną tendencję różnicowania się potrzeb nawozowych wysokich plonów w zależności od uwilgotnienia środowiska wyrażonego współczynnikiem hydrotermicznym ( $Ht$ ) w okresie młodocianym. Można przypuszczać, iż omawiane potrzeby nawozowe są modyfikowane w następnych fazach rozwojowych buraka, zatem określenie optymalnych dawek i terminów nawożenia buraka cukrowego wymaga dalszych szczegółowych badań. Przedstawione w dużym skrócie wyniki odnoszą się oczywiście do gleb urodzajnych, odznaczających się zazwyczaj dużą pojemnością wodną i dobrym podsiąkaniem wilgoci.

#### WNIOSKI

Przedstawione opracowanie wykazało możliwość skonstruowania modelu agrotechniki pozwalającego na uzyskiwanie z 1 hektara bardzo dużych wydajności białka surowego w liściach przy jednoczesnych wysokich plonach korzeni buraków cukrowych.

Tabela 5

Różnicowanie się zapotrzebowania wysokich plonów białka surowego w liściach i korzeni na wybrane elementy agrotechniki w zależności od uwilgotnienia środowiska w okresie od wschodów do fazy formowania się korzenia zapasonośnego

Plony i uwarunkowania ich wielkości	Wartość Ht			
	≤ 1,9		≥ 2,0	
	plon białka w liściach w t/ha			
	0,32— —1,85	1,15— —1,85	0,30— —1,96	1,07— —1,96
	plon korzeni w t/ha			
	27,4— —70,0	49,4— —70,0	24,6— —59,1	39,1— —59,1
Liczba obserwacji	65	34	68	20
Symbol zbioru	S <sup>0</sup>	S <sup>1</sup>	S <sup>0</sup>	S <sup>1</sup>
Plon: białka w liściach w t/ha	1,14	1,36	1,06	1,49
korzeni	49,3	56,8	39,0	50,5
liści	43,9	52,6	41,3	57,9
Daty: siewu	23 IV	21 IV	15 IV	11 IV
wykopków	18 X	23 X	18 X	25 X
Czas trwania okresu wegetacyjnego w dniach	158	163	159	169
Nawożenie mineralne w kg/ha czystego składnika				
N	131	125	116	122
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	95	89	90	80
K <sub>2</sub> O	176	173	174	178
NPK	402	387	380	380
w tym nawożenie N				
przed siewem	95	85	84	100
pogłównie	36	40	32	22
% obiektów nawożonych pogłównie	92	95	72	55
w tym w okresie wegetacji:				
dwóch pierwszych dekad	38	56	41	5
trzeciej dekady	22	18	19	40
po trzeciej dekadzie	32	21	12	10
Nawożenie obornikiem, % obiektów	80	74	68	90
w tym jesienią	80	74	47	90

Podany przykład optymalizacji statystycznej służy przede wszystkim do ogólnego rozpoznania problemu optymalizacji uprawy, a wyniki mogą być podstawą do planowania tematyki doświadczeń i dalszych badań. Kolejnym etapem optymalizacji uprawy jest programowanie optymalne, w którym można wykorzystać wspomnianą w opracowaniu macierz informacji wyjściowych.

## LITERATURA

1. Bardziński, Kwiaton, Siwicki: RNR, 87-A-4, 1963, 717-740.
2. Dębowski W., Trzebiński J.: IHAR, 3-4, 1974, 9-14.
3. Góralczyk J.: Warunki zwiększania nadwyżek zbożowych w gospodarstwach indywidualnych. Cz. I, Opole 1970.
4. Góralczyk J.: Zesz. probl. Post. Nauk rol., 122, 1972, 174-187.
5. Kalinowska-Zdun: Zesz. nauk. AR Warsz., Rozprawy naukowe, 38, 1974.
6. Kwiaton D., Kwiaton Z.: Biul. IHAR, 1974, 3-8.
7. Makowiecki J.: Próba optymalizacji agrotechniki na przykładzie uprawy pszenicy ozimej. Opole 1975.
8. Sadowski W.: Teoria podejmowania decyzji. Warszawa 1973.
9. Słowiński H.: Biul. IHAR, 3-4, 1974, 51-55.
10. Zawisłak K., Niewiadomski W., Adamiak J.: Biul. IHAR, 3-4, 1974, 107-114.

*Юзеф Маковецки*

ПОПЫТКА ОПТИМИЗАЦИИ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЕВ  
БЕЛКА ЛИСТЬЕВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Резюме

В настоящем труде предпринималась попытка определения условий, делающих возможным максимальный сбор белка листьев сахарной свеклы при одновременно высоком урожае корней. С этой целью из результатов полевых опытов была изготовлена матрица информации для оптимизации. Процесс возделывания рассматривали как кибернетическую систему, в которой образующие урожай факторы принято считать стимулами входа в систему, а урожаи — реакцией системы. Для сконструирования оптимальной модели возделывания применяли предлагаемый кибернетикой метод „черной коробки”. Результаты анализа показали, что высокие урожаи сахарной свеклы, возделываемой на почвах очень хорошего и хорошего комплекса, требуют старательной агротехники, осеннего внесения навоза, умеренных осадков в вегетационный период и сильной инсоляции, длительного роста в фазе полной спелости и минерального удобрения в дозе 410 кг NPK, в том числе 133 кг N на гектар (таблицы 3 и 4). Результаты исследований показывают также, что удобрительные потребности высоких урожаев дифференцированы в зависимости от влажности среды возделывания (табл. 5).

*Józef Makowiecki*

ATTEMPT OF OPTIMIZATION OF CONDITIONS OF  
THE SUGAR BEET LEAF PROTEIN YIELD INCREASE

Summary

In the present work an attempt was made to determine conditions ensuring high protein yields of sugar beet leaves, at simultaneously high yields of roots. For this purpose, on the basis of results of field experiments, a matrix of information for optimization has been set up. The cultivation process was regarded as a



cybernetic system, in which the yield-forming factors were usually assumed as stimuli for entry into the system and yields — as a reaction of the system. To construct an optimum model of cultivation, the "black box" method proposed by cybernetics was applied. The analysis results have proved that high sugar beet yields cultivated on soils of a very good complex require careful agronomy measures, autumnal fertilization with farmyard manure, moderate rainfalls in the growing season at an intensive insolation, a prolonged growth at the full maturity stage and mineral fertilization amounting to 410 kg NPK, therein 133 kg N, per hectare (Tables 3 and 4). The investigation results prove also that the fertilizing needs of high yields differentiate depending on the moisture level of the cultivation site (Table 5).