

WPLYW ZAOPATRZENIA KUKURYDZY W WODĘ I NAWOZY MINERALNE NA JEJ WZROST,
BUDOWĘ ORAZ ZAWARTOŚĆ BARWNIKÓW I AKTYWNOŚĆ NIEKTÓRYCH ENZYMÓW W LIŚCIACH

Irena Zbieć, Stanisław Karczmarczyk, Wojciech Kowalski,
Stefan Friedrich, Eugeniusz Gurgul

Katedra Ogólnej Uprawy Roli i Roślin, Katedra Botaniki i Zakład Biochemii
AR w Szczecinie

Kukurydza jest rośliną o dużych wymaganiach nawozowych i wodnych, ale też o wysokiej produktywności transpiracji. Akita i Moss [1] są zdania, że liście kukurydzy, rośliny cyklu Hatch-Slacka, odznaczają się dużą reaktywnością szparek na zmianę czynników siedliska, co w połączeniu z większą potencjalną produktywnością liści powoduje, że np. roślina typu C_4 gospodaruje wodą bardziej efektywnie niż rośliny cyklu C_3 .

Bliższe poznanie mechanizmów reakcji roślin na niedostatek wody i składników pokarmowych może ułatwić racjonalne nawadnianie, zwłaszcza połączone z wysokim nawożeniem, zważywszy, że wpływ rolnika na pozostałe czynniki siedliska jest ograniczony. Celem przeprowadzonych doświadczeń było stwierdzenie, jakim zmianom morfologicznym i anatomicznym ulegają rośliny kukurydzy rosnącej na glebie utrzymywanej w rozmaitej wilgotności i nawożonej trzema poziomami NPK. Badano również wpływ wymienionych czynników na zawartość w liściach chlorofilu i karotenowców oraz na aktywność peroksydazy i katalazy, które uczestniczą w metabolizmie auksyn [12].

Metodyka

Przeprowadzono doświadczenie wazonowe w szklarni. Wiadra z tworzywa sztucznego napełniono 10 kg gleby piaszczystej zawierającej 11-13% części spławialnych, 1,5% próchnicy, pH (KCl) 6,3. Porównywano trzy warianty wysokości nawożenia: 1, 2

i 3 NPK. W wariancie 1 NPK zastosowano na 1 wazon: 0,8 gN, 0,6 g P_2O_5 i 0,9 g K_2O , 2 NPK - 2 razy więcej, 3 NPK - 3-krotną dawkę podstawową. Mikroelementy zastosowano w jednej dawce: 1 ml roztworu Hoaglanda na 1 wazon. Zasiano kukurydzę odmiany Kb-270. Po wschodach pozostawiono po 1 roślinie w wazonie. Zróżnicowane podlewanie stosowano od momentu, gdy kukurydza wytworzyła 4 liście. Wilgotność utrzymywano na poziomie 50 i 90% ppw.

Materiał do badań anatomicznych pobierano w okresie pełnego wykształcenia wiech. Zrywano liść piątego węzła i pobierano wycinki blaszki liściowej w odległości 5, 10 i 20 cm od pochwy. Z każdej próbki sporządzono preparaty z górnej i dolnej skórki oraz poprzecznego przekroju liścia. Mierzono następujące parametry: grubość blaszki liściowej, grubość skórki górnej i dolnej, grubość kutikuli skórki górnej, wysokość największej komórki wodnej, średnicę maksymalnego naczynia w wiązce, grubość sklerenchymy nad i pod dużymi wiązkami, liczbę aparatów szparkowych, liczbę włosków, wielkość chloroplastów. Pomiary wykonywano w 5 powtórzeniach, posługując się mikroskopem świetlnym „Amplival”, Zeiss, Jena.

Zawartość chlorofilu i karotenocwów oznaczono w liściach pobieranych jak do badań anatomicznych, stosując metody Arona [3] i Hagera, Meyer-Bertenratha [11].

Aktywność peroksydazy i katalazy oznaczono w materiale uzyskiwanym jak do poprzednio omówionych badań, a stosowano następujące metody analityczne: aktywność peroksydazy oznaczano za pomocą o-dwuanizydyny jako H-donora [9], a katalazy metodą Bergmayera [7].

Wszystkie analizy wykonywano w 5 powtórzeniach.

Wyniki badań

Morfologię kukurydzy przedstawiono w tabeli 1. Plon suchej masy 1 rośliny zebrany z obiektu nawadnianego i nawożonego potrójną dawką NPK był ponad czterokrotnie większy niż z wazonów kontrolnych. Kukurydza rosnąca w porównywanych reżimach wodnych różniła się przede wszystkim długością międzywęzli, wysokością łodyg i rozmiarami blaszek liściowych. Rośliny obficie zaopatrywane w wodę rosły bujnie, a ponadto one właśnie dobrze wykorzystywały wysoką dawkę nawozu. Liczba liści na roślinie nie była zależna od zastosowanych zabiegów, natomiast ich powierzchnia wzrastała pod wpływem wody i nawożenia do 173% na obiekcie nawadnianym i nawożonym 3 NPK.

Jak widać z danych zebranych w tabeli 2, liście kukurydzy rosnącej w porównywanych reżimach wodnych oraz rozmaicie nawożonej znacznie się różniły budową wewnętrzną. Blaszki liściowe roślin nawadnianych były o 12% grubsze, skórka górna

T a b e l a 1

Wpływ wilgotności gleby i nawożenia na ważniejsze cechy pokrojowe kukurydzy

Obiekt ppw	NPK	Sucha masa 1 rośliny (g)	Wysokość 1 rośliny (cm)	Powierzchnia liści 1 rośliny (cm ²)	Międzywęźla	
					długość (cm)	liczba (szt.)
50%	1	10,8	73	1660	5,9	12,3
	2	16,7	100	2070	7,9	12,7
	3	23,3	100	2280	8,3	12,0
	średnio	16,9	91	2003	7,4	12,3
90%	1	20,6	92	2640	7,5	12,3
	2	31,3	158	2790	13,2	12,0
	3	45,9	183	2870	15,3	12,0
	średnio	32,6	144	2763	12,0	12,1
Nieza- leżnie od ppw	1	15,7	83	2150	6,7	12,3
	2	24,0	129	2430	10,6	12,4
	3	34,6	142	2575	11,8	12,0

i pokrywająca ją kutikula oraz skórka dolna były również grubsze - odpowiednio o 11, 9 i 9%. Grubość sklerenchymy nad i pod dużymi wiązkami przewodzącymi i średnica największych naczyń w wiązkach także zwiększały się w liściach kukurydzy rosnącej na glebie zasobnej w wodę.

Ograniczająco działało nawadnianie na liczbę aparatów szparkowych, zwłaszcza w skórce górnej. Zróżnicowanie dawki nawozu mineralnego odzwierciedliło się wprawdzie dość wyraźnie w cechach anatomicznych liści, ale głównie we współdziałaniu z uwilgotnieniem gleby. Rozmiary chloroplastów zależały zarówno od wilgotności gleby, na której rosła kukurydza, jak i od poziomu nawożenia. Maksymalną wielkością odznaczały się chloroplasty liści roślin z obiektu nawożonego potrójną dawką NPK i nawadnianego. Były one o 27% większe od chloroplastów liści obiektu kontrolnego. Najdrobniejsze chloroplasty znajdowały się w liściach roślin pochodzących z wazonów obficie zaopatrzonych w wodę, a skąpo nawożonych; różnica w stosunku do rozmiaru chloroplastów największych wynosiła 65%. W podobnych proporcjach kształtowała się zawartość chlorofilu w liściach (tab. 3). Najmniej chlorofilu całkowitego zawierały liście roślin słabo nawożonych, nawadnianych, ale największym poziomem chlorofilu odznaczały się liście roślin z obiektów nie nawadnianych, lecz wysoko nawożonych. Nawożenie mineralne wydatnie zwiększało w liściach zawartość zarówno chlorofilu, jak i karotenocwów.

T a b e l a 2

Wpływ wilgotności gleby i nawożenia na cechy anatomiczne liścia kukurydzy (um, liczba na pow. 28,83 mm²)

Obiekt		Grubość blaszki liściowej	Grubość skórki górnej	Grubość skórki dolnej	Grubość kutikuli skórki górnej	Wysokość największej komórki wodnej	Średnica maksymalnego naczynia	Grubość sklerenchymy		Liczba włosków na skórce górnej	Liczba aparatów szparkowych w skórce		Wielkość chloroplastów
ppw	NPK							nad dużymi	pod wiązkami		górnej	dolnej	
50%	1	143	24,6	19,1	3,95	49,7	40,7	26,1	20,5	13	21	28	4,24
	2	124	23,2	19,2	3,99	55,6	41,1	25,6	19,4	11	21	32	4,16
	3	126	24,3	19,1	4,13	52,4	42,7	25,9	21,6	11	23	32	4,20
	średnio	131	24,0	19,1	4,02	52,5	41,5	25,9	20,5	12	22	31	4,20
90%	1	142	26,7	22,4	4,74	62,6	46,3	26,6	21,9	14	24	32	3,49
	2	145	26,6	19,8	4,05	58,3	53,9	27,4	21,9	8	19	29	4,23
	3	153	26,7	20,3	4,36	57,3	49,2	33,5	25,6	7	17	25	5,39
	średnio	147	26,7	20,8	4,38	59,4	49,8	29,2	23,1	10	20	29	4,37
Nieza- leżnie od ppw	1	143	25,7	20,8	4,35	56,2	43,5	26,4	21,2	14	23	30	3,87
	2	135	24,9	19,5	4,02	62,0	47,5	26,5	20,7	10	20	31	4,20
	3	140	25,5	19,7	4,25	54,9	46,0	29,7	23,6	9	20	29	4,80

T a b e l a 3

Wpływ wilgotności gleby i nawożenia na zawartość barwników w liściach kukurydzy ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ św. masy)

ppw	Obiekt NPK	Chlorofil			Karotenowce
		a	b	całkowity	
50%	1	944	349	1294	411
	2	1190	368	1558	442
	3	1381	516	1897	583
	średnio	1172	411	1583	479
90%	1	835	328	1163	389
	2	1155	360	1516	560
	3	1282	486	1768	642
	średnio	1091	391	1482	530
Niezależ- nie od ppw	1	980	339	1229	400
	2	1173	364	1537	501
	3	1332	501	1833	613

T a b e l a 4

Wpływ wilgotności gleby i nawożenia na aktywność enzymów w liściach kukurydzy

ppw	Obiekt NPK	Peroksydaza	Katalaza
		$\Delta A \cdot \text{min}^{-1}$	$\text{mg H}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$
50%	1	0,214	3,92
	2	0,217	4,05
	3	0,295	6,75
	średnio	0,242	4,91
90%	1	0,232	1,89
	2	0,294	3,51
	3	0,364	5,40
	średnio	0,297	3,60
Niezależ- nie od ppw	1	0,223	2,90
	2	0,256	3,78
	3	0,329	6,08

Wpływ wilgotności gleby i poziomu nawożenia na aktywność niektórych enzymów przedstawiono w tabeli 4. Stwierdzono, że obydwie zmienne wywarły wyraźny, stymulujący wpływ na aktywność peroksydazy. Peroksydaza w liściach kukurydzy nawadnianej wykazywała aktywność o 23% większą niż w liściach roślin poddanych stresowi wodnemu. Działanie nawożenia było w jeszcze większym stopniu pobudzające, zwłaszcza we współdziałaniu z nawadnianiem. Aktywność peroksydazy w liściach kukurydzy obficie zaopatrywanej w wodę i w składniki pokarmowe była o 70% wyższa w po-

równaniu z obiektem kontrolnym (50% ppw, 1 NPK). Odmienne wpływały badane czynniki agrotechniczne na katalazę. Nawadnianie hamowało aktywność tego enzymu średnio o 27%, a najmniejszą aktywność katalazy stwierdzono w liściach kukurydzy nawadnianej, nawożonej pojedynczą dawką NPK. Zwiększenie aktywności katalazy przez wysokie nawożenie było bardzo wyraźne, sięgające pod wpływem 3 NPK, niezależnie od nawadniania, 110% aktywności oznaczonej w liściach roślin z obiektu kontrolnego.

Dyskusja

Uzyskane przez nas wyniki dotyczące reakcji kukurydzy na stres wodny i pokarmowy wykazały, że współdziałanie nawadniania i nawożenia wyraźnie stymulowało jej wzrost. Działanie to wyraziło się szczególnie wielkością masy wytworzonej przez jedną roślinę. Liście roślin luksusowo nawożonych i nawadnianych nie tylko były dłuższe i szersze, lecz również grubsze, o naczyniach większej średnicy i nieco mocniejszej sklerenchymie, otaczającej duże wiązki przewodzące. Zbliżone efekty nawożenia stosowanego z nawadnianiem opisuje Mikołajczak [13] w odniesieniu do morfologicznych i anatomicznych cech niektórych traw łąkowych. Autorka ta stwierdziła także, że w trawach rosnących w optymalnych warunkach nawozowo-wodnych zmniejszała się udział tkanek niestrawnych, zwłaszcza liczba wiązek łykodrzewnych, a wzrastała ilość tkanek parenchymatycznych, co podnosiło wartość paszową trawy. Z naszych badań wynikają podobne wnioski, a należy podkreślić, że opisany wyżej korzystny wpływ nawadniania i nawożenia na zawartość karotenowców w liściach kukurydzy również przyczyniał się do podniesienia jakości paszy z niej uzyskanej.

Nie stwierdziliśmy, by nawadnianie lub nawożenie wywarło znaczący wpływ na liczebność aparatów szparkowych. Zapewne nie liczebność szparek, lecz mechanizmy regulujące ich czynności decydują o fotosyntezie i transpiracji. Wiadomo np., że kukurydza jako roślina C_4 ma szparki bardziej wrażliwe na zmiany zachodzące w siedlisku niż rośliny uprawiane w naszej strefie klimatycznej, jak np. pszenica. W warunkach intensywnego oświetlenia rośliny C_4 mają wyższy stopień fotosyntezy, a transpirację podobną do roślin cyklu C_3 . Przy małej intensywności światła szparki roślin cyklu Hatch-Slacka zamykają się, co zmniejsza straty wody [1]. Wzrost liści zależy pośrednio i bezpośrednio od zaopatrzenia rośliny w wodę. Berlow i wsp. [5] określili granicę, przy której liść kukurydzy przestaje rosnąć, na 9 barów potencjału wodnego. Autorzy ci [6] stwierdzili ponadto, że jeśli potencjał wodny gleby obniży się z $-0,35$ do $-2,5$ barów, wzrost liści na długość maleje o 44%, transpiracja tylko o 24%, a akumulacja suchej masy zmniejsza się o 26%. Spostrzeżenia te korespondują z wynikami naszych doświadczeń.

Stres wodny i poziom zaopatrzenia w składniki pokarmowe wywołujące szereg zmian w przebiegu procesów fizjologicznych roślin, co między innymi znajduje wyraz w aktywności układów enzymatycznych. Amos i Schell [2] stwierdzili obniżenie aktywności reduktazy azotanowej w liściach kukurydzy poddanej działaniu suszy, a Gurgul [10] wykazał istnienie wyraźnego związku między poziomem nawożenia kapusty azotem a aktywnością peroksydazy i katalazy. Ponieważ wiadomo [8], że regulacja morfogenezy roślin zależy od wytwarzania, transportu i rozkładu auksyn, a oksydo-reduktazy odgrywają istotną rolę w procesie inaktywacji kwasu β -indoliloctowego, spodziewaliśmy się znaleźć zależności między aktywnością peroksydazy i katalazy a wzrostem kukurydzy. W liściach roślin nawożonych wysoką dawką NPK i obficie zaopatrzonych w wodę aktywność peroksydazy znacznie przewyższała tę w liściach roślin kontrolnych. Odwrotnie kształtowała się aktywność katalazy, chociaż nawożenie stymulowało aktywność katalazy w stopniu większym, niż nawadnianie ją hamowało. Fakty te skłaniają nas do przypuszczenia, że aktywność oznaczanych przez nas enzymów nie ma bezpośredniego związku z procesem przyrostu biomasy kukurydzy, w którym poza kwasem β -indoliloctowym określoną rolę muszą spełniać inne substancje, np. kwas abscysynowy, którego poziom w liściach, jak stwierdzili Beardsell i Cohen [6], wzrasta w miarę wzmaganie suszy.

Wnioski

1. Kukurydza nawożona wysoką dawką NPK i zaopatrywana w dostatecznie dużą ilość wody podczas wegetacji wytwarzała suchą masę ponad czterokrotnie większą niż rośliny skąpo nawożone i poddane stresowi wodnemu.

2. Liście kukurydzy obficie nawożonej i nawadnianej odznaczały się większymi i grubszymi blaszkami, zwiększoną średnicą dużych naczyń, grubszą skórka i sklerenchymą, a mniejszą liczbą aparatów szparkowych po spodniej stronie liścia.

3. Chloroplasty w liściach kukurydzy nawożonej wysoką dawką NPK osiągały większe rozmiary, zawierały znacznie więcej chlorofilu i karotenoidów w porównaniu ze słabo nawożonymi. W roślinach nawadnianych chloroplasty były większe tylko na obiektach wysoko nawożonych, natomiast zawartość chlorofilu w liściach nawadnianej kukurydzy była niższa niezależnie od poziomu nawożenia.

4. Wysoka dawka nawożenia mineralnego spowodowała znaczny wzrost aktywności peroksydazy w liściach kukurydzy, zwłaszcza jeśli rosła ona w korzystnych warunkach uwilgotnienia gleby. Aktywność katalazy była najwyższa w liściach kukurydzy poddawanej stresowi wodnemu, nawożonej potrójną dawką NPK, a stosowanie nawadniania i skąpego nawożenia powodowało znaczne zmniejszenie aktywności tego enzymu.

Literatura

1. Akita S., Moss D. N.: Crop Sci. 12, 1973.
2. Amos J. A., Scholl R. L.: Crop Sci. 17, 1977.
3. Arnon D. I., Allen M. B., Whatley F.: Biochim. Biophys. Acta 20, 1956.
4. Barlow E. W. R., Boersma L., Young J. L.: Agron. J. 69, 1977.
5. Barlow E. W. R., Boersma L., Young J. L.: Crop Sci. 16, 1976.
6. Beardsell M. F., Cohen D.: Plant Physiol., 51, 1973.
7. Bergmeyer H. V.: Methods of enzymatic analysis, Acad. Press. N. Y., 1973.
8. Devlin R. M., Wiham F. H.: Plant Physiology, PWS Publishers, Boston 1983.
9. Gardiner M. G., Cleland R.: Phytochem. 113, 1974.
10. Gurgul E., Rozprawy AR Szczec. 84, 1982.
11. Hager A., Meyer-Bertenrath T.: Planta 69, 1966.
12. Machackovz J., Gancevz K., Zmrhal Z.: Phytochem. 13, 1974.
13. Mikołajczak Z., Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 181, 361-378, 1976.

И. И. Збеть, С. Карчмарчик, В. Ковальски, С. Фридрих, Е. Гургуль

**ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ СНАБЖЕНИЯ ВОДОЙ И МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ
КУКУРУЗЫ НА ЕЁ РАЗВИТИЕ, СТРОЕНИЕ, А ТАКЖЕ НА СОДЕРЖАНИЕ
ПИГМЕНТОВ И АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ ФЕРМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ**

Р е з ю м е

Результаты вегетационного опыта, поставленного в теплице показали, что повышенные дозы НРК и достаточное снабжение водой (90% полевой водоёмкости почвы) во время вегетационного периода способствовали свыше четырёхкратному увеличению массы растений в сравнении с объектами удобренными недостаточно в наличии водного стресса.

По объектам с дождеванием и обильным удобрением листья кукурузы отличались: повышенной толщиной пластинок листа, увеличенным диаметром больших сосудов, повышенными толщинами кожуры и склеренхима, а также меньшим количеством устьичных аппаратов нижней стороны листа. По объектам удобренным высокими дозами НРК хлоропласты листьев достигали больших размеров, а в листьях содержалось больше хлорофилла и каротиноидов по сравнению с объектами недостаточного удобрения. Большими размерами хлоропластов отличались растения лишь при совместном применении орошения и высоких доз удобрения. При применении орошения, независимо от уровня удобрения, листья кукурузы отличались меньшим содержанием хлорофилла.

Большие дозы минерального удобрения вызвали значительное повышение активности пероксидазы в листьях, особенно при комфортабельных водных условиях. Самую большую активность каталазы установлено при наличии водного стресса и применении повышенных доз удобрения. Орошение и недостаточное удобрение способствовали уменьшению активности этого фермента в листьях.

I. I. Zbieć, S. Karczmarczyk, W. Kowalski, S. Friedrich, E. Gurgul

EFFECTS OF WATER SUPPLY AND FERTILIZATION ON THE GROWTH OF CORN,
ANATOMY, PIGMENTS CONTENT AND SOME ENZYMES' ACTIVITIES OF LEAVES

S u m m a r y

Greenhouse experiments have shown, that corn sufficiently supplied with water and fertilizers produced a fourfold dry matter's yield, compared to water stressed and scarcely fertilized plants. Leaves of plants which had been watered and abundantly fertilized had thicker leaves-blades and epidermis, wider diameter of the largest vessels, but a decreased number of stomata.

The chloroplasts of plants fertilized with the highest dosis of NPK were larger, and the chlorophyll content of those leaves increased as compared to low-fertilized plants. Leaves of watered corn contained larger chloroplasts only if the plants had been supplied with large NPK doses, their chlorophyll content remaining low, independently of the fertilization level.

High doses of NPK caused an increase of the peroxidase activity in leaves, particularly of plants that had been generously supplied with water. The highest catalase activity exerted leaves of water - stressed, generously fertilized corn; watering combined with a low level of fertilization reduced the activity of catalase.