

1. Warunki i metody badań

Doświadczenie z kukurydzą na ziarno założono w miejscowości Kraski, gmina Świnice Warckie, powiat łęczycki, woj. łódzkie w 2023 r. w gospodarstwie Marcina Chajdasa.

1.1. Agrotechnika

Przedplonem dla kukurydzy była kukurydza uprawiana na ziarno. W dniu 10.12.2022 r. wykonano talerzowanie broną talerzową na głębokość ok. 12 cm.

W dniach 07-08.04.2023 r. przeprowadzono nawożenie przedsiwne stosując mocznik z inhibitorem ureazy (46% N) w dawce odpowiednio 400 i 200 kg na 1 ha oraz ESTA Kieserit Gran (50% SO₃ i 25% MgO) – 200 i 100 kg na 1 ha, a także nawóz SiGS. Nawozy zostały wymieszane na głębokość ok. 30 cm agregatem do uprawy bezorkowej.

W dniu 01.05. 2023 r. wykonano siew kukurydzy siewnikiem punktowym Gaspardo z jednoczesnym nawożeniem współrzędnym. Do nawożenia użyto nawozu Polifoska 8 (8% N, 24% P₂O₅, 24% K₂O i 9% SO₃) w dawce 350 i 175 kg/ha. Łącznie nawożenie mineralne wyniosło (na 1 ha) na kombinacji:

- 100% NPK – 212 kg N/ha, 84 kg P₂O₅, 84 kg K₂O, 100 kg MgO i 132 kg SO₃;
- 50% NPK – 106 kg N/ha, 42 kg P₂O₅, 42 kg K₂O, 50 kg MgO i 66 kg SO₃.

Nasiona odmiany kukurydzy DKC 3888 (mieszaniec średnio późny, FAO 270) wysiane zostały 01.05.2023 r. w ilości 82 tys. nasion na 1 ha, na głębokość 5 cm, rozstawa międzyrzędzi 75 cm. Materiał siewny był zaprawiony zaprawą Redigo M 120 FS (s.cz. metalaksyl – 20 g/l + protiokonazol – 100 g/l).

Do zwalczania chwastów użyto herbicydu Lumax 537,5 SE (s.cz. mezo-trion (związek z grupy trójketonów) – 37,5 g/l, s-metolachlor (związek z grupy chloroacetoanilidów) – 312,5 g/l, terbutylazyna (związek z grupy triazyn) – 187,5 g/l) w dawce 3,5 l w 240 l wody na 1 ha. Zabieg wykonano w dniu 04.05.2023 r.

Nie prowadzono zabiegów chemicznych przeciwko chorobom i szkodnikom.

1.2. Warunki pogodowe

Okres wegetacji w 2023 r. charakteryzował się dużym niedoborem opadów w maju i we wrześniu (tab. 1). Łączna ilość opadów w okresie od kwietnia do września wyniosła niecałe 300 mm.

Tabela 1. Warunki pogodowe w okresie wegetacji kukurydzy na ziarno (Kraski, 2023)

Miesiąc	Ilość opadów, mm	Średnia temperatura miesięczna, °C
V	42,5	13,3
VI	72,7	18,3
VII	59,1	20,1
VIII	93,8	20,8
IX	24,2	18,0
Suma	292,3	–

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych edwin.gov.pl (dla stacji Zduny)

1.3. Metodyka badań

Doświadczenie było doświadczeniem dwuczynnikowym. Pierwszym czynnikiem była dawka NPK: 100% w technologii gospodarstwa (bez ingerencji Zespołu SGGW) i 50%, a drugim sposób nawożenia krzemem doglebowo i dolistnie (tab. 2).

Tabela 2. Czynniki w doświadczeniu (Kraski 2023)

Nr kombinacji	Opis
100% NPK	
Kontrola	–
1	SiGS (100 kg/ha)
2	SiGS (300 kg/ha)
3	SiGS (500 kg/ha)
4	Barrier Si-Ca 1 l/ha
5	SiGS (100 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha)
6	SiGS (300 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha)
7	SiGS (500 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha)
50% NPK	
Kontrola	–
1	SiGS (100 kg/ha)
2	SiGS (300 kg/ha)
3	SiGS (500 kg/ha)
4	Barrier Si-Ca (1 l/ha)
5	SiGS (100 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha)
6	SiGS (300 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha)
7	SiGS (500 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha)

W doświadczeniu użyto doglebowo nawóz SiGS, który zawiera: SiO₂ – 43,0%, CaO – 25,3%, Al₂O₃ – 16,5%, MgO – 7,6%, MnO – 5,8%, BaO – 0,8%, K₂O – 0,7%, S – 0,4%, Na₂O – 0,3%, FeO – 0,2%, TiO₂ – 0,1%. Produkt w 98-99% jest amorficzny.

Zastosowano także nawóz dolistny Barrier Si-Ca (336 g Si i 207 g Ca w litrze). Aplikację dolistną nawozu wykonano zgodnie ze schematem doświadczenia w dniu 10.06.2023 r. Dawka cieczy roboczej wyniosła 300 l/ha.

2. Wybrane wyniki badań

2.1. Plon świeżej i suchej masy

Plon świeżej masy przy pełnym nawożeniu NPK był największy na kombinacji nr 3 i 7, a przy ograniczonym o połowę na kombinacji nr 7 (tab. 3). Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK największe wartości przyjmował dla kombinacji nr 3 i 7.

Zawartość suchej masy na obiektach z pełną dawką NPK był największa na kombinacjach nr 4, 6 i 7, a na obiektach z połową dawki na kombinacji nr 1.

Plon suchej masy zarówno przy pełnym, jak i zmniejszonym o połowę nawożeniu NPK był największy na kombinacji nr 3 i 7. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK największe wartości przyjmował dla kombinacji nr 3 i 7.

Tabela 3. Plon świeżej masy, zawartość suchej masy oraz plon suchej masy kukurydzy w zależności od nawożenia krzemem (Kraski, 2023)

Kombinacja	Plon świeżej masy, dt/ha	Zawartość suchej masy, %	Plon suchej masy, dt/ha
100% NPK			
Kontrola	316,4 a*	34,9 a	110,5 a
1	373,6 bcd ↑	35,6 ab	132,8 bc ↑
2	395,6 cde ↑	35,4 ab	139,9 bc ↑
3	430,4 fg ↑	35,5 ab	152,4 de ↑

4	321,6 a	36,3 b ↑	116,6 a
5	385,2 bcd ↑	35,6 ab	137,0 bc ↑
6	396,8 cde ↑	36,2 b ↑	143,6 cd ↑
7	427,2 efg ↑	36,5 b ↑	156,0 e ↑
50% NPK			
Kontrola	307,2 a	35,7 ab	109,7 a
1	360,4 b ↑	36,5 b	131,7 b ↑
2	326,4 a	35,8 ab	116,8 a
3	441,6 g ↑	35,7 ab	157,5 e ↑
4	318,0 a	35,7 ab	113,5 a
5	365,6 bc ↑	35,5 ab	129,8 b ↑
6	402,4 def ↑	35,6 ab	143,3 cd ↑
7	438,4 g ↑	35,7 ab	156,7 e ↑
Średnia			
Kontrola	311,8 a	35,3 a	110,1 a
1	367,0 b ↑	36,1 a	132,3 b ↑
2	361,0 b ↑	35,6 a	128,3 b ↑
3	436,0 d ↑	35,6 a	155,0 d ↑
4	319,8 a	36,0 a	115,1 a
5	375,4 b ↑	35,6 a	133,4 b ↑
6	399,6 c ↑	35,9 a	143,5 c ↑
7	432,8 d ↑	36,1 a	156,3 d ↑
Średnia			
100% NPK	380,9 a	35,7 a	136,1 a
50% NPK	370,0 a	35,8 a	132,4 a

1 – SiGS (100 kg/ha); 2 – SiGS (300 kg/ha); 3 – SiGS (500 kg/ha); 4 – Barrier Si-Ca (1 l/ha); 5 – SiGS (100 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 6 – SiGS (300 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 7 – SiGS (500 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha);

*te same litery w kolumnach oznaczają brak istotnych różnic przy $P = 0,05$.

2.2. Zdrowotność roślin w końcowym okresie wegetacji

Zastosowane kombinacje doświadczalne miały istotny wpływ na porażenie roślin w końcowym okresie wegetacji przez oceniane choroby i występowanie omacnicy prosowianki (tab. 4).

Na obiektach z pełną dawką nawożenia NPK najmniejsze porażenie roślin przez fuzariozę na kolbach i łodygach, głównie kukurydzy na kolbach i łodygach obserwowano na kombinacjach nr 6 i 7, a w przypadku bakteryjnej plamistości pochw liści kukurydzy także na kombinacji nr 5. Na kombinacjach nr 6 i 7 obserwowano także najmniejsze uszkodzenia roślin wywołane przez omacnicę prosowiankę.

Na obiektach z ograniczoną o połowę dawką NPK najmniejsze porażenie roślin przez oceniane choroby było na kombinacjach nr 6 i 7, z tym że w przypadku główki kukurydzy na łodygach w kombinacji nr 7. Również najmniejsze uszkodzenia wywołane przez omacnicę prosowiankę stwierdzono na kombinacji nr 7.

Średnio dla obu wariantów nawożenia NPK najmniejsze porażenie roślin przez choroby obserwowano na kombinacjach nr 6 i 7, a w przypadku bakteryjnej plamistości pochw liści kukurydzy, fuzariozy na łodygach oraz główki kukurydzy na kolbach także na kombinacji nr 5. Najmniejsze uszkodzenia roślin spowodowane przez omacnicę prosowiankę stwierdzono na kombinacji nr 7.

Rośliny na kombinacjach z pełną dawką NPK odznaczały istotnie większym porażeniem przez bakteryjną plamistość pochw liści kukurydzy i główkę kukurydzy na łodygach oraz istotnie mniejszym porażeniem kolb przez fuzariozę niż na kombinacjach z połową dawki NPK.

Tabela 4. Porażenie kukurydzy przez choroby i uszkodzenia przez szkodniki w zależności od nawożenia krzemem (Kraski, 2023)

Kombinacja	Bakteryjna plamistość pochew liści kukurydzy	Fuzarioza		Głownia kukurydzy		Omacnica prosowianka
		kolb	łodyg	kolb	łodyg	
	skala 9- stopniowa	procent porażonych kolb/łodyg				
100% NPK						
Kontrola	7,50 a	5,60 fg	4,53 i	0,43 i	0,77 h	13,33 d
1	7,53 ab	5,37 de ↓	4,23 h ↓	0,37 ghi	0,67 gh	13,23 d
2	7,57 abc	5,30 cd ↓	4,03 fgh ↓	0,30 efg ↓	0,57 efg ↓	12,73 bcd
3	7,60 bcd ↑	5,20 bc ↓	3,63 de ↓	0,30 efg ↓	0,53 def ↓	12,43 abc ↓
4	7,53 ab	5,27 cd ↓	3,90 fg ↓	0,33 fgh ↓	0,57 efg ↓	12,80 bcd
5	7,67 e ↑	5,17 bc ↓	2,50 c ↓	0,20 bcd ↓	0,53 def ↓	13,03 cd
6	7,67 e ↑	5,07 ab ↓	2,20 b ↓	0,17 abc ↓	0,40 abc ↓	12,33 abc ↓
7	7,67 e ↑	4,93 a ↓	1,63 a ↓	0,13 ab ↓	0,33 a ↓	12,13 ab ↓
50% NPK						
Kontrola	7,57 abc	5,63 g	4,53 i	0,40 hi	0,67 gh	13,50 d
1	7,60 bcd	5,53 fg	4,13 gh ↓	0,40 hi	0,63 fgf	13,43 d
2	7,57 abc	5,30 cd ↓	3,93 fg ↓	0,30 efg ↓	0,50 cde ↓	12,33 abc ↓
3	7,67 de ↑	5,27 cd ↓	3,43 d ↓	0,23 cde ↓	0,47 bcde ↓	12,83 bcd
4	7,63 cde	5,50 efg	3,80 ef ↓	0,27 def ↓	0,53 def ↓	12,83 bcd
5	7,67 de ↑	5,47 ef ↓	2,53 c ↓	0,23 cde ↓	0,43 abcd ↓	12,90 bcd
6	7,70 e ↑	5,30 cd ↓	2,00 b ↓	0,13 ab ↓	0,43 abcd ↓	12,23 ab ↓
7	7,70 e ↑	5,17 bc ↓	1,63 a ↓	0,10 a ↓	0,37 ab ↓	11,83 a ↓
Średnio						
Kontrola	7,53 a	5,62 f	4,53 g	0,42 d	0,72 d	13,42 e
1	7,57 ab	5,45 e ↓	4,18 f ↓	0,38 d	0,65 d	13,33 de
2	7,57 ab	5,30 cd ↓	3,98 e ↓	0,30 c ↓	0,53 c ↓	12,53 bc ↓
3	7,63 bc	5,23 bc ↓	3,53 d ↓	0,27 bc ↓	0,50 c ↓	12,63 bc ↓
4	7,58 ab	5,38 de ↓	3,85 e ↓	0,30 c ↓	0,55 c ↓	12,82 bcd ↓

5	7,67 c ↑	5,32 cd ↓	2,52 c ↓	0,22 b ↓	0,48 bc ↓	12,97 cde
6	7,68 c ↑	5,18 b ↓	2,10 b ↓	0,15 a ↓	0,42 ab ↓	12,28 ab ↓
7	7,68 c ↑	5,05 a ↓	1,63 a ↓	0,12 a ↓	0,35 a ↓	11,98 a ↓
Średnio						
100% NPK	7,59 a ↓	5,24 a ↓	3,33 a	0,28 a	0,55 b ↑	12,75 a
50% NPK	7,64 b	5,40 b	3,25 a	0,26 a	0,50 a	12,74 a

1 – SiGS (100 kg/ha); 2 – SiGS (300 kg/ha); 3 – SiGS (500 kg/ha); 4 – Barrier Si-Ca (1 l/ha); 5 – SiGS (100 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha);
6 – SiGS (300 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 7 – SiGS (500 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha);

*te same litery w kolumnach oznaczają brak istotnych różnic przy $P = 0,05$.

2.3. Cechy roślin przed zbiorem i plon ziarna

Obsada roślin kukurydzy przed zbiorem była zbliżona poszczególnych kombinacjach doświadczalnych i kształtowała się od 78,7 do 81,0 tys. szt./ha na obiektach z pełnym nawożeniem NPK i od 77,7 do 81,0 tys. szt./ha na obiektach z ograniczonym o połowę nawożeniem (tab. 5).

Na obiektach ze 100% dawką NPK istotny wzrost plonu ziarna w stosunku do kontroli odnotowano na kombinacjach nr 3, 6 i 7, a z 50% dawką NPK na kombinacjach nr 2, 3, 5, 6 i 7. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK istotny wzrost plonu ziarna w stosunku do kombinacji kontrolnej stwierdzono na wszystkich kombinacjach, z wyjątkiem kombinacji nr 4. Średnio dla wszystkich kombinacji plon ziarna na obiektach z pełnym nawożeniem NPK był istotnie większy niż z połową dawki.

Na obiektach ze 100% dawką NPK wszystkie kombinacje charakteryzowały się istotnie mniejszą wilgotnością ziarna niż kombinacja kontrolna, z wyjątkiem kombinacji nr 7. Natomiast na obiektach z 50% dawką NPK wszystkie kombinacje odznaczały się istotnie większą wilgotnością ziarna niż kombinacja kontrolna, z wyjątkiem kombinacji nr 4 i 6. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK wilgotność ziarna z kombinacji nr 4 i 6 była istotnie mniejsza, a z pozostałych kombinacji zbliżona jak na kombinacji kontrolnej.

Na obiektach ze 100% dawką NPK liczba kolb na roślinie na kombinacjach nr 1, 3, 4, 6 i 7 była istotnie mniejsza niż na kombinacji kontrolnej, a na kombinacjach nr 2 i 5 zbliżona. Natomiast na obiektach z 50% dawką NPK kombinacje nr 4, 5, 6 i 7 odznaczały się istotnie mniejszą liczbą kolb na roślinie, a kombinacje nr 1, 2 i 3 podobną jak kombinacja kontrolna. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK liczba kolb na roślinie tylko na kombinacji nr 2 była zbliżona jak na kombinacji kontrolnej, a na pozostałych kombinacjach istotnie mniejsza.

Na obiektach ze 100% dawką NPK wszystkie kombinacje charakteryzowały się istotnie większym plonem ziarna z kolby niż na wariacie kontrolnym. Podobnie było na obiektach z połową dawki NPK, z wyjątkiem kombinacji nr 2 i 4, na których plon ziarna z kolby był zbliżony jak na kombinacji kontrolnej. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK istotny wzrost plonu ziarna w stosunku do kombinacji kontrolnej stwierdzono na wszystkich kombinacjach. Przeciętnie dla wszystkich kombinacji plon ziarna na obiektach z pełnym nawożeniem NPK był istotnie większy niż z połową dawki.

Na obiektach ze 100% dawką NPK wszystkie kombinacje odznaczały się istotnie większą liczbą ziarniaków w kolbie niż na wariacie kontrolnym. Natomiast na obiektach z połową dawki NPK jedynie na kombinacji nr 6 liczba ziarniaków w kolbie była istotnie większa, a na pozostałych zbliżona do kombinacji kontrolnej. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK istotny wzrost liczby ziarniaków w kolbie w stosunku do kombinacji kontrolnej odnotowano na wszystkich kombinacjach. Przeciętnie dla wszystkich kombinacji liczba ziarniaków w kolbie na obiektach z pełnym nawożeniem NPK była istotnie większą niż z połową dawki.

Na obiektach ze 100% dawką NPK wszystkie kombinacje charakteryzowały zbliżoną masą 1000 ziaren jak na wariacie kontrolnym, z wyjątkiem wariantu nr 6. Na obiektach z połową dawki NPK kombinacje nr 1, 2, 4 i 7 odznaczały się istotnie większą, a pozostałe kombinacje zbliżoną masą 1000 ziaren co kombinacja kontrolna. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK kombinacje doświadczalne miały zbliżoną co kombinacja kontrolna masę 1000 ziaren, z wyjątkiem kombinacji nr 6 (istotnie mniejsza) i kombinacji nr 7 (istotnie większa). Przeciętnie dla wszystkich kombinacji masa 1000 ziaren na obiektach z pełnym nawożeniem NPK była istotnie mniejsza niż z połową dawki.

Na obiektach ze 100% dawką NPK wszystkie kombinacje charakteryzowały się zbliżoną gęstością ziarna jak na wariacie kontrolnym, z wyjątkiem kombinacji nr 7, na której była ona istotnie większa. Na obiektach z połową dawki NPK kombinacje nr 1, 2, 4 i 7 odznaczały się istotnie większą, z pozostałe kombinacje zbliżoną gęstością ziarna co

kombinacja kontrolna. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK kombinacje doświadczalne miały zbliżoną do kombinacja kontrolna gęstość ziarna, z wyjątkiem kombinacji nr 6 (istotnie mniejsza) i kombinacji nr 7 (istotnie większa). Przeciętnie dla wszystkich kombinacji gęstość ziarna na obiektach z pełnym nawożeniem NPK była istotnie mniejsza niż z połową dawki.

Tabela 5. Cechy roślin przed zbiorem i plon ziarna kukurydzy w zależności od nawożenia krzemem (Kraski, 2023)

Kombinacja	Obsada roślin przed zbiorem, tys. szt./ha	Plon ziarna (14% H ₂ O), dt/ha	Wilgotność ziarna, %	Liczba kolb na roślinie, szt.	Plon ziarna z kolby (14% H ₂ O), g	Liczba ziarniaków w kolbie, szt.	Masa 1000 ziaren, g	Gęstość ziarna, kg/hl
100% NPK								
Kontrola	81,00 a*	115,9 bcd	20,23 g	1,11 f	128,78 ab	360,68 a	357,49 cdef	71,37 bcdef
1	80,33 a	122,6 cdef	18,63 abcdef ↓	1,06 bcd ↓	143,73 cdef ↑	416,80 bc ↑	344,78 abcd	68,73 abc
2	80,33 a	125,2 cdef	18,37 abcd ↓	1,08 cdef	144,52 cdef ↑	418,55 bc ↑	345,38 bcd	69,10 bcd
3	79,33 a	128,3 ef ↑	18,43 abcde ↓	1,07 bcde ↓	150,73 ef ↑	437,50 cd ↑	344,61 abcd	68,77 abc
4	80,33 a	120,2 bcdef	17,87 ab ↓	1,02 a ↓	147,30 def ↑	427,99 c ↑	344,56 abcd	68,60 abc
5	79,33 a	126,9 def	18,30 abcd ↓	1,08 cdef	148,87 ef ↑	432,82 cd ↑	343,12 abcd	68,70 abc
6	79,33 a	130,5f ↑	18,30 abcd ↓	1,04 ab ↓	158,00 f ↑	469,66 d ↑	337,46 ab ↓	67,40 ab
7	78,67 a	131,0 f ↑	19,23 defg	1,06 bc ↓	157,17 f ↑	418,86 bc ↑	375,22 fg	75,13 fg ↑
50% NPK								
Kontrola	80,00 a	103,6 a	17,77 a	1,10 ef	117,67 a	344,48 a	341,61 abc	68,07 ab
1	78,00 a	114,1 abc	19,60 efg ↑	1,09 def	133,77 bcd ↑	369,53 a	361,88 def ↑	72,37 cdef ↑
2	80,67 a	115,6 bc ↑	19,00 bcdef ↑	1,09 def	131,09 abc	355,91 a	368,44 ef ↑	73,77 ef ↑
3	81,00 a	116,4 bcd ↑	18,83 abcdef ↑	1,07 bcde	133,77 bcd ↑	381,10 ab	351,18 bcde	70,40 bcde
4	78,33 a	109,4 ab	18,40 abcde	1,06 bcd ↓	131,37 abc	359,09 a	366,30 ef ↑	73,17 def ↑
5	80,33 a	115,3 bc ↑	19,10 cdefg ↑	1,05 abc ↓	136,73 bcde ↑	383,79 ab	356,32 bcdef	70,90 bcde
6	79,67 a	116,8 bcd ↑	17,90 abc	1,05 bc ↓	139,07 bcde ↑	427,53 c ↑	325,41 a	64,97 a
7	77,67 a	118,6 bcde ↑	19,83 fg ↑	1,05 abc ↓	145,27 cdef ↑	368,36 a	394,51 g ↑	78,93 g ↑
Średnia								
Kontrola	80,50 a	109,7 a	19,00 bc	1,11 e	123,22 a	352,58 a	349,55 b	69,72 b
1	79,17 a	118,4 bc ↑	19,12 bc	1,08 cd ↓	138,75 bc ↑	393,17 b ↑	353,33 b	70,55 b
2	80,50 a	120,4 bc ↑	18,68 abc	1,09 de	137,80 b ↑	387,23 b ↑	356,91 b	71,43 b
3	80,17 a	122,4 bc ↑	18,63 ab	1,07 bcd ↓	142,25 bcd ↑	409,30 b ↑	347,89 b	69,58 b
4	79,33 a	114,8 ab	18,13 a ↓	1,04 a ↓	139,33 bc ↑	393,54 b ↑	355,43 b	70,88 b
5	79,83 a	121,1 bc ↑	18,70 abc	1,06 abcd ↓	142,80 bcd ↑	408,30 b ↑	349,72 b	69,80 b

6	79,50 a	123,7 c ↑	18,10 a ↓	1,05 ab ↓	148,53 cd ↑	448,59 c ↑	331,44 a ↓	66,18 a ↓
7	78,17 a	124,8 c ↑	19,53 c	1,06 abc ↓	151,22 d ↑	393,61 b ↑	384,86 c ↑	77,03 c ↑
Średnia								
100% NPK	79,83 a	125,1 b ↑	18,67 a	1,07 a	147,39 b ↑	422,86 b ↑	349,08 a ↓	69,73 a ↓
50%	79,46 a	113,7 a	18,80 a	1,07 a	133,59 a	373,72 a	358,21 b	71,57 b

1 – SiGS (100 kg/ha); 2 – SiGS (300 kg/ha); 3 – SiGS (500 kg/ha); 4 – Barrier Si-Ca (1 l/ha); 5 – SiGS (100 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 6 – SiGS (300 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 7 – SiGS (500 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha);

*te same litery w kolumnach oznaczają brak istotnych różnic przy P = 0,05.

2.4. Jakość ziarna

Na obiektach ze 100% dawką NPK wszystkie kombinacje charakteryzowały się zblizoną zawartością tłuszczu w ziarnie jak wariant kontrolnym, z wyjątkiem kombinacji nr 3, na której była ona istotnie mniejsza (tab. 6). Na obiektach z połową dawki NPK było podobnie, z tym że istotnie mniejszą zawartością tłuszczu odznaczała się kombinacja nr 6. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK kombinacje doświadczalne miały zblizoną co kombinacja kontrolna zawartość tłuszczu w ziarnie, z wyjątkiem kombinacji nr 3 i 6, na których była ona istotnie mniejsza.

Na obiektach ze 100% dawką NPK kombinacje nr 1, 3 i 6 odznaczały się istotnie mniejszą, kombinacje nr 2 i 7 istotnie większą, a pozostałe zblizoną zawartością białka w ziarnie jak wariant kontrolny. Na obiektach z połową dawki NPK kombinacje nr 3 i 6 charakteryzowały się istotnie mniejszą, a pozostałe kombinacje istotnie większą zawartością białka w ziarnie w stosunku do wariantu kontrolnego. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK kombinacje nr 2 i 7 odznaczały się istotnie większą, kombinacje nr 3 i 6 istotnie mniejszą, a pozostałe zblizoną zawartością białka w ziarnie jak wariant kontrolny.

Na obiektach ze 100% dawką NPK kombinacje nr 2 i 7 odznaczały się zblizoną zawartością skrobi w ziarnie, a pozostałe kombinacje istotnie większą w stosunku do wariantu kontrolnego. Na obiektach z połową dawki NPK kombinacja nr 6 charakteryzowała się istotnie większą, kombinacje nr 1, 2 i 7 istotnie mniejszą, a pozostałe kombinacje podobną zawartością skrobi w ziarnie jak wariant kontrolny. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK kombinacje nr 3, 4 i 6 odznaczały się istotnie większą, a pozostałe zblizoną zawartością skrobi w ziarnie jak wariant kontrolny.

Tabela 6. Zawartość tłuszczu, białka i skrobi w ziarnie kukurydzy w zależności od nawożenia krzemem, % (Kraski, 2023)

Kombinacja	Zawartość tłuszczu	Zawartość białka	Zawartość skrobi
100% NPK			
Kontrola	4,27 cd*	8,93 de	71,53 a
1	4,13 abc	8,53 c ↓	72,20 c ↑
2	4,23 bcd	9,47 f ↑	71,57 ab
3	4,07 ab ↓	8,07 b ↓	72,73 de ↑
4	4,17 abcd	8,77 cd	72,30 cd ↑
5	4,17 abcd	8,73 cd	72,07 bc ↑
6	4,13 abc	7,83 ab ↓	72,77 de ↑
7	4,30 cd	9,37 f ↑	71,50 a
50% NPK			
Kontrola	4,23 bcd	8,50 c	72,07 bc
1	4,33 d	8,93 de ↑	71,50 a ↓
2	4,30 cd	9,33 f ↑	71,30 a ↓
3	4,17 abcd	8,13 b ↓	72,10 c
4	4,13 abc	8,97 de ↑	72,17 c
5	4,27 cd	8,97 de ↑	71,57 ab
6	4,00 a ↓	7,50 a ↓	73,13 e ↑
7	4,33 d	9,27 ef ↑	71,37 a ↓
Średnia			
Kontrola	4,25 cd	8,72 c	71,80 ab
1	4,23 bcd	8,73 c	71,85 b
2	4,27 cd	9,40 d ↑	71,43 a
3	4,12 ab ↓	8,10 b ↓	72,42 c ↑

4	4,15 abc	8,87 c	72,23 c ↑
5	4,22 bcd	8,85 c	71,82 b
6	4,07 a ↓	7,67 a ↓	72,95 d ↑
7	4,32 d	9,32 d ↑	71,43 a
Średnia			
100% NPK	4,18 a	8,71 a	72,08 a
50% NPK	4,22 a	8,70 a	71,90 a

1 – SiGS (100 kg/ha); 2 – SiGS (300 kg/ha); 3 – SiGS (500 kg/ha); 4 – Barrier Si-Ca (1 l/ha); 5 – SiGS (100 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 6 – SiGS (300 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 7 – SiGS (500 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha);

*te same litery w kolumnach oznaczają brak istotnych różnic przy $P = 0,05$.

2.5. Zawartość mykotoksyn

Zawartość aflatoksyny B1, B2, G1, G2, ich sumy oraz ochratoksyny A w ziarnie była bardzo mała i poniżej progu oznaczalności (tab. 7). Jedynie w przypadku DON i ZEA zaobserwowano większą ich obecność. Istotnie większą zawartość DON stwierdzono w wariacie kontrolnym w stosunku do pozostałych kombinacji na obiekcie z pełną dawką NPK. W pozostałych przypadkach nie było istotnych różnic.

Tabela 7. Zawartość mykotoksyn w ziarnie kukurydzy w zależności od nawożenia krzemem, µg/kg s.m. (Kraski, 2023)

Kombinacja	Aflatoksyna B1	Aflatoksyna B2	Aflatoksyna G1	Aflatoksyna G2	Suma B+G	Ochratoksyna A	DON	ZEA
100% NPK								
Kontrola	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	1800,00 b	18,85 a
1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	28,00 a ↓	5,35 a
2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	161,50 a ↓	6,70 a
3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	142,00 a ↓	20,40 a
4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	10,00 a ↓	5,00 a
5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	10,00 a ↓	5,00 a
6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	53,00 a ↓	5,00 a
7	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	42,00 a ↓	5,00 a
50% NPK								
Kontrola	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	62,50 a	5,00 a
1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	35,50 a	5,00 a
2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	96,00 a	5,35 a
3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	122,00 a	5,00 a
4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	12,50 a	5,00 a
5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	19,00 a	5,00 a
6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	105,00 a	9,15 a
7	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	62,00 a	5,00 a
Średnia								
Kontrola	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	931,25 a	11,93 a
1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	31,75 a	5,18 a
2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	128,75 a	6,03 a
3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	132,00 a	12,70 a
4	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	11,25 a	5,00 a
5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	14,50 a	5,00 a
6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	79,00 a	7,08 a
7	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	52,00 a	5,00 a
Średnia								
100% NPK	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	280,81 a	8,91 a

50% NPK	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,5	64,31 a	5,56 a
---------	------	------	------	------	------	------	---------	--------

1 – SiGS (100 kg/ha); 2 – SiGS (300 kg/ha); 3 – SiGS (500 kg/ha); 4 – Barrier Si-Ca (1 l/ha); 5 – SiGS (100 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 6 – SiGS (300 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 7 – SiGS (500 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha);

*te same litery w kolumnach oznaczają brak istotnych różnic przy $P = 0,05$.

2.6. Efektywność ekonomiczna

Na obiektach ze 100% dawką NPK kombinacje nr 3, 6 i 7 odznaczały się istotnie większą, a pozostałe kombinacje zbliżoną jak kombinacja kontrolna wartością produkcji brutto (tab. 8). Na obiektach z połową dawki NPK kombinacje nr 2, 3, 5, 6 i 7 charakteryzowały się istotnie większą, a pozostałe kombinacje podobną wartością produkcji brutto jak wariant kontrolny. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK wszystkie kombinacje charakteryzowały się istotnie większą jak wariant kontrolny wartością produkcji brutto, z wyjątkiem kombinacji nr 4, na której była ona zbliżona.

Na obiektach ze 100% dawką NPK kombinacje nr 6 i 7 odznaczały się istotnie większą, a pozostałe kombinacje zbliżoną jak kombinacja kontrolna przyrostem wartości produkcji brutto. Na obiektach z połową dawki NPK jedynie kombinacja nr 7 charakteryzowała się istotnie większą, a pozostałe kombinacje podobną przyrostem wartością produkcji brutto jak wariant kontrolny. Średnio dla obu poziomów nawożenia NPK wszystkie kombinacje charakteryzowały się istotnie większym jak wariant kontrolny przyrostem wartości produkcji brutto, z wyjątkiem kombinacji nr 1 i 4, na których była ona zbliżona jak na wariancie kontrolnym. Przeciętnie dla wszystkich kombinacji przyrost wartości produkcji brutto na obiektach z pełnym nawożeniem NPK był istotnie mniejszy niż na obiektach z połową dawki.

Zarówno na obiektach ze 100, jak i 50% dawką NPK przyrost wartości produkcji netto na poszczególnych kombinacjach był zbliżony do kombinacji kontrolnej. Podobnie było w przypadku średnich dla obu poziomów nawożenia NPK. Największym przyrostem wartości produkcji netto na obiektach ze 100% dawką NPK odznaczała się kombinacja nr 5, a obiektach z 50% dawką NPK – kombinacja nr 1. Średnio dla obu poziomach nawożenia NPK była to kombinacja nr 5.

Tabela 8. Efektywność ekonomiczna produkcji ziarna kukurydzy w zależności od nawożenia krzemem, zł/ha (Kraski, 2023)

Kombinacja	Wartość produkcji brutto	Przyrost wartości produkcji brutto	Koszt zakupu nawozu SiGS + Barrier Si-Ca	Koszt wykonania nawożenia i aplikacji dolistnej	Łączny koszt nawożenia i aplikacji dolistnej	Przyrost wartości produkcji netto
100% NPK						
Kontrola	8113 bcd*	0 a	-	-	-	0 a
1	8584 cdef	471 ab	280	40	320	151 a
2	8769 cdef	655 ab	840	40	880	-225 a
3	8983 ef ↑	869 ab	1400	40	1440	-571 a
4	8412 bcdef	299 ab	60	50	110	189 a
5	8878 def	765 ab	340	90	430	335 a
6	9136 f ↑	1023 b ↑	900	90	990	33 a
7	9172 f ↑	1059 b ↑	1460	90	1550	-491 a
50% NPK						
Kontrola	7250 a	0 a	-	-	-	0 a
1	7988 abc	738 ab	280	40	320	418 a
2	8090 bc ↑	840 ab	840	40	880	-40 a
3	8148 bcd ↑	898 ab	1400	40	1440	-542 a
4	7658 ab	408 ab	60	50	110	298 a
5	8071 bc ↑	821 ab	340	90	430	391 a
6	8177 bcd ↑	927 ab	900	90	990	-63 a
7	8303 bcde ↑	1053 b ↑	1460	90	1550	-497 a
Średnia						
Kontrola	7682 a	0,0 a	-	-	-	0,0 ab
1	8286 bc ↑	605 ab	280	40	320	285 b
2	8430 bc ↑	748 b ↑	840	40	880	-132 ab
3	8565 bc ↑	884 b ↑	1400	40	1440	-556 a
4	8035 ab	353 ab	60	50	110	243 b
5	8475 bc ↑	793 b ↑	340	90	430	363 b
6	8657 c ↑	975 b ↑	900	90	990	-15 ab
7	8738 c ↑	1056 b ↑	1460	90	1550	-494 a
Średnia						

100% NPK	8756 a	643 a ↓		-72 a
50% NPK	7961 a	711 b		-4 a

1 – SiGS (100 kg/ha); 2 – SiGS (300 kg/ha); 3 – SiGS (500 kg/ha); 4 – Barrier Si-Ca (1 l/ha); 5 – SiGS (100 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 6 – SiGS (300 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha); 7 – SiGS (500 kg/ha) + Barrier Si-Ca (1 l/ha);

*te same litery w kolumnach oznaczają brak istotnych różnic przy P = 0,05.

3. Wnioski

1. Wpływ zastosowanych kombinacji doświadczalnych na właściwości chemiczne gleby (pH, zawartość węgla organicznego, azotu mineralnego, zawartość przyswajalnych makro-, mikroelementów i krzemu) był wielokierunkowy i niejednoznaczny. Podobnie było w przypadku ocenianych parametrów fizjologicznych.
2. Największy plon świeżej i suchej masy przy pełnym nawożeniu NPK stwierdzono po zastosowaniu nawozu SiGS w dawce 500 kg/ha i zastosowaniu nawozu SiGS w dawce 500 kg i nawozu dolistnego Barrier Si-Ca w dawce 1 l/ha, a przy ograniczonym o połowę dawki NPK stosując nawóz SiGS w dawce 500 kg i nawóz dolistny Barrier Si-Ca w dawce 1 l/ha.
3. Zastosowane kombinacje doświadczalne miały istotny wpływ na porażenie roślin w końcowym okresie wegetacji przez oceniane choroby i uszkodzenia powodowane przez omacnicę prosowiankę. Najmniejsze porażenie obserwowano na kombinacjach, na których zastosowano nawóz SiGS w dawce 300 kg/ha i nawóz dolistny Barrier Si-Ca w dawce 1 l/ha oraz nawóz SiGS w dawce 500 kg/ha i nawóz dolistny Barrier Si-Ca w dawce 1 l/ha. Najmniejsze uszkodzenia spowodowane przez omacnicę prosowiankę stwierdzono na kombinacji obejmującej stosowanie nawozu SiGS w dawce 500 kg/ha i nawozu dolistnego Barrier Si-Ca w dawce 1 l/ha.
4. Stosowanie nawozu doglebowego SiGS i nawozu dolistnego Barrier Si-Ca miało korzystny wpływ na plon ziarna kukurydzy. Największy wzrost plonu ziarna uzyskano stosując nawóz SiGS w dawce 500 kg/ha i nawóz dolistny Barrier Si-Ca w dawce 1 l/ha, nawóz SiGS w dawce 300 kg/ha i nawóz dolistny Barrier Si-Ca w dawce 1 l/ha oraz nawóz SiGS w dawce 500 kg/ha (na obu poziomach nawożenia NPK).
5. Wpływ zastosowanych kombinacji nawozowych na skład chemiczny ziarna kukurydzy był wielokierunkowy, z wyjątkiem zawartości S, która dla prawie wszystkich kombinacji z badanymi produktami była istotnie większa niż dla kombinacji kontrolnej.
6. Zawartość aflatoksyny B1, B2, G1, G2, ich sumy oraz ochratoksyny A w ziarnie kukurydzy była bardzo mała i poniżej progu oznaczalności. Jedynie w przypadku DON i ZEA zaobserwowano większą ich obecność. Stosowanie doglebowe nawozu SiGS, nawozu dolistnego Barrier Si-Ca samodzielnie lub łącznie spowodowało istotne obniżenia zawartości DON w ziarnie w stosunku do kombinacji kontrolnej na obiektach z pełną dawką NPK.
7. Największy wzrost wartości produkcji netto zapewniało zastosowanie nawozu SiGS w dawce 100 kg/ha i nawozu dolistnego Barrier Si-Ca w dawce 1 l/ha przy pełnym nawożeniu NPK oraz nawozu SiGS w dawce 100 kg/ha przy nawożeniu ograniczonym o połowę.