



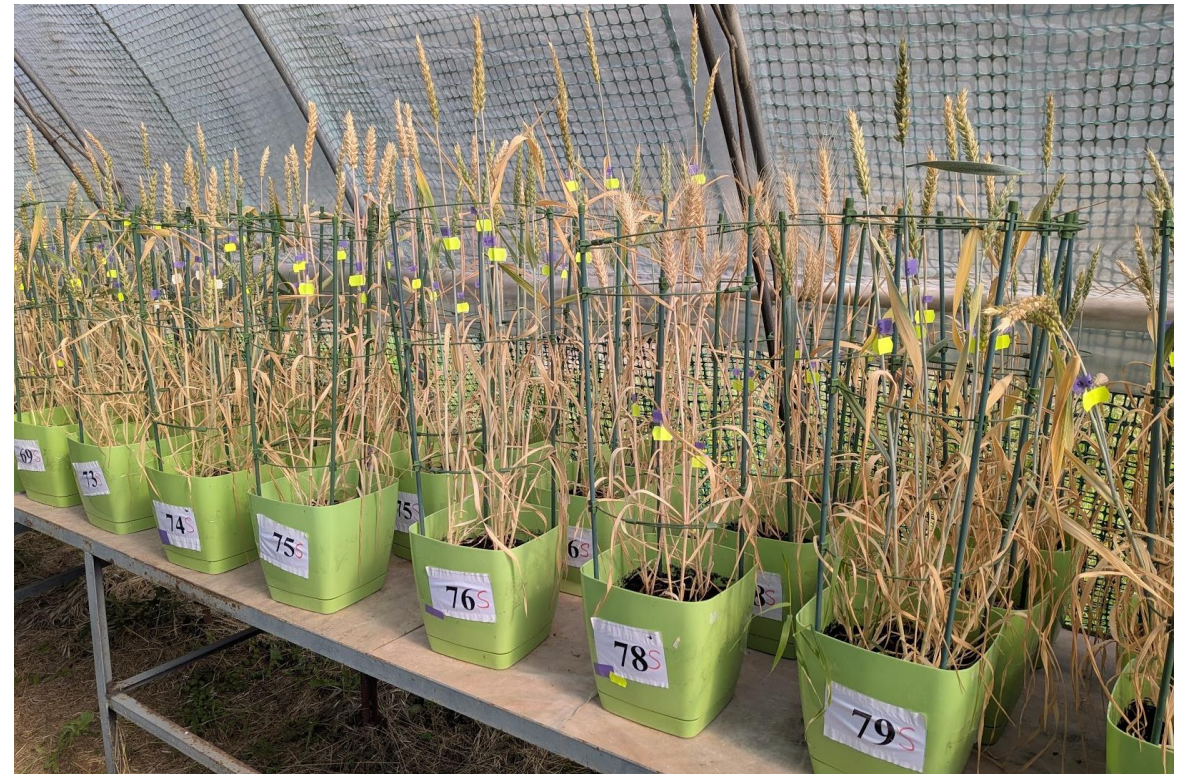
**INSTYTUT FIZJOLOGII ROŚLIN**  
IM. FRANCISZKA GÓRSKIEGO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

# Określenie fizjologicznych i biochemicznych wskaźników tolerancji pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) na stres suszy i wysokiej temperatury

**Zadanie badawcze 3**  
**Okres realizacji: 2021 - 2026**

**Kierownik projektu:** dr hab. Marzena Warchoł, prof. IFR PAN  
e-mail: [m.warchol@ifr-pan.edu.pl](mailto:m.warchol@ifr-pan.edu.pl)

**Wykonawcy:**  
prof. dr hab. inż. Edyta Skrzypek  
prof. dr hab. inż. Ilona Czyczyło-Mysza  
dr inż. Kinga Dziurka  
dr hab. Piotr Waligórski  
dr inż. Kamila Laskoś  
dr Natalia Hordyńska-Tomsia  
dr Anna Maksymowicz



Fot. Marzena Warchoł

# Cel zadania

## Ocena tolerancji pszenicy ozimej na suszę glebową i wysoką temperaturę w fazie kłoszenia

**Temat badawczy 1:** Analiza wybranych parametrów fizjologicznych i biochemicznych oraz obliczenie wskaźników SSI roślin poddanych działaniu suszy glebowej i wysokiej temperatury w fazie kłoszenia

Celem tematu badawczego była analiza wybranych parametrów fizjologicznych i biochemicznych rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) poddanych działaniu suszy i wysokiej temperatury w fazie kłoszenia. Otrzymane wyniki posłużyły do wyliczenia wskaźników SSI i pozwoliły scharakteryzować tolerancję badanych rodów/odmian pszenicy ozimej na w/w stres.

**Cel T1 został zrealizowany**

**Temat badawczy 2:** Określenie tolerancji na suszę na podstawie korelacji między wskaźnikami SSI a indeksami DSI, TOL, STI, YI, %R

Celem tematu badawczego było wyliczenie wskaźników wrażliwości na stres rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) poddanych stresowi suszy i wysokiej temperatury w fazie kłoszenia (SSI, DSI, TOL, STI, YI, %R) na podstawie wyników analiz fizjologicznych i biochemicznych. Otrzymane wyniki pozwoliły scharakteryzować tolerancję badanych rodów/odmian pszenicy ozimej na w/w stres.

**Cel T2 został zrealizowany**

# Materiał i metody

## Materiał roślinny:

30 rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.)

Stres suszy (wywołany poprzez zaprzestanie podlewania) i wysokiej temperatury (35 °C) gdy rośliny osiągnęły fazę kłoszenia

Stopień uwilgotnienia gleby wyznaczony metodą wagową i ustalony na poziomie 70% polowej pojemności wodnej (ppw) dla warunków kontrolnych i 25% ppw dla warunków suszy, traktowanie suszą kontynuowane przez 21 dni

## Metody:

- ❑ **Względna zawartość wody w liściach (LRWC, ang. Leaf Relative Water Content);** Ober i in. (2005)
- ❑ **Potencjał osmotyczny ( $\Psi_o$ );** Hura i in. (2022)
- ❑ **Zawartość barwników fotosyntetycznych** (chlorofilu *a*, *b* i karotenoidów); Lichtenthaler H.K., Wellbum A.R. (1983)
- ❑ **Zawartość związków fenolowych;** Singleton V.S., Rossi Jr J.A. (1965)
- ❑ **Zawartość cukrów rozpuszczalnych;** Dubois M. i in. (1956)
- ❑ **Peroksydacja lipidów;** Heath R.L., Packer L. (1968)
- ❑ **Zawartość kwasów: salicylowego (SA), jasmonowego (JA) i abscysynowego (ABA);** Dziurka i in. (2016)
- ❑ **Komponenty plonu:** liczba dni do kłoszenia/kwitnienia; wysokość pędu głównego; krzewistość produkcyjna; liczba/masa ziaren w kłosie i roślinie; masa 1000 ziaren
- ❑ **Wskaźnik wrażliwości na stres suszy glebowej**
  - $SSI = (1 - Y_s / Y_p) / (1 - \bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$  (SSI, ang. Stress Susceptibility Index, wskaźnik wrażliwości na stres, Fischer i Maurer 1978)
  - $DSI = (1 - Y_s / Y_p) / D$  (ang. Drought Susceptibility Index; wskaźnik wrażliwości na suszę; Fischer i Maurer 1978)
  - $TOL = Y_p - Y_s$  (ang. Tolerance; tolerancja; Hossain i in. 1990)
  - $STI = Y_p \times Y_s / (\bar{Y}_p)^2$  (ang. Stress Tolerance Index; wskaźnik tolerancji stresu; Fernandez 1992)
  - $YI = Y_s / \bar{Y}_s$  (ang. Yield Index; wskaźnik plonowania; Gavuzzi 1997)
  - $\%R = (Y_p - Y_s / Y_p) \times 100$  (ang. %Reduction; spadek plonu; Choukan i in. 2006)

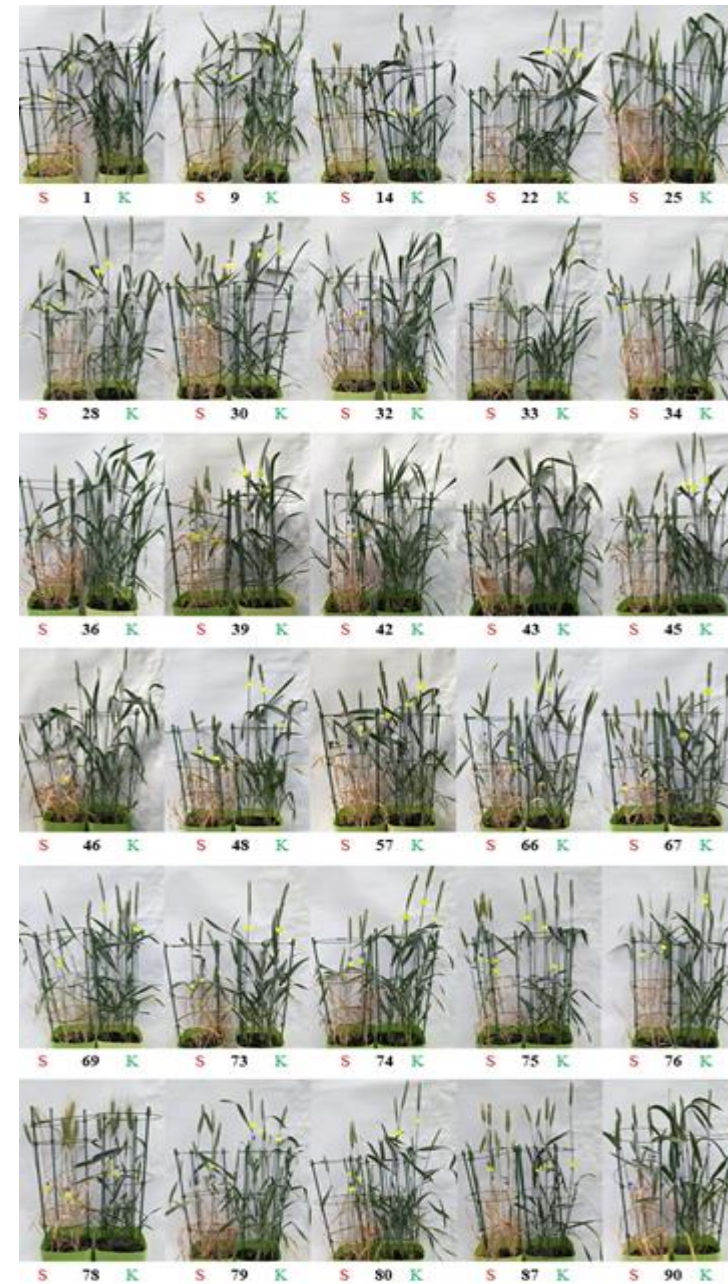
# WYNIKI TB 1: Analizy biochemiczne i obliczenie wskaźników SSI

**Tabela 1.** Średnie wartości badanych parametrów fizjologicznych i biochemicznych rodów/odmian pszenicy ozimej poddanych stresowi suszy glebowej i wysokiej temperatury.

Parametr	Kontrola	Susza i wysoka temperatura
LRWC [%]	84,52	58,70
Potencjał osmotyczny [Mpa]	-1,35	-1,52
Chlorofil a [mg/g s.m.]	6,19	2,64
Chlorofil b [mg/g s.m.]	1,80	1,23
Chlorofil a+b [mg/g s.m.]	7,99	3,86
Karotenoidy [mg/g s.m.]	1,35	0,64
Związki fenolowe [mg/g s.m.]	6,50	7,26
Cukry rozpuszczalne [mg/g s.m.]	40,98	21,00
MDA [nmol/g św.m.]	3,47	11,17
SA [ng/g s.m.]	3036,69	3201,28
JA [ng/g s.m.]	143,81	20,64
ABA [ng/g s.m.]	284,10	245,34

Rody/odmiany pszenicy ozimej poddane działaniu suszy glebowej i wysokiej temperatury charakteryzowały się istotnymi różnicami ( $p \leq 0,001$ ;  $p \leq 0,01$ ;  $p \leq 0,05$ ) badanych parametrów fizjologicznych i biochemicznych w porównaniu do roślin kontrolnych.

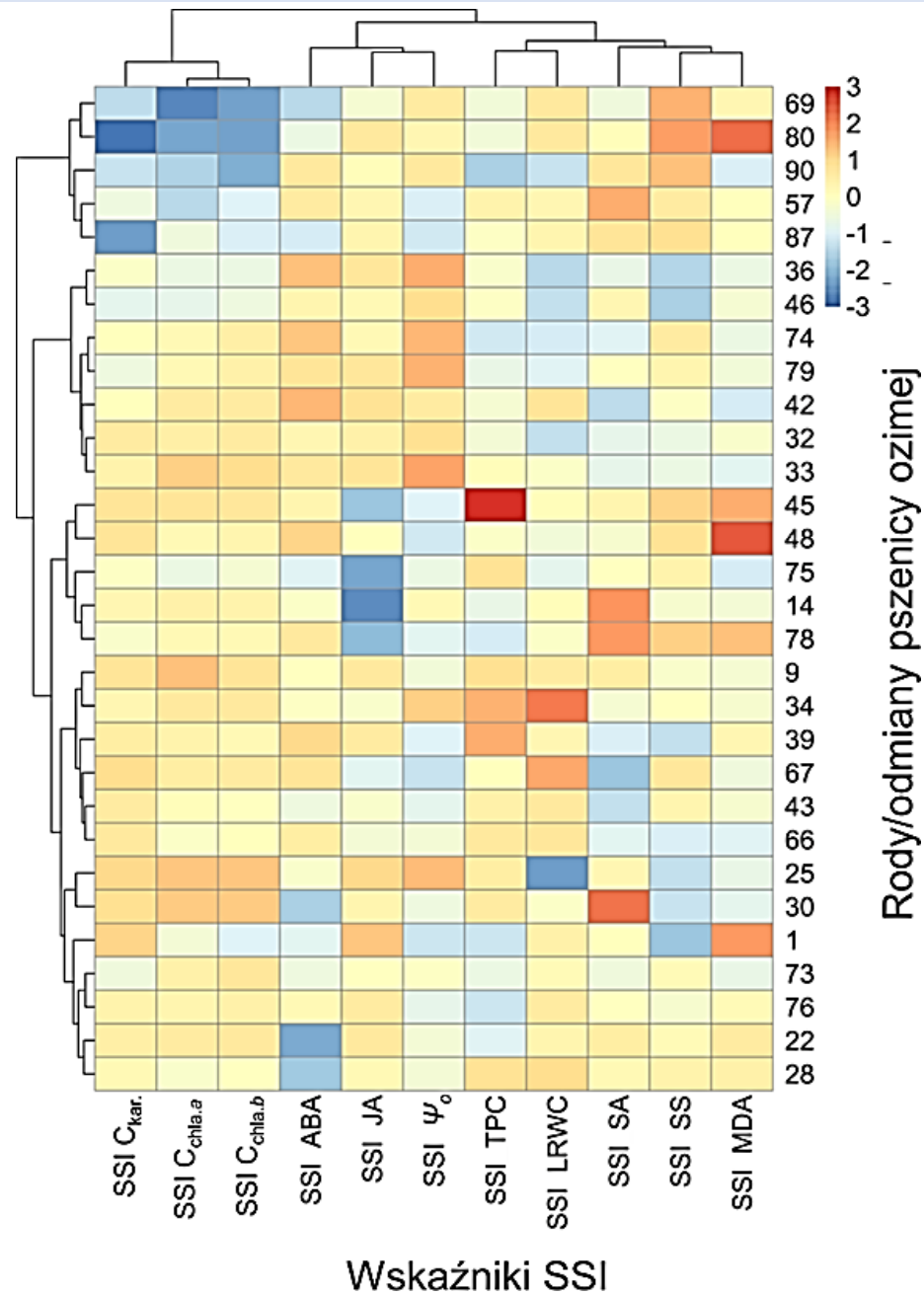
Susza i wysoka temperatura w fazie kłoszenia spowodowała spadek: LRWC, potencjału osmotycznego, zawartości wszystkich barwników fotosyntetycznych, cukrów rozpuszczalnych, kwasu jasmonowego (JA) i abscysynowego (ABA), a wzrost związków fenolowych, MDA, kwasu salicylowego (SA) w porównaniu do roślin kontrolnych (Tab.1).



Fot. M. Warchol

**Rycina 1.** Rody/odmiany pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) poddane działaniu suszy glebowej i wysokiej temperatury w fazie kłoszenia po zakończeniu okresu suszy; K – kontrola, S – susza

# WYNIKI TB 1 : Analizy fizjologiczne i biochemiczne oraz obliczenie wskaźników SSI



**Rycina 1.** Mapa cieplna (ang. *heatmap*) oraz analiza skupień różnicująca badane rody/odmiany pszenicy ozimej pod względem wskaźników wrażliwości na suszę glebową (SSI, ang. *Stress Susceptibility Index*) (Fischer i Maurer 1978) wyliczonych u rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) traktowanych stresem suszy glebowej i wysokiej temperatury na podstawie: zawartości chlorofilu *a* ( $C_{chl.a}$ ), zawartości chlorofilu *b* ( $C_{chl.b}$ ), zawartości sumy karotenoidów ( $C_{kar.}$ ), całkowitej zawartości związków fenolowych (TPC, ang. *total phenolic content*), zawartości cukrów rozpuszczalnych (SS, ang. *soluble sugars*), zawartości kwasów: abscysynowego (ABA, ang. *abscisic acid*), jasmonowego (JA, ang. *jasmonic acid*) i salicylowego (SA, ang. *salicylic acid*), zawartości dialdehydu malnowego (MDA, ang. *malondialdehyde*), względnej zawartości wody w liściu (LRWC, ang. *leaf relative water content*) oraz potencjału osmotycznego ( $\Psi_o$ ). Każda kolumna reprezentuje inną zmienną (wskaźnik), a każdy rząd inną odmianę pszenicy. Skala kolorów i jej zakres odzwierciedla poszczególne wartości wskaźników poddane skalowaniu. Intensywność koloru świadczy o różnicach w wysokości wartości w obrębie danego wskaźnika pomiędzy rodami/odmianami pszenicy.

Uwzględniając wartości wskaźnika SSI dla wszystkich analizowanych związków zestawiono badane rody/odmiany pszenicy ozimej w postaci mapy cieplnej i analizy skupień.

Mapa cieplna została przygotowana w oparciu o zeskalowane wartości dla każdego z analizowanych wskaźników osobno (skalowanie kolumnami).

Na Ryc. 1 wykonanej dla obiektów traktowanych suszą i wysoką temperaturą odróżniały się rody/odmiany 14, 30, 34, 39, 45, 48, 57, 74 i 79 o wysokich wartościach: SSI  $\Psi_o$ , SSI TPC  $\Psi_o$ , SSI SA, oraz rody/odmiany 14, 22, 28, 69, 75, 78, 80, 87 i 90 o niskich wartościach: SSI  $C_{chl.a}$ , SSI  $C_{chl.b}$ , SSI  $C_{kar.}$ , SSI JA, SSI ABA.

# WYNIKI ZB 2: Określenie tolerancji na suszę na podstawie korelacji między wskaźnikami SSI, a indeksami DSI, TOL, STI, YI, %R

Ród/odmiana	DSI	TOL	STI	YI	%R
1	0,91	4,08	0,42	1,20	59,92
9	0,97	4,24	0,36	1,06	63,80
14	0,83	2,79	0,27	1,03	54,46
22	0,83	3,28	0,38	1,21	54,30
25	0,90	3,54	0,33	1,07	59,17
28	0,85	3,81	0,47	1,34	55,60
30	0,74	3,06	0,45	1,41	48,85
32	1,01	4,41	0,34	0,98	66,30
33	1,08	4,80	0,30	0,85	71,27
34	1,17	5,31	0,25	0,70	76,78
36	1,28	6,22	0,20	0,53	83,82
39	0,90	3,64	0,36	1,12	58,85
42	1,13	5,48	0,31	0,82	74,55
43	0,94	4,92	0,55	1,34	61,73
45	0,90	4,27	0,49	1,30	59,01
46	1,15	5,75	0,32	0,82	75,45
48	1,00	4,19	0,32	0,97	65,41
57	1,03	4,43	0,31	0,93	67,65
66	0,95	3,77	0,31	1,00	62,47
67	1,02	4,86	0,39	1,04	67,27
69	1,02	5,02	0,42	1,09	66,91
73	1,03	4,46	0,32	0,94	67,49
74	1,11	4,42	0,22	0,71	73,14
75	0,96	4,18	0,37	1,07	63,08
76	0,92	4,06	0,40	1,15	60,73
78	0,92	2,46	0,15	0,70	60,74
79	1,12	5,63	0,35	0,89	73,53
80	1,13	5,55	0,33	0,85	74,10
87	0,95	3,52	0,27	0,93	62,43
90	1,04	4,70	0,33	0,94	68,63
min.	0,74	2,46	0,15	0,53	48,85
max.	1,28	6,22	0,55	1,41	83,82



**Rycina 2.** . Wskaźniki: wskaźnik wrażliwości na suszę (DSI, ang. *Drought Susceptibility Index*), tolerancja (TOL, ang. *Tolerance*), wskaźnik tolerancji stresu (STI, ang. *Stress Tolerance Index*), wskaźnik plonowania (YI, ang. *Yield Index*) oraz spadek plonu (%R, ang. *%Reduction*) obliczone na podstawie masy ziaren/roślinę dla każdego rodzaju/odmiany pszenicy (*Triticum aestivum* L.) traktowanego stresem suszy glebowej i wysokiej temperatury.

**Rośliny o większej tolerancji na suszę wykazują:**

**DSI, TOL, %R < 1**

**STI, YI > 1**

Wskaźniki DSI, TOL, STI, YI oraz %R różnicowały badane rody/odmiany pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) pod względem tolerancji na suszę glebową i wysoką temperaturę

Niskie wartości DSI, TOL, %R oraz wysokie wartości STI i YI obserwowano u rodów/odmian 1, 14, 22, 28, 30, 43, 45 oraz 76. Natomiast grupa rodów/odmian 33, 34, 36, 42, 46, 74, 79 i 80 charakteryzowała się wysokimi wartościami wskaźników DSI, TOL i %R oraz niskimi wartościami STI i YI.

**Niskie wartości wskaźników DSI, TOL, %R wg. Fischer i Maurer (1978) mogą wskazywać na wyższą tolerancję tych rodów/odmian na suszę glebową.**

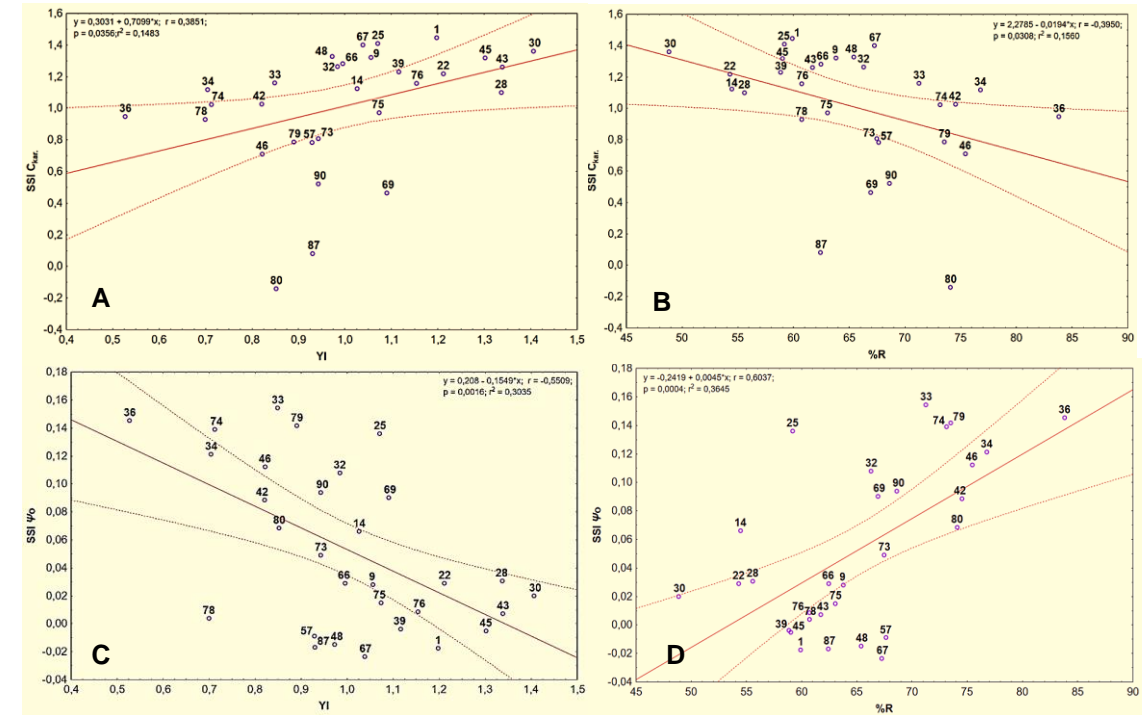
# WYNIKI ZB 2: Określenie tolerancji na suszę na podstawie korelacji między wskaźnikami SSI, a indeksami DSI, TOL, STI, YI, %R

**Tabela 2** Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona pomiędzy wskaźnikami wrażliwości na stres (SSI, ang. *stress susceptibility index*) (Fischer i Maurer 1978) wyliczonymi u rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) traktowanych stresem suszy glebowej i wysokiej temperatury na podstawie: zawartości chlorofilu a ( $C_{chl.a}$ ), zawartości chlorofilu b ( $C_{chl.b}$ ), zawartości sumy karotenoidów ( $C_{kar.}$ ), całkowitej zawartości związków fenolowych (TPC, ang. *total phenolic content*), zawartości cukrów rozpuszczalnych (SS, ang. *soluble sugars*), zawartości kwasów: abscysynowego (ABA, ang. *abscisic acid*), jasmonowego (JA, ang. *jasmonic acid*) i salicylowego (SA, ang. *salicylic acid*), zawartości dialdehydu malnowego (MDA, ang. *malondialdehyde*), względnej zawartości wody w liściu (LRWC, ang. *leaf relative water content*) oraz potencjału osmotycznego ( $\Psi_o$ ), a indeksami wyliczonymi na podstawie masy ziaren/roślinę dla każdego rodzaju/odmiany pszenicy (*Triticum aestivum* L.) traktowanego stresem suszy glebowej i wysokiej temperatury: wskaźnik wrażliwości na suszę (DSI, ang. *drought susceptibility index*), tolerancja (TOL, ang. *tolerance*), wskaźnik tolerancji stresu (STI, ang. *stress tolerance index*), wskaźnik plonowania (YI, ang. *yield index*) oraz spadek plonu (%R, ang. *%reduction*).

	DSI	TOL	STI	YI	%R
Cchl.a	-0,32	-0,35	0,02	0,18	-0,32
Cchl.b	-0,27	-0,31	0,01	0,15	-0,27
Ckar.	<b>-0,39*</b>	-0,31	0,27	<b>0,39*</b>	<b>-0,39*</b>
TPC	-0,17	-0,02	0,34	0,32	-0,17
SS	0,07	0,03	0,01	-0,05	0,07
SA	<b>-0,47**</b>	<b>-0,56**</b>	-0,12	0,15	<b>-0,47**</b>
JA	0,26	0,35	0,07	-0,06	0,26
ABA	<b>0,57**</b>	0,35	<b>-0,49**</b>	<b>-0,61***</b>	<b>0,57**</b>
MDA	-0,17	-0,14	0,11	0,14	-0,17
LRWC	-0,13	-0,02	0,26	0,23	-0,13
$\Psi_o$	<b>0,60***</b>	<b>0,50**</b>	<b>-0,39*</b>	<b>-0,55**</b>	<b>0,60***</b>

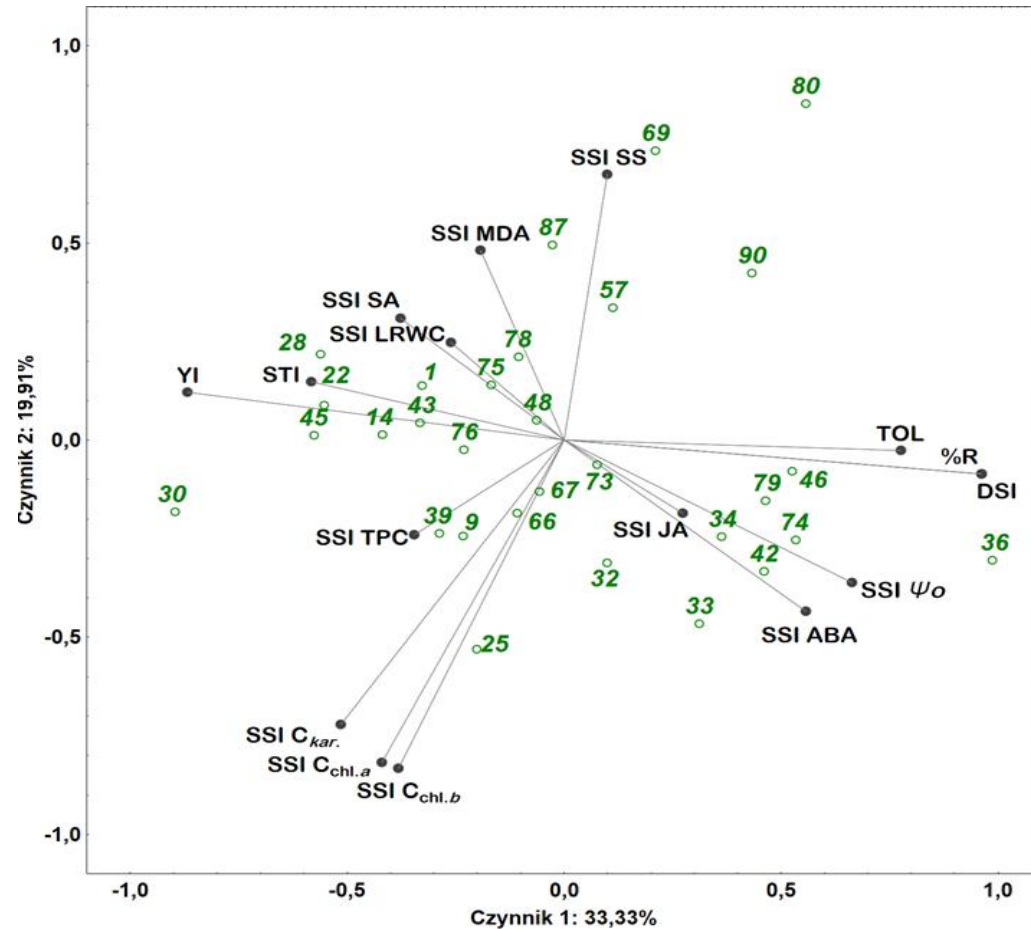
Oznaczone na czerwono współczynniki korelacji są istotne (\* –  $p \leq 0,05$ , \*\* –  $p \leq 0,05$ , \*\*\* –  $p \leq 0,05$ ).

Analiza korelacji liniowej Pearsona pomiędzy wskaźnikami wrażliwości na stres SSI wyliczonymi dla zawartości karotenoidów, SA, ABA oraz potencjału osmotycznego a indeksami wyliczonymi na podstawie masy ziaren/roślinę (DSI, TOL, STI, YI oraz %R) wykazała istotne korelacje liniowe pomiędzy tymi wskaźnikami wśród badanych rodów/odmian pszenicy.



**Wykres 1.** Wykres rozrzutu przedstawiający korelację liniową Pearsona między wskaźnikiem wrażliwości na stres obliczonym na podstawie całkowitej zawartości karotenoidów (SSI Ckar.) (A, B) i potencjałem osmotycznym ( $\Psi_o$ ) (C, D) a wskaźnikiem plonowania (YI) oraz spadkiem plonu (%R) u rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) traktowanych suszą glebową i wysoką temperaturą.

# WYNIKI ZB 2: Określenie tolerancji na suszę na podstawie korelacji między wskaźnikami SSI, a indeksami DSI, TOL, STI, YI, %R



**Rycina 3.** Analiza głównych składowych (PCA, ang. *principal component analysis*) przedstawiona jako biplot (projekcja zmiennych oraz rzut przypadków) na płaszczyźnie dwóch pierwszych osi czynnikowych wykonana dla zmiennych różnicujących badanerody/odmiany pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) pod względem wskaźników wrażliwości na stres suszy glebowej i wysokiej temperatury obliczonych dla każdego rodu/odmiany pszenicy na podstawie masy ziaren/roślinę: wskaźnika wrażliwości na suszę (DSI, ang. *drought susceptibility index*), tolerancji (TOL, ang. *tolerance*), wskaźnika tolerancji stresu (STI, ang. *stress tolerance index*), wskaźnika plonowania (YI, ang. *yield index*) oraz spadku plonu (%R, ang. *%reduction*), oraz pod względem wskaźników wrażliwości na stres (SSI, ang. *stress susceptibility index*) (Fischer i Maurer 1978) wyliczonych u rodów/odmian pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) traktowanych stresem suszy glebowej i wysokiej temperatury na podstawie: zawartości chlorofilu a ( $C_{chl.a}$ ), zawartości chlorofilu b ( $C_{chl.b}$ ), zawartości sumy karotenoidów ( $C_{kar.}$ ), całkowitej zawartości związków fenolowych (TPC, ang. *total phenolic content*), zawartości cukrów rozpuszczalnych (SS, ang. *soluble sugars*), zawartości kwasów: abscysynowego (ABA, ang. *abscisic acid*), jasmonowego (JA, ang. *jasmonic acid*) i salicylowego (SA, ang. *salicylic acid*), zawartości dialdehydu malnowego (MDA, ang. *malondialdehyde*), względnej zawartości wody w liściu (LRWC, ang. *leaf relative water content*) oraz potencjału osmotycznego ( $\psi_o$ ).

Analiza PCA przeprowadzona dla wskaźników wrażliwości na suszę i wysoką temperaturę wykazała, że indeksy %R, DSI, TOL, YI oraz wskaźniki SSI obliczone dla  $\psi_o$ ,  $C_{chl.a}$ ,  $C_{chl.b}$ ,  $C_{kar.}$ , ABA, MDA i SS w największym stopniu różnicują badane rody/odmiany. Świadczą o tym najwyższe współrzędne czynnikowe zmiennych, to znaczy najdłuższe wektory odpowiadające poszczególnym parametrom biochemicznym i fizjologicznym. Analizowane zmienne sumarycznie wyjaśniały 53,24% zmienności wśród rodów/odmian pszenicy

# Wnioski i podsumowanie

- Na podstawie analiz względnej zawartość wody w liściach, potencjału osmotycznego, zawartości barwników fotosyntetycznych, związków fenolowych, cukrów rozpuszczalnych, dialdehydu malnowego oraz fitohormonów: SA, JA, ABA wytypowano rody pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) potencjalnie lepiej funkcjonujące w warunkach suszy glebowej i wysokiej temperatury.
- Analizując wartości wskaźnika SSI wszystkich parametrów wykazano, że rody/odmiany 14, 30, 34, 39, 45, 48, 57, 74 i 79 charakteryzowały się wysokimi wartościami: SSI  $\psi_o$ , SSI TCP  $\psi_o$ , SSI SA, a rody/odmiany 14, 22, 28, 69, 75, 78, 80, 87 i 90 niskimi wartościami: SSI  $C_{chl.a}$ , SSI  $C_{chl.b}$ , SSI  $C_{kar}$ , SSI JA, SSI ABA.
- Otrzymane wyniki wskazują, że spośród wszystkich analizowanych parametrów jako wskaźniki tolerancji roślin pszenicy ozimej na suszę i wysoką temperaturę mogą służyć: chlorofil *a*, chlorofil *b*,  $\psi_o$ , ABA, JA oraz SA.
- Analiza PCA przeprowadzona dla wskaźników wrażliwości na suszę i wysoką temperaturę wykazała, że indeksy %R, DSI, TOL, YI oraz wskaźniki SSI obliczone dla  $\psi_o$ ,  $C_{chl.a}$ ,  $C_{chl.b}$ ,  $C_{kar}$ , ABA, MDA i SS w największym stopniu różnicują badane rody/odmiany.
- Analiza korelacji liniowej Pearsona pomiędzy wskaźnikami wrażliwości na stres (SSI) wyliczonymi dla parametrów biochemicznych  $C_{kar}$ , SA, ABA oraz  $\psi_o$  a indeksami DSI, TOL, %R, STI i YI wyliczonymi na podstawie masy ziaren/roślinę, wykazała istotne zależności liniowe pomiędzy tymi wskaźnikami a badanymi rodami/odmianami pszenicy.
- Przeprowadzone analizy umożliwiły wyselekcjonowanie rodów/odmian pszenicy 1, 14, 22, 28, 30, 43, 45 oraz 76 o niskich wartościach DSI, TOL, %R a wysokich STI i YI. Wyżej wymienione rody/odmiany charakteryzują się potencjalnie wyższą tolerancją na suszę glebową i wysoką temperaturę.

## Prezentacja wyników na konferencjach

### Poster

Marzena Warchoł, Edyta Skrzypek, Ilona Czyczyło-Mysza, Kamila Laskoś, Kinga Dziurka, Katarzyna Juzoń-Sikora, Antioxidant enzyme activity in leaves of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) treated to soil drought. 5th Edition of International Conference OBSIDIAN PLANT PRODUCTIVITY AND FOOD SAFETY: MICROBIOLOGY, SOIL SCIENCE, FOOD QUALITY AND AGRICULTURAL GENETICS, 23-24.06. 2025, Toruń (strony od 20 do 28 w sprawozdaniu za 2024 rok)

### Poster

Edyta Skrzypek, Marzena Warchoł, Ilona Czyczyło-Mysza, Laskoś Kamila, Kinga Dziurka, Agnieszka Ostrowska, Katarzyna Juzoń-Sikora, Dynamics of changes in selected biochemical parameters of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) subjected to soil drought. 5th Edition of International Conference OBSIDIAN PLANT PRODUCTIVITY AND FOOD SAFETY: MICROBIOLOGY, SOIL SCIENCE, FOOD QUALITY AND AGRICULTURAL GENETICS, 23-24.06. 2025, Toruń (strony od 7 do 17 w sprawozdaniu za 2024 rok)

## Plany badawcze na 2026 r.

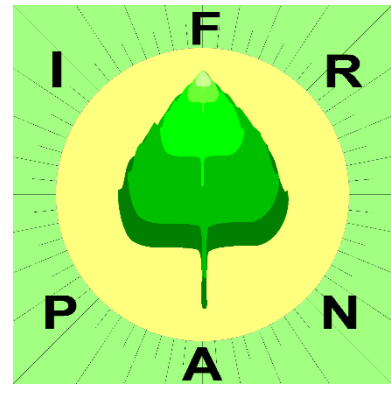
### Ocena wpływu regulatorów wzrostu stosowanych w uprawie pszenicy na kształtowanie się tolerancji stresu suszy

**Temat badawczy 1:** Analiza wybranych parametrów fizjologicznych i biochemicznych

**Temat badawczy 2:** Określenie elementów składowych plonu oraz wyliczenie indeksów: DSI, TOL, STI, YI, %R

# Dynamics of changes in selected biochemical parameters of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) subjected to soil drought

Edyta Skrzypek, Marzena Warchoł, Ilona Czyczyło-Mysza, Laskoś Kamila, Kinga Dziurka, Agnieszka Ostrowska, Katarzyna Juzoń-Sikora



The F. Górski Institute of Plant Physiology Polish Academy of Sciences, Niezapominajek 21, 30-239 Kraków  
[e.skrzypek@ifr-pan.edu.pl](mailto:e.skrzypek@ifr-pan.edu.pl)

## INTRODUCTION

In recent years, droughts have become more frequent, more intense and cover larger areas, and are accompanied by extreme meteorological phenomena caused by natural and anthropogenic factors. Climate models indicate an increase in air temperature variability in the central and eastern Europe, which may result in more heat waves and more frequent droughts. The effects of drought are felt by plants in a comprehensive way: inhibition of the growth process, developmental disorders, and in the case of long-term drought, also plant death are the main external manifestations of profound changes in the biochemical processes of plants and physicochemical properties of cells, which ultimately lead to a significant decrease in crop yields, as well as to a deterioration in their quality and nutritional value).

The aim of the study was to analyse changes of photosynthetic pigments, phenolics and soluble sugars in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil drought.

## MATERIAL AND METHODS

Plant material consisted of 30 wheat genotypes growing in a vegetation tunnel. Drought tolerance was assessed in plants subjected to soil drought (20% field water capacity during 21 days) in the tillering and earing phase based on the analysis of photosynthetic pigments, phenolics and soluble sugars content in leaves.

## RESULTS

Soil drought stress in the earing phase caused a significantly higher decrease in the content of photosynthetically active pigments compared to drought in the tillering phase (Fig. 1, 2).

The level of free and cell wall-bound phenolic compounds (Fig. 3) and soluble sugars (Fig. 4) was influenced by the genotype and the development phase in which soil drought stress was applied. Studies have shown differences in the content of these compounds already in control conditions between the tested varieties, and the observed increase in the concentration of free phenolic compounds and sugars in the strains during drought may be the result of their defense reaction.

Based on the analysis of biochemical parameters in control conditions and soil drought, winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties tolerant and resistant to drought were selected.

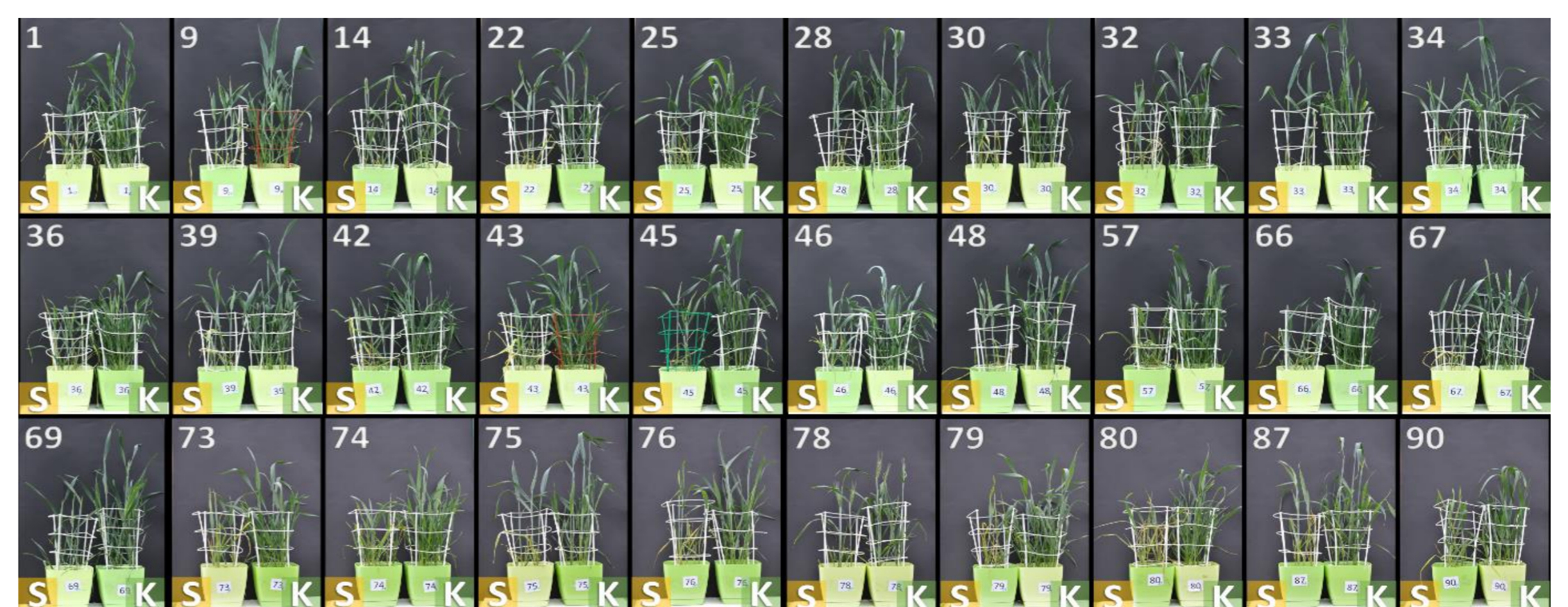


Figure 1. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) subjected to soil drought in the tillering phase after the end of the drought period; K – control, S – drought (Fot. K. Laskoś).

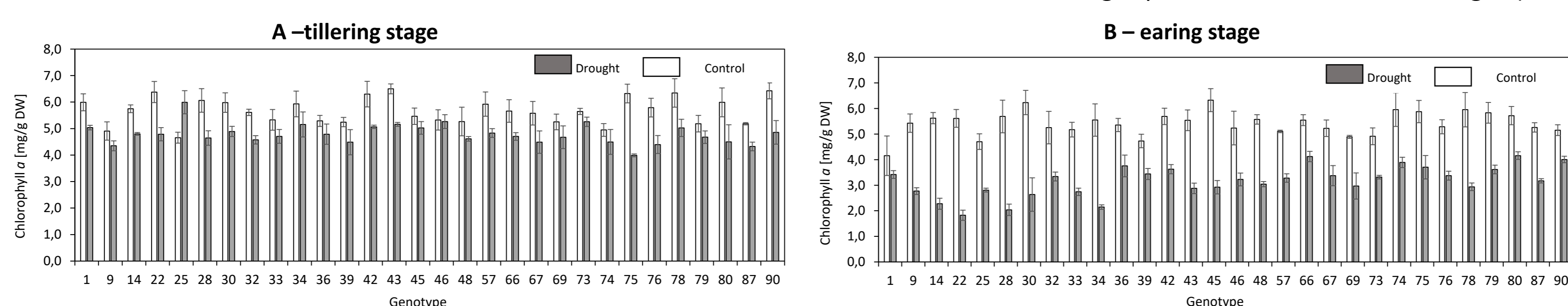


Figure 2. Chlorophyll a content [mg/g DW] in leaves of tested winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars subjected to drought in the tillering (A) and earing (B) phase. Mean values,  $n = 3 \pm SE$ .

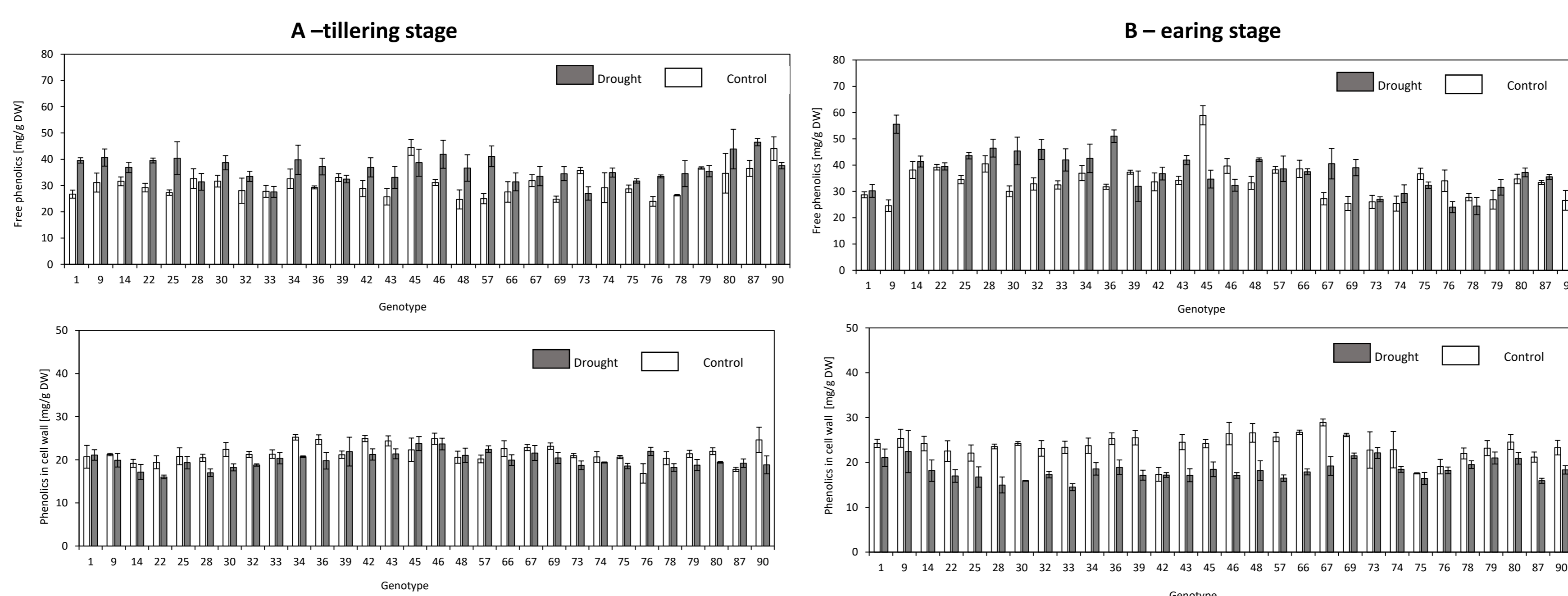


Figure 3. Free phenolics [mg/g DW] and phenolics bound to the cell wall of tested winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars subjected to drought in the tillering (A) and earing (B) phase. Mean values,  $n = 3 \pm SE$ .

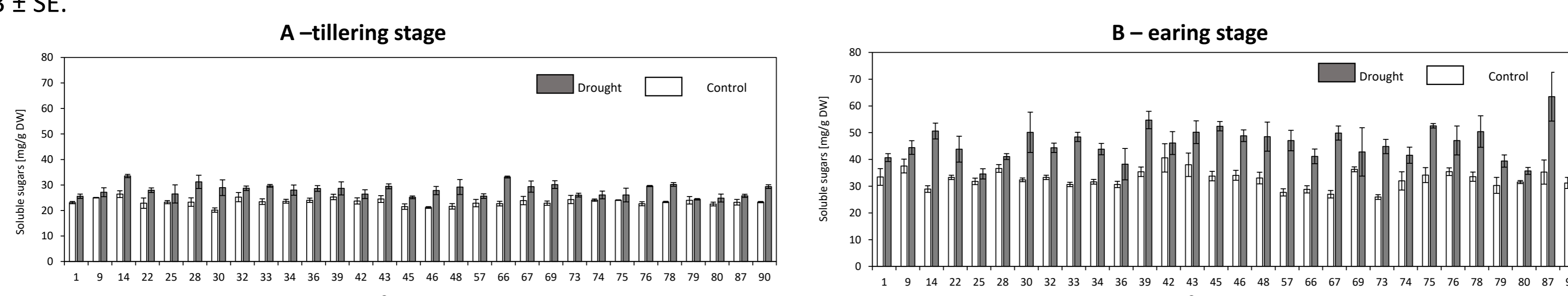


Figure 4. Soluble sugars [mg/g DW] of tested winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars subjected to drought in the tillering phase. Mean values,  $n = 3 \pm SE$ .

The research was funded by the Ministry of Agriculture and Rural Development, 2024, project no. 3.



# Antioxidant enzyme activity in leaves of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) treated to soil drought

Marzena Warchoł, Edyta Skrzypek, Ilona Czyżyło-Mysza, Kamila Laskoś, Kinga Dziurka, Katarzyna Juzoń-Sikora

The Franciszek Górski Institute of Plant Physiology Polish Academy of Sciences, Kraków, Poland

[m.warchol@ifr-pan.edu.pl](mailto:m.warchol@ifr-pan.edu.pl)

## Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is an important economic crop, which ranks second in terms of production after maize. The intensity of abiotic stresses such as heat, salinity, and drought lowers global wheat yields by 32%. Soil drought leads to oxidative stress, in which the balance between reactive oxygen species (ROS) production and the rate of their removal is disturbed. To limit the negative effects of ROS presence in cells, plants have developed enzymatic antioxidant systems in which the primary players are superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidases (PX).

## Material and Methods

The aim of this study was to analyse the enzymatic antioxidant system in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant material consisted of 30 wheat cultivars growing under soil drought (20% field water capacity (FWC)) and under optimal irrigation conditions (70% FWC) for a period of 21 days. Drought tolerance was evaluated in plants subjected to soil drought in the tillering phase based on the analysis of antioxidant content expressed as DPPH radical scavenging activity [AA%] and SOD, CAT, and PX activity.

## Results

Analysis of variance for antioxidant content [AA%] and activity of SOD, CAT, and PX showed significant differences between the studied cultivars, treatments, and the cultivars × treatments interaction (Table 1).

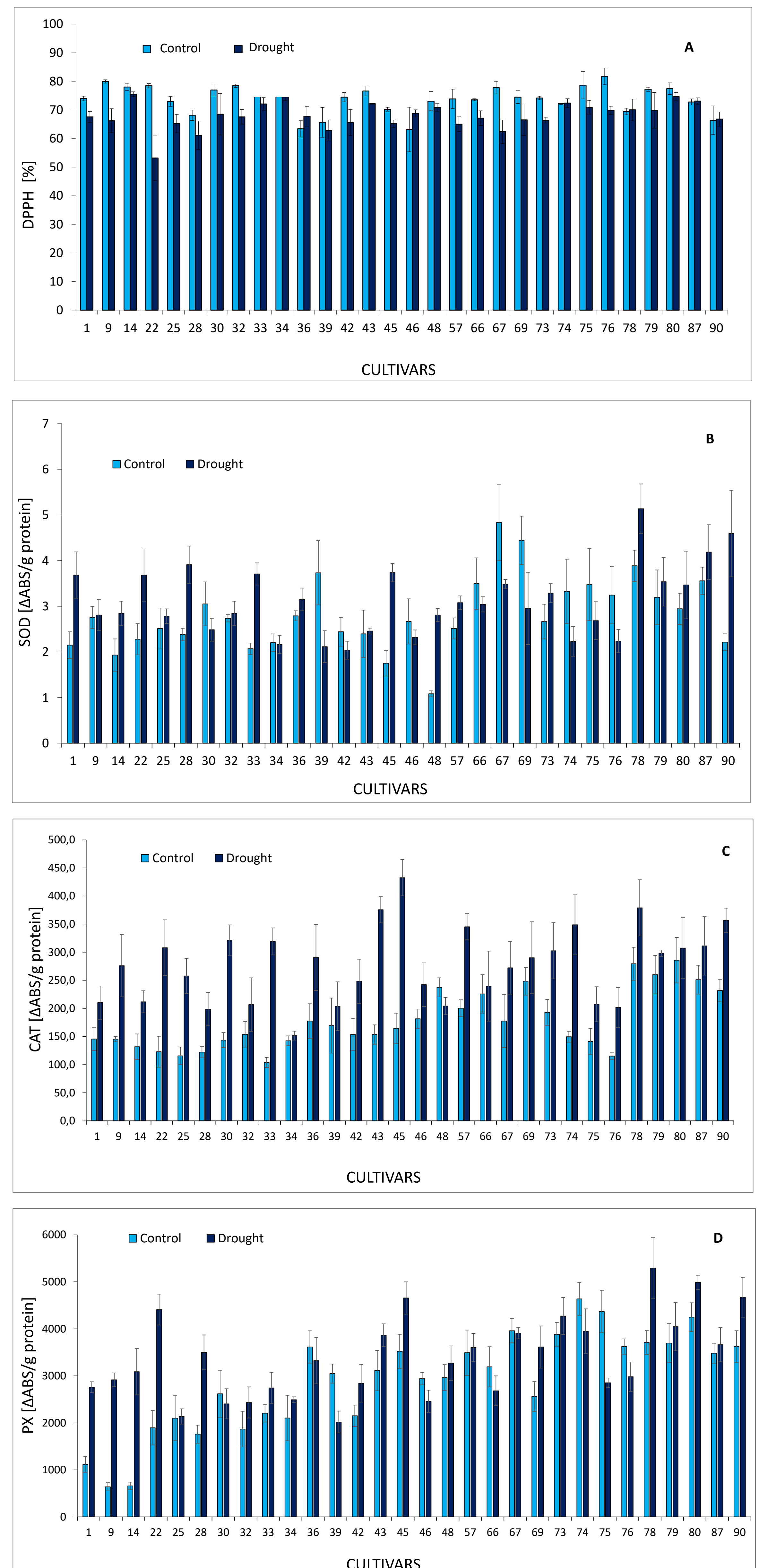
**Table 1.** Analysis of variance for antioxidant content [AA%] and activity of SOD, CAT, and PX of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the cultivars (C) and drought (D) and their interaction (C×D).

	Source of variance	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F	p
Antioxidant content [AA%]	C	811.09	29	27.97	24.76	0.000***
	D	4966	1	966	115,15	0.000***
	C×D	4801	29	166	3,84	0.000***
Superoxide dismutase (SOD)	C	150.40	29	1.89	1.884	0.008**
	D	201.38	1	3.81	3.36	0.07 <sup>ns</sup>
	C×D	95.83	29	1.85	2.32	0.000***
Catalase (CAT)	C	406087.60	29	7165.81	1.95	0.01**
	D	448521.55	1	5800.21	77.33	0.000***
	C×D	1072454.27	29	3404.21	5.34	0.000***
Peroxidases (PX)	C	119468452.27	29	640091.17	6.44	0.000***
	D	11326341.19	1	1146942.62	9.88	0.002**
	C×D	174610779.30	29	340594.58	8.69	0.000***

\*\*\*statistically significant differences at  $p \leq 0.001$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; ns – differences not significant

The experiments carried out have shown that AA% values ranged from 63.2% to 81.7% in control and from 53.2% to 75.7% in soil drought. The average value of antioxidant activity under optimal conditions was 74%, while in drought conditions it decreased to 68% (Figure 1A). The highest SOD activity was observed in cultivars no. 79, 90, 87, 28, 45, 33, 1, and 22 subjected to drought, whereas the lowest was in cultivars no. 48, 45, and 14 grown under control conditions (Figure 1B). The highest PX activity was observed in cultivars no. 78, 80, and 90 subjected to soil drought, and the lowest in cultivars no. 1, 9, and 14 grown under control conditions (Figure 1D). Compared to the control conditions, soil drought increased SOD and PX activity in 70% of all studied cultivars, while in 30% of cultivars the activity of these enzymes decreased (Figure 1B,D). An increase in CAT activity under drought conditions was observed in 97% of wheat cultivars studied. It is worth noting that the greatest differences in CAT activity, comparing the control conditions with the soil drought conditions, were noted for lines 33, 45, 43, and 30 (Figure 1C).

The experiments conducted showed that winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars subjected to soil drought triggered mechanisms to reduce oxidative stress by removing ROS.



**Figure 1.** Antioxidant content (A), superoxide dismutase (SOD) (B), catalase (CAT) (C), and peroxidases (PX) (D) of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the genotype and treatment (control, drought in the tillering phase).

**Acknowledgments :** The research was funded by the Ministry of Agriculture and Rural Development, 2024, project no. 3.