



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: prof. dr hab. inż. Edyta Skrzypek, e-mail: e.skrzypek@ifr-pan.edu.pl

Wykonawcy:

dr inż. Katarzyna Juzoń-Sikora

dr hab. inż. Ilona Czyczyło-Mysza

dr hab. Marzena Warchoł

dr inż. Kinga Dziurka

mgr inż. Kamila Laskoś

dr inż. Agnieszka Ostrowska

dr Anna Maksymowicz

mgr Natalia Hordyńska



Fot. K. Laskoś

Cel zadania

Ocena tolerancji pszenicy ozimej na suszę glebową w fazie krzewienia i kłoszenia

Temat badawczy 1: Analiza parametrów fizjologicznych roślin poddanych suszy w fazie krzewienia

Temat badawczy 2: Analiza parametrów fizjologicznych roślin poddanych suszy w fazie kłoszenia

Temat badawczy 3: Określenie elementów składowych plonu oraz wyliczenie indeksów SSI, DSI, TOL, STI, YI, %R dla roślin poddanych suszy w fazie krzewienia i kłoszenia

- **Stres suszy wywołany poprzez zaprzestanie podlewania gleby gdy rośliny osiągną fazę krzewienia i kłoszenia**
- **Stopień uwilgotnienia gleby wyznaczony metodą wagową i ustalony na poziomie 70% polowej pojemności wodnej (ppw) dla warunków kontrolnych i 20% ppw dla warunków suszy**
- **Traktowanie suszą kontynuowane przez 21 dni**
- **Po zakończeniu trwania suszy wszystkie rośliny podlewane do poziomu 70% ppw do momentu dojrzałości i zbioru nasion**

Materiał i metody

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

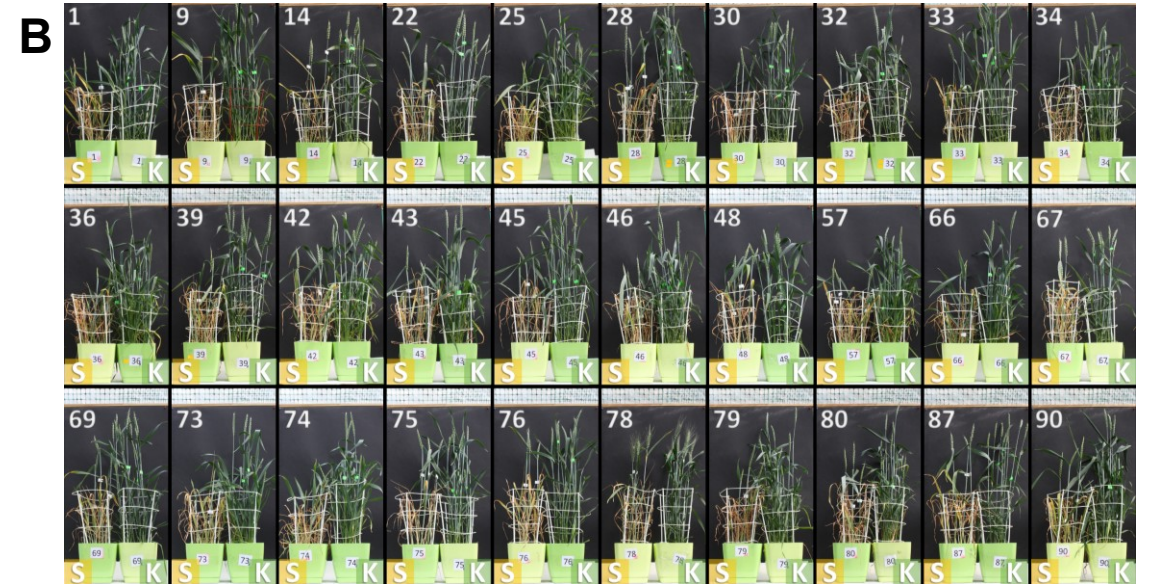
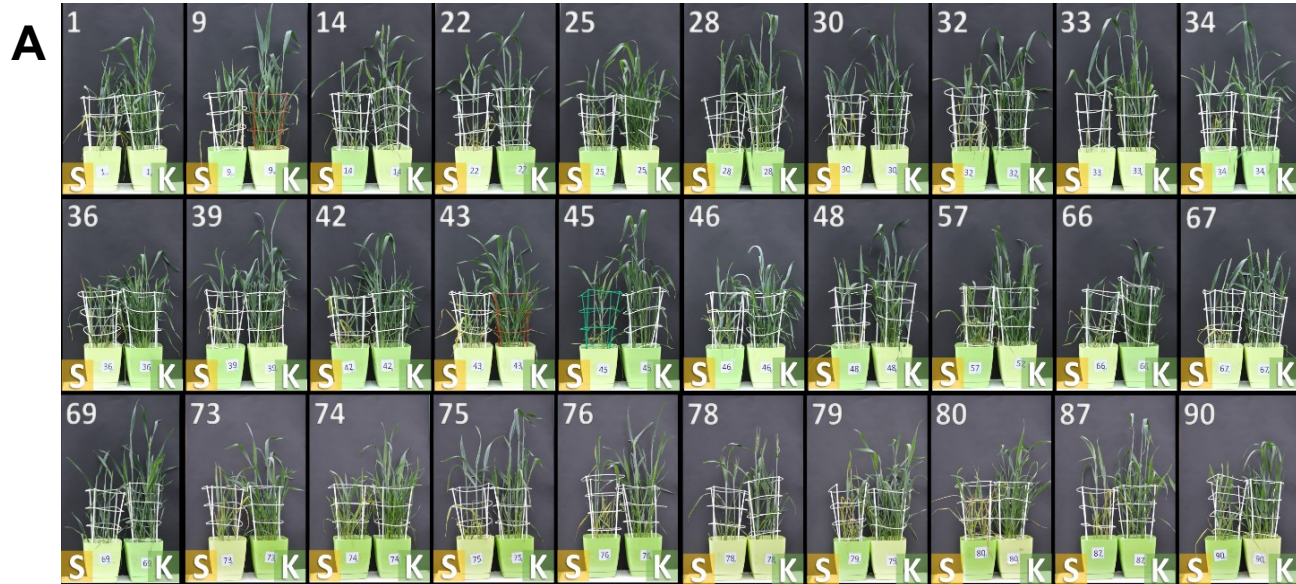
Metody:

- **Względna zawartość wody w liściach** (LRWC, ang. *Leaf Relative Water Content*)
- **Potencjał osmotyczny** (Ψ_o), psychrometr HR 33T (WESCOR Inc.)
- **Wpływ elektrolitów** (EL, ang. *Electrolyte Leakage*); konduktometr CC-501 (ELMETRON Sp.j.)
- **Wymiana gazowa** – analizator IRGA (Ciras-2, PP System Amesbury)
- **Komponenty plonu:** liczba dni do kłoszenia/kwitnienia; wysokość pędu głównego; krzewistość produkcyjna; liczba/masa ziaren w kłosie i roślinie; masa 1000 ziaren.

Wskaźniki 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



Rody/odmiany pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) poddane suszy glebowej w fazie krzewienia (A) i kłoszenia (B) po zakończeniu okresu suszy; K – kontrola, S – susza (Fot. K. Laskoś)

Średnie wartości parametrów fizjologicznych pszenicy ozimej optymalnie nawadnianej (kontrola) oraz poddanej działaniu suszy glebowej w fazie krzewienia i kłoszenia

Parametr	Kontrola	Susza w fazie krzewienia	Kontrola	Susza w fazie kłoszenia
Względna zawartość wody w liściach [%]	93,3	57,9	79,4	62,0
Potencjał osmotyczny [MPa]	-1,27	-2,71	-1,51	-2,82
Wyływ elektrolitów [%]	39,1	39,6	7,9	39,2
Fotosynteza netto [$\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	23,7	11,8	16,3	9,6
Międzykomórkowe stężenie CO_2 [$\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{mol} (\text{powietrza})^{-1}$]	221	226	232	205
Przewodność szparkowa [$\text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	0,236	0,135	0,204	0,119
Transpiracja [$\text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	5,0	2,6	4,0	2,3
Wskaźnik wykorzystania wody (WUE) [$\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{mmol} (\text{H}_2\text{O})^{-1}$]	4,78	4,78	4,18	4,33

Wyniki

Elementy składowe plonu oraz indeksy wrażliwości na suszę SSI, DSI, TOL, STI, YI, %R obliczone dla każdego rodu/odmiany pszenicy na podstawie masy ziaren/roślinę.

Parametr	Kontrola	Susza w fazie krzewienia	Susza w fazie kłoszenia
Liczba dni do kłoszenia	126,4	126,1	131,7
Liczba dni do kwitnienia	135,6	136,1	141,4
Wysokość roślin [cm]	77,3	64,9	54,6
Krzewistość produkcyjna	77,3	64,9	54,6
Liczba ziaren/roślinę	202	162	72
Masa ziaren/roślinę [g]	7,1	5,8	2,5
Liczba ziaren/kłós	43	36	22
Masa ziaren/kłós [g]	1,5	1,3	0,8
Masa tysiąca ziaren [g]	35,8	35,7	34,7

Rośliny o większej tolerancji na suszę wykazują: **DSI, TOL, %R < 1**
STI, YI > 1

Niskie wartości TOL, DSI i %R i wysoki STI i YI w **fazie krzewienia** charakteryzowały rody/odmiany **1, 14, 22, 25, 66 i 79**, a w **fazie kłoszenia** rody/odmiany **9, 14, 32 76 i 79**, co świadczy o ich większej tolerancji suszy w porównaniu z pozostałymi rodami/odmianami.

Ród/odmiana	Susza w fazie krzewienia					Susza w fazie kłoszenia				
	DSI	TOL	STI	YI	%R	DSI	TOL	STI	YI	%R
1	-0,29	-0,40	1,02	1,04	-5,71	1,05	4,80	0,30	0,89	68,57
9	0,90	1,30	0,88	0,85	17,57	0,85	4,10	0,48	1,33	55,41
14	0,07	0,10	0,97	0,98	1,41	0,69	3,20	0,54	1,57	45,07
22	0,22	0,30	0,95	0,95	4,23	1,17	5,40	0,24	0,68	76,06
25	-0,24	-0,30	0,81	0,92	-4,76	0,92	3,80	0,31	1,01	60,32
28	1,32	2,00	0,89	0,81	25,64	0,94	4,80	0,46	1,21	61,54
30	1,01	1,30	0,69	0,74	19,70	0,98	4,20	0,31	0,97	63,64
32	0,69	1,00	0,96	0,91	13,33	0,84	4,10	0,50	1,37	54,67
33	0,40	0,50	0,74	0,83	7,81	0,86	3,60	0,35	1,13	56,25
34	0,77	1,00	0,75	0,80	14,93	0,96	4,20	0,33	1,01	62,69
36	0,52	0,70	0,84	0,87	10,14	1,07	4,80	0,28	0,85	69,57
39	1,51	2,50	1,00	0,84	29,41	1,35	7,50	0,17	0,40	88,24
42	1,50	2,10	0,72	0,71	29,17	1,02	4,80	0,34	0,97	66,67
43	1,74	2,40	0,65	0,66	33,80	1,14	5,30	0,25	0,72	74,65
45	1,45	2,00	0,71	0,71	28,17	1,10	5,10	0,28	0,81	71,83
46	1,45	2,20	0,86	0,78	28,21	1,12	5,70	0,32	0,85	73,08
48	1,30	2,00	0,91	0,83	25,32	1,18	6,10	0,28	0,72	77,22
57	1,32	1,70	0,63	0,69	25,76	0,93	4,00	0,34	1,05	60,61
66	0,00	0,00	0,85	0,92	0,00	0,86	3,70	0,38	1,17	56,06
67	1,15	1,70	0,88	0,83	22,37	0,91	4,50	0,46	1,25	59,21
69	1,49	2,20	0,80	0,76	28,95	0,97	4,80	0,42	1,13	63,16
73	1,12	1,50	0,73	0,76	21,74	1,29	5,80	0,15	0,44	84,06
74	1,12	1,40	0,63	0,70	21,88	1,17	4,90	0,19	0,60	76,56
75	2,07	2,90	0,61	0,60	40,28	0,98	4,60	0,37	1,05	63,89
76	1,51	2,20	0,78	0,74	29,33	0,78	3,80	0,54	1,49	50,67
78	1,80	2,70	0,75	0,70	35,06	1,00	5,00	0,41	1,09	64,94
79	-0,52	-0,60	0,75	0,91	-10,17	0,75	2,90	0,35	1,21	49,15
80	1,03	1,40	0,77	0,78	20,00	1,14	5,20	0,25	0,72	74,29
87	1,45	2,20	0,86	0,78	28,21	0,98	5,00	0,43	1,13	64,10
90	1,23	1,70	0,75	0,76	23,94	0,89	4,10	0,42	1,21	57,75

Najniższa wartość
wskaźnika



Mediana



Najwyższa wartość
wskaźnika

Wyniki

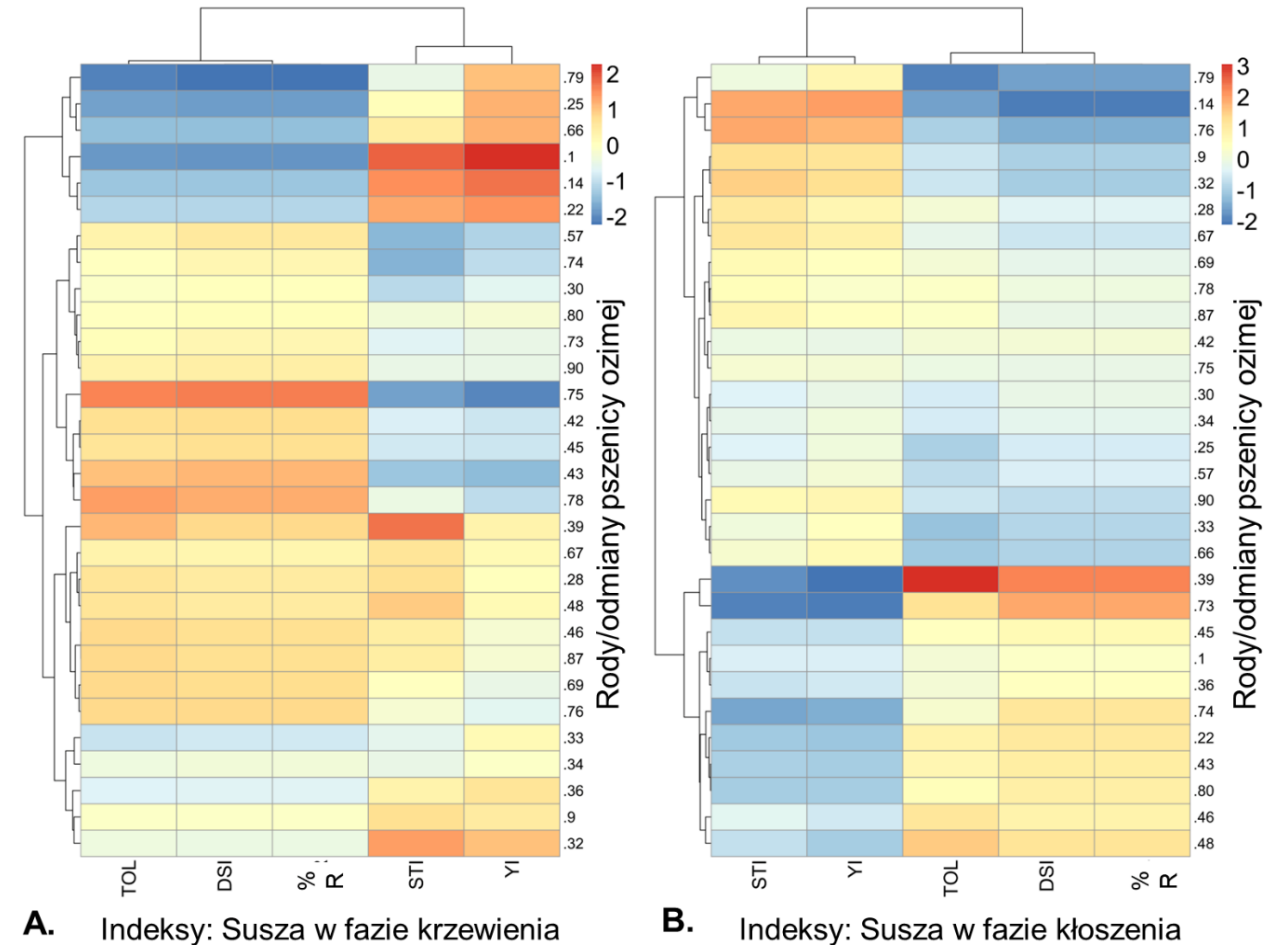
Mapa cieplna (ang. *heatmap*) oraz analiza skupień różnicująca badane rody/odmiany pszenicy ozimej pod względem wskaźników wrażliwości na suszę glebową w fazie krzewienia (A) i kłoszenia (B) obliczonych dla każdego rodu/odmiany pszenicy ozimej na podstawie masy ziaren/roślinę: wskaźnika wrażliwości na suszę (DSI), tolerancji (TOL), wskaźnika tolerancji stresu (STI), wskaźnika plonowania (YI) oraz spadku plonu (%R).

Każda kolumna reprezentuje inną zmienną, a każdy rząd inny ród/odmianę pszenicy. Skala kolorów wyjaśnia poszczególne wartości, wartości wskaźników w całej macierzy poddano skalowaniu. Intensywność koloru świadczy o różnicach w wysokości wartości o obrębie danego parametru pomiędzy rodami/odmianami.

Rośliny o większej tolerancji na suszę wykazują:

DSI, TOL, %R < 1

STI, YI > 1



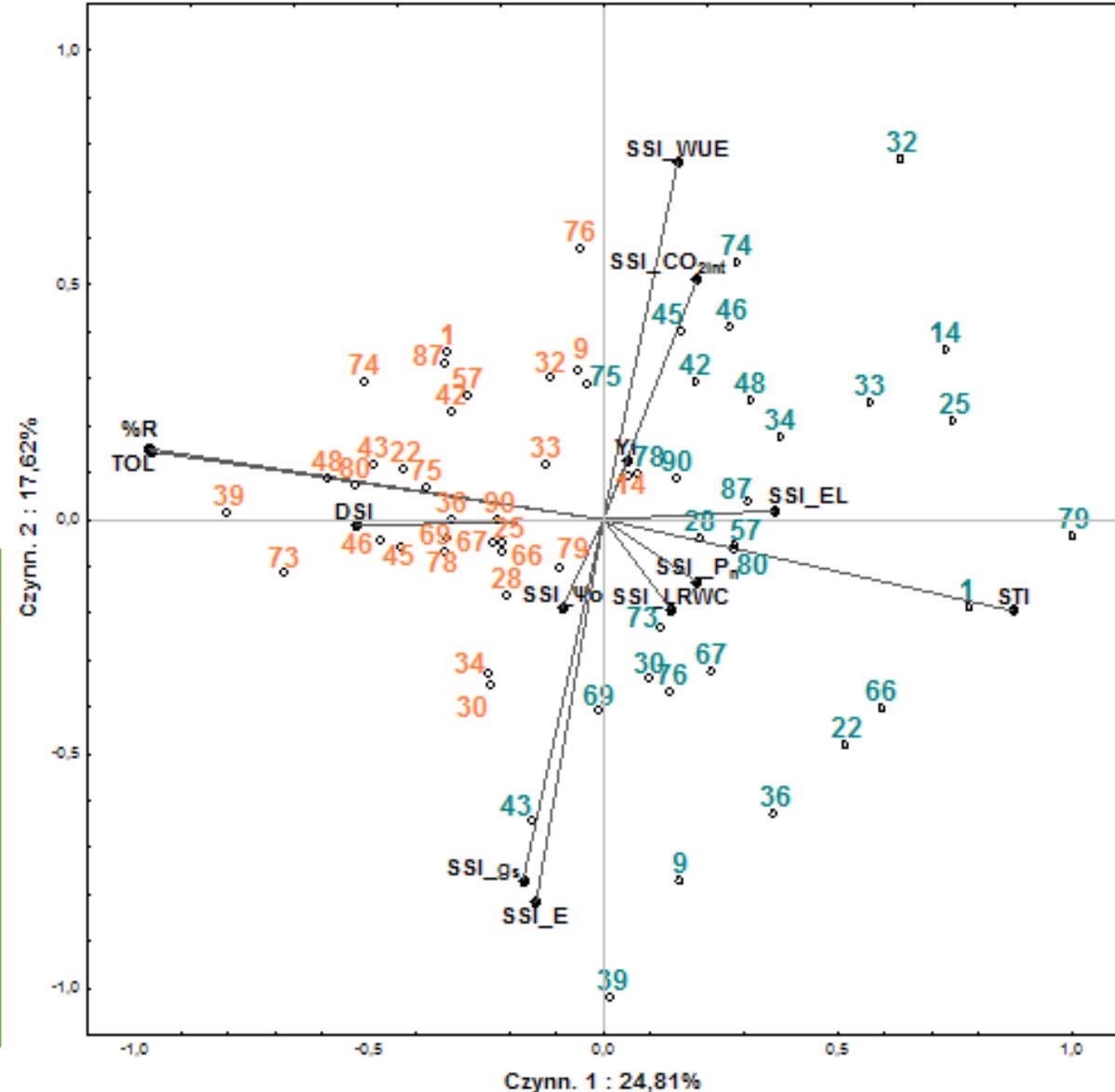
Na mapie cieplnej przygotowanej w oparciu o w/w indeksy dla suszy w **fazie krzewienia** szczególnie odróżniają się rody/odmiany **79, 25, 66, 1, 14 oraz 22** o niskich wartościach TOL, DSI i %R, a wysokich STI i YI, a **w fazie kłoszenia** rody/odmiany **79, 14, 76, 9 oraz 32**, co wskazuje na większą tolerancję suszy w porównaniu z pozostałym rodami/odmianami.

Wyniki

Analiza głównych składowych (PCA) wykonana dla zmiennych różnicujących badane rody/odmiany pszenicy ozimej pod względem wskaźników wrażliwości na suszę glebową w **fazie krzewienia** i **kłoszenia** obliczonych dla każdego rodu/odmiany pszenicy na podstawie masy ziaren/roślinę wskaźnika wrażliwości na suszę (DSI), tolerancji (TOL), wskaźnika tolerancji stresu (STI), wskaźnika plonowania (YI) oraz spadku plonu (%R) oraz pod względem wskaźników wrażliwości na suszę glebową (SSI) obliczonych dla każdego rodu/odmiany na podstawie: względnej zawartości wody liściach (LRWC), intensywności fotosyntezy (P_n), wewnętrznego stężenia CO_2 (CO_{2int}), oporności szparkowej (g_s), intensywności transpiracji (E), wartości chwilowej wskaźnika wykorzystania wody (WUE), potencjału osmotycznego (Ψ_o) oraz wpływu elektrolitów (EL).

Analiza PCA przeprowadzona **łącznie** dla wskaźników dotyczących suszy w **fazie krzewienia i kłoszenia** wykazała, że indeksy %R, TOL, STI oraz wskaźniki SSI obliczone dla **oporności szparkowej (g_s)**, **intensywności transpiracji (E)**, wartości **wskaźnika wykorzystania wody (WUE)** w największym stopniu różnicują badane rody ze względu na **termin suszy**, o czym świadczą najdłuższe wektory odpowiadające poszczególnym zmiennym.

Analizowane zmienne sumarycznie wyjaśniały 42,43% zmienności wśród obiektów badawczych, najwięcej zmienności w ramach czynnika 1 (24,81%) wyjaśniały wskaźniki SSI natomiast w ramach czynnika 2 (17,62%) najwięcej zmienności wyjaśniały indeksy związane z plonem.

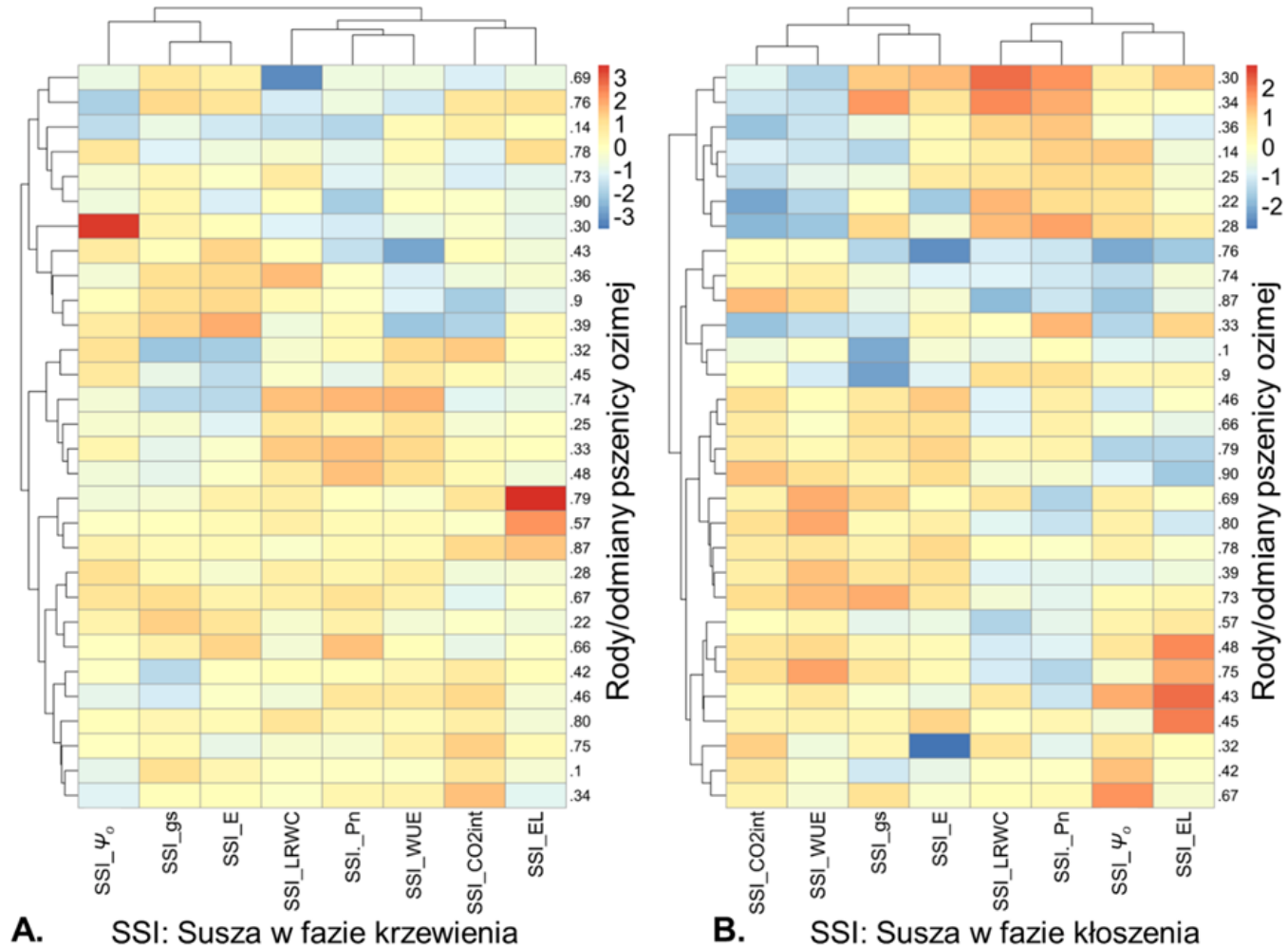


Wyniki

Mapa cieplna (ang. *heatmap*) oraz analiza skupień różnicująca badane rody/odmiany pszenicy ozimej pod względem wskaźników wrażliwości na suszę glebową (SSI) w fazie krzewienia (A) i kłoszenia (B) obliczonych dla każdego rodu/odmiany pszenicy ozimej na podstawie: względnej zawartości wody liściach (LRWC), intensywności fotosyntezy (P_n), wewnętrznego stężenia CO_2 (CO_{2int}), oporności szparkowej (g_s), intensywności transpiracji (E), wartości wskaźnika wykorzystania wody (WUE), potencjału osmotycznego (Ψ_o) oraz wpływu elektrolitów (EL).

Każda kolumna reprezentuje inną zmienną, a każdy rząd inny ród/odmianę pszenicy. Skala kolorów wyjaśnia poszczególne wartości, wartości wskaźników w całej macierzy poddano skalowaniu. Intensywność koloru świadczy o różnicach w wysokości wartości o obrębie danego parametru pomiędzy rodami/odmianami.

Wskaźnik SSI obliczony na podstawie względnej zawartości wody liściach (LRWC), intensywności fotosyntezy (P_n), wewnętrznego stężenia CO_2 (CO_{2int}), wskaźnika wykorzystania wody (WUE) oraz potencjału osmotycznego (Ψ_o) w największym stopniu różnicują badane rody/odmiany pszenicy pod względem tolerancji na stres suszy.



Na mapie cieplnej szczególnie odróżniają się rody/odmiany 69, 76, 14, 78, 73 i 90 (poddane suszy w fazie krzewienia) o najniższych wartościach wszystkich wskaźników SSI (A) oraz 30, 34, 36, 14, 25, 22 i 28 (poddane suszy w fazie kłoszenia), o najniższych wartościach wskaźników SSI dla CO_{2int} oraz WUE, a najwyższych wartościach SSI dla LRWC, P_n i Ψ_o (B), co wskazuje na lepszą tolerancję na suszę tych rodów/odmian.

Wnioski i podsumowanie

- Na podstawie analizy wyników pomiarów względnej zawartości wody w liściach, potencjału osmotycznego soku komórkowego, wpływu elektrolitów oraz parametrów wymiany gazowej, wytypowano rody pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) mogące lepiej funkcjonować w warunkach niedoboru wody w fazie krzewienia i kłoszenia. Wyższe wartości WUE w warunkach suszy (faza krzewienia) w porównaniu z kontrolą, warunkujące wyższą tolerancję suszy, odnotowano u rodów 9, 22, 30, 36, 39, 43, 69, 73, 76. Wyższe wartości WUE w warunkach suszy (faza kłoszenia) w porównaniu z kontrolą, świadczące o większej tolerancji stresu suszy, odnotowano u rodów 39, 43, 69, 73, 74, 75, 78, 79, 80, 87 i 90.
- Analiza PCA przeprowadzona łącznie dla wskaźników dotyczących działania suszy na rośliny w fazie krzewienia i kłoszenia wykazała, że indeksy %R, TOL, STI oraz wskaźniki SSI obliczone dla oporności szparkowej (g_s), intensywności transpiracji (E) oraz wartości wskaźnika wykorzystania wody (WUE) w największym stopniu różnicują badane rody pod względem tolerancji na suszę.
- Analiza wartości wskaźników DSI, TOL, STI, YI i %R wyliczonych na podstawie masy nasion na roślinę dla badanych rodów/odmian pszenicy ozimej w postaci mapy cieplnej i analizy skupień pozwoliła na wyodrębnienie rodów/odmian lepiej tolerujących suszę w fazie krzewienia (rody nr 1, 14, 22, 25, 66 i 79) oraz w fazie kłoszenia (rody nr 9, 14, 28, 32, 67, 76 i 79).

Plany badawcze na 2024 r.

Ocena tolerancji pszenicy ozimej na suszę glebową w fazie krzewienia i kłoszenia

Temat badawczy 1: Analizy biochemiczne i obliczenie wskaźników SSI roślin poddanych suszy w fazie krzewienia

Temat badawczy 2: Analizy biochemiczne i obliczenie wskaźników SSI roślin poddanych suszy w fazie kwitnienia

Temat badawczy 3: Określenie tolerancji na suszę na podstawie korelacji między wskaźnikami SSI a indeksami DSI, TOL, STI, YI, %R