

SPRAWOZDANIE MERYTORYCZNE

z realizacji zadania na rzecz postępu biologicznego w produkcji roślinnej w 2021 roku

A. INFORMACJE OGÓLNE

Tytuł zadania „ Określenie fizjologicznych i genetycznych podstaw odporności pszenicy i jęczmienia na rozhartowywanie ”
Numer zadania 12 w załączniku do rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 10 listopada 2020 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie stawek dotacji przedmiotowych dla różnych podmiotów wykonujących zadania na rzecz rolnictwa (Dz. U. poz. 2016).
Planowany okres realizacji zadania: 1.01.2021-31.12.2021
Planowane nakłady w zł 251 700

B. DANE WNIOSKODAWCY

Imię i nazwisko osoby reprezentującej jednostkę badawczą, tytuł lub stopień naukowy, stanowisko, nazwa i adres jednostki badawczej, telefon, fax)
prof. dr hab. inż. Agnieszka Filipiak-Florkiewicz, Prorektor do Spraw Nauki
Uniwersytet Rolniczy *im. H. Kołłątaja* w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, tel. 48 12 662 42 59,
fax: +48 12 633 62 45

C. INFORMACJA O WYKONAWCACH

1. Zespół badawczy

kierownik zadania		
imię i nazwisko	stopień i tytuł naukowy	miejsce zatrudnienia
Magdalena Wójcik-Jagła	dr inż.	Uniwersytet Rolniczy im. <i>H Kołłątaja</i> w Krakowie
wykonawcy zadania		
imię i nazwisko	stopień i tytuł naukowy	miejsce zatrudnienia
Monika Sasal	dr inż.	PlantiCo - Hodowla i Nasiennictwo Ogrodnicze Zielonki Sp. z o.o.
Marcin Rapacz	prof. dr hab.	Uniwersytet Rolniczy im. <i>H Kołłątaja</i> w Krakowie
Barbara Jurczyk	dr hab. inż.	Uniwersytet Rolniczy im. <i>H Kołłątaja</i> w Krakowie

2. Kierownik zadania (imię, nazwisko, tytuł lub stopień naukowy, adres do korespondencji, telefon bezpośredni i do sekretariatu jednostki organizacyjnej zatrudniającej kierownika zadania, e-mail kierownika; telefon do oraz dane osoby, z którą można się kontaktować w razie nieobecności kierownika zadania)

Dr nż. Magdalena Wójcik-Jagła, Katedra Fizjologii, Hodowli Roślin i Nasiennictwa, UR w Krakowie, ul. Podłużna 3,
30-239 Kraków, tel. (012) 425 33 01 w. 26, fax (012) 425 33 20
e-mail: madalena.wojcik-jagla@urk.edu.pl.

W razie nieobecności kierownika zadania można kontaktować się z prof. dr hab. Marcinem Rapaczem tel. (012) 425 33 01 w. 50.

D. OPIS ZADANIA

1. Cele zadania

Lp.	Cel (zgodnie ze szczegółowym opisem na dany rok)	Czy cel został zrealizowany (tak/nie ¹ /częściowo ¹)
1.	Fenotypowanie aktywnego rozhartowywania	tak
2.	Fenotypowanie biernego rozhartowywania	tak

¹ Jeśli dotyczy – proszę opisać pod tabelą, w jakim stopniu cel został osiągnięty i podać przyczyny

2. Harmonogram realizacji zadania

Harmonogram realizacji zadania należy sporządzić w tabeli, dla każdego z planowanych tematów badawczych z uwzględnieniem ilości planowanych testów/prób/linii na których prowadzone będą badania. Proszę podać koszty realizacji poszczególnych tematów badawczych.

Proszę wyróżnić etapy (tematy badawcze), określić czas ich trwania w miesiącach od rozpoczęcia projektu i przewidywane koszty. Terminy realizacji tematów badawczych mogą się zazębiać. Suma kosztów tematów badawczych musi być równa całkowitemu kosztowi zadania.

Lp.	Nazwa tematu badawczego	Termin rozpoczęcia – zakończenia realizacji tematu badawczego w miesiącach od rozpoczęcia realizacji zadania	Przewidywane koszty realizacji tematu badawczego
1	Fenotypowanie aktywnego rozhartowywania	1-12	125 850 zł
2	Fenotypowanie biernego rozhartowywania	1-12	125 850 zł
Razem			251 700 zł

UWAGA: Nie są tematami badawczymi czynności techniczne służące wykonaniu zadania np. zakup materiałów, utrzymanie roślin w szklarni, opracowanie statystyczne wyników, opracowanie raportów i sprawozdań.

3. Opis tematów badawczych (należy sporządzić opis dla tematów badawczych wymienionych w tabeli powyżej; kolejność zgodnie z tabelą powyżej)

3. 1. Temat badawczy 1

Cel tematu badawczego 1

Celem tematu było określenie mrozoodporności całych roślin oraz mrozoodporności na poziomie komórkowym po rozhartowaniu aktywnym pszenicy i jęczmienia.

Materiały i metody (opisać jak w publikacji)

Na puli 100 zaawansowanych rodów hodowlanych i odmian jęczmienia oraz pszenicy ozimej pochodzących od polskich spółek hodowlanych przeprowadzony został screening fenotypowy w celu identyfikacji rodów tolerancyjnych i wrażliwych na rozhartowywanie (Tabela 1). Dodatkowo w przypadku jęczmienia dołączono dwa własne wzorce DS25 i DS28 (Wójcik-Jagła i wsp. 2021).

Tabela 1. Lista rodów i odmian badanych w doswiadczeniach w roku 2021.

Pszenica		Jęczmień	
numer	nazwa rodu	numer	nazwa rodu
1	DC 17 132	1	PHR 1/21
2	DC 17 704	2	PHR 2/21
3	DC 17 959	3	PHR 3/21
4	DC 17 1216	4	PHR 4/21
5	DC 2683/14-5	5	PHR 5/21
6	DC 17 698	6	PHR 6/21
7	DC 17 1051-5	7	PHR 7/21
8	DL 1128/17	8	PHR 8/21
9	DL 1081/17	9	PHR 9/21
10	DL 1214/17	10	PHR 10/21
11	DL 1141/17	11	PHR 11/21
12	DL 1274/17	12	PHR 12/21
13	DL 1095/17	13	PHR 13/21
14	LL8	14	PHR 14/21
15	LL9	15	PHR 15/21
16	LL10	16	PHR 16/21
17	LL11	17	PHR 17/21
18	LL12	18	PHR 18/21

Pszenica		Jęczmień	
numer	nazwa rodu	numer	nazwa rodu
19	LL13	19	PHR 19/21
20	Kilimanjaro	20	PHR 20/21
21	MIB 18203	21	PHR 21/21
22	MIB 18265	22	PHR 22/21
23	MIB 18624	23	PHR 23/21
24	MIB 9168	24	PHR 24/21
25	MIB 9187	25	PHR 25/21
26	MIB 9716	26	STH220.10
27	POB 12817	27	STH220.12
28	POB 13817	28	STH220.23
29	POB 14017	29	STH220.21
30	POB 16217	30	STH220.22
31	POB 41917	31	STH220.11
32	POB 47817	32	STH220.24
33	POB 55117	33	STH220.25
34	POB 71717	34	STH220.26
35	POB 72017	35	STH220.27
36	POB 72117	36	STH220.28
37	POB 72217	37	STH220.29
38	POB 76317	38	STH220.30
39	POB 06715	39	STH220.31
40	Artist	40	STH220.32
41	AND 361/17	41	STH220.33
42	AND 659/17	42	STH220.34
43	AND 791/17	43	STH220.35
44	AND 3/14	44	STH220.36
45	AND 560/17	45	STH220.37
46	AND 29/14	46	STH220.38
47	AND 377/17	47	STH220.39
48	AND 471/17	48	STH220.40
49	AND 49/14	49	STH220.318
50	Formacja	50	STH220.418
51	NAD_17036	51	BKH 7577
52	NAD_18001	52	BKH 7224
53	NAD_18016	53	BKH 9027
54	NAD_18020	54	BKH 7160
55	NAD_18034	55	BKH 4067
56	NAD_18043	56	BKH 7932
57	NAD_18084	57	BKH 7162
58	NAD_18095	58	BKH 7846
59	NAD_18109	59	BKH 7134
60	NAD_18117	60	BKH 7266
61	SMH 324	61	BKH 7628
62	SMH 349	62	BKH 7268
63	SMH 357	63	BKH 7590
64	SMH 366	64	BKH 9032
65	SMH 369	65	BKH 7579
66	SMH 371	66	BKH 5669
67	SMH 378	67	BKH 7401
68	SMH 381	68	BKH 7262
69	SMH 382	69	BKH 7942
70	SMH 383	70	BKH 7589
71	SMH 406	71	BKH 44.8
72	SMH 410	72	BKH 7561

Pszenica		Jęczmień	
numer	nazwa rodu	numer	nazwa rodu
73	SMH 422	73	BKH 7165
74	SMH 433	74	BKH 7951
75	SMH 437	75	BKH 2259
76	SMH 444	76	Danko 1
77	SMH 445	77	Danko 2
78	SMH 448	78	Danko 3
79	SMH 459	79	Danko 4
80	SMH 478	80	Danko 5
81	STH81	81	Danko 6
82	STH82	82	Danko 7
83	STH83	83	Danko 8
84	STH84	84	Danko 9
85	STH85	85	Danko 10
86	STH86	86	Danko 11
87	STH87	87	Danko 12
88	STH88	88	Danko 13
89	STH89	89	Danko 14
90	STH90	90	Danko 15
91	STH91	91	Danko 16
92	STH92	92	Danko 17
93	STH93	93	Danko 18
94	STH94	94	Danko 19
95	STH95	95	Danko 20
96	STH96	96	Danko 21
97	STH97	97	Danko 22
98	STH98	98	Danko 23
99	STH99	99	Danko 24
100	STH100	100	Danko 25

Ocena przeżywalności roślin po mrożeniu w teście polowo-laboratoryjnym – fenotypowanie rozhartowywania aktywnego.

Wzrost roślin i polowo-laboratoryjna ocena mrozoodporności (wg. Kocha i Lehmana, 1969).

Każdą linię wysiano w trzech powtórzeniach (losowo rozmieszczone rzędy po 12 nasion w trzech różnych skrzynkach o wymiarach: 30 × 38 × 9 cm napełnionych mieszaniną ziemi ogrodniczej z pisakiem). Hartowanie roślin zostało przeprowadzone w warunkach kontrolowanych (hartowanie w fitotronie przez 3 tygodnie, 4/2°C, dzień/noc; fotoperiod 9/11 godz przy natężeniu światła 250 μmol m⁻²s⁻¹). Rozhartowywanie roślin (7 dni, 12/5°C, dzień/noc, warunki zoptymalizowane w poprzednich projektach) i ich mrożenie (spadek temperatury w tempie 2°C/godz z 0°C do -10°C dla jęczmienia i do -12°C dla pszenicy, a po 12 godzinach wzrost temperatury w tym samym tempie) przeprowadzono również w warunkach kontrolowanych. Po zakończeniu mrożenia rośliny przeniesiono na 24 godz. do komory vegetacyjnej o temperaturze +8°C (fotoperiod: 10/14 godz. (dzień/noc), oświetlenie PAR: 250 μmol·m⁻²·s⁻¹), a następnie do nieogrzewanej szklarni (temperatura ok. 15°C). Oceniana była przeżywalność roślin metodą liczenia odrostów po mrożeniu zahartowanych (kontrola) i rozhartowanych roślin. Po upływie tygodnia policzone zostały rośliny odrastające, a po upływie 3 tygodni rośliny żywe. Mrozoodporność wyrażona została w procentach odrostu (odsetek roślin, które podjęły wzrost po mrożeniu) weryfikowanego poprzez ich przeżywalność (odsetek początkowej liczby siewek). Bezpośrednio przed mrożeniem odcięte zostały liście, na których po mrożeniu mierzone były parametry fluorescencji chlorofilu (ocena mrozoodporności na poziomie komórkowym).

Fluorescencyjna ocena mrozoodporności na poziomie komórkowym – fenotypowanie rozhartowywania aktywnego

Badania wykonane zostały równolegle z badaniami przeżywalności roślin w teście polowo-laboratoryjnym. Z każdej formy hodowlanej pobrano łącznie po 10 liści (1 liść z rośliny). Odrzucane były liście wykazujące jakiegokolwiek oznaki przedwczesnego starzenia, czy wizualne oznaki uszkodzeń. Liście kompletowane były w polietylenowych woreczkach z zamkiem strunowym. Tak zapakowane liście umieszczano w programowanej zamrażarce, w której zastosowane zostały takie same protokoły mrożenia jak do przemrażania roślin w skrzynkach. Po odtajaniu (8 godz.) do momentu wykonania pomiaru liście przetrzymywane były w temperaturze +2°C.

Pomiary fluorescencyjne wykonywano w temperaturze pokojowej w środkowej części liści zaadaptowanych przez 20 minut do ciemności przy pomocy fabrycznego klipsa. Pomiary narastania sygnału fluorescencji chlorofilu (Strasser i in. 1995) wykonywane były przy pomocy fluorymetru Handy PEA (Hansatech), przy impulsie światła wysycającego wynoszącym $3\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, długości trwania pulsu 0,5 s i stałym stopniu wzmocnienia (1x). Efektywność wysycania tego sygnału była każdorazowo kontrolowana poprzez analizę przebiegu krzywej indukcji fluorescencji (oprogramowanie Handy PEA, v. 1.30, Hansatech). Odrzucane były pomiary, w których nie doszło do wysycenia sygnału (osiągnięcia F_m).

Na podstawie zarejestrowanej krzywej indukcji, obliczane były następujące parametry:

1) Specyficzne przepływy energii w odniesieniu do pojedynczego Q_A^- (zredukowanego centrum reakcji PSII, RC)

- ABS/RC: strumień energii absorbowanej,
- TR_0 /RC: ilość energii pułapkowanej,
- ET_0 /RC: szybkość transportu elektronów,
- DI_0 /RC: ilość energii rozpraszanej w postaci ciepła.
- REo/RC: ilość energii użytej do redukcji końcowych akceptorów elektronów (po stronie PSI)

2) Fenomenologiczne przepływy energii w przeliczeniu na powierzchnię fotosyntetyzującej próbki (CS) w czasie $t=0$:

- ABS/CS: strumień energii absorbowanej przez anteny PSII,
- TR_0 /CS: przepływ przechwyconej energii wzbudzenia,
- ET_0 /CS: przepływ strumienia elektronów przez PSII,
- DI_0 /CS: strumień energii rozpraszanej, jako ciepło.

3) Wskaźniki funkcjonowania PSII i gęstości centrów reakcji fotosyntetycznej PSII:

- PI: ogólny wskaźnik sprawności (*ang. performance index*) w stanie zrelaksowanym i wzbudzonym PSII (odpowiednio PI_{CS_0} , PI_{CS_m}) w odniesieniu do CS,
- PI_{ABS} : wskaźnik sprawności PSII w stosunku do absorpcji promieniowania,
- PI_{total} : wskaźnik potencjalnej sprawności przekazania energii od ekscytonu do zredukowania centrum reakcji PSI i akceptorów
- RC/CS_0 , RC/CS_m : gęstość centrów reakcji zdolnych do redukcji plastochinonu (Q_A), odpowiednio w czasie $t=0$ i t_{max} ,

4) Wskaźniki przepływu energii:

- ψ_0 : prawdopodobieństwo transportu elektronów poza Q_A^- ,
- ϕ_{E_0} : wydajność kwantowa transportu elektronów,
- ϕ_{R_0} : wydajność kwantowa redukcji końcowych akceptorów elektronów (po stronie PSI)
- F_v/F_m (ϕ_{P_0}): wydajność pułapkowania energii świetlnej w centrach reakcji fotosyntetycznej PSII, inaczej potencjalna (maksymalna) wydajność kwantowa transportu elektronów w PSII.

Poszczególne parametry wyliczane były według następujących wzorów (Strasser et al., 2004; Strasser and Tsimilli-Michael, 2001).

$$ABS / RC = M_0 \cdot (1 / V_J) \cdot (F_m / F_v)$$

$$TR_0 / RC = M_0 \cdot (1 / V_J)$$

$$ET_0 / RC = M_0 \cdot (1 / V_J) \cdot \psi_0$$

$$DI_0 / RC = (ABS / RC) - (TR_0 / RC)$$

$$RE_0/RC = M_0(1/V_J)(1-V_J)\delta_{R_0}$$

$$\begin{aligned}
& \text{ABS} / \text{CS} = F_0 \\
& \text{TR}_0 / \text{CS} = F_v / F_m \cdot (\text{ABS} / \text{CS}_0) \\
& \text{ET}_0 / \text{CS} = F_v / F_m \cdot \psi_0 \cdot (\text{ABS} / \text{CS}_0) \\
& \text{DI}_0 / \text{CS} = (\text{ABS} / \text{CS}) - (\text{TR}_0 / \text{CS}) \\
& \text{RC} / \text{CS}_0 = F_v / F_m \cdot (V_J / M_0) \cdot F_0 \\
& \text{RC} / \text{CS}_m = F_v / F_m \cdot (V_J / M_0) \cdot F_m \\
& \text{PI}_{\text{ABS}} = [1 / (\text{RC} / \text{ABS})] \cdot [F_v / F_m / (1 - F_v / F_m)] \cdot [\psi_0 / (1 - \psi_0)] \\
& \text{PI}_{\text{CS}_0} = F_0 \cdot \text{PI}_{\text{ABS}} \\
& \text{PI}_{\text{CS}_m} = F_m \cdot \text{PI}_{\text{ABS}} \\
& \text{PI}_{\text{total}} \equiv (\text{PI}_{\text{ABS}}) \cdot (\delta_{\text{R}_0} / 1 - \delta_{\text{R}_0}) \\
& \varphi_{\text{R}_0} \equiv \text{RE}_0 / \text{ABS} = [1 - (F_0 / F_m)] (1 - V_J) \delta_{\text{R}_0} \\
& \varphi_{\text{E}_0} \equiv \text{ET}_0 / \text{ABS} = [1 - (F_0 / F_m)] (1 - V_J) \\
& \psi_0 \equiv \text{ET}_0 / \text{TR}_0 = (1 - V_J) \\
& \text{gdzie:} \\
& V_J = (F_J - F_0) / (F_m - F_0) \\
& V_K = (F_J - F_{150}) / (F_m - F_{150}) \\
& M_0 = 4 \cdot (F_{300} - F_0) / (F_m - F_0) \\
& F_v = F_m - F_0 \\
& F_0, F_{150}, F_{300}, F_J: \text{intensywność fluorescencji chlorofilu po włączeniu oświetlenia, odpowiednio w } 50 \\
& \mu\text{s}, 150 \mu\text{s}, 300 \mu\text{s} \text{ i } 2 \text{ ms} \\
& F_m: \text{maksymalna intensywność fluorescencji} \\
& \delta_{\text{R}_0} = (1 - V_I) / (1 - V_J)
\end{aligned}$$

W celu weryfikacji uzyskanych wyników sprawdzano, czy w kontroli (rośliny zahartowane) wartości TR_0/CS , ET_0/CS i RC/CS_m (a więc parametrów branych pod uwagę w ocenie) są negatywnie skorelowane z DI_0/CS , co świadczy o dostatecznym stopniu zahartowania roślin. Po spełnieniu powyższego warunku weryfikowane było też istnienie pozytywnej korelacji pomiędzy wymienionymi wyżej parametrami a ET_0/RC . Brak takiej korelacji oznacza bowiem zbyt wysoki poziom uszkodzeń liści przed pobraniem próbek lub zbyt niską temperaturę ich mrożenia.

Wyniki

Tabela 2. Współczynniki korelacji sprawdzające wiarygodność wykonanych pomiarów fluorescencyjnych

Hartowane	Pszenica		Jęczmień	
	DI ₀ /CS	ET ₀ /RC	DI ₀ /CS	ET ₀ /RC
TR₀/CS	-0,592	0,886	-0,251	0,328
ET₀/CS	-0,578	0,940	-0,463	0,846
RC/CS_m	-0,675	0,759	-0,585	0,231
Rozhartowane				
TR₀/CS	0,188	0,949	0,043	0,481
ET₀/CS	0,117	0,980	0,128	0,801
RC/CS_m	0,059	0,915	-0,463	0,066

W przypadku obydwu gatunków u zahartowanych roślin obserwowano ujemne współczynniki korelacji pomiędzy parametrami fluorescencji chlorofilu określającymi stopień uszkodzeń mrozowych (TR_0/CS , ET_0/CS , RC/CS_m) a parametrem DI_0/CS (Tabela 2). W przypadku roślin rozhartowanych wartości współczynników analogicznych korelacji były dodatnie (z wyjątkiem RC/CS_m u jęczmienia). Z kolei dodatnie wartości współczynników korelacji pomiędzy parametrami określającymi stopień uszkodzeń mrozowych a ET_0/RC , szczególnie wysokie u pszenicy, świadczą o braku uszkodzeń aparatu fotosyntetycznego przed wykonywanym mrożeniem. Wyjątkiem jest tu parametr RC/CS_m u rozhartowywanego jęczmienia. Prawdopodobnie wiąże się to z obserwowanym rozjaśnianiem się liści u rozhartowywanego jęczmienia i może potencjalnie wskazywać nie tyle na uszkodzenia co na niedobór azotu w warunkach ruszającej wegetacji. Być może wpłynęło to też na opisaną anomalię dotyczącą parametru DI_0/CS .

Tabela 3. Spadek wartości mierzonych parametrów określających mrozoodporność roślin po rozhartowaniu.

Parametr	Pszennica			Jęczmień		
	hartowany	rozhartowany	rozhartowany vs hartowany [%]	hartowany	rozhartowany	Rozhartowany vs hartowany [%]
Fv/Fm	0,772	0,703	91%	0,658	0,588	89%
ABS/RC	2,500	2,233	89%	2,591	2,738	106%
Φ_{E0}	0,414	0,350	84%	0,286	0,244	86%
Ψ_0	0,532	0,494	93%	0,432	0,415	96%
PI _{CS0}	592	358	60%	167	123	74%
PI _{CSm}	3158	1570	50%	528	327	62%
PIABS	1,836	1,309	71%	0,668	0,455	68%
ABS/CS	313,1	263,4	84%	255,3	278,8	109%
TRo/CS	244,0	187,7	77%	167,1	162,0	97%
ETo/CS	132,0	94,2	71%	72,3	67,5	93%
DIo/CS	69,13	75,67	109%	88,14	116,83	133%
RC/CS0	126,1	124,6	99%	101,18	108,42	107%
RC/CSm	605,7	464,4	77%	305,2	272,4	89%
ETo/RC	1,051	0,789	75%	0,731	0,658	90%
TRo/RC	1,943	1,575	81%	1,685	1,574	93%
DIo/RC	0,557	0,657	118%	0,906	1,164	129%
PI _{total}	1,095	0,962	88%	0,946	0,589	62%
REo/RC	0,396	0,322	81%	0,390	0,342	88%
Φ_{R0}	0,157	0,144	91%	0,150	0,127	85%

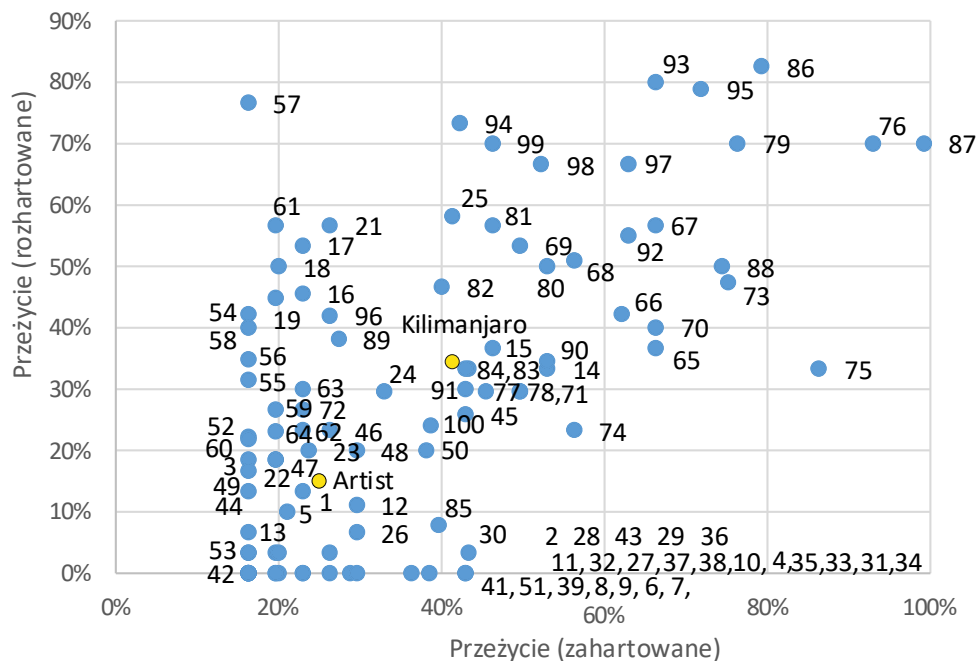
Rozhartowywanie roślin wpłynęło na zmiany (przeważnie obniżenie się) wartości mierzonych parametrów fluorescencji chlorofilu. U obydwu gatunków w największym stopniu obniżyły się wartości parametru PI_{CSm}, a u jęczmienia również PI_{total} (Tabela 3).

Rozhartowywanie spowodowało też spadek przeżywalności roślin. W przypadku pszenicy średnia przeżywalność została obniżona z 28,6 do 19,4% a w przypadku jęczmienia z 35,4% do 19,0%. Stosunkowo niską przeżywalność pszenicy hartowanej w stosunku do jęczmienia należy tłumaczyć wystąpieniem w okresie po mrożeniu wysokich temperatur w szklarni, w której odrastały rośliny. Można zauważyć, że w przypadku pszenicy rody o wysokiej mrozoodporności po zahartowaniu miały też wysoką, choć niższą, mrozoodporność po rozhartowaniu (Ryc. 1A). Wyjątkiem był tu jedynie ród 75 charakteryzujący się wysoką podatnością na rozhartowywanie. W grupie rodów o średniej i niskiej mrozoodporności po zahartowaniu mrozoodporność po rozhartowaniu była bardziej zróżnicowana. W niektórych przypadkach obserwowano nawet wyższą mrozoodporność po rozhartowaniu co było zapewne związane ze wspomnianymi wyżej niekorzystnymi warunkami odrostu roślin hartowanych.

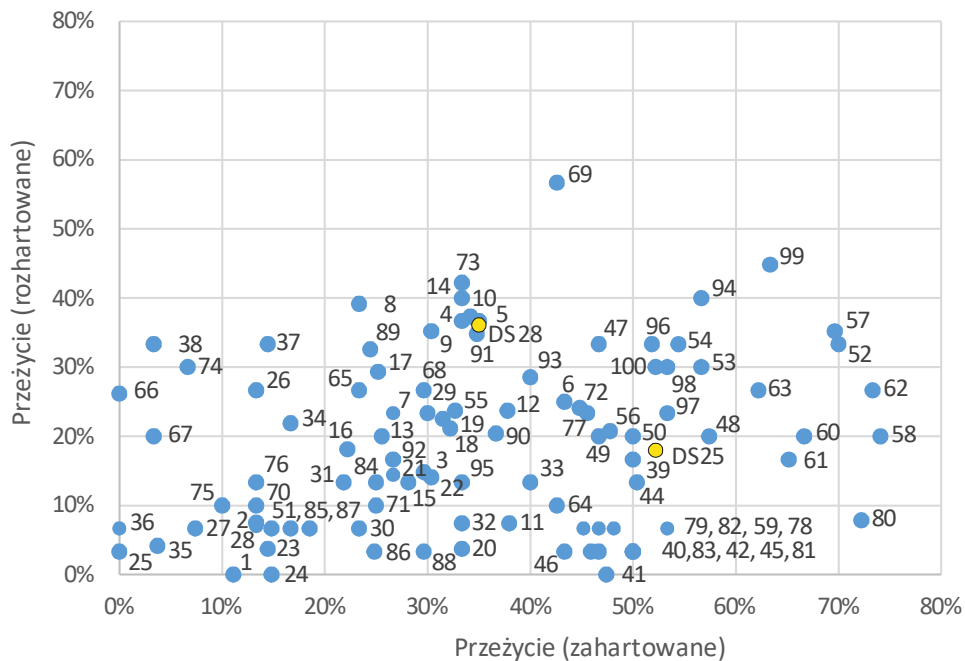
W przypadku jęczmienia bez względu na mrozoodporność w stanie zahartowanym obserwowano bardzo duże zróżnicowanie mrozoodporności roślin rozhartowanych (Ryc. 1B).

Na podstawie wykonanych pomiarów przeżywalności i fluorescencji chlorofilu ustalono ranking mrozoodporności w stanie rozhartowanym i zahartowanym badanych rodów pszenicy i jęczmienia (Tabela 4).

A. Pszenica



B. Jęczmień



Ryc. 1. Przeżywalność zahartowanych i rozhartowanych roślin pszenicy (A) i jęczmienia (B). Kolorem żółtym zaznaczono wzorce.

Tabela 4. Ranking mrozoodporności badanych rodów pszenicy i jęczmienia ustalony na podstawie pomiarów fluorescencji chlorofilu wykonanych po mrożeniu odciętych liści. Na żółto oznaczono wzorce, kolor zielony - rody lepsze od wzorca lepszego, niebieski - lepsze od wzorca gorszego, czerwone, gorsze od wzorca gorszego, pomarańczowy gorsze od wzorca lepszego (test Dunetta, P=0,05).

Pszenica, hartowana			Pszenica, rozhartowana			Jęczmień, hartowany			Jęczmień, rozhartowany		
Nr	RC/CSm	Błąd std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.
15	770	48,8	67	794	11,8	36	393	23,3	3	393	16,9
24	751	34,0	25	779	13,4	37	391	24,5	4	371	26,5
17	739	21,9	57	777	13,2	16	376	32,9	81	358	119,0
25	734	23,0	75	772	20,2	48	376	20,7	5	341	29,6
16	701	28,4	30	771	21,4	68	376	16,9	6	340	20,6
52	686	422,6	24	771	13,4	45	375	34,9	2	339	88,9
21	679	46,8	31	770	25,4	43	373	15,9	16	324	20,9
67	668	25,1	74	764	22,8	52	370	21,1	35	323	25,4
88	666	27,6	12	757	19,5	44	366	27,4	53	321	13,2
8	660	42,6	17	755	16,1	13	364	26,5	36	317	14,4
14	657	30,2	18	752	21,0	53	364	15,0	9	316	20,5
66	647	52,5	73	751	8,6	67	358	19,5	37	315	32,0
40	638	49,3	86	750	12,8	78	357	27,5	57	314	56,6
75	629	42,5	8	747	10,8	32	356	30,9	7	314	17,5
9	619	44,9	40	741	17,4	69	356	12,4	20	313	30,4
79	619	27,4	13	738	22,2	42	353	22,3	62	311	12,1
6	616	27,8	11	737	9,2	40	352	14,0	41	311	39,6
5	613	41,4	58	736	25,5	75	350	34,5	11	310	14,8
57	606	50,5	22	735	25,1	33	350	27,0	31	310	15,3
73	594	39,2	61	735	25,9	34	349	21,3	44	307	29,9
86	588	38,8	88	733	11,3	3	347	16,0	73	307	26,0
94	585	38,7	60	731	24,3	60	346	28,9	38	304	22,1
3	585	51,0	9	729	18,2	74	342	11,4	18	301	20,2
95	584	42,8	93	724	21,5	DS28	342	17,5	22	301	20,2
93	580	57,5	44	717	21,1	7	341	34,1	47	300	17,2
18	571	19,9	16	708	24,2	14	341	17,3	52	300	26,9
58	554	269,8	76	702	41,1	35	340	14,7	23	299	63,0
12	545	58,9	50	702	28,6	DS25	333	20,6	17	299	25,3
80	545	17,4	21	700	26,0	85	333	27,3	21	298	25,1
7	539	45,3	15	700	29,0	1	332	17,4	50	295	28,3
70	532	31,6	95	698	38,0	2	329	18,6	DS25	295	17,1
23	528	35,7	29	697	41,6	26	329	25,3	15	293	18,7
1	524	70,1	66	693	26,8	11	328	16,7	45	292	26,6
44	522	41,4	64	691	41,9	49	327	23,2	13	291	21,8
71	522	44,8	46	691	30,2	76	326	17,4	8	289	28,8
11	521	57,6	19	686	18,7	21	326	23,7	1	289	34,5
20	503	62,5	65	685	48,4	70	325	7,9	58	284	18,1
10	502	52,7	48	681	29,1	54	324	13,0	74	283	36,1
69	502	37,0	79	672	25,5	23	323	21,8	65	283	37,4
45	501	32,6	10	669	29,6	9	323	22,1	28	283	17,7
76	501	51,8	14	667	30,6	87	323	16,0	93	282	21,1
46	499	42,0	71	666	54,9	61	321	18,2	25	277	16,2

Pszenica, hartowana			Pszenica, rozhartowana			Jęczmień, hartowany			Jęczmień, rozhartowany		
Nr	RC/CSm	Błąd std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.
87	494	37,1	63	660	33,1	17	319	18,4	34	276	21,0
48	485	33,9	39	658	33,5	29	318	33,7	99	276	22,0
4	484	54,0	68	656	51,3	24	316	16,8	29	273	30,8
19	482	44,2	23	653	37,2	5	316	18,8	43	273	30,7
68	482	35,7	20	649	42,5	71	314	16,5	33	273	16,5
30	480	36,6	94	648	27,2	50	314	26,7	27	272	29,4
50	475	54,4	85	635	29,0	4	312	16,2	92	270	19,3
13	462	59,9	52	635	40,9	38	311	12,1	66	270	19,5
47	461	34,1	97	633	41,1	57	310	12,4	75	269	50,2
31	457	50,8	89	627	42,5	18	310	33,9	60	269	20,8
22	453	37,9	47	624	30,2	27	309	23,1	91	268	12,7
81	450	41,3	59	621	51,1	46	305	21,7	56	268	28,7
92	444	57,2	51	621	45,0	79	304	13,9	14	267	19,4
74	442	53,6	87	620	39,4	90	304	14,7	76	267	27,3
55	437	25,2	91	610	32,4	58	303	15,2	84	266	24,8
61	427	54,1	98	607	54,3	39	299	14,6	67	266	16,9
85	417	48,3	54	602	32,2	80	299	27,8	64	266	25,0
49	415	19,5	49	600	59,2	47	299	22,6	96	265	28,6
56	413	44,5	55	589	43,8	19	297	23,4	10	265	16,5
2	411	38,8	26	586	55,2	83	296	18,7	12	264	14,7
36	411	33,0	90	571	63,7	22	295	26,8	32	263	15,2
43	399	40,1	62	567	33,6	31	294	18,0	26	262	18,7
89	398	25,8	77	564	42,4	62	294	25,1	55	261	23,5
78	396	26,2	56	562	46,7	66	289	14,9	46	261	20,0
98	392	33,6	69	557	38,4	10	288	19,7	DS28	258	23,4
91	382	55,3	96	555	45,3	77	287	16,3	89	258	20,0
51	382	55,2	70	546	38,2	86	285	23,0	97	253	24,2
77	380	27,6	45	544	22,4	30	283	23,3	54	252	20,0
99	379	29,0	78	540	36,9	84	281	18,3	95	251	7,2
34	376	37,7	84	536	18,6	55	280	19,1	63	251	19,0
29	369	54,9	27	531	55,1	8	280	21,6	77	250	31,6
65	366	32,4	53	529	40,6	100	280	17,5	87	249	20,1
97	361	22,9	92	525	48,3	20	272	12,3	59	249	13,6
96	356	24,7	1	519	38,2	82	272	24,2	79	248	19,0
39	341	24,3	42	516	50,2	81	270	31,0	40	247	13,4
41	340	54,2	80	513	27,5	99	266	23,3	48	246	29,5
37	335	44,6	3	508	58,5	96	266	21,9	61	241	16,5
54	335	17,4	99	504	55,0	25	264	9,1	78	240	21,0
33	333	26,8	6	468	41,6	89	264	25,2	19	240	15,0
72	329	23,7	35	463	37,9	93	261	16,0	69	239	19,2
26	326	23,3	38	451	53,0	98	261	30,1	68	238	21,7
82	311	32,7	7	440	22,2	6	261	26,5	85	237	21,3
38	306	24,1	34	438	60,4	65	258	14,4	39	235	30,2
28	302	19,0	83	435	43,7	88	256	23,4	49	234	21,1
42	298	32,5	28	426	64,6	51	256	15,2	90	234	13,2
32	293	32,6	72	418	55,8	15	256	21,6	70	233	36,0
63	291	13,6	36	407	25,5	12	251	19,6	86	233	22,0
64	286	43,7	33	396	14,6	63	241	19,6	24	232	29,9

Pszenica, hartowana			Pszenica, rozhartowana			Jęczmień, hartowany			Jęczmień, rozhartowany		
Nr	RC/CSm	Błąd std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.	Nr	RC/CSm	Błąd Std.
100	285	26,6	81	380	40,8	28	240	18,1	88	230	25,0
90	278	28,8	5	379	40,3	95	238	11,4	72	222	46,8
35	277	39,9	82	374	27,1	97	232	14,1	42	220	26,2
60	248	32,6	43	352	58,3	56	230	27,8	71	220	21,6
27	241	15,9	41	345	23,9	91	229	9,5	30	219	25,7
84	240	35,2	37	334	31,2	64	226	34,0	51	218	28,5
83	201	29,9	4	332	27,7	59	221	17,6	98	211	11,0
59	201	11,2	100	327	49,9	92	215	23,0	100	211	29,5
62	197	11,3	2	324	34,8	73	213	23,6	83	209	17,1
53	187	15,8	32	261	25,1	72	201	15,4	80	193	21,2
						94	198	12,8	82	184	17,0
									94	177	17,0

Tabela 5. Ranking mrozoodporności badanych rodów pszenicy i jęczmienia ustalony na podstawie przeżywalności roślin. Na żółto oznaczono wzorce, kolor zielony - rody lepsze od wzorca lepszego, niebieski - lepsze od wzorca gorszego, czerwone, gorsze od wzorca gorszego, pomarańczowy gorsze od wzorca lepszego (test Dunetta, P=0,05).

Pozycja w rankingu	Pszenica, hartowana		Pszenica, rozhartowana		Jęczmień, hartowany		Jęczmień, rozhartowany	
	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia
1	87	83,0%	86	82,6%	58	74,1%	69	56,7%
2	76	76,7%	93	80,0%	62	73,3%	99	44,8%
3	75	70,0%	95	78,9%	80	72,2%	73	42,2%
4	86	63,0%	57	76,7%	52	70,0%	14	40,0%
5	79	60,0%	94	73,3%	57	69,6%	94	40,0%
6	73	58,9%	76	70,0%	60	66,7%	8	39,2%
7	88	58,1%	79	70,0%	61	65,2%	10	37,3%
8	95	55,6%	87	70,0%	99	63,3%	4	36,7%
9	65	50,0%	99	70,0%	63	62,2%	5	36,7%
10	67	50,0%	97	66,7%	48	57,4%	DS28	36,1%
11	70	50,0%	98	66,7%	53	56,7%	9	35,2%
12	93	50,0%	25	58,1%	94	56,7%	57	35,2%
13	92	46,7%	21	56,7%	54	54,4%	91	34,8%
14	97	46,7%	61	56,7%	43	53,3%	37	33,3%
15	66	45,8%	67	56,7%	97	53,3%	38	33,3%
16	68	40,0%	81	56,7%	98	53,3%	47	33,3%
17	74	40,0%	92	55,0%	78	53,0%	52	33,3%
18	14	36,7%	17	53,3%	100	52,2%	54	33,3%
19	80	36,7%	69	53,3%	DS25	52,2%	96	33,3%
20	90	36,7%	68	50,9%	96	51,9%	89	32,6%
21	98	35,9%	18	50,0%	44	50,4%	53	30,0%
22	69	33,3%	80	50,0%	39	50,0%	74	30,0%
23	71	33,3%	88	50,0%	42	50,0%	98	30,0%
24	78	33,3%	73	47,4%	45	50,0%	100	30,0%
25	15	30,0%	82	46,7%	50	50,0%	17	29,4%
26	81	30,0%	16	45,6%	81	50,0%	93	28,5%

Pozycja w rankingu	Pszenica, hartowana		Pszenica, rozhartowana		Jęczmień, hartowany		Jęczmień, rozhartowany	
	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia
27	99	30,0%	19	44,8%	59	48,1%	26	26,7%
28	77	29,2%	54	42,2%	56	47,8%	62	26,7%
29	30	27,0%	66	42,2%	41	47,4%	63	26,7%
30	83	27,0%	96	42,0%	47	46,7%	65	26,7%
31	31	26,7%	58	40,0%	49	46,7%	68	26,7%
32	34	26,7%	70	40,0%	82	46,7%	66	26,2%
33	45	26,7%	89	38,1%	83	46,7%	6	25,0%
34	84	26,7%	15	36,7%	40	45,9%	72	24,1%
35	91	26,7%	65	36,7%	77	45,6%	12	23,7%
36	94	25,9%	56	34,8%	79	45,2%	55	23,7%
37	20	25,0%	90	34,5%	72	44,8%	7	23,3%
38	25	25,0%	20	34,4%	6	43,3%	29	23,3%
39	82	23,7%	14	33,3%	46	43,3%	77	23,3%
40	85	23,3%	75	33,3%	64	42,6%	97	23,3%
41	100	22,4%	83	33,3%	69	42,6%	19	22,5%
42	33	22,2%	84	33,3%	33	40,0%	34	21,9%
43	50	21,9%	55	31,5%	93	40,0%	18	21,1%
44	36	20,0%	63	30,0%	11	38,0%	56	20,7%
45	24	16,7%	91	30,0%	12	37,8%	90	20,4%
46	12	13,3%	24	29,6%	90	36,7%	13	20,0%
47	26	13,3%	71	29,6%	5	35,0%	48	20,0%
48	35	13,3%	77	29,6%	DS28	35,0%	49	20,0%
49	48	13,3%	78	29,6%	91	34,8%	50	20,0%
50	4	12,5%	59	26,7%	10	34,2%	58	20,0%
51	89	11,1%	72	26,7%	4	33,3%	60	20,0%
52	10	10,0%	45	25,9%	14	33,3%	67	20,0%
53	21	10,0%	100	24,1%	20	33,3%	16	18,1%
54	29	10,0%	46	23,3%	32	33,3%	DS25	18,0%
55	46	10,0%	62	23,3%	73	33,3%	39	16,7%
56	96	10,0%	74	23,3%	95	33,3%	61	16,7%
57	40	8,7%	64	23,1%	55	32,7%	92	16,7%
58	23	7,4%	52	22,2%	18	32,2%	3	14,8%
59	1	6,7%	60	21,9%	19	31,5%	21	14,4%
60	16	6,7%	23	20,0%	9	30,4%	22	14,1%
61	17	6,7%	48	20,0%	22	30,4%	15	13,3%
62	37	6,7%	50	20,0%	29	30,0%	31	13,3%
63	38	6,7%	3	18,5%	3	29,6%	33	13,3%
64	62	6,7%	22	18,5%	68	29,6%	44	13,3%
65	63	6,7%	47	18,5%	88	29,6%	76	13,3%
66	72	6,7%	49	16,7%	15	28,1%	84	13,3%
67	5	4,8%	40	15,0%	7	26,7%	95	13,3%
68	18	3,7%	1	13,3%	21	26,7%	64	10,0%
69	27	3,7%	44	13,3%	92	26,7%	70	10,0%
70	43	3,7%	12	11,1%	13	25,6%	71	10,0%
71	11	3,3%	5	10,0%	17	25,2%	75	10,0%
72	19	3,3%	85	7,9%	71	25,0%	80	7,9%

Pozycja w rankingu	Pszenica, hartowana		Pszenica, rozhartowana		Jęczmień, hartowany		Jęczmień, rozhartowany	
	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia	Nr	% przeżycia
73	22	3,3%	13	6,7%	84	25,0%	2	7,5%
74	28	3,3%	26	6,7%	86	24,8%	11	7,4%
75	32	3,3%	2	3,3%	89	24,4%	32	7,4%
76	47	3,3%	28	3,3%	8	23,3%	28	7,0%
77	59	3,3%	29	3,3%	30	23,3%	27	6,7%
78	61	3,3%	30	3,3%	65	23,3%	30	6,7%
79	64	3,3%	43	3,3%	16	22,2%	36	6,7%
80	2	0,0%	53	3,3%	31	21,9%	43	6,7%
81	3	0,0%	4	0,0%	87	18,5%	51	6,7%
82	6	0,0%	6	0,0%	34	16,7%	59	6,7%
83	7	0,0%	7	0,0%	85	16,7%	78	6,7%
84	8	0,0%	8	0,0%	24	14,8%	79	6,7%
85	9	0,0%	9	0,0%	51	14,8%	82	6,7%
86	13	0,0%	10	0,0%	23	14,4%	85	6,7%
87	39	0,0%	11	0,0%	37	14,4%	87	6,7%
88	41	0,0%	27	0,0%	2	13,3%	35	4,2%
89	42	0,0%	31	0,0%	26	13,3%	20	3,7%
90	44	0,0%	32	0,0%	28	13,3%	23	3,7%
91	49	0,0%	33	0,0%	70	13,3%	25	3,3%
92	51	0,0%	34	0,0%	76	13,3%	40	3,3%
93	52	0,0%	35	0,0%	1	11,1%	42	3,3%
94	53	0,0%	36	0,0%	75	10,0%	45	3,3%
95	54	0,0%	37	0,0%	27	7,4%	46	3,3%
96	55	0,0%	38	0,0%	74	6,7%	81	3,3%
97	56	0,0%	39	0,0%	35	3,7%	83	3,3%
98	57	0,0%	41	0,0%	38	3,3%	86	3,3%
99	58	0,0%	42	0,0%	67	3,3%	88	3,3%
100	60	0,0%	51	0,0%	25	0,0%	1	0,0%
101					36	0,0%	24	0,0%
102					66	0,0%	41	0,0%

Dyskusja

Zarówno w przypadku roślin dobrze zahartowanych, jak i rozhartowanych wyniki pomiarów fluorescencji chlorofilu wykonywane po mrożeniu odciętych liści były zgodne z wynikami oceny przeżywalności roślin. Jest to zgodne z wynikami naszych dotychczasowych prac (Rapacz i wsp. 2015a,b).

Potwierdzona została również hipoteza, dotychczas oparta jedynie na wynikach obserwacji polowych (Rapacz i wsp. 2015b), że wyniki pomiarów fluorescencji chlorofilu wykonywane po mrożeniu odciętych liści mogą wskazać na stopień rozhartowania roślin przed pobraniem próbek. Przy czym, jeden z sugerowanych w cytowanej powyżej pracy jako wskaźnikowy parametr RC/CS₀ okazał się nie być przydatnym do tego celu, być może ze względu na jego niskie zróżnicowanie (dane nieprezentowane).

Uzyskane wyniki potwierdzają poprzednie obserwacje, że tolerancja rozhartowania jest cechą odmienną od mrozoodporności w stanie zahartowanym (Rapacz i wsp. 2017, Wójcik-Jagła i wsp. 2021). Wyniki wskazują również na to, że zróżnicowanie tolerancji rozhartowywania w grupie najbardziej mrozoodpornych rodów jest większe u jęczmienia niż u pszenicy. Wstępnie wskazuje to na konieczność zastosowania innych strategii selekcji u obydwu gatunków, gdzie u pszenicy wystarczy eliminować rody najsilniej reagujące na rozhartowywanie w puli rodów najsilniej mrozoodpornych, podczas gdy u jęczmienia pożądana byłaby równoległa selekcja obydwu cech.

Wnioski

1. Pomiary fluorescencji chlorofilu po mrożeniu liści pobranych z roślin pozwalają na identyfikację roślin rozhartowanych.
2. Zróżnicowanie tolerancji rozhartowywania w grupie najbardziej mrozoodpornych rodów jest większe u jęczmienia niż u pszenicy.

Mierniki dla tematu badawczego 1 (podać w tabeli)

Lp.	miernik ²	wartość miernika podana w opisie zadania	wartość miernika zrealizowana
1.	Liczba przebadanych rodów pszenicy ozimej	100	100
2.	Liczba przebadanych rodów jęczmienia ozimego	100	100

Jeśli któryś z mierników nie został zrealizowany należy podać przyczyny.

3.2 Temat badawczy 2

Cel tematu badawczego 2

Celem tematu badawczego było określenie tolerancji przymrozków wiosennych u badanych rodów (tolerancja rozhartowywania biernego).

Materiały i metody (opisać jak w publikacji)

Materiał roślinny

Materiał badawczy stanowiły te same zestawy rodów/odmian pszenicy ozimej i jęczmienia ozimego co w temacie badawczym 1 (Tabela 1).

Fenotypowanie rozhartowywania biernego (odporności na przymrozki wiosenne)

Nasiona pszenicy i jęczmienia (po 100 rodów) wysiane zostały do pojemników plastikowych z wilgotnym perlitem. Po skiełkowaniu przeniesione zostały do lody chłodniczej (temperatura 5°C, fotoperiod 10/14 godzin) w celu zwernalizowania. Po okresie 8 tygodni (1 dekada kwietnia) rośliny

² Podać miernik – np. ilość testów, prób, badanych genotypów etc.

zostały wysadzone do dwóch doniczek (kontrola i obiekt doświadczalny) o pojemności 3,7 dm³ (5 roślin na doniczkę). W okresie wiosennym rośliny były dwukrotnie nawożone przez podlewanie roztworem saletry amonowej w dawce 0,34 g N / kg gleby. Zabiegi ochrony roślin nie były wykonywane ze względu na brak przekroczenia progów szkodliwości. W fazie BBCH51 (faza największej wrażliwości na przymrozki, w której górna część kłosa/wiechy wyłania się z pochwy liściowej i widoczny jest pierwszy kłosek) rośliny zostały poddane trzem następującym po sobie dobowym cyklom mrożenia. Doniczki zostały przeniesione około godziny 12:00 do komory mroźniowej o temperaturze +5°C (naturalny fotoperiod, światło na poziomie 100 μmol m⁻² s⁻¹ przy użyciu lamp fluorescencyjnych). Następnie o godzinie 2:00 rozpoczęto obniżanie temperatury do temperatury -4°C z szybkością 3°C na 1h. O godzinie 7:00 temperaturę podwyższano do temperatury 5°C również z szybkością 3°C/h. Po trzykrotnym powtórzeniu cyklu rośliny zostały przeniesione wieczorem z komory vegetacyjnej do warunków polowych. W przypadku wariantu kontrolnego rośliny przeniesione były w tym samym czasie do komory vegetacyjnej o temperaturze 5°C i analogicznych do wyżej opisanych warunków świetlnych. Wróciły one do warunków polowych w tym samym czasie co wariant mrożony. Wskaźnikiem tolerancji przymrozku był spadek plonu nasion w stosunku do roślin kontrolnych. Po zakończeniu wegetacji kłosa zostały policzone oraz ręcznie wymłócone i doczyszczane dmuchawą. Następnie z pomocą urządzenia Contador (Pfeuffer, Niemcy) zostały policzone, a następnie zważone ziarniaki. Wyliczana była masa 1000 ziaren, liczba ziaren w kłosie, obsada kłosów na m² oraz plon ziarna w t/ha.

Wyniki (opisać jak w publikacji)



Ryc. 2. Zdjęcia uszkodzeń przymrozkowych wykonane w trzy tygodnie po przymrozku (trzykrotnie -4°C przez 2 godziny w fazie kłoszenia BBCH51).

Przymrozek działający w fazie kłoszenia powodował wyraźnie widoczne uszkodzenia (Ryc. 2). Były to zarówno uszkodzenia liści, (nekrozy), kłosów (zamieranie wszystkich bądź części kłosek), jak i zaburzenia rozwojowe (deformacje kłosów). Uszkodzenia widoczne były przede wszystkim u pszenicy. U obydwu badanych gatunków rośliny poddane działaniu przymrozków dojrzewały później w stosunku do kontroli. Opóźnienie to wynosiło 7-10 dni w przypadku pszenicy i 5-7 dni u jęczmienia (dane nieprezentowane). Przymrozki wpłynęły też na komponenty struktury plonu (Tabela 6). W przypadku pszenicy zaobserwowano spadek liczby ziaren w kłosie i wysoki spadek plonu, przy statystycznie nieistotnych różnicach w obsadzie kłosów na m² i masie tysiąca ziaren (MTZ). Natomiast u jęczmienia

spadła obsada kłosów (i źdźbeł), wzrosła liczba ziaren w kłosie, spadła ich masa jednostkowa i w konsekwencji nie zaobserwowano statystycznie istotnej obniżki plonu.

Tabela 6. Wpływ przymrozków (trzykrotnie -4°C przez 2 godziny w fazie kłoszenia BBCH51) na plonowanie pszenicy ozimej i jęczmienia ozimego. Wartości średnie dla wszystkich badanych rodów. Różnice statystycznie istotne zaznaczono gwiazdkami dla P=0,05 *, P=0,01 ** i P=0,001 ***.

Gatunek	obsada źdźbeł / m ²		obsada kłosów / m ²		liczba ziaren w kłosie		MTZ (g)		plon (t/ha)	
	kontrola	przymrozek	kontrola	przymrozek	kontrola	przymrozek	kontrola	przymrozek	kontrola	przymrozek
pszenica	968	931	608	629	32***	25***	30,6	30,3	59,6***	47,8***
jęczmień	1416***	1194***	701*	619*	15,4*	18,6*	37,9***	33,4***	40,8	38,5

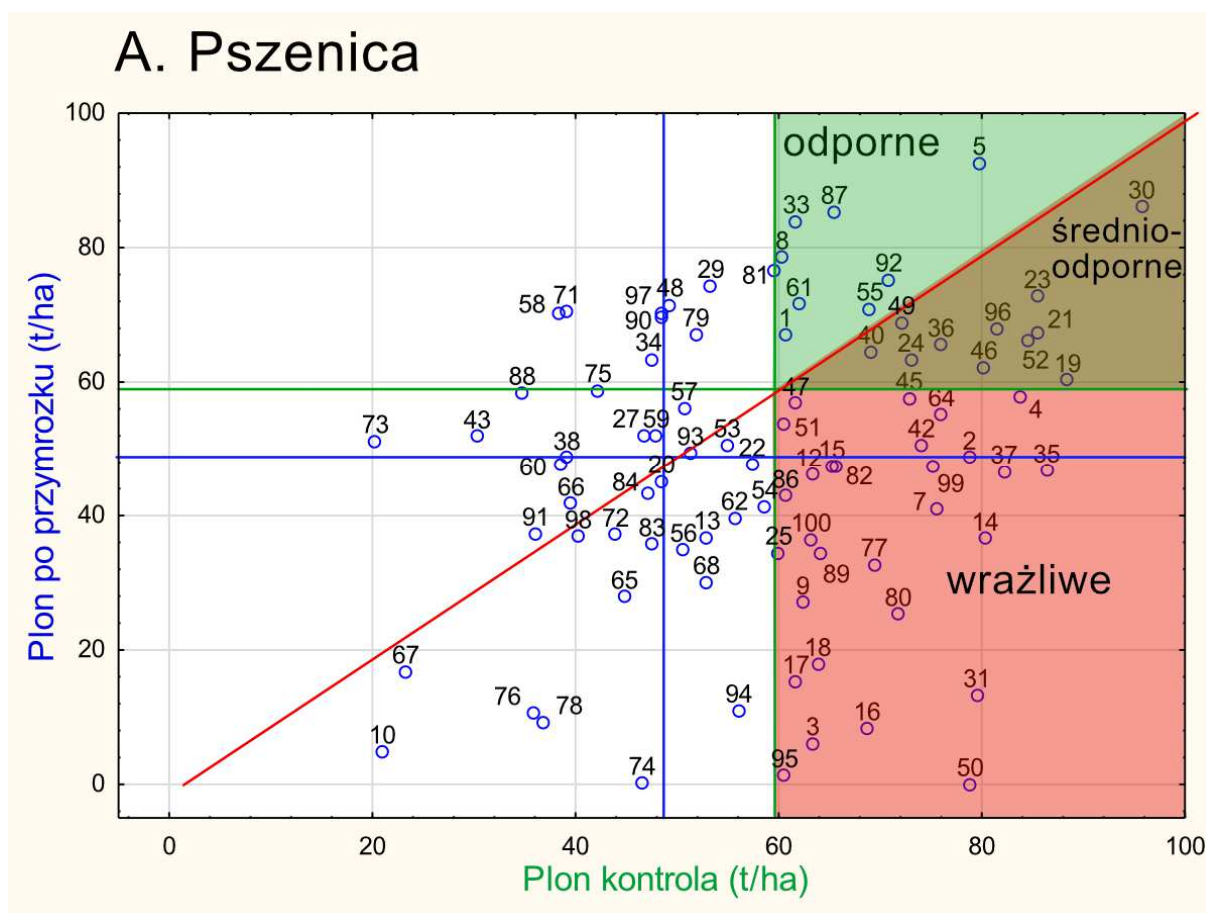


Tabela 7. Ranking odporności roślin pszenicy i jęczmienia na przymrozki w fazie generatywnej oparty o względną utratę wysokości plonu na skutek działania przymrozka. Wartości ujemne oznaczają plon wyższy niż w kontroli. W rankingu uwzględniono jedynie rody/odmiany plonujące w kontroli powyżej średniej.

Pozycja w rankingu	Pszenica		Jęczmień	
	nr rodu	% utraty plonu	nr rodu	% utraty plonu
1.	33	-35,9%	38	-49,2%
2.	87	-30,3%	86	-43,8%
3.	8	-30,1%	88	-43,0%
4.	5	-16,1%	100	-31,3%
5.	61	-15,4%	62	-29,9%
6.	1	-10,5%	41	-15,4%
7.	92	-6,2%	44	-12,9%
8.	55	-2,8%	64	-3,2%
9.	49	4,5%	68	-2,7%
10.	40	6,7%	9	-2,7%
11.	47	7,9%	1	-0,3%
12.	30	10,1%	6	3,4%
13.	51	11,4%	53	5,4%
14.	24	13,3%	4	5,5%
15.	36	13,7%	34	5,8%
16.	23	14,9%	18	6,6%
17.	96	16,7%	16	7,8%
18.	45	20,9%	37	7,9%
19.	21	21,4%	96	9,6%
20.	52	21,7%	63	11,6%
21.	46	22,5%	29	14,5%
22.	26	25,5%	89	16,0%
23.	12	27,0%	91	17,7%
24.	15	27,3%	74	19,3%
25.	64	27,4%	19	20,0%
26.	82	27,9%	24	20,8%
27.	86	29,3%	73	22,2%
28.	4	31,2%	10	22,4%
29.	42	31,7%	59	23,2%
30.	19	31,9%	15	23,6%
31.	99	37,2%	55	25,7%
32.	2	38,1%	39	31,0%
33.	100	42,3%	27	32,7%
34.	25	42,6%	71	35,0%
35.	37	43,3%	11	36,1%
36.	35	45,8%	35	39,0%
37.	7	45,9%	26	39,3%
38.	89	46,7%	80	41,4%
39.	77	52,9%	25	43,6%
40.	14	54,5%	94	46,2%
41.	9	56,6%	54	47,4%
42.	28	63,8%	87	47,9%
43.	80	64,7%	21	49,2%
44.	18	72,0%	99	50,3%

Pozycja w rankingu	Pszenica		Jęczmień	
	nr rodu	% utraty plonu	nr rodu	% utraty plonu
45.	17	75,2%	46	50,3%
46.	31	83,3%	51	52,4%
47.	16	87,9%	90	54,4%
48.	3	90,4%	56	59,5%
49.	95	97,8%	7	60,9%
50.	50	100,0%	81	80,8%
51.			65	89,0%
52.			92	89,6%

Dyskusja

Uzyskane wyniki potwierdzają poważne problemy, jakie wiązać mogą się z działaniem przymrozków w fazie rozwoju generatywnego zbóż. W literaturze dominowały dotychczas doniesienia dotyczące pszenicy ozimej, podczas gdy w przypadku jęczmienia brak było wystarczających informacji (Xiao i wsp. 2018). Przeprowadzone badania wskazały na około 20% utratę plonu w przypadku pszenicy. W przypadku jęczmienia obniżka plonu była nieznaczna i statystycznie nieistotna natomiast znacznie obniżona została masa tysiąca nasion, czyli obniżona została jakość plonu. Jęczmień zdaje się więc być mniej wrażliwy na przymrozki w fazie generatywnej niż pszenica, ale mogą mieć one negatywny wpływ ekonomiczny również u tego gatunku.

Warto wstępnie zauważyć, że obydwa badane gatunki w odmienny sposób reagują w fazie regeneracji po przymrozkach. U jęczmienia przymrozki ograniczają krzewienie, wywołują niekiedy deformacje kłosów (Ryc. 3), ale wydaje się, że te niekorzystne zjawiska kompensowane są poprzez zwiększenie liczby ziaren w kłosie (kosztem ich masy). W efekcie straty w plonie są nieznaczne. U pszenicy uszkodzenia kłosków są nieodwracalne, a rośliny starają się dodatkowo kłosić co nie jest, jak się okazuje, skuteczne dla utrzymania stabilności plonu. Potwierdza to znane z literatury dane dotyczące pszenicy (Wu i wsp. 2014).

Istotną obserwacją jest to, że w obrębie gatunku odporność na przymrozki w fazie generatywnej jest zróżnicowana, co daje perspektywę dla prowadzenia skutecznej selekcji materiałów hodowlanych. Trzeba też wziąć pod uwagę fakt, że rośliny później wchodzące w fazę generatywną będą mniej wrażliwe na przymrozki. Cecha wczesności nie była w naszym doświadczeniu badana ze względu na przyjętą metodykę. Należy jednak uznać, że późniejsze wchodzenie w fazę rozwoju generatywnego nie zawsze zapewni wystarczającą ochronę przed przymrozkami wiosennymi, których występowanie może opóźnić się w stosunku do szybkości rozwoju roślin wiosną.

Niezbyt pozytywną informacją jest natomiast to, że tolerancja rozhartowywania aktywnego nie ma najprawdopodobniej wspólnego podłoża z odpornością na przymrozki wiosenne (rozhartowywanie bierne), co wymaga odrębnej selekcji obydwu cech. Stwierdzenie to nie powinno jednak dziwić zważywszy na dotychczasowe doniesienia literaturowe. Podstawą tolerancji rozhartowywania „aktywnego” jest wolniejsze uruchamianie procesów regeneracyjnych w warunkach przejściowego ocieplenia (Wójcik-Jagła i wsp. 2021). W przypadku rozhartowywania biernego przyczyną uszkodzeń jest wyższa wrażliwość primordiów generatywnych na zamarzanie, natomiast przyczyny ewentualnej odporności nie są poznane. Wiadomo jedynie, że w organach generatywnych główną przyczyną ich śmierci jest zamarzanie wody w naczyniach (Livingstone i wsp. 2006).

Jednakże w pojedynczym przypadku można zaobserwować, że ród pszenicy STH87 (numer doświadczalny 87) wykazał najwyższą mrozoodporność po zahartowaniu oraz bardzo wysoką tolerancję przymrozka (drugie miejsce w rankingu). W dodatku był on również jednym z najlepszych (ex-equo 6 miejsce w rankingu) po zahartowaniu aktywnym. Świadczy to o tym, że cechy wysokiej mrozoodporności w stanie zahartowanym oraz rozhartowanym biernie i aktywnie mogą wystąpić łącznie, co czyni takie rody zimotrwałymi w warunkach zmieniającego się klimatu.

Wnioski

1. Pszenica jest bardziej wrażliwa na przymrozki występujące w fazie generatywnej niż jęczmień.

2. U pszenicy w wyniku działania przymrozka może dojść do znaczącej utraty plonu, podczas gdy u jęczmienia przymrozki będą wpływać głównie na obniżenie jakości ziarna.
3. U obydwu gatunków tolerancja przymrozków w fazie generatywnej (tolerancja rozhartowywania biernego) jest genotypowo zróżnicowana.
4. Tolerancja rozhartowywania biernego ma najprawdopodobniej inne podłoże genetyczne niż tolerancja rozhartowywania aktywnego (w ciągu zimy).
5. Cechy tolerancji rozhartowywania biernego i aktywnego mogą występować jednocześnie, również u genotypów mrozoodpornych po zahartowaniu.

Mierniki dla tematu badawczego 2 (podać w tabeli)

Lp.	miernik ³	wartość miernika podana w opisie zadania	wartość miernika zrealizowana
1.	Liczba przebadanych rodów pszenicy ozimej	100	100
2.	Liczba przebadanych rodów jęczmienia ozimego	100	100

Jeśli któryś z mierników nie został zrealizowany należy podać przyczyny.

Wykaz cytowanej literatury:

- Gu L i in. (2008) The 2007 eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world? *Bioscience* 58: 253-262.
- Hömmo LM (1994) Hardening of some winter wheat (*Triticum aestivum* L.), Triticale (*Triticosecale Wittmack*) and winter barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars during autumn and the final winter survival in Finland. *Plant Breed* 112:285–293.
- Koch, M. D., E. O. Lehman, 1969: Resistenzeigenschaften im Gersten-und Weizensortiment Gatersleben, 7 Prüfung der Frostresistenzpflanze. D.A.I. XIV, 263–282.
- Li, X., Cai, J., Liu, F., Dai, T., Cao, W., and Jiang, D. (2015). Spring Freeze Effect on Wheat Yield is Modulated by Winter Temperature Fluctuations: Evidence from Meta-Analysis and Simulating Experiment. *J. Agron. Crop Sci.* 201, 288–300
- Livingston III D.P., Tallury S.P., Owens S.A., Livingston J.D., Premkumar R. 2006. Freezing in nonacclimated oat: thermal response and histological observations of crowns during recovery. *Can. J. Bot.* **84**: 199–210.
- Rapacz M (2002) Regulation of frost resistance during cold deacclimation and reacclimation in oilseed rape. A possible role of PSII redox state. *Physiol Plant* 115:236–243
- Rapacz M, Ergon Å, Höglind M, Jørgensen M, Jurczyk B, Østrem L, Rognli OA, Tronsmo AM (2014) Overwintering of herbaceous plants in a changing climate – still more questions than answers. *Plant Sci*, 225:34-44
- Rapacz M., Sasal M., Gut M. 2011. Chlorophyll fluorescence - based studies of frost damage and the tolerance for cold-induced photoinhibition in freezing tolerance analysis of triticale (×*Triticosecale Wittmack*). *J. Agron. Crop. Sci.*, 197(5) 378-389.
- Rapacz M., Sasal M., Wójcik-Jagła M., 2015a. Direct and indirect measurements of freezing tolerance: Advantages and limitations. *Acta Physiologiae Plantarum* 37:157, doi:10.1007/s11738-015-1907-7.
- Rapacz M., Sasal M., Kalaji H.M., Kościelniak J., 2015b. Is the OJIP test a reliable indicator of winter hardiness and freezing tolerance of common wheat and triticale under variable winter environments? *PLoS ONE* 10(7): e0134820. doi: 10.1371/journal.pone.0134820.
- Rapacz M., Jurczyk B., Sasal M., 2017. Deacclimation may be crucial for winter survival of cereals under warming climate. *Plant Sci*, 256, 5–15.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., & Govindjee. (1995). Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria. *Photochemistry and photobiology*, 61(1), 32-42.
- Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., 2001. Stress in plants, from daily rhythm to global changes, detected and quantified by the JIP-Test. *Chimie Nouvelle (SRC)* 75: 3321–3326.
- Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Srivastava A., 2004. Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. W: Papageorgiou G.C., Govindjee (red.), *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis*. Springer, Holandia, str. 321–362.
- Wójcik-Jagła M., Daszkowska-Golec A., Fiust A., Kopec P., Rapacz M. 2021. Identification of the Genetic Basis of Response to De-Acclimation in Winter Barley. *International Journal of Molecular Sciences* 22(3):1057
- Wu, Y., Zhong, X., Hu, X., Ren, D., Lv, G., Wei, C., Song, J., 2014. Frost affects grain yield components in winter wheat. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* 42 (3), 194–204.

³ Podać miernik – np. ilość testów, prób, badanych genotypów etc.

Xiao, L., Liu, L., Asseng, S., Xia, Y., Tang, L., Liu, B., et al. (2018). Estimating spring frost and its impact on yield across winter wheat in China. *Agric. For. Meteorol.* 260–261, 154–164

4. Informacja nt. prezentacji wyników badań (podać w tabeli - należy wymienić konferencje, na których zaprezentowano wyniki i/lub wymienić publikacje, które zostały przygotowane i przyjęte do druku w trakcie realizacji zadania w danym roku).

Prezentacja wyników na konferencjach				
lp.	konferencja	prezentacja ⁴	liczba prezentacji podana w opisie zadania	liczba prezentacji zrealizowana
1			0	0
Publikacje w monografiach/czasopismach recenzowanych				
lp.	monografia/czasopismo	publikacja ⁵	liczba publikacji podana w opisie zadania	liczba publikacji zrealizowana
1	-	-	0	0

Załączniki⁶:

brak

5. Adres, pod którym wyniki badań są dostępne na stronie internetowej wnioskodawcy

<https://projekty.urk.edu.pl/index/site/7635>

⁴ Podać, czy planowany jest wykład plenarny, doniesienie konferencyjne czy poster.

⁵ Podać, czy planowana jest publikacja oryginalna, czy np. polemika, list do edytora, rozdział w monografi etc.

⁶ Podać listę oraz dołączyć do sprawozdania kopie posterów/wyciągi z materiałów konferencyjnych/publikacje etc.

W nawiasie podać, na której stronie sprawozdania znajdują się prezentowane wyniki.

1. Miernik zadania – stopień realizacji

Lp.	miernik	wartość miernika podana w opisie zadania	wartość miernika zrealizowana	stopień realizacji zadania
temat badawczy 1				
1.	Liczba przebadanych rodów pszenicy ozimej	100	100	1,00
2.	Liczba przebadanych rodów jęczmienia ozimego	100	100	1,00
temat badawczy 2				
1.	Liczba przebadanych rodów pszenicy ozimej	100	100	1,00
2.	Liczba przebadanych rodów jęczmienia ozimego	100	100	1,00
			ŚREDNIA	1,00
			% REALIZACJI ZADANIA	100%

Sporządzono:

Pieczęć jednostki

Osoba reprezentująca jednostkę

Kierownik zadania

data

podpis i pieczęć

podpis