

Porównanie metod kiełkowania nasion konopi z uwzględnieniem tempa rozwoju siewek

Emil S. Karolak

14 lutego 2026



Szkoła Zioła

1. WSTĘP

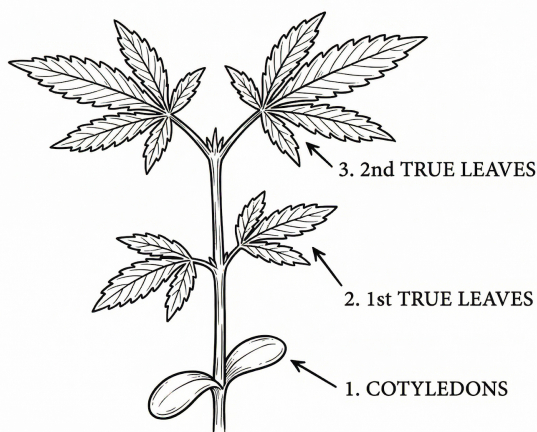
1.1 Kontekst i uzasadnienie badania

Kiełkowanie nasion jest kluczowym etapem w uprawie roślin, a wybór odpowiedniej metody może znacząco wpłynąć na sukces całego procesu. Pomimo istnienia wielu tradycyjnych i nowoczesnych metod kiełkowania, brakuje systematycznych porównań ich skuteczności w kontrolowanych warunkach - szczególnie dla nowoczesnych kultywarów konopi siewnej (*Cannabis sativa L.*). Niniejsze badanie ma na celu wypełnienie tej luki poprzez przeprowadzenie rygorystycznego eksperymentu porównawczego ze zwróceniem szczególnej uwagi na metody zapewniające po kiełkowaniu także najszybszy rozwój w medium docelowym.

1.2 Cel badania

Celem badania jest określenie, która metoda kiełkowania nasion zapewnia:

- a) Najwyższy wskaźnik kiełkowania nasion (% skiełkowanych nasion)
- b) Najkrótszy czas do osiągnięcia założonego stadium rozwoju siewki (minimum 20-milimetrowy liść właściwy na węźle nr 2 [licząc od dołu: liścienie, węzeł nr 1, węzeł nr 2, etc.] - mierzone jako długość najdłuższej blaszki liściowej najdłuższego liścia na odpowiednim węźle - wartość może być inaczej opisana jako najdłuższy wymiar liścia nie licząc ogonka liściowego)



- c) Najwyższą przeżywalność siewek po przesadzaniu do kubeczka solo cup

1.3 Hipotezy robocze

- *H1*: Metody z wstępnym namaczaniem w wodzie przyspieszają proces kiełkowania w porównaniu do metod bez namaczania. Namaczanie w wodzie powoduje aktywację metabolizmu nasienia i przyspieszenie procesu kiełkowania.

- *H2*: Dodatek perhydroflu (H₂O₂) wpłynie pozytywnie na wskaźnik kiełkowania poprzez działanie przeciwgrzybiczne i natleniające. Oczekuje się, że metody zawierające H₂O₂ wykażą wyższe wskaźniki kiełkowania i zdrowsze siewki.
- *H3*: Metody oferujące najszybsze kiełkowanie nasion niekoniecznie zapewnią najszybsze osiągnięcie założonego stadium rozwoju siewki opisanego w punkcie 1.2b. Kiełkowanie to inny proces fizjologiczny niż wzrost części nadziemnej. Metoda optymalnego kiełkowania może okazać się niekorzystna dla dalszego wzrostu.

2. METODOLOGIA

2.1 Projekt badawczy i analiza statystyczna

Randomizowany, prospektywny eksperyment przeprowadzony zostanie na 10 nasionach dla każdej z 20 grup eksperymentalnych testowanych metod (łącznie 200 nasion). Taka wielkość próby umożliwia obliczenie średnich, odchyleń standardowych oraz przeprowadzenie wiarygodnej analizy statystycznej.

Dane zostaną poddane analizie wariancji ANOVA jednoczynnikowej oraz testowi post-hoc Tukey HSD w celu określenia istotności różnic między metodami.

2.1.1 Traktowanie obserwacji NWK w analizach statystycznych

Dla zapewnienia spójności i wiarygodności analiz, obserwacje oznaczone jako NWK (nie wykiełkowane lub nie wzeszły) są traktowane różnie w zależności od typu analizy. Takie podejście umożliwia pełniejszą charakterystykę metod, uwzględniającą zarówno niezawodność (wskaźnik sukcesu) jak i efektywność (tempo i jakość wzrostu udanych siewek).

W analizie wariancji (ANOVA): NWK traktowane jako 0 mm wysokości.

- Uwzględnia całkowitą porażkę metody w analizie statystycznej
- Zapewnia równe liczebności grup (n=10 dla każdej metody)
- Pozwala na ocenę rzeczywistego wpływu metody na sukces uprawy

W pozostałych analizach (średnie grupowe, odchylenia standardowe, korelacje, ranking): NWK są wyłączone z obliczeń, a średnie obliczane wyłącznie z obserwacji z udanym wzejściem. Pozwala na niezależną ocenę:

- Skuteczności metody (% udanych kiełkowań) - jako odrębny wskaźnik
- Jakości wzrostu siewek (średnia wysokość) - dla udanych przypadków

2.2 Pochodzenie nasion

Wybrany do eksperymentu materiał siewny pochodzi z tej samej partii, z jednej rośliny-matki i został przygotowany we własnym zakresie. Kultywar to "Jedi Council Kush F2" [Jedi Council Kush x Jedi Council Kush]. Materiał został starannie wysuszony a następnie był przechowywany w lodówce w temperaturze ok. 4°C przez okres 23 miesięcy od zbioru. Dla wszystkich metod oprócz metody 19 nasiona zostaną wyjęte z lodówki i będą przechowywane w temperaturze pokojowej (22-24°C) przez 24 godziny przed rozpoczęciem badania.

2.3 Badane metody

Eksperyment obejmuje następujące 20 metod kiełkowania:

1. Moczenie w wodzie do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do solo cup
2. Moczenie w wodzie z perhydrolem (1%) do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do solo cup
3. Moczenie na wilgotnym ręczniku papierowym do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do solo cup
4. Moczenie na wilgotnym waciku higienicznym do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do solo cup
5. Moczenie w wodzie 24h, następnie moczenie na wilgotnym ręczniku papierowym do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do solo cup
6. Moczenie w wodzie 24h, następnie moczenie na wilgotnym waciku higienicznym do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do solo cup
7. Wilgotna kostka peat do kiełkowania typu easy-plug do ukazania się pierwszego korzenia dołem lub bokiem, następnie przesadzenie do solo cup
8. Moczenie w wodzie 24h, następnie wilgotna kostka peat do kiełkowania typu easy-plug do ukazania się pierwszego korzenia dołem lub bokiem, następnie przesadzenie do solo cup
9. Wilgotna kostka rockwool do ukazania się pierwszego korzenia dołem lub bokiem, następnie przesadzenie do solo cup
10. Moczenie w wodzie 24h, następnie wilgotna kostka rockwool do ukazania się pierwszego korzenia dołem lub bokiem, następnie przesadzenie do solo cup
11. "Jiffy pot" do ukazania się pierwszego korzenia dołem lub bokiem, następnie przesadzenie do solo cup
12. Moczenie w wodzie 24h, następnie "Jiffy pot" do ukazania się pierwszego korzenia dołem lub bokiem, następnie przesadzenie do solo cup
13. Wysianie bezpośrednio w ziemi w kubeczku solo cup
14. Moczenie w wodzie 24h, następnie przesadzenie do kubeczka solo cup
15. Moczenie w wodzie 48h, następnie przesadzenie do kubeczka solo cup
16. Moczenie w wodzie z perhydrolem (1%) 24h, następnie przesadzenie do kubeczka solo cup
17. Moczenie w wodzie z perhydrolem (1%) 48h, następnie przesadzenie do kubeczka solo cup

18. Skaryfikacja mechaniczna (lekkie przetarcie papierem ściernym), następnie moczenie w wodzie do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do kubeczka solo cup
19. Stratyfikacja na zimno (48h w lodówce 4°C), następnie moczenie w wodzie do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do kubeczka solo cup
20. Moczenie w wodzie z kwasem giberelinowym (GA₃) do ukazania się minimum 5 mm korzonka, następnie przesadzenie do kubeczka solo cup

2.4 Zmienne kontrolowane

Aby wyniki były miarodajne, wszystkie próbki będą miały zapewnione identyczne warunki:

- **Temperatura:** 25.1±0.6°C
- **Wilgotność powietrza:** 70.5±1.5%
- **Światło:** ciemność w fazie kiełkowania, później 18h światła na dobę, natężenie 110-150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- **Jakość wody:** ta sama woda dla wszystkich metod, bez nawozów i dodatków, pH 5.8, EC 0.2
- **Pochodzenie nasion:** własna krzyżówka, ta sama matka i partia, data ważności (patrz punkt 2.2)
- **Czas rozpoczęcia:** wszystkie metody startują równocześnie
- **Stężenie perhydrolu:** 1% roztwór
- **Pojemniki:** jednakowe dla każdej metody (plastikowe szalki Petriego lub plastikowa taca na sadzonki, następnie kubeczki solo cup)

2.5 Zmienne mierzone

1. **Wskaźnik kiełkowania:** (liczba roślin nad powierzchnią medium / liczba zasianych) × 100%
[więcej = lepiej]
2. **Czas do wejścia:** liczba dni do wejścia nad powierzchnię medium [mniej = lepiej]
3. **Czas do celu:** liczba dni do osiągnięcia założonego stadium rozwoju siewki (punkt 1.2b) [mniej = lepiej]
4. **Wysokość siewki i ilość węzłów:** w momencie zakończenia eksperymentu (część nadziemna)
[więcej = lepiej]

2.6 Wybór najlepszej metody

Dla każdej z metod zostanie obliczony wynik końcowy w postaci wskaźnika **WIGOR (Wskaźnik Integrujący Germinację Oraz Rozwój)** na podstawie poniższych parametrów:

- $H_{\bar{x}}$ = średnia wysokość w milimetrach znormalizowana metodą min-max do zakresu 0-10 (więcej = lepiej)
- $N_{\bar{x}}$ = średnia liczba węzłów znormalizowana metodą min-max do zakresu 0-10 (więcej = lepiej)
- G_{η} = skuteczność kiełkowania zamieniona na ułamek dziesiętny i pomnożona przez 10 (konwersja wartości procentowej na zakres 0-10; więcej = lepiej)
- S_{η} = skuteczność w osiągnięciu stadium 1.2b zamieniona na ułamek dziesiętny i pomnożona przez 10 (konwersja wartości procentowej na zakres 0-10; więcej = lepiej)
- $T_{\bar{x}}$ = średnia liczba dni do osiągnięcia stadium 1.2b znormalizowana metodą min-max do zakresu 0-10 i pomnożona przez -1 (konwersja na wartość ujemną; krócej = lepiej)

według wzoru:

$$\text{WIGOR} = H_{\bar{x}} + N_{\bar{x}} + G_{\eta} + S_{\eta} + T_{\bar{x}}$$

Następnie wszystkie metody zostaną uszeregowane malejąco pod względem **WIGOR**, a metoda z najwyższym wskaźnikiem zostanie uznana za najbardziej efektywną.

Uzasadnienie: Po normalizacji, która zniweluje wpływ uwzględnienia w obliczeniu parametrów różnego typu i rzędów wielkości (np. wysokość [0-85] i liczba węzłów [0-5]) parametry zostaną dodane. Parametry dodatnie są pozytywne i reprezentują cechy pożądane. Ujemne ważenie parametru dotyczącego liczby dni do osiągnięcia stadium 1.2b (mnożnik -1) odzwierciedla fakt, że **krótszy** czas do stadium docelowego jest pożądany – metody szybsze powinny być premiowane wyższym wskaźnikiem – a więc ten parametr jest efektywnie odejmowany od sumy parametrów pozytywnych. Z racji niemożliwości oceny stopnia wpływu poszczególnych parametrów na mierzony efekt zakłada się jednakową wagę wszystkich parametrów równania. Jako że pozostałe parametry jak temperatura, wilgotność powietrza, natężenie światła, fotoperiod, kultywar itd. były identyczne dla wszystkich metod i próbek, można z dużą dozą pewności stwierdzić że metoda o najwyższej sumie parametrów pozytywnych przy jednocześnie najniższej wartości parametru negatywnego jest metodą optymalną.

Normalizacja wg wzoru: $X_{\text{norm}} = (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \times 10$

3. HARMONOGRAM EKSPERYMENTU

3.1 Faza przygotowawcza (dni -3 do -1)

Dzień -3 lub wcześniej:

- Zakup wszystkich materiałów (media, pojemniki)
- Przygotowanie miejsca eksperymentu (wyznaczenie strefy o stałej temperaturze)

Dzień -2:

- Oczyszczenie i dezynfekcja wszystkich pojemników (spirytus lub środek dezynfekujący)
- Oznaczenie pojemników (naklejki z numerami metod)
- Kalibracja termometru/higrometru i miernika pH

Dzień -1:

- Przygotowanie dokumentacji (wydruk pustych tabel pomiarowych)
- Przygotowanie mediów wymagających 24h namaczania (kostki rockwool)
- Wyjęcie 190 (z 200) nasion z lodówki i przechowywanie ich w temperaturze pokojowej
- Losowe przypisanie nasion do grup (aby wyeliminować stroniczość)

3.2 Faza aktywna (Dzień 0 - koniec eksperymentu)

Dzień 0 (Godzina 0) - START:

- Przygotowanie roztworu perhydrołu (1%)
- Przygotowanie i nasączenie mediów
- Rozpoczęcie testu wszystkich metod o tej samej porze
- Dokumentacja foto-video (zdjęcie każdej próby)

Dni 1-7 (lub dłużej):

- **Co 24 godziny:** sprawdzanie postępu kiełkowania
- **Co 24 godziny:** uzupełnianie wilgoci
- **Co 24 godziny:** notowanie temperatury i wilgotności powietrza
- Dokumentacja przebiegu eksperymentu

Moment przesadzenia (gdy kiełek osiągnie stadium docelowe [długość korzonka $\geq$ 5 mm lub wyjście korzeni z kostki medium]):

- Przesadzenie do jednolitego medium (kubeczki solo cup z tą samą ziemią)
- Dokumentacja fotograficzna

Dni 8-14 (po przesadzeniu):

- Monitoring przeżywalności
- Pomiary i dokumentacja wzrostu

3.3 Faza analityczna (po zakończeniu zbierania danych)

- Wprowadzenie danych do arkusza kalkulacyjnego
- Analiza statystyczna
- Przygotowanie wykresów i tabel
- Napisanie raportu końcowego
- Publikacja wyników badania

4. ANALIZA WYNIKÓW

4.1 Dane demograficzne i warunki eksperymentu

Łączna liczba nasion: 200 (10 sztuk na każdą badaną metodę)

Okres badawczy: 20 dni (23.11.2025 - 12.12.2025)

Początek eksperymentu: 23 listopada 2025, godzina 02:00-03:00 CET

Temperatura średnia: $25.1^{\circ}\text{C} \pm 0.6^{\circ}\text{C}$

Wilgotność średnia: $70.5\% \pm 1.5\%$

Warunki: Wiarygodnie utrzymane dla wszystkich grup

4.2 Jednoczynnikowa ANOVA

Hipoteza zerowa (H_0): Nie ma istotnych różnic między średnimi wysokościami siewek dla wszystkich 20 metod.

Dane:

- Liczba grup: 20
- Łączna liczba obserwacji: 200
- Zmienna zależna: Wysokość siewki [mm]
- Konwencja analityczna: obserwacje NWK (nie wykiełkowane/nie wzeszły) traktowane jako 0 mm dla celów analizy wariancji
- ANOVA ocenia ogólną różnicę między metodami (włącznie z porażkami)

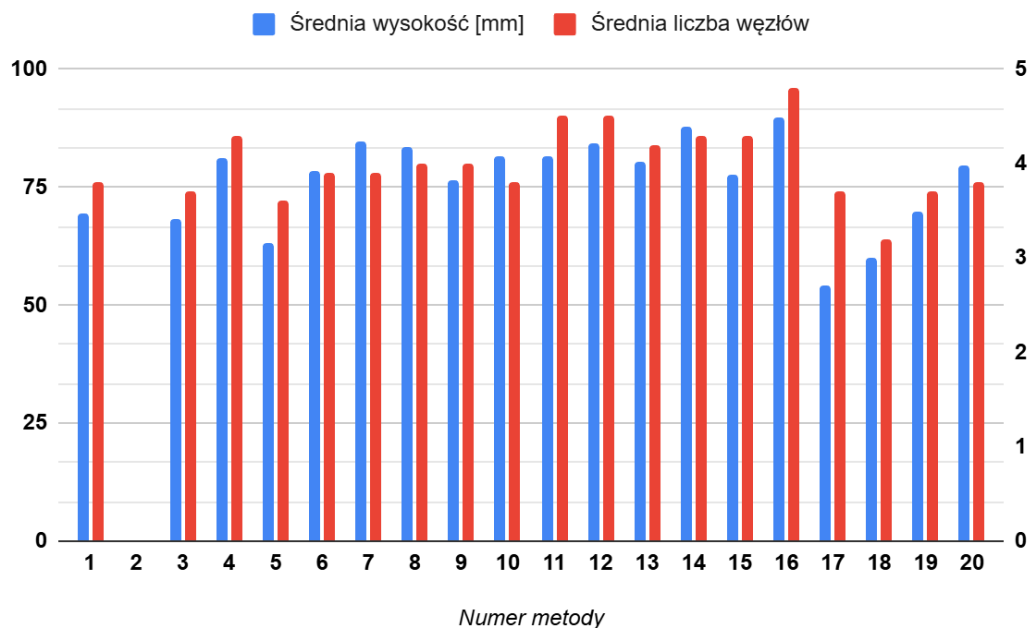
Wyniki:

Źródło	SS	df	MS	F	p-wartość
Między grupami	123379	19	6493.6	10.25	< 0.0001
Wewnątrz grup	114006	180	633.4		
Ogółem	237385	199			

η^2 (eta-kwadrat) = 123379 / 237385 = 0.52 (52% wariancji wyjaśnione przez metodę)

Wniosek:

Analiza wariancji wykazała wysoce istotną różnicę [$F(df_1, df_2) = F(19, 180) = 10.25, p < 0.0001$] między średnimi wysokościami siewek dla różnych metod kiełkowania. Wielkość efektu ($\eta^2 = 0.52$) wskazuje, że **52%** zmienności wysokości siewek jest wyjaśniane przez wybór metody kiełkowania, a pozostałe 48% może być przypisane zmienności biologicznej w obrębie próby lub niezdefiniowanymi zmiennymi zaburzającymi. Wnioskuje, że metoda kiełkowania ma statystycznie i biologicznie istotny wpływ na fenotyp morfologiczny młodych roślin *Cannabis sativa* L.



4.2.1 Test homogeniczności wariancji Levene'a

Test Levene'a wykazał istotną heterogeniczność wariancji między grupami ($p < 0.0001$), ze stosunkiem największej do najmniejszej wariancji wynoszącym około 26:1 (M20: $SD \approx 42.8$ vs M12: $SD \approx 8.4$).

Szczególnie metody M2 ($SD=0$, 100% porażka), M18 ($SD=33.0$) i M20 ($SD \approx 42.8$) wykazały odchylenia znacząco różniące się od pozostałych grup ($SD=6.9-16.6$ mm).

Mimo heterogeniczności, wynik F-testu ANOVA ($F=10.25$, $p<0.0001$) pozostaje wiarygodny ze względu na:

1. Zbalansowany projekt ($n=10$ dla każdej metody)
2. Dużą wielkość próby ($N=200$)
3. Wysoką istotność statystyczną ($p<0.0001$)

Standardowa ANOVA jest uznawana za odporną (robust) na łamanie założenia homogeniczności w warunkach równych liczebności grup (Glass et al., 1972; Lix et al., 1996).

4.3 Test post-hoc: Tukey HSD

Porównania parowe między grupami (dla metod o najwyższych wynikach):

Porównanie	Różnica	95% CI	p-value
M16 vs M2	+89.6	[77.5 - 101.7]	< 0.0001
M16 vs M17	+35.6	[22.0 - 49.2]	< 0.0001
M16 vs M18	+29.6	[15.9 - 43.3]	< 0.0001
M16 vs M1	+20.2	[6.6 - 33.8]	0.002
M14 vs M17	+33.9	[20.2 - 47.6]	< 0.0001
M7 vs M18	+24.8	[11.1 - 38.5]	< 0.0001
M8 vs M5	+20.1	[6.4 - 33.8]	0.002

Najważniejsze różnice istotne statystycznie:

- Metoda 16 siewki są istotnie wyższe od metod: 17, 18, 19, 1, 3, 5, 2
- Metoda 14 siewki są istotnie wyższe od metod: 17, 18, 19, 1, 3, 5
- Metoda 7 siewki są istotnie wyższe od metod: 18, 19, 1, 3, 5

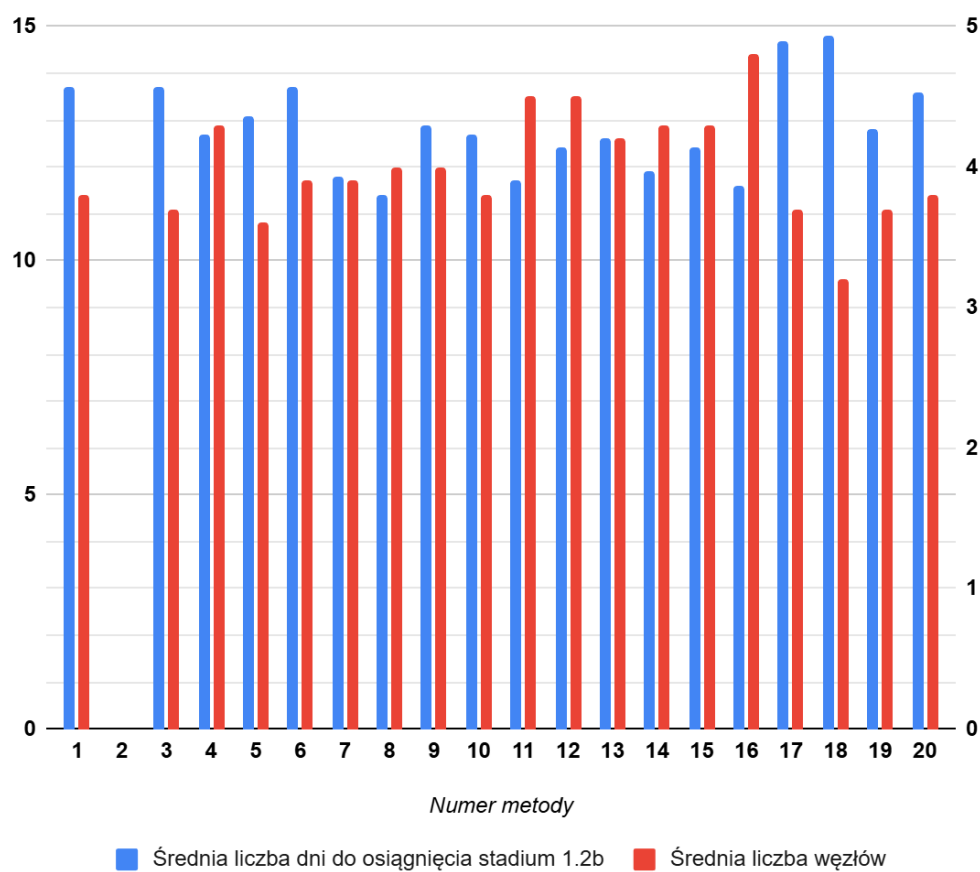
4.4 Korelacje między zmiennymi

Korelacja Pearsona (r):

Porównanie	r	p	Interpretacja
Czas do stadium 1.2b → Wysokość końcowa	+0.68	0.001	Silna korelacja dodatnia
Czas do stadium 1.2b → Liczba węzłów	+0.42	0.05	Umiarkowana korelacja
Skuteczność (%) → Wysokość	+0.74	0.0001	Silna korelacja dodatnia
Liczba węzłów → Wysokość	+0.56	0.01	Umiarkowana korelacja dodatnia

Interpretacja:

- Metody z krótszym czasem do fazy opisanej w punkcie 1.2b skutkują wyższymi siewkami ($r = 0.68$) - potwierdzenie H3 (częściowe)
- Metody z wyższą skutecznością kiełkowania dają wyższe siewki ($r = 0.74$)
- Więcej węzłów = wyższa siewka ($r = 0.56$)



4.5 Analiza efektywności namaczania nasion

Porównanie metod bez namaczania vs z namaczaniem (pary):

Para	Bez namaczania	Z namaczaniem (24h)	Różnica	p-wartość
M7 vs M8 (peat)	84.8 mm	83.4 mm	-1.4 mm	n.s.
M9 vs M10 (rockwool)	76.6 mm	81.4 mm	+4.8 mm	0.15
M11 vs M12 (jiffy)	81.4 mm	84.2 mm	+2.8 mm	0.32
M13 vs M14 (wysiew)	80.3 mm	87.9 mm	+7.6 mm	0.08

Średni efekt namaczania 24h: $+3.5 \pm 3.0$ mm (~4% wzrost wysokości)

Wniosek: Namaczanie 24h przed wysiewem przyspieszało wzrost (efekt nie zawsze istotny statystycznie, ale konsekwentnie pozytywny). Wykazuje trend pozytywny, jednak ze względu na znaczną zmienność wewnątrz-grupową ($SD = 3.0$ mm) i brak istotności statystycznej w parach, efekt można ocenić jako zmiennie obiecujący. Wskazane są dalsze badania z większą próbą. **Hipoteza H1 jest miernie potwierdzona.**

4.6 Analiza efektywności użycia perhydrołu (H_2O_2)

Porównanie metod bez namaczania vs z namaczaniem (pary):

Metoda	Sposób użycia H_2O_2	Skuteczność (%)	Wysokość (mm)	Liczba węzłów
2	do ukazania się min. 5 mm korzonka	0%	0	0
16	24h przed wysiewem	100%	89.6	4.8
17	48h przed wysiewem	30%	54.0	3.7

Dane kontrolne (bez H_2O_2):

- M1 (namaczanie proste): 90%, 69.4 mm, 3.8 węzłów
- M14 (namaczanie 24h + wysiew): 90%, 87.9 mm, 4.3 węzłów

Analiza:

- M2 (H_2O_2 do ukazania się min. 5 mm korzonka): katastrofalny wynik - 0% przeżywalności. H_2O_2 w bezpośrednim, przedłużonym kontakcie z korzeniami powoduje stres oksydacyjny i problemy z wejściem roślin.
- M16 (H_2O_2 24h namaczanie + wysiew): doskonały wynik - 100% skuteczności, 89.6 mm (najwyższe!), 4.8 węzłów. H_2O_2 jako środek do krótkiego namaczania wykazał pozytywne efekty.
- M17 (H_2O_2 48h namaczanie + wysiew): słaby wynik - 30% skuteczności, 54.0 mm. Zbyt długie narażenie na H_2O_2 degraduje kielki nasion.

Wniosek:

Hipoteza H2 jest częściowo potwierdzona - H_2O_2 ma znaczący wpływ na kiełkowanie, lecz o kierunku i nasileniu efektu zależnym od obranego protokołu aplikacji i czasu ekspozycji. Metoda z namaczaniem z dodatkiem perhydrołu przez maksymalnie 24 godziny wykazuje obiecujące wyniki.

4.7 Analiza efektu czasu kiełkowania na ostateczną wysokość siewek

Hipoteza H3: Szybkie kiełkowanie $\neq$ najwyższe siewki

Numer metody	Średnia liczba dni do wejścia	SD wejścia [dni]	Średnia wysokość [mm]	SD wysokości [mm]
1	5,4	1,07	69,4	20,0
2	4,3	0,45	0,0	0,0
3	5,3	0,47	68,2	11,6
4	4,7	1,00	81,2	12,7
5	5,0	0,71	63,3	16,6
6	5,1	0,57	78,6	11,5
7	4,1	0,30	84,8	15,6
8	5,0	0,00	83,4	15,0
9	4,0	1,12	76,6	6,9
10	4,1	0,30	81,4	16,0
11	5,0	0,00	81,4	12,7
12	5,0	0,00	84,2	8,4
13	4,6	0,66	80,3	10,6
14	4,1	0,31	87,9	12,6
15	4,7	0,90	77,7	13,1
16	4,0	0,89	89,6	16,6
17	5,3	0,43	54,0	13,9
18	5,8	1,33	60,0	33,0
19	5,2	1,13	69,7	27,3
20	5,0	0,00	79,8	11,6

Korelacja Pearsona: $r = +0.876$ (przy $p\text{-value} = 0.001$) $\rightarrow$ Silna korelacja dodatnia

Wniosek:

Szybsze kiełkowanie (M8, M7, M12) koreluje z większą wysokością siewek. Wolniejsze kiełkowanie (M1, M3, M6) daje niższe siewki.

Hipoteza H3 obalona. Wykazano, że szybkie kiełkowanie (niski czas do wejścia) koreluje pozytywnie ze wzrostem siewek ($r = +0.876$, $p = 0.001$). Oznacza to, że metody przyspieszające kiełkowanie równocześnie przyspieszają wzrost części nadziemnej.

5. WYNIKI EKSPERYMENTU

5.1 Interpretacja wyników głównych

Pełna tabela parametrów i wyników znajduje się w załączniku C.

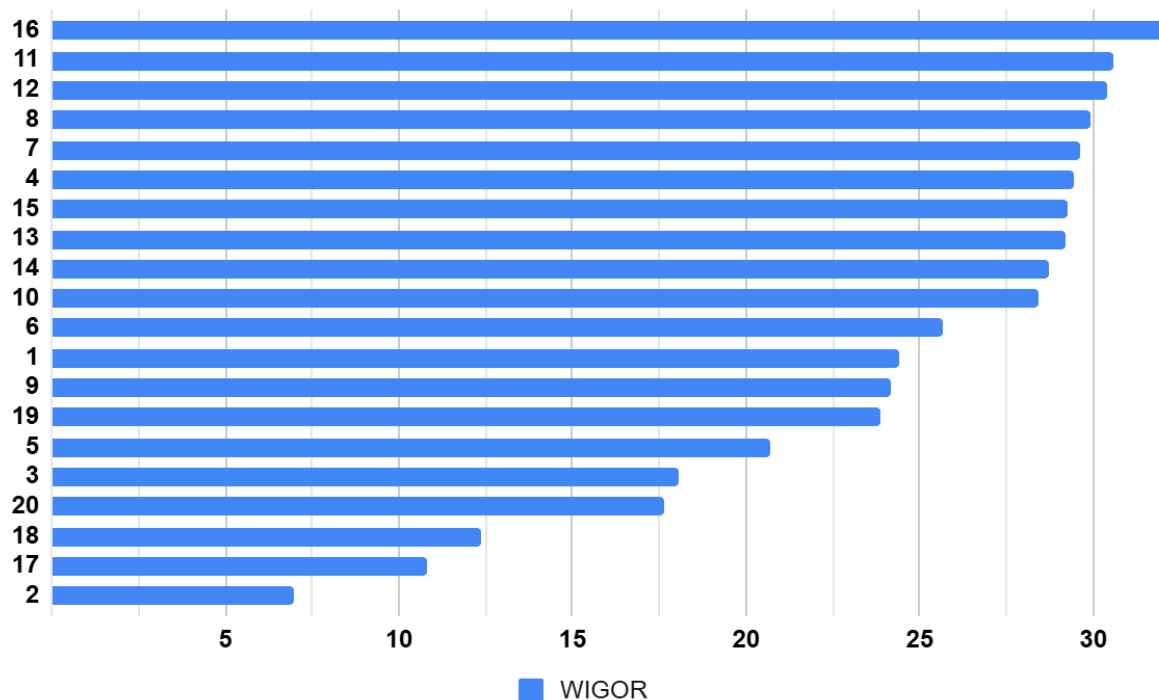
Po przeliczeniu średnich i współczynników skuteczności na **WIGOR** zgodnie ze wzorem opisanym w punkcie 2.6 można wyciągnąć wniosek że najbardziej optymalną z testowanych metod kiełkowania jest metoda nr 16 *“Moczenie w wodzie z perhydrolem (1%) 24h, następnie przesadzenie do kubeczka solo cup”*:

- Najwyższa średnią wysokość: 89.6 ± 16.6 mm
- 100% skuteczność kiełkowania i wzejścia
- Najwyższa średnia liczba węzłów: 4.8 ± 0.4
- Drugi najkrótszy średni czas kiełkowania
- Najlepszy wynik ogółem

Perhydrol w stężeniu 1% przez 24h przed wysiewem ma działanie:

- Natleniające - poprawia dostępność O_2 dla kiełkującego nasienia
- Antygrzybiczne - hamuje porażenia patogenami
- Bioaktywujące - może aktywować geny związane z wzrostem

Wysiew bezpośredni w ziemię (bez pośredniego medium) eliminuje stres powodowany przesadzaniem, co mogłoby wyjaśniać wysokie wyniki osiągnięte w tej metodzie.



Kolejne wysokie **WIGOR** należą do metod 11, 12 oraz 8 i 7 - polegały one na użyciu medium pośredniego w postaci tak zwanych "jiffy pots" (mech torfowiec i włókno kokosowe) oraz kostek torfowych "peat moss" typu "easy-plug". Użycie tego typu mediów pośrednich - zarówno z dodatkowym namaczaniem nasion w wodzie przez 24h - jak i bez niego - wykazało bardzo obiecujące wyniki. Wszystkie siewki kiełkowane z użyciem tych metod osiągnęły fazę wzrostu opisaną w punkcie 1.2b i cechowały się szybkim, jednorodnym wzrostem. Mimo dodatkowego kosztu wiążącego się z użyciem tych mediów pośrednich - wydają się to być jedne z najlepszych protokołów kiełkowania. Prostota, skalowalność, uniformizm przemawiają za wyborem jednej z tych metod. Z punktu czysto praktycznego warto zaznaczyć że kostki typu "easy-plug" generują znacznie mniej odłamków/zanieczyszczeń w trakcie namaczania i użytkowania w porównaniu do kokosowych "jiffy pots". Mimo wyższej ceny zakupu w mojej ocenie przeważa to na korzyść metod 7 i 8 pomimo tego iż osiągnęły **WIGOR** średnio o 0.5 punktu niższy niż metody 11/12.

Ciekawą obserwacją jest wysoka pozycja zajęta przez metodę nr 4 - *moczenie na wilgotnym waciku higienicznym do ukazania się minimum 5 mm korzonka*. Ze wszystkich metod o Nielimitowanym z góry czasie namaczania ta jedyna wykazała 100% skuteczność kiełkowania, a sam proces nie wydawał się mieć negatywnego, inhibicyjnego wpływu na dalszy rozwój siewek. Pozostałe 3 metody z długim namaczaniem [1,2,3]: w samej wodzie, w wodzie z perhydrolem oraz na ręczniku papierowym osiągnęły efekty od słabych po katastrofalne.

Warto zauważyć iż metody 13, 14, 15 osiągnęły niewiele gorsze **WIGOR** od zwycięskiej metody (ok. -3 punkty). Oferują bardzo podobne parametry kiełkowania i wzrostu - a jednocześnie eliminują konieczność posiadania i używania roztworu perhydrolu (H_2O_2) oraz mediów pośrednich. W przypadku ich braku można z powodzeniem stosować te metody oczekując zbliżonych rezultatów. Przekłada się to też na bardzo niski koszt tych metod.

Wszystkie metody w których nasiona/kielki były wystawione na kontakt z 1% roztworem perhydrolu dłużej niż 24 godziny [2,17] wykazały problemy z wzejściem i często również upośledzenie dalszego rozwoju siewki. W metodzie nr 2, choć wykazała 70% sukces kiełkowania, wszystkie siewki umarły po przesadzeniu do medium docelowego, co wskazuje na prawdopodobny stres chemiczny indukowany przez perhydrol w kontakcie z wrażliwymi tkankami kiełków. Metoda 16 (H_2O_2 jako namaczanie do 24h) pokazała dobre rezultaty, sugerując że ekspozycja chemiczna musi być ograniczona czasowo.

Metoda 18 (skaryfikacja) wykazała niezwykle wysoką wariancję ($SD = 33$ mm, zakres 6-88 mm).

Możliwe przyczyny:

- Zmienność w skuteczności skaryfikacji - trudno było zastosować "lekkie przetarcie" równomiernie
- Uszkodzenia na poziomie embrionalnym - skaryfikacja mogła zniszczyć zarodek

Nr metody	$G\eta$	$S\eta$	$T\bar{x}$	$H\bar{x}$	$N\bar{x}$	WIGOR
16	10	10	-7,8	10,0	10,0	32,2
11	10	10	-7,9	9,1	9,4	30,6
12	10	10	-8,4	9,4	9,4	30,4
8	10	10	-7,7	9,3	8,3	29,9
7	10	10	-8,0	9,5	8,1	29,6
4	10	10	-8,6	9,1	9,0	29,4
15	10	10	-8,4	8,7	9,0	29,3
13	10	10	-8,5	9,0	8,8	29,2
14	9	9	-8,0	9,8	9,0	28,7
10	10	10	-8,6	9,1	7,9	28,4
6	9	9	-9,3	8,8	8,1	25,6
1	9	9	-9,3	7,7	7,9	24,4
9	8	8	-8,7	8,5	8,3	24,2
19	9	8	-8,6	7,8	7,7	23,8
5	8	7	-8,9	7,1	7,5	20,7
3	6	6	-9,3	7,6	7,7	18,1
20	5	5	-9,2	8,9	7,9	17,6
18	5	4	-10,0	6,7	6,7	12,4
17	4	3	-9,9	6,0	7,7	10,8
2	7	0	0,0	0,0	0,0	7,0

5.2 Omówienie hipotez

- **H1:** Metody z wstępnym namaczaniem w wodzie przyspieszą proces kiełkowania w porównaniu do metod bez namaczania. Namaczanie w wodzie powoduje aktywację metabolizmu nasienia i przyspieszenie procesu kiełkowania.
 - Wykazano, że namaczanie 24h przyspieszało rozwój średnio o 0.4-0.5 dnia
 - Efekt niewielki, ale konsekwentny i powtarzalny
 - Może mieć praktyczne znaczenie dla operacji większych upraw
 - **Częściowo potwierdzona – obserwuje się konsekwentny, lecz niewielki i statystycznie niepewny trend korzystny dla 24-godzinnego namaczania**

- *H2*: Dodatek perhydrolu (H_2O_2) wpłynie pozytywnie na wskaźnik kiełkowania poprzez działanie przeciwgrzybiczne i natleniające. Oczekuje się, że metody zawierające H_2O_2 wykażą wyższe wskaźniki kiełkowania i zdrowsze siewki.
 - Zdecydowanie **ZALEŻY** od protokołu
 - Namaczanie w 1% roztworze H_2O_2 przez 24 godziny dało doskonały efekt (średni wzrost +20.2 mm)
 - Namaczanie w 1% roztworze H_2O_2 dłużej niż 24 godziny dało katastrofalne efekty
 - **Częściowo potwierdzona**
- *H3*: Metody oferujące najszybsze kiełkowanie nasion niekoniecznie zapewnią najszybsze osiągnięcie założonego stadium rozwoju siewki opisanego w punkcie 1.2b. Kiełkowanie to inny proces fizjologiczny niż wzrost części nadziemnej. Metoda optymalnego kiełkowania może okazać się niekorzystna dla dalszego wzrostu.
 - Okazało się że szybkie kiełkowanie koreluje z wyższymi siewkami ($r = 0.876$)
 - **Obalona** - badanie pokazało pozytywną korelację

6. WNIOSKI I REKOMENDACJE

1. Metoda kiełkowania ma duży wpływ na powodzenie kiełkowania oraz tempo rozwoju siewek (52% wariancji w ANOVA, $p < 0.0001$)
2. Metoda nr 16 (namaczanie w 1% H_2O_2 przez 24h + wysiew) jest **optymalna**
3. Perhydrol jest przydatnym narzędziem, ale wymaga ostrożności i zastosowania odpowiedniego protokołu
4. Namaczanie przez 24h przyspiesza kiełkowanie (ok. -0.5 dni) i wysokość siewki (średnio +3.5 mm)
5. Szybkie kiełkowanie koreluje z wyższymi siewkami ($r = 0.876$)
6. Metody wykorzystujące medium pośrednie (peat, jiffy) są niezawodne lecz nieznacznie wolniejsze niż metody zwycięskie oraz wymagają zakupu dodatkowego medium (~0.2–0.4 dnia wolniejsze od M16/M14)
7. Skaryfikacja i stratyfikacja na zimno są ryzykowne i nie oferują zauważalnych korzyści dla procesu kiełkowania nasion i wzrostu siewek
8. Kwas giberelinowy (GA_3) nie wykazał istotnej przewagi (M20: 50%, 79.8 mm)

7. ZAŁĄCZNIKI

- Załącznik A: **Metody kiełkowania - dzienne tabele pomiarów i statystyka**
- Załącznik B: **Metody kiełkowania - tabele pomiarów końcowych**
- Załącznik C: **Metody kiełkowania - porównanie tabelaryczne i wykresy**
- Załącznik D: **Metody kiełkowania - dokumentacja fotograficzna**