

Tytuł badań: Wpływ biostymulatora Agro ECA Protect stosowanego nalistnie w ograniczaniu stresu wywołanego zbyt wysoką temperaturą u truskawki

Title of the study: The effect of the foliar application of the biostimulant Agro ECA Protect on mitigating stress caused by high temperature in strawberry

1. Cel badań / Aim of the study

Celem badania jest określenie skuteczności działania biostymulatora Agro Eca Protect, stosowanego nalistnie, w ograniczaniu skutków stresu wywołanego wysoką temperaturą u truskawki. Doświadczenie przeprowadzono w warunkach szklarniowych oraz w fitotronie.

The aim of the study is to determine the effectiveness of the biostimulator Agro Eca Protect, applied foliarly, in reducing the effects of high-temperature stress in strawberry. The experiment was carried out under greenhouse conditions and in a phytotron.

2. Metody i sposób prowadzenia badań / Material and methods

2.1. Materiał roślinny i uprawa roślin / Plant material and cultivation

Badania prowadzono na roślinach truskawki (*Fragaria × ananassa* Duchesne) odmiany 'Rumba'. Otrzymane od zleceniodawcy sadzonki w dniu 31.07.2025 przesadzono do 1,5 L doniczek wypełnionych mieszaniną substratu torfowego i perlitu (3:1). Wykorzystano substrat torfowy o charakterystyce: pH 5,6 - 6,4, EC 1,5 mS/cm oraz perlit o frakcji 1 - 6 mm. Rośliny rosły w warunkach szklarniowych przez okres kilku dni, po czym zostały przeniesione do komór fitotronowych (temperatura 21/18°C, fotoperiod 17/7 h). Właściwe doświadczenie rozpoczęto w dniu 12.08.2025 gdy rośliny wykształciły 3 - 4 liście o blaszce umożliwiającej przeprowadzenie pomiarów fizjologicznych.

The study was conducted on strawberry plants (*Fragaria × ananassa* Duchesne), cultivar 'Rumba'. Planting material provided by the client were transplanted on July 31, 2025, into 1.5 L pots filled with a mixture of peat substrate and perlite (3:1). The peat substrate was characterized by pH 5.6–6.4 and EC 1.5 mS/cm, while the perlite fraction size ranged from 1 to 6 mm. The plants grew under greenhouse conditions for several days and were then transferred to phytotron chambers (temperature 21/18°C, photoperiod 17/7 h). The main experiment began on August 12, 2025, when the plants had developed 3–4 leaves with a lamina suitable for physiological measurements.

2.2. Schemat doświadczenia / Experimental design

Kombinacje doświadczenia. Experimental combinations:

1. Rośliny niepoddane działaniu podwyższonej temperatury (warunki optymalne), nietraktowane preparatem.

Plants not exposed to elevated temperature (optimal conditions), not treated with the biostimulant.

2. Rośliny niepoddane działaniu podwyższonej temperatury (warunki optymalne), traktowane preparatem.

Plants not exposed to elevated temperature (optimal conditions), treated with the biostimulant.

3. Rośliny poddane działaniu podwyższonej temperatury (warunki stresu), nietraktowane preparatem.

Plants exposed to elevated temperature (stress conditions), not treated with the biostimulant.

4. Rośliny poddane działaniu podwyższonej temperatury (warunki stresu), traktowane preparatem.

Plants exposed to elevated temperature (stress conditions), treated with the biostimulant.

Każda kombinacja obejmowała min. 8 roślin.

Each combination included minimum 8 plants.

Warunki wzrostu roślin. Plant growth conditions:

- Warunki optymalne: 21°C przez 17 h (symulacja warunków dnia), 18°C przez okres 7 h (symulacja nocy). Natężenie napromieniowania (PAR) wynosiło średnio 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, wilgotność względna powietrza 60 – 80%.

Optimal conditions: 21°C for 17 h (day simulation) and 18°C for 7 h (night simulation). The average photosynthetically active radiation (PAR) intensity was 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, and relative air humidity ranged from 60 to 80%.

- Warunki stresu podwyższonej temperatury: 32°C przez 17 h (symulacja warunków dnia), 18°C przez okres 7 h (symulacja nocy). Pozostałe parametry jak dla warunków optymalnych.

High-temperature stress conditions: 32°C for 17 h (day simulation) and 18°C for 7 h (night simulation). Other parameters were identical to those under optimal conditions.

Sposób aplikacji biostymulatora. Biostimulator application method:

Biostymulator Agro Eca Protect (AEP) był używany w formie oprysku o stężeniu 2,5%. Rośliny nietraktowane preparatem były opryskiwane wodą.

The biostimulator Agro ECE Protect (AEP) was applied as a foliar spray at a concentration of 2.5%. Control plants (untreated) were sprayed with water.

Szczegółowy schemat doświadczenia. Detailed experimental procedure:

1. Pierwsza aplikacja preparatu AEP (w formie oprysku).

First application of AEP (foliar spray).

2. Po tygodniu druga aplikacja preparatu AEP.

Second application of AEP after one week.

3. Po dobie od drugiego oprysku rośliny z grupy stresowanej zostały poddane działaniu stresu związanego z wysoką temperaturą przez dwie doby.

Twenty-four hours after the second spray, plants in the stress group were exposed to high-temperature stress for two days.

4. Analiza fizjologiczna roślin – pierwszy termin pomiarów (natężenie fotosyntezy oraz transpiracji).

Physiological analysis – first measurement (photosynthesis and transpiration rate).

5. Trzeci oprysk preparatem AEP.

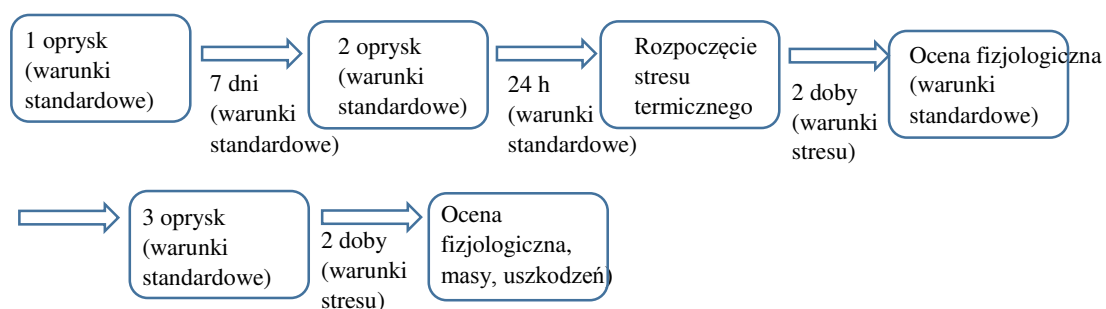
Third application of AEP.

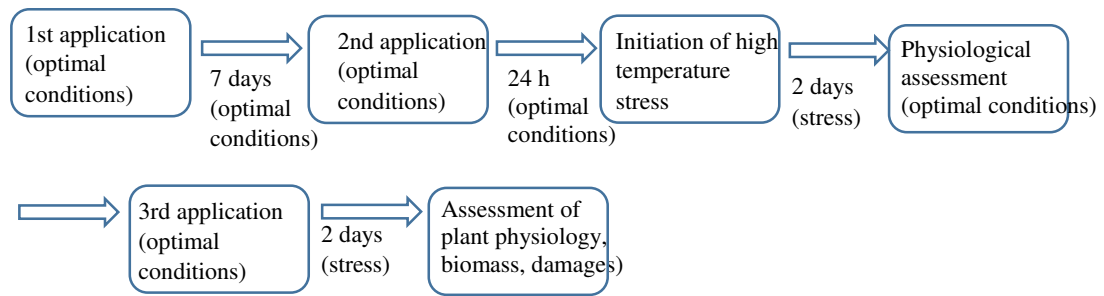
6. Ponowne oddziaływanie wysokiej temperatury według schematu z punktu 3 przez okres dwóch dób.

Re-exposure to high-temperature stress according to the scheme described in point 3, for two days.

7. Ocena fizjologiczna roślin (drugi termin pomiarów), stanu uszkodzenia roślin, masy roślin, analiza zawartości pierwiastków w liściach roślin.

Final assessment: physiological measurements (second term), evaluation of plant damage, determination of plant biomass, and analysis of nutrient content in leaves.





Pomiary i obserwacje. Measurements and observations:

1. Pomiary natężenia wymiany gazowej roślin (fotosynteza, transpiracja) prowadzono za pomocą analizatora LCpro (ADC BioScientific, UK) na 8 liściach z każdej kombinacji doświadczalnej. Parametry wewnątrz komory liściowej ustawiono tak, aby symulowały warunki panujące podczas wzrostu roślin.

Gas exchange measurements (photosynthesis and transpiration) were performed using an LCpro gas exchange analyzer (ADC BioScientific, UK) on eight leaves from each experimental combination. The parameters inside the leaf chamber were adjusted to simulate the environmental conditions during plant growth.

2. Masa roślin. Po zakończeniu oddziaływania stresu zmierzono świeżą i suchą masę roślin (część nadziemną). Suchą masę uzyskano susząc rośliny w temperaturze 60°C do uzyskania stabilnego wyniku.

Plant biomass. After the stress treatment, fresh and dry plant mass were measured (above-ground part). Dry mass was determined after drying the plants at 60°C until a constant weight was obtained.

3. Uszkodzenia roślin oceniono wizualnie porównując stan roślin z poszczególnych kombinacji. Wynik wyrażono w procentach (0% - brak uszkodzeń, 100% - całkowite zniszczenie roślin).

Plant damage assessment was carried out visually by comparing the condition of plants from individual combinations. The results were expressed as percentages (0% – no damage, 100% – complete plant destruction).

4. Analiza zawartości pierwiastków w liściach roślin. Analiza została wykonana po wysuszeniu i zmieleniu roślin. Wykonano jedną średnią próbę z 8 roślin w każdej kombinacji. Oznaczanie zawartości fosforu (P), potasu (K), wapnia (Ca), magnezu (Mg), siarki (S), chloru (Cl), manganu (Mn), żelaza (Fe), miedzi (Cu), cynku (Zn), krzemu (Si) zostało wykonane metodą fluorescencji rentgenowskiej (XRF). Oznaczanie zawartości azotu (N) zostało wykonane metodą spektroskopii w środkowej podczerwieni (MIR).

Analysis of nutrient content in plant leaves. The analysis was performed after drying and grinding the plant material. A single composite sample was prepared from eight plants for each treatment combination. The contents of phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), chlorine (Cl), manganese (Mn), iron (Fe), copper (Cu), silicon (Si), and zinc (Zn) were determined using X-ray fluorescence (XRF). Nitrogen (N) content was determined using mid-infrared spectroscopy (MIR).

Wyniki masy roślin i analiz fizjologicznych zostały opracowane statystycznie przy wykorzystaniu analizy wariancji. Średnie w tabelach i na wykresach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0,05$ według testu Duncana.

The results of biomass and physiological analyses were statistically processed using analysis of variance. Means in tables and figures marked with the same letters do not differ significantly at the probability level of $\alpha = 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

3. Wyniki. Results.

Pierwszy termin pomiarów (po drugim oprysku i dwóch dobach oddziaływania stresu)

First measurement term (after the second foliar application and two days of exposure to heat stress)

Tab. 1. Natężenie wymiany gazowej truskawki.

Table 1. Leaf gas exchange of strawberry plants.

	Warunki optymalne Optimal conditions		Stres termiczny Stress conditions	
	Agro Eca Protect	kontrola (woda) control (water)	Agro Eca Protect	Kontrola control
Natężenie fotosyntezy Photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	5,98 b	4,07 a	5,91 b	3,50 a
Natężenie transpiracji Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1,49 a	1,62 a	1,97 b	1,72 a

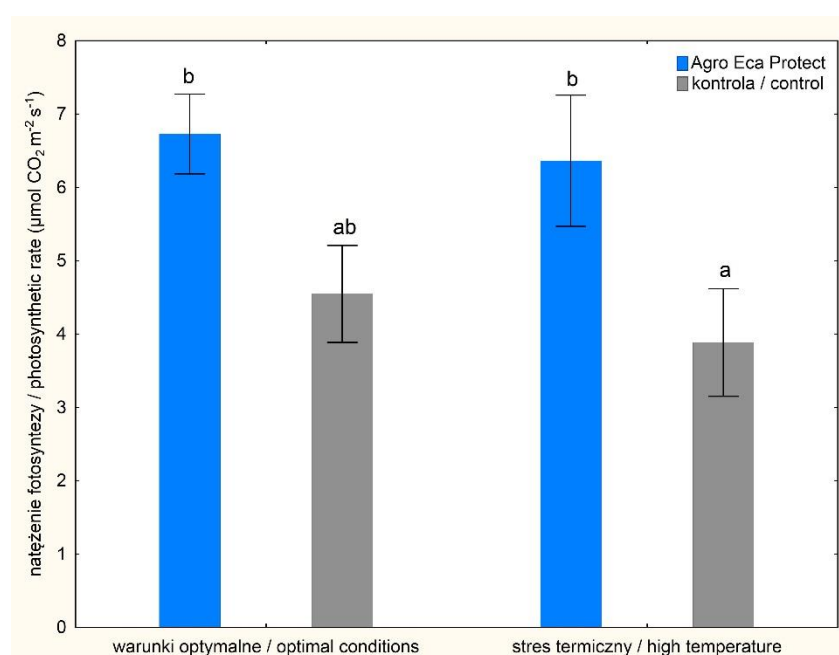
* - średnie w rzędach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0,05$ według testu Duncana. Means within rows followed by the same letters do not differ significantly at the probability level of $\alpha = 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

Po dwóch dniach oddziaływania stresu wysokiej temperatury stwierdzono istotne różnice w natężeniu wymiany gazowej roślin (fotosyntezy i transpiracji). Rośliny traktowane biostymulatorem charakteryzowały się wyższymi wartościami. W warunkach optymalnych stwierdzono wyższe wartości natężenia fotosyntezy u roślin traktowanych biostymulatorem.

After two days of exposure to high-temperature stress, significant differences in gas exchange rates (photosynthesis and transpiration) were observed. Plants treated with the biostimulant showed higher values of these parameters. Under optimal conditions, higher photosynthetic rates were also recorded in plants treated with the biostimulant.

Drugi termin pomiarów (po trzecim oprysku i sumarycznie czterech dobach oddziaływania stresu)

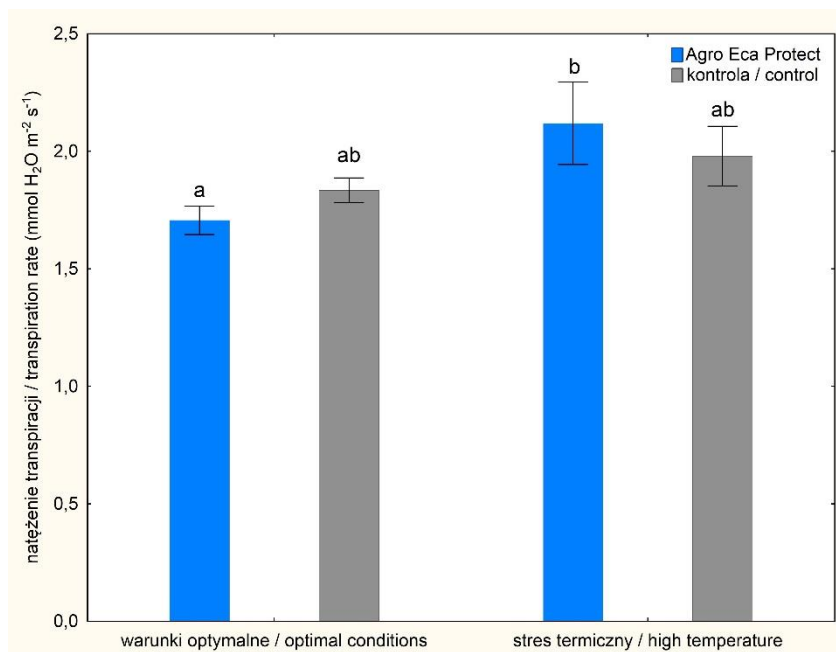
Second measurement term (after the third foliar application and four days of exposure to heat stress)



Rys. 1. Natężenie fotosyntezy roślin truskawki ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Fig. 1. Photosynthetic rate of strawberry plants ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

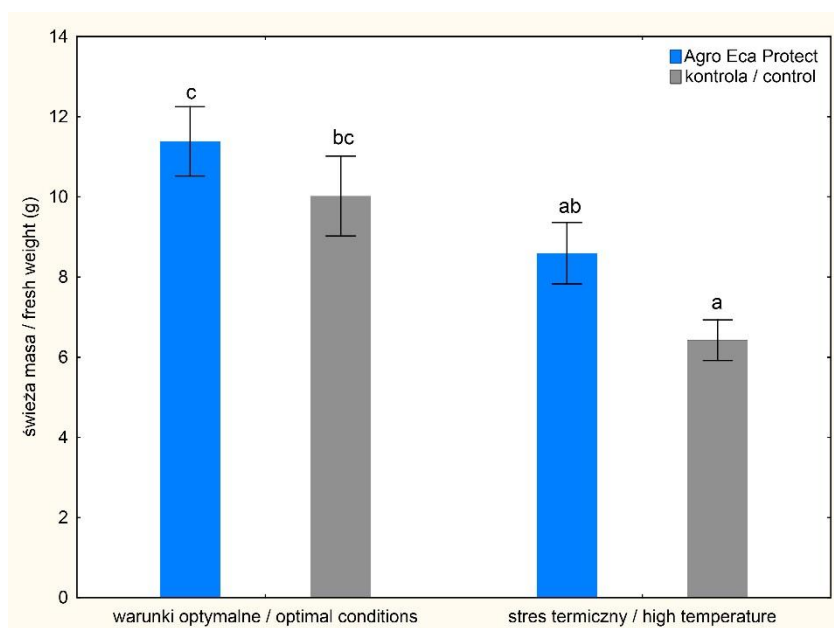
Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0,05$ według testu Duncana. Means followed by the same letters do not differ significantly at $\alpha = 0.05$ according to Duncan's multiple range test.



Rys. 2. Natężenie transpiracji roślin truskawki (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).
 Fig. 2. Transpiration rate of strawberry plants (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

Po czterech dniach oddziaływania stresu wysokiej temperatury zaobserwowano istotnie wyższe wartości natężenia fotosyntezy u roślin traktowanych preparatem. W warunkach optymalnych nie stwierdzono istotnych różnic w natężeniu wymiany gazowej roślin. Widoczny jest natomiast trend wskazujący na wyższe wartości fotosyntezy roślin traktowanych biostymulatorem.

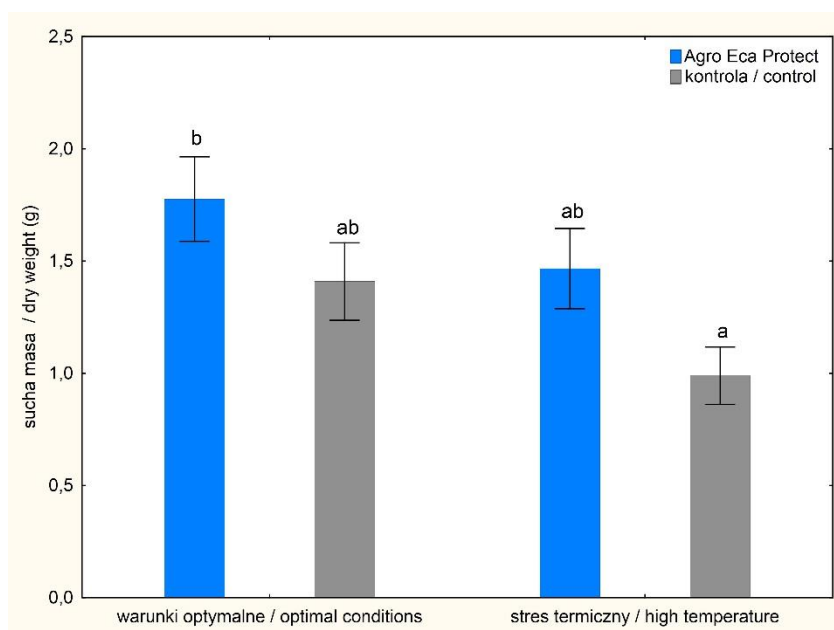
After four days of exposure to high-temperature stress, a significantly higher photosynthetic rate was observed in plants treated with the biostimulant. Under optimal conditions, no significant differences in gas exchange intensity were observed between the plants; however, a trend towards higher photosynthetic rates in the treated plants was noticeable.



Rys. 3. Świeża masa roślin truskawki (g).

Fig. 3. Fresh weight of strawberry plants (g).

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0,05$ według testu Duncana, ni.- różnice nieistotne statystycznie. Means followed by the same letters do not differ significantly at the probability level of $\alpha = 0.05$ according to Duncan's multiple range test; ns – differences not statistically significant.



Rys. 4. Sucha masa roślin truskawki (g).

Fig. 4. Dry weight of strawberry plants (g).

Po 12 dniach od rozpoczęcia doświadczenia wykonano ocenę zarówno świeżej, jak i po wysuszeniu – suchej masy roślin truskawki. W warunkach stresu termicznego świeża masa roślin traktowanych biostymulatorem była o ponad 30% wyższa w porównaniu z kontrolą, jednak różnica ta nie była statystycznie istotna. Podobną zależność zaobserwowano w przypadku suchej masy – rośliny traktowane preparatem charakteryzowały się o ponad 40% wyższą masą w stosunku do kontroli, lecz różnice nie osiągnęły poziomu istotności statystycznej.

After 12 days from the start of the experiment, both fresh and dry mass of strawberry plants were evaluated. For plants grown under stress conditions, the fresh mass of biostimulant-treated plants was more than 30% higher compared to the control. However, this difference was not statistically significant. In the case of dry mass, plants grown under stress and treated with the preparation showed approximately 40% higher values compared to the control, although the differences were not statistically significant.

Tab. 2. Obserwowane uszkodzenia roślin (ocena wizualna, %).

Table 2. Visual assessment of plant damage.

Warunki optymalne Optimal conditions		Stres termiczny Stress conditions	
Agro Eca Protect	Kontrola control	Agro Eca Protect	Kontrola control
0	0	0	0

Nie stwierdzono uszkodzeń roślin. No plant damage was observed.

Tab. 3. Zawartość pierwiastków w liściach truskawki.

Table 3. Chemical composition of strawberry leaves.

Stres termiczny / High temperature conditions

Pierwiastek Nutrient	AEP	Kontrola Control	AEP	Kontrola Control
N	2,75	2,53	109%	100%
P	0,52	0,56	93%	100%
K	2,35	2,63	89%	100%
Ca	1,54	1,57	98%	100%
Mg	0,39	0,33	118%	100%
S	0,16	0,17	94%	100%
Mn	273	243	112%	100%
Fe	106	75	141%	100%
Cu	6,5	5,5	118%	100%
Zn	46	42	109%	100%
Si	0,25	0,12	208%	100%
Cl	0,53	0,43	123%	100%

Warunki optymalne / optimal conditions

Pierwiastek Nutrient	AEP	Kontrola Control	AEP	Kontrola Control
N	2,65	2,80	95%	100%
P	0,50	0,58	86%	100%
K	2,49	2,68	93%	100%
Ca	1,48	1,50	99%	100%
Mg	0,35	0,38	92%	100%
S	0,13	0,19	68%	100%
Mn	238	222	107%	100%
Fe	102	84	121%	100%
Cu	5	6	83%	100%
Zn	49	46	106%	100%
Si	0,17	0,23	74%	100%
Cl	0,41	0,40	102%	100%

Z uwagi na wykonanie jednej analizy z wszystkich roślin w kombinacji, nie prowadzono oceny statystycznej wyników. Porównując wartości bezwzględne można zaobserwować w warunkach stresu tendencję wskazującą na lepsze wykorzystanie Mg, Mn, Fe i Cu z podłoża przez rośliny traktowane biostymulatorem w porównaniu do kontroli. Wyniki wykazują wyższą zawartość tych składników pokarmowych w roślinach od 12% do 41% w porównaniu do kontroli. Ponadto można zaobserwować tendencję wskazującą na wyższe zawartości Si i Cl w roślinach traktowanych biostymulatorem w porównaniu do kontroli. Podwyższona zawartość Si i Cl prawdopodobnie wynika z obecności tych pierwiastków w składzie produktu. W przypadku warunków optymalnych widoczna jest tendencja wskazująca na lepsze wykorzystanie Fe z podłoża przez rośliny traktowane preparatem.

As only one composite sample per treatment combination was analyzed, no statistical evaluation was conducted. When comparing absolute values, under stress conditions a tendency can be observed indicating better utilization of Mg, Mn, Fe, and Cu from the substrate by plants treated with the biostimulant compared to the control. The results show higher contents of these nutrients in the plants — from 12% to 41% higher than in the control. In addition, there is a tendency toward higher Si and Cl contents in plants treated with the biostimulant compared to the control. The increased content of Si and Cl is most likely due to the presence of these elements in the product. Under optimal conditions, a tendency indicating better utilization of Fe from the substrate by plants treated with the preparation can also be observed.

Tab. 4. Analiza natężenia transpiracji roślin ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) w warunkach optymalnych. Średnia z 4 gatunków: kapusta, ogórek gruntowy, sałata, truskawka).

Table 4. Analysis of plant transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) under optimal conditions. Mean value calculated for four species: cabbage, cucumber, lettuce, and strawberry.

	Czas po aplikacji preparatu (h) Time after biostimulant application (h)		
	3 h	24 h	48 h
Agro Eca Protect	4,53 b	1,32 b	2,04 a
Woda / Water	3,48 a	0,94 a	1,85 a

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie na poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0,05$ według testu Duncana. Means followed by the same letters do not differ significantly at the probability level of $\alpha = 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

Rośliny traktowane biostymulatorem charakteryzowały się wyższymi wartościami natężenia transpiracji po 3 i 24 h od przeprowadzenia oprysku. Po 48 h od aplikacji preparatu obserwowano podobny trend, chociaż występujące różnice nie były statystycznie istotne. Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że największy wpływ biostymulatora na zwiększenie natężenia transpiracji (otwieranie aparatów szparkowych) występuje w pierwszej dobie po aplikacji. Po 48 godzinach efekt był nadal zauważalny, choć już słabszy.

Plants treated with the biostimulant exhibited higher transpiration rates at 3 and 24 hours after foliar application. A similar trend was observed 48 hours after application, although the differences were not statistically significant. Based on the analyses, it can be concluded that the greatest effect of the biostimulant on increasing transpiration (stomatal opening) occurs within the first 24 hours after application. After 48 hours, the effect was still noticeable, although weaker.

4. Podsumowanie

1. Biostymulator stosowany dolistnie ograniczał negatywne skutki podwyższonej temperatury, co potwierdzają wyższe wartości natężenia fotosyntezy u roślin traktowanych preparatem w stosunku do kontroli. Efektem tego jest widoczna tendencja wskazująca na wyższe wartości świeżej i suchej masy roślin traktowanych biostymulatorem (w porównaniu do kontroli).
2. Wyniki badań sugerują pozytywny wpływ preparatu na lepsze wykorzystanie Mg, Fe, Mn i Cu z podłoża w warunkach stresowych.
3. Wyniki badań wskazują, że działanie Agro ECA Protect w ograniczaniu skutków stresu wywołwanego wysoką temperaturą wynika ze stymulowania otwierania aparatów

szparkowych. Dzięki temu zwiększa się natężenie transpiracji, co pozwala utrzymać niższą temperaturę liści i ogranicza uszkodzenia roślin (pod warunkiem dostępności wody). Obserwowane wyższe natężenie fotosyntezy umożliwia utrzymanie optymalnej kondycji roślin oraz korzystnie wpływa na ich wzrost w warunkach stresu termicznego.

4. Wyniki badań wskazują, że największy wpływ na otwieranie aparatów szparkowych (zwiększenie natężenia wymiany gazowej liści) utrzymuje się do 2 dni po zastosowaniu Agro ECA Protect.

Summary

1. The foliar-applied biostimulant mitigated the negative effects of elevated temperature, as evidenced by higher photosynthetic rates in treated plants compared to the control. As a result, a trend was observed toward increased fresh and dry biomass in plants treated with the biostimulant relative to the control.
2. The research results also suggest a positive effect of the preparation on the more efficient uptake of Mg, Fe, Mn, and Cu from the substrate under stress conditions.
3. The results of the study indicate that the action of Agro ECA Protect in mitigating the effects of heat stress is due to the stimulation of stomatal opening. This increases transpiration, which helps maintain lower leaf temperatures and reduces plant damage, provided that water is adequately available. The observed higher photosynthetic rate allows the plants to maintain optimal condition and positively influences their growth under heat stress conditions.
4. The results of the study indicate that the greatest effect on stomatal opening (increasing gas exchange) persists for up to 2 days after the application of Agro ECA Protect.

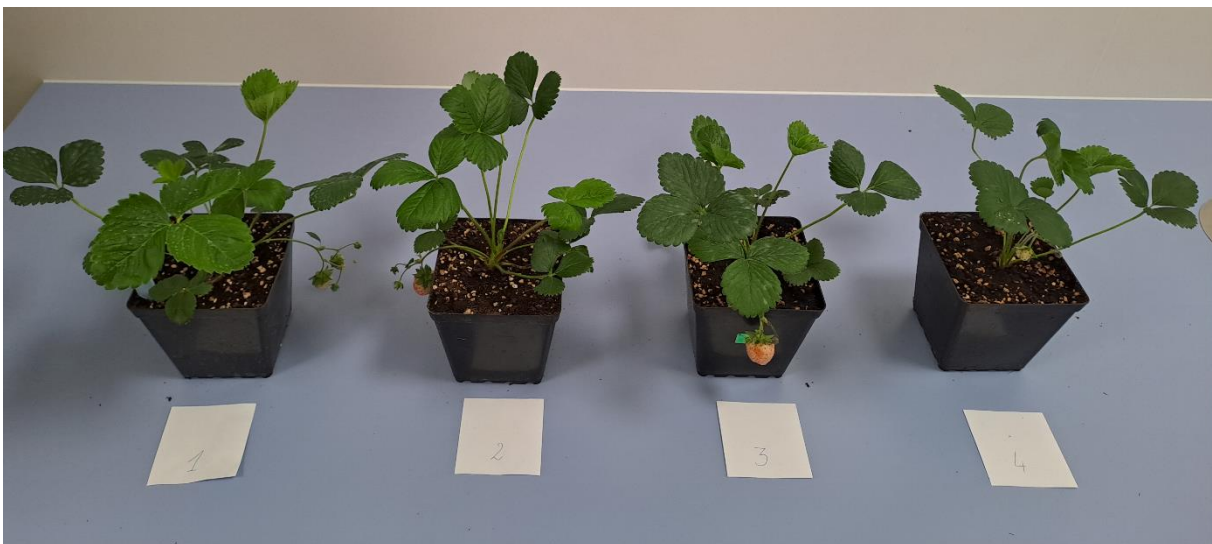
5. Zdjęcia / Photographs



Sadzonki truskawki. Planting material.

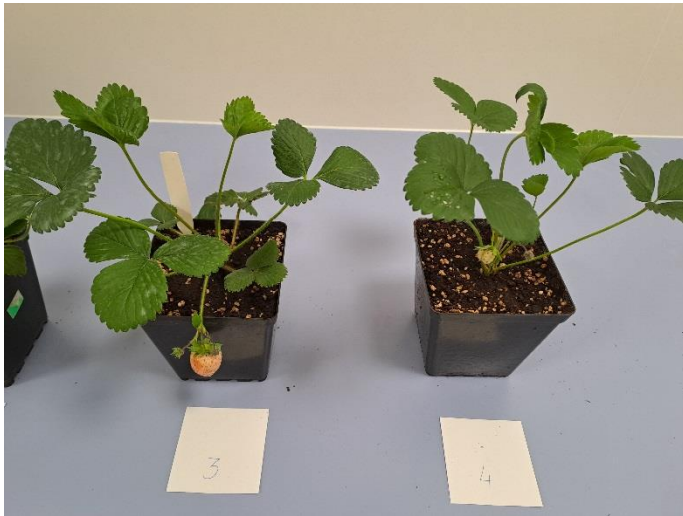


Truskawka podczas uprawy. Plant cultivation.



Rośliny truskawki po zakończeniu doświadczenia: od lewej warunki optymalne - roślina traktowana preparatem, warunki optymalne - roślina kontrolna, warunki stresu - roślina traktowana preparatem, warunki stresu - roślina kontrolna.

Strawberry plants at the end of the experiment (from left to right): treated plant under optimal conditions, control under optimal conditions, treated plant under stress conditions, control under stress conditions.



Rośliny truskawki poddane działaniu stresu po zakończeniu doświadczenia: od lewej roślina traktowana preparatem, roślina kontrolna.

Strawberry plants under stress at the end of the experiment (left: treated with biostimulant; right: control).

Wykonawca / Performer:

Instytut Ogrodnictwa – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Konstytucji 3 Maja 1/3

96-100 Skierniewice

Prof. dr hab. Waldemar Treder

Dr Krzysztof Klamkowski