

Received: 05.03.2024 / Accepted: 17.04.2024

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Regulatory wzrostu i rozwoju w uprawie słonecznika zwyczajnego (*Helianthus annuus* L.)

Plant growth regulators application in sunflower (*Helianthus annuus* L.)

Kinga Matysiak* 

Streszczenie

W ostatnich latach globalnie istotnie wzrosła powierzchnia uprawy słonecznika i prognozuje się dalsze zwiększenie udziału tej rośliny w płodozmianie. Obecnie słonecznik jest czwartą co do wielkości uprawy rośliną oleistą na świecie. W Europie w uprawie słonecznika przodują Francja, Hiszpania, Węgry, Rumunia, Rosja i Ukraina, ale słonecznik staje się coraz bardziej popularną rośliną również w innych krajach Europy, także w Polsce, i stanowi dobrą alternatywę dla bardziej wymagających roślin uprawnych. Słonecznik jest zaliczany do upraw wysokich, która w warunkach silnego wiatru i ulewnych deszczy może łatwo wylegać. Wyleganie roślin może prowadzić do nieodwracalnych uszkodzeń mechanicznych i związanych z nimi stratami plonu. Regulatory wzrostu i rozwoju są substancjami skutecznie przeciwdziałającymi wyleganiu, a jednocześnie modyfikującymi cechy fizjologiczne i morfologiczne roślin. Substancje te są szeroko wykorzystywane w rolnictwie, głównie w uprawie zbóż. Istnieje niewiele doniesień naukowych odnośnie stosowania regulatorów wzrostu o działaniu retardacyjnym na rośliny słonecznika zwyczajnego. Celem pracy jest przegląd dostępnej wiedzy dotyczącej wpływu popularnych retardantów na rośliny słonecznika.

Słowa kluczowe: retardanty, wzrost i rozwój, wysokość, trineksapak etylu, chlorek chloromekwatu, chlorek mepikwatu, etefon

Abstract

Globally, the area under sunflower has increased significantly in recent years, and the crop's share in crop rotation is forecast to grow further. Currently, sunflower is the fourth largest oilseed crop in the world. In Europe, France, Spain, Hungary, Romania, Russia, and Ukraine have led the way in sunflower cultivation. Still, sunflowers are becoming increasingly popular in other parts of Europe, including Poland, and are a good alternative to more demanding crops. Sunflower is classified as a tall crop, which can easily lodge under strong winds and heavy rains. Plant lodging can lead to irreversible mechanical damage and associated yield losses. Growth and development regulators are substances that effectively counteract lodging while modifying plants' physiological and morphological characteristics. These substances are widely used, mainly in cereal crops. There are few scientific reports on common sunflower plants' use of retardant growth regulators. This paper aims to review the available scientific literature on the effects of popular retardants on sunflower plants.

Key words: retardants, growth and development, height, trinexapac-ethyl, chlormequat chloride, mepiquat chloride, etephon

Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Władysława Węgorka 20, 60-318 Poznań
*corresponding author: k.matysiak@iorpib.poznan.pl

Wstęp / Introduction

Na świecie wzrasta zainteresowanie uprawą roślin oleistych jako cennych surowców wykorzystywanych w najważniejszych gałęziach przemysłu, tj. sektor spożywczy, sektor hodowlany i sektor energetyczny. Niewątpliwie jedną z ważniejszych upraw oleistych jest słonecznik (*Helianthus annuus* L.), który jest czwartą co do wielkości powierzchni uprawy rośliną oleistą na świecie, a z tego aż 70% światowej produkcji słonecznika przypada na Europę. Słonecznik uprawiany jest głównie w dwóch celach: na olej oraz na nasiona do bezpośredniego spożycia. Powierzchnia uprawy słonecznika do celów bezpośrednio konsumpcyjnych jest obecnie znacznie mniejsza w porównaniu z powierzchnią uprawy na olej, jednak w związku ze wzrostem znaczenia nasion w produkcji zdrowej żywności oraz intensyfikacji wykorzystania surowca w przemyśle spożywczym (piekarskim, cukierniczym) prognozuje się sukcesywne powiększanie arealu uprawy tej rośliny (Koutroubas i wsp. 2014; Koutroubas i Damals 2015; Polat i wsp. 2017; Soare i Chiurciu 2018; Cojocar i wsp. 2023). Głównym celem uprawy słonecznika pozostaje jednak wykorzystanie nieulepek do produkcji oleju, charakteryzującego się przyjemną barwą, smakiem i zapachem, a także wysoką zawartością witamin (A, D, E, K) oraz substancji aromatycznych. Nasiona słonecznika uprawianego do celów bezpośrednio konsumpcyjnych i nasiona odmian uprawianych na olej różnią się wizualnie. Nasiona przeznaczone do konsumpcji bezpośredniej posiadają białe charakterystyczne paski, natomiast nieulepki wykorzystywane do produkcji oleju mają barwę głęboko czarną. Podczas procesu wyłaczania oleju powstają produkty uboczne tzw. makuchy, stanowiące wartościową paszę dla zwierząt oraz surowiec do wytwarzania paliw wysokoenergetycznych. Słonecznik jest również rośliną miododajną, a pszczoły odgrywają istotną rolę w zapyłaniu jego kwiatów, jednak możliwość zebrania pożytku przez pszczoły jest ściśle powiązana z lokalnymi warunkami klimatyczno-środowiskowymi (Greenleaf i Kremen 2006; Brumă i wsp. 2021; Domaratskiy 2021). Słonecznik uprawiany jest w klimacie umiarkowanym, subtropikalnym i tropikalnym oraz w różnorodnych warunkach agrosrodowiskowych, a tak duży zasięg uprawy świadczy o jego ogromnych właściwościach adaptacyjnych i plastyczności ekologicznej (Di Caterina i wsp. 2007). Powierzchnia uprawy słonecznika wzrasta również w Polsce i według FAOSTAT (2023) w roku 2022 tylko na nasiona uprawiano słonecznik na powierzchni 26 980 ha. Atrakcyjność uprawy słonecznika wynika również z jego następujących zalet agronomiczno-uprawowych, takich jak: wysoka produktywność, niższe nakłady ekonomiczne na jednostkę powierzchni w porównaniu z innymi uprawami, możliwość całkowicie zmechanizowanego zbioru, możliwość wykorzystania terenów o mniejszej żyzności, umiarkowane wymagania co do nawożenia azotem i fosforem oraz to,

że roślina ta stanowi bardzo dobry przedplon dla pszenicy ozimej. W wielu krajach słonecznik odgrywa znaczną rolę w rotacji ze zbożami. Posiada on głębszy system korzeniowy niż zboża, dlatego może korzystać z substancji odżywczych niepobieranych przez zboża, co zapobiega wymywaniu i późniejszemu zanieczyszczeniu wód gruntowych. Pojawienie się mieszańcowych odmian słonecznika, odpornych na choroby i szkodniki, dodatkowo sprzyja powiększaniu się obszarów zajmowanych przez tę roślinę (Velasco i wsp. 2015; Soare i Chiurciu 2018; Chiurciu i wsp. 2020). Obecnie uważa się, że wzrost plonowania słonecznika i opłacalności jego produkcji, jest możliwy tylko poprzez wdrożenie intensywnych technologii produkcji, w tym stosowania odpowiednich nawozów mineralnych, stymulatorów wzrostu oraz ochrony przeciwko chwastom, szkodnikom i chorobom. Przyjmuje się, że jednym z czynników uzyskania stabilnego i wysokojakościowego plonu słonecznika jest zwiększenie wydajności aparatu fotosyntetycznego, a u słonecznika są to przede wszystkim liście, które osiągną powierzchnię około 50–80 tys. m²/ha (Carvalho i wsp. 2016; Domaratskiy 2021). W wielu krajach produkcja rolnicza nie jest w stanie zapewnić pełnego wykorzystania potencjału genetycznego nawet nowoczesnych mieszańców, a obecna produktywność tej uprawy waha się od 30 do 50% jej potencjału genetycznego. Szczególną rolę w schematach technologicznych produkcji słonecznika odgrywają wielofunkcyjne preparaty, które optymalizują odżywianie roślin i intensyfikują pobieranie składników pokarmowych przez rośliny (Domaratskiy i wsp. 2018, 2020).

W literaturze naukowej można znaleźć niewiele danych dotyczących możliwości stosowania regulatorów wzrostu i rozwoju o działaniu retardacyjnym w słoneczniku. Wyniki badań różnych autorów są niespójne, co nie pozwala na uzyskanie konkretnych zaleceń.

Celem pracy jest zestawienie dostępnej wiedzy naukowej dotyczącej stosowania regulatorów wzrostu i rozwoju (retardantów) w słoneczniku.

Regulatory wzrostu i rozwoju / Plant and growth regulators

Słonecznik jest uprawiany w wielu krajach świata i uznawany jest za uprawę, która adaptuje się w szerokim zakresie warunków edaficznych i klimatycznych, takich jak szerokość i długość geograficzna oraz fotoperiod. Jednakże jedną z niedogodności tej uprawy jest jej wysokość. Przeciętna wysokość roślin słonecznika oscyluje w granicach 160–200 cm i z tego powodu uprawa często narażona jest na różnego rodzaju uszkodzenia mechaniczne, co czyni ją podatną na wyleganie, szczególnie na obszarach, gdzie występują silne wiatry i ulewne deszcze (Spitzer i wsp. 2011; Carvalho i wsp. 2016). Dodatkowym czynnikiem wzmagającym ryzyko wylegania jest stosunkowo słabo rozwinięty

system korzeniowy, co sprzyja odkorzenianiu (wypadaniu korzenia z gleby), szczególnie na otwartych i podmokłych terenach. Słonecznik najczęściej wylega w czasie kwitnienia, tuż po osiągnięciu ostatecznej wielkości kwiatostanu, który ze względu na duży ciężar przegina roślinę w kierunku gleby. W warunkach sprzyjających wyleganiu można rozważyć skrócenie roślin, a taki zabieg ułatwi również stosowanie fungicydów i desykantów oraz zbiór (Spitzer i wsp. 2011, 2018; Koutroubas i Damals 2015, 2016). Chociaż łodygi słonecznika są grube, to jednak komórki miąższu rdzenia mają tendencję do utraty turgoru, co powoduje, że w czasie wzrostu tkanka rdzenia staje się krucha, co zwiększa podatność rośliny na wyleganie. Jest to szczególnie niebezpieczne w przypadku, gdy słonecznik uprawiany jest w dużym zagęszczeniu roślin. Choć prace hodowlane zmierzają do uzyskania odmian niższych i takie też są bardziej pożądane przez producentów, to w wielu krajach nadal dominują odmiany wysokie, które mogą gwarantować lepsze plonowanie. Z tego powodu w badaniach dotyczących słonecznika pojawia się temat stosowania preparatów o działaniu retardacyjnym, które stanowią praktyczną alternatywę w rozwiązaniu problemu wysokości roślin i usztywnienia łodyg (Koutroubas i Damals 2015, 2016; Carvalho i wsp. 2016; Mangieri i wsp. 2016).

Regulatory wzrostu i rozwoju są naturalnymi lub syntetycznymi produktami, które modyfikują cechy fizjologiczne i morfologiczne roślin. Substancje te są szeroko wykorzystywane, głównie w uprawach zbóż. Stosowane są głównie w celu zmniejszenia długości pędów roślin zarówno poprzez redukcję wydłużenia komórek, jak i poprzez zmniejszenie tempa ich podziału. Syntetyczne regulatory wzrostu i rozwoju działają więc antagonistycznie do giberelin i auksyn. Badania naukowe potwierdzają również istotny wpływ regulatorów wzrostu i rozwoju na grubość pędów, a także zawartość chlorofilu w liściach i łodygach roślin, wzrost korzeni oraz zwiększenie tolerancji roślin na stresy abiotyczne poprzez wpływ na metabolizm roślin oraz składniki enzymatyczne (Adler i Wilcox 1987; Hernández 1996; Rajesh i wsp. 2014; Mohamadi i wsp. 2017; Wang i wsp. 2022). Dostępne są również badania wskazujące na wpływ syntetycznych regulatorów na intensyfikację procesów biochemicznych zachodzących w komórkach roślinnych, co prowadzi do optymalizacji odżywiania, oddychania i fotosyntezy. W rezultacie, rośliny wykazują się większą odpornością na niekorzystne warunki atmosferyczne oraz niższą wrażliwością na patogeny i szkodniki. Syntetyczne regulatory wzrostu i rozwoju mogą więc być niegenetycznym czynnikiem znacząco zwiększającym potencjał plonotwórczy (Rademacher 2000; Carvalho i wsp. 2016; Polat i wsp. 2017; Yeremenko i Kalytka 2017). Szacuje się, że plonowanie roślin, w których stosowano regulatory wzrostu i rozwoju może wzrosnąć nawet o kilkanaście procent, stąd też panuje powszechny pogląd, że można je stosować we wszystkich uprawach do skracania wysokości roślin

i zapobiegania wyleganiu. Stosowanie regulatorów wzrostu wpływa na ograniczenie wysokości roślin, co zapobiega wyleganiu, ułatwia wykonywanie zabiegów ochronnych przeciwko szkodnikom i chorobom, ułatwia zbiór, co w konsekwencji może wpływać na wzrost plonowania. W uprawie słonecznika, w celu uzyskania ekonomicznego i stabilnego plonowania, a także utrzymania jakości oleju, często konieczne jest stosowanie zabiegów fungicydowych po kwitnieniu lub dosuszanie na pniu (desykacja) tuż przed zbiorem. Z racji tego, że słonecznik w okresie od końca kwitnienia do zbioru osiąga znaczną wysokość, przeprowadzanie jakichkolwiek zabiegów ochrony wiąże się z dużym ryzykiem uszkodzenia roślin (Koutroubas i Damalas 2016; Polat i wsp. 2017).

Wśród syntetycznych regulatorów wzrostu i rozwoju najbardziej popularnymi substancjami stosowanymi od wielu lat w rolnictwie są: chlorek chloromekwatu (CCC), etefon, trineksapak etylu i chlorek mepikwatu. Substancje te najczęściej wykorzystywane są do regulacji pokroju łąn zbóż i rzepaku, aczkolwiek znajdują one zastosowanie również w innych uprawach polowych np. kukurydzy (Shekoofa i Emam 2008; Sangoi i wsp. 2020), grochu (Kumar i wsp. 2022), soi (Souza i wsp. 2022; Wang i wsp. 2022), ryżu (Ferrari i wsp. 2022), ziemniaku (Hernawati i wsp. 2022) i sadowniczych np. drzewa owocowe (Bulley i wsp. 2005; Lal i wsp. 2022). W niektórych uprawach praktykowane jest także mieszanie tych substancji, celem uzyskania tzw. efektu synergii (Rajala i Peltonen-Sainio 2001; Rajala i wsp. 2002). W praktyce rolniczej często do regulacji pokroju roślin stosuje się również fungicydy z grupy triazoli, które oprócz swojej podstawowej funkcji (fungistatycznej) wykazują także działanie regulujące wzrost roślin np. paklobutrazol (substancja przeznaczona do wycofania w Unii Europejskiej) (Soumya i wsp. 2017; Desta i Amare 2021).

Spitzer i wsp. (2011) w swoich badaniach stosując mieszaninę CCC z etefonem w słoneczniku uzyskali skrócenie roślin od 14 do 27%, w zależności od fazy rozwojowej rośliny w momencie aplikacji, natomiast trineksapak etylu skrócił rośliny słonecznika tylko o 9%. Zarówno po zastosowaniu etefonu, jak i CCC zaobserwowano przemijające chlorozy, a symptomy pojawiły się już 5 dni po aplikacji. Etefon (480 g/ha) dodatkowo powodował spowolnienie wzrostu roślin i opadanie liści. Zaobserwowano także mniejsze przylistki, niż u roślin kontrolnych. Symptomy te były tylko czasowe i stopniowo zanikały w czasie wegetacji. Takie niekorzystne działanie regulatorów wzrostu na rośliny opisał również Rademacher (2000), wskazując na możliwy wpływ regulatorów na biosyntezę steroli, karotenoidów, cytokinin i kwasu abscysynowego u niektórych gatunków roślin. Spitzer i wsp. (2011) w swoich badaniach zaobserwowali, spowodowane reakcjami metabolicznymi, opóźnienie kwitnienia słonecznika po zastosowaniu regulatorów, przy czym bardziej niekorzystny efekt był wi-

doczny po aplikacji CCC w porównaniu z etefonem. Z kolei Jones i Phillips (1966) podają, że stosując CCC uzyskuje się wprawdzie redukcję długości pędów słonecznika (odwracalne przez podanie kwasu gibberelinowego GA₃) oraz intensywniejsze zabarwienie liści i łodyg, ale jednocześnie występuje zmniejszenie wielkości płatków korony i zmniejszenie powierzchni liści. Badacze zajmujący się tematyką regulatorów wzrostu w słoneczniku zgodnie podkreślają, że wciąż jest za mało danych odnośnie możliwości stosowania CCC w tej uprawie. W niektórych badaniach wskazano, że stosując CCC jednorazowo lub dwukrotnie w czasie wegetacji roślin uzyskano wręcz negatywny wpływ regulatora na plon nasion związany z istotnym zmniejszeniem kwiatostanu. W innych badaniach stwierdzono natomiast, że zastosowanie wysokiej dawki CCC (3000 g/ha) w aplikacji pojedynczej lub podwójnej w uprawie polowej słonecznika, istotnie wpływa na obniżenie wysokości i zwiększenie liczby kwiatów (zebranych w koszyczek), przy czym zwiększenie liczby kwiatów w koszyczku nie ma jednak wpływu na plonowanie (Koutroubas i Damalas 2016). Polat i wsp. (2017) prowadzili badania z zastosowaniem chlorku mepikwatu (słonecznik nieoleisty). Udowodnili oni, że stopień redukcji wysokości zależy od terminu zastosowania tej substancji. Znaczące pogrubienie łodyg wystąpiło tylko po aplikacji chlorku mepikwatu we wczesnej fazie rozwojowej (BBCH 14–16). Przy aplikacji pojedynczej skrócenie łodygi wynosiło od 11 do 14%, a przy aplikacji podwójnej około 25%. Dwukrotne zastosowanie chlorku mepikwatu nie było korzystne, bowiem na tych obiektach zaobserwowano istotne zmniejszenie kwiatostanu, a w rezultacie plonu. Spitzer i wsp. (2011) oraz Polat i wsp. (2017) podkreślają, że nie udowodniono jednoznacznie korzystnego wpływu chlorku chloromekwatu, chlorku mepikwatu, trineksapaku etylu czy etefonu na zwiększenie średnicy kwiatostanu słonecznika, aczkolwiek wysuwają tezę, że byłby on możliwy w szczególnie sprzyjających warunkach i przy wczesnym zastosowaniu regulatorów. Udowodniono jednak wpływ regulatorów na wypełnienie niełupki (chlorek mepikwatu w dawce 60 g), zwiększenie masy 1000 nasion oraz koncentrację chlorofilu w liściach. Lovett i Campbell (1973) oceniali wpływ paklobutrazolu, chlorku mepikwatu i chlorku chloromekwatu na wysokość, plon i liczbę niełupki w kwiatostanie słonecznika. Uzyskane przez nich wyniki wskazują, że chlorek mepikwatu i paklobutrazol zmniejszyły wysokość roślin o 9,5–11,7% w porównaniu z kontrolą, ale jednocześnie nastąpił spadek plonowania niełupki odpowiednio o 26 i 29%. Z kolei działanie chlorku chloromekwatu było uzależnione od zastosowanej dawki i liczby zabiegów. Dwukrotne zastosowanie regulatora w wysokich dawkach zmniejszyło wysokość roślin o 12–15 cm i zwiększyło plonowanie słonecznika. Natomiast Koutroubas i Damalas (2016), którzy w swoich doświadczeniach z jedno- lub dwukrotnym zastosowaniem chlorku chloromekwatu w wysokich dawkach (3000 g) stwierdzili znaczny spadek

plonowania, nie zalecają stosowania tej substancji jako regulatora roślin w słoneczniku. Ponadto wspomniani autorzy opisali wystąpienie przemijającej chlorozy po zastosowaniu tej substancji. W innych swoich badaniach Koutroubas i Damalas (2015) udowodnili niekorzystne działanie także paklobutrazolu na rośliny słonecznika. Chociaż w tych eksperymentach podwójne i potrójne stosowanie znacznie zmniejszyło wysokość roślin, istotnie zmniejszyło także plonowanie. Wyższe dawki paklobutrazolu spowodowały również znaczne uszkodzenia roślin słonecznika przejawiające się deformacją kwiatostanów. Z kolei Spitzer i wsp. (2011) stwierdzili opóźnienie początku kwitnienia po zastosowaniu regulatorów wzrostu, a zwłaszcza po dwukrotnym zastosowaniu chlorku chloromekwatu i etefonu. Nie zaobserwowali natomiast wpływu na całkowity czas kwitnienia ani średnicę kwiatostanu. We wcześniejszych badaniach Baylis i Dickst (1983) zaobserwowali, że mieszanina chlorku mepikwatu i etefonu istotnie skracala łodygę słonecznika, jednak badacze podkreślają, że bardzo ważny jest termin aplikacji regulatorów wzrostu, ponieważ zbyt późne ich stosowanie może opóźnić kwitnienie i zredukować plon. Wpływ paklobutrazolu, chlorku mepikwatu i chlorku chloromekwatu na morfologię i plon słonecznika badali także Koutroubas i wsp. (2014). Po jednorazowym zastosowaniu paklobutrazolu (12,5 g), chlorku mepikwatu (25 g) i chlorku chloromekwatu (1500 g/ha) nie zaobserwowano negatywnego wpływu badanych substancji na biomasa roślin, jak i plon nasion. W tych badaniach paklobutrazol obniżył wysokość słonecznika o 11,1%, a chlorek mepikwatu o 11,7%. Badania obejmowały także pomiary średnicy kwiatostanu w momencie dojrzałości pełnej. Uzyskane wyniki nie wykazały negatywnego wpływu regulatorów na ten parametr. Koutroubas i Damalas (2015) nie zalecają jednak wielokrotnego stosowania paklobutrazolu w celu zmniejszenia wysokości słonecznika. Chociaż w ich eksperymentach podwójne i potrójne jego zastosowanie znacznie zmniejszyło wysokość roślin, to zredukowało również plonowanie. Z kolei uszkodzenia roślin słonecznika (szczególnie deformacje kwiatów) po zastosowaniu paklobutrazolu zostały odnotowane przez Wanderleya i wsp. (2014).

Yatsenko i wsp. (2021) badając różne warianty stosowania trineksapaku etylu w słoneczniku, tj. aplikacja bezpośrednio na nasiona, aplikacja w fazie rozwojowej 8–10 liści oraz dwukrotna aplikacja (na nasiona i liście) wykazali, że tylko ta ostatnia kombinacja miała największy wpływ na skrócenie roślin, przy czym uzyskane wyniki były ściśle zależne od zagęszczenia roślin na jednostce powierzchni, co autorzy tłumaczą silną konkurencją wewnątrzgatunkową. Wpływ aplikacji CCC i paklobutrazolu na nasiona słonecznika badali również Kuryata i wsp. (2017). Celem badań było określenie roli regulatorów w wykorzystaniu zmagazynowanych w nasionach związków w fazie ich kiełkowania. W swoich badaniach cytowani autorzy udowodnili zmiany w metabolizmie i składzie

biochemicznym niełupek pod wpływem działania CCC i paklobutrazolu.

Istnieją również badania nad stosowaniem hydrazynu maleinowego w uprawie słonecznika. Związek ten przeznaczony jest głównie do stosowania w sadach oraz w przechowalnictwie. Mechanizm działania hydrazynu maleinowego polega na zmniejszeniu ilości auksyn w tkankach, co w konsekwencji prowadzi do zahamowania wydłużania międzywęźli i intensywnie rosnących części roślin, takich jak wierzchołki pędów czy młode liście (Trojak-Goluch 2012). Carvalho i wsp. (2016) podają, że hydrazyn maleinowy może skracać rośliny słonecznika nawet o 35%, w porównaniu z trineksapakiem etylu dla którego w badaniach uzyskano wartość 17%. Autorzy dodają, że obydwa regulatory przyczyniły się do zmniejszenia powierzchni liści o około 13%, co nie miało jednak wpływu na zawartość chlorofilu. Dodatkowo hydrazyn maleinowy spowodował zmniejszenie wielkości kwiatostanu, co przełożyło się bezpośrednio na plon. Natomiast takiego niekorzystnego efektu nie zaobserwowano po aplikacji trineksapaku etylu.

Podsumowanie / Summary

Dostępna literatura naukowa dostarcza stosunkowo niewiele danych odnośnie stosowania chemicznych regulatorów wzrostu i rozwoju w uprawie słonecznika. Niewątpliwie takie substancje, jak: etefon, trineksapak etylu, chlorek chloromekwatu, chlorek mepikwatu czy paklobutrazol skutecznie redukują wysokość roślin (największe skrócenie uzyskane w badaniach wynosiło aż 36%), co jest korzystne w warunkach sprzyjających wyleganiu roślin, jednak mogą przyczynić się do ograniczenia plonowania. Istnieją dane literaturowe, zarówno o przemijających chlorozach, zmniejszeniu powierzchni liści, opadaniu liści, opóźnieniu kwitnienia, deformacjach kwiatostanu i spowolnieniu wzrostu, będących skutkiem stosowania tych substancji, ale również

badania dowodzące, że aplikacja regulatorów, oprócz oczywistego działania przeciwdziałającego wyleganiu, zwiększa aktywność fotosyntetyczną roślin słonecznika, koncentrację chlorofilu w liściach oraz stabilizuje plon. Badania jednoznacznie udowadniają, że odpowiedź rośliny różni się w zależności od fazy rozwojowej podczas aplikacji, rodzaju i dawki preparatu oraz warunków środowiskowo-klimatycznych. Dodatkową trudnością w interpretacji wyników uzyskanych z doświadczeń polowych jest niestałość działania substancji regulujących wzrost i rozwój uzależniona od warunków atmosferycznych oraz od genetycznych predyspozycji odmiany. Istotnym faktem jest również znaczny wpływ konkurencji wewnątrzgatunkowej (konkurencja głównie o światło), co ma miejsce przy dużej gęstości siewu. Wielu badaczy podkreśla właśnie niespójność wyników w tym zakresie (Spitzer i wsp. 2011; Koutroubas i Damalas 2015, 2016; Polat i wsp. 2017). Trudno więc przewidywać dalszy postęp w badaniach nad szerszym wykorzystaniem substancji do ochrony roślin przed wyleganiem w uprawie słonecznika. Tym bardziej, że dynamiczny postęp hodowlany zmierza do uzyskania roślin anatomicznie odpornych na wyleganie, równomiernie kwitnących oraz wysoko i stabilnie plonujących. Można więc przyjąć, że w nowych odmianach słonecznika stosowanie regulatorów wzrostu i rozwoju będzie miało marginalne znaczenie (w Polsce opisywane substancje nie są zarejestrowane w słoneczniku). Ponadto dodatkowym ograniczeniem są wytyczne Europejskiego Zielonego Ładu, według których należy dążyć do zmniejszenia zużycia środków ochrony roślin. Słonecznik wydaje się być uprawą, w której można zrezygnować ze stosowania substancji chemicznych. Świadczy o tym chociażby fakt, że w Europie wzrasta obszar ekologicznej produkcji słonecznika, a krajami wiodącymi są Rumunia (46 461 ha) oraz Francja (35 418 ha). Inne kraje, w których uprawia się słonecznik w ramach produkcji ekologicznej to Włochy, Bułgaria, Hiszpania, Węgry, Niemcy i Austria (Brumă i wsp. 2021; Kakabouki i wsp. 2021).

Literatura / References

- Adler P.R., Wilcox G.E. 1987. Salt stress, mechanical stress, or chlormequat chloride effects on morphology and growth recovery of hydroponic tomato transplants. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112 (1): 22–25. DOI: 10.21273/JASHS.112.1.22
- Baylis A.D., Dickst J.W. 1983. Investigations into the use of plant growth regulators in oil-seed sunflower (*Helianthus annuus* L.) husbandry. *The Journal of Agricultural Science* 100 (3): 723–730. DOI: 10.1017/S0021859600035516
- Brumă I.S., Rodino S., Petcu V., Micu M.M. 2021. An overview of organic sunflower production in Romania. *Romanian Agricultural Research* 38: 495–504. DOI: 10.59665/rar3852
- Bulley S.M., Wilson F.M., Hedden P., Phillips A.L., Croker S.J., James D.J. 2005. Modification of gibberellin biosynthesis in the grafted apple scion allows control of tree height independent of the rootstock. *Plant Biotechnology Journal* 3 (2): 215–223. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2005.00119.x
- Carvalho M.E.A., e Castro P.R.D.C., Junior M.V.D.C.F., Mendes A.C.C.M. 2016. Are plant growth retardants a strategy to decrease lodging and increase yield of sunflower? *Comunicata Scientiae* 7 (1): 154–159. DOI: 10.14295/CS.v7i1.1286
- Churciu I.A., Dana D., Voicu V., Chereji A.I., Cofas E. 2020. The economic and ecological effect of special foliar fertilisation to the sunflower crop. *Scientific Annals of the Danube Delta Institute* 25 (12): 113–119. DOI: 10.7427/DDI.25.12

- Cojocaru F., Joița-Păcureanu M., Negoită M., Mihai L., Popescu G., Ciomei L., Ion V., Anton G.F., Rîșnoveanu L., Oprea D., Bran A., Sava E. 2023. The impact of climatic conditions on oil content and quality in sunflower. *Romanian Agricultural Research* 40 (40): 1–9. DOI: 10.59665/rar4024
- Desta B., Amare G. 2021. Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 8 (1): 1–15. DOI: 10.1186/s40538-020-00199-z
- Di Caterina R., Giuliani M.M., Rotunno T., De Caro A., Flagella Z. 2007. Influence of salt stress on seed yield and oil quality of two sunflower hybrids. *Annals of Applied Biology* 151 (2): 145–154. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2007.00165.x
- Domaratskiy E.O., Bazaliy V.V., Domaratskiy O.O., Dobrovolskiy A.V., Kyrchenko N.V., Kozlova O.P. 2018. Influence of mineral nutrition and combined growth regulating chemical on nutrient status of sunflower. *Indian Journal of Ecology* 45 (1): 126–129.
- Domaratskiy Y., Kaplina A., Kozlova O., Koval N., Dobrovolskiy A. 2020. Economic justification for the use of biological fungicides and plant growth stimulants for growing sunflower. *Independent Journal of Management & Production* 11 (9): 2171–2184. DOI: 10.14807/ijmp.v11i9.1406
- Domaratskiy Y. 2021. Leaf area formation and photosynthetic activity of sunflower plants depending on fertilizers and growth regulators. *Journal of Ecological Engineering* 22 (6): 99–105. DOI: 10.12911/22998993/137361
- FAOSTAT 2023. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [dostęp: 05.02.2024].
- Ferrari S., do Valle Polycarpo G., Vargas P.F., Fernandes A.M., Luís Oliveira Cunha M., Pagliari P. 2022. Mix of trinexapac-ethyl and nitrogen application to reduce upland rice plant height and increase yield. *Plant Growth Regulation* 96 (1): 209–219. DOI: 10.1007/s10725-021-00770-0
- Greenleaf S.S., Kremen C. 2006. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (37): 13890–13895. DOI: 10.1073/pnas.0600929103
- Hernández L.F. 1996. Morphogenesis in sunflower (*Helianthus annuus* L.) as affected by exogenous application of plant growth regulators. *Agriscientia* 13 (1): 3–11.
- Hernawati D., Hamdani J.S., Mubarak S., Sumekar Y., Alfiya M. 2022. Physiological response, yield and quality of GO potato (*Solanum tuberosum*) seed yield to various concentrations and time of application of prohexadione-ca bioregulator. *Research on Crops* 23 (3): 640–648. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.ROC-842
- Jones R.L., Phillips I.D.J. 1966. Effect of CCC on the gibberellin content of excised sunflower organs. *Planta* 72 (1): 53–59. DOI: 10.1007/BF00388144
- Kakabouki I., Tataridas A., Mavroeidis A., Kousta A., Roussis I., Katsenios N., Efthimiadou A., Papastilianou P. 2021. Introduction of alternative crops in the Mediterranean to satisfy EU Green Deal goals. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 41: 71. DOI: 10.1007/s13593-021-00725-9
- Koutroubas S.D., Damalas C.A. 2015. Sunflower response to repeated foliar applications of paclobutrazol. *Planta Daninha* 33 (1): 129–135. DOI: 10.1590/S0100-83582015000100015
- Koutroubas S.D., Damalas C.A. 2016. Morpho-physiological responses of sunflower to foliar applications of chlormequat chloride (CCC). *Bioscience Journal* 32 (6): 1493–1501. DOI: 10.14393/BJ-v32n6a2016-33007
- Koutroubas S.D., Vassiliou G., Damalas C.A. 2014. Sunflower morphology and yield as affected by foliar applications of plant growth regulators. *International Journal of Plant Production* 8 (2): 215–230. DOI: 10.22069/ijpp.2014.1525
- Kumar A., Bainade S.P., Singh R., Kashyap C. 2022. Enhancing the growth and yield of pigeon pea through growth regulators. *The Pharma Innovation Journal* 11 (7): 1102–1104.
- Kuryata V.G., Poprotska I.V., Rogach T.I. 2017. The impact of growth stimulators and retardants on the utilization of reserve lipids by sunflower seedlings. *Regulatory Mechanisms in Biosystems* 8 (3): 317–322. DOI: 10.15421/021750
- Lal M., Sood Y., Singh H., Kumar A., Wani A.W., Kumar S. 2022. Influence of prohexadione-calcium on temperate fruit crops – A review. *Ecology Environmental and Conservation Journal* 28: S164–S172. DOI: 10.53550/EEC.2022.v28i07s.028
- Lovett J.V., Campbell D.A. 1973. Effects of CCC and moisture stress on sunflower. *Experimental Agriculture* 9 (4): 329–336. DOI: 10.1017/S0014479700010127
- Mangieri M.A., Mantese A.I., Schürmann A.A., Chimenti C.A. 2016. Effects of ethephon on anatomical changes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) stems associated with lodging. *Crop and Pasture Science* 67 (9): 988–999. DOI: 10.1071/CP15375
- Mohamadi M.H.S., Etemadi N., Nikbakht A., Pessarakli M. 2017. Physiological responses of two cool-season grass species to trinexapac-ethyl under traffic stress. *HortScience* 52 (1): 99–109. DOI: 10.21273/HORTSCI11228-16
- Polat T., Özer H., Öztürk E., Sefaoğlu F. 2017. Effects of mepiquat chloride applications on non-oilseed sunflower. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 41 (6): 472–479. DOI: 10.3906/tar-1705-77
- Rademacher W. 2000. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Biology* 51 (1): 501–531. DOI: 10.1146/annurev.arplant.51.1.501
- Rajala A., Peltonen-Sainio P. 2001. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. *Agronomy Journal* 93 (4): 936–943. DOI: 10.2134/agronj2001.934936x
- Rajala A., Peltonen-Sainio P., Onnela M., Jackson M. 2002. Effects of applying stem-shortening plant growth regulators to leaves on root elongation by seedlings of wheat, oat and barley: mediation by ethylene. *Plant Growth Regulation* 38: 51–59. DOI: 10.1023/A:1020924307455
- Rajesh K., Reddy S., Reddy P.K.A., Singh G.B. 2014. Effect of plant growth regulating compounds on chlorophyll, photosynthetic rate and yield of green gram. *International Journal of Development Research* 4 (5): 1110–1112.
- Sangoi L., Durli M.M., Souza C.A., Leolato L.S., Kuneski H.F., Coelho A.E. 2020. Maize response to trinexapac-ethyl and nitrogen fertilization. *Planta Daninha* 38 (6): 1–11. DOI: 10.1590/S010083582020380100037
- Shekoofa A., Emam Y. 2008. Plant growth regulator (ethephon) alters maize (*Zea mays* L.) growth, water use and grain yield under water stress. *Journal of Agronomy* 7 (1): 41–48. DOI: 10.3923/ja.2008.41.48
- Soare E., Chiurciu I.A. 2018. Considerations concerning worldwide production and marketing of sunflower seeds. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* 18 (3): 421–427. DOI: 10.7427/DDI.25.12
- Soumya P.R., Kumar P., Pal M. 2017. Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Indian Journal of Plant Physiology* 22: 267–278. DOI: 10.1007/s40502-017-0316-x

- Souza I.L., da Silva T.R.B., Albrecht L.P. 2022. Management of trinexapac-ethyl application in soybean. *Nativa* 10 (1): 16–21. DOI: 10.31413/nativa.v10i1.12749
- Spitzer T., Bílovský J., Kazda J. 2018. Effect of using selected growth regulators to reduce sunflower stand height. *Plant Soil Environment* 64 (7): 324–329. DOI: 10.17221/213/2018-PSE
- Spitzer T., Matušinský P., Klemová Z., Kazda J. 2011. Management of sunflower stand height using growth regulators. *Plant Soil Environment* 57 (8): 357–363. DOI: 10.17221/75/2011-PSE
- Trojak-Goluch A. 2012. Wpływ dawki i sposobu aplikacji hydrazynu maleinowego (Fazor 80 SG) na zniszczenie odrostów bocznych tytoniu. [The effect of dose and application method of maleic hydrazide (Fazor 80 SG) on tobacco sucker control]. *Progress in Plant Protection* 52 (2): 467–470.
- Velasco L., Fernández-Martínez J.M., Fernández J. 2015. Sunflower Production in the European Union. s. 555–573. DOI: 10.1016/B978-1-893997-94-3.50024-6. W: *Sunflower Chemistry, Production, Processing, and Utilization* (E. Martínez-Force, N.T. Dunford, J.J. Salas, red.). Academic Press and AOCS Press. ISBN 978-1-893997-94-3. DOI: 10.1016/C2015-0-00069-7
- Wanderley C.D.S., Faria R.T.D., Rezende R. 2014. Growth of potted sunflower in response to paclobutrazol. *Revista Ceres* 61 (1): 35–41. DOI: 10.1590/S0034-737X2014000100005
- Wang X., Zhou Q., Wang X., Song S., Liu J., Dong S. 2022. Mepiquat chloride inhibits soybean growth but improves drought resistance. *Frontiers in Plant Science* 13: 982415. DOI: 10.3389/fpls.2022.982415
- Yatsenko V., Zhatova H., Kolosok I. 2021. Optimization of the of sunflower crops structure in technologies with retardants application. *East European Scientific Journal* 7 (71): 22–26. DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2021.2.71.89
- Yeremenko O., Kalytka V. 2017. Productivity of sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) under the effect of AKM plant growth regulator in the conditions low moisture of southern Steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice* 4 (1): 11–19. DOI: 10.9790/2380-0909015964